

Учебно-методический комплекс

Применение в профессиональной деятельности основных законов электрических и магнитных цепей и их проявлений в различных силовых цепях и электрооборудовании.



СОДЕРЖАНИЕ

Раздел 1 Электрические цепи постоянного тока	4
Тема 1. Введение. Начальные сведения об электрическом поле.	4
Тема 2. Электропроводимость. Понятие о проводниках, полупроводниках и диэлектриках ...	4
Тема 3. Основные характеристики электрического тока.....	6
Тема 4. Электрический ток в проводниках. Закон Ома	7
Тема 5. Элементы электрических цепей.....	12
Тема 7. Преобразование электрической энергии в другие виды энергии.....	15
Тема 8. Закон Джоуля-Ленца.....	16
Тема 9. Режимы электрических цепей.....	17
Тема 10. Схемы электрических цепей.....	18
Тема 11. Законы Кирхгофа. Неразветвленная электрическая цепь.....	20
Тема 12. Разветвленная электрическая цепь с двумя узлами.....	22
Тема 13. Расчеты электрических цепей путем преобразования схем, (треугольник в звезду, звезду в треугольник).....	23
Тема 14. Метод эквивалентных сопротивлений.....	25
Тема 15. Принцип наложения токов в линейных электрических цепях.....	26
Тема 16. Методы контурных токов.....	27
Тема 17. Расчет сложных электрических цепей.....	28
Тема 18. Нелинейные электрические цепи постоянного тока.....	30
Тема 19. Закон Ампера. Магнитная индукция.....	31
Тема 20. Магнитный поток и потокосцепление. Индуктивность.....	32
Тема 21. Напряженность магнитного поля.....	36
Тема 22. Магнитные цепи: определение, классификация, расчеты.....	37
Тема 23. Неразветвленные и разветвленные магнитные цепи.....	37
Тема 24. Разветвленные магнитные цепи.....	39
Тема 25. Электромагнитная индукция. Правило Ленца.....	40
Тема 26. Принцип действия трансформатора.....	41
Тема 27. Начальные сведения о переменном токе.....	43
Тема 28. Характеристики синусоидального тока.....	44
Тема 29. Параметры электрических цепей переменного тока.....	45
Тема 30. Цепи переменного тока с индуктивностью и емкостью.....	48
Тема 31. Расчет цепи с произвольным числом активных и реактивных элементов.....	50
Тема 32. Построение топографической векторной диаграммы.....	52
Тема 35. Расчет цепи методом проводимости.....	59
Тема 36. Компенсация реактивной мощности. Меры сокращения реактивной мощности.....	62
Тема 37. Расчет компенсационной установки с конденсаторами.....	64
Тема 38. Резонанс в электрических цепях.....	65
Тема 39. Колебательный контур.....	66
Тема 40. Резонанс напряжений и токов.....	67
Тема 41. Символический метод расчета электрических цепей. Закон Ома в символической форме.....	70
Тема 42. Закон Кирхгофа в символической форме.....	72
Тема 43. Трехфазные системы ЭДС.....	74
Тема 44. Фазные и линейные напряжения и токи.....	75
Тема 46. Комплексы симметричных составляющих.....	80
Тема 47. Разложение несимметричной трехфазной системы векторов на симметричные.....	81
Тема 48. Свойства трехфазных цепей.....	83
Тема 49. Несимметричная трехфазная цепь при соединении треугольником.....	84
Тема 50. Причины возникновения несинусоидальных ЭДС, токов и напряжений.....	87
Тема 51. Конденсаторы. Зарядка и разрядка конденсаторов.....	88
Лабораторно – практические работы.....	91
Лабораторная работа №1 Правила сборки электрических схем. Техника безопасности.....	91
Лабораторная работа №2. Опытная проверка закона Ома.....	96
Лабораторная работа №3. Измерение потенциалов электрической цепи и построение потенциальных диаграмм.....	98

Лабораторная работа №4. Исследование режимов работы электрической цепи и ее элементов.....	100
Лабораторная работа №5. Исследование электрических цепей при последовательном, параллельном и смешанном соединениях резисторов.....	101
Лабораторная работа №6. Измерение потерь напряжения и мощности в проводах.....	103
Лабораторная работа №7. Определение токов с помощью закона Кирхгофа.....	104
Лабораторная работа №8. Определение токов методом наложения.....	106
Лабораторная работа №9. Опытная проверка расчета нелинейных цепей.....	107
Лабораторная работа №10. Исследование параметров индуктивных катушек.....	110
Лабораторная работа №11. Исследование взаимной индуктивности.....	111
Лабораторная работа №12. Исследование электрических цепей переменного тока при последовательном соединении активного и индуктивного сопротивлений.....	112
Лабораторная работа № 13. Исследование электрических цепей переменного тока при последовательном соединении активного и емкостного сопротивлений.....	115
Лабораторная работа № 14. Исследование электрических цепей переменного тока при параллельном соединении активного и индуктивного сопротивлений.....	116
Лабораторная работа №15. Определение коэффициента мощности методом ампер - вольтметра и ваттметра.....	118
Лабораторная работа №16. Резонанс напряжений.....	128
Лабораторная работа №17. Исследование электрической цепи при резонансе токов.....	133
Лабораторная работа №18. Исследование электрической цепи для получения сдвига фаз на 90^0 между током и напряжением.....	136
Лабораторная работа №19. Исследование трехфазной цепи при соединении приемника «звездой».....	137
Лабораторная работа №20. Исследование трехфазной цепи при соединении приемника «треугольником».....	140
Лабораторная работа № 21. Исследование линейного пассивного четырехполюсника.....	142
Лабораторная работа №22. Исследование линейного активного двухполюсника.....	143
Лабораторная работа №23. Исследование полупроводникового диода.....	146
ОЦЕНОЧНЫЙ ЛИСТ.....	Ошибка! Закладка не определена.
Критерии оценивания студентов в процессе обучения.....	150
Критерии оценки модуля.....	153
КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	154
Тематика рефератов и докладов.....	187
Вопросы для итогового контроля.....	188
Литература.....	190

Раздел 1 Электрические цепи постоянного тока

Тема 1. Введение. Начальные сведения об электрическом поле.

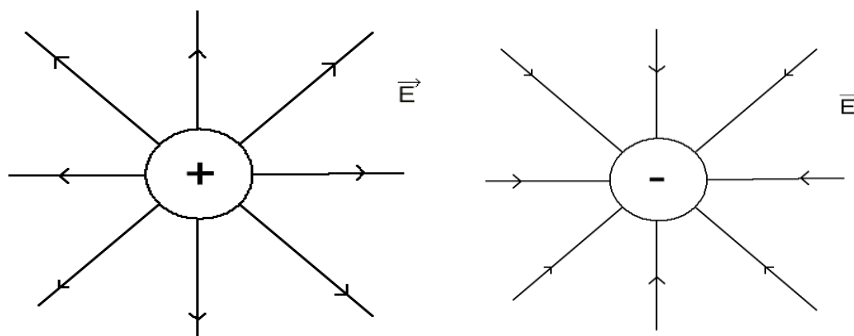
- Электрическое поле характеризуется воздействием на электроразряженную частицу с силой пропорциональной заряду частицы и независимой от ее скорости.

Напряжённость — векторная величина определяющая силу действующую на заряженную частицу или тело со стороны электрического поля и численно равная отношению силы к заряду частицы.

$$E = F/Q \text{ [Н/Кл]} \text{ или } [В/М]$$

Напряжённость — это основная характеристика электрического поля которая измеряет интенсивность поля.

Направление вектора напряжённости совпадает с направлением силы действующей на частицу с положительным зарядом.



Электрическое поле называется **однородным (равномерным)** если напряжённость поля во всех точках одинаковое по величине и направлению.

Электрическое напряжение

Электрическое напряжение (U) — это работа (A) совершаемая силой поля по перемещению заряженных частиц между двумя точками поля.

$$U = A/q \text{ [Дж/Кл]} \text{ или } [В]$$

Потенциал

Потенциал (φ) — это энергетическая характеристика поля численно равная отношению потенциальной энергии заряженной частицы помещенной в данной точке поля величине её заряда.

$$\phi = W/Q \text{ [В]}$$

Геометрическое место поля с одинаковым потенциалом называется **эквипотенциальной поверхностью**.

- Электрическое поле, определение;
- Напряженность электрического поля;
- Виды зарядов;

Вопросы для самоконтроля

1. Определение электрического поля.
2. Электрическое напряжение.
3. Понятие напряженность электрического поля.
4. Виды и название зарядов.
5. Понятие потенциал и эквипотенциальная поверхность.

Тема 2. Электропроводимость. Понятие о проводниках, полупроводниках и диэлектриках

В зависимости от характера действия на тела электрического поля их можно разделить на проводники, диэлектрики и полупроводники. Свойства тел и поведение их в электрическом поле определяются строением и расположением атомов в телах. В состав атомов входят электрически заряженные частицы: положительные — протоны, отрицательные — электроны. В нормальном состоянии атом электрически нейтрален, так как

число протонов, входящих в состав ядра атома, равно числу электронов, вращающихся вокруг ядра и образующих «электронные оболочки» атома. Электроны внешней валентной оболочки определяют электропроводность вещества. Энергетические уровни внешних валентных электронов образуют валентную, или заполненную зону. В этой зоне электроны находятся в устойчивом связанном состоянии. Чтобы освободить какой-либо электрон этой зоны, необходимо затратить некоторую энергию. Следовательно, электроны, находящиеся в свободном состоянии, занимают более высокие энергетические уровни. Зона более высоких энергетических уровней, расположенная выше валентной зоны и отделенная от нее запрещенной зоной, объединяет незаполненные, или свободные, энергетические уровни и называется зоной проводимости или зоной возбуждения. Чтобы электрон перенести из валентной зоны в зону проводимости, необходимо ему сообщить извне энергию. Ширина запретной зоны, которую должен преодолеть электрон, чтобы перейти из устойчивого состояния в свободное состояние (в зону проводимости), является одним из главных критериев разделения тел на проводники, полупроводники и диэлектрики.

1. Проводниковые материалы

1.1. Общие сведения

В качестве проводников электрического тока могут быть использованы как твердые тела, так и жидкости, а при соответствующих условиях и газы. К проводниковым материалам в электротехнике относятся металлы, их сплавы, контактные металлокерамические композиции и электротехнический уголь. Важнейшими практически применяемыми в электротехнике твердыми проводниковыми материалами являются металлы и их сплавы, характеризующиеся электронной проводимостью; основным параметр для них – удельное электрическое сопротивление в функции температуры.

Диапазон удельных сопротивлений металлических проводников весьма узок и составляет от 0,016 мкОм·м для серебра до 1,6 мкОм·м для жаростойких железохромоалюминиевых сплавов. Электрическое сопротивление графита с увеличением температуры проходит через минимум с последующим постепенным повышением.

По роду применения проводниковые материалы подразделяются на группы:

проводники с высокой проводимостью – металлы для проводов линий электропередачи и для изготовления кабелей, обмоточных и монтажных проводов для обмоток трансформаторов, электрических машин, аппаратуры и пр.;

конструкционные материалы – бронзы, латуни, алюминиевые сплавы и т.д., применяемые для изготовления различных токоведущих частей;

сплавы высокого сопротивления – предназначенные для изготовления дополнительных сопротивлений к измерительным приборам, образцовых сопротивлений и магазинов сопротивлений, реостатов и элементов нагревательных приборов, а также сплавы для термопар, компенсационных проводов и т.п.;

контактные материалы – применяемые для пар неразъемных, разрывных и скользящих контактов;

материалы для пайки всех видов проводниковых материалов.

Механизм прохождения тока в металлах обусловлен движением (дрейфом) свободных электронов под воздействием электрического поля; поэтому металлы называют проводниками с электронной электропроводностью или проводниками первого рода.

Электрическое сопротивление проводников

Электрическое сопротивление обусловлено тем, что свободные электроны при дрейфе взаимодействуют с положительными ионами кристаллической решетки металла. При повышении температуры учащаются соударения электронов с ионами, поэтому сопротивление проводников зависит от температуры. Сопротивление проводников зависит от материала проводника, т.е. строение его кристаллической решетки. Для однородного цилиндрического проводника длиной l и площадью поперечного сечения S сопротивление определяется по формуле

$$R = \rho \cdot l / S \quad (1.)$$

где $\rho = RS/l$ – удельное сопротивление проводника (сопротивление однородного цилиндрического проводника, имеющего единичную длину и единичную площадь поперечного сечения).

Единица сопротивления – Ом.

1 Ом: Ом – сопротивление проводника, по которому при напряжении 1 В течет ток 1 Ом=1 В/А.

Величина $\sigma=1/\rho$, обратная удельному сопротивлению, называется удельной электрической проводимостью проводника.

Единица электрической проводимости – сименс (См).

Сименс – электрическая проводимость проводника сопротивлением 1 Ом, т.е. 1 См=1 Ом⁻¹. Из формулы (1.1) следует, что единицей удельного сопротивления является Ом-метр (Ом · м),

Удельное электрическое сопротивление проводника зависит не только от рода вещества, но и от его состояния. Зависимость удельного сопротивления ρ от температуры выражается формулой

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha t), \quad (1.2)$$

где ρ_0 – удельное сопротивление при 0°С; t – температура (по шкале Цельсия); α – температурный коэффициент сопротивления, характеризующий относительное изменение сопротивления проводника при нагревании его на 1°С или 1 К:

$$\alpha = (\rho - \rho_0) / \rho_0 t. \quad (1.3)$$

Температурные коэффициенты сопротивления веществ различны при разных температурах. Однако для многих металлов изменение α с температурой не очень велико. Для всех чистых металлов $\alpha \approx 1/273 \text{ К}^{-1}$ (или °С⁻¹).

Зависимость сопротивления металлов от температуры положена в основу устройства термометров сопротивления. Они используются как при очень высоких, так и при очень низких температурах, когда применение жидкостных термометров невозможно.

Из понятия о проводимости проводника следует, что чем меньше сопротивление проводника, тем больше его проводимость. При нагревании чистых металлов их сопротивление увеличивается, а при охлаждении – уменьшается.

Вопросы для самоконтроля

1. Характеристика проводников.
2. Чем полупроводник отличается от диэлектрика.
3. Материалы из которых изготавливают проводники.
4. Понятие удельное сопротивление проводника.
5. Жидкие проводники и диэлектрики.

Тема 3. Основные характеристики электрического тока

Электрическим током называют направленное движение свободно заряженных частиц под действием электрического поля. В металлах электрический ток создается движением **свободных электронов**.

Количественной характеристикой электрического тока является сила тока (I).

Сила тока (I) — это количество электричества прошедшего через поперечное сечение проводника за единицу времени.

$$I = Q/\Delta t \text{ [A]}$$

Электрический ток не изменяющийся со временем называется **постоянным** электрическим током.

Плотность тока (j) — это векторная величина численно равная отношению силы тока к площади поперечного сечения проводника.

$$j = I/S \text{ [A/mm}^2\text{]}$$

Направление вектора плотности тока совпадает с направлением скорости движения заряженных частиц.

Током проводимости называют упорядоченное движение в веществе или вакууме свободных заряженных частиц – электронов проводимости (в металлах), положительных и отрицательных ионов (в электролитах), электронов и положительных ионов (в газах), электронов проводимости и дырок (в полупроводниках), пучков электронов (в вакууме). Этот ток обусловлен тем, что в проводнике под действием приложенного электрического поля напряженностью \vec{E} происходит перемещение свободных электрических зарядов (рис. 2.1, а).

Конвекционным электрическим током называют ток, обусловленный перемещением в пространстве заряженного макроскопического тела.

Для возникновения и поддержания электрического тока проводимости необходимы следующие условия:

- 1) наличие свободных носителей тока (свободных зарядов);
- 2) наличие электрического поля, создающего упорядоченное движение свободных зарядов;
- 3) на свободные заряды, помимо кулоновских сил, должны действовать *сторонние силы* неэлектрической природы; эти силы создаются различными *источниками тока* (гальваническими элементами, аккумуляторами, электрическими генераторами и др.);
- 4) цепь электрического тока должна быть замкнутой.

За направление электрического тока условно принимают направление движения положительных зарядов, образующих этот ток.

Количественной мерой электрического тока является *сила тока I* - скалярная физическая величина, определяемая электрическим зарядом, проходящим через поперечное сечение S проводника в единицу времени:

$$I = \frac{dq}{dt}. \quad (1)$$

Вопросы для самоконтроля

1. Электрический ток определение и характеристики.
2. Сила тока(определение и формула).
3. Плотность тока.
4. Ток проводимости.
5. Количественная мера электрического тока.

Тема 4. Электрический ток в проводниках. Закон Ома

Если изолированный проводник поместить в электрическое поле то на свободные заряды q в

$$\vec{F} = q \vec{E}.$$

проводнике будет действовать сила

В результате в проводнике возникает кратковременное перемещение свободных зарядов. Этот процесс закончится тогда, когда собственное электрическое поле зарядов, возникших на поверхности проводника, скомпенсирует полностью внешнее поле. Результирующее электростатическое поле внутри проводника будет равно нулю.

Однако, в проводниках при определенных условиях может возникнуть непрерывное упорядоченное движение свободных носителей электрического заряда. Такое движение называется *электрическим током*. За направление электрического тока принято направление движения положительных свободных зарядов. Для существования электрического тока в проводнике необходимо создать в нем электрическое поле.

Количественной мерой электрического тока служит *сила тока I* – скалярная физическая величина, равная отношению заряда Δq , переносимого через поперечное сечение проводника (рис.1) за интервал времени Δt , к этому интервалу времени:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}.$$

Если сила тока и его направление не изменяются со временем, то такой ток называется *постоянным*.

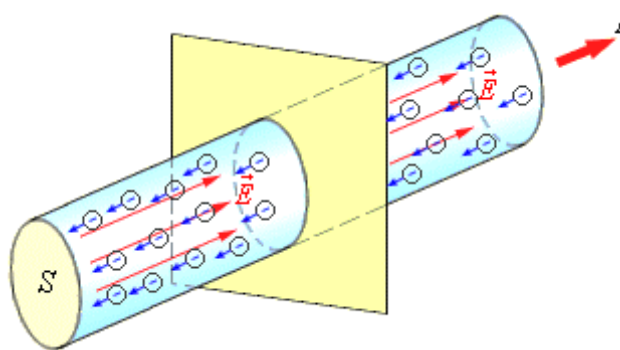


Рисунок 1.
Упорядоченное движение электронов в
металлическом проводнике и ток I . S –
площадь поперечного сечения проводника

В Международной системе единиц СИ сила тока измеряется в амперах (А). Единица измерения тока 1 А устанавливается по магнитному взаимодействию двух параллельных проводников с током.

Постоянный электрический ток может быть создан только в *замкнутой цепи*, в которой свободные носители заряда циркулируют по замкнутым траекториям. Электрическое поле в разных точках такой цепи неизменно во времени. Следовательно, электрическое поле в цепи постоянного тока имеет характер замороженного электростатического поля. Но при перемещении электрического заряда в электростатическом поле по замкнутой траектории, работа электрических сил равна нулю. Поэтому для существования постоянного тока необходимо наличие в электрической цепи устройства, способного создавать и поддерживать разности потенциалов на участках цепи за счет работы сил **неэлектростатического происхождения**. Такие устройства называются **источниками постоянного тока**. Силы неэлектростатического происхождения, действующие на свободные носители заряда со стороны источников тока, называются **сторонними силами**.

Природа сторонних сил может быть различной. В гальванических элементах или аккумуляторах они возникают в результате электрохимических процессов, в генераторах постоянного тока сторонние силы возникают при движении проводников в магнитном поле. Источник тока в электрической цепи играет ту же роль, что и насос, который необходим для перекачивания жидкости в замкнутой гидравлической системе. Под действием сторонних сил электрические заряды движутся внутри источника тока **против** сил электростатического поля, благодаря чему в замкнутой цепи может поддерживаться постоянный электрический ток.

При перемещении электрических зарядов по цепи постоянного тока сторонние силы, действующие внутри источников тока, совершают работу.

Физическая величина, равная отношению работы $A_{ст}$ сторонних сил при перемещении заряда q от отрицательного полюса источника тока к положительному к величине этого заряда, называется электродвижущей силой источника (ЭДС):

$$\text{ЭДС} = \mathcal{E} = \frac{A_{ст}}{q}$$

Таким образом, ЭДС определяется работой, совершаемой сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда. Электродвижущая сила, как и разность потенциалов, измеряется в вольтах (В).

При перемещении единичного положительного заряда по замкнутой цепи постоянного тока работа сторонних сил равна сумме ЭДС, действующих в этой цепи, а работа электростатического поля равна нулю.

Цепь постоянного тока можно разбить на отдельные участки. Те участки, на которых не действуют сторонние силы (т. е. участки, не содержащие источников тока), называются **однородными**. Участки, включающие источники тока, называются **неоднородными**.

При перемещении единичного положительного заряда по некоторому участку цепи работу совершают как электростатические (кулоновские), так и сторонние силы. Работа электростатических сил равна разности потенциалов $\Delta\phi_{12} = \phi_1 - \phi_2$ между начальной (1) и

конечной (2) точками неоднородного участка. Работа сторонних сил равна по определению электродвижущей силе \mathcal{E}_{12} , действующей на данном участке. Поэтому полная работа равна

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12}.$$

Величину U_{12} принято называть **напряжением** на участке цепи 1–2. В случае однородного участка напряжение равно разности потенциалов:

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2.$$

Немецкий физик Г. Ом в 1826 году экспериментально установил, что сила тока I , текущего по однородному металлическому проводнику (т. е. проводнику, в котором не действуют сторонние силы), пропорциональна напряжению U на концах проводника:

$$I = \frac{1}{R}U \quad \text{или} \quad RI = U,$$

где $R = \text{const}$.

Величину R принято называть **электрическим сопротивлением**. Проводник, обладающий электрическим сопротивлением, называется **резистором**. Данное соотношение выражает **закон Ома для однородного участка цепи**: сила тока в проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника.

В СИ единицей электрического сопротивления проводников служит **ом** (Ом). Сопротивлением в 1 Ом обладает такой участок цепи, в котором при напряжении 1 В возникает ток силой 1 А.

Проводники, подчиняющиеся закону Ома, называются **линейными**. Графическая зависимость силы тока I от напряжения U (такие графики называются **вольт-амперными характеристиками**, сокращенно ВАХ) изображается прямой линией, проходящей через начало координат. Следует отметить, что существует много материалов и устройств, не подчиняющихся закону Ома, например, полупроводниковый диод или газоразрядная лампа. Даже у металлических проводников при токах достаточно большой силы наблюдается отклонение от линейного закона Ома, так как электрическое сопротивление металлических проводников растет с ростом температуры.

Для участка цепи, содержащего ЭДС, закон Ома записывается в следующей форме:

$$IR = U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E} = \Delta\varphi_{12} + \mathcal{E}.$$

Это соотношение принято называть **обобщенным законом Ома** или **законом Ома для неоднородного участка цепи**.

На рис. 2 изображена замкнутая цепь постоянного тока. Участок цепи (cd) является однородным.

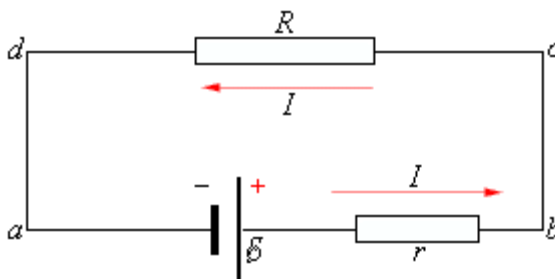


Рисунок 2.
Цепь постоянного тока

По закону Ома

$$IR = \Delta\varphi_{cd}.$$

Участок (ab) содержит источник тока с ЭДС, равной \mathcal{E} .

По закону Ома для неоднородного участка,

$$Ir = \Delta\varphi_{ab} + \mathcal{E}.$$

Сложив оба равенства, получим:

$$I(R + r) = \Delta\varphi_{cd} + \Delta\varphi_{ab} + \mathcal{E}.$$

Но $\Delta\varphi_{cd} = \Delta\varphi_{ba} = -\Delta\varphi_{ab}$. Поэтому

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}.$$

Эта формула выразит **закон Ома для полной цепи**: сила тока в полной цепи равна электродвижущей силе источника, деленной на сумму сопротивлений однородного и неоднородного участков цепи.

Сопротивление r неоднородного участка на рис. 2 можно рассматривать как **внутреннее сопротивление источника тока**. В этом случае участок (ab) на рис. 2 является внутренним участком источника. Если точки a и b замкнуть проводником, сопротивление которого мало по сравнению с внутренним сопротивлением источника ($R \ll r$), тогда в цепи потечет **ток короткого замыкания**

$$I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r}.$$

Сила тока короткого замыкания – максимальная сила тока, которую можно получить от данного источника с электродвижущей силой \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r . У источников с малым внутренним сопротивлением ток короткого замыкания может быть очень велик и вызывать разрушение электрической цепи или источника. Например, у свинцовых аккумуляторов, используемых в автомобилях, сила тока короткого замыкания может составлять несколько сотен ампер. Особенно опасны короткие замыкания в осветительных сетях, питаемых от подстанций (тысячи ампер). Чтобы избежать разрушительного действия таких больших токов, в цепь включаются предохранители или специальные автоматы защиты сетей.

В ряде случаев для предотвращения опасных значений силы тока короткого замыкания к источнику последовательно подсоединяется некоторое внешнее сопротивление. Тогда сопротивление r равно сумме внутреннего сопротивления источника и внешнего сопротивления, и при коротком замыкании сила тока не окажется чрезмерно большой.

Если внешняя цепь разомкнута, то $\Delta\varphi_{ba} = -\Delta\varphi_{ab} = \mathcal{E}$, т. е. разность потенциалов на полюсах разомкнутой батареи равна ее ЭДС.

Если внешнее нагрузочное сопротивление R включено и через батарею протекает ток I , разность потенциалов на ее полюсах становится равной

$$\Delta\varphi_{ba} = \mathcal{E} - Ir.$$

На рис.3 дано схематическое изображение источника постоянного тока с ЭДС равной \mathcal{E} и внутренним сопротивлением r в трех режимах: «холостой ход», работа на нагрузку и режим короткого замыкания (к. з.). Указаны напряженность электрического поля внутри батареи и силы, действующие на положительные заряды: – электрическая сила и – сторонняя сила. В режиме короткого замыкания электрическое поле внутри батареи исчезает.

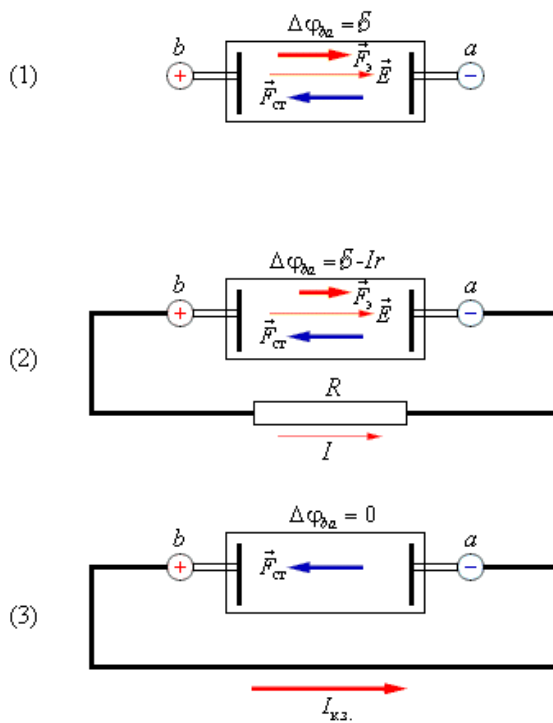


Рисунок 3.

Схематическое изображение источника постоянного тока: 1 – батарея разомкнута; 2 – батарея замкнута на внешнее сопротивление R ; 3 – режим короткого замыкания

Для измерения напряжений и токов в электрических цепях постоянного тока используются специальные приборы – **вольтметры** и **амперметры**.

Вольтметр предназначен для измерения разности потенциалов, приложенной к его клеммам. Он подключается **параллельно** участку цепи, на котором производится измерение разности потенциалов. Любой вольтметр обладает некоторым внутренним сопротивлением R_B . Для того, чтобы вольтметр не вносил заметного перераспределения токов при подключении к измеряемой цепи, его внутреннее сопротивление должно быть велико по сравнению с сопротивлением того участка цепи, к которому он подключен. Для цепи, изображенной на рис.4, это условие записывается в виде:

$$R_B \gg R_1.$$

Это условие означает, что ток $I_B = \Delta\varphi_{cd} / R_B$, протекающий через вольтметр, много меньше тока $I = \Delta\varphi_{cd} / R_1$, который протекает по тестируемому участку цепи.

Поскольку внутри вольтметра не действуют сторонние силы, разность потенциалов на его клеммах совпадает по определению с напряжением. Поэтому можно говорить, что вольтметр измеряет напряжение.

Амперметр предназначен для измерения силы тока в цепи. Амперметр включается последовательно в разрыв электрической цепи, чтобы через него проходил весь измеряемый ток. Амперметр также обладает некоторым внутренним сопротивлением R_A . В отличие от вольтметра, внутреннее сопротивление амперметра должно быть достаточно малым по сравнению с полным сопротивлением всей цепи. Для цепи на рис. 1.8.4 сопротивление амперметра должно удовлетворять условию

$$R_A \ll (r + R_1 + R_2),$$

чтобы при включении амперметра ток в цепи не изменялся.

Измерительные приборы – вольтметры и амперметры – бывают двух видов: стрелочные (аналоговые) и цифровые. Цифровые электроизмерительные приборы представляют собой сложные электронные устройства. Обычно цифровые приборы обеспечивают более высокую точность измерений.

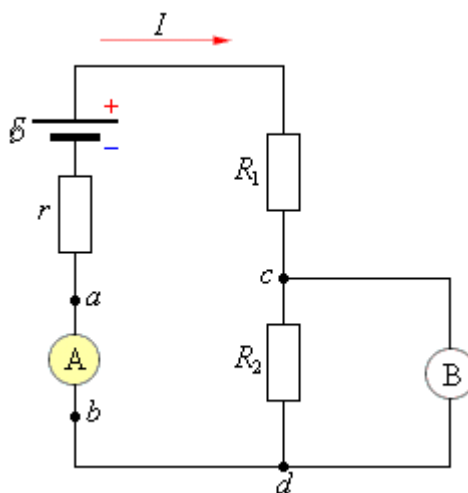


Рисунок 4.
Включение амперметра (А) и
вольтметра (В) в электрическую
цепь

Вопросы для самоконтроля

1. Закон Ома для участка цепи.
2. Закон Ома для полной цепи.
3. Последовательное и параллельное соединение проводников.
4. Единицы измерения напряжения, тока и сопротивления.
5. Измерительные приборы.

Тема 5. Элементы электрических цепей

Электромагнитные процессы, протекающие в электротехнических устройствах, как правило, достаточно сложны. Однако во многих случаях, их основные характеристики можно описать с помощью таких интегральных понятий, как: напряжение, ток, электродвижущая сила (ЭДС). При таком подходе совокупность электротехнических устройств, состоящую из соответствующим образом соединенных источников и приемников электрической энергии, предназначенных для генерации, передачи, распределения и преобразования электрической энергии и (или) информации, рассматривают как **электрическую цепь**. Электрическая цепь состоит из отдельных частей (объектов), выполняющих определенные функции и называемых **элементами цепи**. Основными элементами цепи являются источники и приемники электрической энергии (сигналов). Электротехнические устройства, производящие электрическую энергию, называются **генераторами** или **источниками электрической энергии**, а устройства, потребляющие ее – **приемниками** (потребителями) электрической энергии.

У каждого элемента цепи можно выделить определенное число зажимов (**полюсов**), с помощью которых он соединяется с другими элементами. Различают **двух-** и **многополюсные** элементы. Двухполюсники имеют два зажима. К ним относятся источники энергии (за исключением управляемых и многофазных), резисторы, катушки индуктивности, конденсаторы. Многополюсные элементы – это, например, триоды, трансформаторы, усилители и т.д.

Все элементы электрической цепи условно можно разделить на **активные** и **пассивные**. Активным называется элемент, содержащий в своей структуре источник электрической энергии. К пассивным относятся элементы, в которых рассеивается (резисторы) или накапливается (катушка индуктивности и конденсаторы) энергия. К основным характеристикам элементов цепи относятся их вольт-амперные, вебер-амперные и кулон-вольтные характеристики, описываемые дифференциальными или (и) алгебраическими уравнениями. Если элементы описываются линейными дифференциальными или алгебраическими уравнениями, то они называются **линейными**, в

противном случае они относятся к классу **нелинейных**. Строго говоря, все элементы являются нелинейными. Возможность рассмотрения их как линейных, что существенно упрощает математическое описание и анализ процессов, определяется границами изменения характеризующих их переменных и их частот. Коэффициенты, связывающие переменные, их производные и интегралы в этих уравнениях, называются **параметрами** элемента.

Если параметры элемента не являются функциями пространственных координат, определяющих его геометрические размеры, то он называется **элементом с сосредоточенными параметрами**. Если элемент описывается уравнениями, в которые входят пространственные переменные, то он относится к классу **элементов с распределенными параметрами**. Классическим примером последних является линия передачи электроэнергии (длинная линия).

Цепи, содержащие только линейные элементы, называются линейными. Наличие в схеме хотя бы одного нелинейного элемента относит ее к классу нелинейных.

Рассмотрим пассивные элементы цепи, их основные характеристики и параметры.

1. Резистивный элемент (резистор)

Условное графическое изображение резистора приведено на рис. 1,а. Резистор – это пассивный элемент, характеризующийся резистивным сопротивлением. Последнее определяется геометрическими размерами тела и свойствами материала: удельным сопротивлением r (Ом/м) или обратной величиной – удельной проводимостью (См/м).

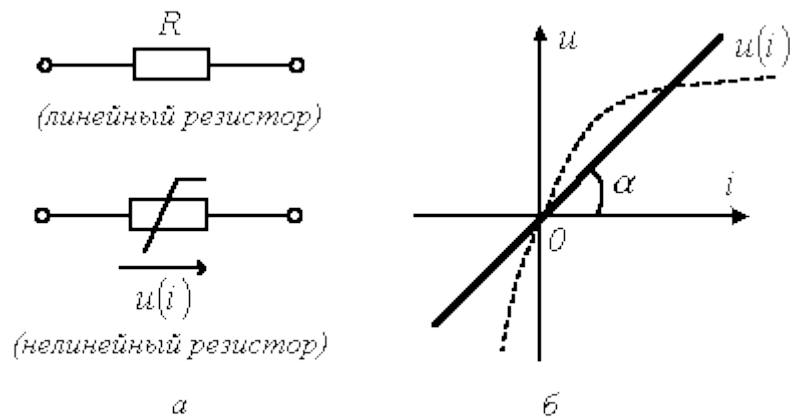


Рис.1

В общем случае определение сопротивления связано с расчетом поля в проводящей среде, разделяющей два электрода.

Основной характеристикой резистивного элемента является зависимость (или), называемая вольт-амперной характеристикой (ВАХ). Если зависимость представляет собой прямую линию, проходящую через начало координат (см.рис. 1,б), то резистор называется линейным,

Нелинейный резистивный элемент, ВАХ которого нелинейна (рис. 1,б), как будет показано в блоке лекций, посвященных нелинейным цепям, характеризуется несколькими параметрами. В частности безынерционному резистору ставятся в соответствие статическое и дифференциальное сопротивления.

2. Индуктивный элемент (катушка индуктивности)

Условное графическое изображение катушки индуктивности приведено на рис. 2,а. Катушка – это пассивный элемент, характеризующийся индуктивностью. Для расчета индуктивности катушки необходимо рассчитать созданное ею магнитное поле.

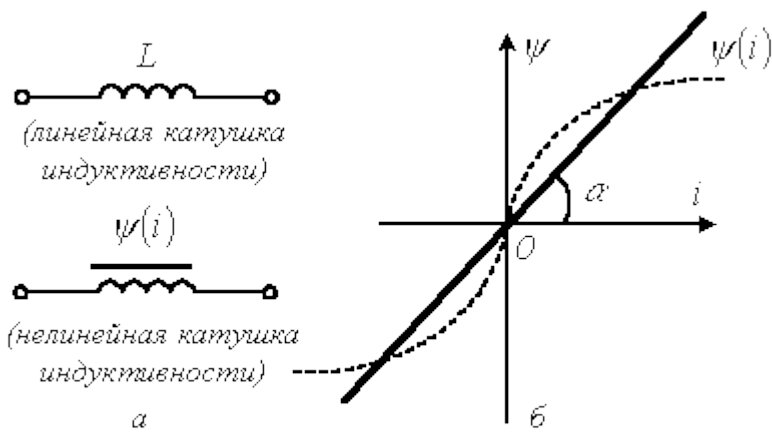


Рис.2

Индуктивность определяется отношением потокосцепления к току, протекающему по виткам катушки.

Основной характеристикой катушки индуктивности является зависимость, называемая вебер-амперной характеристикой.

3. Емкостный элемент (конденсатор)

Условное графическое изображение конденсатора приведено на рис. 3,а.

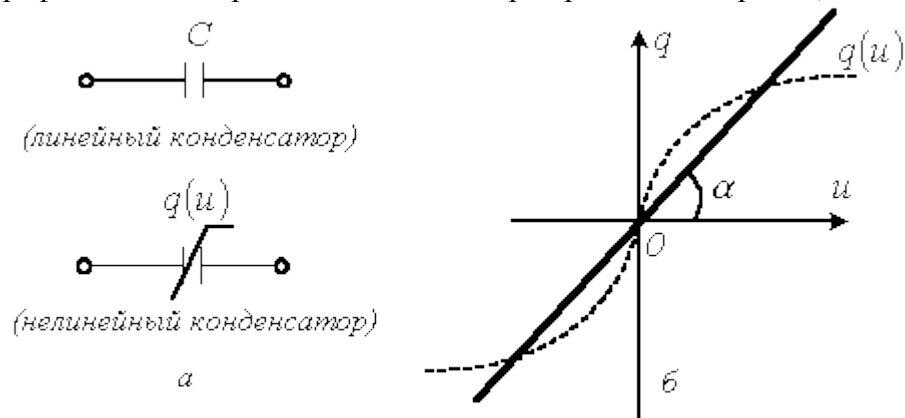


Рис.3

Конденсатор – это пассивный элемент, характеризующийся емкостью. Для расчета последней необходимо рассчитать электрическое поле в конденсаторе. Емкость определяется отношением заряда на обкладках конденсатора к напряжению между ними

Вопросы для самоконтроля

1. Электромагнитные процессы в электротехнических устройствах.
2. Активные и пассивные элементы электрической цепи.
3. Резистивный элемент.
4. Индуктивный элемент.
5. Емкостный элемент.

Тема 6. Получение электрической энергии из химической, тепловой, лучистой энергии.

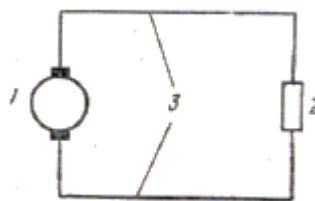


Рис. 1

Явление электронного тока проводимости имеет большое практическое значение. С ним связаны важные энерго преобразования — получение электронной энергии из хим, механической, термической и других видов энергии и обратное превращение

электронной энергии в другие виды энергии; передача электрической энергии на расстояние. Обозначенные энерго преобразования осуществляются в электронных цепях, которые представляют собой совокупность устройств, созданных для образования электронного тока. Простая электронная цепь (рис. 1) состоит из 3-х главных частей: источника электронной энергии – 1, приемника электронной энергии – 2 и соединительных проводов – 3. Физические процессы получения электронной энергии протекают независимо от вида преобразуемой энергии. Общим для всех этих процессов будет то, что при преобразовании хоть какого вида энергии в электронную в источнике появляется электродвижущая сила – э. д.

До сего времени мы говорили о действии на заряженные частицы сил электронного поля. Но воздействие на их могут оказать и другие силы, не связанные с электронным полем. Такие силы, называемые посторонними, появляются при неких хим реакциях, как это имеет место в гальванических элементах и аккумуляторах; при нагревании места спая 2-ух разнородных металлов либо полупроводников (термопары); при освещении неких типов фотоэлементов; при движении заряженных частиц в магнитном поле (в частности, при движении проводника).

Вопросы для самоконтроля

- 1. Способы получения электроэнергии из других видов энергии.**
- 2. Потребитель электроэнергии.**
- 3. Начертить схему с двумя потребителями соединенными параллельно.**
- 4. Источники тепловой энергии.**
- 5. Альтернативные источники электроэнергии.**

Тема 7. Преобразование электрической энергии в другие виды энергии.

Электрическая энергия вырабатывается на электрических станциях и передается потребителям главным образом в виде переменного трехфазного тока промышленной частоты 50 Гц. Однако как в промышленности, так и на транспорте имеются установки, для питания которых переменный ток частотой 50 Гц непригоден. Вопросами, связанными с преобразованием электрической энергии из одного ее вида в другой, занимается область науки и техники, получившая название преобразовательной техники (или энергетической электроники). К числу основных видов преобразования электрической энергии относятся:

1. Выпрямление переменного тока — преобразование переменного тока (обычно промышленной частоты) в постоянный ток. Этот вид преобразования получил наибольшее развитие, так как часть потребителей электрической энергии может работать только на постоянном токе (электрохимические и электрометаллургические установки, линии передачи постоянного тока, электролизные ванны, заряжаемые аккумуляторные батареи, радиотехническая аппаратура и т.д.), другие же потребители имеют на постоянном токе лучшие характеристики, чем на переменном токе (регулируемые электродвигатели).

2. Инвертирование тока — преобразование постоянного тока в переменный. Инвертор применяется в тех случаях, когда источник энергии генерирует постоянный ток (электромашинные генераторы постоянного тока, аккумуляторные батареи и другие химические источники тока, солнечные батареи, магнетогидродинамические генераторы и т.д.), а для потребителей нужна энергия переменного тока. В ряде случаев инвертирование тока необходимо при других видах преобразования электрической энергии (преобразование частоты, преобразование числа фаз).

3. Преобразование частоты — преобразование переменного тока одной частоты (обычно 50 Гц) в переменный ток другой частоты. Такое преобразование необходимо для питания регулируемых электроприводов переменного тока, установок индукционного нагрева и плавки металлов, ультразвуковых устройств и т. д.

4. Преобразование числа фаз. В ряде случаев встречается необходимость в преобразовании трехфазного тока в однофазный (например, для питания дуговых электропечей) или, наоборот, однофазного в трехфазный. Так, на электрифицированном транспорте используется контактная сеть однофазного переменного тока, а на электровозах используются вспомогательные машины трехфазного тока. В промышленности

используются трехфазно-однофазные преобразователи частоты с непосредственной связью, в которых наряду с преобразованием промышленной частоты в более низкую происходит и преобразование трехфазного напряжения в однофазное.

3. Преобразование постоянного тока одного напряжения в постоянный ток другого напряжения (преобразование постоянного напряжения). Подобное преобразование необходимо, например, на ряде подвижных объектов, где источником электроэнергии является аккумуляторная батарея или другой источник постоянного тока низкого напряжения, а для питания потребителей требуется более высокое постоянное напряжение (например, источники питания радиотехнической или электронной аппаратуры). Существуют и некоторые другие виды преобразования электрической энергии (например, формирование определенной кривой переменного напряжения), в частности, формирование мощных импульсов тока, которые находят применение в специальных установках, регулируемое преобразование переменного напряжения. Все виды преобразований осуществляют с использованием силовых ключевых элементов. Основные типы полупроводниковых ключей — диоды, силовые биполярные транзисторы, тиристоры, запираемые тиристоры, транзисторы с полевым управлением. Преобразователи на тиристорах принято делить на две группы: ведомые и автономные. В первых периодический переход тока с одного вентиля на другой (коммутация тока) осуществляется под действием переменного напряжения какого-либо внешнего источника. Если таким источником является сеть переменного тока, говорят о преобразователе, ведомом сетью. К таким преобразователям относятся: выпрямители, ведомые сетью (зависимые) инверторы, непосредственные преобразователи частоты, преобразователи числа фаз, преобразователи переменного напряжения. Если внешним источником напряжения, обеспечивающим коммутацию, является машина переменного тока (например, синхронный генератор или двигатель), преобразователь называют ведомым машиной. Автономные преобразователи выполняют функции преобразования формы или регулирования напряжения (тока) путем изменения состояния управляемых силовых ключевых элементов под действием сигналов управления. К автономным преобразователям относятся импульсные регуляторы постоянного и переменного напряжения, некоторые виды инверторов напряжения.

Вопросы для самоконтроля

- 1. Переменный ток (определение и символ).**
- 2. Инвертирование тока.**
- 3. Выпрямление переменного тока.**
- 4. Преобразование частоты (значение промышленной частоты)**
- 5. Начертить диаграмму переменного тока.**

Тема 8. Закон Джоуля-Ленца.

При прохождении электрического тока через металлический проводник электроны сталкиваются то с нейтральными молекулами, то с молекулами, потерявшими электроны. Движущийся электрон либо отщепляет от нейтральной молекулы новый электрон, теряя свою кинетическую энергию и образуя новый положительный ион, либо соединяется с молекулой, потерявшей электрон (с положительным ионом), образуя нейтральную молекулу. При столкновении электронов с молекулами расходуется энергия, которая превращается в тепло.

Любое движение, при котором преодолевается сопротивление, требует затраты определенной энергии.

Так, например, для перемещения какого-либо тела преодолевается сопротивление трения, и работа, затраченная на это, превращается в тепло. Электрическое сопротивление проводника играет ту же роль, что и сопротивление трения. Таким образом, для проведения тока через проводник источник тока затрачивает некоторую энергию, которая превращается в тепло.

Переход электрической энергии в тепловую отражает закон Ленца — Джоуля или закон теплового действия тока.

Русский ученый Ленц и английский физик Джоуль одновременно и независимо один от другого установили, что при прохождении электрического тока по проводнику количество теплоты, выделяемое в проводнике, прямо пропорционально квадрату тока, сопротивлению проводника и времени, в течение которого электрический ток протекал по проводнику.

Это положение называется законом Ленца - Джоуля. Если обозначить количество теплоты, создаваемое током, буквой Q (Дж), ток, протекающий по проводнику - I , сопротивление проводника - R и время, в течение которого ток протекал по проводнику - t , то закону Ленца - Джоуля можно придать следующее выражение: $Q=I^2Rt$.

Так как $I = U/R$ и $R = U/I$, то $Q = (U^2/R) t = UI t$.

Вопросы для самоконтроля

1. Дать определение протону.
2. Формула Закона Джоуля – Ленца.
3. Определение закона и применение его в практике.
4. Положительный и отрицательный заряд.
5. Единицы измерения количества теплоты, сопротивления проводника и силы тока.

Тема 9. Режимы электрических цепей.

Как уже было сказано ранее, любая электрическая цепь может иметь довольно сложную структуру, зависящую от количества элементов в ней и её разветвлённости. Всё это приводит к тому, что цепь может работать в различных режимах. Выделяют три основных режима работы: нагрузочный (или согласованный), режим короткого замыкания, а также режим холостого хода. Они отличаются друг от друга нагрузкой на электрическую цепь. Также можно выделить номинальный режим работы. В этом режиме работы все устройства в цепи работают при условиях, указанных для них как оптимальные. Эти характеристики прописываются производителем в паспортных данных при изготовлении устройства на заводе.

Нагрузочный, или согласованный режим работы. Если к источнику энергии в электрической цепи подключается какой-либо приёмник, то он обладает неким сопротивлением. Таким приёмником может быть любое устройство, например электрическая лампочка.

Если есть напряжение, то действует закон Ома, таким образом, ЭДС источника получается из суммы напряжений внешнего участка цепи и на внутреннем сопротивлении источника. Падение напряжение во внешней цепи будет равным напряжению на зажимах источника. Оно зависит от нагрузочного тока: чем меньше сопротивление нагрузки, тем больше ток и, соответственно, меньше напряжение на зажимах источника питания цепи. Другими словами можно сказать, что нагрузочный или согласованный режим работы представляет собой режим, при котором происходит передача нагрузки повышенной мощности от источника. В этом режиме сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению источника, при этом расходуется максимальная мощность. Однако, такой режим не рекомендуется использовать, так как при длительном превышении номинальных значений устройства могут выйти из строя.

Режим работы холостого хода. Этот режим работы электрической цепи характеризует разомкнутое её состояние – ток отсутствует, и все элементы отключены от источника питания.

В таком состоянии цепи внутреннее падение напряжение равно нулю, а напряжение на зажимах источника питания совпадает с ЭДС источника. Т. е., можно сказать, что режим холостого хода характеризует электрическую цепь, когда она находится в разомкнутом состоянии, а сопротивление нагрузки отсутствует полностью или отключено. Такое состояние цепи можно использовать для измерения ЭДС источника питания.

Режим короткого замыкания. Этот режим работы считается аварийным, электрическая цепь не может работать нормально. Короткое замыкание возникает при соединении двух

различных точек цепи, разница потенциалов которых отличается. Такое состояние не предусмотрено изготовителем устройства и нарушает его нормальную работу. В этом режиме работы зажимы источника энергии замкнуты проводником («закорочены»), при этом его сопротивление близко к нулю. Часто, короткое замыкание происходит в тех случаях, когда соединяются два провода, которые связывают между собой источник и приёмник в цепи, как правило, их сопротивление незначительно, так что его можно назвать нулевым. При возникновении режима короткого замыкания, ток в цепи значительно превышает номинальные значения (из-за отсутствия сопротивления). Это может привести в непригодное состояние источник энергии и приёмники в электрической цепи. В некоторых случаях это является результатом неправильных действий со стороны персонала, работающего с электротехническим оборудованием.

Вопросы для самоконтроля

1. **Определение характеристик электрооборудования по паспортным данным.**
2. **Режим холостого хода.**
3. **Режим короткого замыкания.**
4. **Рабочий режим или согласованный.**
5. **Характерные параметры для каждого режима в отдельности.**

Тема 10. Схемы электрических цепей.

Электрическая цепь - совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий об электродвижущей силе, токе и напряжении.

Простейшая электрическая установка состоит из источника (гальванического элемента, аккумулятора, генератора и т. п.), потребителей или приемников электрической энергии (ламп накаливания, электронагревательных приборов, электродвигателей и т. п.) и соединительных проводов, соединяющих зажимы источника напряжения с зажимами потребителя. Т.е. **электрическая цепь - совокупность соединенных между собой источников электрической энергии, приемников и соединяющих их проводов (линия передачи).**

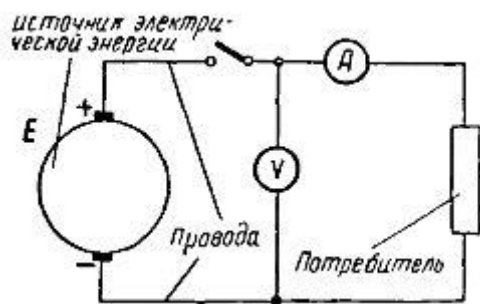


Рис.1. Схема электрической цепи

Электрическая цепь делится на внутреннюю и внешнюю части. К внутренней части электрической цепи относится сам источник электрической энергии. Во внешнюю часть цепи входят соединительные провода, потребители, рубильники, выключатели, электроизмерительные приборы, т. е. все то, что присоединено к зажимам источника электрической энергии.

Электрический ток может протекать только по замкнутой электрической цепи. Разрыв цепи в любом месте вызывает прекращение электрического тока.

Под электрическими цепями постоянного тока в электротехнике подразумевают цепи, в которых ток не меняет своего направления, т. е. полярность источников ЭДС в которых постоянна.

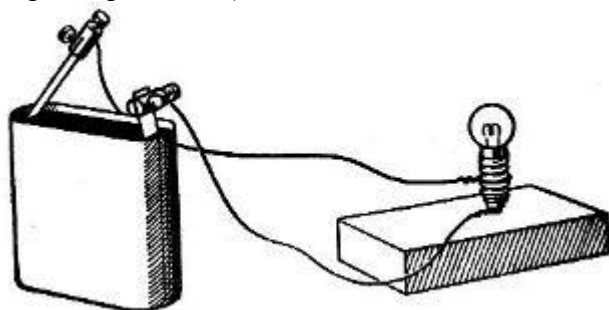
Под **электрическими цепями переменного тока** имеют ввиду цепи, в которых протекает ток, который изменяется во времени (смотрите, переменный ток).

Источники питания цепи - это гальванические элементы, электрические аккумуляторы, электромеханические генераторы, термоэлектрические генераторы,

фотоэлементы и др. В современной технике в качестве источников энергии применяют главным образом электрические генераторы. Все источники питания имеют внутреннее сопротивление значение которого невелико по сравнению с сопротивлением других элементов электрической цепи.

Электроприемниками постоянного тока являются электродвигатели, преобразующие электрическую энергию в механическую, нагревательные и осветительные приборы, электролизные установки и др.

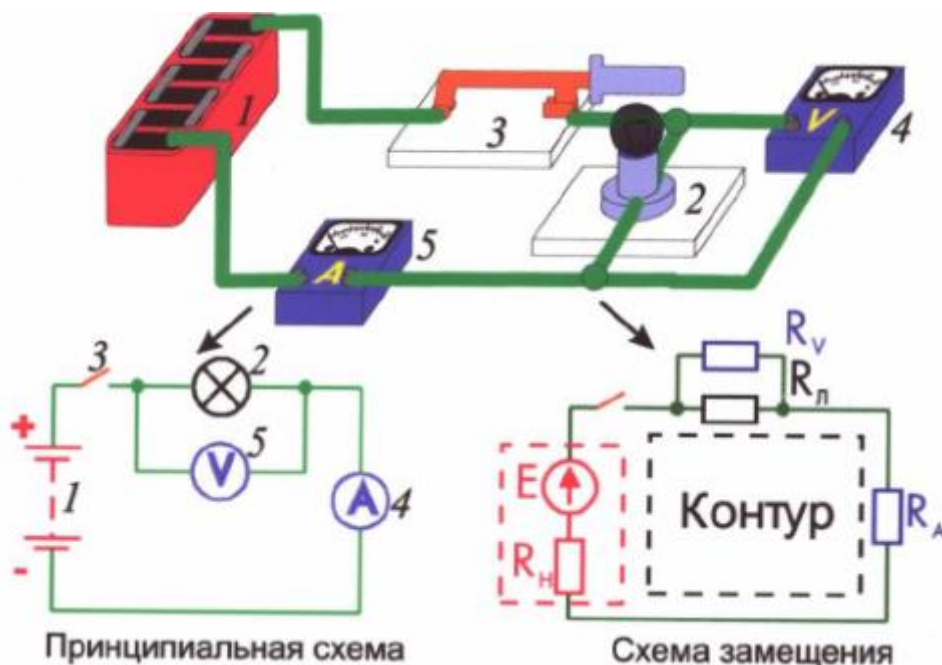
В качестве вспомогательного оборудования в электрическую цепь входят аппараты для включения и отключения (например, рубильники), приборы для измерения электрических величин (например, амперметры и вольтметры), аппараты защиты (например, плавкие предохранители).



Все электроприемники характеризуются электрическими параметрами, среди которых основные - напряжение и мощность. Для нормальной работы электроприемника на его зажимах необходимо поддерживать номинальное напряжение.

Элементы электрической цепи делятся на активные и пассивные. К **активным элементам электрической цепи** относятся те, в которых индуцируется ЭДС (источники ЭДС, электродвигатели, аккумуляторы в процессе зарядки и т. п.). К **пассивным элементам** относятся электроприемники и соединительные провода.





Элементы электрической цепи, обладающие электрическим сопротивлением и называемые резисторами, характеризуются так называемой **вольт-амперной характеристикой** - зависимостью напряжения на зажимах элемента от тока в нем или зависимостью тока в элементе от напряжения на его зажимах.

Если сопротивление элемента постоянно при любом значении тока в нем и любом значении приложенного к нему напряжения, то вольт-амперная характеристика прямая линия и такой элемент называется **линейным элементом**.

В общем случае **сопротивление зависит как от тока, так и от напряжения**. Одна из причин этого состоит в изменении сопротивления проводника при протекании по нему тока из-за его нагрева. При повышении температуры сопротивление проводника увеличивается. Но так как во многих случаях эта зависимость незначительна, элемент считают линейным.

Электрическая цепь, электрическое сопротивление участков которой не зависит от значений и направлений токов и напряжений в цепи, называется **линейной электрической цепью**. Такая цепь состоит только из линейных элементов, а ее состояние описывается линейными алгебраическими уравнениями.

Если сопротивление элемента цепи существенно зависит от тока или напряжения, то вольт-амперная характеристика носит нелинейный характер, а такой элемент называется **нелинейным элементом**.

Электрическая цепь, электрическое сопротивление хотя бы одного из участков которой зависит от значений или от направлений токов и напряжений в этом участке цепи, называется нелинейной электрической цепью. Такая цепь содержит хотя бы один нелинейный элемент.

Вопросы для самоконтроля

1. Электрическая цепь (определение).
2. Простейшая схема электрической цепи и ее элементы.
3. Что называют линейным и нелинейным элементом.
4. Принципиальная схема и схема замещения.
5. Параметры электрической цепи.

Тема 11. Законы Кирхгофа. Разветвленная электрическая цепь.

Первый Закон Кирхгофа.

Первый и второй законы сформулированы Кирхгофом в 1845 году и являются основными законами определяющими решения электрической цепи. Первый закон Кирхгофа применяется к узлам электрической цепи. Он гласит: **алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи равно нулю**:

$$\sum I_k = 0$$

Для узла и электрической цепи рис. 1. этот закон даёт выражение:

$$-I_1 - I_2 - I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

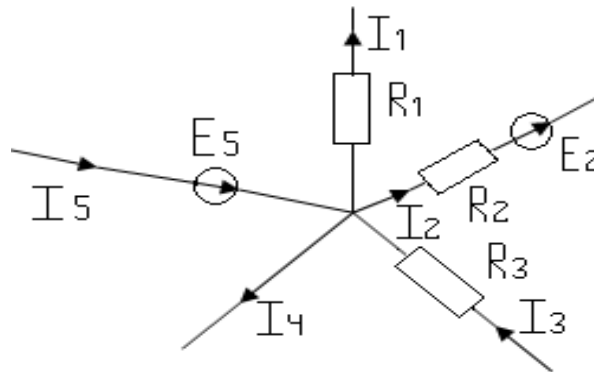


Рис.1

Первый закон описывает тот факт, что заряды одного знака не могут накапливаться в узле.

Второй закон Кирхгофа.

Второй закон Кирхгофа применяется к контурам электрической цепи. Он формулируется следующим образом: алгебраическая сумма падения напряжения на всех сопротивлениях замкнутого контура равна алгебраической сумме ЭДС, входящих (включённых) в этот контур.

$$\sum U_k = \sum E_k$$

При записи этого выражения задаются произвольно направления обхода и все слагаемые, совпадающие с направлением обхода берутся со знаком плюс, а не совпадающие – со знаком минус.

Для контура рис. 2. это выражение будет иметь вид:

6.

$$R_1 I_1 - R_2 I_2 + R_3 I_3 - R_4 I_4 = E_1 - E_2 - E_4$$

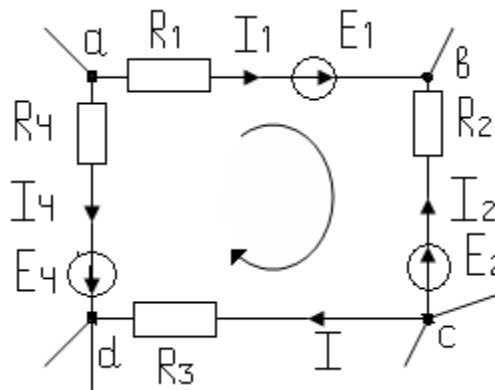


Рис. 2

Второй закон Кирхгофа описывает тот факт, что при обходе контура и возвращении в конечную точку, потенциал этой точки не может измениться, так - как иначе не соблюдался бы закон сохранения энергии.

Вопросы для самоконтроля

1. Первый закон Кирхгофа определение.
2. Какие свойства описывает первый закон Кирхгофа.
3. Второй закон Кирхгофа определение.
4. Какие свойства описывает второй закон Кирхгофа.

Тема 12. Разветвленная электрическая цепь с двумя узлами.



Рисунок 1 — Условное обозначение электрической цепи

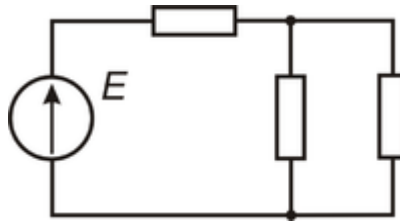


Рисунок 2 — Разветвленная цепь

В неразветвленной цепи рис. 1 протекает один и тот же ток.

В разветвленной ветви в каждой ветви протекает свой ток.

Ветвь можно определить, как участок цепи, образованный последовательно соединенными элементами, заключенным между двумя узлами. А узел, соответственно, есть точка цепи, в которой сходится не менее трех ветвей.

Если в месте пересечения двух линий на электрической схеме есть точка, то в этом месте существует электрическое соединение двух линий.

В противном случае, когда нет точки в месте пересечения двух линий, значит нет соединения, а линии только пересекаются.

Напряжение на участке цепи.

Под напряжением на некотором участке электрической цепи понимают разность потенциалов между крайними точками этого участка. На участке крайние точки которого обозначены буквами «а» и «в». Пусть ток I течет от точки «а» большего потенциала к точке «в» меньшего потенциала.

Следовательно, потенциал точки «а» (U_a) увеличение потенциала точки «в»

(U_b) на величину, равную произведению тока I на сопротивление R : $U_a = U_b + IR$

В соответствии с определением напряжения между точками «а» «в»: $U_{ав} = U_a - U_b$

Отсюда $U_{ав} = IR$, т.е. напряжение на сопротивлении равно произведению тока, протекающего по сопротивлению, на величину этого сопротивления.

Вопросы для самоконтроля

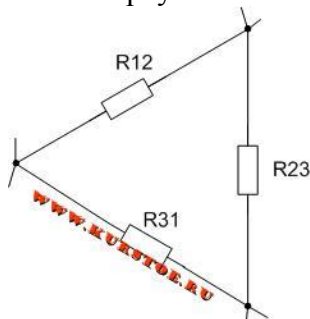
1. Токи протекающие в разветвленной цепи.
2. Что такое ветвь электрической цепи.
3. Напряжение на участке цепи.
4. Понятие потенциал.

Тема 13. Расчеты электрических цепей путем преобразования схем, (треугольник в звезду, звезду в треугольник)

Расчет и исследование сложных электрических цепей во многих случаях можно значительно облегчить и сделать более наглядным путем преобразования электрических схем одного вида в схемы другого вида. Одним из способов является эквивалентное **преобразование треугольника в звезду**. В этом методе выполняется преобразование пассивной части электрической цепи, т.е. приемников электрической энергии.

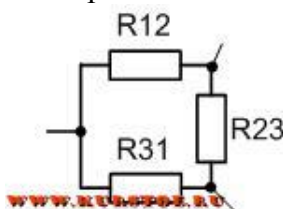
1 Определение соединения сопротивлений треугольником

Если три сопротивления соединены так, что образуют собою стороны треугольника, то такое соединение сопротивлений называют треугольником сопротивлений.



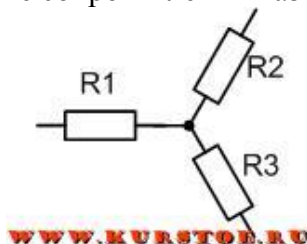
Соединение, при котором три сопротивления, находящиеся в пассивных ветвях, соединены между собою попарно и образуют замкнутый контур - называется треугольником.

Обычно в курсе электротехники принято элементы рисовать только горизонтально и вертикально. На следующем рисунке так же представлено соединение треугольником.



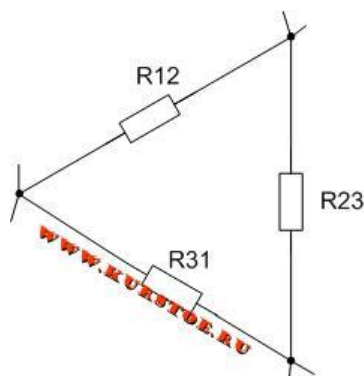
2 Определение соединения сопротивлений звездой

Если соединение трех сопротивлений имеет общий узел и имеет внешний вид трехлучевой звезды, то такое соединение сопротивлений называется звездой.

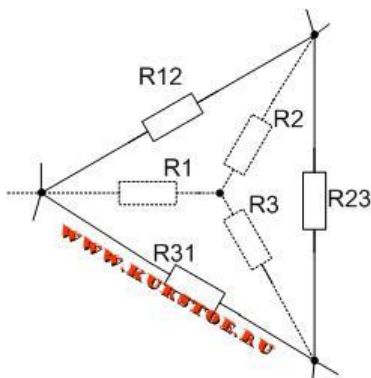


3 Причина преобразования треугольника в звезду

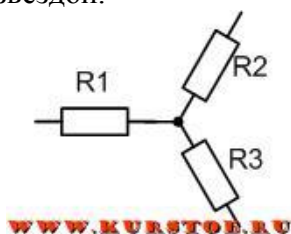
При расчете электрической цепи бывают случаи, когда нет ни последовательных, ни параллельных соединений сопротивлений. В этом случае можно попробовать отыскать соединение сопротивлений треугольником и выполнить эквивалентное преобразование треугольника в звезду.



Если в электрической цепи нашли соединение сопротивлений треугольником, то в узлы соединения сопротивлений подставляем концы лучей соединения сопротивлений в виде звезды.

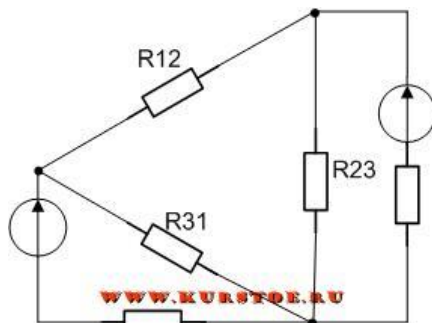


Далее убираем (удаляем первоначальное) соединение треугольником. В результате получается эквивалентное соединение звездой.

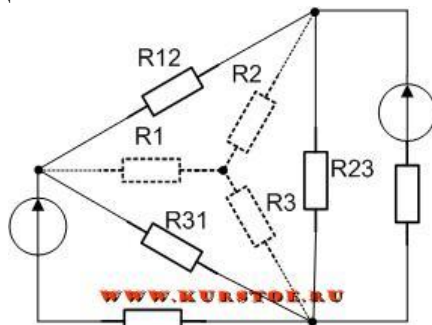


4 Пример преобразования

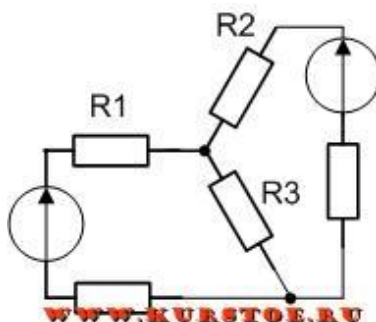
Для электрической цепи необходимо выполнить преобразование треугольника $R_{12} - R_{23} - R_{31}$ в звезду.



Добавляем к узлам подключения сопротивлений треугольником концы лучей подключения сопротивлений звездой.



Удаляем соединение сопротивлений треугольником. В результате остается подключение сопротивлений звездой. По формулам рассчитываются значения сопротивлений R_1, R_2, R_3 .



Вопросы для самоконтроля

1. Определение соединения сопротивлений треугольником
2. Определение соединения сопротивлений звездой
3. Причина преобразования треугольника в звезду
4. Пример преобразования

Тема 14. Метод эквивалентных сопротивлений

Пусть все сопротивления резистивных элементов ветвей и напряжение на входе этой схемы заданы и требуется определить токи ее отдельных участков. Для расчета воспользуемся методом эквивалентных преобразований, по которому отдельные участки схемы с параллельно или последовательно соединёнными элементами заменяют одним эквивалентным элементом. Постепенным преобразованием участков схему упрощают и приводят к простейшей схеме, состоящей из одного эквивалентного элемента. Электрические цепи с одним источником питания и смешанным соединением элементов можно рассчитывать не только методом эквивалентных преобразований. В первую очередь рассмотрим метод эквивалентных преобразований. Суть эквивалентного преобразования состоит в замене некоторой части цепи (подцепи) другой эквивалентной подцепью с более удобной структурой. Для определения понятия эквивалентности рассмотрим две цепи Π_1 и Π_2 (2.1) различной структуры, но с одинаковым числом n внешних выводов, с помощью которых они могут присоединяться к другим цепям или источникам. В методе эквивалентных преобразований последовательно заменяются отдельные участки цепи эквивалентными подцепями, в результате чего происходит существенное упрощение структуры. В процессе упрощения структуры необходимо оставлять без эквивалентных преобразований.

В упражнениях рассмотрены подробные решения четырех типовых задач и приведены варианты подобных задач для самостоятельного решения. Методика решения таких задач сводится к многократному применению простейших эквивалентных преобразований.

При расчетах сложных электрических цепей во многих случаях целесообразно производить их упрощение путем свертывания, заменяя отдельные участки цепи с последовательным, параллельным и смешанным соединениями сопротивлений одним эквивалентным сопротивлением с помощью метода эквивалентных преобразований (метода трансформаций) электрических цепей.

Матрично-топологический метод составления системы уравнений для расчета установившихся режимов, как правило, связан с введением понятия обобщенной ветви, содержащей наряду с пассивными элементами в ветви (R , L , C) также источник ЭДС, последовательно соединенный с пассивной частью ветви, и источник тока, включенный параллельно ветви с ЭДС. Введение этого понятия при возможности эквивалентных преобразований источников ЭДС в источники тока и наоборот позволяет составить наиболее экономные (в смысле числа неизвестных) системы уравнений. Сокращение числа узлов и ветвей в таком случае упрощает и описание цепи. Из рассмотрения исключаются узлы, к которым присоединены только две ветви.

Если каждый из подграфов резистивных ветвей, входящих в дерево или подграф связей, содержит управляемые напряжением источники тока, то они могут быть учтены в матрицах \mathbf{O}_d и \mathbf{R}_0 . Например, если в i -й резистивной ветви, входящей в дерево, имеется источник тока $J_i = g_i u_i$, управляемый напряжением u_i резистивной ветви дерева i , то соответствующий элемент g_{ij} матрицы \mathbf{O}_d равен g_i . (Заметим, что $g_{ij} = 0$, если в ветви i отсутствует управляемый напряжением u_i источник тока.) Точно так же если в подграфе связей содержится управляемый напряжением связи u_s источник тока $J_s = g_s u_s$, то его можно учесть добавлением в подматрицу \mathbf{G}_0 элемента g_s . Путем взаимных эквивалентных преобразований источников тока и ЭДС можно учесть все виды зависимых источников. Большинство реальных нагрузочных диаграмм электроприводов не соответствует диаграммам стандартных режимов. Поэтому для выбора двигателя необходимо реальную нагрузочную диаграмму преобразовать к одной из трех основных стандартных нагрузочных диаграмм, соответствующих режимам работы S_1 , S_2 , S_3 . Преобразование это должно быть

эквивалентным, т. е. реальный режим и расчетный эквивалентный должны соответствовать одинаковому среднему или максимальному превышению температуры двигателя.

Вопросы для самоконтроля

1. Резистивные элементы и их параметры.
2. Параллельное и последовательное соединение элементов.
3. Смешанное соединение элементов.
4. Определение «эквивалентное сопротивление».
5. Преобразование простой схемы элементов в эквивалентную.

Тема 15. Принцип наложения токов в линейных электрических цепях.

Линейные электрические цепи удовлетворяют принципу наложения (суперпозиции), согласно которому реакция линейной электрической цепи на совокупность воздействий равна сумме реакций, вызываемых в той же цепи каждым из воздействий в отдельности. Это означает, что если к линейной электрической цепи подведено n воздействий, например в виде напряжений, то реакция цепи, например ток в одном из устройств цепи, будет представлять собой сумму: где i - ток, вызываемый воздействием напряжения, если напряжения остальных воздействий положить равными нулю. Еще раз следует подчеркнуть, что принцип наложения применим лишь к линейным электрическим цепям. Более того, он может быть положен в основу определения линейной электрической цепи, а именно: если в некоторой электрической цепи реакция на сумму воздействий равна сумме реакций на каждое из воздействий в отдельности, то такая цепь называется линейной. Принцип наложения лежит в основе ряда эффективных расчетных методов теории линейных электрических цепей. Электрические цепи различаются по числу их внешних зажимов, к которым могут, подведены воздействия или (и) между которыми важно знать реакции, т. е., иначе говоря, по числу полюсов, с помощью которых данная цепь может быть соединена с другими, внешними по отношению к ней цепями. Так появляется понятие о N -полюснике, например двухполюснике, четырехполюснике или многополюснике, схемные изображения. Чаще других используются понятия двухполюсника и четырехполюсника. Двухполюсником (N -полюсником) может быть названа любая электрическая цепь, которая взаимодействует с внешними по отношению к ней цепями, т. е. обменивается с ними энергией, через посредство двух (N) ее полюсов и только через них. Двухполюсник будет пассивным, если энергия, отданная двухполюсником во внешнюю цепь, ни при каких условиях не может превышать той, которая была к нему подведена за все предшествующее время. Определение пассивного (активного) N -полюсника аналогично определению пассивного (активного) двухполюсника. Следует различать понятия пассивного (активного) N -полюсника и пассивной (активной) электрической цепи. Электрическая цепь будет активной, если в нее входит хотя бы один активный двухполюсник, или N -полюсник, и пассивной в противном случае. Цепь всегда будет активной, если она содержит активные компоненты, например транзисторы, электронные лампы, операционные усилители, или те или иные генераторы. Элементы электрических цепей и их свойства. Возникновение колебаний в электрической цепи связано с введением в цепь электрической энергии, посредством генераторов. Наряду с генераторами в электрической цепи имеются устройства, потребляющие электрическую энергию (потребители). Элементом электрической цепи будем называть идеализированное устройство, обладающее лишь каким-либо одним свойством. Различают активные и пассивные элементы электрических цепей. К первым относятся источники, а ко вторым - элементы резистивного сопротивления, индуктивности и емкости. Индуктивности и емкости часто называют реактивными элементами. Резистивное сопротивление. Элемент электрической цепи, который обладает свойством только рассеивать энергию, называется элементом резистивного сопротивления.

Вопросы для самоконтроля

1. Элемент электрической цепи.

2. Параметры резистивного сопротивления.
3. Линейная электрическая цепь.
4. Индуктивность и емкость.
5. Свойства элементов электрической цепи.

Тема 16. Методы контурных токов.

В методе контурных токов за неизвестные величины принимаются расчетные (контурные) токи, которые якобы протекают в каждом из независимых контуров. Таким образом, количество неизвестных токов и уравнений в системе равно числу независимых контуров цепи.

Расчет токов ветвей по методу контурных токов выполняют в следующем порядке:

1. Вычерчиваем принципиальную схему цепи и обозначаем все элементы.
2. Определяем все независимые контуры.
3. Произвольно задаемся направлением протекания контурных токов в каждом из независимых контуров (по часовой стрелке или против). Обозначаем эти токи. Для нумерации контурных токов можно использовать арабские сдвоенные цифры (I₁₁, I₂₂, I₃₃ и т. д.) или римские цифры.
4. По второму закону Кирхгофа, относительно контурных токов, составляем уравнения для всех независимых контуров. При записи равенства считать, что направление обхода контура, для которого составляется уравнение, совпадает с направлением контурного тока данного контура. Следует учитывать и тот факт, что в смежных ветвях, принадлежащих двум контурам, протекают два контурных тока. Падение напряжения на потребителях в таких ветвях надо брать от каждого тока в отдельности.
5. Решаем любым методом полученную систему относительно контурных токов и определяем их.
6. Произвольно задаемся направлением реальных токов всех ветвей и обозначаем их. Маркировать реальные токи надо таким образом, чтобы не путать с контурными. Для нумерации реальных токов можно использовать одиночные арабские цифры (I₁, I₂, I₃ и т. д.).

7. Переходим от контурных токов к реальным, считая, что реальный ток ветви равен алгебраической сумме контурных токов, протекающих по данной ветви.

При алгебраическом суммировании без изменения знака берется контурный ток, направление которого совпадает с принятым направлением реального тока ветви. В противном случае контурный ток умножается на минус единицу.

Пример расчёта сложной цепи методом контурных токов

В цепи, изображённой на рисунке 1, рассчитать все токи методом контурных токов. Параметры цепи: E₁ = 24 В, E₂ = 12 В, r₁ = r₂ = 4 Ом, r₃ = 1 Ом, r₄ = 3 Ом.

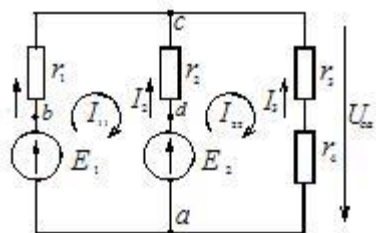


Рис. 2. Схема электрической цепи для примера расчета по методу контурных токов

Решение. Для расчета сложной цепи этим методом достаточно составить два уравнения, по числу независимых контуров. Контурные токи направляем по часовой стрелке и обозначаем I₁₁ и I₂₂ (см. рисунок 1).

По второму закону Кирхгофа относительно контурных токов составляем уравнения:

$$\begin{cases} I_{11}(r_1 + r_2) - I_{22}r_2 = E_1 - E_2, & \begin{cases} I_{11}8 - I_{22}4 = 12, \\ -I_{11}4 + I_{22}8 = 12. \end{cases} \\ -I_{11}r_2 + I_{22}(r_2 + r_3 + r_4) = E_2, \end{cases}$$

Решаем систему и получаем контурные токи I₁₁ = I₂₂ = 3 А.

Произвольно задаемся направлением реальных токов всех ветвей и обозначаем их. На рисунке 1 такими токами являются I₁, I₂, I₃. Направление у этих токов одинаковое – вертикально вверх.

Переходим от контурных токов к реальным. В первой ветви протекает только один контурный ток I_{11} . Направление его совпадает с направлением реального тока ветви. В таком случае реальный ток $I_1 + I_{11} = 3 \text{ А}$.

Реальный ток второй ветви формируется двумя контурными I_{11} и I_{22} . Ток I_{22} совпадает по направлению с реальным, а I_{11} направлен навстречу реальному. В результате $I_2 = I_{22} - I_{11} = 3 - 3 = 0 \text{ А}$.

В третьей ветви протекает только контурный ток I_{22} . Направление этого тока противоположно направлению реального, поэтому для I_3 можно записать $I_3 = -I_{22} = -3 \text{ А}$.

Следует отметить, как положительный факт, что в методе контурных токов по сравнению с решением по законам Кирхгофа приходится решать систему уравнений меньшего порядка. Однако этот метод не позволяет сразу определять реальные токи ветвей.

Вопросы для самоконтроля

- 1. Контур электрической цепи.**
- 2. Первый закон Кирхгофа.**
- 3. Второй закон Кирхгофа.**
- 4. Ветвь электрической цепи.**
- 5. Расчет простой электрической цепи.**

Тема 17. Расчет сложных электрических цепей

С помощью законов Ома и Кирхгофа в принципе можно рассчитать электрические цепи любой сложности. Однако решение в этом случае может оказаться слишком громоздким и потребует больших затрат времени. По этой причине для расчета сложных электрических цепей разработаны на основе законов Ома и Кирхгофа более рациональные методы расчета, два из которых: метод узлового напряжения и метод эквивалентного генератора, рассмотрены ниже.

Метод узлового напряжения

Этот метод рекомендуется использовать в том случае, если сложную электрическую схему можно упростить, заменяя последовательно и параллельно соединенные резисторы эквивалентными, используя при необходимости преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду. Если полученная схема содержит несколько параллельно соединенных активных и пассивных ветвей, как, например, схема на рис. 1., то ее расчет и анализ весьма просто можно произвести методом узлового напряжения.

Пренебрегая сопротивлением проводов, соединяющих ветви цепи, в ее схеме (рис. 1.27) можно выделить два узла: а и б. В зависимости от значений и направлений ЭДС и напряжений, а также значений сопротивлений ветвей между узловыми точками а и б установится определенное узловое напряжение U_{ab} . Предположим, что оно направлено так, как показано на рис. 1., и известно. Зная напряжение U_{ab} легко найти токи во всех ветвях.

Выберем положительные направления токов и обозначим их на схеме. Запишем уравнения по второму закону Кирхгофа для контуров (1.4), проходящих по первой и второй ветви, содержащих источники ЭДС, совершая обход контуров по часовой стрелке.

$$\text{Первая ветвь: } E_1 = I_1(r_{01} + R_1) + U_{ab}.$$

$$\text{Вторая ветвь: } -E_2 = -I_2(r_{02} + R_2) + U_{ab}.$$

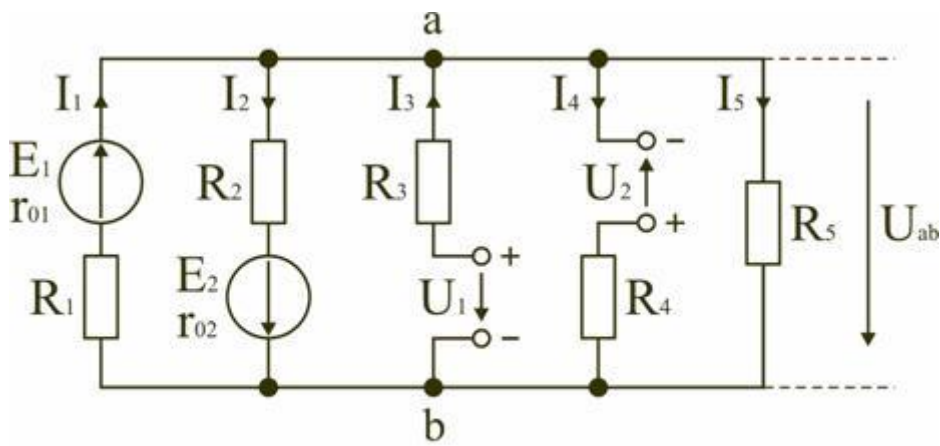


Рис. 3.

Определим значения токов, возникающих в первой и второй ветвях,
(1.20)

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{ab}}{r_{01} + R_1} = (E_1 - U_{ab})g_1,$$

(1.21)

$$I_2 = \frac{E_2 + U_{ab}}{r_{02} + R_2} = (E_2 + U_{ab})g_2,$$

$$g_1 = \frac{1}{r_{01} + R_1}; \quad g_2 = \frac{1}{r_{02} + R_2}$$

где: g_1 ; g_2 – проводимости соответственно первой и второй ветвей.

Запишем уравнения по второму закону Кирхгофа для ветвей (1.5), содержащих источники напряжений, совершая обход контуров также по часовой стрелке.

Третья ветвь: $U_{ab} - U_1 + I_3 R_3 = 0$.

Четвертая ветвь: $U_{ab} + U_2 - I_4 R_4 = 0$.

Определим значения токов, возникающих в третьей и четвертой ветвях,
(1.22)

$$I_3 = \frac{U_1 - U_{ab}}{R_3} = (U_1 - U_{ab})g_3,$$

(1.23)

$$I_4 = \frac{U_2 + U_{ab}}{R_4} = (U_2 + U_{ab})g_4,$$

$$g_3 = \frac{1}{R_3}; \quad g_4 = \frac{1}{R_4}$$

где: g_3 ; g_4 – проводимости соответственно третьей и четвертой ветвей.

Ток в пятой ветви определим по закону Ома:

(1.24)

$$I_5 = \frac{U_{ab}}{R_5} = U_{ab}g_5,$$

где $g_5 = \frac{1}{R_5}$ – проводимость пятой ветви.

Для вывода формулы, позволяющей определить напряжение U_{ab} , напомним уравнение по первому закону Кирхгофа (1.3) для узла а:

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0.$$

После замены токов их выражениями (1.20) – (1.24) и соответствующих преобразований получим

$$U_{ab} = \frac{E_1 g_1 - E_2 g_2 + U_1 g_3 - U_2 g_4}{g_1 + g_2 + g_3 + g_4 + g_5}$$

Формула узлового напряжения в общем случае имеет вид (1.25)

$$U_{ab} = \frac{\sum E g + \sum U g}{\sum g}$$

При расчете электрической цепи методом узлового напряжения после определения величины напряжения U_{ab} значения токов в ветвях находят по их выражениям (1.20) – (1.24).

При записи формулы (1.25) следует задаться положительным направлением узлового напряжения U_{ab} . Со знаком «+» в (1.25) должны входить ЭДС, направленные между точками а и b встречно напряжению U_{ab} , и напряжения ветвей, направленные согласно с U_{ab} . Знаки в формуле (1.25) не зависят от направления токов ветвей.

При расчете и анализе электрических цепей методом узлового напряжения рекомендуется выбирать положительные направления токов после определения узлового напряжения. В этом случае при расчете токов по выражениям (1.20) – (1.24) положительные направления токов нетрудно выбрать таким образом, чтобы все они совпадали с их действительными направлениями.

Проверка правильности произведенных расчетов проводится по первому закону Кирхгофа для узла а или b, а также составлением уравнения баланса мощностей.

Вопросы для самоконтроля

- 1. Закон Ома для полной цепи и для участка.**
- 2. Пример расчета сложной электрической цепи.**
- 3. Единицы измерения силы тока, напряжения, сопротивления.**
- 4. Метод узлового напряжения.**

Тема 18. Нелинейные электрические цепи постоянного тока.

В электрические цепи могут входить пассивные элементы, электрическое сопротивление которых существенно зависит от тока или напряжения, в результате чего ток не находится в прямо пропорциональной зависимости по отношению к напряжению. Такие элементы и электрические цепи, в которые они входят, называют нелинейными элементами.

Нелинейные элементы придают электрическим цепям свойства, недостижимые в линейных цепях (стабилизация напряжения или тока, усиление постоянного тока и др.). Они бывают неуправляемые и управляемые. Первые - двухполюсники - предназначены для работы без воздействия на них управляющего фактора (полупроводниковые терморезисторы и диоды), а вторые - многополюсники - используются при воздействии на них управляющего фактора (транзисторы и тиристоры).

Вольт-амперные характеристики нелинейных элементов

Электрические свойства нелинейных элементов представляют вольт-амперными характеристиками $I(U)$ экспериментально полученными графиками, отображающими зависимость тока от напряжения, для которых иногда составляют приближенную, удобную для расчетов эмпирическую формулу.

Неуправляемые нелинейные элементы имеют одну вольт-амперную характеристику, а управляемые - семейство таких характеристик, параметром которого является управляющий фактор.

У линейных элементов электрическое сопротивление постоянно, поэтому вольт-амперная характеристика их является прямой линией, проходящей через начало координат (рис. 1, а).

Вольт-амперные характеристики нелинейных имеют различную форму и разделяются на симметричные и несимметричные относительно осей координат (рис. 1, б, в).

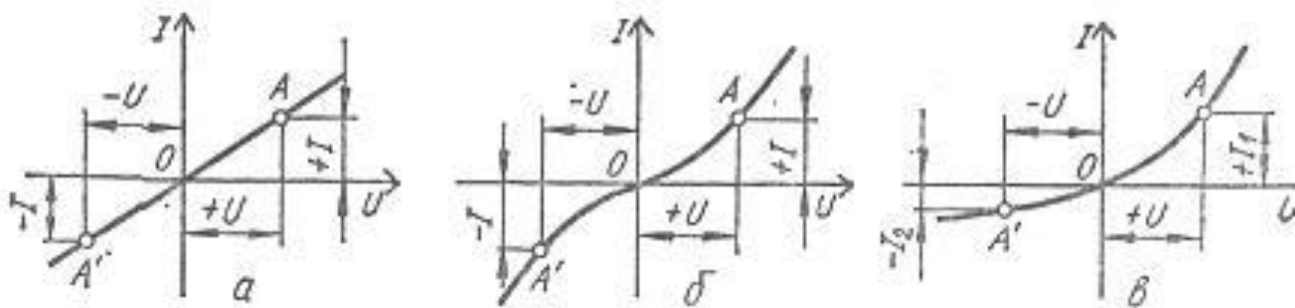


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики пассивных элементов: а - линейных, б - нелинейных симметричных, в - нелинейных несимметричных

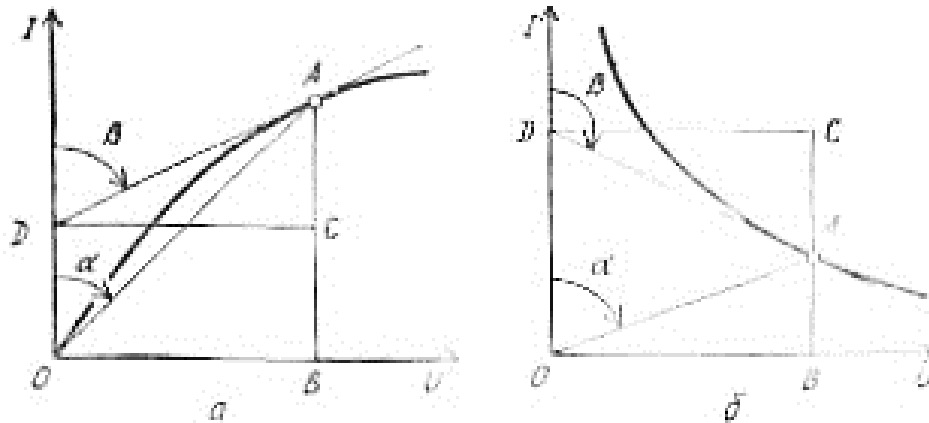


Рис. 2. Графики для определения статического и дифференциального сопротивлений нелинейных элементов на участках вольт-амперных характеристик: а - восходящем, б - падающем

У нелинейных элементов с симметричной вольт-амперной характеристикой, или у симметричных элементов, перемена направления напряжения не вызывает изменения значения тока (рис. 1, б), а у нелинейных элементов с несимметричной вольт-амперной характеристикой, или у несимметричных элементов, при одном и том же абсолютном значении напряжения, направленного в противоположные стороны, токи разные (рис. 1, в). Поэтому нелинейные симметричные элементы применяют в цепях постоянного и переменного тока, а нелинейные несимметричные элементы, как правило, в цепях переменного тока для преобразования переменного тока в ток постоянного направления.

Вопросы для самоконтроля

1. Нелинейные элементы электрической цепи.
2. Вольт – амперные характеристики нелинейных элементов.
3. Неуправляемые нелинейные элементы.
4. Нелинейные симметричные элементы.

Раздел 2. Электромагнитное и магнитное поле.

Тема 19. Закон Ампера. Магнитная индукция.

Сила Ампера это сила, с которой магнитное поле действует на проводник, с током помещённый в это поле. Величину этой силы можно определить с помощью закона Ампера. В этом законе определяется бесконечно малая сила для бесконечно малого участка проводника, что дает возможность применять этот закон для проводников различной формы.

$$\Delta F = B \cdot I \cdot \Delta l \cdot \sin \alpha$$

B - индукция магнитного поля, в котором находится проводник с током

I - сила тока в проводнике

Δl - бесконечно малый элемент длины проводника с током

$\sin \alpha$ - угол между индукцией внешнего магнитного поля и направлением тока в проводнике.

Направление силы Ампера находится по правилу левой руки. Когда левая рука расположена таким образом, что линии магнитной индукции внешнего поля входят в ладонь, а четыре вытянутых пальца указывают направление движения тока в проводнике, при этом отогнутый под прямым углом большой палец будет указывать направление силы, которая действует на элемент проводника.

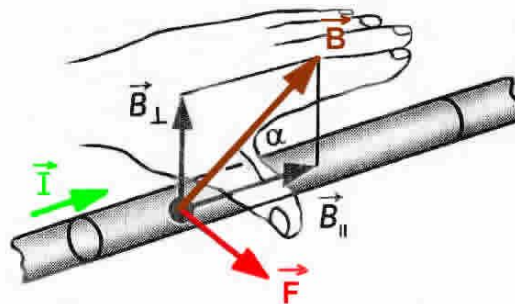


Рисунок 1 — правило левой руки

Из закона Ампера следует, что сила Ампера будет равна нулю, если угол между линией магнитной индукции поля и током будет равен нулю. Сила Ампера будет иметь максимально возможное значение для этой системы, если угол будет составлять 90 градусов, то есть ток будет перпендикулярен линии магнитной индукции.

С помощью закона Ампера можно найти силу, действующую в системе из двух проводников. Представим себе два бесконечно длинных проводника, которые находятся на расстоянии друг от друга. По этим проводникам протекают токи.

Сила, действующая со стороны проводника номер один на второй проводник, будет иметь такой же вид. При этом если токи в проводниках текут в одном направлении, то проводники будут притягиваться. Если же в противоположных, то они будут отталкиваться. Чтобы определить, в какую сторону направлено поле создаваемое проводником, можно воспользоваться правилом правого винта.

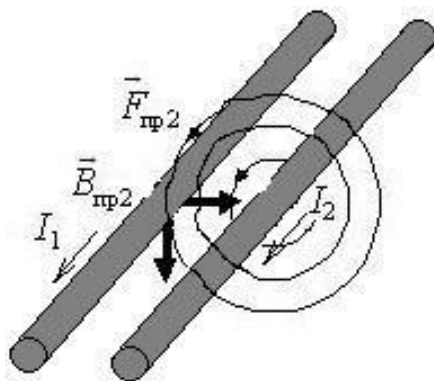


Рисунок 2 — Параллельные проводники с током

Используя параллельные проводники и выражение силы Ампера для них можно определить единицу в один Ампер. Если по бесконечно длинным параллельным проводникам, находящимся на расстоянии в один метр, текут одинаковые токи силой в один ампер, то силы взаимодействия между ними будут составлять $2 \cdot 10^{-7}$ Ньютона, на каждый метр длины. Используя эту зависимость, можно выразить чему будет равен один Ампер.

Вопросы для самоконтроля

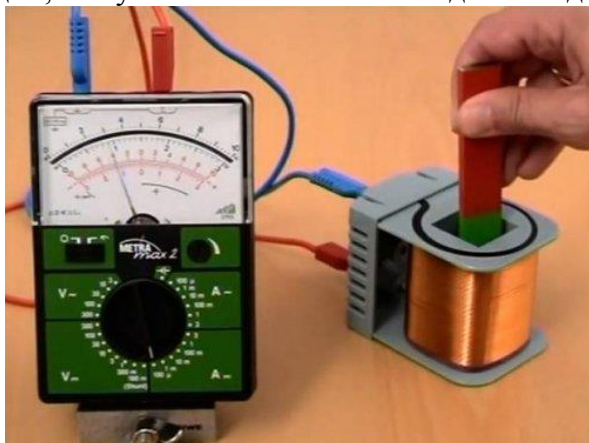
1. Сила Ампера.
2. Направление силы Ампера.
3. Правило левой руки.
4. Параллельные проводники с током.

Тема 20. Магнитный поток и потокоцепление. Индуктивность.

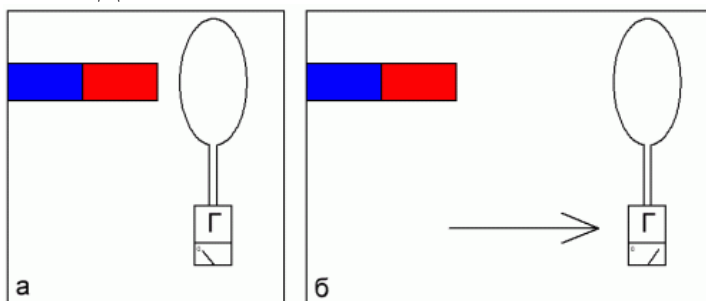
Из опыта известно, что возле постоянных магнитов, равно как и вблизи проводников с током, можно наблюдать физические эффекты, такие как механическое действие на другие

магниты или проводники с током, а также появление ЭДС в движущихся в данном пространстве проводниках.

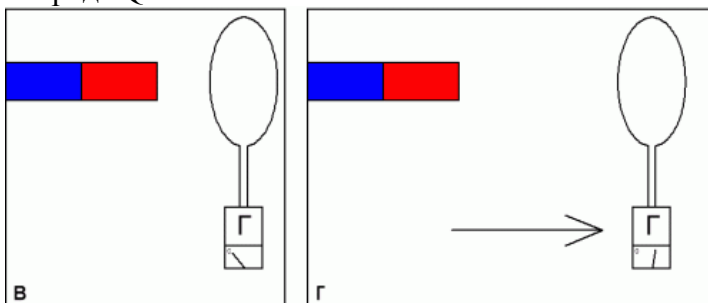
Необычное состояние пространства возле магнитов и проводников с током, называется магнитным полем, количественные характеристики которого легко определяются по данным явлениям: по силе механического воздействия или по электромагнитной индукции, по сути — по величине наводимой в движущемся проводнике ЭДС.



Явление наведения ЭДС в проводнике (явление электромагнитной индукции) проявляет себя в различных условиях. Вы можете двигать проводник через однородное магнитное поле, а можете просто изменять магнитное поле возле неподвижного проводника. В обоих случаях изменяющееся в пространстве магнитное поле станет наводить в проводнике ЭДС.



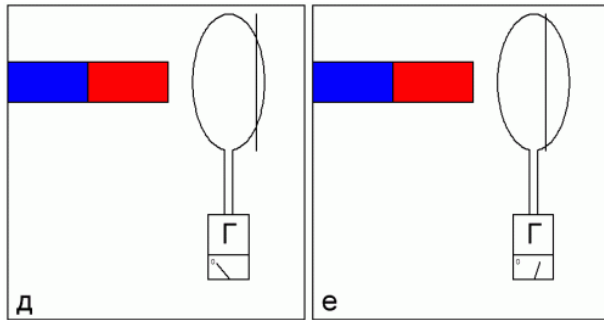
Простое экспериментальное приспособление для исследования данного явления изображено на рисунке. Здесь проводящее (медное) кольцо соединено своими выводами с баллистическим гальванометром, по отклонению стрелки которого можно будет судить о количестве электрического заряда, проходящего через эту нехитрую цепь. Сначала разместим кольцо центром в какой-нибудь точке пространства около магнита (положение а), затем резко отодвинем кольцо (в положение б). Гальванометр покажет значение прошедшего по цепи заряда Q .



Теперь поместим кольцо в другую точку, чуть-чуть подальше от магнита (в положение в), и снова, с такой же скоростью, резко отодвинем его в сторону (в положение г). Отклонение стрелки гальванометра будут меньше чем в первом эксперименте. А если увеличить сопротивление петли R , например заменив медь на вольфрам, то перемещая кольцо аналогичным образом мы заметим, что гальванометр покажет заряд еще меньший, однако величина этого движущегося через гальванометр заряда в любом случае будет обратно пропорциональна сопротивлению петли.

Эксперимент отчетливо демонстрирует, что пространство вокруг магнита в каждой его точке обладает каким-то свойством, чем-то таким, что напрямую влияет на количество заряда, проходящего через гальванометр, когда мы отодвигаем кольцо от магнита. Назовем

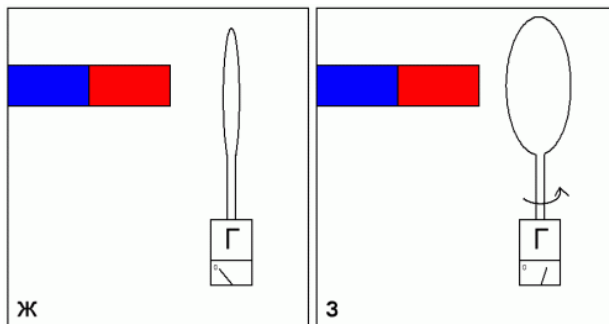
это что-то, находящееся около магнита, **магнитным потоком**, и обозначим его количественную величину буквой Φ . Отметим выявленную зависимость $\Phi \sim Q \cdot R$ и $Q \sim \Phi / R$.



Усложним эксперимент. Закрепим медную петлю в определенной точке напротив магнита, рядом с ним (в положении д), но теперь будем изменять площадь петли (перекрывая ее часть проводником). Показания гальванометра будут пропорциональны изменению площади кольца (в положении е).

$$\Delta\Phi = B \cdot \Delta S$$

Следовательно действующий на петлю магнитный поток Φ от нашего магнита пропорционален площади петли. А вот магнитная индукция B , связанная с положением кольца относительно магнита, но не зависящая от параметров кольца, определяет свойство магнитного поля в каждой рассматриваемой точке пространства возле магнита.



Продолжая эксперименты с медным кольцом, теперь будем изменять положение плоскости кольца относительно магнита в начальный момент (положение ж), и затем поворачивать его до положения вдоль оси магнита (положение з).

Заметим, что чем больше изменение угла между кольцом и магнитом — тем больше заряда Q протекает по цепи через гальванометр. Это значит, что магнитный поток через кольцо пропорционален косинусу угла между магнитом и нормалью к плоскости кольца.

$$d\Phi = B \cdot \cos\beta \cdot dS$$

Таким образом можно заключить, что **магнитная индукция B** — есть величина векторная, направление которой в данной точке совпадает с направлением нормали к плоскости кольца в том его положении, когда при резком отодвигании кольца далеко от магнита, проходящий по цепи заряд Q максимален.

Вместо магнита в эксперименте можно применять катушку электромагнита, отодвигать эту катушку или изменять в ней ток, усиливая или уменьшая таким образом магнитное поле, пронизывающее экспериментальный виток.

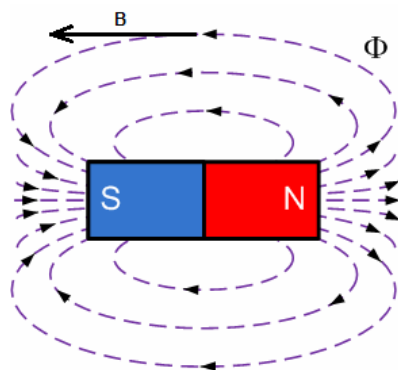
Площадь, пронизываемая магнитным полем, не обязательно может быть ограничена круглым витком, это может быть в принципе любая поверхность, магнитный поток через которую определяется тогда путем интегрирования:

$$\Phi = \int_s B \cdot \cos\beta \cdot dS$$

Выходит, что **магнитный поток Φ** — это поток вектора магнитной индукции B через поверхность S . А магнитная индукция B — это плотность магнитного потока Φ в данной точке поля. Магнитный поток Φ измеряется в единицах «Вебер» - Вб. Магнитная индукция B измеряется в единицах «Тесла» - Тл.

Если все пространство вокруг постоянного магнита или катушки с током исследовать подобным образом, при помощи витка с гальванометром, то можно построить в этом пространстве бесчисленное множество так называемых «магнитных линий» - линий вектора магнитной индукции B - направление касательных в каждой точке которых будет соответствовать направлению вектора магнитной индукции B в данных точках исследуемого пространства.

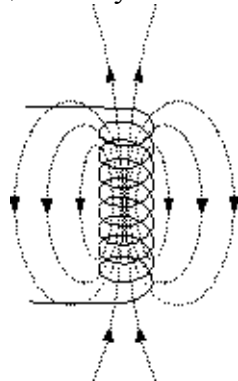
Разделив пространство магнитного поля воображаемыми трубками единичного поперечного сечения $S=1$, можно получить так называемые единичные магнитные трубки, оси которых называют единичными магнитными линиями. При помощи данного подхода можно наглядно изобразить количественную картину магнитного поля, и в этом случае магнитный поток будет равен количеству линий, проходящих через выбранную поверхность.



Магнитные линии непрерывны, они выходят из северного полюса и обязательно входят в южный, поэтому суммарный магнитный поток через любую замкнутую поверхность равен нулю. Математически это выглядит так:

$$\Phi = \oint_S B \cdot dS = 0$$

Рассмотрим магнитное поле, ограниченное поверхностью цилиндрической катушки. По сути — магнитный поток, пронизывающий поверхность, образованную витками данной катушки. В этом случае общую поверхность можно разделить на отдельные поверхности для каждого из витков катушки. На рисунке видно, что поверхности верхних и нижних витков катушки пронизываются четырьмя единичными магнитными линиями, а поверхности витков в середине катушки — восемью.



Чтобы найти величину полного магнитного потока через все витки катушки, необходимо суммировать магнитные потоки, пронизывающие поверхности каждого из ее витков, то есть магнитные потоки, сцепленные с отдельными витками катушки:

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3 + \Phi_4 + \Phi_5 + \Phi_6 + \Phi_7 + \Phi_8, \text{ если в катушке 8 витков.}$$

Для примера симметричной катушки, изображенной на предыдущем рисунке:

$$\Phi \text{ верхних витков} = 4 + 4 + 6 + 8 = 22;$$

$$\Phi \text{ нижних витков} = 4 + 4 + 6 + 8 = 22.$$

$$\Phi \text{ общее} = \Phi \text{ верхних витков} + \Phi \text{ нижних витков} = 44.$$

Здесь и вводится понятие «потокосцепление». **Потокосцепление** — это общий магнитный поток, сцепленный со всеми витками катушки, численно равный сумме магнитных потоков, сцепленных с отдельными ее витками:

$$\Psi = \Phi m \cdot w_3$$

Φm - магнитный поток, создаваемый током через один виток катушки; w_3 - эффективное число витков в катушке;

Потокосцепление — величина виртуальная, так как реально нет никакой суммы отдельных магнитных потоков, а есть общий магнитный поток. Тем не менее, когда реальное распределение магнитного потока по виткам катушки неизвестно, а известно потокосцепление, то катушку можно заменить эквивалентной, вычислив количество эквивалентных одинаковых витков, необходимых для получения требуемого общего магнитного потока.

Вопросы для самоконтроля

1. Явление наведения ЭДС в проводнике.
2. Магнитная индукция.
3. Магнитный поток.
4. Потокосцепление.

Тема 21. Напряженность магнитного поля.

Напряжённость магнитного поля — векторная физическая величина, равная разности вектора магнитной индукции B и вектора намагничённости M . Обычно обозначается символом H . — **магнитная постоянная**. **Напряжённость магнитного поля** измеряется в эрстедах (Э), в системе СИ — в амперах на метр (А/м).

Магнитное поле создается проводниками с током, движущимися электрическими заряженными частицами и телами, а также переменными электрическими полями.

Напряженность магнитного поля первоначально была введена в форме закона Кулона через понятие магнитной массы, аналогичной электрическому заряду, **как механическая сила** взаимодействия двух точечных магнитных масс в однородной среде, которая пропорциональна произведению этих масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Силовые линии напряженности магнитного поля H - есть воображаемые линии в трехмерном физическом пространстве, направление касательных к которым в каждой точке поля будет совпадать с направлением напряженности.

При помещении в магнитное поле вещества в нем происходят процессы ориентации различных структур, обладающих дипольным магнитным моментом. Так электроны, перемещаясь по орбитам, образуют элементарные токи и соответствующие магнитные поля или магнитные диполи. Кроме этого, электроны создают магнитный момент за счет вращения вокруг собственной оси, называемый спиновым магнитным моментом.

Магнитный диполь можно характеризовать вектором **магнитного момента**, численно равным произведению величины элементарного тока на площадь контура, ограниченного этим током в пространстве и направленным по нормали к площади контура.

Геометрическая сумма всех магнитных моментов образует магнитный момент тела который обычно соотносят с объемом вещества и называют намагничённостью или интенсивностью намагничивания.

Линейный интеграл вектора напряженности магнитного поля, взятый по замкнутому контуру, равен полному (суммарному) электрическому току, проходящему через поверхность, ограниченную этим контуром или МДС вдоль замкнутого контура равна полному току, охватываемому этим током.

Закон полного тока является одним из важнейших законов, устанавливающим неразрывную связь между электрическим током и магнитным полем. Из него следует, что **любая магнитная линия обязательно охватывает электрический ток и, наоборот, электрический ток всегда окружен магнитным полем.**

Вопросы для самоконтроля

1. Напряжённость магнитного поля.
2. Силовые линии напряженности магнитного поля.
3. Магнитный диполь.
4. Закон полного тока.

Тема 22. Магнитные цепи: определение, классификация, расчеты.

Магнитной цепью называется часть электротехнического устройства, предназначенная для создания в его рабочем объеме магнитного поля заданной величины и конфигурации.

Магнитная цепь электрических реле, трансформаторов, электрических машин состоит из источников, возбуждающих магнитное поле, и магнитопровода, в котором магнитный поток концентрируется и практически весь замыкается. При расчете магнитной цепи может быть поставлена задача определения намагничивающей силы (н.с.) при заданном магнитном потоке или индукции - это прямая задача. Обратная задача - определить магнитный поток по намагничивающей силе.

В обеих задачах должны быть известны размеры участков магнитной цепи и кривая намагничивания материала. Расчет магнитной цепи производится на основании первого закона Кирхгофа, по которому алгебраическая сумма магнитных потоков в узле магнитной цепи равна 0:

$$\sum_{k=1}^m \Phi_k = 0$$

Циркуляция вектора напряженности магнитного поля H по замкнутому контуру равна алгебраической сумме токов, охватываемых этим контуром. Если контур интегрирования охватывает W витков, то

Закон Ома для участка магнитной цепи длиной $l_{\text{ср}}$ и площадью S . При напряжении U_m между концами участка связь между напряженностью магнитного поля H и индукцией B выражается формулой:

В этом выражении Φ аналогичен току электрической цепи, а магнитное напряжение - электрическому напряжению.

Магнитное сопротивление определяется воздушным зазором. При наличии воздушного зазора для создания соответствующей индукции требуется большой ток. При отсутствии воздушного зазора для создания соответствующей индукции требуется небольшой ток.

Нелинейность кривой намагничивания обуславливает нелинейность индуктивного сопротивления катушки на магнитном сердечнике.

Катушки индуктивности на ферромагнитном магнитопроводе считаются нелинейными элементами как в цепи постоянного тока, так и при синусоидальном напряжении.

Вопросы для самоконтроля

1. Определение магнитной цепи.
2. Магнитная цепь электрических реле, трансформаторов, электрических машин.
3. Циркуляция вектора напряженности магнитного поля.
4. Магнитное сопротивление.

Тема 23. Неразветвленные и разветвленные магнитные цепи.

По виду магнитные цепи делятся на неразветвлённые и разветвлённые, а по структуре на однородные и неоднородные.

Неразветвлённой магнитной цепью называют такую цепь, через элементы которой проходит один и тот же магнитный поток. В разветвленной магнитной цепи содержатся участки (ветви), в которых поток различен.

В однородной цепи поток проходит по участкам с одинаковыми магнитными свойствами. Неоднородной называют магнитную цепь, состоящую из участков, имеющих разные сечения, воздушные зазоры, ферромагнитные тела с различными свойствами, немагнитные вставки.

Если в разветвлённой цепи есть точка, в которой сходятся участки с различными потоками, то для такой точки (узла цепи) справедлив первый закон Кирхгофа для магнитной цепи, утверждающий, что алгебраическая сумма магнитных потоков, сходящихся в узле, равна нулю:

$$\sum \Phi = 0$$

Для замкнутого контура магнитной цепи можно применять второй закон Кирхгофа, по которому алгебраическая сумма падений магнитных напряжений равна алгебраической сумме МДС,

$$\sum U_m = \sum Iw,$$

где Iw – МДС, равная произведению намагничивающего тока I на число витков катушки w , обозначается МДС можно буквой F .

Сравнивая выражения, описывающие законы Кирхгофа для электрических и магнитных цепей, можно отметить аналогию между ними. При этом току, напряжению, ЭДС и сопротивлению в электрических цепях соответствуют магнитный поток, магнитное напряжение, МДС и магнитное сопротивление в магнитных цепях. Отмеченная аналогия позволяет при расчётах изображать магнитные цепи в виде, напоминающем электрические принципиальные схемы. Такие схемы называются эквивалентными. На них источник ЭДС заменяется источником МДС, а вместо потребителей энергии изображаются прямоугольниками участки магнитной цепи с различным магнитным сопротивлением. Участки, образованные воздушными зазорами и немагнитными вставками, изображаются линейными элементами, а выполненные из ферромагнитного материала изображаются как нелинейные элементы.

Пример эквивалентной схемы цепи приведён на рисунке 1. Эта схема соответствует неразветвлённой магнитной цепи, состоящей из двух последовательных участков. Первый выполнен из ферромагнитного материала, а второй содержит воздушный зазор. Магнитное поле может возбуждаться постоянным магнитом или проводником с током, который чаще всего выполняется в виде катушки из изолированного провода (соленоида). Направление магнитного потока, создаваемого такой катушкой, можно определить правилом правого винта.

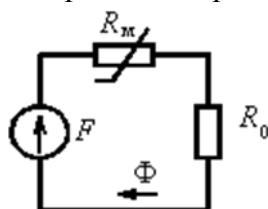


Рисунок 1 – Эквивалентная расчётная схема магнитной цепи

Если такой винт расположить на оси катушки и начать вращать его по направлению протекания тока в обмотке соленоида, то направление перемещения винта совпадёт с направлением магнитного потока.

Закон электромагнитной силы Ампера устанавливает взаимосвязь между током в проводнике и силой, действующей на этот проводник, если последний находится в равномерном магнитном поле. В соответствии с этим законом на прямолинейный проводник с электрическим током, помещённый в равномерное магнитное поле, действует сила

$$F_{эм} = B \cdot I \cdot L \cdot \sin \alpha$$

где B – магнитная индукция;

I – сила тока в проводнике;
 L – длина проводника;
 $\sin\alpha$ – угол между током и магнитной индукцией.

Задачей расчета магнитной цепи является определение значения магнитодвижущей силы F , необходимой для создания магнитного потока Φ или индукции B заданной величины в рабочем пространстве (прямая задача). Иногда приходится решать и обратную задачу, когда по заданному значению магнитодвижущей силы требуется определить величину магнитного потока или индукции на участке магнитной цепи (например, в воздушном зазоре).

Так как магнитная цепь является нелинейным устройством, то для её расчёта не всегда можно непосредственно применять законы Ома и Кирхгофа. В этом случае для расчёта таких устройств можно использовать методы анализа нелинейных цепей.

Вопросы для самоконтроля

1. На какие виды делятся магнитные цепи.
2. Неразветвленная магнитная цепь.
3. Что такое МДС.
4. Закон электромагнитной силы Ампера.

Тема 24. Разветвленные магнитные цепи.

Магнитной цепью (магнитопроводом) называется совокупность различных ферромагнитных и неферромагнитных частей электротехнических устройств для создания магнитных полей нужной конфигурации и интенсивности.

В различных областях техники широкое применение находят разнообразные электромагнитные механизмы и устройства, осуществляющие преобразование электрической энергии в механическую или создающие магнитные поля с необходимыми характеристиками.

К электротехническим механизмам постоянного тока можно отнести электромагнитные и магнитоэлектрические реле, тяговые электромагниты (подъемные), а также магнитные цепи электрических машин постоянного тока и магнитные системы с постоянными магнитами.

К электротехническим устройствам переменного тока можно отнести электромагниты, реле, контакторы, трансформаторы, индуктивные электромеханические преобразователи, дроссели, магнитные усилители, электрические машины переменного тока и т.д. В основе принципа действия их лежит использование свойств ферромагнитных материалов при возбуждении в них переменных во времени магнитных потоков.

Таким образом, в разного рода устройствах магнитное поле может возбуждаться либо постоянным магнитом, либо катушкой с током, расположенной в той или иной части магнитной цепи.

К простейшим магнитным цепям можно отнести тороид из однородного ферромагнитного материала (рис.1)

Такие магнитопроводы применяются в многообмоточных трансформаторах, магнитных усилителях, в элементах ЭВМ и других электрических устройствах.

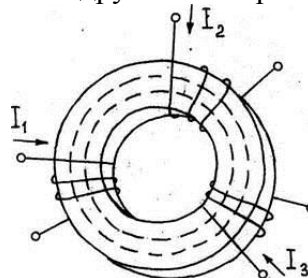


Рис. 1. Тороид

На рис.2. изображена магнитная цепь электромеханического устройства, подвижная часть которого втягивается в электромагнит при постоянном (или переменном) токе в катушке

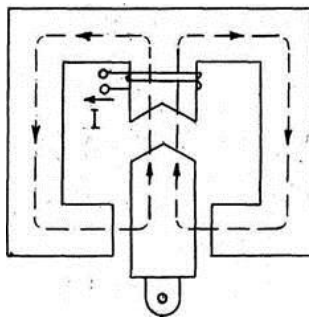


Рис.2. Электромеханическое устройство со втягивающимся сердечником

На рис.3. изображена магнитная цепь, в которой магнитное поле возбуждается постоянным магнитом. Если подвижная катушка, расположенная на ферромагнитном цилиндре, включена в цепь постоянного тока, то на неё действует вращающий момент. Поворот катушки с током не влияет на магнитное поле магнитной цепи. Такая магнитная цепь есть в электроизмерительных приборах магнитоэлектрической системы.

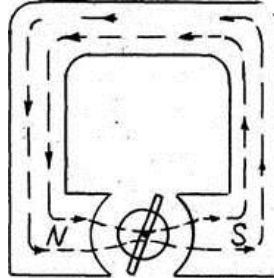


Рис.3. Магнитная цепь с постоянным магнитом

Рассмотренные магнитные цепи, как и другие возможные конструкции, можно разделить на неразветвленные магнитные цепи (рис.1, 3), в которых магнитный поток в любом сечении одинаков, и разветвленные магнитные цепи (рис.2), в которых магнитные потоки в различных сечениях цепи различны.

В большинстве случаев (кроме некоторых с допущениями, и определенными режимами работы) магнитную цепь считают нелинейной.

Вопросы для самоконтроля

1. Виды магнитопроводов.
2. Торойд.
3. Ферромагнитный цилиндр.
4. Разветвленные магнитные цепи.

Тема 25. Электромагнитная индукция. Правило Ленца.

Электромагнитная индукция - это явление возникновения тока в замкнутом проводнике, при прохождении через него магнитного потока. То есть, благодаря этому явлению мы можем преобразовывать механическую энергию в электрическую - и это замечательно. Ведь до открытия этого явления люди не знали о методах получения электрического тока, кроме гальваники.

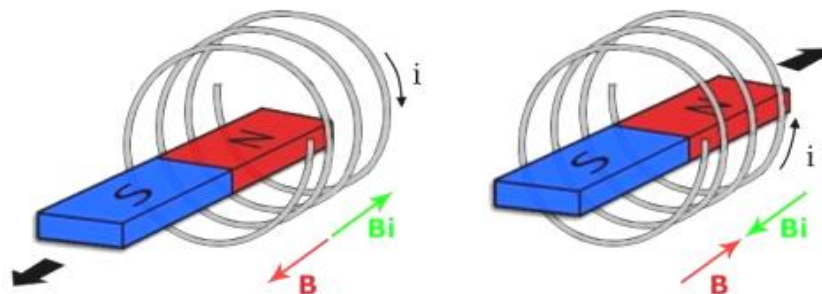
Когда проводник оказывается под действием магнитного поля, в нем возникает ЭДС, которую количественно можно выразить через закон электромагнитной индукции.

Закон электромагнитной индукции

Электродвижущая сила, индуцируемая в проводящем контуре, равна скорости изменения магнитного потока, сцепляющегося с этим контуром.

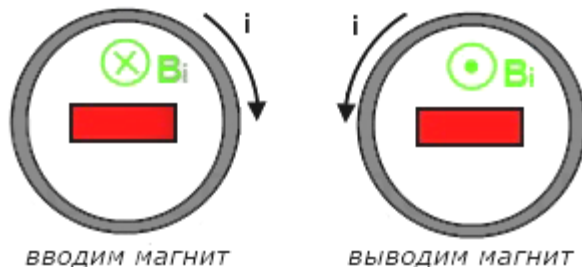
В катушке, которая имеет несколько витков, общая ЭДС зависит от количества витков n .

ЭДС возбуждаемая в контуре, создает ток. Наиболее простым примером появления тока в проводнике является катушка, через которую проходит постоянный магнит. Направление индуцируемого тока можно определить с помощью правила Ленца.



Правило Ленца

Ток, индуцируемый при изменении магнитного поля проходящего через контур, своим магнитным полем препятствует этому изменению.



В случае, когда мы вводим магнит в катушку, магнитный поток в контуре увеличивается, а значит магнитное поле, создаваемое индуцируемым током, по правилу Ленца, направлено против увеличения поля магнита. Чтобы определить направление тока, нужно посмотреть на магнит со стороны северного полюса. С этой позиции мы будем вкручивать буравчик по направлению магнитного поля тока, то есть навстречу северному полюсу. Ток будет двигаться по направлению вращения буравчика, то есть по часовой стрелке.

В случае же, если мы выводим магнит из катушки, магнитный поток в контуре уменьшается, а значит магнитное поле, создаваемое индуцируемым током, направлено против уменьшения поля магнита. Чтобы определить направление тока, нужно выкручивать буравчик, направление вращения буравчика укажет направление тока в проводнике – против часовой стрелки.

Вопросы для самоконтроля

1. Электромагнитная индукция.
2. Закон электромагнитной индукции.
3. Правило Ленца.

Тема 26. Принцип действия трансформатора.

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. Простейший трансформатор состоит из стального магнитопровода и двух расположенных на нем обмоток. Обмотки выполнены из изолированного провода и электрически не связаны. К одной из обмоток подается электрическая энергия от источника переменного тока. Эту обмотку называют *первичной*. К другой обмотке, называемой *вторичной*, подключают потребители (непосредственно или через выпрямитель).

При подключении трансформатора к источнику переменного тока (электрической сети) в витках его первичной обмотки протекает переменный ток i_1 , образуя переменный магнитный поток Φ . Этот поток проходит по магнитопроводу трансформатора и, пронизывая витки первичной и вторичной обмоток, индуцирует в них переменные э. д. с. e_1 и e_2 . Если к вторичной обмотке присоединен какой-либо приемник, то под действием э. д. с. e_2 по ее цепи проходит ток i_2 .

Э. д. с, индуцированная в каждом витке первичной и вторичной обмоток трансформатора, согласно закону электромагнитной индукции зависит от магнитного потока, пронизывающего виток, и скорости его изменения. Магнитный поток каждого

трансформатора является определенной величиной, зависящей от напряжения и частоты изменения переменного тока в источнике, к которому подключен трансформатор. Постоянна также и скорость изменения магнитного потока, она определяется частотой изменения переменного тока. Следовательно, в каждом витке первичной и вторичной обмоток индуцируется одинаковая э. д. с. В результате этого *отношение действующих значений э. д. с. E_1 и E_2 , индуцированных в первичной и вторичной обмотках трансформатора, будет равно отношению чисел витков ω_1 и ω_2 этих обмоток, т. е.*

$$E_1/E_2 = \omega_1/\omega_2.$$

Отношение э. д. с. $E_{вн}$ обмотки высшего напряжения к э. д. с. $E_{нн}$ обмотки низшего напряжения (или отношение чисел их витков) называется *коэффициентом трансформации,*

$$n = E_{вн}/E_{нн} = \omega_{вн}/\omega_{нн}.$$

Коэффициент трансформации всегда больше единицы. Если пренебречь падениями напряжения в первичной и вторичной обмотках трансформатора (в трансформаторах средней и большой мощности они не превышают обычно 2—5 % номинальных значений напряжений U_1 и U_2), то можно считать, что *отношение напряжения U_1 первичной обмотки к напряжению U_2 вторичной обмотки приблизительно равно отношению чисел их витков, т. е.*

$$U_1/U_2, \omega_1/\omega_2$$

Таким образом, подбирая требуемое соотношение между числами витков первичной и вторичной обмоток, можно увеличивать или уменьшать напряжение на приемнике, подключенном к вторичной обмотке. Если необходимо на вторичной обмотке получить напряжение большее, чем подается на первичную, то применяют повышающие трансформаторы, у которых число витков во вторичной обмотке больше, чем в первичной.

В понижающих трансформаторах, наоборот, число витков вторичной обмотки меньше, чем в первичной.

Трансформатор не может осуществить преобразование напряжения постоянного тока. При подключении его первичной обмотки к сети постоянного тока в трансформаторе создается постоянный по величине и направлению магнитный поток, который не может индуцировать э. д. с. в первичной и вторичной обмотках. Поэтому не будет происходить передачи электрической энергии из первичной обмотки во вторичную.

При подключении первичной обмотки трансформатора к сети переменного тока через эту обмотку проходит некоторый ток, называемый *током холостого хода*. При включении нагрузки по вторичной обмотке трансформатора начинает проходить ток, при этом увеличивается и ток, проходящий по первичной обмотке. Чем больше нагрузка трансформатора, т. е. электрическая мощность и ток i_2 , отдаваемые его вторичной обмоткой подключенным к ней приемникам, тем больше электрическая мощность и ток i_1 , поступающие из сети в первичную обмотку.

Ввиду того что потери мощности в трансформаторе обычно малы, можно приближенно принять, что мощности в первичной и вторичной обмотках одинаковы. В этом случае можно считать, что токи в обмотках трансформатора приблизительно обратно пропорциональны напряжениям: $I_1/I_2 \approx U_2/U_1$ или что токи в обмотках трансформатора обратно пропорциональны числам витков первичной и вторичной обмоток: $I_1/I_2 \approx \omega_2/\omega_1$. Это означает, что в повышающем трансформаторе ток во вторичной обмотке меньше, чем в первичной (во столько раз, во сколько напряжение U_2 больше напряжения U_1), а в понижающем ток во вторичной обмотке больше, чем в первичной. Поэтому в трансформаторах обмотки высшего напряжения выполняются из более тонких проводов, чем обмотки низшего напряжения.

Вопросы для самоконтроля

- 1. Из чего состоит простейший трансформатор.**
- 2. Подключение трансформатора.**
- 3. Магнитопровод трансформатора.**
- 4. Коэффициент трансформации.**

Раздел 3 Электрические цепи переменного тока

Тема 27. Начальные сведения о переменном токе.

Без него не было бы радиосвязи, телевидения и т. д. Переменный ток – это электрический ток, который периодически изменяется по модулю и направлению. Он то возрастает, достигая максимума - амплитудного значения, то спадает, на какой-то момент становится равным нулю, потом вновь возрастает, но уже в другом направлении и также достигает максимального значения, спадает, чтобы затем вновь пройти через ноль, после чего цикл всех изменений возобновляется. Время, за которое проходит цикл, называется периодом переменного тока. Количество периодов за определенное время – частота, которая измеряется в герцах. Переменный ток получается за счет вращения рамки в магнитном поле, а с обмоток статора снимается переменное напряжение.

Постоянный ток

При постоянном токе его сила, свойства и направление не меняется даже со временем. Постоянный ток используют в технике: подавляющее большинство электронных схем в качестве питания используют постоянный ток. Источниками постоянного тока служат: гальванический элемент, аккумулятор, электромашинный генератор, выпрямитель, сглаживающий фильтр, стабилизатор напряжения. К основным законам постоянного тока относят:

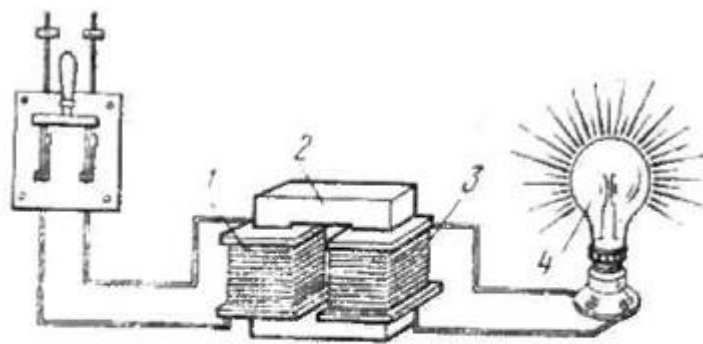
- закон Ома закон, сила тока I для участка цепи прямо пропорциональна приложенному напряжению U к участку цепи и обратно пропорциональна сопротивлению R проводника этого участка цепи : $I=U/R$.
- Джоуля — Ленца закон, определяющий количество тепла, выделяемого током в проводнике.
- Расчёт разветвленных цепей постоянного тока производится с помощью Кирхгофа правил.



Переменный или постоянный ток?

Преимущества переменного тока:

- применяя трансформатор, легко можно изменить напряжение в сетях переменного тока;
- асинхронные электродвигатели переменного тока надежнее тех, которые используются при постоянном токе. Так, девяносто процентов электроэнергии вырабатывается именно ими;
- используется для удобной передачи.



Принципиальная схема включения трансформатора:

1 — первичная обмотка, 2 — магнитопровод, 3 — вторичная обмотка, 4 — лампа накаливания

Но при этом провода, по которым протекает ток, должны соответствовать его максимальному значению, к тому же в проводах он распределяется неравномерно, вблизи поверхности. Вокруг находится переменное магнитное поле, которое способно вызвать в соседних проводах и в других проводящих материалах электрические токи, а это приводит к бесполезной трате энергии. Несмотря на эти недостатки, переменный ток используют чаще. А связано это с тем, что электрическая энергия проходит длинное расстояние от станции к дому потребителя, при этом часть ее теряется, но, чтобы уменьшить потери, следует использовать высокое напряжение. Поднять напряжение у станции (а при передаче к потребителю уменьшить) возможно лишь при переменном токе и с помощью трансформаторов. Но можно ли использовать постоянный ток для передачи электрической энергии? Достаточно сложно — сначала переменное напряжение преобразовать в постоянное, а потом на другом конце линии электропередач превратить переданное постоянное напряжение в переменное. Так или иначе, нельзя утверждать, что постоянный или переменный ток лучше или хуже, ведь в нашей жизни мы используем и тот и другой.

Вопросы для самоконтроля

1. Отличие переменного тока от постоянного.
2. Параметры переменного тока.
3. Применение переменного тока в быту и на производстве.

Тема 28. Характеристики синусоидального тока.

Синусоидальный ток представляет собой функцию времени. То есть в отличие от постоянного тока его значение меняется с течением времени. Основными характеристиками синусоидального тока являются. Амплитуда частота и начальная фаза.

Частота f это количество колебаний в единицу времени. За единицу времени в системе СИ принимается одна секунда. Таким образом, количество колебаний за секунду это и есть частота синусоидального тока и измеряется она в Герцах. Названа в честь ученого Герца. Величина обратная частоте называется периодом колебания $T=1/f$. Период измеряется в секундах. Определение периода звучит так период это время полного колебания. Если представить себе маятник часов то период это время за которое он совершит движение из одного крайнего положения в другое и обратно.

Амплитуда синусоидального тока это максимальное значение тока, которое он достигает за период колебания. Опять же если рассматривать на примере маятника, то амплитуда это расстояние от положения равновесия до одного из крайних положений.

Начальная фаза синусоидального тока это то время, на которое отстает либо опережает синусоида начальный момент времени. Представим две синусоиды одна, из которых начинается условно в нуле а другая в 1. То можно сказать, что вторая синусоида отстаёт по фазе от первой. Если обе синусоиды начинаются в одной точке то можно сказать что они синфазные, то есть имеют одну фазу. При этом они обе могут отставать от начального момента времени на одну и ту же величину, то есть иметь одинаковую начальную фазу.

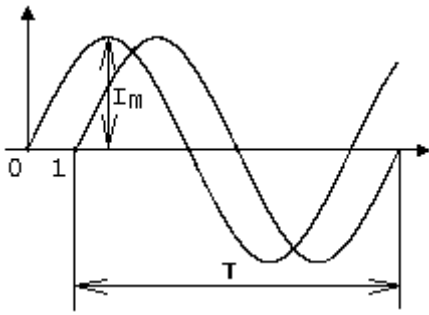


Рисунок 7 — Графическое представление синусоидального тока

Математически синусоидальный ток описывается уравнением:

$$i = I_m \sin(\omega t + j)$$

где

i - мгновенное значение тока это величина тока в определенный момент времени с учетом частоты и начальной фазы тока.

I_m - амплитуда тока.

j - начальная фаза

ω - угловая частота выражается как

$$\omega = 2\pi f.$$

Вопросы для самоконтроля

1. Синусоидальный ток.
2. Частота синусоидального тока.
3. Амплитуда колебаний синусоидального тока.
4. Начальная фаза синусоидального тока.

Тема 29. Параметры электрических цепей переменного тока.

Элементы и параметры электрических цепей переменного тока

В общем случае цепь переменного тока характеризуется тремя параметрами: **активным сопротивлением R , индуктивностью L и емкостью C** . В технике часто встречаются цепи переменного тока, в которых преобладает один или два из этих параметров. При анализе работы и расчетах цепей исходят из того, что для мгновенных значений переменного тока можно использовать все правила и законы постоянного тока.

Цепь с активным сопротивлением

Активным сопротивлением R обладают проводники и элементы, которые нагреваются при прохождении через них тока. Если к активному сопротивлению R (рис. 4.7, а) приложено синусоидальное напряжение $u = U_m \sin \omega t$, то и ток в этой цепи изменяется по синусоидальному закону:

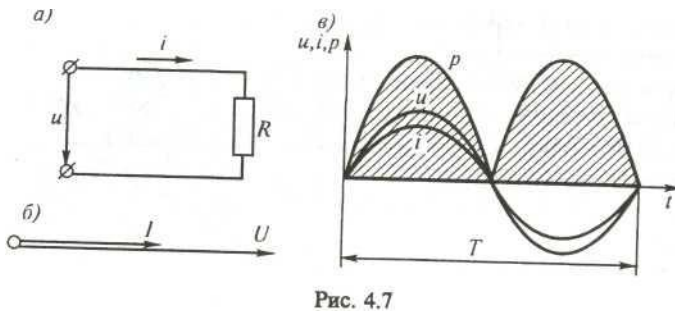


Рис. 4.7

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

где

$$I_m = \frac{U_m}{R} \quad (4.13)$$

Ток в цепи с активным сопротивлением совпадает по фазе с напряжением, так как начальные фазы их равны. Векторная диаграмма для цепи с активным сопротивлением изображена на рис. 4.7, б, а волновая — на рис. 4.7, в. Математическое выражение закона Ома для цепи переменного тока с активным сопротивлением:

$$I = \frac{U}{R} \quad (4.14)$$

Это вытекает из выражения (4.13), если левую и правую часть уравнения разделить на $\sqrt{2} = 1,41$

Мгновенная мощность цепи $p = ui$. Если произвести это действие над кривыми тока и напряжения в определенном масштабе (рис. 4.7, в), то получим волновую диаграмму мощности

Как видно из волновой диаграммы, мощность в цепи с активным сопротивлением изменяется по величине, но не изменяется по направлению. Эта мощность (энергия) необратима.

От источника она поступает к потребителю и преобразуется в другие виды мощности (энергии). Эта мощность полностью потребляется. Такая мощность называется **активной**. Сопротивление R , на котором происходит такое преобразование, называется **активным сопротивлением**.

Величина активной мощности P в цепи (рис. 4.7,а)

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (4.15)$$

Измеряется активная мощность в ваттах (Вт). Активная мощность характеризует среднюю скорость преобразования электрической энергии в другие виды энергии.

Цепь с индуктивностью

Катушка с индуктивностью L , у которой $R=0$ и $C=0$, называется идеальной. Если в цепи с идеальной катушкой (рис. 4.8, а) проходит синусоидальный ток $i=I_m \sin \omega t$, то он создает синусоидальный магнитный поток $\Phi = \Phi_m \sin \omega t$, который индуцирует в катушке ЭДС самоиндукции

$$e_L = -L \frac{di}{dt} = -I_m \omega L \cos \omega t = E_m \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right), \quad (4.16)$$

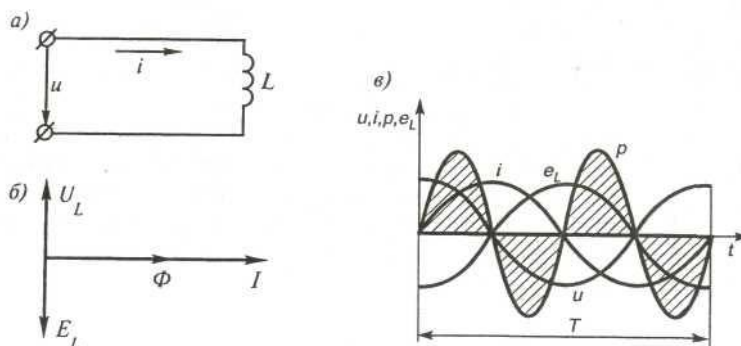
где $E_m = I_m \omega L$ (или $E = I \omega L$).

Для существования тока в идеальной катушке к ней должно быть приложено напряжение, которое в любой момент времени равно по величине ($u = -e_L$), но находится в противофазе с ЭДС самоиндукции, т.е.

$$u = I_m \omega L \cos \omega t = U_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right),$$

где $U_m = I_m \omega L$ (или $U = I \omega L$).

Векторная диаграмма для цепи с идеальной катушкой изображена на рис. 4.8, б, а волновая — на рис. 4.8, в.



Напряжение, приложенное к идеальной катушке, опережает ток по фазе на угол $\pi/2=90^\circ$. Действующее значение напряжения, приложенного к идеальной катушке, $U=I\omega L$. Тогда математическое выражение закона Ома для этой цепи:

$$I = \frac{U}{\omega L} \quad (4.18)$$

Знаменатель этого выражения ωL имеет размерность сопротивления и называется **индуктивным сопротивлением**

$$X_L = \omega L = 2\pi f L \quad (4.19)$$

Мгновенная мощность для цепи с идеальной катушкой индуктивности

$$p = ui = U_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) I \sin \omega t = UI \sin 2\omega t \quad (4.20)$$

В цепи с идеальной индуктивностью (4.20) мощность изменяется по синусоидальному закону с двойной частотой. Это следует и из волновой диаграммы мощности (рис. 4.8, в), т. е. в 1-ю и 3-ю четверти периода мощность (энергия) накапливается в магнитном поле идеальной катушки, а во 2-ю и 4-ю четверти периода та же мощность (энергия) из магнитного поля возвращается к источнику. Таким образом, в цепи переменного тока с индуктивностью имеет место колебание мощности (энергии) между источником и магнитным полем индуктивности. Такая колеблющаяся между источником и нагрузкой мощность, в отличие от активной, называется **реактивной мощностью**:

$$Q_L = U_L I = I^2 X_L = \frac{U^2}{X_L} \quad (4.21)$$

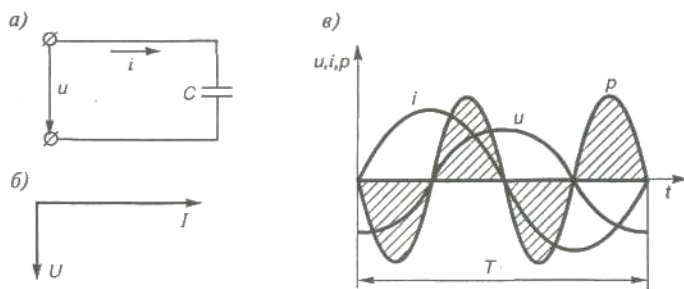
Измеряется реактивная мощность в варах (вар). Реактивная мощность загружает источник и провода, но не потребляется, т. е. не преобразуется в другие виды мощности (энергии). Максимальное значение энергии, накапливаемой в магнитном поле катушки,

$$W_{mL} = \frac{I_m^2 L}{2} \quad (4.22)$$

Так как реактивная мощность Q_L имеет место на индуктивном сопротивлении, то индуктивное сопротивление называют реактивным X индуктивного характера (X_L). Индуктивное сопротивление обусловлено противодействием ЭДС самоиндукции изменению тока (правило Ленца).

Цепь с емкостью

Если к конденсатору емкостью C приложено переменное напряжение u (рис. 4.9, а), то в цепи конденсатора возникает переменный ток зарядки и разрядки конденсатора. Через диэлектрик конденсатора ток не проходит.



Если напряжение на конденсаторе изменяется по синусоидальному закону $u = U_m \sin \omega t$, то ток в цепи конденсатора

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} = U_m \omega C \cos \omega t = I_m \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}),$$

где $I_m = U_m \omega C$, т. е. ток в цепи с емкостью C опережает напряжение на угол $\pi/2 = 90^\circ$. Векторная диаграмма для цепи с емкостью изображена на рис. 4.9, б, а волновая — на рис. 4.9, в.

Математическое выражение закона Ома для цепи переменного тока с емкостью C :

$$I = \frac{U}{\frac{1}{\omega C}} \quad (4.23)$$

Знаменатель этого выражения $1/\omega C$ имеет размерность сопротивления и называется **емкостным сопротивлением**

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} \quad (4.24)$$

Мгновенная мощность для цепи с емкостью:

$$p = ui = U_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) I_m \sin \omega t = -UI \sin 2\omega t \quad (4.25)$$

т. е. мгновенная мощность p изменяется по синусоидальному закону с двойной частотой.

Это следует также из волновой диаграммы мощности (рис. 4.9, в), т. е. во 2-ю и 4-ю четверти периода мощность (энергия) накапливается в электрическом поле конденсатора, а в 1-ю и 3-ю четверти периода та же мощность (энергия) возвращается к источнику. Таким образом, в цепи переменного тока с емкостью происходит колебание мощности (энергии) между источником и электрическим полем конденсатора, т.е. эта мощность **реактивная**

$$Q_c = U_c I = I^2 X_c = \frac{U^2}{X_c} \quad (4.26)$$

Из волновой диаграммы (рис. 4.9, в) видно, что реактивная мощность в цепи с емкостью находится в противофазе с реактивной мощностью в цепи с индуктивностью (рис. 4.8, в), поэтому перед аналитическим выражением мгновенной мощности в цепи с емкостью (4.25) стоит знак «—».

Так как реактивная мощность связана с емкостным сопротивлением, то емкостное сопротивление называют реактивным X , емкостного характера (X_c). Максимальное значение энергии, накапливаемой в электрическом поле конденсатора:

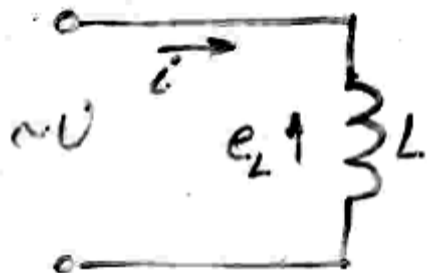
$$W_{mc} = \frac{U_m^2}{2} \quad (4.27)$$

Вопросы для самоконтроля

1. Цепь с активным сопротивлением.
2. Мгновенная мощность цепи.
3. Цепь с индуктивностью.
4. Цепь с емкостью.

Тема 30. Цепи переменного тока с индуктивностью и емкостью.

Рассмотрим цепь, в которой к катушке индуктивности L , не обладающей активным сопротивлением ($R = 0$), приложено синусоидальное напряжение. Протекающий через катушку переменный ток создаёт в ней ЭДС самоиндукции e_L , которая в соответствии с правилом Ленца направлена таким образом, что препятствует изменению тока. Другими словами, ЭДС самоиндукции направлена навстречу приложенному напряжению.



Тогда в соответствии со вторым законом Кирхгофа можно записать:

$$U + e_L = 0$$

Согласно закону Фарадея ЭДС самоиндукции:

$$e_L = -L \cdot \frac{di}{dt}$$

Подставив (4.10) в (4.9) получим:

$$\frac{di}{dt} = -e_L / L = U / L = (U_m / L) \cdot \sin \omega t$$

Решение этого дифференциального уравнения имеет вид:

$$I = I_m \cdot \sin(\omega t - \pi/2) \quad , \text{ где}$$

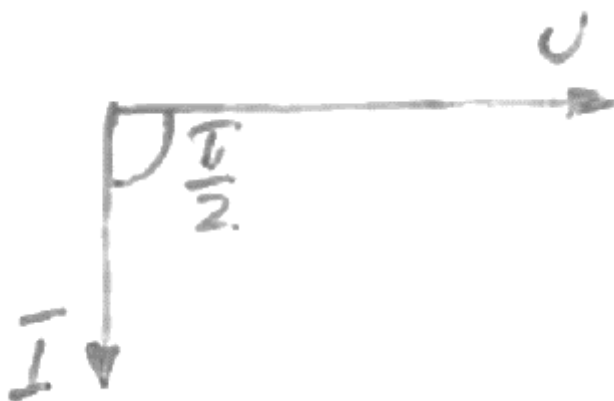
$$I_m = U_m / \omega \cdot L$$

Деля обе части равенства на $\sqrt{2}$, получим для действующих значений:

$$I = U / \omega \cdot L = U / X_L$$

Это соотношение представляет собой закон Ома для цепи с идеальной индуктивностью, а величина $X_L = \omega \cdot L$ называется индуктивным сопротивлением. Индуктивное сопротивление

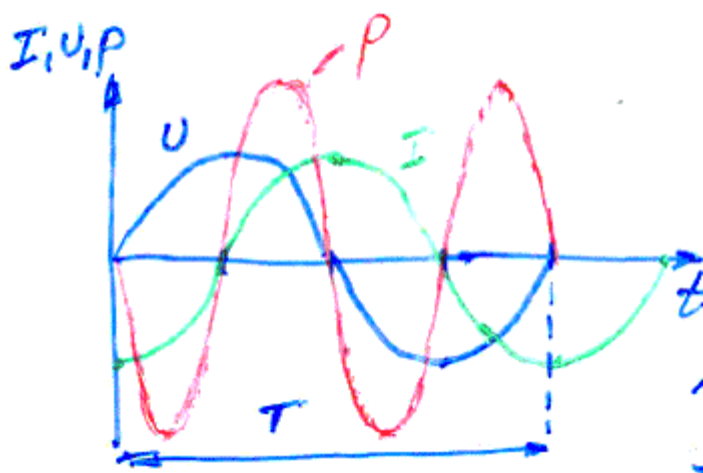
измеряется в Омах. Из формулы мы видим, что в рассмотренной цепи ток отстаёт по фазе от напряжения на угол $\pi/2$. Векторная диаграмма этой цепи:



Мгновенная мощность в цепи с чисто индуктивным сопротивлением равна:

$$p(t) = I_m \cdot U_m \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\omega t - \pi/2) = \frac{U_m \cdot I_m}{2} \cdot \sin 2\omega t$$

Мы видим, что она изменяется по закону синуса с удвоенной частотой (см. следующий рисунок).



Положительные значения мощности соответствуют потреблению энергии катушкой, а отрицательные – возврату запасённой энергии обратно источнику. Средняя за период мощность равна нулю. Следовательно, цепь с индуктивностью энергии не потребляет – это чисто реактивная нагрузка. В этой цепи происходит лишь перекачивание электрической энергии от источника в катушку и обратно.

Цепь переменного тока с ёмкостью.

Рассмотрим электрическую цепь, в которой переменное напряжение $U(t) = U_m \cdot \sin \omega t$ приложено к ёмкости.



Мгновенное значение тока в цепи с ёмкостью равно скорости изменения заряда на обкладках

конденсатора $i = \frac{dq}{dt}$, но $q = CU$, то

$$I = C \cdot \frac{du}{dt} = \omega \cdot C \cdot U_m \cdot \cos \omega t = I_m \cdot \sin(\omega t + \pi/2) \quad (4.24), \text{ где } \omega \cdot C \cdot U_m = I_m$$

Мы видим, что в этой цепи ток опережает напряжение на угол $\pi/2$. Перейдя в формуле (4.25) к действующим значениям переменного тока $I = I_m / \sqrt{2}$, $U = U_m / \sqrt{2}$, получим: $I = U / X_c$

Это закон Ома для цепи переменного тока с ёмкостью, а величина $X_c = 1 / \omega \cdot C$ называется ёмкостным сопротивлением. Векторная диаграмма для этой цепи:

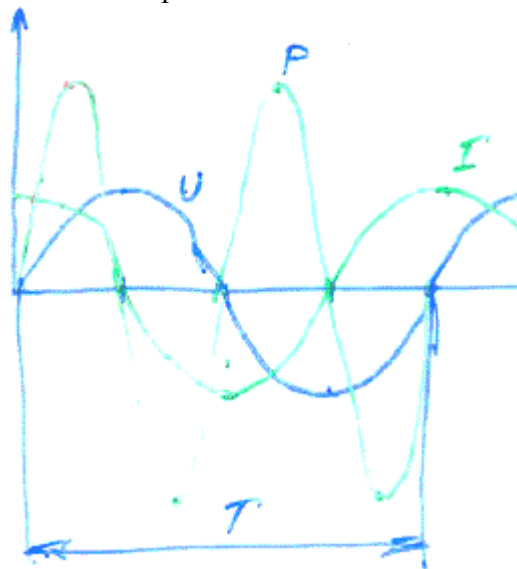


Здесь ток опережает напряжение на $\pi/2$.

Посмотрим, что будет представлять собой мгновенная мощность в цепи, содержащей ёмкость.

$$p(t) = I_m \cdot U_m \cdot \sin \omega t \cdot \sin(\omega t + \pi/2) = I_m \cdot U_m \cdot \sin 2\omega t$$

Временная диаграмма показана ниже.



Мы видим, что мгновенная мощность изменяется с удвоенной частотой. При этом положительные значения мощности соответствуют заряду конденсатора, а отрицательные – возврату запасённой энергии в источник. Средняя за период мощность здесь равна нулю, поскольку в цепи с конденсатором активная мощность не потребляется, а происходит обмен электрической энергии между конденсатором и источником. Следовательно, конденсатор так же, как и индуктивность является реактивным сопротивлением.

Вопросы для самоконтроля

1. Правило Ленца.
2. Мгновенное значение тока в цепи с индуктивностью и ёмкостью.
3. Векторная диаграмма.
4. ЭДС самоиндукции.

Тема 31. Расчет цепи с произвольным числом активных и реактивных элементов.

Рассмотрим правила расчета неразветвленной электрической цепи переменного тока. В практической части исследования измерим токи и напряжения на активном сопротивлении, катушке и конденсаторе, а сейчас зададим все параметры и построим векторную диаграмму.

Применение векторных диаграмм для описания синусоидальных сигналов позволяет использовать геометрические приёмы для расчета электрической цепи.

Задача 1.

Дана электрическая цепь, содержащая последовательно соединенные активное сопротивление $R = 100$ Ом и катушку индуктивности $L = 0.2$ Гн. (См. рисунок 1)

Напряжение сети 120 В, определить ток, протекающий в электрической цепи и падение напряжения на активном сопротивлении и катушке.

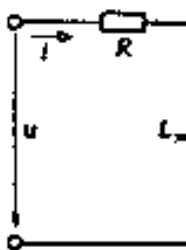


Рисунок 1.
Схема 1

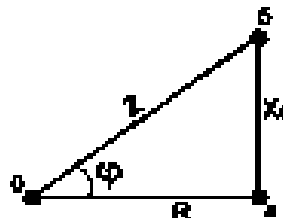


Рисунок 2. Треугольник сопротивлений

Вычислим индуктивное сопротивление $X_L = 2\pi f L$ (Ом)

Так как ток в катушке отстает от напряжения на 90° , а в активном сопротивлении ток и напряжение совпадают по фазе для вычисления полного сопротивления цепи воспользуемся треугольником сопротивлений.

По теореме Пифагора вычислим $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ (Ом)

По закону Ома вычислим максимальные значения тока и напряжения на рассмотренных элементах электрической цепи.

$I_m = U_c / z$ (А). Так как элементы электрической схемы соединены последовательно, ток, протекающий по ним общий, т.е. $I_R = I_L = 1.014$ А. Падение напряжения на каждом элементе определяется:

$$U_R = I * R; \quad U_L = I * X_L \text{ (В)}$$

Мы исследуем цепь переменного тока, поэтому сумма падений напряжения на каждом элементе не будет равна общему напряжению. Для вычисления мгновенных значений тока и напряжений построим векторную диаграмму. (См. рис. 3)

Выберем масштаб по току и напряжению: $m I = 2 : 1$; $m U = 1 : 10$

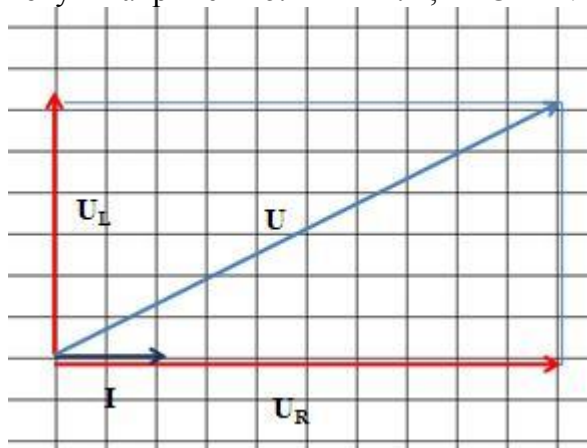


Рисунок 3 Векторная диаграмма

Из векторной диаграммы найдем значение напряжения:

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2} \text{ (В)}$$

Было задано напряжение 220 В Вычисления в пределах допустимой погрешности.

$$\varphi = \arccos(U_L / U)$$

Вопросы для самоконтроля

1. Правила расчета неразветвленной электрической цепи переменного тока.
2. Применение векторных диаграмм для описания синусоидальных сигналов.
3. Индуктивное сопротивление.
4. Векторная диаграмма.

Тема 32. Построение топографической векторной диаграммы.

Векторная диаграмма - это изображение синусоидально изменяющихся величин в виде векторов на плоскости.

Векторные диаграммы применяют потому, что сложение и вычитание синусоидальных величин, неизбежные при расчете цепей переменного тока, наиболее просто выполняются в векторной форме. Кроме того векторные диаграммы отличаются простотой и наглядностью.

Построение векторной диаграммы выполняется в прямоугольной плоскости. Чтобы построить диаграмму нужно провести вектор длиной равной амплитудному значению искомой величины, под углом сдвига относительно другой величины. Возможно, вы не сразу поймете смысл сказанного, для этого нужно изучить пример.

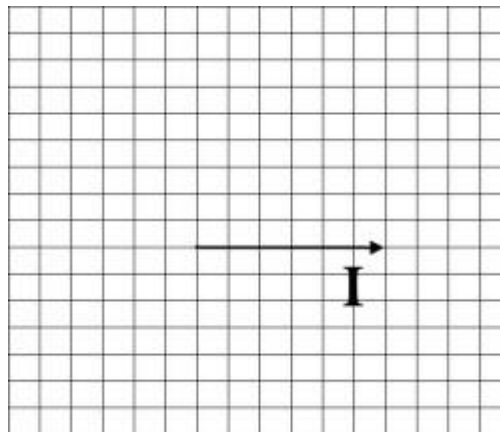
В качестве примера рассмотрим построение векторной диаграммы для цепи, состоящей из последовательно подключенных конденсатора, резистора и катушки. Напряжение на катушке $U_L=15$ В, напряжение на конденсаторе $U_C=20$ В, напряжение на резисторе $U_R=10$ В, ток в цепи $I=3$ А. Требуется найти общее напряжение.

Катушка носит индуктивный характер, а значит, в ней напряжение опережает ток по фазе на 90° .

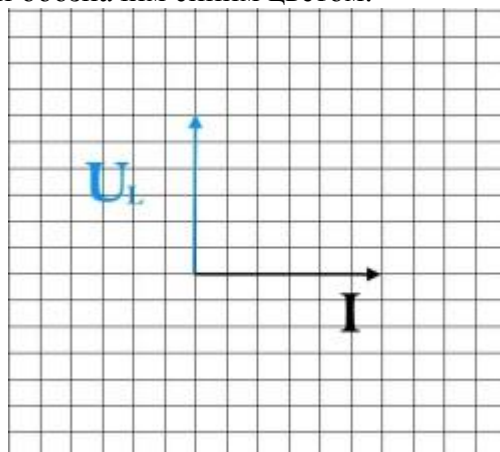
Конденсатор носит емкостной характер, значит, ток в нем опережает по фазе напряжение на 90° .

Резистор обладает только активным сопротивлением, и напряжение в нем совпадает по фазе с током.

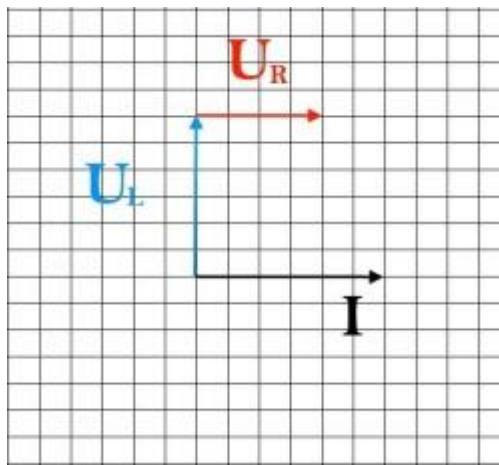
Итак, для начала отложим вектор тока в масштабе. Масштаб для тока у нас будет 1 А/см.



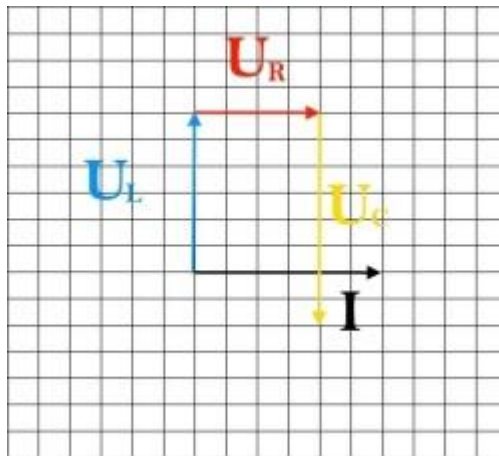
Теперь отложим вектор напряжения на катушке, масштаб для напряжения возьмем 5 В/см, получается, что нужно отложить шесть клеток вверх, так как напряжение в катушке опережает ток. Для наглядности обозначим синим цветом.



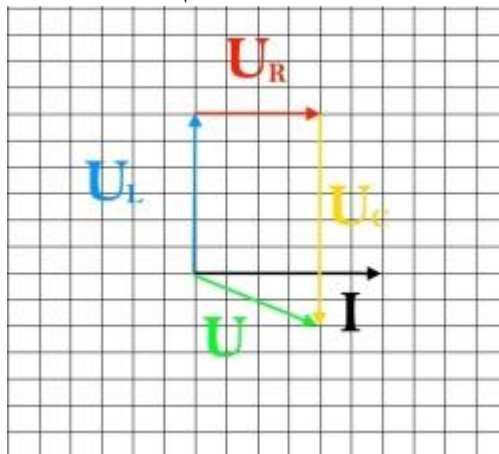
Далее мы будем откладывать вектор активного сопротивления, так как напряжение в одной фазе с током, то мы его откладываем из конца вектора U_L параллельно вектору тока I . Обозначим его красным цветом.



Следующим шагом отложим вектор напряжения на конденсаторе, так как оно запаздывает на 90° , мы его отложим вертикально вниз, из конца вектора U_R . Обозначим желтым цветом.



И последним этапом мы отложим вектор общего напряжения, из начала координат в конец вектора U_C и обозначим его зеленым цветом.



Общее напряжение получилось равным 2,23 В, причем характер цепи **емкостной**, так как напряжение отстает от тока.

Аналогичным образом выполняется построение векторной диаграммы токов.

Вопросы для самоконтроля

1. Определение векторной диаграммы.
2. Построение векторной диаграммы.
3. Отложение векторов на плоскости.
4. Этапы построения векторной диаграммы.

Тема 33. Расчет цепи с параллельным соединением катушки и конденсатором.

Для рассмотрения параллельного соединения катушки и конденсатора представим их на схеме активными и реактивными проводимостями (рис.14.11, а).

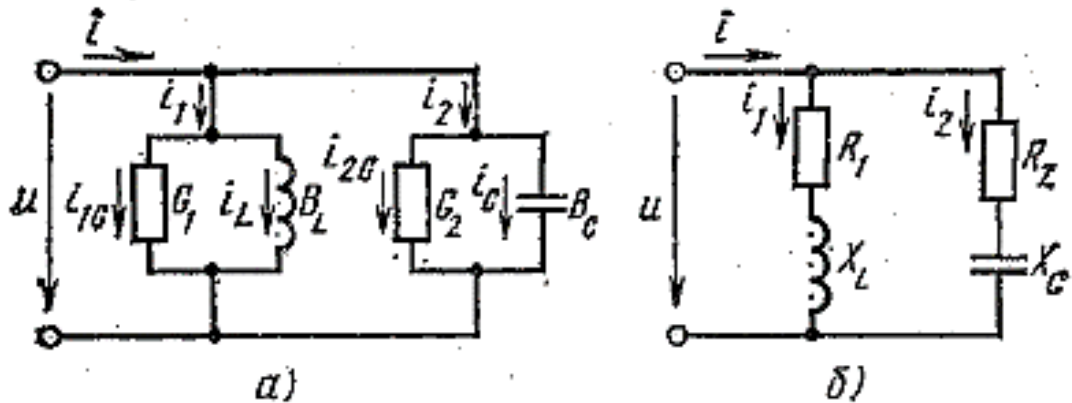


Рис. 14.11. Схемы замещения катушки и конденсатора при параллельном соединении

На схеме рис. 14.11, б те же катушки и конденсатор представлены активными и реактивными сопротивлениями. Первая схема имеет некоторое преимущество, так как в ней все элементы соединены параллельно, а в другой они соединены смешанно. Считая известными параметры катушки G_1, B_L и конденсатора G_2, B_C , а также напряжение $u = U_m \sin \omega t$, определим токи в цепи и ее мощность.

Векторная диаграмма цепи. Полная проводимость цепи

Согласно первому закону Кирхгофа, мгновенная величина общего тока равна сумме мгновенных токов отдельных ветвей:

$$i = i_1 + i_2 = i_{1G} + i_L + i_{2G} + i_C.$$

Имея в виду несовпадение по фазе активных и реактивных токов, величину общего тока найдем векторным сложением:

$$I = I_{1G} + I_L + I_{2G} + I_C.$$

Для построения векторной диаграммы находим:

$$I_{1G} = UG_1; \quad I_{2G} = UG_2; \quad I_L = UB_L; \quad I_C = UB_C.$$

В зависимости от соотношения величин реактивных проводимостей ветвей с индуктивностью и емкостью можно отметить три случая.

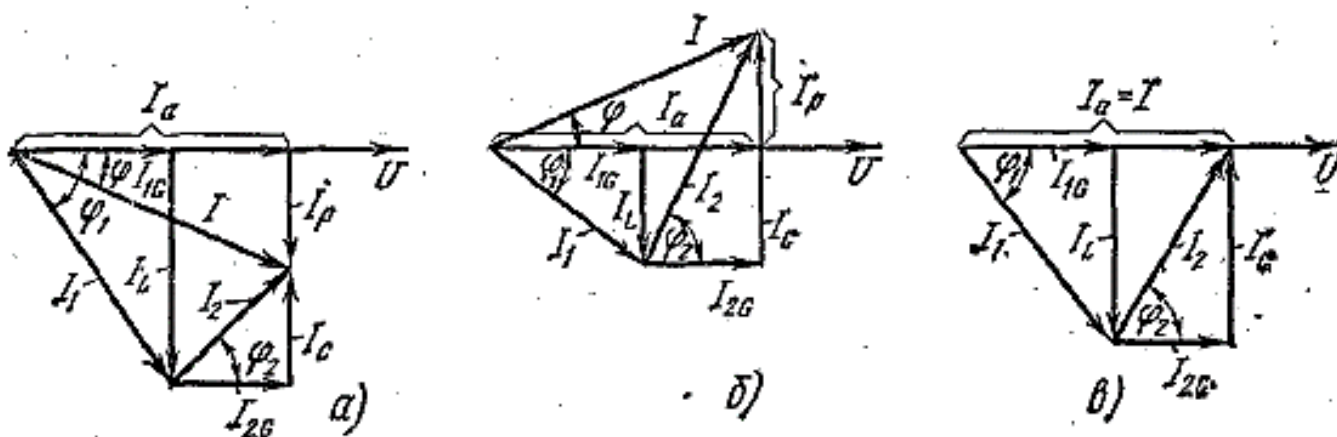


Рис. 14.12. Векторные диаграммы:
 $a - b_L > b_C$; $б - b_L < b_C$; $в - b_L = b_C$

1. $B_L > B_C$. Для этого случая векторная диаграмма представлена на рис. 14.12, а. На диаграмме построены треугольники токов для катушки и конденсатора и найдены векторы токов I_1 и I_2 в этих элементах:

$$I_1 = I_{1G} + I_L; \quad I_2 = I_{2G} + I_C.$$

Векторная сумма токов $I_1 + I_2 = I$ дает общий ток в цепи. Вместе с тем вектор I является гипотенузой прямоугольного треугольника токов, катеты которого — составляющие вектора тока по двум взаимно перпендикулярным осям:

$I_a = I_{1G} + I_{2G}$ — *активная* составляющая;
 $I_p = I_L + I_C$ — *реактивная* составляющая.

Векторы *активных составляющих токов* направлены в одну сторону, поэтому их численные значения складываются. Векторы *реактивных составляющих токов* направлены перпендикулярно вектору напряжения в противоположные стороны, поэтому им даются разные знаки: индуктивные токи считаются положительными, а емкостные — отрицательными. При одинаковом напряжении на всех элементах цепи $I_L > I_C$. Общий ток отстает от общего напряжения по фазе на угол ϕ .

Из треугольника токов следует

$$I = \sqrt{(I_{1G} + I_{2G})^2 + (I_L - I_C)^2} = U \sqrt{(G_1 + G_2)^2 + (B_L - B_C)^2},$$

или

$$I = U \sqrt{G^2 + B^2} = UY,$$

где $G = G_1 + G_2$ и $B = B_L - B_C$ — *общие активная и реактивная проводимости цепи*;

$Y = \sqrt{G^2 + B^2}$ — *полная проводимость цепи*. Эти три проводимости графически можно изобразить сторонами прямоугольного треугольника проводимостей, который получается уже известным способом из треугольника токов.

Полная проводимость цепи Y является коэффициентом пропорциональности между действующими величинами общего тока и напряжения цепи:

$$I = UY; \quad U = I/Y; \quad Y = I/U.$$

Вопросы для самоконтроля

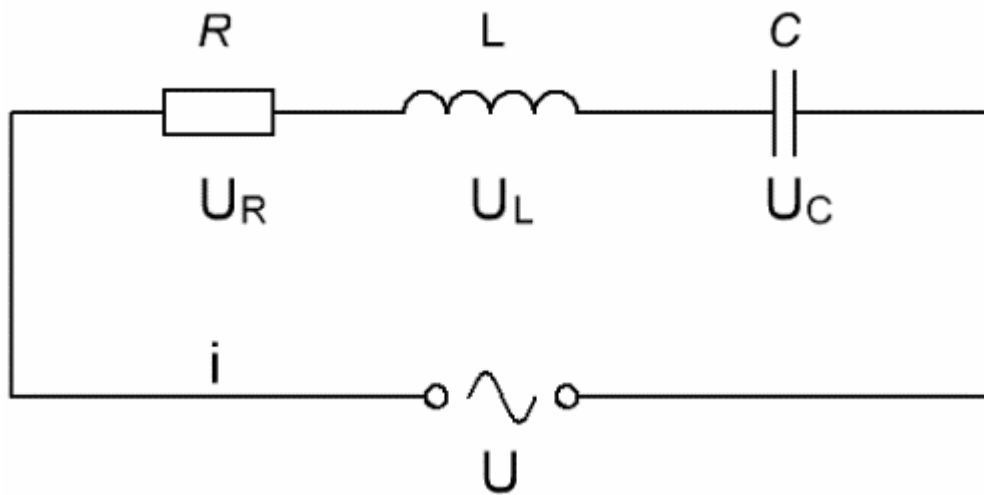
1. Параллельное соединение катушки и конденсатора.
2. Векторная диаграмма цепи.
3. Полная проводимость цепи.
4. Активная и реактивная составляющие.

Тема 34. Расчет цепи с помощью векторной диаграммы.

Векторные диаграммы — метод графического расчета напряжений и токов в цепях переменного тока, в которых переменные напряжения и токи символически (условно) изображаются с помощью векторов.

В основе метода лежит тот факт, что всякую величину, меняющуюся по синусоидальному закону (смотрите - синусоидальные колебания), можно определить как проекцию на какое-то выбранное направление вектора, вращающегося вокруг своей начальной точки с угловой скоростью, равной угловой частоте колебаний изображаемой переменной величины.

Поэтому всякое переменное напряжение (или переменный ток), меняющееся по синусоидальному закону, можно изображать с помощью такого вектора, вращающегося с угловой скоростью, равной угловой частоте изображаемого тока, причем длина вектора в определенном масштабе изображает амплитуду напряжения, а угол — начальную фазу этого напряжения.



Если рассмотреть электрическую цепь, состоящую из последовательно соединенных источника переменного тока, резистора, индуктивности и конденсатора, где U – мгновенное значение переменного напряжения, а i – это ток в текущий момент времени, причем U изменяется по синусоидальному (косинусоидальному) закону, то для тока можно записать:

$$i = I_m \cdot \cos \omega t$$

Согласно закону сохранения заряда, в любой момент времени ток в цепи имеет одно и то же значение. Следовательно на каждом элементе будет падать напряжение: U_R – на активном сопротивлении, U_C – на конденсаторе, и U_L – на индуктивности. Согласно второму правилу Кирхгофа, напряжение источника будет равно сумме падений напряжений на элементах цепи, и мы имеем право записать:

$$U = U_C + U_L + U_R$$

Заметим, что согласно закону Ома: $I = U/R$, и тогда $U = I \cdot R$. Для активного сопротивления значение R определяется исключительно свойствами проводника, оно не зависит ни от тока, ни от момента времени, следовательно ток совпадает по фазе с напряжением, и можно записать:

$$U_R = I_m \cdot R \cdot \cos \omega t$$

А вот конденсатор в цепи переменного тока обладает реактивным емкостным сопротивлением, и напряжение на конденсаторе все время отстает по фазе от тока на $\pi/2$, значит пишем:

$$R_C = X_C = \frac{1}{\omega C}; \quad U_C = I_m \cdot R_C \cdot \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

Катушка, обладающая индуктивностью, в цепи переменного тока выступает реактивным индуктивным сопротивлением, и напряжение на катушке в любой момент времени опережает по фазе ток на $\pi/2$, следовательно, для катушки запишем:

$$R_L = X_L = \omega L; \quad U_L = I_m \cdot R_L \cdot \cos\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$$

Можно записать теперь сумму падений напряжений, но в общем виде для приложенного к цепи напряжения можно записать:

$$U = U_m \cdot \cos(\omega t \pm \varphi)$$

Видно, что здесь имеет место некий сдвиг фаз, связанный с реактивной составляющей общего сопротивления цепи при протекании по ней переменного тока.

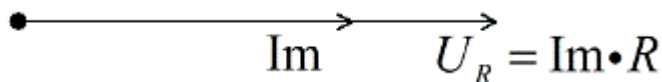
Поскольку в цепях переменного тока и ток и напряжение изменяются по закону косинуса, причем мгновенные значения отличаются между собой лишь фазой, то физики придумали в математических расчетах рассматривать токи и напряжения в цепях

переменного тока как векторы, поскольку тригонометрические функции можно описать через векторы. Итак, запишем напряжения в виде векторов:

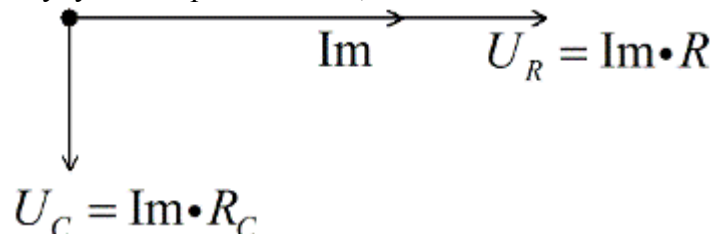
$$\vec{U} = \vec{U}_C + \vec{U}_L + \vec{U}_R$$

Используя метод векторных диаграмм, можно вывести, например, закон Ома для данной последовательной цепи в условиях протекания по ней переменного тока.

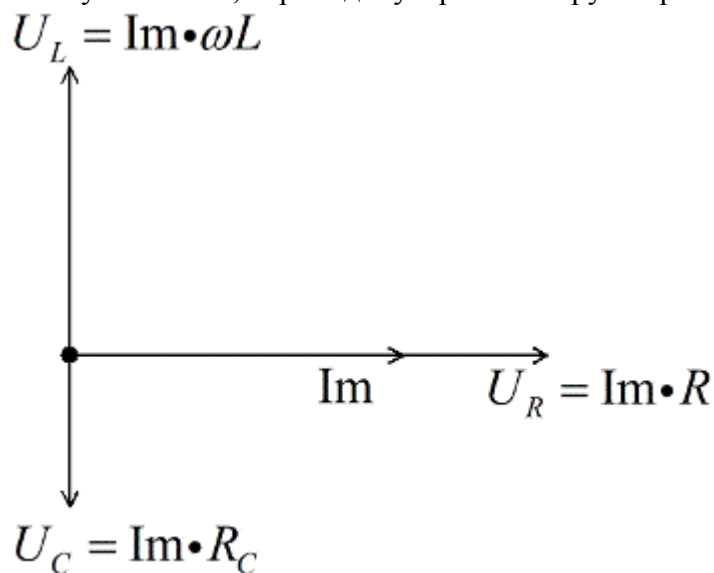
Согласно закону сохранения электрического заряда, в любой момент времени ток во всех частях данной цепи одинаков, так отложим же векторы токов, построим векторную диаграмму токов:



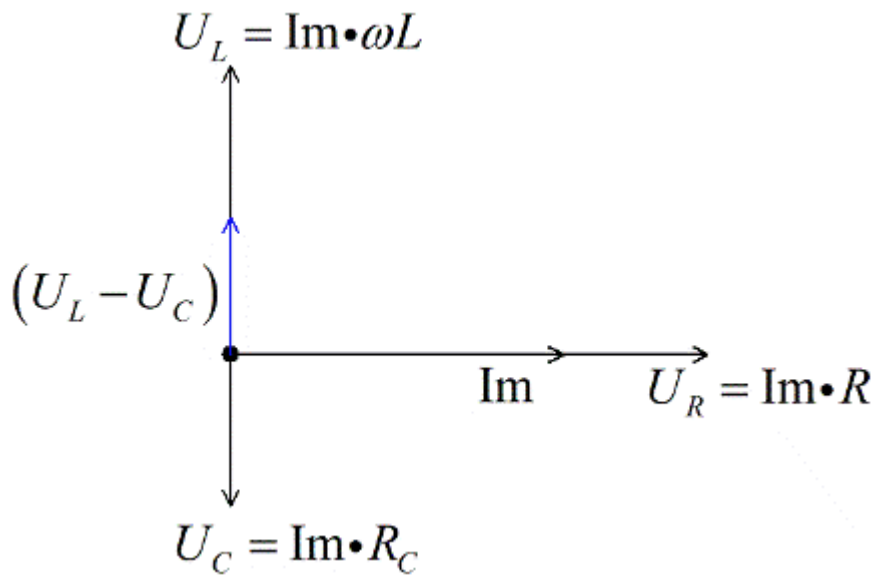
Пусть в направлении оси X будет отложен ток Im – амплитудное значение тока в цепи. Напряжение на активном сопротивлении совпадает по фазе с током, значит эти векторы будут сонаправленными, отложим их из одной точки.



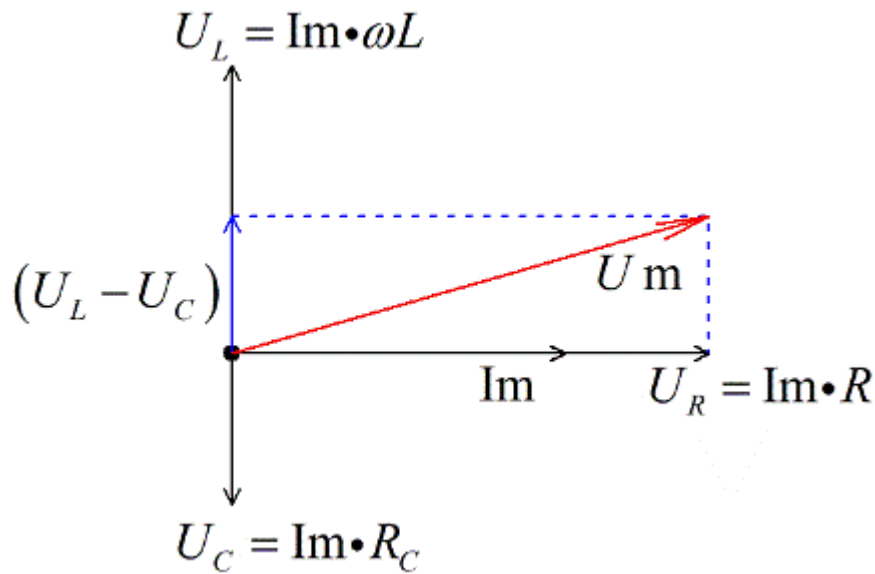
Напряжение на конденсаторе отстает на $\Pi/2$ от тока, следовательно откладываем его под прямым углом вниз, перпендикулярно вектору напряжения на активном сопротивлении.



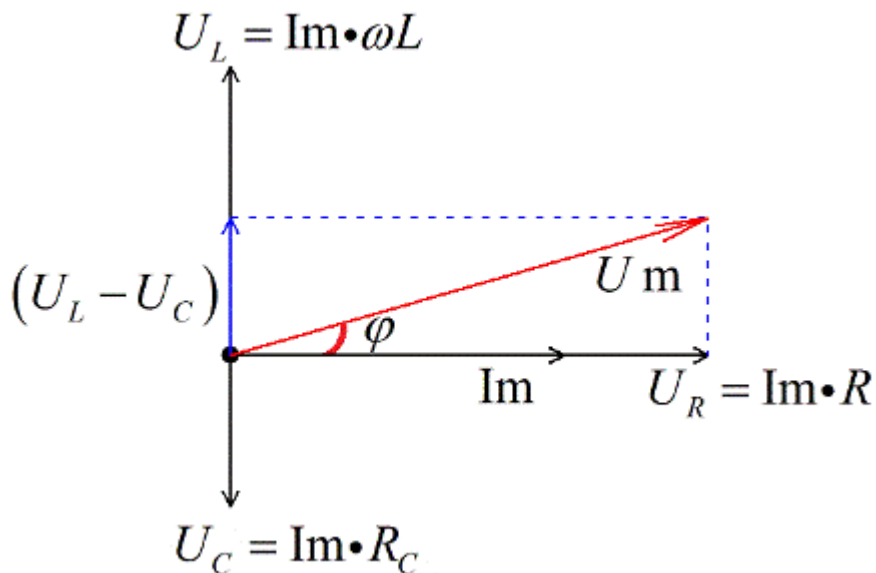
Напряжение на катушке опережает на $\Pi/2$ ток, следовательно откладываем его под прямым углом вверх, перпендикулярно вектору напряжения на активном сопротивлении. Допустим, что для нашего примера $U_L > U_C$.



Поскольку мы имеем дело с векторным уравнением, сложим векторы напряжений на реактивных элементах, и получим разницу. Она будет для нашего примера (мы приняли что $U_L > U_C$) направлена вверх.



Прибавим теперь вектор напряжения на активном сопротивлении, и получим, по правилу векторного сложения, вектор суммарного напряжения. Так как брали максимальные значения, то и получим вектор амплитудного значения общего напряжения.



Так как ток менялся по закону косинуса, то напряжение тоже меняется по закону косинуса, но со сдвигом фаз. Между током и напряжением есть постоянный сдвиг фаз.

Запишем закон Ома для общего сопротивления Z (импеданса):

$$I_m = \frac{U_m}{Z}$$

Из векторных изображений по Теореме Пифагора можем записать:

$$I_m = U_m \cdot Z = \sqrt{(I_m \cdot R)^2 + (I_m \cdot R_C - I_m \cdot R_L)^2}$$

После элементарных преобразований получим выражение для полного сопротивления Z цепи переменного тока, состоящей из R , C и L :

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2}$$

Тогда получим выражение для закона Ома для цепи переменного тока:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C} - \omega L\right)^2}}$$

Заметим, что наибольшее значение тока получатся в цепи при резонансе в условиях, когда:

$$\frac{1}{\omega C} = \omega L \Rightarrow \omega_{рез} = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Косинус фи из наших геометрических построений получается:

$$\cos(\varphi) = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z}$$

Вопросы для самоконтроля

1. Синусоидальные колебания.
2. Угловая частота.
3. Начальная фаза.
4. Закон Ома для общего сопротивления.

Тема 35. Расчет цепи методом проводимости.

В курсе общей физики для расчета электрических цепей используют, в основном, законы Ома и Кирхгофа, в которые входят напряжения, токи и сопротивления. Однако для расчета сложных электрических цепей, и в особенности цепей переменного тока, целесообразно вместо сопротивления использовать проводимость.

Проводимость в цепи постоянного тока g — величина, обратная сопротивлению

$$g = \frac{1}{R}.$$

Единицей измерения проводимости в СИ является сименс (в честь немецкого электротехника XIX в. Э. В. Сименса).

1 Сим — это проводимость проводника сопротивлением 1 Ом.

В цепях переменного тока, как известно, существует три типа сопротивлений: активное R , реактивное X и полное Z . По аналогии с этим введено и три типа проводимостей: активная g , реактивная b и полная y . Однако только полная проводимость y является величиной, обратной полному сопротивлению Z :

$$y = \frac{1}{z}.$$

Для введения активной g и реактивной b проводимостей рассмотрим цепь переменного тока из последовательно соединенных активного R и индуктивного L сопротивлений (рис. 1а). Построим для нее векторную диаграмму (рис. 1б). Ток в цепи I разложим на активную R и реактивную X составляющие и от полученного треугольника токов перейдем к треугольнику сопротивлений (рис. 1в). Из последнего имеем:

$$\left. \begin{aligned} R &= z \cos \varphi; & \cos \varphi &= \frac{R}{z}, \\ x &= z \sin \varphi; & \sin \varphi &= \frac{x}{z}. \end{aligned} \right\}$$

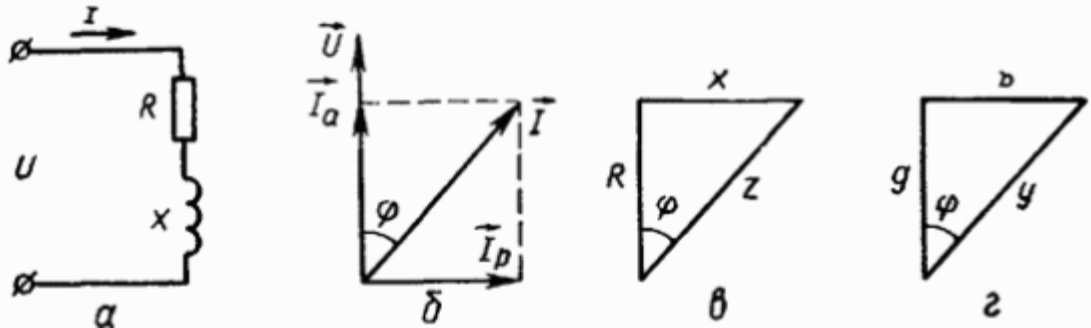


Рис. 1

Из векторной диаграммы (см. рис. 1б) с учетом формулы имеем:

$$I_a = I \cos \varphi = \frac{U}{z} \frac{R}{z} = U \frac{R}{z^2} = Ug,$$

где R активная проводимость,

$$I_p = I \sin \varphi = \frac{U}{z} \frac{x}{z} = U \frac{x}{z^2} = Ub,$$

где X реактивная проводимость.

Теперь установим взаимосвязь между проводимостями. Для рассматриваемой цепи имеем:

$$\vec{I} = \vec{I}_a + \vec{I}_p \text{ и } I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}.$$

Подставив значения соответственно из соотношений получим:

$$I = \sqrt{(Ug)^2 + (Ub)^2} = U \sqrt{g^2 + b^2} = Uy = \frac{U}{z},$$

где Z полная проводимость цепи.

По аналогии с треугольником сопротивлений (рис. 1в) строим треугольник проводимостей (рис. 1г). По аналогии с индуктивным L и емкостным X сопротивлениями различают индуктивную L и емкостную X проводимости.

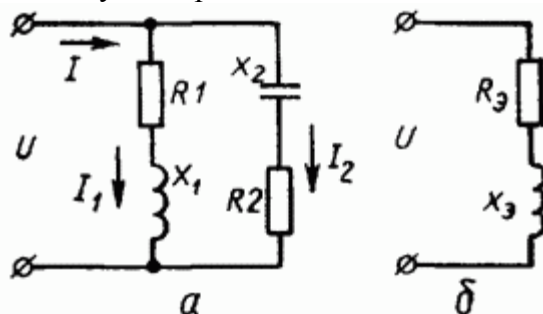


Рис. 2

В случае разветвленной цепи (рис. 2 а) схему легко преобразовать в так называемую эквивалентную схему (рис. 2б), в которой две ветви заменены одной с соответствующими эквивалентными активным R и реактивным X сопротивлениями. Расчет последних сопротивлений, как и других параметров схемы, проще с использованием проводимостей. Установим основные закономерности для проводимостей в разветвленной цепи.

Выразим общий ток через его составляющие или эквивалентные проводимости:

$$\vec{I} = \vec{I}_a + \vec{I}_p = \vec{U}g_3 + \vec{U}b_3 = \vec{U}y_3 = \frac{\vec{U}}{z_3}.$$

В свою очередь, активная составляющая общего тока равна сумме активных составляющих токов ветвей:

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} = Ug_1 + Ug_2 = U(g_1 + g_2) = Ug_3,$$

откуда

$$g_3 = g_1 + g_2,$$

т. е. эквивалентная активная проводимость разветвления равна арифметической сумме активных проводимостей ветвей.

Так как реактивные составляющие ветвей рассматриваемой цепи находятся в противофазе, то для реактивной составляющей общего тока имеем:

$$I_p = I_{p1} - I_{p2} = Ub_L - Ub_C = U(b_L - b_C) = Ub_3,$$

откуда

$$b_3 = b_L - b_C,$$

т. е. эквивалентная реактивная проводимость разветвления равна алгебраической сумме реактивных проводимостей параллельных ветвей, при этом берется со знаком «плюс», — со знаком «минус».

Тогда по соотношению полная эквивалентная проводимость разветвления равна

$$y_3 = \frac{1}{z} = \sqrt{g_3^2 + b_3^2}.$$

Кратко рассмотрим порядок расчета цепи при смешанном соединении потребителей (рис. 3а).

Сначала параллельные ветви заменяем эквивалентной схемой из (рис. 3б), для чего по найденным активным R реактивным X и полным Z проводимостям находим эквивалентные проводимости, а затем и эквивалентные сопротивления.

После преобразования схемы в общую последовательную цепь легко находим общие сопротивления:

$$R_{06} = R_3 + R; \quad x_{06} = x_3 + x; \quad z_{06} = \sqrt{R_{06}^2 + x_{06}^2}$$

и схема еще раз преобразуется в наиболее простую (рис. 3в),

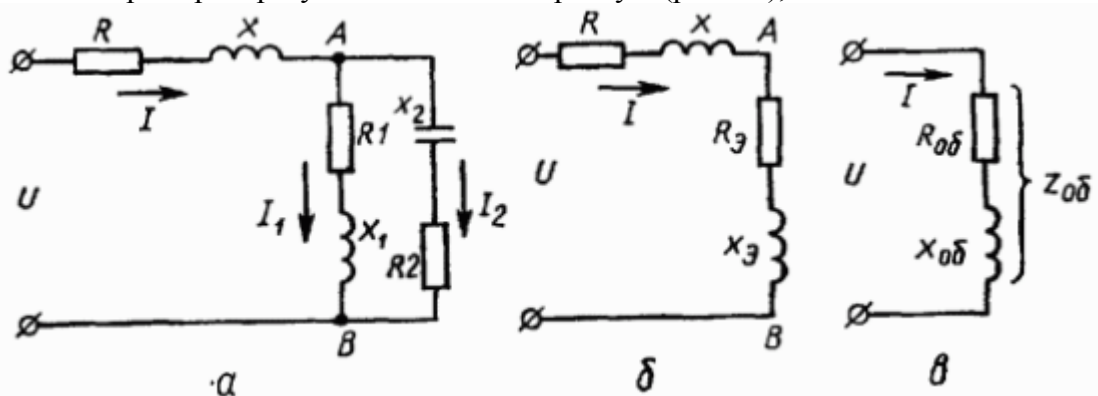


Рис. 3

содержащую два элемента. По этой схеме находят ее основные параметры:

$$I = \frac{U}{z_{06}}; \quad U_{AB} = Iz_3 = \frac{I}{y_3};$$

$$I_1 = U_{AB}y_1; \quad I_2 = U_{AB}y_2.$$

Вопросы для самоконтроля

1. Проводимость в цепи постоянного тока.
2. Полная проводимость цепи.
3. Активная составляющая общего тока.
4. Эквивалентная реактивная проводимость.

Тема 36. Компенсация реактивной мощности. Меры сокращения реактивной мощности.

Реактивная мощность и энергия, реактивный ток, компенсация реактивной мощности

Реактивная мощность необходима для создания переменных магнитных полей в индуктивных электроприемниках и не выполняет непосредственно полезной работы. Вместе с тем, реактивная мощность оказывает существенное влияние на такие параметры системы электроснабжения, как потери мощности и электроэнергии, пропускная способность и уровни напряжения в узлах электрической сети.

Реактивная мощность и энергия ухудшают показатели работы энергосистемы, то есть загрузка реактивными токами генераторов электростанций увеличивает расход топлива, увеличиваются потери в подводящих сетях и приемниках, увеличивается падение напряжения в сетях.

Реактивный ток дополнительно нагружает линии электропередачи, что приводит к увеличению сечений проводов и кабелей и соответственно к увеличению капитальных затрат на внешние и внутривыгодочные сети.

Компенсация реактивной мощности, в настоящее время, является немаловажным фактором позволяющим решить вопрос энергосбережения практически на любом предприятии.

По оценкам отечественных и ведущих зарубежных специалистов, доля энергоресурсов, и в частности электроэнергии занимает величину порядка 30-40% в стоимости продукции. Это достаточно веский аргумент, чтобы руководителю со всей серьезностью подойти к анализу и аудиту энергопотребления и **выработке методики компенсации реактивной мощности. Компенсация реактивной мощности – вот ключ к решению вопроса энергосбережения.**

Потребители реактивной мощности

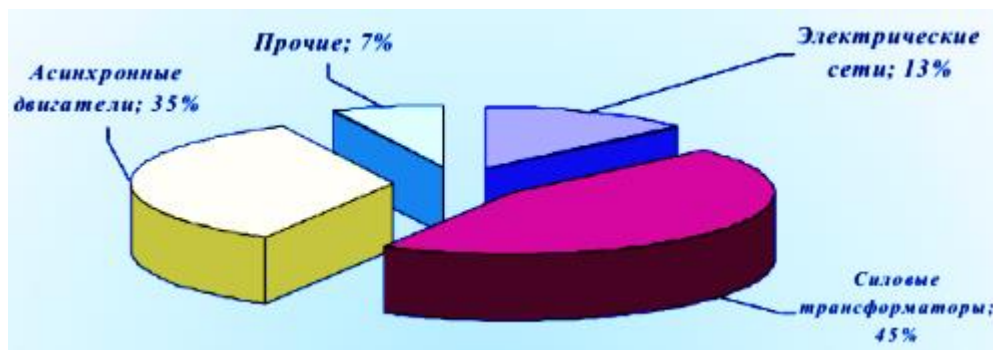
Основные потребители реактивной мощности - асинхронные электродвигатели, которые потребляют 40 % всей мощности совместно с бытовыми и собственными нуждами; электрические печи 8 %; преобразователи 10 %; трансформаторы всех ступеней трансформации 35 %; линии электропередач 7 %.

В электрических машинах переменный магнитный поток связан с обмотками. Вследствие этого в обмотках при протекании переменного тока индуцируются реактивные э.д.с. обуславливающие сдвиг по фазе (ϕ) между напряжением и током. Этот сдвиг по фазе обычно увеличивается, а косинус ϕ уменьшается при малой нагрузке. Например, **если косинус ϕ двигателей переменного тока при полной нагрузке составляет 0,75-0,80, то при малой нагрузке он уменьшится до 0,20-0,40.**

Малонагруженные трансформаторы также имеют низкий коэффициент мощности (косинус ϕ). Поэтому, применять компенсацию реактивной мощности, то результирующий косинус ϕ энергетической системы будет низок и ток нагрузки электрической, без компенсации реактивной мощности, будет увеличиваться при одной и той же потребляемой из сети активной мощности. Соответственно при компенсации реактивной мощности (применении автоматических конденсаторных установок КРМ) ток потребляемый из сети снижается, в зависимости от косинус ϕ на 30-50%, соответственно уменьшается нагрев проводящих проводов и старение изоляции.

Кроме этого, **реактивная мощность наряду с активной мощностью учитывается поставщиком электроэнергии**, а следовательно, подлежит оплате по действующим тарифам, поэтому составляет значительную часть счета за электроэнергию.

Структура потребителей реактивной мощности в сетях энергосистем (по установленной активной мощности):



Прочие преобразователи: переменного тока в постоянный, тока промышленной частоты в ток повышенной или пониженной частоты, печная нагрузка (индукционные печи, дуговые сталеплавильные печи), сварка (сварочные трансформаторы, агрегаты, выпрямители, точечная, контактная).

Суммарные абсолютные и относительные потери реактивной мощности в элементах питающей сети весьма велики и достигают 50% мощности, поступающей в сеть. Примерно 70 - 75% всех потерь реактивной мощности составляют потери в трансформаторах.

Так, в трехобмоточном трансформаторе ТДТН-40000/220 при коэффициенте загрузки, равном 0,8, потери реактивной мощности составляют около 12%. На пути от электростанции происходит самое меньшее три трансформации напряжения, и поэтому потери реактивной мощности в трансформаторах и автотрансформаторах достигают больших значений.

Способы снижения потребления реактивной мощности. Компенсация реактивной мощности

Наиболее действенным и эффективным способом снижения потребляемой из сети реактивной мощности является применение установок компенсации реактивной мощности (конденсаторных установок).

Использование конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности позволяет:

- разгрузить питающие линии электропередачи, трансформаторы и распределительные устройства;
- снизить расходы на оплату электроэнергии
- при использовании определенного типа установок снизить уровень высших гармоник;
- подавить сетевые помехи, снизить несимметрию фаз;
- сделать распределительные сети более надежными и экономичными.

Компенсация реактивной мощности обеспечивает соблюдение условия баланса реактивной мощности, снижает потери мощности и электроэнергии в сети, а также позволяет осуществлять регулирование напряжения посредством применения компенсирующих устройств

Снижение потребления реактивной мощности асинхронными двигателями и располагаемой реактивной мощности синхронных машин (двигателей, синхронных компенсаторов) определяют экспериментальным или расчетным путем на основании параметров конкретных машин.

Снижение потребления реактивной мощности за счет применения КУ должно проводиться при подтверждении экономической целесообразности соответствующим технико-экономическим расчетом.

Снижение потребления реактивной мощности промышленными предприятиями можно получить, устанавливая в цехах фабрик и заводов синхронные, а не асинхронные электродвигатели. Возможность применения синхронных электродвигателей определяется условиями работы. В некоторых отраслях промышленности, например в химической, металлургической и цементной, установленная мощность синхронных двигателей значительна. В других отраслях промышленности, например в легкой, возможность применения синхронных двигателей очень ограничена.

Мероприятия по **снижению потребления реактивной мощности** могут быть разделены на три группы: 1) не требующие применения компенсирующих устройств; 2) связанные с применением компенсирующих устройств; 3) допускаемые в виде исключения.

Одной из эффективных мер по **снижению потребления реактивной мощности асинхронных двигателей** является применение ограничителей холостого хода станков. Ограничитель холостого хода автоматически отключает магнитный пускатель двигателя на - межоперационное время. Имеется большое количество различных видов ограничителей холостого хода. Некоторые из них отключают двигатель в результате механического воздействия на ограничитель со стороны суппорта стола или шпинделя. Другие ограничители механически соединяются с рычагами педального управления или рычагами управления фрикционной муфтой стайка.

Повышение коэффициента мощности электроустановки зависит от **снижения потребления реактивной мощности**.

Повышение коэффициента мощности электроустановки зависит от **снижения потребления реактивной мощности**.

Повышение коэффициента мощности электроустановки зависит от **снижения потребления реактивной мощности**.

В ряде случаев эффективной мерой по **снижению потребления реактивной мощности** является переключение обмоток недогруженного асинхронного двигателя с треугольника на звезду. Для выпускаемых в нашей стране двигателей предельно допускаемая нагрузка переключаемого на звезду асинхронного двигателя должна быть не выше 38 - 45 % номинальной мощности.

Повышение коэффициента мощности электроустановки зависит от **снижения потребления реактивной мощности**.

Учитывая изложенное выше, было решено на первом этапе принять обычную схему питания двигателей, не дающую **снижения потребления реактивной мощности**, однако предусмотреть при выборе основного оборудования возможность перехода в дальнейшем на более рациональную схему привода, а именно на схему с несимметричным сеточным управлением.

Вопросы для самоконтроля

1. Реактивная мощность.
2. Реактивный ток.
3. Потребители реактивной мощности.
4. Способы снижения потребления реактивной мощности.

Тема 37. Расчет компенсационной установки с конденсаторами.

Наиболее распространенными видами компенсирующих устройств, которые выполняют роль местных генераторов реактивной мощности на предприятиях, являются батареи статических конденсаторов и синхронные двигатели. Конденсаторные батареи устанавливают на цеховых общезаводских трансформаторных подстанциях — со стороны низкого или высокого напряжения.

Чем ближе компенсирующее устройство к приемникам реактивной энергии, тем больше звеньев системы электроснабжения разгружается от реактивных токов. Однако при централизованной компенсации, т. е. при установке конденсаторов на трансформаторных подстанциях, конденсаторная мощность используется более полно.

Мощность конденсаторных батарей может быть определена по диаграмме рис. 1.

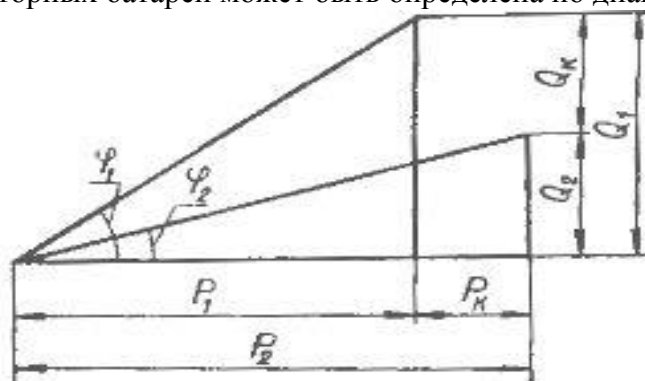


Рис. 1. Диаграмма мощностей

$$Q_k = P_1 \cdot \operatorname{tg}\varphi_1 - P_2 \cdot \operatorname{tg}\varphi_2,$$

где P_1 и P_2 - нагрузка до и после компенсации, φ_1 и φ_2 - соответствующие углы сдвига фаз.

Реактивная мощность, отдаваемая компенсирующей установкой,

$$Q = Q_1 - Q_2,$$

где Q_1 и Q_2 — реактивная мощность до и после компенсации.

Активная мощность, потребляемая из сети компенсирующим устройством

$$P_k = P_2 - P_1.$$

Величину необходимой мощности конденсаторной батареи можно определить приближенно без учета потерь в конденсаторах, которые составляют 0,003 - 0,0045 кВт/квар.

$$Q_k = P (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)$$

Пример расчета и выбор конденсаторных батарей для компенсации реактивной мощности

Необходимо определить номинальную мощность Q_k конденсаторной батареи, необходимой для повышения коэффициента мощности до значения 0,95 на предприятии с трехменным равномерным графиком нагрузки. Среднесуточный расход электроэнергии $A_a = 9200$ кВт/ч; $A_p = 7400$ квар/ч. Конденсаторы установлены на напряжение 380 В.

Среднесуточная нагрузка

$$P_{cp} = A_a/24.?$$

Мощность конденсаторных батарей

$$Q_k = P (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)?$$

где $\operatorname{tg}\varphi_1 = A_p/A_a$, $\operatorname{tg}\varphi_2 = (1 - 0,95^2)/0,95.?$

Выбираем трехфазные конденсаторы типа КМ1-0,38-13 каждый номинальной мощностью 13 квар на напряжение 380 В. Число конденсаторов в батарее

$$n = Q/13?$$

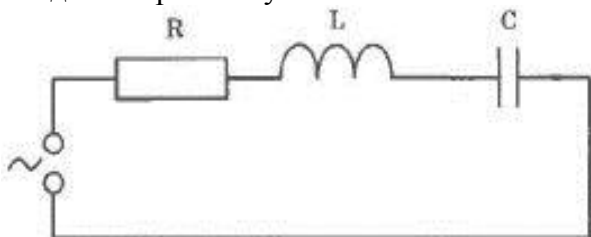
Мощность различных конденсаторных установок для среднесуточной нагрузки можно найти в электротехнических справочниках и каталогах производителей.

Вопросы для самоконтроля

1. Компенсирующее устройство.
2. Мощность конденсаторных батарей.
3. Реактивная мощность, отдаваемая компенсирующей установкой.
4. Активная мощность, потребляемая из сети компенсирующим устройством.
5. Расчет и выбор конденсаторных батарей для компенсации реактивной мощности.

Тема 38. Резонанс в электрических цепях.

Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из последовательно соединенных резистора, конденсатора и катушки.



Если к выводам этой электрической цепи приложить электрическое напряжение, изменяющееся по гармоническому закону с частотой ω и амплитудой U_m , то в цепи возникнут вынужденные колебания силы тока с той же частотой и некоторой амплитудой I_m . Установим связь между амплитудами колебаний силы тока и напряжения. Во всех последовательно включенных элементах цепи изменение силы тока происходят одновременно, так как электромагнитные взаимодействия распространяются со скоростью света. Поэтому считаем, что колебания силы тока во всех элементах последовательной цепи происходят по закону:

$$i = I_m \cos \omega t.$$

Колебание напряжения на резисторе совпадает по фазе с колебаниями силы тока, колебание напряжения на конденсаторе отстает по фазе на $\pi/2$ от колебания силы тока, а колебание напряжения на катушке опережает по фазе колебание силы тока на $\pi/2$.

Поэтому

$$U = U_{Rm} \cos \omega t + U_{Cm} \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) + U_{mL} \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$

Фаза колебаний полного напряжения равна $(\omega t + \phi)$.

$$U_0 = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2} = I_0 \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2}.$$

Отсюда следует, что общее сопротивление при последовательном соединении будет равно:

$$Z_0 = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega} \right)^2}.$$

Сила тока при резонансе зависит от величины активного сопротивления. Чем меньше R , тем острее резонанс. Резонанс наступает при условии $X_L = X_C$. При последовательном соединении R, L, C при условии $X_L = X_C$ получается резонанс напряжения. Из условия

$$X_L = X_C \left(L\omega = \frac{1}{C\omega} \right)$$

Вопросы для самоконтроля

1. Понятие резонанс в электрической цепи.
2. Колебание напряжения.
3. Резистор.
4. Реактивный элемент цепи.
5. Общее сопротивление.

Тема 39. Колебательный контур.

Колебательный контур — электрическая цепь, в которой могут возникать колебания с частотой, определяемой параметрами цепи.

Простейший колебательный контур состоит из конденсатора и катушки индуктивности, соединенных параллельно или последовательно.

- Конденсатор C — реактивный элемент. Обладает способностью накапливать и отдавать электрическую энергию.

- Катушка индуктивности L — реактивный элемент. Обладает способностью накапливать и отдавать магнитную энергию.

Свободные электрические колебания в параллельном контуре.

Основные свойства индуктивности:

- Ток, протекающий в катушке индуктивности, создаёт магнитное поле с

энергией
$$E_L = \frac{LI^2}{2}.$$

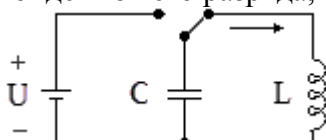
- Изменение тока в катушке вызывает изменение магнитного потока в её витках, создавая в них ЭДС, препятствующую изменению тока и магнитного потока.

Период свободных колебаний контура LC можно описать следующим образом:

Если конденсатор ёмкостью C заряжен до напряжения U , потенциальная энергия его заряда

составит
$$E_C = \frac{CU^2}{2}.$$

Если параллельно заряженному конденсатору подключить катушку индуктивности L , в цепи пойдёт ток его разряда, создавая магнитное поле в катушке.

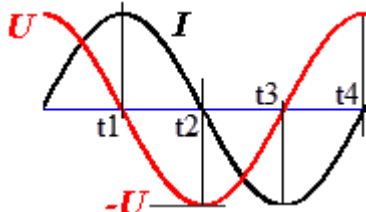


Магнитный поток, увеличиваясь от нуля, создаст ЭДС в направлении противоположном току в катушке, что будет препятствовать нарастанию тока в цепи, поэтому конденсатор разрядится не мгновенно, а через время t_1 , которое определяется индуктивностью катушки и

ёмкостью конденсатора из расчёта $t_1 = \frac{\pi\sqrt{LC}}{2}$.
 По истечении времени t_1 , когда конденсатор разрядится до нуля, ток в катушке и магнитная энергия будут максимальны.

$$E_L = \frac{LI^2}{2}$$

Накопленная катушкой магнитная энергия в этот момент составит E_L . В идеальном рассмотрении, при полном отсутствии потерь в контуре, E_C будет равна E_L . Таким образом, электрическая энергия конденсатора перейдёт в магнитную энергию катушки.



Изменение (уменьшение) магнитного потока накопленной энергии катушки создаст в ней ЭДС, которая продолжит ток в том же направлении и начнётся процесс заряда конденсатора индукционным током. Уменьшаясь от максимума до нуля в течении времени $t_2 = t_1$, он перезарядит конденсатор от нуля до максимального отрицательного значения ($-U$). Так магнитная энергия катушки перейдёт в электрическую энергию конденсатора.

Описанные интервалы t_1 и t_2 составят половину периода полного колебания в контуре. Во второй половине процессы аналогичны, только конденсатор будет разряжаться от отрицательного значения, а ток и магнитный поток сменят направление. Магнитная энергия вновь будет накапливаться в катушке в течении времени t_3 , сменив полярность полюсов.

В течении заключительного этапа колебания (t_4), накопленная магнитная энергия катушки зарядит конденсатор до первоначального значения U (в случае отсутствия потерь) и процесс колебания повторится.

В реальности, при наличии потерь энергии на активном сопротивлении проводников, фазовых и магнитных потерь, колебания будут затухающими по амплитуде.

Время $t_1 + t_2 + t_3 + t_4$ составит период колебаний $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

Частота свободных колебаний контура $f = 1 / T$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Частота свободных колебаний является частотой резонанса контура, на которой реактивное сопротивление индуктивности $X_L = 2\pi fL$ равно реактивному сопротивлению ёмкости $X_C = 1/(2\pi fC)$.

Вопросы для самоконтроля

1. Колебательный контур.
2. Свободные электрические колебания в параллельном контуре.
3. Период свободных колебаний контура.
4. Основные свойства индуктивности.

Тема 40. Резонанс напряжений и токов.

Известно, что в механической системе резонанс наступает при равенстве собственной частоты колебаний системы и частоты колебаний возмущающей силы, действующей на систему. Колебания механической системы, например колебания маятника, сопровождаются периодическим переходом кинетической энергии в потенциальную и наоборот. При резонансе механической системы малые возмущающие силы могут вызывать большие колебания системы, например большую амплитуду колебаний маятника.

В цепях переменного тока, где есть индуктивность и ёмкость, могут возникнуть явления резонанса, которые аналогичны явлению резонанса в механической системе. Однако полная аналогия - равенство собственной частоты колебаний электрического контура частоте возмущающей силы (частоте напряжения сети) — возможна не во всех случаях.

В общем случае под резонансом электрической цепи понимают такое состояние цепи, когда ток и напряжение совпадают по фазе, и, следовательно, эквивалентная схема цепи представляет собой активное сопротивление. Такое состояние цепи имеет место при определенном соотношении ее параметров r, L, C , когда резонансная частота цепи равна частоте приложенного к ней напряжения.

Резонанс в электрической цепи сопровождается периодическим переходом энергии электрического поля емкости в энергию магнитного поля индуктивности и наоборот.

При резонансе в электрической цепи малые напряжения, приложенные к цепи, могут вызвать значительные токи и напряжения на отдельных ее участках. В цепи, где r, L, C соединены последовательно, может возникнуть резонанс напряжений, а в цепи, где r, L, C соединены параллельно, — резонанс токов.

Рассмотрим явление резонанса напряжений на примере цепи рис. 2.11, а.

Как отмечалось, при резонансе ток и напряжение совпадают по фазе, т. е. угол $\varphi = 0$. и полное сопротивление цепи равно ее активному сопротивлению.

$$z = \sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2} = r.$$

Это равенство, очевидно, будет иметь место, если $x_L = x_C$, т. е. реактивное сопротивление цепи равно нулю:

$$x = x_L - x_C = 0.$$

Выразив x_L и x_C соответственно через L, C и f , получим

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC},$$

откуда

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = f_{\text{рез}}$$

где f — частота напряжения, подведенного к контуру; $f_{\text{рез}}$ — резонансная частота.

Таким образом, при $x_L = x_C$ в цепи возникает резонанс напряжений, так как резонансная частота равна частоте напряжения, подведенного к цепи.

Из выражения закона Ома для последовательной цепи

$$I = \frac{U}{\sqrt{r^2 + (x_L - x_C)^2}}.$$

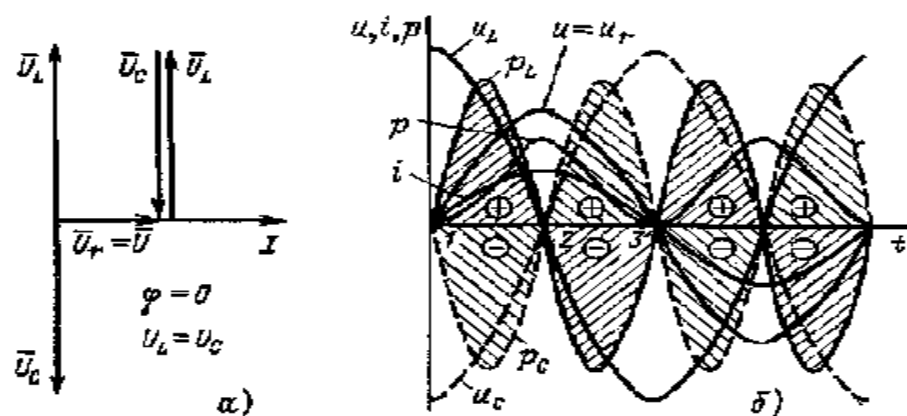


Рис. 8. Векторная диаграмма (а) и графики мгновенных значений u, i, p (б) цепи рис. 2.11, а при резонансе напряжений

вытекает, что ток в цепи при резонансе равен напряжению, деленному на активное сопротивление:

$$I = U/r.$$

Ток в цепи может оказаться значительно больше тока, который был бы при отсутствии резонанса. При резонансе напряжение на индуктивности равно напряжению на емкости:

$$Ix_L = Ix_C = U_L = U_C.$$

При больших значениях x_L и x_C относительно r эти напряжения могут во много раз превышать напряжение сети. Резонанс в цепи при последовательном соединении потребителей носит название резонанса напряжений.

Напряжение на активном сопротивлении при резонансе равно напряжению, приложенному к цепи:

$$U_r = Ir = U.$$

На рис. 2.14, а изображена векторная диаграмма цепи рис. 2.11, а при резонансе напряжений. Диаграмма подтверждает тот факт, что ток совпадает по фазе с напряжением сети и что

напряжение на активном сопротивлении равно напряжению сети. Реактивная мощность при резонансе равна нулю:

$$Q = Q_L - Q_C = U_L I - U_C I = 0.$$

так как $U_L = U_C$.

Полная мощность равна активной мощности;

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = P,$$

так как реактивная мощность равна нулю. Коэффициент мощности равен единице:

$$\cos \varphi = P/S = r/z = 1.$$

Поскольку резонанс напряжений возникает, когда индуктивное сопротивление последовательной цепи равно емкостному, а их значения определяются соответственно индуктивностью, емкостью цепи и частотой сети,

$$x_L = 2\pi fL, \quad x_C = \frac{1}{2\pi fC}.$$

Резонанс может быть получен или путем подбора параметров цепи при заданной частоте сети, или путем подбора частоты сети при заданных параметрах цепи.

На рис. 2.14, б изображены графики мгновенных значений тока i , напряжения u сети и напряжений u_L , u_C , u_r на отдельных участках, а также активной $p = iu_r$ и реактивной $p_L = iu_L$, $p_C = iu_C$ мощностей за период для цепи рис. 2.11. а при резонансе напряжений. С помощью этих графиков можно проследить энергетические процессы, происходящие в цепи при резонансе напряжений.

Активная мощность p все время положительна, она поступает из сети к активному сопротивлению и выделяется в нем в виде тепла. Мощности p_L и p_C знакопеременные, и, как видно из графика, их средние значения равны нулю.

В момент времени $t = 0$ (точка 1 на рис. 2.14, б) ток в цепи $i = 0$ и энергия магнитного поля $W_L = 0$. Напряжение на емкости равно амплитудному значению U_{mc} , конденсатор заряжен и энергия его электрического поля

$$W_C = \frac{U_{mc}^2 C}{2}.$$

В первую четверть периода, в интервале времени между точками 1 и 2, напряжение на емкости и, следовательно, энергия электрического поля убывают. Ток в цепи и энергия магнитного поля возрастают.

В конце первой четверти периода (точка 2) $u_C = 0$, $W_C = 0$. $i = I_m$, $W_L = I_m^2 L/2$.

Таким образом, в первую четверть периода энергия электрического поля переходит в энергию магнитного поля.

Так как площади $p_C(t)$ и $p_L(t)$, выражающие запас энергии соответственно в электрическом и магнитном полях, одинаковы, вся энергия электрического поля конденсатора переходит в энергию магнитного поля индуктивности. Во вторую четверть периода, в интервале между точками 2 и 3, энергия магнитного поля переходит в энергию электрического поля.

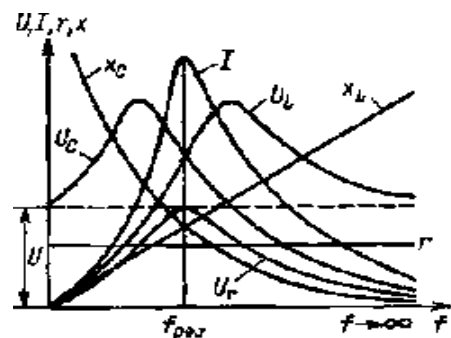


Рис. 9. Графики зависимости I , r , x_C , x_L , U_r , U_L , U_C от частоты цепи, изображенной на рис. 8, а

Аналогичные процессы происходят и в последующие четверти периода.

Таким образом, при резонансе реактивная энергия циркулирует внутри контура от индуктивности к емкости и обратно. Обмена реактивной энергией между источниками и

цепью не происходит. Ток в проводниках, соединяющих источник с цепью, обусловлен только активной мощностью.

Для анализа цепей иногда используют частотный метод, позволяющий выяснить зависимость параметров цепи и других величин от частоты.

На рис 9 изображены графики зависимости $U_r, U_C, U_L, I, x_C, x_L$, от частоты при неизменном напряжении сети.

При $f=0$ сопротивление $x_L = 2\pi fL = 0$, ток $I = 0$, напряжения $U_r = I_r = 0$,
 $x_C = 1/2\pi fC = \infty$, ток $I = 0$, напряжения $U_r = I_r = 0$,
 $U_L = Ix_L = 0, U_C = U$.

При $f=f_{рез}$ $x_L = x_C, I = U/r, U_L = U_C, U_r = U$. При $f \rightarrow \infty$ $x_L \rightarrow \infty, x_C \rightarrow 0, U_r \rightarrow 0, U_C \rightarrow 0, U_L \rightarrow U$.

В интервале частот от $f=0$ до $f=f_{рез}$ нагрузка имеет активно-емкостный характер, ток опережает по фазе напряжение сети. В интервале частот $f=f_{рез}$ до $f \rightarrow \infty$ нагрузка носит активно-индуктивный характер, ток отстает по фазе от напряжения сети.

Наибольшее значение напряжения на емкости получается при частоте, несколько меньшей резонансной, на индуктивности - при частоте, несколько большей резонансной.

Явления резонанса широко используются в радиоэлектронных устройствах и в заводских промышленных установках.

Вопросы для самоконтроля

1. Резонанс напряжений.
2. Резонанс токов.
3. Последовательное и параллельное соединение элементов.
4. Векторная диаграмма при резонансе токов и напряжений.

Тема 41. Символический метод расчета электрических цепей. Закон Ома в символической форме.

В процессе расчетов электрических цепей переменного синусоидального тока часто бывает полезен Закон Ома в комплексной форме. Под электрической цепью здесь понимается линейная цепь в установившемся режиме работы, то есть такая цепь, в которой переходные процессы завершились и токи установились.

Падения напряжений, ЭДС источников и токи в ветвях такой цепи являются попросту тригонометрическими функциями времени. Ежели даже в установившемся режиме форма тока в цепи не является синусоидой (меандр, пила, импульсные помехи), то и Закон Ома в комплексной форме будет уже не применим.

Так или иначе, всюду в промышленности сегодня применяется система трехфазного переменного синусоидального тока. Напряжение в таких сетях имеет строго определенные частоту и действующее значение. Действующее значение «220 вольт» или «380 вольт» можно встретить в маркировках на разнообразном оборудовании, в технической документации на него. Именно по этой причине, по причине столь явной унификации, Закон Ома в комплексной форме и удобен во многих расчетах электрических цепей (где он применяется совместно с Правилами Кирхгофа).

Закон Ома в комплексной форме

Обычная форма записи Закона Ома отличается от комплексной формы его записи. В комплексной форме обозначения ЭДС, напряжений, токов, сопротивлений, - записываются как комплексные числа. Это необходимо для того, чтобы удобно учитывать и вести расчеты как с активными, так и с реактивными сопротивлениями, имеющими место в цепях переменного тока.

Не всегда можно просто взять и поделить падение напряжения на ток, иногда важно учесть характер участка цепи, и это вынуждает нас вносить в математику определенные дополнения.

Символьный метод (метод с комплексными числами) позволяет избавиться от надобности решать дифференциальные уравнения в процессе расчета электрической цепи синусоидального тока. Ибо в цепи переменного тока бывает такое, что ток например есть, а падения напряжения на участке цепи нет; или падение напряжения есть, а тока в цепи нет, в то время как цепь, казалось бы, замкнута.

В цепях постоянного тока такое просто невозможно. Вот почему для переменного тока и Закон Ома отличается. Разве что для чисто активной нагрузки в однофазной цепи он может применяться почти без отличий от расчетов с током постоянным.

Полное сопротивление

Комплексное число состоит из мнимой Im и вещественной Re части, при этом его можно представить вектором в полярных координатах. Для вектора будет характерен некий модуль и угол, на который он повернут вокруг начала координат относительно оси абсцисс. Модуль есть амплитуда, а угол — начальная фаза.

Запись данного вектора можно произвести в тригонометрической, показательной или алгебраической формах. Это и будет символическое изображение реальных физических явлений, ибо в реальности мнимых и вещественных характеристик в цепях на самом деле нет. Это лишь удобный метод решения электротехнических задач с цепями.

Комплексные числа можно делить, умножать, складывать, возводить в степень. Эти операции необходимо уметь выполнять чтобы мочь применять Закон Ома в комплексной форме.

Напряжение и ток

Фазовый сдвиг

Сопротивления в цепях переменного тока подразделяют на: активное, реактивное и полное. Кроме того следует отличать проводимость. Электроемкость и индуктивность обладают реактивными сопротивлениями переменному току. Реактивные сопротивления относятся к мнимой части, а активное сопротивление и проводимость — к части вещественной, то есть к вполне реальной.

Запись сопротивлений в символической форме несет за собой определенный физический смысл. На активном сопротивлении электроэнергия реально рассеивается в форме тепла по Закону Джоуля-Ленца, в то время как на емкости и индуктивности она преобразуется в энергию электрического и магнитного полей. И возможны преобразования энергии из одной из этих форм - в другую: из энергии магнитного поля — в тепловую или из энергии электрического поля частично в магнитную, а частично — в тепловую и т. д.

Запись сопротивлений в символической форме

Традиционно токи, падения напряжений и ЭДС записывают в тригонометрическом виде, где учитываются как амплитуда, так и фаза, что вполне явно отражает физический смысл явления. Однако угловая частота у напряжений и токов может отличаться, поэтому практически более удобна алгебраическая форма записи.

Наличие угла между током и напряжением приводит к тому, что во время колебаний существуют такие моменты, когда ток (или падение напряжения) равен нулю, а падение напряжения (или ток) не равно нулю. Когда напряжение и ток находятся в одной фазе, то угол между ними кратен 180° , и тогда если падение напряжения равно нулю, то и ток в цепи равен нулю. Речь о мгновенных значениях.

Закон Ома в комплексной форме

Итак, понимая алгебраическую запись, можно записать теперь Закон Ома в комплексной форме. Вместо просо активного сопротивления (свойственного цепям постоянного тока) здесь будет записываться полное (комплексное) сопротивление Z , а действующие значения ЭДС, токов и напряжений — станут комплексными величинами.

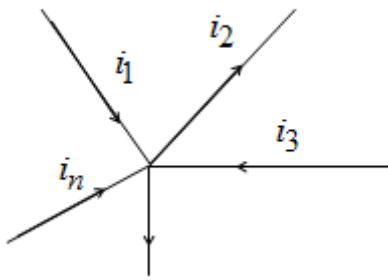
Во время расчета электрической цепи с применением комплексных чисел, важно помнить, что данный метод применим только к цепям синусоидального тока и именно в установившемся режиме работы.

Вопросы для самоконтроля

- 1. Закон Ома в комплексной форме.**
- 2. Полное сопротивление.**
- 3. Напряжение и ток.**
- 4. Фазовый сдвиг.**

Тема 42. Закон Кирхгофа в символической форме.

I закон Кирхгофа.



Для мгновенных значений токов, сходящихся в каком-либо узле цепи закон записывается в виде $\sum i_k = 0$.

Если $i_k = I_{km} \sin(\omega t + \psi_k)$, то изображение вращающегося вектора амплитуды токов будет

$$\underline{I}_{km}(\omega) = I_{km} e^{j(\omega t + \psi_k)} = I_{km} e^{j\psi_k} e^{j\omega t} = \underline{I}_{km} e^{j\omega t}$$

Взяв сумму всех векторов и приравняв ее нулю, получим

$$\sum \underline{I}_{km} e^{j\omega t} = 0 \quad \text{или} \quad e^{j\omega t} \cdot \sum \underline{I}_{km} = 0$$

Отсюда $\sum \underline{I}_{km} = 0$. Учитывая, что $\underline{I}_k = \underline{I}_{km} / \sqrt{2}$, для действующих значений можно записать $\sum \underline{I}_k = 0$.

II закон Кирхгофа.

Применительно к контуру цепи для мгновенных значений ЭДС и напряжений второй

закон имеет вид
$$\sum_{k=1}^n e_k = \sum_{k=1}^n u_k$$

В случае синусоидальных величин, когда $u_k = U_{km} \sin(\omega t + \psi_{u_k})$ и $e_k = E_{km} \sin(\omega t + \psi_{e_k})$, закон можно представить в виде вращающихся изображающих векторов

$$\sum \underline{E}_{km} e^{j\omega t} = \sum \underline{U}_{km} e^{j\omega t} = \sum \underline{Z}_k \underline{I}_{km} e^{j\omega t}$$

Отсюда $\sum \underline{E}_{km} = \sum \underline{U}_{km} = \sum \underline{Z}_k \underline{I}_{km}$.

Здесь $\underline{E}_{km} = E_{km} e^{j\psi_{e_k}}$; $\underline{U}_{km} = U_{km} e^{j\psi_{u_k}}$; $\underline{I}_{km} = I_{km} e^{j\psi_{i_k}}$ – комплексы амплитуд ЭДС, напряжений и токов k-й ветви контура.

Принимая во внимание связь между амплитудными и действующими значениями, выражение закона можно записать в виде:

$$\sum \underline{E}_k = \sum \underline{U}_k = \sum \underline{Z}_k \underline{I}_k$$

Если в какой-либо k-й ветви имеются последовательно соединенные элементы R_k , L_k , C_k , то

$$\underline{Z}_k = R_k + j\omega L_k + \frac{1}{j\omega C_k} = R_k + j\left(\omega L_k - \frac{1}{\omega C_k}\right) = R_k + jX_k$$

Тогда для этой ветви получим

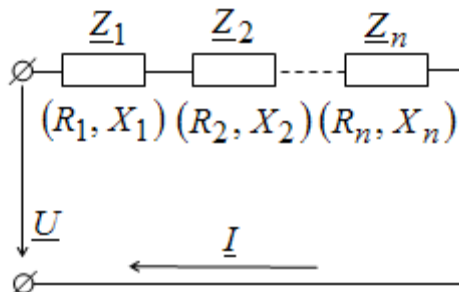
$$\underline{Z}_k \underline{I}_k = \left[R_k + j\left(\omega L_k - \frac{1}{\omega C_k}\right) \right] \cdot \underline{I}_k = R_k \underline{I}_k + jX_k \underline{I}_k$$

Как и в случае цепей постоянного тока, перед составлением уравнений по II закону Кирхгофа необходимо задавать положительные направления ЭДС, токов и напряжений во всех ветвях цепи, обозначив эти направления стрелками.

Можно показать, что все методы расчета цепей постоянного тока применимы и для расчета цепей синусоидального тока, если использовать при этом символическое изображение функций.

Следует четко представлять, что при расчете цепей синусоидального тока реальные направления величин периодически изменяются. Поэтому произвол в выборе положительных направлений отражается на их фазах: изменение выбранного положительного направления на противоположное меняет фазу на 180° , что соответствует изменению направления изображающего вектора на обратное.

Последовательное соединение элементов.



По II закону Кирхгофа имеем

$$\underline{U} = \sum \underline{U}_k = \sum \underline{Z}_k \underline{I} = \underline{I} \sum \underline{Z}_k = \underline{Z} \cdot \underline{I}.$$

Учитывая, что $Z_k = R_k + jX_k$, общее сопротивление можно представить в виде $\underline{Z} = \sum \underline{Z}_k = \sum R_k + j \sum X_k = R + jX$. Следовательно, $R = \sum R_k$; $X = \sum X_k$.

Таким образом, общее активное сопротивление последовательного соединения равно арифметической сумме активных сопротивлений всех элементов, а общее реактивное – алгебраической сумме сопротивлений реактивных элементов.

На основании вышеизложенного

$$RI^2 = I^2 \sum R_k = \sum R_k I^2; \quad P = \sum P_k = \sum R_k I^2;$$

$$XI^2 = I^2 \sum X_k = \sum X_k I^2; \quad Q = \sum Q_k = \sum X_k I^2.$$

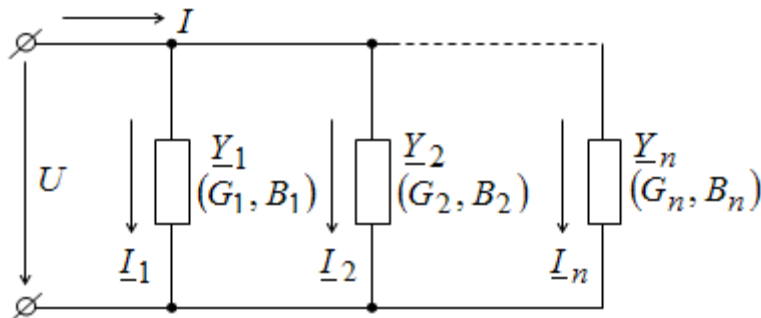
Следовательно, активная мощность P равна арифметической сумме активных мощностей, а реактивная – алгебраической сумме реактивных мощностей элементов.

Параллельное соединение элементов.

По I закону Кирхгофа общий ток на входе цепи будет

$$\underline{I} = \sum \underline{I}_k = \sum \underline{Y}_k \underline{U} = \underline{U} \sum \underline{Y}_k = \underline{U} \cdot \underline{Y}_k,$$

где $Y = G_k + jB_k$ – комплексная проводимость k -го участка.



Таким образом, комплексная проводимость всей цепи при параллельном соединении равна алгебраической сумме комплексных проводимостей отдельных участков

$$\underline{Y} = \sum \underline{Y}_k = \sum G_k + j \sum B_k = G + jB.$$

Следовательно, $G = \sum G_k$; $B = \sum B_k$.

Таким образом, активная проводимость равна арифметической сумме активных проводимостей отдельных ветвей, а реактивная – алгебраической сумме реактивных проводимостей.

Пользуясь полученными результатами, получим

$$GU^2 = U^2 \sum G_k = \sum G_k U^2; \quad P = \sum P_k = \sum G_k U^2;$$

$$BU^2 = U^2 \sum B_k = \sum B_k U^2; \quad Q = \sum Q_k = \sum B_k U^2.$$

Следовательно, активная мощность P равна арифметической сумме активных мощностей, а реактивная – алгебраической сумме реактивных мощностей всех параллельных ветвей.

Вопросы для самоконтроля

1. Выражение Кирхгофа в символической форме.
2. Составление уравнений.
3. Последовательное соединение элементов.
4. Параллельное соединение элементов.

Тема 43. Трехфазные системы ЭДС.

Трехфазные электрические цепи представляют собой частный случай многофазных цепей. Многофазная система электрических цепей есть совокупность нескольких однофазных электрических цепей, в каждой из которых действуют синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, создаваемые общим источником энергии и сдвинутые друг относительно друга по фазе на один и тот же угол. Термин «фаза» применяется для обозначения угла, характеризующего стадию периодического процесса, а также для названия однофазной цепи, входящей в многофазную цепь.

Обычно применяют симметричные многофазные системы, у которых амплитудные значения ЭДС одинаковы, а фазы сдвинуты друг относительно друга на один и тот же угол $\frac{2\pi}{m}$, где m — число фаз. Наиболее часто в электротехнике используют двухфазные, трехфазные, шестифазные цепи. В электроэнергетике наибольшее практическое значение имеют трехфазные системы.

Трехфазные цепи — это совокупность трех однофазных цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, сдвинутые по фазе друг относительно друга на угол $\frac{2\pi}{3}$. Источником электрической энергии в трехфазной цепи является синхронный генератор, в трех обмотках которого, конструктивно сдвинутых друг относительно друга на угол $\frac{2\pi}{3}$ и называемых фазами, индуцируются три ЭДС в свою очередь, также сдвинуты относительно друг друга на угол $\frac{2\pi}{3}$. Устройство трехфазного синхронного генератора схематически показано на рис. 1.

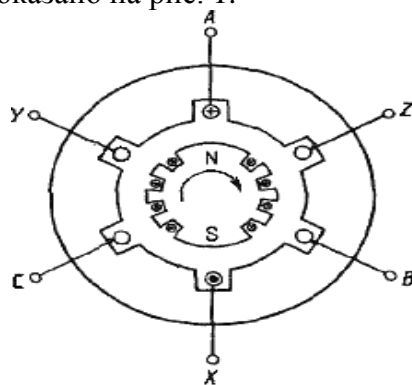


Рис. 1

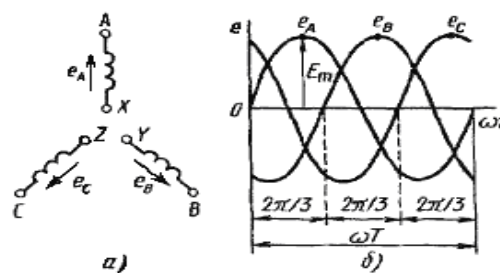


Рис. 2

В пазах сердечника статора расположены три одинаковые обмотки. На переднем торце статора витки обмоток оканчиваются зажимами А, В, С (начало обмоток) и соответственно зажимами Х, Y, Z (концы обмоток). Начала обмоток смещены относительно друг друга на угол $\frac{2\pi}{3}$ и соответственно их концы также сдвинуты относительно друг друга на угол $\frac{2\pi}{3}$. ЭДС в обмотках статора индуцируются в результате пересечения

их витков магнитным полем, которое возбуждается постоянным током, проходящим по обмотке вращающегося ротора, которая называется обмоткой возбуждения. При равномерной частоте вращения ротора в обмотках статора индуцируются синусоидальные ЭДС одинаковой частоты, сдвинутые по фазе относительно друг друга на угол 3 .

Трехфазная система ЭДС, индуцируемых в статоре синхронного генератора, обычно представляет собой симметричную систему. На электрических схемах обмотки статора трехфазного генератора условно изображают так, как показано на рис. 2 (а). За условное положительное направление ЭДС в каждой фазе генератора принимают направление от конца к началу обмотки.

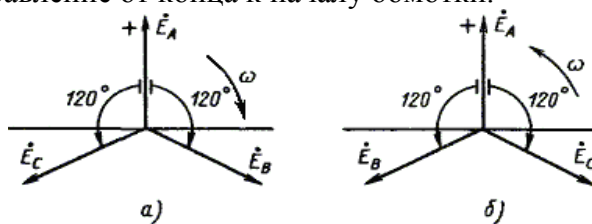


Рис. 3

На рис. 2 (б) показано изменение мгновенных значений ЭДС трехфазного генератора, а на рис. 3 (а, б) даны его векторные диаграммы для прямой и обратной последовательности чередования фаз. Последовательность, с которой ЭДС в фазных обмотках генератора принимает одинаковые значения, называют порядком чередования фаз или последовательностью фаз. Если ротор генератора вращать в направлении, указанном на рис. 1, то получается последовательность чередования фаз ABC, т. е. ЭДС фазы В отстает по фазе от ЭДС фазы А, и ЭДС фазы С отстает по фазе от ЭДС фазы В.

Такую систему ЭДС называют системой прямой последовательности. Если изменить направление вращения ротора генератора на противоположное, то последовательность чередования фаз будет обратной. У генераторов роторы всегда вращаются в одном направлении, вследствие чего последовательность чередования фаз никогда не изменяется.

На практике у генераторов обычно применяется прямая последовательность чередования фаз. От последовательности чередования фаз зависит направление вращения трехфазных синхронных и асинхронных двигателей. Достаточно поменять местами две любые фазы двигателя, как возникает обратная последовательность чередования фаз и, следовательно, противоположное направление вращения двигателя.

Последовательность фаз необходимо также учитывать при параллельном включении трехфазных генераторов.

Вопросы для самоконтроля

1. Линейные токи и напряжения – определение, применение.
2. Фазные токи и напряжения – определение, применение.
3. ЭДС трехфазного генератора и электродвигателя.

Тема 44. Фазные и линейные напряжения и токи.

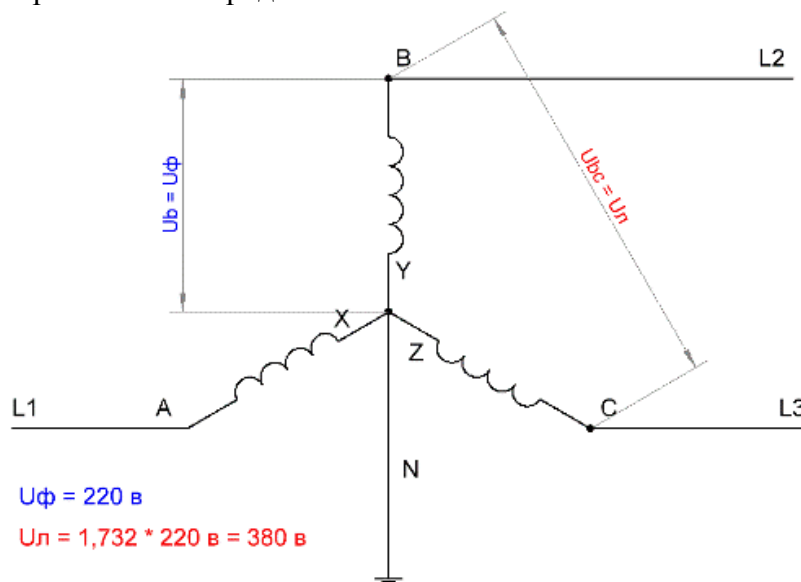
Ни для кого не секрет, что сегодня электроэнергия от генерирующих электростанций подается к потребителям по высоковольтным линиям электропередач с частотой 50 Гц. На трансформаторных подстанциях высокое синусоидальное напряжение понижается, и распределяется по потребителям на уровне 220 или 380 вольт. Где-то сеть однофазная, где-то трехфазная, однако давайте разбираться.

Действующее значение и амплитудное значение напряжения

Прежде всего отметим, что когда говорят 220 или 380 вольт, то имеют в виду действующие значения напряжений, выражаясь математическим языком - **среднеквадратичные значения напряжений**. Что это значит?

Это значит, что на самом деле амплитуда U_m (максимум) синусоидального напряжения, фазного U_{mf} или линейного U_{ml} , всегда больше этого действующего значения. Для синусоидального напряжения его амплитуда больше действующего значения в корень из 2 раз, то есть в 1,414 раза.

Так что для фазного напряжения в 220 вольт амплитуда равна 310 вольт, а для линейного напряжения в 380 вольт амплитуда окажется равной 537 вольт. А если учесть, что напряжение в сети никогда не бывает стабильным, то эти значения могут быть как ниже, так и выше. Данное обстоятельство всегда следует учитывать, например выбирая конденсаторы для трехфазного асинхронного электродвигателя.



Фазное сетевой напряжение

Обмотки генератора соединены по схеме «звезда», и объединены концами X, Y и Z в одной точке (в центре звезды), которая называется нейтралью или нулевой точкой генератора. Это четырехпроводная трехфазная схема. К выводам обмоток A, B и C присоединяются линейные провода L1, L2 и L3, а к нулевой точке — нейтральный провод N.

Напряжения между выводом A и нулевой точкой, B и нулевой точкой, C и нулевой точкой, - называются фазными напряжениями, их обозначают U_a , U_b и U_c , ну а поскольку сеть симметрична, то можно просто написать U_{ϕ} — фазное напряжение.

В трехфазных сетях переменного тока большинства стран стандартное фазное напряжение равно приблизительно 220 вольт — напряжение между фазным проводом и нейтральной точкой, которая обычно заземляется, и ее потенциал принимается равным нулю, потому она и называется еще **нулевой точкой**.

Линейное напряжение трехфазной сети

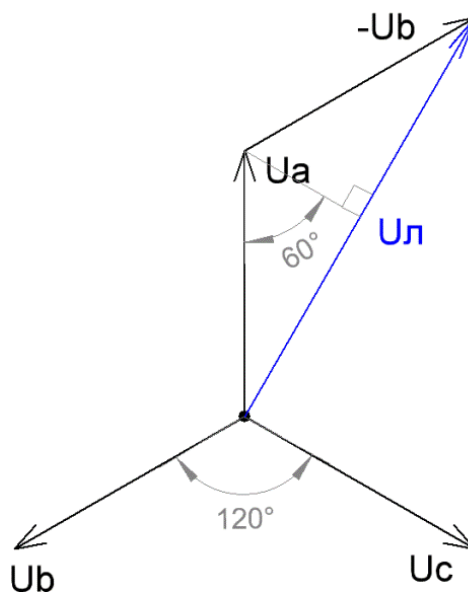
Напряжения между выводом A и выводом B, между выводом B и выводом C, между выводом C и выводом A, - называются линейными напряжениями, то есть это напряжения между линейными проводниками трехфазной сети. Их обозначают U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} , или можно просто написать $U_{\text{л}}$.

Стандартное линейное напряжение в большинстве стран равно приблизительно 380 вольт. Легко заметить в данном случае, что 380 больше 220 в 1,727 раза, и, пренебрегая потерями, ясно, что это квадратный корень из 3, то есть 1,732. Безусловно, напряжение в сети все время в ту или другую сторону колеблется в зависимости от текущей загруженности сети, но соотношение между линейными и фазными напряжениями именно таково.

Откуда взялся корень из 3

В электротехнике часто применяют векторный метод изображения синусоидально изменяющихся во времени величин напряжений и токов.

График зависимости величины проекции от времени есть синусоида. И если амплитуда напряжения — это длина вектора U , то проекция, которая меняется со временем — это текущее значение напряжения, а синусоида отражает динамику напряжения.



Так вот, если теперь изобразить векторную диаграмму трехфазных напряжений, то получится, что между векторами трех фаз одинаковые углы по 120° , и тогда если длины векторов — это действующие значения фазных напряжений U_ϕ , то чтобы найти линейные напряжения U_Δ , необходимо вычислить РАЗНОСТЬ любой пары векторов двух фазных напряжений. Например $U_a - U_b$.

$$U_\Delta = 2 * U_a * \sin 60^\circ = 2 * U_a * \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} * U_a = 1,732 * U_a$$

$$U_\Delta = 1,732 * U_\phi$$

Выполнив построение методом параллелограмма, увидим, что вектор $U_\Delta = U_a + (-U_b)$, и в результате $U_\Delta = 1,732U_\phi$. Отсюда и получается, что если стандартные фазные напряжения равны 220 вольт, то соответствующие линейные будут равны 380 вольт.

Вопросы для самоконтроля

1. Действующее значение и амплитудное значение напряжения.
2. Среднеквадратичные значения напряжений.
3. Фазное сетевое напряжение.
4. Линейное напряжение трехфазной сети

Тема 45. Расчет симметричной трехфазной цепи при соединении приемника «звездой» и «треугольником».

Цепь трехфазного переменного тока состоит из трехфазного источника питания, трехфазного потребителя и проводников линии связи между ними.

Симметричный трехфазный источник питания можно представить в виде трех однофазных источников, работающих на одной частоте с одинаковым напряжением и имеющих временной угол сдвига фаз 120° . Эти источники могут соединяться звездой или треугольником.

При соединении звездой условные начала фаз используют для подключения трех линейных проводников А, В, С, а концы фаз объединяют в одну точку, называемую нейтральной точкой источника питания (трехфазного генератора или трансформатора). К этой точке может подключаться нейтральный провод N. Схема соединения фаз источника питания звездой приведена на рисунке 1, а.

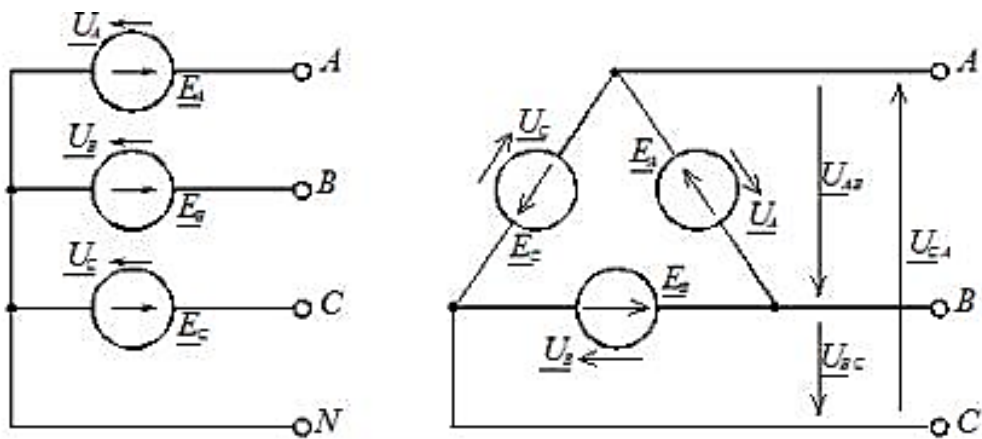


Рис. 1. Схемы соединения фаз источника питания: а – звездой; б – треугольником

Напряжение между линейным и нейтральным проводами называется фазным, а между линейными проводами – линейным (подробнее смотрите здесь - Линейное и фазное напряжение).

В комплексной форме записи выражения для фазных напряжений имеют вид:

$$\underline{U}_A = U_\phi \text{ В}, \quad \underline{U}_B = U_\phi e^{-j120^\circ} \text{ В}, \quad \underline{U}_C = U_\phi e^{j120^\circ} \text{ В}.$$

Соответствующие им линейные напряжения при соединении звездой:

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B = U_\phi e^{j30^\circ} \text{ В}, \quad \underline{U}_{BC} = \underline{U}_B - \underline{U}_C = U_\phi e^{j30^\circ} \text{ В},$$

$$\underline{U}_{CA} = \underline{U}_C - \underline{U}_A = U_\phi e^{j30^\circ} \text{ В}.$$

Здесь U_ϕ – модуль фазного напряжения источника питания, а U_π – модуль линейного напряжения. В симметричной трёхфазной системе, при соединении фаз источника звездой, между этими напряжениями есть взаимосвязь:

$$U_\pi = \sqrt{3} U_\phi$$

При включении фаз треугольником фазные источники питания соединяют последовательно в замкнутый контур (рисунок 1, б).

Из точек объединения источников между собой выводятся три линейных провода А, В, С, идущие к нагрузке. Из рисунка 1, б видно, что выводы фазных источников подключены к линейным проводникам, а следовательно, при соединении фаз источника треугольником фазные напряжения равны линейным. Нейтральный провод в этом случае отсутствует.

К трёхфазному источнику может подключаться нагрузка. По величине и характеру трёхфазная нагрузка бывает симметричной и несимметричной.

В случае симметричной нагрузки комплексные сопротивления всех трёх фаз одинаковы, а если эти сопротивления различны, то нагрузка несимметричная. Фазы нагрузки могут соединяться между собой звездой или треугольником (рисунок 2), независимо от схемы соединения источника.

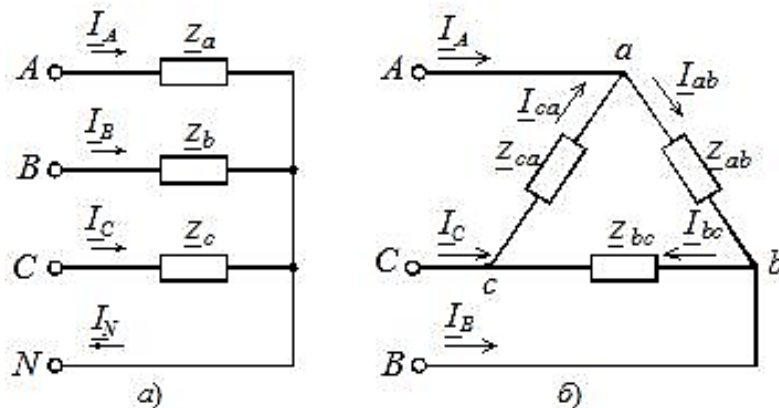


Рис. 2. Схемы соединения фаз нагрузки

Соединение звездой может быть с нейтральным проводом (см. рисунок 2, а) и без него. Отсутствие нейтрального провода устраняет жёсткую привязку напряжения на нагрузке к напряжению источника питания, и в случае несимметричной нагрузки по фазам

эти напряжения не равны между собой. Чтобы их отличить, условились в индексах буквенных обозначений напряжений и токов источника питания применять прописные буквы, а в параметрах, присущих нагрузке, – строчные.

Алгоритм анализа трёхфазной цепи зависит от схемы соединения нагрузки, исходных параметров и цели расчёта.

Для определения фазных напряжений при несимметричной нагрузке, соединённой звездой без нейтрального провода, используют метод двух узлов. В соответствии с этим методом расчёт начинают с определения напряжения \underline{U}_N между нейтральными точками источника питания и нагрузки, называемого напряжением смещения нейтрали:

$$\underline{U}_N = \frac{\underline{U}_A \underline{y}_a + \underline{U}_B \underline{y}_b + \underline{U}_C \underline{y}_c}{\underline{y}_a + \underline{y}_b + \underline{y}_c}$$

где \underline{y}_a , \underline{y}_b , \underline{y}_c – полные проводимости соответствующих фаз нагрузки в комплексной форме

$$\underline{y}_a = 1/\underline{z}_a, \quad \underline{y}_b = 1/\underline{z}_b, \quad \underline{y}_c = 1/\underline{z}_c$$

Напряжения на фазах несимметричной нагрузки находят из выражений:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_N, \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_N, \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_N$$

В частном случае несимметрии нагрузки, когда при отсутствии нейтрального провода происходит короткое замыкание одной из фаз нагрузки, напряжение смещения нейтрали равно фазному напряжению источника питания той фазы, в которой произошло короткое замыкание.

Напряжение на замкнутой фазе нагрузки равно нулю, а на двух других оно численно равно линейному напряжению. Например, пусть произошло короткое замыкание в фазе В. Напряжение смещения нейтрали для этого случая $\underline{U}_N = \underline{U}_B$. Тогда фазные напряжения на нагрузке:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_B = \underline{U}_{AB}, \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_B = 0, \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_B = \underline{U}_{CB} = -\underline{U}_{BC}$$

Фазные токи в нагрузке, они же и токи линейных проводов при любом характере нагрузки:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_a = \underline{U}_a \underline{y}_a = \underline{U}_a / \underline{z}_a, \quad \underline{I}_B = \underline{I}_b = \underline{U}_b \underline{y}_b = \underline{U}_b / \underline{z}_b \\ \underline{I}_C = \underline{I}_c = \underline{U}_c \underline{y}_c = \underline{U}_c / \underline{z}_c.$$

В задачах при проведении расчётов трёхфазных цепей рассматривают три варианта соединения трёхфазных потребителей звездой: соединение с нейтральным проводом при наличии потребителей в трёх фазах, соединение с нейтральным проводом при отсутствии потребителей в одной из фаз и соединение без нейтрального провода с коротким замыканием в одной из фаз нагрузки.

В первом и втором вариантах на фазах нагрузки находят соответствующие фазные напряжения источника питания и фазные токи в нагрузке определяются по приведенным выше формулам.

В третьем варианте напряжение на фазах нагрузки не равно фазному напряжению источника питания и определяется с помощью зависимостей

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_N, \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_N, \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_N$$

Токи, в двух незакороченных фазах, определяют по закону Ома, как частное от деления фазного напряжения на полное сопротивление соответствующей фазы. Ток в закороченной фазе определяют с помощью уравнения на основании первого закона Кирхгофа, составленного для нейтральной точки нагрузки.

Для рассмотренного выше примера с коротким замыканием фазы В:

$$\underline{I}_a = \underline{U}_a / \underline{z}_a, \quad \underline{I}_c = \underline{U}_c / \underline{z}_c, \quad \underline{I}_b = -\underline{I}_a - \underline{I}_c$$

При любом характере нагрузки трёхфазная активная и реактивная мощности равны соответственно сумме активных и реактивных мощностей отдельных фаз. Для определения этих мощностей фаз можно воспользоваться выражением

$$\underline{S}_\phi = \underline{U}_\phi \underline{I}_\phi = P_\phi + jQ_\phi$$

где $\underline{U}_\phi, \underline{I}_\phi$, – комплекс напряжения и сопряжённый комплекс тока на фазе нагрузки;
 P_ϕ, Q_ϕ – активная и реактивная мощности в фазе нагрузки.

Трёхфазная активная мощность: $P = P_a + P_b + P_c$

Трёхфазная реактивная мощность: $Q = Q_a + Q_b + Q_c$

Трёхфазная полная мощность:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

При подключении потребителей треугольником схема приобретает вид, изображённый на рисунке 2, б. В этом режиме схема соединения фаз симметричного источника питания не играет роли.

На фазах нагрузки находят линейные напряжения источника питания. Фазные токи в нагрузке определяют с помощью закона Ома для участка цепи $\underline{I}_\phi = \underline{U}_\phi / z_\phi$, где \underline{U}_ϕ – фазное напряжение на нагрузке (соответствующее линейное напряжение источника питания); z_ϕ – полное сопротивление соответствующей фазы нагрузки.

Токи в линейных проводах определяют через фазные на основании первого закона Кирхгофа для каждого узла (точки a,b,c) схемы, изображённой на рисунке 2, б:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}; \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}; \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}$$

Вопросы для самоконтроля

1. Треугольник сопротивлений – определение.
2. Звезда сопротивлений – определение.
3. Преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду.
4. Преобразование звезды сопротивлений в эквивалентный треугольник.

Тема 46. Комплексы симметричных составляющих.

Метод симметричных составляющих — метод расчёта несимметричных электрических систем, основанный на разложении несимметричной системы на три симметричные — прямую, обратную и нулевую. Метод широко применяется для расчёта несимметричных режимов трёхфазной сети, например, коротких замыканий.



Составляющие обратной последовательности возникают при появлении в сети любой несимметрии: однофазного или двухфазного короткого замыкания, обрыва фазы, несимметрии нагрузки.

Составляющие нулевой последовательности имеют место при замыканиях на землю (одно- и двухфазных) или при обрыве одной или двух фаз. В случае междуфазного замыкания составляющие нулевой последовательности (токи и напряжения) равны нулю.

Применение метода

Метод широко применяется для расчета несимметричных режимов работы электроэнергетических систем.

Этот метод используют многие устройства РЗА. В частности, принцип работы трансформатора тока нулевой последовательности основан на сложении значений тока во всех трех фазах защищаемого участка. В нормальном(симметричном) режиме сумма значений фазных токов равна нулю. В случае возникновения однофазного замыкания, в сети

появятся токи нулевой последовательности и сумма значений токов в трех фазах будет отлична от нуля, что зафиксирует измерительный прибор (например, амперметр), подключенный ко вторичной обмотке трансформатора тока нулевой последовательности.

Вопросы для самоконтроля

1. Прямая последовательность – определение.
2. Обратная последовательность – определение.
3. Применение метода симметричных составляющих.

Тема 47. Разложение несимметричной трехфазной системы векторов на симметричные.

Метод симметричных составляющих применяется для расчета трехфазных цепей в несимметричных режимах. Несимметричные режимы в энергосистеме возникают при различных видах коротких замыканий. Расчет токов коротких замыканий – важная инженерная задача в электроэнергетике, которая решается методом симметричных составляющих.

Математически любая несимметричная трехфазная система векторных величин (напряжений, токов и др.) может быть представлена в виде суммы (заменена суммой) из трех симметричных трехфазных систем, а именно: а) системы прямой последовательности с прямым порядком следования фаз $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$; б) системы обратной последовательности с обратным порядком следования фаз $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$; в) системы нулевой последовательности, которая состоит из трех равных векторов, совпадающих по фазе. Отдельные симметричные системы векторов, на которые раскладывается несимметричная система, называются симметричными составляющими. Вектора симметричных составляющих индексируются цифрами: 1 - для прямой последовательности, 2 - для обратной последовательности и 0 – для нулевой последовательности.

На рис. 1 представлены симметричные составляющие некоторой несимметричной трехфазной системы напряжений U_A, U_B, U_C .

В методе симметричных составляющих для упрощения формы записи уравнений пользуются коэффициентом $a = e^{j120^\circ}$ (поворотный множитель), умножением на который поворачивают вектор на угол в 120° без изменения его модуля. Свойства поворотного множителя: $a^2 = e^{j240^\circ} = e^{-j120^\circ}$, $a^3 = 1$, $a^4 = a$, $1 + a + a^2 = 0$.

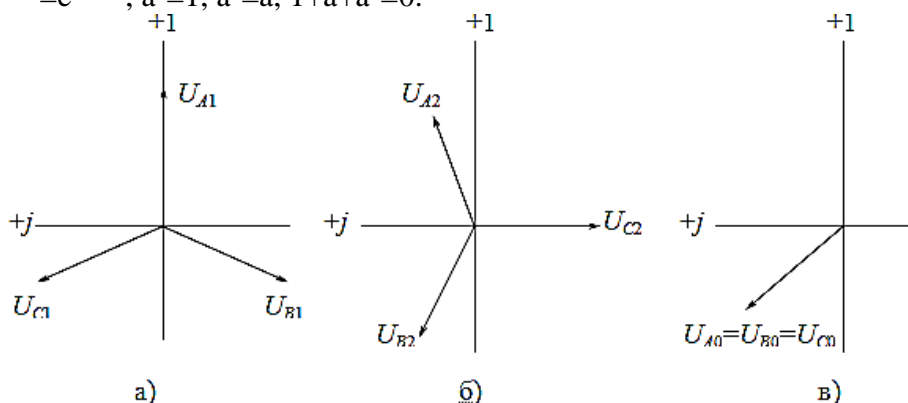


Рисунок 1.

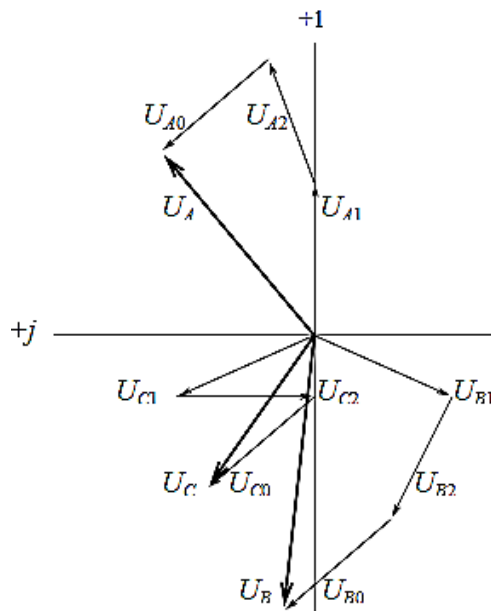


Рисунок 2.

Вектора исходной несимметричной системы определяются по принципу наложения как геометрические суммы соответствующих векторов симметричных составляющих:

$$\underline{U}_A = \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} + \underline{U}_{A0}$$

$$\underline{U}_B = \underline{U}_{B1} + \underline{U}_{B2} + \underline{U}_{B0}$$

$$\underline{U}_C = \underline{U}_{C1} + \underline{U}_{C2} + \underline{U}_{C0}$$

Геометрическое сложение векторов симметричных составляющих согласно этим уравнениям показано на рис. 2.

Используя поворотный множитель “а” и “а²”, выразим все слагаемые правой части уравнений через симметричные составляющие фазы А:

$$\begin{cases} \underline{U}_A = \underline{U}_{A1} + \underline{U}_{A2} + \underline{U}_{A0} & (1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \underline{U}_B = a^2 \cdot \underline{U}_{A1} + a \cdot \underline{U}_{A2} + \underline{U}_{A0} & (2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \underline{U}_C = a \cdot \underline{U}_{A1} + a^2 \cdot \underline{U}_{A2} + \underline{U}_{A0} & (3) \end{cases}$$

Умножим все члены уравнения (2) на “а”, а все члены уравнения (3) на “а²”, сложим все три уравнения почленно и получим:

$$\begin{aligned} \underline{U}_A + a \cdot \underline{U}_B + a^2 \cdot \underline{U}_C &= \underline{U}_{A1} \cdot (1 + a^3 + a^3) + \underline{U}_{A2} \cdot (1 + a^2 + a) + \underline{U}_{A0} \cdot (1 + a + a^2) = \\ &= 3 \cdot \underline{U}_{A1} + 0 \cdot \underline{U}_{A2} + 0 \cdot \underline{U}_{A0} = 3 \cdot \underline{U}_{A1} \end{aligned}$$

Из полученного уравнения следует формула для выделения симметричной составляющей прямой последовательности из несимметричной системы векторов:

$$\underline{U}_{A1} = \frac{1}{3} \cdot (\underline{U}_A + a \cdot \underline{U}_B + a^2 \cdot \underline{U}_C).$$

Умножим все члены уравнения (2) на “а²”, а все члены уравнения (3) на “а”, сложим все три уравнения почленно и получим:

$$\begin{aligned} \underline{U}_A + a^2 \cdot \underline{U}_B + a \cdot \underline{U}_C &= \underline{U}_{A1} \cdot (1 + a + a^2) + \underline{U}_{A2} \cdot (1 + a^3 + a^3) + \underline{U}_{A0} \cdot (1 + a^2 + a) = \\ &= 0 \cdot \underline{U}_{A1} + 3 \cdot \underline{U}_{A2} + 0 \cdot \underline{U}_{A0} = 3 \cdot \underline{U}_{A2} \end{aligned}$$

Из полученного уравнения следует формула для выделения симметричной составляющей обратной последовательности из несимметричной системы векторов:

$$\underline{U}_{A2} = \frac{1}{3} \cdot (\underline{U}_A + a^2 \cdot \underline{U}_B + a \cdot \underline{U}_C).$$

Сложим все три уравнения (1), (2) и (3) почленно и получим:

$$\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C = \underline{U}_{A1}(1 + a^2 + a) + \underline{U}_{A2}(1 + a + a^2) + \underline{U}_{A0}(1 + 1 + 1) = 3\underline{U}_{A0}.$$

Из полученного уравнения следует формула для выделения симметричной составляющей нулевой последовательности из несимметричной системы вектор:

$$\underline{U}_{A0} = \frac{1}{3} \cdot (\underline{U}_A + \underline{U}_B + \underline{U}_C).$$

Полученные формулы применяются на практике для разложения несимметричных трехфазных систем векторов на симметричные составляющие.

Вопросы для самоконтроля

1. Метод симметричных составляющих.
2. Несимметричная трехфазная система векторных величин.
3. Симметричные составляющие несимметричной трехфазной системы напряжений.
4. Геометрическое сложение векторов симметричных составляющих.

Тема 48. Свойства трехфазных цепей.

В трехфазных цепях, питающих однофазные приемники (электросварочные аппараты, однофазные двигатели, электрические лампы и различные бытовые электроприборы), при изменении числа включенных приемников напряжение на их зажимах не должно по возможности изменяться. Это условие выполняется как при соединении приемников звездой с нейтральным проводом, так и при соединении их треугольником.

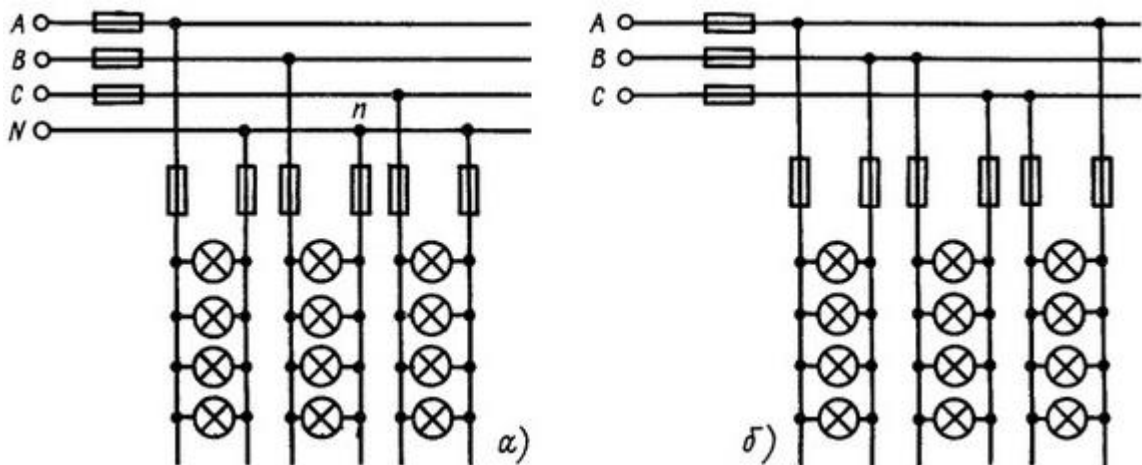


Рисунок 1.

На рис. 1 в качестве примера приведены соответствующие схемы включения электрических ламп. Если принять, что напряжения на выводах источника питания (А, В, С и N) поддерживаются неизменными, и пренебречь падением напряжения в проводах, то в обеих схемах напряжения на лампах не отличаются от напряжений на выводах источника питания и неизменны независимо от числа и мощности включенных в каждой группе ламп. Если оборвать нейтральный провод в схеме на рис. 1, а, то между нейтральной точкой п приемника и нейтральной точкой N источника питания появится напряжение. Фазные напряжения на лампах будут зависеть от соотношения их сопротивлений во всех трех группах и будут изменяться при изменениях числа ламп, включенных в какой-либо группе. Поэтому соединение групп ламп звездой без нейтрального провода не применяется. При наличии нейтрального провода в случае перегорания предохранителя в одном из проводов магистральной линии, например в проводе А (рис. 1, а), гаснут лампы, присоединенные только к этому проводу, остальные лампы имеют нормальный накал. В этом же случае в схеме треугольника (рис. 1, б) под нормальным напряжением останется только одна группа ламп в ветви ВС. Две другие ветви треугольника окажутся соединенными последовательно,

питаются эти ветви по-прежнему от магистральных проводов В и С. Лампы в этих ветвях треугольника будут иметь неполный накал. Напряжения между ветвями АВ и СА распределятся пропорционально их сопротивлениям. Чем больше включено ламп в одну из ветвей, например в АВ, тем ярче будут светить лампы в другой ветви СА (увеличение числа включенных ламп уменьшает сопротивление ветви).

Трехфазная цепь с нейтральным проводом обладает тем преимуществом, что может питать приемники, рассчитанные для работы при различных напряжениях. Приемники в такой цепи можно включать между линейными проводами на линейное напряжение и между линейными проводами и нейтральным проводом на фазное напряжение. Низковольтные трехфазные цепи с нейтральными проводами, обычно встречающиеся на практике, имеют напряжения $U_{л} = 380 \text{ В}$, $U_{ф} = 220 \text{ В}$ или $U_{л} = 220 \text{ В}$, $U_{ф} = 127 \text{ В}$.

Вопросы для самоконтроля

1. Однофазные приемники.
2. Соединение приемников треугольником.
3. Соединение приемников звездой.
4. Трехфазная цепь с нейтральным проводом.

Тема 49. Несимметричная трехфазная цепь при соединении треугольником.

При соединении приемников энергии треугольником (рис. 7-16) отдельные фазы приемника присоединяются к линейным проводам, идущим от генератора. При этом каждая фаза приемника, непосредственно включается на линейное напряжение, которое в то же время будет и фазным напряжением, т. е.

$$U_A = U_{AB}; \quad U_B = U_{BC}; \quad U_C = U_{CA}.$$

В этом случае фазные напряжения (в отличие от схемы соединения звездой) не зависят от сопротивлений фаз приемника.

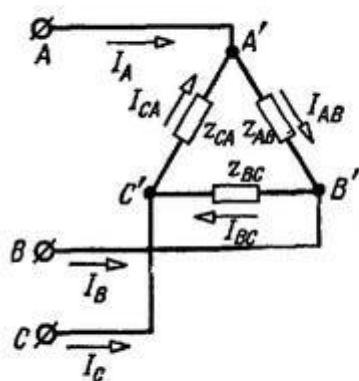


Рис. 7-16. Соединение электроприемников треугольником.

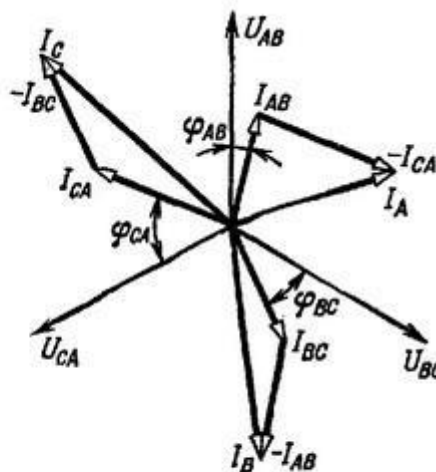


Рис. 7-17. Векторная диаграмма при соединении электроприемников треугольником.

За положительное направление фазных токов выбираем направление от A' к B' , от B' к C' и от C' к A' . За положительное направление линейных токов принимаем направление от генератора к приемнику. По первому закону Кирхгофа для мгновенных значений токов для точки A' можно написать:

$$i_A + i_{CA} = i_{AB},$$

откуда

$$i_A = i_{AB} - i_{CA}.$$

Аналогично для точки B'

$$i_B = i_{BC} - i_{AB}$$

и для точки C'

$$i_C = i_{CA} - i_{BC}$$

Таким образом, мгновенное значение линейного тока равно алгебраической разности мгновенных значений фазных токов тех фаз, которые соединены с данным проводом.

Из сказанного следует, что вектор линейного тока равен разности векторов соответствующих фазных токов, т. е.

$$\bar{I}_A = \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA}; \quad \bar{I}_B = \bar{I}_{BC} - \bar{I}_{AB} \quad \text{и} \quad \bar{I}_C = \bar{I}_{CA} - \bar{I}_{BC}. \quad (7-20)$$

На диаграмме (рис. 7-17) векторы линейных токов получены как разности векторов соответствующих фазных токов, причем все векторы проведены из общего начала. Иногда для большей наглядности векторы перемещаются параллельно себе так, чтобы векторы напряжений давали замкнутый треугольник (рис. 7-18).

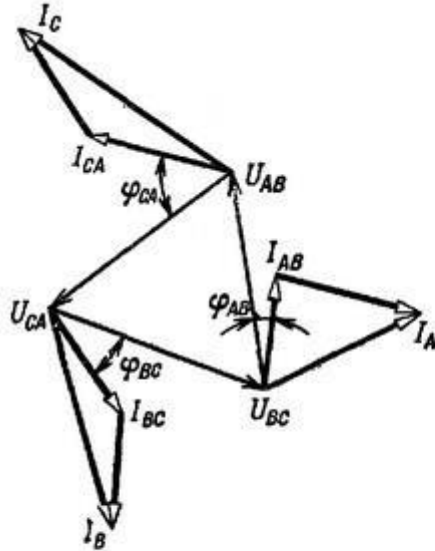


Рис. 7-18. Векторная диаграмма при соединении электроприемников треугольником.

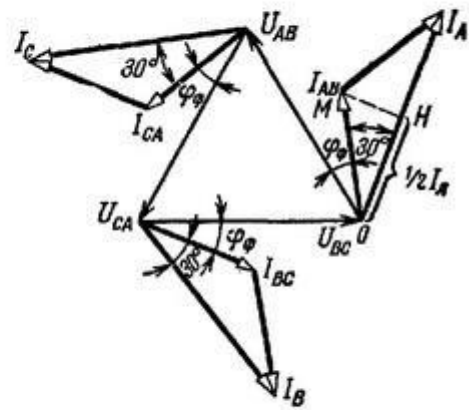


Рис. 7-19. Векторная диаграмма для цепи, соединенной треугольником, при равномерной нагрузке фаз.

Если нагрузка фаз равномерная, т. е.

$$z_{AB} = z_{BC} = z_{CA} = z_{\phi}$$

и

$$\varphi_{AB} = \varphi_{BC} = \varphi_{CA} = \varphi_{\phi},$$

то действующие значения фазных токов равны между собой и токи сдвинуты по фазам на одинаковые углы от соответствующих напряжений (рис. 7-19), на углы 120° один относительно другого.

Следовательно, фазные токи образуют симметричную систему. Опустив перпендикуляр из конца произвольно взятого вектора фазного тока I_{AB} на вектор линейного тока I_A , из прямоугольного треугольника OMH , получим, что

$$\frac{1}{2} I_{\lambda} = I_{\phi} \cos 30^\circ = I_{\phi} \frac{\sqrt{3}}{2},$$

откуда

$$I_{\lambda} = \sqrt{3} I_{\phi}, \quad (7-21)$$

т. е. линейные токи по абсолютной величине больше фазных токов в $\sqrt{3}$ раз. Из того же рисунка следует, что линейные токи отстают от соответствующих фазных токов на угол 30° .

Расчет трехфазной симметричной цепи, соединенной треугольником, сводится к расчету одной фазы. Фазное напряжение

фазный ток

$$U_{\phi} = U_{л};$$

$$I_{\phi} = U_{\phi}/z_{\phi};$$

линейный ток

$$I_{л} = \sqrt{3} I_{\phi}.$$

Угол сдвига фазного тока относительно фазного напряжения определяется через его косинус, синус или тангенс:

$$\cos \varphi_{\phi} = \frac{r_{\phi}}{z_{\phi}}; \quad \sin \varphi_{\phi} = \frac{x_{\phi}}{z_{\phi}}; \quad \operatorname{tg} \varphi_{\phi} = \frac{x_{\phi}}{r_{\phi}}.$$

Активная, реактивная и полная мощности одной фазы определяются выражениями:

$$P_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi}; \quad Q_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi} \sin \varphi_{\phi}; \quad S_{\phi} = U_{\phi} I_{\phi}.$$

При симметричной системе напряжений и токов соответствующие мощности трех фаз определяются выражениями:

$$P = 3P_{\phi} = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi} = \sqrt{3} U_{л} I_{л} \cos \varphi_{\phi}; \quad (7-22)$$

$$Q = \sqrt{3} U_{л} I_{л} \sin \varphi_{\phi}; \quad (7-23)$$

$$S = \sqrt{3} U_{л} I_{л}. \quad (7-24)$$

При несимметричной системе напряжений или неравномерной нагрузке фаз приемников энергии активная и реактивная мощности трехфазной системы определяются как суммы мощностей отдельных фаз, т. е. они определяются теми же выражениями, которые были приведены для случая соединения приемников энергии звездой.

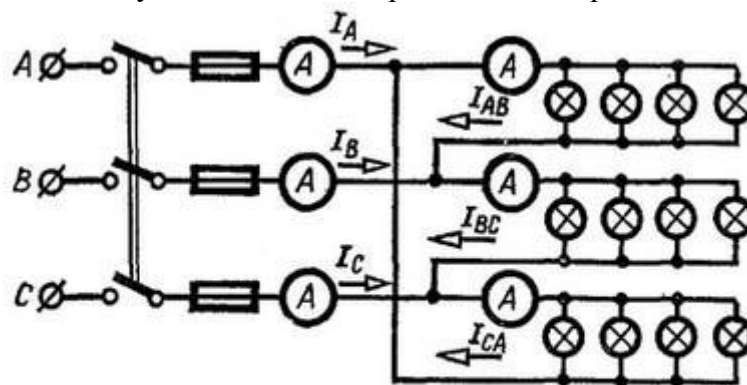


Рис. 7-20. Схема соединения электрических ламп треугольником.

Соединение треугольником применяется для включения как ламп (рис. 7-20), так и электродвигателей. При этом необходимо, чтобы номинальное напряжение ламп было равно линейному напряжению сети. Трехфазный электродвигатель включается треугольником, если номинальное фазное напряжение его равно линейному напряжению сети, или звездой, если номинальное фазное напряжение его в $\sqrt{3}$ раз меньше линейного напряжения сети.

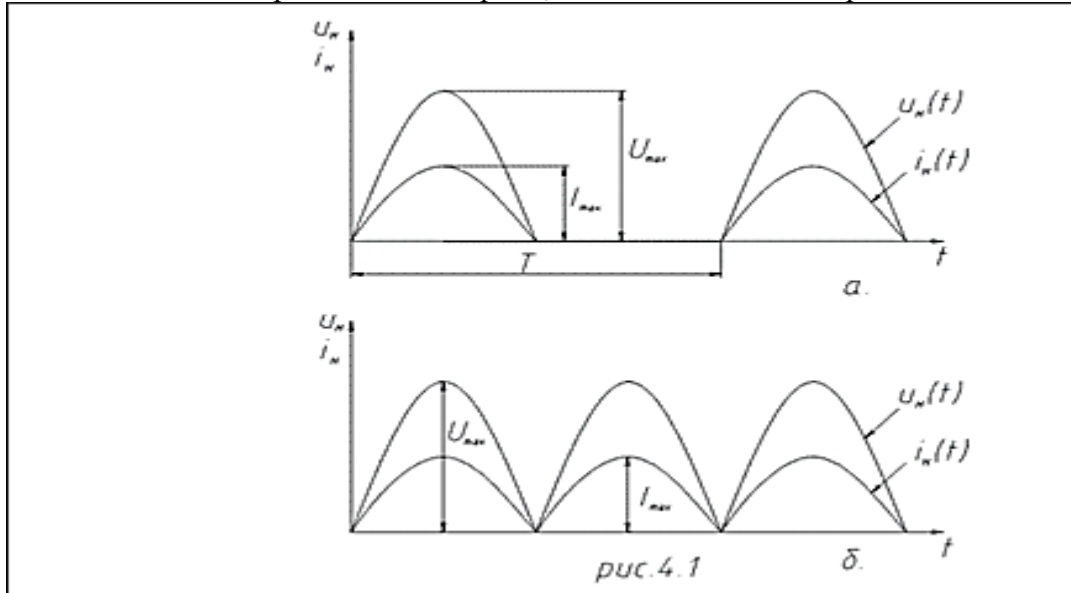
Вопросы для самоконтроля

1. Линейное напряжение.
2. Схема соединения треугольником.
3. Векторная диаграмма цепи.
4. Фазное напряжение.

Тема 50. Причины возникновения несинусоидальных ЭДС, токов и напряжений.

При генерировании, трансформации, распределении и потреблении электроэнергии возникают искажения формы синусоидальных ЭДС, напряжений и токов.

Несинусоидальные токи в цепях возникают при синусоидальных ЭДС и напряжениях источников электрической энергии, если цепи содержат нелинейные элементы.

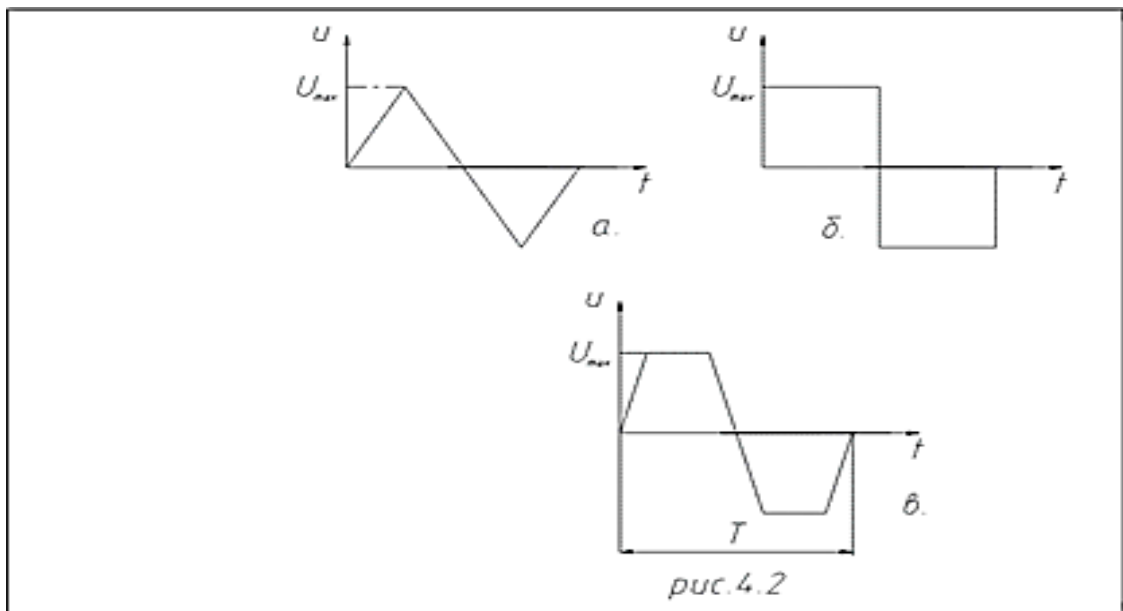


Так, в катушке с ферромагнитным магнитопроводом, которая является нелинейным элементом, при синусоидальном напряжении сети ток несинусоидальный. Подобное явление наблюдается в промышленных городских сетях, когда в качестве осветительных приборов используются люминесцентные лампы, имеющие нелинейные вольт-амперные характеристики.

Нелинейные элементы широко используются в электрических цепях автоматики, управления, релейной защиты и т. д. Эти нелинейные элементы (стабилизаторы напряжения, умножители и делители частоты, магнитные усилители и т. п.) приводят к искажению формы кривых напряжения или тока.

Известно, что постоянный ток в энергетической электронике получают преобразованием переменного синусоидального тока с помощью выпрямителей, в которых используются нелинейные элементы — диоды. Естественно, что в таких электрических цепях возникают как несинусоидальные токи, так и несинусоидальные напряжения. На рис. 4.1.а-б приведены временные диаграммы напряжений и токов однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей, работающих на резистивную нагрузку. В настоящее время широкое распространение получила импульсная техника, т. е. отрасль радиоэлектроники, в которой для решения определенных задач используют импульсные устройства. Формы импульсов напряжений в импульсной технике весьма разнообразны.

Основное распространение получили импульсы треугольной, прямоугольной, трапецеидальной формы и др. (рис 4.2 а-в)



Появление в электрических цепях несинусоидальных напряжений и токов может привести к весьма нежелательным последствиям. Несинусоидальные токи вызывают дополнительные потери мощности, ухудшают характеристики двигателей, создают большие помехи в линиях связи, каналах телемеханики и т. д. Заметим, что допустимое содержание гармоник оценивается коэффициентом гармоник K_r . Для промышленных сетей $K_r \leq 5\%$, т. е. в этом случае кривая напряжения на экране осциллографа визуально не отличается от синусоиды и это напряжение длительно допустимо на выводах любого приемника электрической энергии.

Вопросы для самоконтроля

1. Возникновение несинусоидальных токов в цепях.
2. Нелинейные вольт – амперные характеристики.
3. Формы импульсов сигналов несинусоидальных напряжений.

Тема 51. Конденсаторы. Зарядка и разрядка конденсаторов.

Конденсатор накапливает электрические заряды — заряжается. Накопление зарядов происходит в том случае, если конденсатор подключить к источнику электрической энергии.

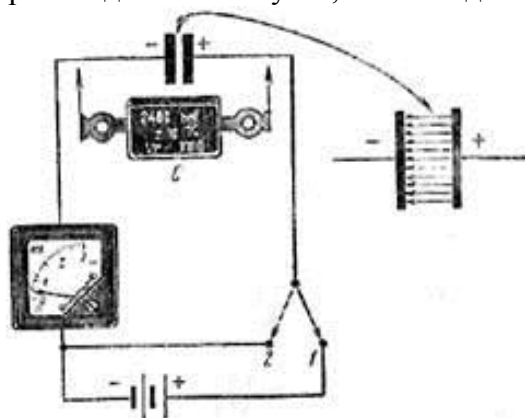


Рис. 6. Схема заряда и разряда конденсатора

Процесс заряда конденсатора (рис. 6). При установке ключа на контакт 1 пластины конденсатора окажутся подключенными к батарее и на них появятся противоположные по знаку электрические заряды («+» и «-»). Произойдет заряд конденсатора и между его пластинами возникнет электрическое поле. При заряде конденсатора свободные электроны правой пластины переместятся по проводнику в направлении положительного полюса батареи и на этой пластине останется недостаточное количество электронов, в результате чего она приобретет, положительный заряд.

Свободные электроны с отрицательного полюса батареи переместятся на левую пластину конденсатора и на ней появится избыток электронов — отрицательный заряд.

Таким образом, в проводах, соединяющих пластины конденсатора с батареей, будет протекать электрический ток. Если между конденсатором и батареей не включено большое сопротивление, то время заряда конденсатора очень мало и ток в проводах протекает кратковременно.

При заряде конденсатора энергия, сообщаемая батареей, переходит в энергию электрического поля, возникающего между пластинами конденсатора.

Процесс разряда конденсатора (см. рис. 6). Если ключ установить на контакт 2, пластины заряженного конденсатора окажутся соединенными между собой. При этом произойдет разряд конденсатора и исчезнет электрическое поле между его пластинами.

При разряде конденсатора избыточные электроны с левой пластины переместятся по проводам к правой пластине, где их недостает; когда количество электронов на пластинах конденсатора станет одинаковым, процесс разряда закончится и ток в проводах исчезнет.

Энергия электрического поля конденсатора при его разряде расходуется на работу, связанную с перемещением зарядов,— на создание электрического тока.

Время разряда конденсатора через провода, обладающие малым сопротивлением, также весьма мало.

Процесс заряда и разряда конденсатора широко используется в различных устройствах.

Наиболее широко распространены бумажные, слюдяные и электролитические конденсаторы постоянной ёмкости.

Бумажный конденсатор КБГ. Бумажный конденсатор (рис.2, а) представляет собой металлический корпус 1, в котором герметически закрыт пакет 2, состоящий из пластин, выполненных в виде алюминиевой фольги 2 и изолированных одна от другой тонкой бумагой 4, пропитанной изоляционным материалом (церезином, головаксом). Пластины конденсатора присоединяются к выводным лепесткам 3, изолированным от корпуса.

Слюдяной конденсатор КСО. Слюдяной конденсатор (рис. 2, б) состоит из двух пакетов металлических пластин и слюдяных прокладок. Между каждой парой пластин, принадлежащих разным пакетам, помещается тонкая прокладка из слюды. Собранные таким образом конденсаторы запрессовываются в пластмассу, из которой выходят наружу два лепестка по одному от каждого пакета пластин. Они служат для включения конденсатора в схему.

Электролитический конденсатор КЭ-2М. Электролитический конденсатор (рис. 2, в) представляет собой алюминиевый стакан 6, в котором помещаются две алюминиевые ленты, скатанные в рулон. Между лентами проложена фильтровальная бумага, пропитанная электролитом.. Одна алюминиевая лента соединяется с корпусом стакана, а вторая —с контактом 7, укрепленным на его верхней крышке. При заряде конденсатора на поверхности алюминиевых лент, подключаемых к положительному полюсу источника тока, образуется пленка окиси алюминия, являющаяся диэлектриком. Так как эта пленка очень тонкая, то емкость электрических конденсаторов относительно велика. Электролитические конденсаторы изготовляют емкостью до 2000 мкф при рабочем напряжении до 500 в.

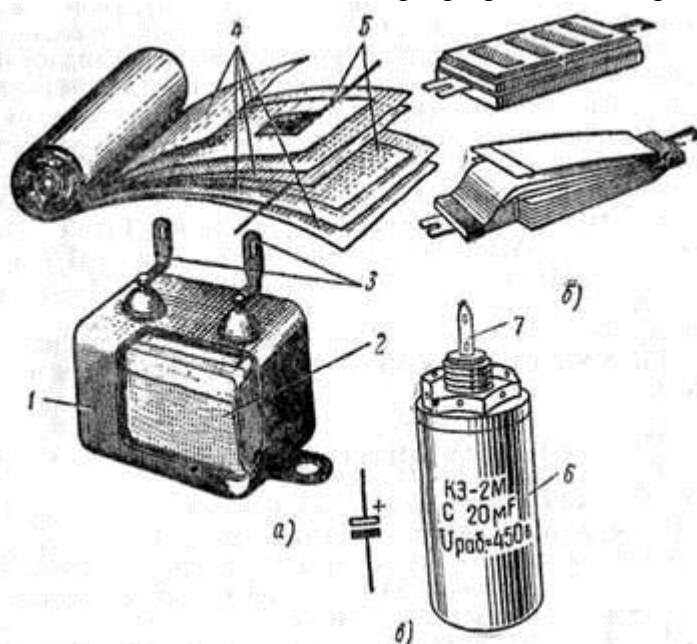


Рис 2 Конденсаторы постоянной емкости:

а-бумажный КБГ, б-слюдяной КСО, в - электролитический КЭ-2М и его условное обозначение

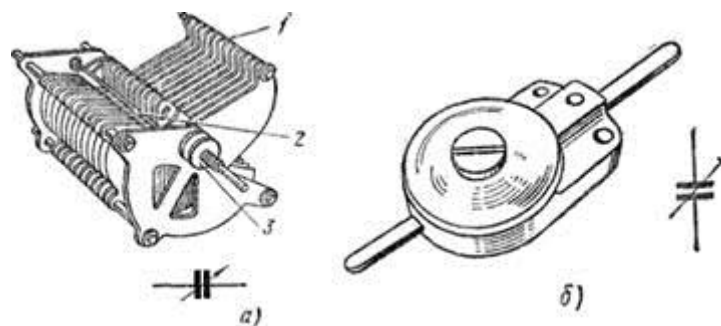


Рис 3 Конденсаторы переменной (а) и полупеременной (б) емкости и их условное обозначение:
 1 — ротор, 2 — статор, 3 — гайка крепления

Конденсаторы переменной емкости. Конденсаторы, емкость которых можно изменять, называются *конденсаторами переменной емкости* (рис. 3, а). Такой конденсатор состоит из неподвижных пластин (статора) и подвижных пластин (ротора), укрепленных на оси. При плавном повороте оси подвижные пластины в большей или меньшей степени входят в промежутки между неподвижными пластинами, не касаясь их, и емкость конденсатора плавно увеличивается. Когда подвижные пластины полностью входят в промежутки между неподвижными пластинами, емкость конденсатора достигает наибольшей величины.

Разновидностью конденсатора переменной емкости является *конденсатор полупеременной емкости* (рис. 3, б). Такой конденсатор имеет неподвижную (статор) и подвижную (ротор) пластины. Основание пластин изготовлено из керамики, а на него нанесен слой серебра.

Ротор укреплен с помощью винта. Поворачивая винт, перемещают ротор и при этом изменяется емкость конденсатора в пределах 2—30 пф.

Вопросы для самоконтроля

1. Определение что такое конденсатор.
2. Виды конденсаторов.
3. Применение конденсаторов.
4. Процесс зарядки конденсатора.
5. Процесс разрядки конденсатора.

Лабораторно – практические работы

Лабораторная работа №1 Правила сборки электрических схем. Техника безопасности.

1. Цель работы:

Изучение структуры и состава электропривода, принципа действия контактных электрических аппаратов ручного и автоматического управления, простейших схем управления приводом с использованием электрических аппаратов.

2. Объект исследования:

Объектом исследования является электропривод переменного тока, содержащий электромеханический преобразователь и схему управления. В качестве электромеханического преобразователя используется асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, основные характеристики которого исследуются в лабораторной работе №5. Схема управления приводом выполнена на контактных электрических аппаратах, которые широко используются в полиграфической промышленности для построения простейших схем релейно-контакторного управления приводом.

Электрические аппараты управления и защиты делятся на две группы: аппараты ручного и автоматического управления.

Электрические аппараты ручного управления предназначены для достаточно редких включений и отключений привода. К аппаратам ручного управления относятся рубильники, пакетные выключатели, автоматические выключатели (автоматы), кнопки управления (командные аппараты). Рубильники, пакетные выключатели устанавливаются в силовых цепях привода, они рассчитаны на переменное напряжение до 500 В и постоянное напряжение до 440 В и токи до 600 А. Эти аппараты не имеют защиты от короткого замыкания и перегрузки.

Автоматические выключатели предназначены для ручного включения и отключения электрических цепей и автоматического отключения привода в аварийных ситуациях (при коротком замыкании или перегрузке). Они содержат устройство защиты - тепловой и электромагнитный расцепители. Тепловой расцепитель предохраняет привод от перегрузки, т.е. от длительного превышения тока I привода его номинального значения I_n . При $I > I_n$ двигатель перегревается, при этом резко сокращается срок службы и возможно самовозгорание. Тепловая защита инерционная: время срабатывания теплового расцепителя обычно около 1 часа при $I < 1,1 I_n$, 30 минут при $I < 1,35 I_n$ и 10 секунд при очень больших токах $I > 6 I_n$. Электромагнитный расцепитель предохраняет от коротких замыканий, при которых ток в 7..10 раз превышает номинальный. Время срабатывания электромагнитного расцепителя – сотые доли секунды.

Кнопки управления имеют замыкающий («Пуск») или размыкающие контакты («Стоп») и устанавливаются в цепях управления аппаратами автоматического управления. Контактные электрические аппараты автоматического управления двигателями — реле, контакторы, магнитные пускатели — позволяют осуществлять управление дистанционно, обычно при помощи кнопок. Это повышает производительность труда, улучшает условия работы, уменьшает вероятность несчастных случаев.

Для приведения в действие контактной системы аппараты автоматического управления снабжены электромагнитами. Электромагнит содержит катушку управления, размещенную на неподвижном магнитопроводе, и подвижный якорь, выполненный из магнитопроводящего материала. При подключении катушки управления на постоянное или переменное напряжение в магнитопроводе создается магнитный поток, возникает электромагнитная сила, которая притягивает якорь к магнитопроводу. С якорем механически связана подвижная контактная группа, и при движении якоря происходит замыкание части контактов (замыкающие контакты) и размыкание других контактов (размыкающие контакты).

Реле имеют контакты, рассчитанные на замыкание и размыкание цепей с током менее 5 А. Контакторы рассчитаны на коммутацию тока более 5 А (до 600 А) и поэтому снабжены устройством искрогашения. Магнитные пускатели представляют собой разновидность контакторов, специально предназначенную для управления трехфазными асинхронными

двигателями. Часто магнитный пускатель komponуется на общей панели вместе с тепловым реле, предназначенным для защиты двигателя от перегрузки. На рис. 1.1 поясняется устройство и принцип действия магнитного пускателя с тепловым реле. Основными узлами пускателя являются неподвижный стальной сердечник 1 с катушкой 2, подвижный стальной якорь 3, перемещающий пластмассовый шток 4 и медные контактные пластины 5, 6, 7, 8, укрепленные на штоке. Если по катушке ток не протекает, то возвратная пружина 9 оттягивает шток и якорь влево, и цепь статора двигателя М разомкнута. Когда в катушке имеется ток, сила тяги якоря превышает силу сопротивления пружины 9, контактные пластины замыкают свои цепи, и двигатель оказывается подключенным к сети. Катушка 2 включена последовательно с кнопками «Стоп», «Пуск» и контактом 10 теплового реле, который нормально замкнут. При нажатии кнопки «Пуск» цепь оказывается замкнутой, якорь притягивается к сердечнику, контакты замыкаются и двигатель включается. Вспомогательный контакт 8 шунтирует кнопку «Пуск» и поэтому при ее отпускании двигатель продолжает работать. Нажатие кнопки «Стоп» приводит к отключению двигателя. После отпускания этой кнопки двигатель остается отключенным, так как блок-контакт 8 разомкнулся. Таким образом, магнитный пускатель обеспечивает защиту людей и машины от самозапуска двигателя после перерыва в подаче электроэнергии. Это важно с точки зрения повышения безопасности.

Теперь рассмотрим устройство и работу теплового реле. Его основными элементами являются биметаллическая пластинка 11 и нагревательные элементы 12 и 13. Последние включены в цепи двух фаз обмотки статора двигателя. Верхний слой биметаллической пластинки выполнен из сплава инвар, имеющего малый температурный коэффициент расширения, а нижний слой — из латуни, имеющей значительный температурный коэффициент. Поэтому нагревание биметаллической пластинки приводит к ее изгибу правым концом вверх. Если двигатель не перегружен и ток статора не превышает номинальной величины, нагревательные элементы 12 и 13 имеют невысокую температуру, тепловая энергия, передаваемая биметаллической пластинке, невелика и ее изгиб незначителен. Так как выделяемая нагревателями тепловая энергия пропорциональна квадрату протекающего по ним тока, то даже небольшая перегрузка двигателя приводит к существенному изгибу биметаллической пластинки. Тогда рычаг 14 под действием пружины 15 поворачивается против часовой стрелки и контакт 10 размыкается. Магнитный пускатель отключает двигатель от сети. После остывания нагревателей и биметаллической пластинки тепловое реле можно вернуть в исходное состояние нажатием кнопки возврата 16.

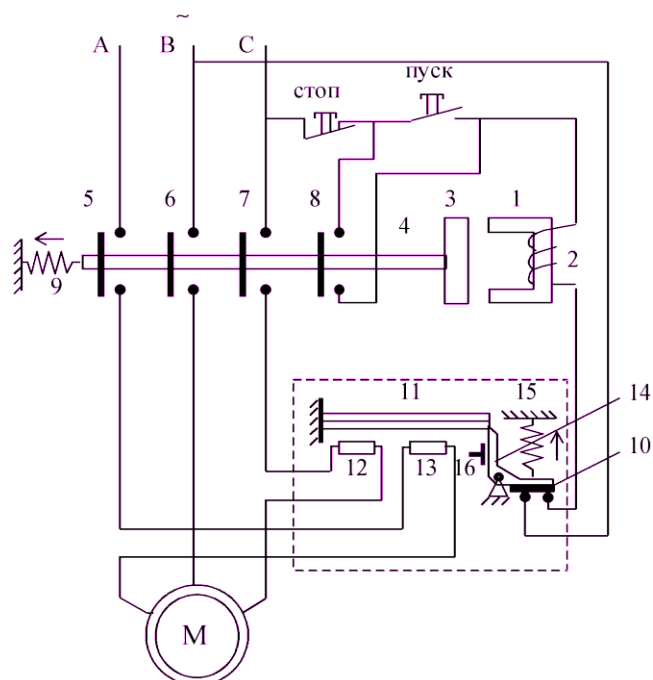


Рис.1.1. Устройство магнитного пускателя с тепловым реле. Рассмотрим наиболее характерные схемы управления асинхронными двигателями с короткозамкнутым ротором при помощи магнитных пускателей и реле. Принципиальная электрическая схема показывает, каким образом нужно соединить между собой цепи электрических машин, аппаратов, приборов, и других элементов, чтобы получить требуемый алгоритм (закон) управления. Сами элементы изображают на схемах в виде условных графических обозначений в соответствии с действующими стандартами. Рядом с условным графическим обозначением помещается буквенно-цифровое обозначение. На принципиальных электрических схемах элементы одного и того же аппарата, машины или устройства можно располагать в различных местах схемы без учета их действительного конструктивного размещения.

Контакты всех аппаратов изображаются на схемах в «нормальном» положении, когда к ним не приложены электромагнитные и механические воздействия (например, кнопки или путевые выключатели не нажаты). Контакты могут быть замыкающими цепь (замыкающие контакты), или размыкающими цепь (размыкающие контакты). В схемах часто используются реле времени, имеющие контакты, которые замыкаются или размыкаются с выдержкой времени. Условные графические обозначения контактов реле, а также обозначения других элементов контактных аппаратов управления даны в [1]. На рис. 1.2а представлена простейшая схема управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором при помощи магнитного пускателя. Эта схема полностью соответствует схеме на рис. 1.1, но выполнена при помощи условных графических обозначений. На рис. 1.2б показана схема для управления двигателем с трех постов. Кнопки «Пуск» включены параллельно, кнопки «Стоп» — последовательно. В состав электропривода входит силовая часть и схема управления. Силовая часть содержит электродвигатель М, рубильник SA, провода, соединяющие двигатель с трехфазной сетью. В силовую цепь включены главные контакты KM магнитного пускателя, предохранители с плавкими вставками FU и нагревательные элементы теплового реле K1. Цепь управления подсоединена на фазное напряжение между фазой С и нулевым проводом N. В ее состав входит обмотка магнитного пускателя KM и его блок-контакт KM, кнопки с самовозвратом «Пуск» SB2, «Стоп» SB1 и контакт K1 теплового реле. Для пуска привода включают рубильник SA. При этом напряжение подается на схему управления и силовую часть. Так как главные контакты магнитного пускателя KM в исходном положении разомкнуты, то двигатель при этом не подключен к сети. Для запуска двигателя нажимают кнопку «Пуск». При этом «собирается» цепь питания обмотки магнитного пускателя и KM срабатывает. Главные контакты магнитного пускателя подключают двигатель к сети и он начинает вращаться. Блок-контакт магнитного пускателя шунтирует кнопку «Пуск» и ее можно отпустить. Для останова привода нажимают кнопку «Стоп». При этом размыкается цепь управления, обмотка магнитного пускателя обесточивается, его контакты возвращаются в исходное состояние и цепь питания двигателя отключается от сети.

Схема предусматривает защиту привода:
Схема предусматривает защиту привода:
от коротких замыканий с помощью плавких вставок FU,

- от перегрузки с использованием теплового реле K1,
- от значительного снижения напряжения – магнитный пускатель KM при уменьшении напряжения срабатывает и размыкает главные контакты,
- от повторного самопроизвольного запуска (после отключения питания) – схему может повторно включить только оператор, нажав кнопку «Пуск».

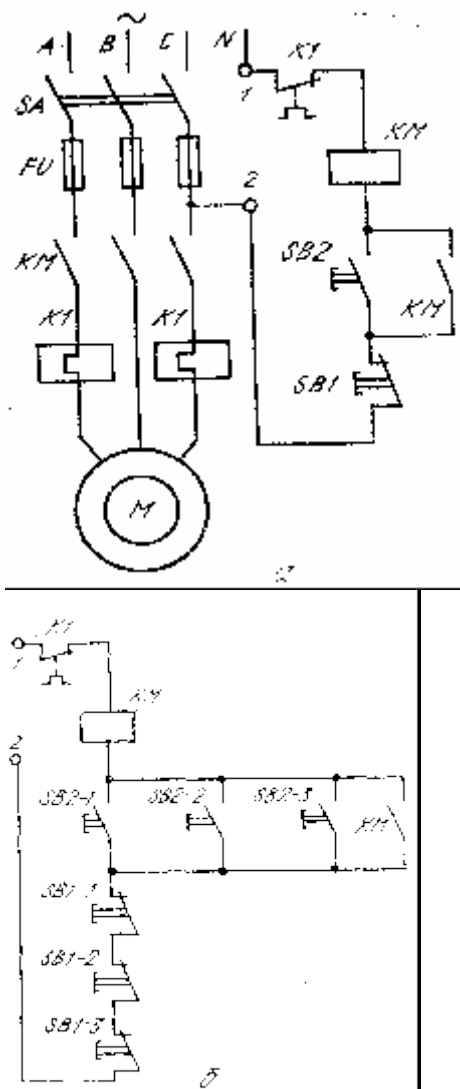


Рис. 1.2 Простейшая нереверсивная схема управления асинхронным двигателем при помощи магнитного пускателя: а – при управлении с одного поста, б – при управлении с трех постов. На рис. 1.3 приведена схема с дополнительной кнопкой «Толчок», применяемая на некоторых полиграфических машинах. Команда «Толчок» используется при наладочных операциях, установке и при правке печатных форм. При нажатии кнопки «Толчок» (SB3) промежуточное реле К2 не включается, и поэтому кнопка не шунтируется. Отпускание этой кнопки приводит к отключению пускателя КМ и остановке двигателя. Реле К2 включается при команде «Пуск». Один контакт шунтирует кнопку «Пуск» и ее можно отпустить. Другой контакт К2 включает пускатель КМ, и двигатель будет работать до нажатия кнопки «Стоп». На рис. 1.4 дана схема, позволяющая реверсировать двигатель (изменять направление его вращения). Для этого имеются два магнитных пускателя — КМ1 и КМ2. Когда включен КМ1, чередование фаз на статоре двигателя — А, В, С, а когда включен КМ2, чередование фаз — С, В, А. Благодаря этому, изменяется направление вращения магнитного поля статора, а следовательно, и ротора двигателя. Схема не допускает одновременного включения пускателя КМ1 и КМ2, что было бы равносильно короткому замыканию в сети. Для этого в цепи катушки КМ1 имеется размыкающий контакт КМ2, а в цепи катушки КМ2 — размыкающий контакт КМ1. Схема позволяет реверсировать двигатель не только после предварительной команды «Стоп», но и без нее. Кнопки SB2 («Вперед») и SB3 («Назад») имеют по две цепи. При нажатии на кнопку одна цепь размыкается, а затем другая цепь замыкается. Так, при нажатии SB2 вначале отключается катушка пускателя КМ2, а затем включается катушка пускателя КМ1. При нажатии SB3 вначале отключается катушка пускателя КМ1, а затем включается катушка пускателя КМ2.

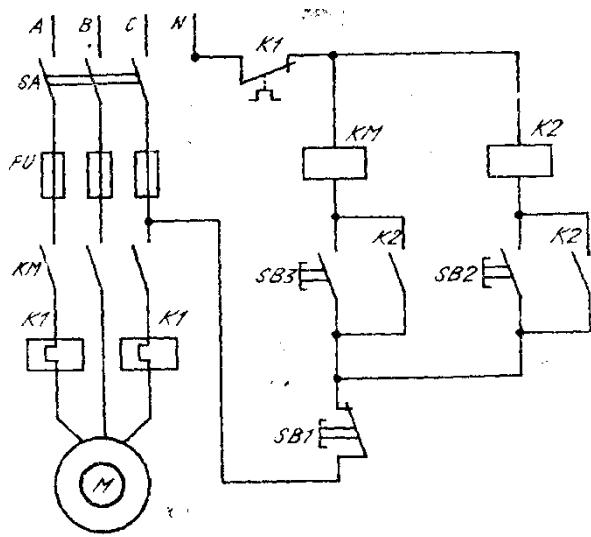


Рис. 1.3 Схема с дополнительной кнопкой «Толчок»

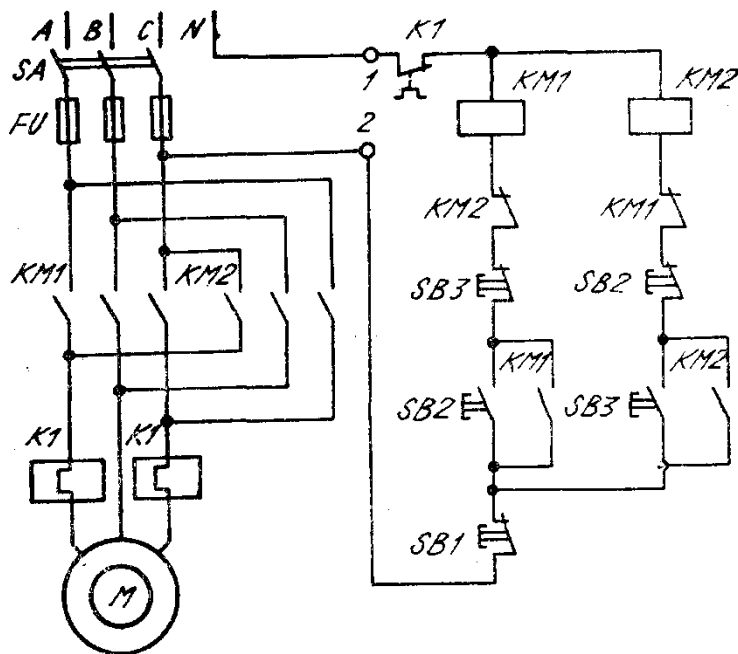


Рис. 1.4 Реверсивная схема управления электроприводом

На рис. 1.5 приведена схема, в которой для быстрой остановки привода и машины используется режим динамического торможения, предусматривающий подачу в обмотки статора постоянного тока после отключения этих обмоток от сети переменного тока. В схеме для этой цели имеются понижающий трансформатор Т и выпрямитель V1 на диодах. Кроме того, дополнительными элементами в схеме являются контактор KM2 и реле времени КТ.

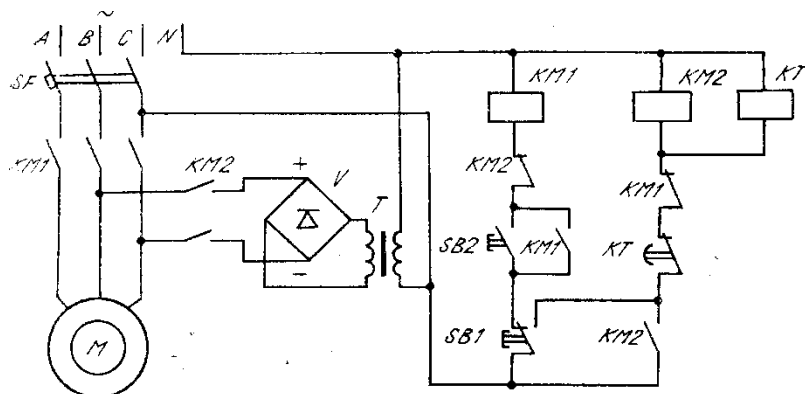


Рис.1.5 Схема электропривода с динамическим торможением
 В исходное состояние после включения автомата SF контакторы КМ2 и КТ отключены, и пуск производится как обычно, нажатием кнопки SB2. Нажатие двухцепной кнопки SB1 («Стоп») приводит к отключению катушки КМ1. Главные контакты КМ1 отключают двигатель от сети, а блок-контакт КМ2 шунтирует кнопку «Стоп», и ее можно отпустить. Главные контакты КМ2 подключают выпрямитель V1 к обмоткам статора двигателя, и последний переходит в режим динамического торможения. Одновременно реле КТ ведет отсчет времени и через заранее рассчитанное время, достаточное для полной остановки машины, отключает катушки КМ2 и КТ. Статор двигателя отключается от выпрямителя V1, и схема приходит в исходное состояние.

3. Домашняя теоретическая подготовка
 Принцип действия, устройство контактных электрических аппаратов и простейших схем управления приводом [1], с. 202-211.

4. Задание к экспериментальной части работы

1. Изучить конструкцию аппаратов ручного управления: рубильников, пакетных выключателей, командоконтроллеров, кнопок управления, автоматических выключателей.

2. Изучить конструкцию аппаратов автоматического управления: контактора, магнитного пускателя, теплового реле, промежуточного реле, реле времени.

3. Далее студенты вычерчивают схемы управления, подлежащие испытанию, а затем преподаватель поясняет работу этих схем и производит опрос студентов.

4.4 Испытание схем управления электроприводов, представленных на рис.1.2а, 1.3, 1.4, 1.5.

5. Обработка и анализ результатов экспериментальных исследований

Отчет по работе должен содержать:

Схемы, прошедшие испытания.

Типы использованных аппаратов управления.

6. Вопросы к защите лабораторной работы

1. Перечислите аппараты ручного и автоматического управления. Когда используются те и другие аппараты.

2. Назначение автоматического выключателя. Как в нем осуществляется защита от коротких замыканий и перегрузки? Устройство и принцип действия защиты от коротких замыканий.

Устройство и принцип действия защиты от перегрузки.

3. Назначение, принцип действия, основные элементы электромагнитного реле, контактора, магнитного пускателя.

4. Назначение и принцип действия теплового реле. Защита от перегрузки.

5. Назначение каждого элемента в схеме запуска и останова двигателя с одного поста. Поясните, как работает схема. Как в схеме осуществляется защита от короткого замыкания, от перегрузки, от непреднамеренного запуска

6. Назначение каждого элемента в схеме запуска и останова двигателя с трех постов. Поясните, как работает схема. Как в схеме осуществляется защита от короткого замыкания, от перегрузки, от непреднамеренного запуска

7. Назначение каждого элемента в схеме с дополнительной кнопкой «Толчок». Поясните, как работает схема. Как в схеме осуществляется защита от короткого замыкания, от перегрузки, от непреднамеренного запуска

8. Назначение каждого элемента в схеме реверсивного управления приводом. Поясните, как работает схема.

9. Назначение каждого элемента в схеме управления приводом с динамическим торможением. Поясните, как работает схема.

10. Назначение каждого элемента в схеме управления приводом с динамическим торможением. Поясните, как работает схема.

11. Назначение каждого элемента в схеме управления приводом с динамическим торможением. Поясните, как работает схема.

Лабораторная работа №2. Опытная проверка закона Ома.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Проверить практически справедливость закона Ома для цепей постоянного тока

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

1. R₁ - резистор ППБ-25Г - 220 Ом,

2. R₂... R₅ - резистор ПЭВ – 7.5 – 200 Ом, U I

3. ИП1- миллиамперметр постоянного тока – 50 мА,

4. ИП2 - вольтметр постоянного тока 15В,

ЗАДАНИЕ.

1. Снять показания приборов схемы.
2. По результатам измерений определить сопротивление каждого участка цепи.
3. Проверить выполнение закона Ома, сравнивая результаты измерений и вычислений
4. Составить отчет о проделанной работе.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ И ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

Рассмотрим участок цепи длиной l и площадью поперечного сечения S .

Пусть проводник находится в однородном электрическом поле напряженностью $e = U / l$. Под действием этого поля свободные электроны проводника совершают ускоренное движение в направлении, противоположном вектору E . Движение электронов происходит до тех пор, пока они не столкнутся с ионами кристаллической решетки проводника. При этом скорость электронов падает до нуля, после чего процесс ускорения электронов повторяется снова. Так как движение электронов равноускоренное, то их средняя скорость $U_{cp} = U_{max} / 2$ (1) где U_{max} – скорость электронов перед столкновением с ионами.

Очевидно, что скорость U_{max} прямо пропорциональна напряженности поля E ; следовательно, и средняя скорость пропорциональна E . Но ток и плотность тока определяются скоростью движения электронов в проводнике. Таким образом

$$J = \gamma E \quad (2)$$

Это выражение является дифференциальной формой закона Ома. Коэффициент пропорциональности называют удельной электрической проводимостью. Она зависит от материала проводника и при данной температуре является постоянной величиной

Преобразуем выражение (2). Так как $J = I/S$, $E = U/l$, а $\gamma = 1/\rho$ (удельное сопротивление), то

$$I/S = U/l (1/\rho), \text{ откуда}$$

$$I = U / (\rho l / S)$$

Введя понятие сопротивления проводника через соотношения

$$\rho l / S = R \text{ (Сопротивление проводника) , окончательно получим}$$

$$I = U / R$$

Выражение является законом Ома для участка цепи: сила тока в цепи прямо пропорциональна напряжению и, приложенному к этому участку.

Приведенные рассуждения справедливы при условии, что γ , а следовательно, и

R - постоянные величины., т.е. для линейной цепи, характеризуемой зависимостью

$$I = U(1 / R), \text{ ток линейно зависит от напряжения.}$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с приборами необходимыми для выполнения работы и записать их основные технические данные.
2. Собрать схему и дать проверить преподавателю.
3. Установите на блоке питания переключатель «0-30V» в положение «-«.
4. Подключите схему к клеммам питания «0-30V».
5. Измерьте общий ток в цепи, а также с помощью вольтметра падение напряжения на каждом участке последовательной цепи (не каждом 05+2резисторе)
6. Проверьте закон Ома, используя результаты измерений
7. Определите сопротивление каждого участка цепи.
8. По окончании работы разобрать схему, рабочее место привести в исходное состояние.
9. Составить отчет о проделанной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Указать направление движения свободных электронов проводника под действием электрического поля.
2. В какой зависимости находится скорость U_{max} свободных электронов от напряженности поля E .
3. Указать дифференциальную форму закона Ома
4. От чего зависит удельная электрическая проводимость.
5. Записать выражение закона Ома для участка цепи.
6. Для каких значений γ и R справедлив закон Ома

ОТЧЕТНЫЙ МАТЕРИАЛ

1. Технические данные измерительных приборов, источников питания.
2. Расчеты и таблицы с данными измерений

3. Электрические схемы
4. Вывод о проделанной работе

Лабораторная работа №3. Измерение потенциалов электрической цепи и построение потенциальных диаграмм.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ измерить потенциалы точек в электрической цепи и сравнить их с расчетными значениями, а так же построить потенциальные диаграммы по результатам опытов и расчетов.

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Таблица Наименование	Тип	Количество	Тех. характеристики

ЗАДАНИЕ

1. Снять показания приборов схемы.
2. По результатам измерений определить потенциалы указанных точек.
3. Составить отчет о проделанной работе.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ И ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

Построить теоретический материал по учебнику (1), § 4. 2 и задачу 4.3 или (2), § 1.17.

1. Потенциалы можно измерить вольтметром с большим внутренним сопротивлением. Для этого используют магнитоэлектрический или электронный прибор, имеющий поверхность зажимов, что позволяет определить знак измеряемого потенциала.

Если заземлить какую-либо точку цепи (рис. 2,12) и отрицательный зажим вольтметра соединить с ней, а положительный зажим присоединить к точке с положительным потенциалом, то стрелка вольтметра отклонится вправо. Если же стрелка отклоняется влево, то следует применять местами проводники вольтметра и произвести измерение потенциала, который следует считать отрицательным.

Ток в резисторе всегда направлен от большего потенциала к меньшему, по этому признаку можно определить направление тока следующим образом: если стрелка магнитоэлектрического вольтметра, подключенного к концам резистора, отклоняется вправо, то положительный зажим

Схема 1 для измерения потенциалов точек вольтметра присоединен к точке с большим потенциалом. Силу тока для последовательного соединения двух источников и трех потребителей Знак «плюс» в числителе означает, что источники соединены согласно, а «минус» - встречно. В расчетах внутренними сопротивлениями источников часто пренебрегают, так как они малы по сравнению с сопротивлениями потребителей, тогда расчетное значение силы тока несколько больше, чем опытное. В опыте же эти сопротивления учитываются автоматически.

2. Если между точками А и Б в электрической цепи (рис. 2) включен резистор, а один из потенциалов V_A известен, то потенциал другой точки определяется по формуле: $V_B = V_A + IR$.

Знаки «плюс» ставят при направлении тока в резисторе от точки Б к точке А, т. е. $A_B > V_A$, «минус» - при обратном направлении тока. Если между точками А и Б включен источник, внутреннее сопротивление которого можно принять равным нулю $R_0 = 0$ (рис. 2.14), то направление тока не имеет значения для расчета потенциалов: $V_B = V_A + E$. Здесь «плюс» выбирают, если точка Б соединена с положительным зажимом, так как V_B больше V_A на значение E , а знак «минус»-

при обратном направлении э. д. с. Если источник имеет внутреннее сопротивление, отличное от нуля, то необходимо учитывать направление тока и э. д. с. Если источник имеет внутреннее сопротивление, отличное от нуля, то необходимо учитывать направление и тока и э. д. с. согласно п. 2.3:

3. Для построения потенциальной диаграммы, прежде всего, нужно выбрать масштабы сопротивлений и потенциалов. Нуль на вертикальной оси потенциалов выбираем с учетом того, что они могут быть положительными и отрицательными. Затем отложим на горизонтальной оси все

сопротивления строго по порядку следования их в схеме, прикладывая начало каждого отрезка к концу предыдущего. Для каждой точки электрической цепи откладываем значения потенциалов и соединяем полученные точки отрезками прямой линии. Для каждой схемы в

системе координат вычерчиваем две потенциальные диаграммы: расчетную и опытную. Можно заметить, что отрезки прямой, соответствующие резисторам, параллельны, а соответствующие источникам - вертикальны или почти вертикальны. Тангенс угла наклона параллельных отрезков пропорционален силе тока: $\tan \alpha = (V_A - V_B) / R_{AB} = I$. В этом легко убедиться. Рассматривая прямоугольные треугольники, построенные на потенциальной диаграмме, (см. рис. 2,15)- вертикальный катет в масштабе представляет собой напряжение, а горизонтальный- сопротивление. Так как сила токов в резисторах одинакова, то углы α и α_2 равны, а соответствующие отрезки параллельны.

4. Если в одну из точек электрической цепи (например, точку Д) соединить с землей через резистор R(рис. 2.16), то потенциал этой точки равен нулю, так как в резисторе ток не возникает и падения напряжения не создает. При соединении точки Д с землей через источник (2.17) все потенциалы повышаются на значения E, а пот-я диаграмма «поднимается» над горизонтальной осью на отрезок, пропорциональный э. д. с. 5. Для заданных преподавателем значений э. д. с. и сопротивления рассчитать потенциалы всех точек в схемах рис. 2.12,2.18,2.19, считая, что внутренние сопротивления равны нулю. Результаты записать в таблицу 2.11. Питание от регулируемого и нерегулируемого источника постоянного напряжения.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Проверить э. д. с. источника нерегулируемого постоянного напряжения E_1 , установить с помощью регулятора напряжения $U = E_2$,

установить сопротивление магазинов согласно п. 5 подготовки к работе.

Собрать цепь (см. рис. 2.11) и показать ее преподавателю для проверки.

Измерить потенциалы точек А, Б, В, Г, Д и напряжение при замкнутом выключателе. Результаты записать в табл. 2.11.

Повторить измерение в цепях, собранным по схемам рис. 2.18 и 2.19.

По полученным опытными и расчетным данным для схемы рис. 2.12 построить потенциальные диаграммы. в одной системе координат и сравнить их

Повторить построения для схем рис. 2.19 и 2.18.

По лабораторной работы сделать заключение относительно: а) подтверждения расчетов опытными путем; б) возможности графического определения напряжений, используя потенциальные диаграммы; в) причин неполного совпадения расчетных и опытных результатов. Выводы записать в отчет.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1.Что произойдет со стрелкой вольтметра в схеме, если заземлить какую-либо точку цепи (рис. 2,12) и отрицательный зажим вольтметра соединить с ней,

а положительный зажим присоединить к точке с положительным потенциалом,

2.Что произойдет, если одну из точек электрической цепи (например, точку Д) соединить с землей через резистор R(рис. 2.16),

3. Указать значение внутреннего сопротивления в расчетах.

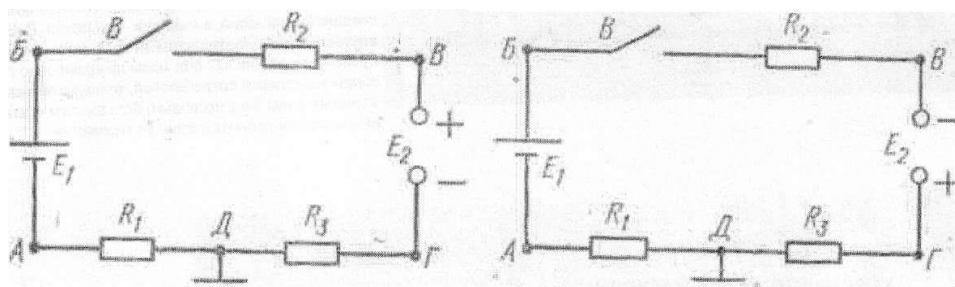
ОТЧЕТНЫЙ МАТЕРИАЛ

1. Технические данные измерительных приборов, источников питания.

2. Расчеты и таблицы с данными измерений

3. Электрические схемы

4. Вывод о проделанной работе



1						
---	--	--	--	--	--	--

2						
3						

Лабораторная работа №4. Исследование режимов работы электрической цепи и ее элементов.

Цель работы: получение первоначальных навыков сборки цепей, измерения сопротивлений, токов и напряжений; снятие вольт - амперных характеристик (ВАХ) элементов электрической цепи постоянного тока.

Приборы и оборудование: лабораторная установка, вольтметр, амперметр, соединительные провода, набор сопротивлений.

Краткие теоретические сведения:

Источники питания бывают управляемые и неуправляемые.

Неуправляемый источник – это источник, ЭДС которого не зависит от напряжения или токов других ветвей.

Управляемый источник – напряжение или ток на выходе будет только в том случае, когда на другом участке цепи имеется напряжение или ток.

Неуправляемый источник питания представляет собой активный двухполюсник (рис.1),

внешняя характеристика которого описывается уравнением: $U_{12} = E - R_i \cdot I$, где E - ЭДС генератора, R_i – внутреннее сопротивление генератора.

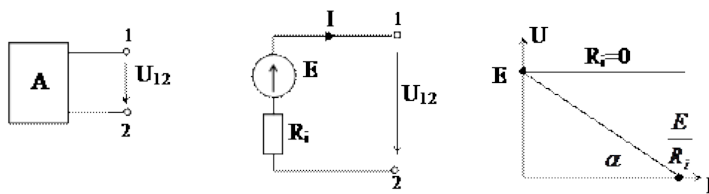


Рис.1. Неуправляемый источник питания и его ВАХ

Внешняя характеристика генератора в общем случае отличается от линейной. Если в заданных условиях режим генератора не выходит за пределы линейного участка, то генератор можно считать имеющим линейную характеристику. Расчет и построение внешней характеристики линейного генератора выполняется по двум режимам работы: режиму холостого хода и режиму короткого замыкания.

Режим холостого хода (ХХ) соответствует разомкнутым зажимам генератора, $R_H = \infty$, ток генератора I равен нулю. Напряжение на внешних зажимах $U_{12} = E$ имеет наибольшее значение. Этот режим на практике используют для измерения ЭДС генерирующего устройства.

Режим короткого замыкания (КЗ) создается при замыкании внешних зажимов накоротко.

Ток КЗ $I_K = \frac{E}{R_i}$ является наибольшим током, его величина для многих генерирующих устройств является недопустимо большой. Внутреннее сопротивление

генератора $R_i = \frac{E}{I_K}$ определяется угловым коэффициентом $\operatorname{tg} \alpha$ внешней характеристики.

Если выполняется условие $R_i \gg R_H$, где R_H – нагрузочное сопротивление, то источник ЭДС считается идеальным, $R_i = 0$. Напряжение идеального источника ЭДС $U_{12} = E$ и не зависит от тока.

Кроме режимов ХХ и КЗ различают еще два основных режима: согласованный и номинальный. Согласованный режим характеризуется максимально возможной мощностью передачи энергии от генератора к нагрузке. Это выполняется в том случае, когда $R_i = R_H$. Номинальный режим генератора – это режим, при котором напряжение, ток и мощность

генератора соответствуют тем значениям, на которые они рассчитаны заводами-изготовителями. Величины, определяющие номинальный режим, указываются в паспорте.

При выполнении данной и последующих лабораторных работ следует помнить, что длительная надежная работа электрической цепи требует предварительной оценки теплового режима ее элементов при заданных условиях работы. Исходными данными для такой оценки являются схема электрической цепи, параметры ее элементов и заданные условия работы, включая возможные запланированные отклонения (изменение схемы соединения и параметров элементов, крайние и аварийные режимы и т. п.).

Оценка теплового режима представляет собой расчет токов или напряжений на каждом элементе цепи и последующее сравнение их с соответствующими допустимыми (номинальными) значениями.

При этом должны выполняться условия:

$$I \leq I_{НОМ} = \sqrt{\frac{P_{НОМ}}{R_{НОМ}}} \quad \text{или} \quad U \leq U_{НОМ} = R_{НОМ} \cdot I_{НОМ}, \quad \text{где } U \text{ и } I -$$

расчетные значения напряжения и тока в резисторе;

$U_{НОМ}$ и $I_{НОМ}$ – номинальные (допустимые) значения напряжения и тока в резисторе;

$P_{НОМ}$ – номинальная мощность рассеяния резистора;

$R_{НОМ}$ – номинальное сопротивление резистора.

На резисторы наносится буквенно-цифровая маркировка:

- номинальная мощность $P_{НОМ}$;

- номинальное сопротивление $R_{НОМ}$ (буквы Е, R или цифра без буквы соответствуют Ом (Ом), К – килоом (кОм), М – мегаом (Мом)). При этом буква определяет положение запятой десятичной цифры.

Контрольные вопросы

1. Генератор, аккумуляторная батарея, генератор использует механическую и магнитную энергию, а аккумуляторная батарея - химическую.
2. Режим генератора и режим потребителя.
3. $R > 0$, $I > 0$, $U = E$.
4. $R > 0$, $I > E/R + R_0 = E/R_0 + R_{пр} = I_{к.з.}$.
5. К зажимам источника подключить вольтметр.
6. Измерить ЭДС источника и напряжение во внешней цепи, а затем выполнить действие: $U_0 = E - U$; $R_0 = U_0/I$.

Лабораторная работа №5. Исследование электрических цепей при последовательном, параллельном и смешанном соединениях резисторов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Проверить на опыте основные свойства цепи при изменении ее параметров.

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.

1. Источник питания постоянного тока 0 - 30 В
2. Миллиамперметр постоянного тока 0-50 мА.
3. Миллиамперметр постоянного тока 0-300 мА.
4. Амперметр постоянного тока 0 - 1 А.
5. Вольтметр постоянного тока 0 - 50 В.
6. Вольтметр постоянного тока 0 - 15 В.
7. Резисторы ПЭВ-7,5 - 200 Ом
8. Соединительные провода.

ЗАДАНИЕ.

1. Снять показания приборов при различных значениях сопротивлений.
2. По результатам измерений определить сопротивления реостатов.
3. Составить отчет о проделанной работе.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ И ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ.

Расчет и анализ любых электрических цепей может быть произведен с помощью основных законов электрических цепей: закона Ома, первого и второго законов Кирхгофа.

Как показывают опыты, ток на участке цепи прямо пропорционален напряжению на этом участке и обратно пропорционален сопротивлению того же участка. Эта зависимость известна как *закон Ома*: $I = U/R$. Закон Ома справедлив для линейных цепей ($R = \text{const}$).

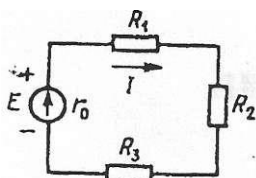
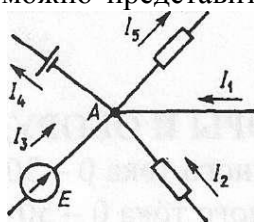
Рассмотрим полную цепь (рис. 1). Ток в этой цепи определяется по формуле $I = E/(R_0 + R_1 + R_2 + R_3)$ - Это соотношение называют *законом Ома для всей цепи*: сила тока в электрической цепи с одной ЭДС прямо пропорциональна этой ЭДС и обратно пропорциональна сумме сопротивлений внешнего и внутреннего участков цепи.

Согласно *первому закону Кирхгофа*, алгебраическая сумма токов ветвей, соединенных в любой узловой точке электрической цепи, равна нулю: $\Sigma I = 0$. Например, для узла *A* (рис. 2) $I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$.

Согласно *второму закону Кирхгофа*, в любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме напряжений на всех резистивных элементах контура: $\Sigma E = \Sigma IR$,

Для электрической цепи рис. 1 по второму закону Кирхгофа можно написать $E = Ir + I(R_1 + R_2 + R_3)$. На практике производят расчет цепей с различными схемами соединения приемников. Если приемники соединены так, что по ним проходит один и тот же ток, то такое соединение приемников называется *последовательным*.

3). Следовательно, ток на отдельных участках последовательной цепи имеет одинаковое значение: $I_1 = I_2 = \dots = I_n = I$. Сумма падений напряжений на отдельных участках равна напряжению всей цепи: $U = I_1R_1 + I_2R_2 + \dots + I_nR_n = I(R_1 + R_2 + \dots + R_n)$. Напряжение цепи можно представить как $U = IR_{\text{экв}}$, где $R_{\text{экв}}$ - эквивалентное (общее) сопротивление всей



цепи.

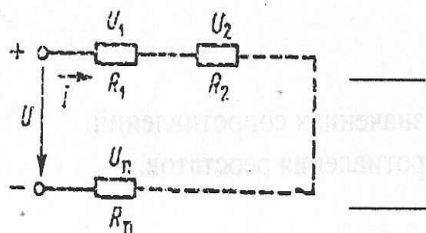
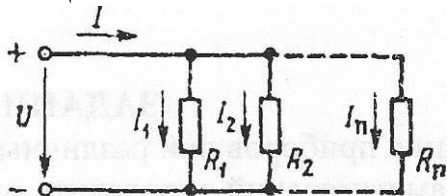


Рис.3. Последовательное соединение резисторов

Следовательно, $IR_{\text{экв}} = I(R_1 + R_2 + \dots + R_n)$. Сократив обе части равенства на I , получим $R_{\text{экв}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$. Общее сопротивление цепи, состоящей из нескольких последовательно соединенных резисторов, равно сумме сопротивлений этих резисторов.

Параллельным называется такое соединение приемников, при котором соединяются между собой как условные начала приемников, так и их концы (рис. 4). Для параллельного

соединения характерно одно и то же напряжение на выводах всех приемников: $U_1 = U_2 = \dots = U_n = U$. Согласно первому закону Кирхгофа, $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$, а согласно закону Ома можно записать $I = U/R_{\text{экр}}, I_1 = U/R_1, I_2 = U/R_2, \dots, I_n = U/R_n$. Тогда $U/R_{\text{экр}} = U/R_1 + U/R_2 + \dots + U/R_n$. Сокращая обе части равенства на U , получаем формулу подсчета эквивалентной (общей) проводимости: $1/R_{\text{ЭКВ}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$ или $g = g_1 + g_2 + \dots + g_n$.

Смешанным или *последовательно-параллельным* называется такое соединение приемников, при котором на одних участках электрической цепи они соединяются параллельно, а на других — последовательно. При расчете электрических цепей со смешанным соединением приемников используются соотношения как для последовательного, так и параллельного соединения.

Контрольные вопросы

1. Запишите уравнение по первому закону Кирхгофа для исследуемой цепи.
2. Запишите уравнение по второму закону Кирхгофа для исследуемой цепи
3. Как изменится сила тока в неразветвленной части исследуемой цепи, если увеличить нагрузку?
4. Как изменится напряжение 1, если сопротивление реостата R_1 уменьшить до нуля?
5. Почему увеличение сопротивления R_1 больше влияет на напряжение, чем уменьшение силы тока I ,

Лабораторная работа №6. Измерение потерь напряжения и мощности в проводах.

ЦЕПЬ РАБОТЫ: Показать какое влияние оказывает электрическая нагрузка линии и сопротивление ее проводов на величину потери напряжения, величину мощности потерь в проводах и к.п.д. линии электропередачи. Определить возможную длину линии электропередачи при заданных значениях потери напряжения в ней, площади поперечного сечения проводов и материала.

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ.

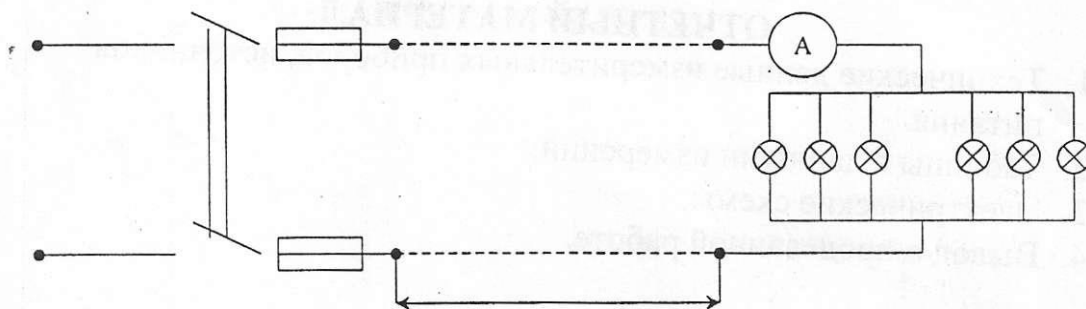
9. Источник питания - однофазная сеть переменного тока на напряжение 127 В.
10. Модель двухпроводной линии электропередачи.
11. Вольтметр с пределом измерений 0 - 150 В.
12. Амперметр с пределом измерений 0 - 5 А.
13. Две группы ламп накаливания на номинальное напряжение источника питания общей мощностью порядка 600 Вт.

ЗАДАНИЕ.

1. Снять показания приборов и данные записать в таблицу.
2. Произвести необходимые расчеты.
3. Составить отчет о проделанной работе.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Ознакомиться с приборами и аппаратами, необходимыми для выполнения работы и записать их основные технические данные.
2. Собрать схему двухпроводной алюминиевой линии и показать ее преподавателю.



3. При трех - четырех значениях нагрузки записать показания амперметра и вольтметра, данные занести в таблицу.

4. Определить потерю напряжения по показанию вольтметров $\Delta U = U_1 - U_2$

Пользуясь формулой $L = \gamma \cdot S \cdot \Delta U / 2 \cdot I$; определить длину линии для каждого опыта.

Подсчитать для каждой нагрузки мощность потерь в линии и ее КПД

$$\Delta P = I \cdot \Delta U = I^2 \cdot R; \eta = P_2 / P_1 = (P_1 - \Delta P) / P_1 = 1 - \Delta U / U_1 \quad \gamma = 34$$

№п/п	Данные измерений					Данные вычислений			
	γ	U_1 В	U_2 В	I А	S мм ²	ΔU В	L м	ΔP Вт	η %
1									
2									
3									
4									

7. В том же порядке повторить измерения и расчеты, изменяя нагрузку, результаты записать в таблицу.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Что такое проводимость и сопротивление проводника?. Как зависят эти величины от размеров проводника?
2. Что такое удельная проводимость и как от нее зависит потеря напряжения?
3. Во сколько раз изменятся потери, если напряжения увеличить в 10 раз?
4. В каких линиях потеря напряжения не должна превышать 2,5%, и в каких 5%.

ОТЧЕТНЫЙ МАТЕРИАЛ.

1. Технические данные измерительных приборов, источников питания.
2. Таблицы с данными измерений.
3. Электрические схемы.
4. Вывод о проделанной работе.

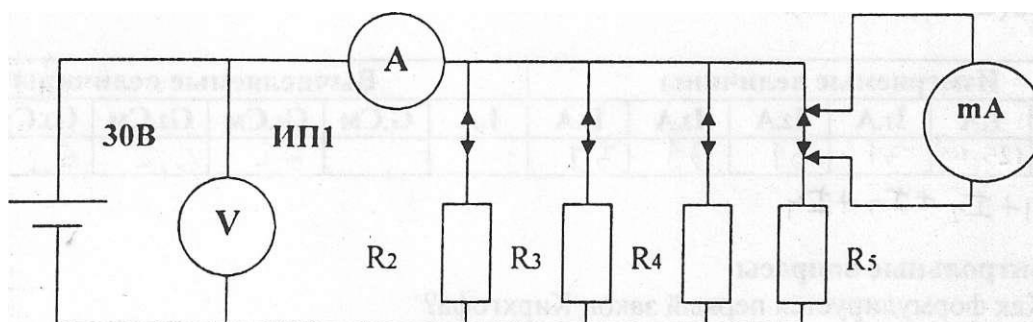
Лабораторная работа №7. Определение токов с помощью закона Кирхгофа.

Цель работы: Проверить законы Кирхгофа опытным путем. Результаты опыта сопоставить с расчетными данными.

Приборы и оборудование: ИП1- вольтметр постоянного тока 50В; ИП2- амперметр постоянного тока 1А ; ИП3 - миллиамперметр постоянного тока 300мА ;R2...R5- резисторы ПЭВ-7,5 -2000м

ИП2

ИП3



Задание

1. Измерить токи и напряжение в электрической цепи.
2. По данным измерений рассчитать токи I_1, I_2, I_3, I_4, I_5 .
3. Проверить справедливость первого и второго законов Кирхгофа
4. Составить отчет о проделанной работе.

Краткие теоретические сведения и пояснения к работе

Для расчета электрических цепей любой конфигурации и сложности часто используют законы Кирхгофа, являющиеся следствием закона сохранения энергии.

Первый закон Кирхгофа применяется к узлам электрической цепи и формулируется следующим образом: в узле электрической цепи алгебраическая сумма токов равна нулю.

$$\sum I = 0$$

Л. В эту сумму токи входят с разными знаками в зависимости от их направления по отношению к узлу, токи направленные к узлу, принято считать положительными, а токи, направленные от узла, - отрицательными. С учетом этого положения можно дать другую формулировку первого закона Кирхгофа: сумма токов направленных к узлу электрической цепи, равна сумме токов направленных от этого узла. Второй закон Кирхгофа применяется к контурам электрической цепи и выражает баланс напряжений в них: в любом замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма ЭДС равна алгебраической сумме падений напряжений на сопротивлениях, входящих в контур: $\sum E = \sum I \cdot R$

При составлении уравнений по второму закону Кирхгофа, ЭДС, направление, которой совпадает с направлением произвольно выбранного контура, учитывается со знаком «+», при не совпадении этих направлений со знаком «-». Если направление тока в сопротивлении совпадает с направлением обхода, то падение напряжения на этом сопротивлении учитывается со знаком «+», если не совпадает - со знаком «-».

Порядок выполнения работы

1. Установить на блоке питания переключатель «0-30У» и в положение «->»
2. Подключите схему к клеммам «0-30V»
3. Измерить, общий ток в цепи и ток в цепи каждого резистора
4. Проверить первый закон Кирхгофа

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$$

$$U = U_1 = U_2 = U_3 = U_4$$

$$G_1 = I_1/U \quad G_2 = I_2/U \quad G_3 = I_3/U \quad G_4 = I_4/U$$

$$I = U(G_1 + G_2 + G_3 + G_4).$$

Измеряемые величины						Вычисляемые величины					
U, В	I, А	I ₁ , А	I ₂ , А	I ₃ , А	I ₄ , А	I, А	G, См	G ₁ , См	G ₂ , См	G ₃ , См	G ₄ , См

Контрольные вопросы

1. Как формулируется первый закон Кирхгофа?
2. Какие токи при составлении уравнений по первому закону Кирхгофа следует считать положительными, какие отрицательными?
3. Как формулируется второй закон Кирхгофа?
4. Какие ЭДС и падения напряжений при составлении уравнений по второму закону Кирхгофа следует считать положительными, какие отрицательными?
5. Сколько контуров исследуемой электрической схеме?

Отчетный материал

1. Технические данные измерительных приборов и оборудования, используемых в ; работе.
2. Электрическая схема
3. Таблица с данными измерений и вычислений 4Расчетные формулы 5Вывод о проделанной работе.

Лабораторная работа №8. Определение токов методом наложения.

Цель работы: Проверить практически и уяснить методику расчета сложных электрических цепей постоянного тока методом наложения

Приборы и оборудование:

- 1.Источник постоянного тока : $E = 30\text{В}$, $E_{г}=6.3\text{В}$
- 2.Амперметр постоянного тока: $I=300\text{ мА}$ - 3 шт.
- 3.Реостат проволочный: $R_1 = 160\text{ Ом}$, $R_2=5.1\text{ Ом}$, $R_3=3.1\text{ Ом}$.

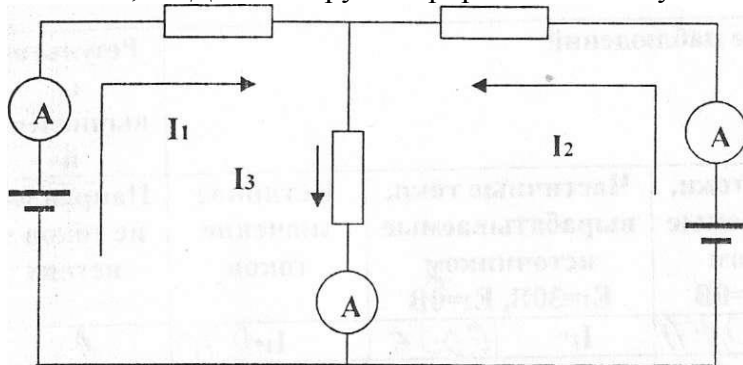
Задание

- 1.Вычислить токи в многоконтурной электрической цепи.
- 2.Измерить токи и сравнить с расчетными данными.
- 3.Составить отчет.

Краткие теоретические сведения и пояснения к работе

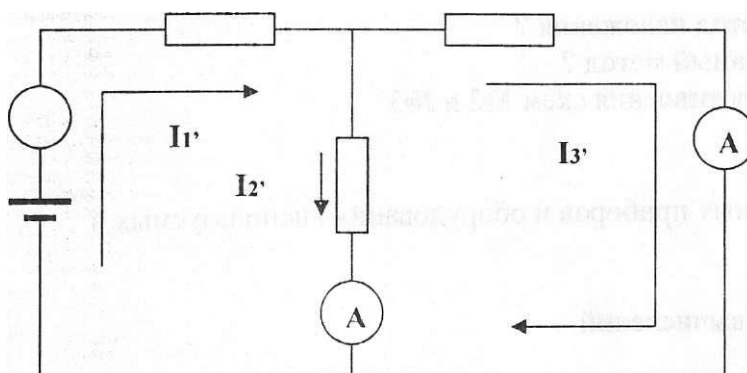
Метод наложения токов - универсальный, но его имеет смысл применять для расчета таких цепей, в которых не более 2-3 шт. ЭДС и 3-4 ветвей, в противном случае расчет становится громоздким.

Метод основан на принципе независимости действия источников ЭДС. Каждый источник работает независимо от других, вырабатывает свой ток в каждой ветви. В результате в каждой ветви протекает алгебраическая сумма токов от каждого из источников в отдельности (частичных токов);, которые определяют следующим образом: Оставляют один источник, а ЭДС всех других приравнивают к нулю.



схема№1.

Рассчитываем схему №1 Полагаем, что $E_2=0$, тогда схема примет вид



схема№2

Определяем токи по показаниям приборов: I_1 , I_2 , I_3 -частичные токи вырабатываемые первым источником ЭДС. Их направление может быть только таким.

Полагаем, что в цепи действует источник E_2 , т.к. $E_1 = 0$ схема примет вид

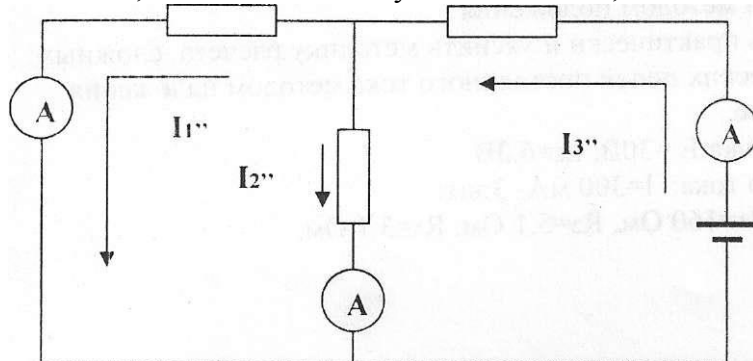


схема №3

определяем частичные токи по показаниям приборов

$$I_1'' = I_2'' = I_3'' =$$

производим наложение схем №2 и №3 на схему №1 и вычисляем истинные токи $I_1 = I_1 - I_1''$ $I_2 = I_2 - I_2''$

$$I_3 = I_3 - I_3''$$

Порядок выполнения работы.

1. Собрать схему №1. измерить I_1 , I_2 , I_3 записать в таблицу
2. Собрать схему №2, выключив из схемы источник E_2 измерить I_1 I_2 : I_3 : записать в таблицу.
3. Собрать схему №3, выключив из схемы E_1 , **ИЗМЕРИТЬ** I_1'' , I_2'' , I_3'' , записать в таблицу. **5.** Вычислить I_1^* . I_2^* . I_3^* . Определить их направление. Результаты вычислений занести в таблицу.

		Данные наблюдений				Результаты Вычислений	
Истинное значение токов		Частичные токи, вырабатываемые источником $E_1=30V$, $E_2=0V$		Частичные токи, вырабатываемые источником $E_1=30V$, $E_2=0V$		Истинное значение токов	Направление токов в ветвях
I_1		I_1'		I_1''		I_1^*	
I_2		I_2'		I_2''		I_2^*	
I_3		I_3'		I_3''		I_3^*	

Контрольные вопросы

1. В каких случаях применяют метод наложения ?
2. На каком принципе основан данный метод ?
3. Рассчитать эквивалентные сопротивления схем №2 и №3

Отчетный материал

1. Технические данные измерительных приборов и оборудования . используемых в работе.
2. Электрические схемы
3. Таблица с данными измерений и вычислений
4. Расчетные формулы
5. Вывод о проделанной работе.

Лабораторная работа №9. Опытная проверка расчета нелинейных цепей.

Цель лабораторной работы: ознакомиться с вольт- амперными характеристиками нелинейных резисторов и проверить на опыте графический метод расчета электрических цепей, содержащих нелинейные резисторы.

Подготовка к работе

Повторить теоретический материал по учебнику [1], § 6.1, 6.2 или [2], § 3.1, ЗЛО.

1. Расчет нелинейных цепей обычно производится методом графическим. Для этого необходимо иметь вольт - амперные характеристики всех резисторов, которые могут быть получены опытным путем по схеме рис. 2.37.

В данной лабораторной работе исследуемая лампа накаливания с вольфрамовой нитью и угольный столб. Если получить вольт- амперные характеристики этих элементов 1 и 2 (рис. 2. 38), а затем построить результирующую характеристику для последовательного соединением можно проверить совпадение опытных результатов с графическими построениями.

Аналогично можно поступить и для параллельного соединения рис. (2. 39).

2. Если известно, что вольт- амперная характеристика в определенном диапазоне изменяется без скачков, то с некоторым приближением можно заменить отрезок кривой *ab* (рис. 2.40) отрезком прямой, пересекающим горизонтальную ось в точке *v*. Уравнение такой прямой имеет вид: $U = IR_d - E_0$, где E_0 - э.д.с. в схеме замещения (рис. 2.41) нелинейного резистора; R_d -линейное динамическое сопротивление $[R_d = (U + E_0)/I = \text{tg } \alpha]$.

В случае вогнутой вольт- амперной характеристики (рис. 2.42) участок *ab* можно заменить прямой: $U = IR_d + E_0$. Схема размещения содержит те же элементы, но э. д. с. E_0 направлена встречно с напряжением U .

Кроме динамического сопротивления существует статическое $R_{ст} = U/I = \text{tg } \alpha$.

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Какие резисторы считают линейными нелинейными?
3. Приведите примеры нелинейных резисторов.
4. Изобразите схему для получения вольт - амперной характеристики резистора.
5. Как графически рассчитать цепь при последовательном соединении резисторов?
6. Как графически рассчитать цепь при параллельном соединении нелинейных резисторов?
7. Что такое динамическое сопротивление?
8. Что такое статическое сопротивление?
9. Изобразите схему замещения резисторов с выпуклой вольт- амперной характеристикой нелинейного резистора. Запишите уравнение для этой схемы.
10. Изобразите схему замещения резистора с вогнутой вольт- амперной характеристикой нелинейного резистора. Запишите уравнение для этой схемы.

Приборы и оборудование (см. табл. 2.46)

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		3	
Вольтметр		3	
Лампа накаливания		1	
Угольный столб		1	

Питание от источника регулируемого постоянного напряжения.

Программа работы

1. Изобразить схему для измерения токов и падений напряжения на двух нелинейных резисторах, соединенных последовательно. Изобразить схему для параллельного соединения этих резисторов. Ознакомить с ними преподавателя.
- 2.Собрать цепь (см. рис. 2.37) и показать ее преподавателю для проверки.
- 3.Изменяя регулятором напряжение от нуля до номинального значения, получить вольт-амперную характеристику.

В данной лабораторной работе исследуемая лампа накаливания с вольфрамовой нитью и угольный столб. Если получить вольт- амперные характеристики этих элементов 1 и 2 (рис. 2. 38), а затем построить результирующую характеристику для последовательного соединением можно проверить совпадение опытных результатов с графическими построениями.

Аналогично можно поступить и для параллельного соединения рис. (2. 39).

2. Если известно, что вольт- амперная характеристика в определенном диапазоне изменяется без скачков, то с некоторым приближением можно заменить отрезок кривой аб (рис. 2.40) отрезком прямой, пересекающим горизонтальную ось в точке в. Уравнение такой прямой имеет вид: $U = IR_{д} - E_0$, где E_0 - э.д.с. в схеме замещения (рис. 2.41) нелинейного резистора; $R_{д}$ -линейное динамическое сопротивление $[R_{д} = (U + E_0)/I = \text{tg } \alpha]$.

В случае вогнутой вольт- амперной характеристики (рис. 2.42) участок аб можно заменить прямой: $U = IR_{д} + E_0$. Схема размещения содержит те же элементы, но э. д. с. E_0 направлена встречно с напряжением U .

Кроме динамического сопротивления существует статическое $R_{ст} = U/I = \text{tg } \alpha$.

Вопросы для самопроверки

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Какие резисторы считают линейными нелинейными?
3. Приведите примеры нелинейных резисторов.
4. Изобразите схему для получения вольт - амперной характеристики резистора.
5. Как графически рассчитать цепь при последовательном соединении резисторов?
6. Как графически рассчитать цепь при параллельном соединении нелинейных резисторов?
7. Что такое динамическое сопротивление?
8. Что такое статическое сопротивление?
9. Изобразите схему замещения резисторов с выпуклой вольт- амперной характеристикой нелинейного резистора. Запишите уравнение для этой схемы.
10. Изобразите схему замещения резистора с вогнутой вольт- амперной характеристикой нелинейного резистора. Запишите уравнение для этой схемы.

Приборы и оборудование (см. табл. 2.46)

Наименование	Тип	Количество	Технические характеристики
Амперметр		3	
Вольтметр		3	
Лампа накаливания		1	
Угольный столб		1	

Питание от источника регулируемого постоянного напряжения.

1. Изобразить схему для измерения токов и падений напряжения на двух нелинейных резисторах, соединенных последовательно. Изобразить схему для параллельного соединения этих резисторов. Ознакомить с ними преподавателя.

Собрать цепь (см. рис. 2.37) и показать ее преподавателю для проверки.

Лампа накаливания		Угольный столб		
U, В	I, А	R _{ст} , Ом	U, В	I, А

Изменяя регулятором напряжение от нуля до номинального значения, получить вольт- амперную характеристику. Показания приборов записать в табл. 2.47.

Повторить измерения для угольного столба.

Контрольные вопросы.

1. Нельзя подобрать 2 нелинейных элемента, чтобы их общая ВАХ стала линейной, т.к. общая ВАХ всё равно будет являться нелинейной.
2. Нельзя использовать формулу: $P = UI$, т.к. для нахождения мощности нелинейных элементов надо знать их сопротивления, которые не являются постоянными величинами, они меняются со временем.
3. Закон Ома: $I = E/R + r$;
Законы Кирхгофа:
- узловой закон: $\sum I = 0$;
- контурный закон: $\sum E = \sum IR$

Лабораторная работа №10. Исследование параметров индуктивных катушек.

Цель работы

Научиться определять параметры индуктивных катушек. Приборы и оборудование
Исследуемая катушка, сердечник, вольтметр, амперметр, реостат, источник переменного тока.

Задание

1. снять показания приборов и данные записать в таблицу.
2. произвести необходимые расчеты.
3. составить отчет о проделанной работе.

Краткие теоретические сведения

Рассмотрим схему, состоящую из активного и индуктивного сопротивлений:

$$Z = \frac{U}{I}, \quad Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \quad \omega = 2\pi\nu$$

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \quad (1) \quad \text{Откуда } I = \frac{U}{Z}$$

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega} \quad (2)$$

таким образом, для определения L катушки необходимо знать ее полное сопротивление Z , отличное от сопротивления R , и ω ($\omega = 2\pi\nu$).

Порядок выполнения работы

1. Соберите схему согласно рисунка.
2. Измерьте омметром омическое сопротивление катушки R .
3. Замыкают цепь и определяют силу тока I , идущего через катушку, для трех различных значений U на ее концах. Напряжение на ее концах регулируют реостатом R . Определяют три "значения $Z = U/I$, находят среднее. По формуле (2) находят L .
4. Повторяют опыт, вставив в катушку сердечник, и опять находят L .
5. Сделайте выводы.

№/п		Из опыта			Из расчета		
		R_k	I	U	Z	$Z_{ср}$	L
1	Без						
2	Серд						
3							
1	С Серд						
2							
3							

Контрольные вопросы

1. Дать определение собственной индуктивности катушки.
2. Объяснить влияние сердечника на величину сопротивления катушки.

Лабораторная работа №11. Исследование взаимной индуктивности.

Цель работы: Измерять взаимную индуктивность катушек, выяснить, как она зависит от числа витков, наличия стального сердечника.

Приборы и оборудование.

14. Амперметр-1 шт.
15. Вольтметр - 2 шт.
16. Ваттметр- 1 шт.
17. Трансформатор со съёмным ярмом-1шт
18. Индуктивная катушка 2 шт.

Задание

1. Снять показания прибора.
2. По результатам измерений определить взаимную индуктивность катушки.
3. Составить отчет проделанной работе.

Краткие теоретические сведения и пояснения к работе.

1. К параметрам индуктивных катушек относятся такие постоянные величины, как активное сопротивление, индуктивность. Взаимная индуктивность двух катушек зависит от индуктивности каждой из них и от их взаимного расположения. Индуктивность и взаимная индуктивность выражаются в генри (Гн).
2. Для измерения взаимной индуктивности можно использовать метод согласного включения двух катушек. Характерной особенностью согласного включения является сложение магнитных потоков двух катушек и увеличение эквивалентной индуктивности за счет сложения индуктивностей двух катушек с взаимной индуктивностью $L_C = L_1 + L_2 + 2M$. На схемах согласное включение условно обозначается соединением конца первой катушки с началом второй. Начало катушек отмечают точкой, а дугообразной стрелкой — магнитную связь катушек. Характерной особенностью встречного включения является вычитание магнитных потоков двух катушек и уменьшение эквивалентной индуктивности за счет вычитания взаимной индуктивности: $L_B = L_1 + L_2 - 2M$. Для опытного определения взаимной индуктивности измеряют силу тока в цепи (рис. 11.1) напряжение и активную мощность при согласном включении и рассчитывают L по формулам, указанным в п.2. Затем повторяют измерение и расчет для встречного включения. Взаимную индуктивность определяют по формуле $M = (L_C - I_B) / 4$. По внешнему виду не всегда можно установить, какое соединение катушек: согласное или встречное, так как не всегда видно направление намотки катушек. Для того чтобы выяснить, в каком из двух рассмотренных опытов получается встречное или согласное включение, следует иметь в виду, что при согласном включении индуктивное и полное сопротивление всей цепи больше, чем при встречном ($Z_C > Z_B$) следовательно, при одном и том же напряжении сила тока, меньше, чем при встречном ($I_C < I_B$).

Взаимную индуктивность можно определить методом амперметра и вольтметра.

Подключив одну из катушек к источнику переменного тока (рис. 10.2.), измеряют силу тока в первой катушке и наведенную Э.Д.С взаимной индукции во второй. Взаимную индуктивность можно, рассчитать по формуле.

$$M = U / I \omega$$

Где $\omega = 2\pi f$ - угловая частота источника ($f = 50$ Гц).

Порядок выполнения работы.

- 1 Собрать цепь для измерения- взаимной индуктивности по методу согласного и встречного включения и показать ее преподавателю для проверки.
2. Измерить напряжение, силу тока и активную мощность двух катушек. Результаты записать в таб.

Согласное включение						встречное включение						M, Гн	
Из опыта			Из расчета			Из опыта			Из расчета				
U, В	I, А	P, Вт	R, Ом	Z, Ом	Xi, Ом	Lc Гн	U, В	I, А	P, Вт	R, Ом	Z, Ом	Xi, Ом	Lc Гн

3. Поменяв зажимы включения второй катушки, повторить измерения.

4.Собрать цепь для измерения взаимной индуктивности катушек трансформатора и показать ее преподавателю для проверки.

5.Измерить силу тока впервой катушки и э. Д. С. во второй при замкнутом и разомкнутом сердечнике. Результаты записать в табл.2

Из опыта		Из расчета		
U	I	w	M	
B	A	раг/с	Гн	Примечание
				Сердечник замкнут
				Сердечник Разомкнут

1.По результатам измерений п.2и3 рассчитать по методу согласного и встречного включения.

2.По результатам измерений п.5 рассчитать коэффициент взаимной индуктивности по методу амперметра вольтметра

3.По лабораторной работе сделать заключение относительно: факторов, влияющих на взаимную индуктивность *ДВУХ* катушек; методом измерения коэффициентов самоиндукции и взаимной индуктивности. Выводы записать в отчет.

Отчетный материал.

1.Технические данные измерительных приборов.

2.Электрические схемы.

3.Таблица с данными измерений и вычислений

4.Расчетные формулы

$$P = I^2 R \Rightarrow R = P / I^2; Z = U / I; X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}; X_L = 2\pi f L \Rightarrow L = X_L / 2\pi f; f = 50 \text{Гц}$$

5.Вывод о проделанной работе: сделать заключение, относительно

6.факторов влияющих на взаимную индуктивность 2^x катушек.

7.методов измерения коэффициентов взаимной индуктивности.

Контрольные вопросы.

1.Что такое согласное и встречное включение катушек?

2.Как определить одноименные нажимы катушек?

3.В чем заключается явление взаимной индукции?

4Что такое взаимная индуктивность, от чего она зависит?

5.Как измерить взаимную индуктивность методом согласного и встречного включения?

6.Как измерить взаимную индуктивность методом амперметра и вольтметра?

Лабораторная работа №12. Исследование электрических цепей переменного тока при последовательном соединении активного и индуктивного сопротивлений.

Цель работы: Показать зависимость напряжения от величины силы тока на активном и индуктивном сопротивлениях. Выяснить от каких параметров электрической цепи зависит значение коэффициента мощности

Приборы и оборудование.

1.Источник питания - сеть переменного тока напряжением 220В.

2.Катушка Индуктивности - 1 шт.

3.Амперметр электромагнитной системы с пределами измерения тока до 5А — шт.

4.Вольтметр электромагнитной системы с пределом измерения напряжения до 300В - шт.

5.Ваттметр электродинамической системы на ток 5А и напряжение 150В - 1 шт.

6.Двухполюсный разъединитель на 250В - 1 шт.

7.Лабораторный автотрансформатор ЛАТР— 1 шт.

8.Соединительные провода.

Задание

2. Снять показания приборов, записать их в таблицу для различных режимов работы трансформатора.

3. По данным измерений вычислить величины, указанные в таблице.

4. Составить отчет о проделанной работе.

Краткие теоретические сведения

Переменным называют ток, изменение которого по значению и направлению повторяется периодически через равные промежутки времени.

Для количественной характеристики переменного тока служат следующие параметры.

1. Мгновенные значения тока i , напряжения u , ЭДС e — их значения в любой момент времени: $i = I_m \sin \omega t$; $u = U \sin \omega t$; $e = E_m \sin \omega t$;

2. Амплитудные значения тока I_m , напряжения U_m , ЭДС E — максимальные значения мгновенных величин: i , u и (рис. 4.3).

1. Период T — промежуток времени, в течение которого ток совершает полное колебание и принимает прежнее по величине и знаку мгновенное значение. Период выражают в секундах (с), миллисекундах (мс) и микросекундах (мкс).

4. Угловая скорость ω характеризует скорость вращения катушки генератора в магнитном поле. На практике для получения нужной частоты при относительно малой угловой скорости генераторы имеют несколько пар полюсов p .

На рис. 4.4 показан генератор с двумя парами полюсов, в котором за один оборот катушки ЭДС изменяет направление 4 раза или 2 раз. Следовательно, одному обороту катушки соответствует 4 периода переменного тока. Введем понятие электрического угла $\alpha_{эл} : \alpha_{эл} = p\alpha$. Тогда скорость ω определяет электрическую угловую скорость катушки: $\omega = \alpha_{эл} / (pT) = p2\pi / (pT) = 2\pi/T$ (4.2)

$p2\pi$ — электрический угол, соответствующий одному обороту катушки в пространстве; pT — время, соответствующее p периодам тока.

Таким образом, формула определяет электрическую частоту вращения.

5. Циклическая частота — величина, обратная периоду T , т. е. и характеризующая число полных колебаний тока за 1 с.

$$f = 1/T \quad (4.3)$$

Единицей циклической частоты является герц (Гц):

$$[f] = 1/c = 1 \text{ Гц.}$$

Промышленной частотой считается частота 50 Гц. Распространены также производные единицы циклической частоты килогерц (кГц), мегагерц (МГц) и гигагерц (ГГц): $1 \text{ кГц} = 10^3 \text{ Гц}$; $1 \text{ МГц} = 10^6 \text{ Гц}$; $1 \text{ ГГц} = 10^9 \text{ Гц}$. Сопоставив формулы (4.2) и (4.3), получим

$$\omega = 2\pi f \quad (4.4)$$

19. Действующие значения тока I , напряжения U и ЭДС E . Для измерения переменного тока, напряжения и ЭДС вводят понятие действующего значения. Переменный ток сравнивают с постоянным по тепловому действию (рис. 4.5). Если положение реостатов подобрано так, что количество теплоты, выделяемой в схемах рис. 4.5, а, б на резисторе R , оказывается одинаковым, то можно считать, что и токи в схемах одинаковы.

Таким образом, действующее значение переменного тока равно такому постоянному току, который за время, равное одному периоду, выделяет на данном резисторе одинаковое количество теплоты с переменным током.

Найдем соотношение между действующим и амплитудным значениями тока. Согласно определению, $Q_{\sim} = Q_{\sim}$ (количество теплоты, выделяемое постоянным и переменным токами):

$$Q_{\sim} = I^2 R T; \quad Q_{\sim} = \int_0^T i^2 R dt$$

Сократив на общий множитель R и учтя, что $i = I_m \sin \omega t$ найдем выражение для действующего значения тока:

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t dt}$$

$$I^2 R T = \int_0^T i^2 R dt$$

или после интегрирования

$$I = I_m / \sqrt{2} = 0.707 I_m$$

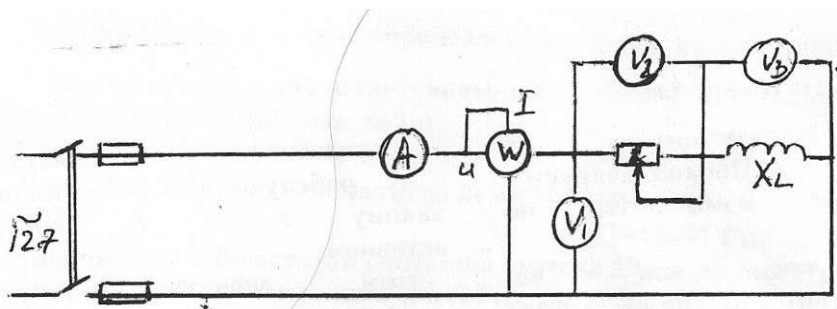
Цепь с активным сопротивлением и индуктивностью

Цепь (рис. 5.10) состоит из участков, свойства которых известны. Проанализируем работу данной

цепи. Пусть ток в цепи изменяется по закону $i = I_m \sin \omega t$. Тогда напряжение на активном сопротивлении $u_r = U_{Rm} \sin \omega t$, так как на этом участке напряжение и ток совпадают по фазе. Напряжение на катушке $u_L = u_{urm} i = I_m \sin(\omega t + \pi/2)$, поскольку на индуктивности напряжение опережает по фазе ток на угол $\pi/2$. Построим векторную диаграмму для рассматриваемой цепи.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с приборами необходимыми для выполнения работы и записать их технические данные
2. Собрать схему и показать ее руководителю;



3. Включить схему в сеть и измерить напряжение на активном и индуктивном сопротивлениях при различной силе тока и протекающего по цепи тока регулировав перемещением реостата, результаты записать в таблицу.

$$P = U_2 I \cos \varphi = I^2 r; Q = UI \sin \varphi; S = UI; Q = \sqrt{S^2 - P^2}; X_L = \omega L$$

По результатам вычислений для одного опыта построить треугольник сопротивления и определить величину угла.

По результатам измерений вычислить: $Z; X_L; U; r$ пользуясь следующими формулами

6. Вычислить значение коэффициента мощности при различных токах в цепи.
7. Вычислить значение полной, активной и реактивной мощностей и для одного и 3 опытов построить треугольник мощностей.

Контрольные вопросы

1. Что называется переменным током?
2. Что называется коэффициентом мощности?
3. Чему равна угловая частота и в каких единицах измеряется?
4. Чему равны действующее значение синусоидальных токов и напряжение если известны их амплитудные значения?

Отчетный материал

1. Технические данные измерительных приборов и оборудования.
2. Электрические схемы.
3. Таблицы с данными измерений.
4. Вывод о проделанной работе.

данные измерений						данные расчетов						
n/n	u1b	u2b	u3b	ja	p bm	r om	xl om	cos	s ba	p ba	q bm	z om

Лабораторная работа № 13. Исследование электрических цепей переменного тока при последовательном соединении активного и емкостного сопротивлений.

Цель работы: Исследование влияния величины индуктивности катушки на электрические параметры цепи однофазного синусоидального напряжения, содержащей последовательно соединенные катушки индуктивности и конденсатор. Опытное определение условий возникновения в данной цепи резонанса напряжений.
Паспортные данные электроизмерительных приборов.

Таблица 1

№ п/п	Наименование прибора	Заводской номер	Тип	Система измерения	Класс точности	Предел измерений	Цена деления
1	Амперметр	720898	Э30	электромагнитная	1,5	0..5	0,2
2	Вольтметр	001408	Э34	электромагнитная	1,0	0..75	0,2
3	Вольтметр	018879	Э34	электромагнитная	1,0	0..300	10
4	Вольтметр	018895	Э34	электромагнитная	1,0	0..300	10
5	Ваттметр	137969	Д539	электродинамическая	0,5	0..150	2,5

Опытные данные.

Таблица 2

Номер опыта	I	P	U	UK	Uc	
	A	Кол-во дел.	Вт	B		
1	1,2	8	20,0	37	135	100
2	1,7	17	42,5	37	180	150
3	2,2	27	67,5	37	224	190
4	2,6	38	95,0	37	222	228
5	2,2	26	65,0	37	170	190
6	1,7	15	37,5	37	118	148
7	1,2	7	17,5	37	70	100

Контрольные вопросы

1. Коэффициент мощности цепи
2. Полное сопротивление цепи
3. Полное сопротивление катушки
4. Активное эквивалентное сопротивление катушки
5. Индуктивное сопротивление катушки
6. Индуктивность катушки
7. Активная составляющая напряжения катушки
8. Индуктивная составляющая напряжения катушки

- 9. Емкостное сопротивление
- 10. Емкость конденсатора

Выводы

1. Графики тока, напряжения и коэффициента мощности имеет вид параболы ветви, которого направлены вниз, т.е. максимальные значения соответствуют резонансу;
2. График полного сопротивления цепи имеет вид параболы ветви, которой направлены вверх, минимум сопротивления соответствует резонансу.
3. Особенности резонанса:
 - 1) полное сопротивление цепи равно значению активного сопротивления;
 - 2) коэффициент мощности в точке резонанса имеет максимум (значение 1 или очень близкое к ней);
 - 3) ток и напряжения совпадают по фазе, и вся цепь ведет себя как чисто активная.

Лабораторная работа № 14. Исследование электрических цепей переменного тока при параллельном соединении активного и индуктивного сопротивлений.

Цель работы: Изучить неразветвленную цепь переменного тока, научиться строить векторные диаграммы, научиться определять фазовый сдвиг векторов напряжения на активном и индуктивном сопротивлении.

Ход работы:

1. Собрал схему

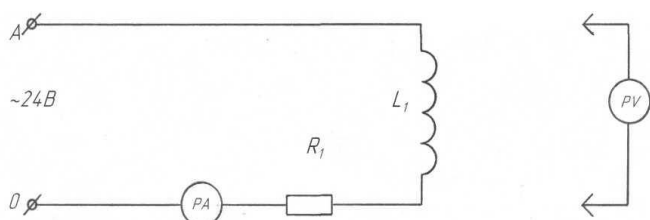


Рисунок 1 – Схема неразветвленной цепи где PA-прибор комбинированный 43101; PV-прибор комбинированный Ц 4342; R₁ - резистор, 200 Ом; L₁ - катушка индуктивности.

2. Подключил схему к генератору трёхфазного напряжения и подал синусоидальное напряжение ~24В.
3. Измерил силу тока I в цепи I = 0,004 А
4. Измерил напряжение на входе схемы U и напряжение на активном U_a=U_R и индуктивном U_K сопротивлениях.

$$U = 4,88 \text{ В}$$

$$U_a = U_R = 3,69 \text{ В}$$

5. Вычислил полное сопротивление электрической цепи по формуле:

$$Z = \frac{U}{I},$$

$$Z = 4,88 / 0,004 = 1220 \text{ (Ом)}.$$

6. Вычислил полное сопротивление катушки индуктивности по формуле

$$Z_K = \frac{U_K}{I},$$

$$Z_K = 3,69 / 0,004 = 922,5 \text{ (Ом)}.$$

7. Измерил активное сопротивление катушки с помощью комбинированного прибора 43101.
8. Вычислил индуктивное сопротивление катушки по формуле:

$$X_L = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2},$$
$$X_L = \sqrt{922,5^2 - 67^2} = 920,1 \text{ (Ом)}$$

9. Рассчитал индуктивное сопротивление катушки по формуле

$$R_a = \frac{U_a}{I},$$
$$R_a = 3,16 / 0,004 = 790 \text{ (Ом)}.$$

10. Рассчитал индуктивность катушки по формуле

$$L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f},$$
$$L = 920,1 / 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 2,93 \text{ (Гн)}.$$

11. Определил активное напряжение катушки по формуле

$$U_{R_K} = I \cdot R_K,$$
$$U_{R_K} = 0,004 \cdot 67 = 0,268 \text{ (В)}.$$

12. Нашёл индуктивное напряжение катушки по формуле

$$U_L = I \cdot X_L,$$
$$U_L = 0,004 \cdot 920,1 = 3,68 \text{ (В)}.$$

13. Вычислил активную мощность, потребляемую в электрической цепи по формуле

$$P_a = I^2 (R_a + R_K),$$
$$P_a = 0,004^2 (790 + 67) = 0,013712 \text{ (Вт)}.$$

14. Рассчитал реактивную мощность цепи по формуле

$$Q = I^2 \cdot X_L,$$
$$Q = 0,004^2 \cdot 920,1 = 0,014722 \text{ (ВАр)}.$$

15. Нашёл полную мощность цепи по формуле

$$S = \sqrt{P_a^2 + Q^2},$$
$$S = \sqrt{0,013712^2 + 0,014722^2} = 0,020118 \text{ (ВА)}.$$

16. Определил угол сдвига фаз в цепи по формуле

$$\varphi = \arccos \frac{P_a}{S},$$
$$P_a / S = 0,013712 / 0,020118 = 0,682$$
$$\varphi = \arccos 0,682 = 46^\circ.$$

17. Данные расчётов и измерений, записал в таблицу.

Таблица 1 - протокол испытаний:

наименование определяемой величины, (в чём измеряется)	величина	
сила тока в цепи, I(A)	0,004	
напряжение, (В)	на входе схемы, U	4,88
	на активном сопротивлении, U _a	3,16
	на индуктивном сопротивлении, U _к	3,69
	активное катушки, U _{рк}	0,268
	индуктивное катушки, U _л	3,68
сопротивление, (Ом)	полное электрической цепи, Z	1220
	полное катушки индуктивности, Z _к	922,5
	активное катушки, R _к	67
	индуктивное катушки, X _л	920,1
	активного участка, R _a	790
индуктивность катушки, L(Гн)	2,93	
мощность	активная в цепи, P _a (Вт)	0,013712
	реактивная, Q _l (ВАР)	0,014722
	полная в цепи, S(ВА)	0,020118
угол сдвига фаз, φ(гр.)	46	

18. По результатам измерений и расчётов, построил Векторную диаграмму и треугольники сопротивлений и мощностей:

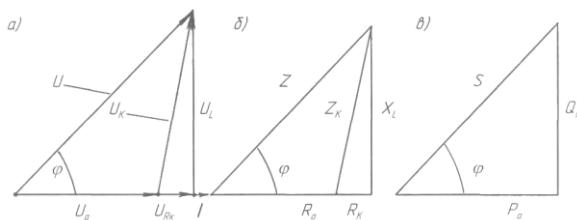


Рисунок 2 - векторные диаграммы где а) векторная диаграмма напряжений; б) треугольник сопротивлений; в) треугольник мощностей.

Вывод

Научится рассчитывать электрические цепи переменного тока с активным и индуктивным сопротивлениями, и определять сдвиг фаз в такой цепи.

Лабораторная работа №15. Определение коэффициента мощности методом ампер-вольтметра и ваттметра.

Цель работы – ознакомление с методами и средствами измерения мощности электрического тока, получение навыков работы с измерительными приборами и обработки результатов измерений.

Общие сведения.

Виды электрической мощности. Различают мгновенную, среднюю и импульсную мощности электрических тока. Мгновенная мощность определяется выражением

$$p = ui, \quad (1)$$

где u и i – мгновенные значения напряжения и тока в цепи.

Средняя мощность P равна среднему значению мгновенной мощности за время, равное периоду колебания,

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt \quad (2)$$

где T – период напряжения или тока.

Импульсную мощность определяют как среднюю мощность за время действия импульса напряжения или тока

$$P_n = \frac{1}{t_n} \int_0^{t_n} p dt \quad (3)$$

где t_n – длительность импульса напряжения или тока.

В цепях постоянного тока мощность рассчитывается по формулам

$$P = UI = I^2 R = U^2 R^{-1} \quad (4)$$

где U и I – значение постоянного напряжения и тока, R – сопротивление цепи.

В цепях синусоидального тока различают средние активную, реактивную и полную мощности, которые рассчитывают по формулам

$$P = UI \cos \varphi = I^2 R, \quad (5)$$

$$Q = UI \sin \varphi = I^2 X, \quad (6)$$

$$S = UI = I^2 Z = \sqrt{P^2 + Q^2}. \quad (7)$$

где U и I – действующие значения напряжения и тока в цепи, R , X и Z – активное, реактивное и полное сопротивление цепи, соответственно: φ – сдвиг фаз.

В цепях несинусоидального тока активную и реактивную мощности рассчитывают по формуле

$$P = \sum_{k=1}^n P_k, \quad (8)$$

$$Q = \sum_{k=1}^n Q_k, \quad (9)$$

где P_k и Q_k – мощности отдельных гармоник.

Между импульсной и средней мощностями имеется взаимосвязь, определяемая выражением

$$P_n = \xi P, \quad (10)$$

где $\xi = T/t_n$ – скважность импульсного тока.

Наибольшая мощность отдается генератором только при условии согласования его с нагрузкой, т.е. если сопротивление нагрузки Z_n является комплексно сопряженной величиной внутреннему сопротивлению генератора Z_r :

$$Z_n = Z_r^* \text{ или } R_n + jX_n = R_r - jX_r. \quad (11)$$

При этом в нагрузке рассеивается так называемая располагаемая мощность генератора

$$P_o = U_r^2 / 4R_r, \quad (12)$$

где U_r – напряжение на выходе генератора.

Поступление мощности в нагрузку сопровождается выделением в ней теплоты Q_r . При этом температура нагрузки повышается на величину θ за время ΔT , поэтому

$$P = Q_r / \Delta T = C \theta / \Delta T \quad (13)$$

где C – теплоемкость рабочего тела нагрузки.

В соответствии с формулой (13) измерение мощности можно производить посредством определения приращения температуры рабочего тела нагрузки за выбранное время ΔT .

Поскольку количество теплоты, выделяемое в нагрузке, не зависит от формы тока и напряжения калибровку тепловых ваттметров можно выполнять на постоянном токе, пользуясь формулой

$$\theta = I^2 R \Delta T / C, \quad (14)$$

где I – постоянный ток в нагрузке.

Методы и средства измерения мощности. Метода измерения мощности делятся на электрические, тепловые и механические. Электрические методы могут быть прямыми и косвенными. Тепловые и механические методы являются косвенными.

Косвенный электрический метод измерения мощности основан на использовании амперметра и вольтметра. Две возможные схемы измерения мощности при помощи амперметра и вольтметра приведены на рис. 1.а и б.

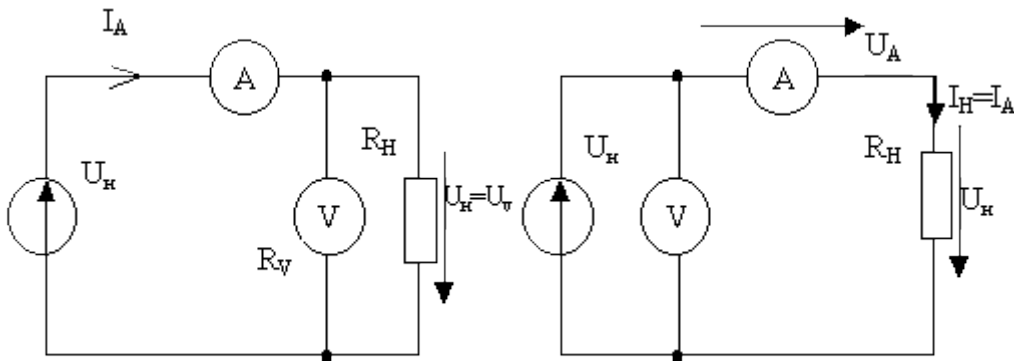


Рис.1.

Для схемы, изображенной на рис. 1,а. расчетное значение мощности

$$P_p = P_H + P_V = U_H I_H + U_A I_V \quad (15)$$

отличается от мощности, потребляемой нагрузкой, на величину мощности $P_V = U_A I_V$, потребляемой вольтметром.

Для схемы, изображенной на рис. 1,б, расчетное значение мощности, потребляемой нагрузкой,

$$P_p = P_H + P_A = U_H I_H + U_A I_H \quad (16)$$

отличается от мощности потребляемой нагрузкой, на величину мощности $P_A = U_A I_H$, потребляемой амперметром.

При измерении мощности в цепях переменного тока формулы (15) и (16) можно использовать только при резистивной нагрузке, т.е. при $\cos \varphi = 1$. При реактивной нагрузке в результате расчета получают полную мощность. Для исключения погрешностей, вызванных: подключением измерительных приборов, в результаты расчетов по формулам (15) и (16) вводят поправки

$$\sim P_V = \frac{U_H^2}{R_V} \quad (17)$$

для схемы рис. 1,а или

$$\sim P_A = I_H^2 R_A \quad (18)$$

для схемы рис. 1.б, где R_V - сопротивление вольтметра, а R_A - сопротивление амперметра.

Прямой электрический метод измерения мощности основан на использовании электродинамических, ферродинамических или электронных ваттметров. Схемы включения электродинамических и ферродинамических ваттметров приведены на рис. 2. Схема, изображенная на рис. 2,а. аналогична включению амперметра и вольтметра по схеме рис. 1,а. Схема, изображенная на рис. 2,б. аналогична включению амперметра и вольтметра по схеме рис. 1,б. Уравнение шкалы ваттметра без учета погрешностей, вносимых обмотками, имеет вид

$$\alpha = kP = kU_H I_H \cos \varphi, \quad (19)$$

где α - показание прибора, k.- коэффициент пропорциональности.

В связи с тем, что катушки ваттметра имеют сопротивление и индуктивность, в показаниях прибора появляется дополнительная погрешность.

При учете сопротивления R_V и индуктивности L_V катушки напряжения ваттметра появляется дополнительная угловая погрешность

$$\delta_V = \text{tg} \varphi \cdot \sin \gamma \quad (20)$$

где $\gamma = \arctg(\omega L_V / R_V)$ - дополнительный фазовый сдвиг, вносимый обмоткой ваттметра.

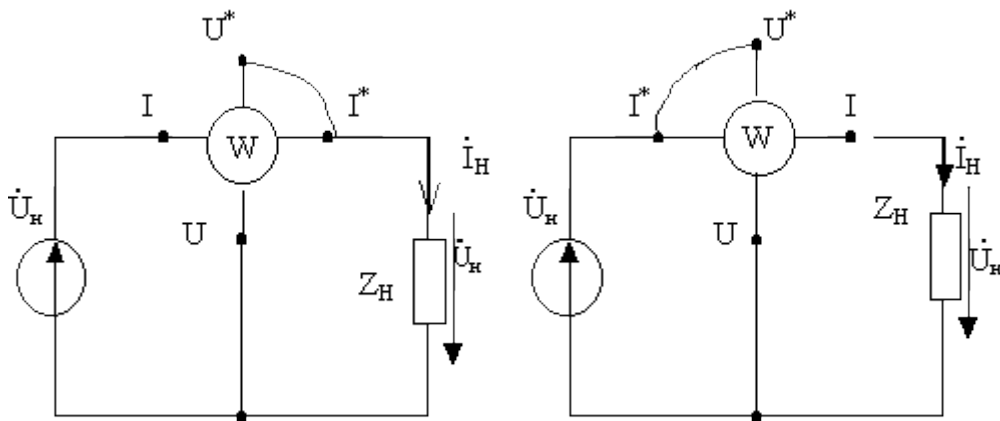


Рис.2

Электронные ваттметры содержат перемножитель, выполняющий операцию перемножения напряжения и тока, и электронный вольтметр среднего или амплитудного значения напряжения. Структурная схема электронного ваттметра средней мощности приведена на рис.3.

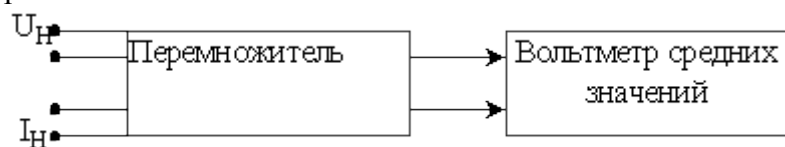


Рис.3

В качестве перемножителей используют различные электронные или полупроводниковые приборы – электронные лампы, диоды, транзисторы, интегральные микросхемы. Широкое распространение получили ваттметры с перемножителями на преобразователях Холла. Устройства преобразователя Холла приведено на рис.4. Преобразователь Холла ПХ состоит из полупроводниковой пластины, на которую нанесены две пары электродов. Электроды 1-2 включают в цепь тока управления, пропорционального напряжению на нагрузке, а электроды 3-4 подключают к вольтметру. Ток нагрузки проходит по катушке, создающей магнитный поток Φ , перпендикулярный плоскости полупроводниковой пластины. Напряжение на выходе преобразователя Холла пропорционально мощности в нагрузке

$$E_x = S_x U_H I_H, \quad (21)$$

где S_x – чувствительность преобразователя Холла.

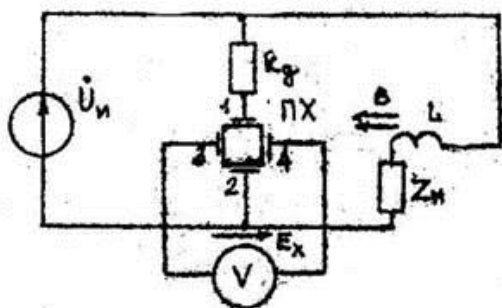


Рис.4.

К косвенным относят также осциллографические методы измерения мощности. Электронным осциллографом можно измерять активную, реактивную и импульсную мощности. Измерение импульсной мощности выполняют при помощи двухлучевого или двухканального электронного осциллографа. Для этого регистрируют кривые напряжения $u_H(t)$ и тока $i_H(t)$ в нагрузке, а затем графическим перемножением получают мгновенную мощность в нагрузке $P_H(t) = u_H(t)i_H(t)$. После этого по кривой мгновенной мощности вычисляют импульсную мощность, используя численное интегрирование. Например, пользуясь формулой Симпсона, импульсную мощность определяют по уравнению

$$P_x = \frac{1}{t_n} \int_0^{t_n} P_H(t) dt \approx \frac{1}{3n} (P_0 + 4P_1 + 2P_2 + 4P_3 + 2P_4 + \dots + 2P_{n-2} + 4P_{n-1} + P_n), \quad (22)$$

где P_k – значение мгновенной мощности в точках отсчета.

Для измерения реактивной мощности на вход канала вертикального отклонения электронного осциллографа подают напряжение на нагрузки, а на вход канала горизонтального отклонения – напряжение, пропорциональное току нагрузки. В результате взаимодействия этих напряжений на экране осциллографа получаем изображение фигуры Лиссажу, которая при гармонических напряжениях, сдвинутых по фазе, представляют собой эллипс, изображённый на рис.5,а.

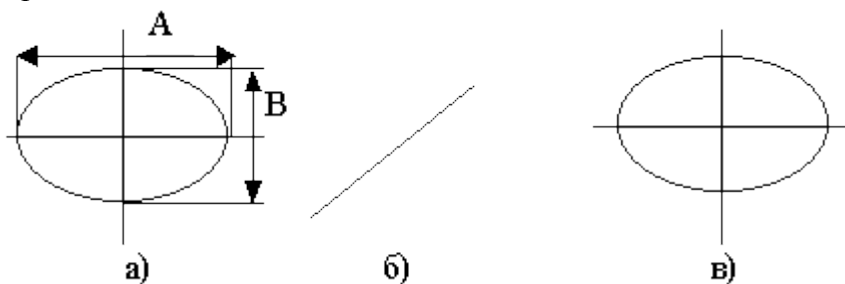


Рис.5.

Площадь фигуры Лиссажу пропорциональна реактивной мощности нагрузки

$$Q_H = \frac{ABk_x k_y}{2}, \quad (23)$$

где A и B – длины большой и малой осей эллипса, k_x и k_y – коэффициенты отклонения по напряжению и току.

Если реактивная мощность в нагрузке равна нулю, то эллипс вырождается в прямую линию ($B=0$) – рис.5.б. Если нагрузка потребляет только реактивную мощность, то оси эллипса A и B занимают горизонтальное и вертикальное положение (рис.5.в.)

Особенно важное значение имеет измерение мощности на высокой частоте. Если на постоянном токе или переменном токе низкой частоты возможно измерение напряжения и тока и расчёт мощности по формуле (1)÷(10), то в диапазоне СВЧ измерений этих величин затруднено, так как размеры входных цепей измерительных приборов соизмеримы с длиной волны. Любое отличие сопротивлений источника и нагрузки от характеристического сопротивления передающего тракта приводит к неоднозначности отсчёта напряжения. В волноводах измерение напряжения вообще невозможно. Поэтому на высокой и сверхвысокой частотах измерение мощности производят только по эквивалентному тепловому эффекту. Наиболее распространенное получение приборы, базирующиеся на тепловых методах измерения мощности. К их числу относят calorиметрических ваттметрах измеряют приращение температуры рабочего тела, а измеряемую мощность рассчитывают по формуле

$$P = k\theta \quad (24)$$

где k – коэффициент пропорциональности, определяемый экспериментально, θ – разность между температурной рабочего тела calorиметра и окружающей средой.

В болометрических ваттметрах используют явление изменения сопротивления термочувствительного элемента при рассеянии в нем электромагнитной энергии, а в термоэлектрических ваттметрах измеряют термоэдс термопары, рассчитывают по формуле

$$P = \frac{U_{\text{терэдс}}}{k_{\text{пр}}}, \quad (25)$$

где $U_{\text{терэдс}}$ – термоэдс, $k_{\text{пр}}$ – коэффициент преобразования термопары.

Основные характеристики и приборы для измерения мощности. К основным характеристикам приборов для измерения мощности относят: диапазон измеряемых мощностей, диапазон рабочих частот, основную погрешность, входные сопротивления.

Диапазон измеряемых мощностей представляет собой области значений мощностей (или напряжений и токов), измеряемых приборами с нормированной погрешностью. Для многопредельных ваттметрах погрешность зависит от поддиапазона измерений.

На каждом поддиапазоне может быть установлена чувствительность ваттметра или цена деления его шкалы. Для установления чувствительности определяют отношение приращения показаний $\Delta \alpha$ прибора к изменению измеряемой мощности ΔP :

$$S_p = \frac{\Delta \alpha}{\Delta P} \quad (26)$$

Величину, обратную чувствительности, называют ценой деления ваттметра

$$C_p = S_p^{-1} \quad (27)$$

Для определения цены деления ваттметра, имеющего отдельные пределы измерения по току и напряжению, необходимо пользоваться формулой

$$C_p = \frac{U_{II} I_{II}}{\alpha_{II}} \quad (28)$$

где α_{II} – число делений шкалы, I_{II} и U_{II} – пределы измерения по току и напряжению.

Абсолютное значение основной погрешности Δ_p определяют как разность между показаниями ваттметра P_B (или результатом расчёта при косвенном измерении мощности) и действительным значением мощности P_g , рассеиваемой в нагрузке.

$$\Delta_p = P_B - P_g \quad (29)$$

Относительная погрешность δ_p ваттметра определяют как отношение абсолютной погрешности Δ_p к действительному значению мощности P_g

$$\delta_p = \frac{\Delta_p}{P_g} \quad (30)$$

Приведённая погрешность γ_p ваттметра определяют как отношение абсолютной погрешности Δ_p к нормирующему значению мощности $P_{ном}$

$$\gamma_p = \frac{\Delta_p}{P_{ном}} \quad (31)$$

В качестве нормирующей мощности принимают предельное значение измеряемой мощности на выбранном поддиапазоне или произведение предельных значений тока и напряжения на выбранных поддиапазонах при косвенном измерении мощности.

Диапазон рабочих частот ваттметра характеризуется полосой частот входных сигналов, в которой возможно измерение с нормированной погрешностью. Дополнительная частотная погрешность не должна превышать основной погрешности.

Программа работы

1. Измерение мощности постоянного тока косвенным методом при помощи вольтметра и амперметра.
2. Измерение мощности постоянного тока прямым методом при помощи электродинамического ваттметра.
3. Определение класса точности электродинамического ваттметра.
4. Измерение мощности переменного тока при помощи электродинамического ваттметра.
5. Измерение мощности импульсной мощности при помощи электронного осциллографа.
6. Измерение реактивной и полной мощностей в цепи переменного тока.

Порядок выполнения работы.

1. Измерение мощности постоянного тока косвенным методом при помощи вольтметра и амперметра выполняют по схеме, приведенной на рис. 6. Питание схемы производят от блока питания БП типа В5-9, а в качестве нагрузки используют магазин сопротивлений R_H типа МСР. Измерение мощности выполняют при помощи вольтметра V_1 и амперметра A типа Э59. Напряжение на амперметре измеряют вольтметром V_2 типа В7-16А.

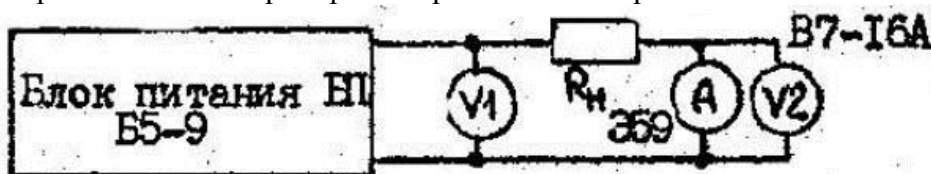


Рис.6

При измерении мощности напряжение источника БП устанавливают равным 20 В и контролируют по вольтметру V_1 . После этого изменяют сопротивление нагрузки и регистрируют показания приборов. Результаты измерений заносят в ф. 1.

Расчет мощности выполняют по формулам: измеренное значение мощности определяют по показаниям приборов V_1 и A , $P_{и} = U_{v1} I_A$ мощность, потребляемую амперметром, рассчитывают по формуле $P_A = U_{v2} I_A$, мощность, рассеиваемую в нагрузке, определяют с учетом поправки - P_A по формуле $P_H = P_{и} - P_A$.

Относительная погрешность измерения мощности определяют по формуле

$$\delta_p = \sqrt{\delta_{v1}^2 + \delta_A^2} = \sqrt{\left(\frac{I_{ном} k_A}{I_A}\right)^2 + \left(\frac{U_{ном} k_{v1}}{U_{v1}}\right)^2}$$

где $I_{ном}$ и $U_{ном}$ – пределы измерения амперметра A и вольтметра V_1 , соответственно, k_A и k_{v1} – классы точности амперметра и вольтметра.

2. Измерение мощности постоянного тока с помощью электродинамического ваттметра типа Д535 выполняют по схеме, изображенной на рис.7. Питание схемы производят от блока питания БП типа Б5-9. Напряжение на нагрузке измеряют вольтметром V типа В7-16А. В качестве нагрузки используют магазин сопротивлений типа МСР.

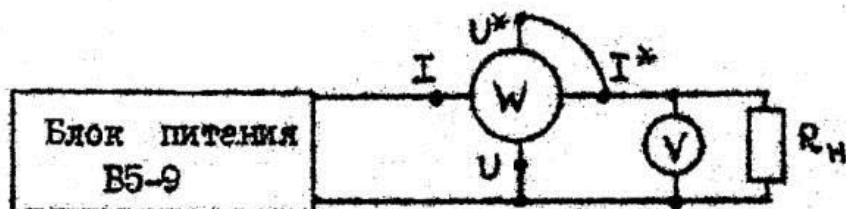


Рис.7.

При измерении мощности устанавливают на нагрузке напряжение $U_H = 40$ В, которое измеряют вольтметром V . После этого измерения сопротивление нагрузки R_H и регистрирует показания ваттметра W . Результат измерения заносят в ф.2.

Для определения поправки - ΔP измеряют мощность, потребляемую обмоткой напряжения ваттметра W . Для этого в схеме, изображенной на рис.7. отключают нагрузку и регистрируют показания ваттметра W при отключенной нагрузке.

Примечание. При измерении ΔP допускается нагрузку не отключать, а устанавливать ее сопротивление $R_H = 100$ кОм.

Мощность P_H , потребляемую нагрузкой, вычисляют по формуле $P_H = P_w - \Delta P$.

Относительную погрешность измерения мощности рассчитывают по формуле

$$\delta_p = (U_{ном} I_{ном} k_w / P_w) 100\%$$

где $U_{ном}$ и $I_{ном}$ установленные пределы измерения ваттметра по напряжению и току; k_w - класс точности ваттметра, P_w - показания ваттметра.

3. Определение класса, точности ваттметра Д535 на постоянном токе выполняют по схеме, изображенной на рис. 8. Для этого ваттметр W подключают к сопротивлению R_M при раздельном питании цепей тока и напряжения. Напряжение на обмотке $U - U^*$ ваттметра устанавливают при помощи источника питания БП1 типа Б5-9 и измеряют вольтметром V типа В7-16А. Ток в обмотке $I - I^*$ ваттметра устанавливают при помощи источника питания БП2 типа ТЕС-15 и измеряют при помощи амперметра A типа В7-21.

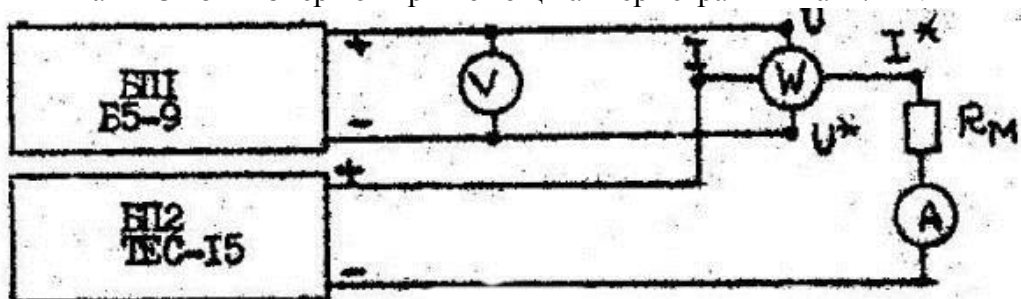


Рис.8

Перед началом измерений необходимо включить образцовые приборы В7-16А и В7-21 и выдержать их включенными 10...15 мин. После этого на магазине сопротивлений установить значение $R_M = 75$ Ом, а на измерительных приборах установить пределы измерений: для ваттметра Д539 - 100 мА и 75 В, для амперметра В7-21 - 1А, для вольтметра В7-16А - 100 В.

Выходное напряжение источника БП1 установить равным номинальному значению напряжения ваттметра $U_{ном} = 75$ В и поддерживать постоянным по показаниям вольтметра В7-16А. Ток в обмотке ваттметра устанавливать при помощи источника БП2 и измерять амперметром В7-21. Измерения выполнить при различных показаниях поверяемого ваттметра. Показания образцовых приборов и поверяемого ваттметра занести в ф. 3. Действительное значение мощности определяют по формуле $P_g = U_{обр} I_{обр}$. Относительная погрешность ваттметра рассчитывают по формуле $\delta = (P_w - P_g) / P_g * 100\%$. Приведенную погрешность ваттметра определяют по формуле.

$$\gamma = \left[\frac{(P_w - P_g)}{U_{ном} I_{ном}} \right] * 100\%$$

Класс точности поверяемого ваттметра устанавливают по наибольшему абсолютному значению приведенной погрешности $\gamma_{макс}$ и выбирают из ряда (1; 2; 2,5; 5) 10^n

4. При измерении мощности переменного тока определяют частотную и фазовую погрешности ваттметра Д535. Для определения частотной погрешности собирают схему изображенную на рис.9

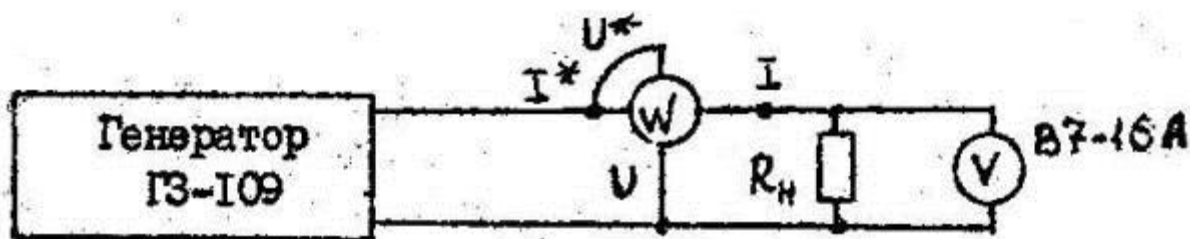


Рис. 9

В качестве источника сигнала используют генератор типа ГЗ-109, а в качестве нагрузки - магазин сопротивлений типа МСР ($R_n = 500$ Ом). Ваттметр W типа Д535 устанавливают на предел измерения по току 50 мА и по напряжению - 75 В. Изменяя выходное напряжение генератора, устанавливают напряжение на нагрузке, равное 30 В. Частоту генератора изменяют в пределах от 20 Гц до 10 кГц, поддерживая постоянным напряжение на нагрузке, и регистрируют показания ваттметра. Результаты измерений заносят в ф. 4

Частотную погрешность ваттметра рассчитывают по формуле $\delta_f = \left[\frac{(P_w - P_{f_0})}{P_{f_0}} \right] * 100\%$, где P_w - показания ваттметра, P_{f_0} - показания ваттметра на частоте $f_0 = 100$ Гц.

Для определения фазовой погрешности собирают схему, изображенную на рис.10. В качестве нагрузки используют параллельное соединение магазинов сопротивления и емкости. Частоту генератора устанавливают равной 100 Гц и в дальнейшем поддерживает постоянной.

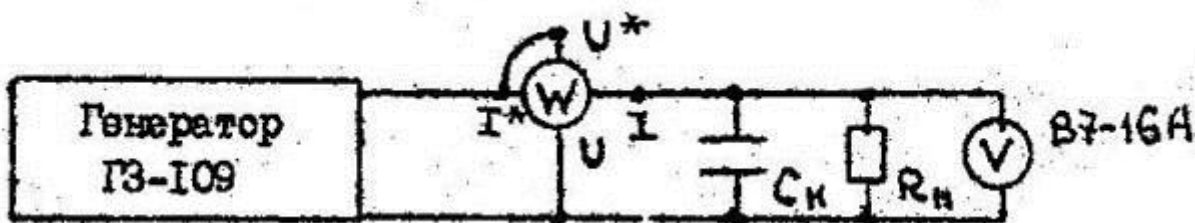


Рис.10.

На ваттметре устанавливают пределы измерения: 100 мА. по току и 75 В по напряжению. Напряжение на нагрузке устанавливают равным 40 В и в дальнейшей поддерживают постоянным, контролируя его по вольтметру V. Сопротивление нагрузки устанавливают равным $R_n = 400$ Ом так, чтобы активная составляющая тока нагрузки была равна номинальному току $I_{ном} = 100$ мА. Изменяя емкость нагрузки, изменяют реактивную составляющую тока нагрузки и регистрируют показания ваттметра W. Результаты измерений заносят в ф. 5.

Угол сдвига фаз между напряжением и током нагрузки рассчитывают по

формуле $\varphi_n = \arctg 2\pi f R_n C_n$, где R_n и C_n - сопротивление и емкость нагрузки.

Фазовую погрешность определяют по формуле $\delta_\varphi = \left[\frac{(P_w - P_{w_0})}{P_{w_0}} \right] * 100\%$, где P_{w_0} - показание ваттметра при $\varphi_n = 0$.

5. Измерение импульсной мощности с помощью осциллографа выполняют по схеме, изображенной на рис.11. Импульсные

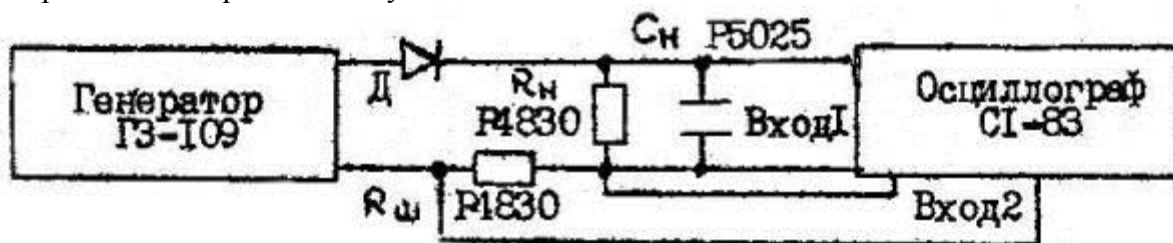


Рис.11

сигналы создаются при помощи выпрямления синусоидального напряжения генератора ГЗ-109 посредством диода Д. В качестве нагрузки используют параллельное соединение магазинов сопротивления R_n типа P4830 и емкости C_n типа P5025. Для регистрации формы тока в нагрузке последовательно с ней включен датчик тока $R_{ш}$, напряжение на котором пропорционально току нагрузки. Напряжение с датчика тока и напряжение нагрузки подводят к двухканальному электронному осциллографу типа С1-83.

Для наблюдения двух кривых - напряжения и тока в нагрузке осциллограф устанавливают в режим, при котором на экране поочередно получают изображения подводимых сигналов.

Кривые тока и напряжения с экрана осциллографа регистрируют на кальку с учетом масштабов по координатным осям.

На выходе генератора ГЗ-109 устанавливают напряжение 10 В и частоту 400 Гц.

Сопротивление нагрузки устанавливают равным $R_n=500$ Ом, а емкость нагрузки $C_n=0,5$ мкФ.

Для построения кривой мгновенной мощности в нагрузке кривые напряжения и тока графически перемножают, как показано на рис. 12.

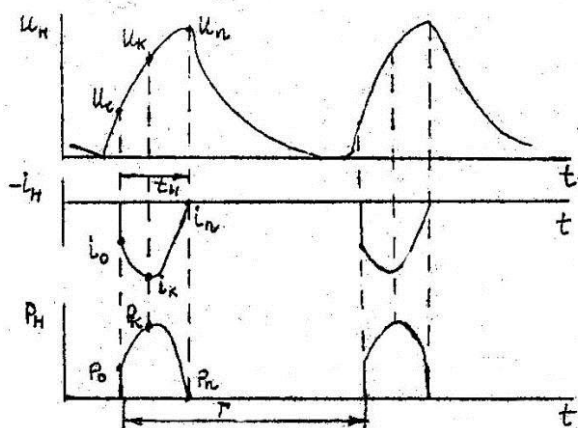


Рис.12

Кривую напряжения разбивают на восемь равных интервалов по времени и ординаты кривой напряжения перемножают на соответствующие ординаты кривой тока. По результатам измерений и вычислений заполняют ф.6. Расчет мгновенной мощности выполняют по формуле $p_k = u_k i_k$, где u_k и i_k - мгновенные значения напряжения и тока.

Импульсную мощность выделяют путем графического интегрирования по формуле Симпсона (для $n=8$)

$$P_u = \frac{1}{3n} [P_0 + 4(P_1 + P_3 + P_5 + P_7) + 2(P_2 + P_4 + P_6) + P_8]$$

Среднюю мощность определяют путем деления импульсной мощности на скважность $P = R_n / \xi$, где $\xi = T/t_n$.

б. Измерение реактивной и полной мощностей нагрузки выполняют по схеме, изображенной на рис.13. Нагрузку, состоящую из параллельно соединенных магазинов сопротивления R_n и емкости C_n , подключают к генератору типа ГЗ-109. Для измерения полной мощности используют амперметр А типа Э59 и вольтметр V типа Э59. Измерение активной мощности производят при помощи электродинамического ваттметра W типа Д539. Для измерения реактивной мощности используют электронный осциллограф типа С1-83.

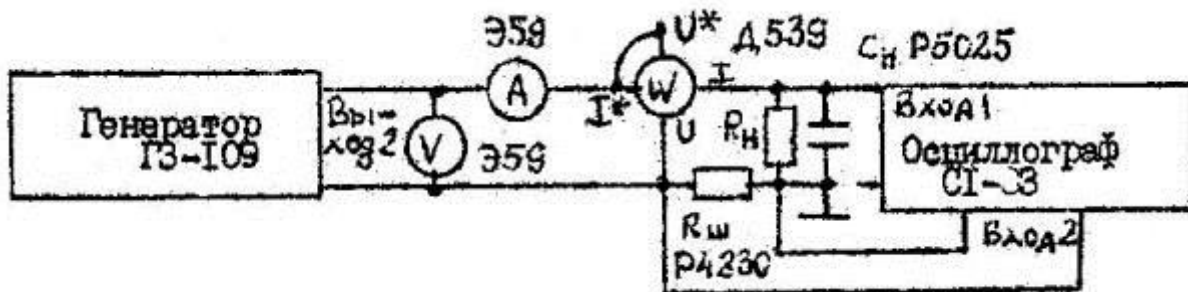


Рис.13.

Для измерения реактивной мощности на вход канала У осциллографа подводится напряжение нагрузки, а на вход канала Х - напряжение, пропорциональное току нагрузки. В результате на экране осциллографа получают изображение фигуры Лиссажу, площадь которой пропорциональна (с учетом масштабных коэффициентов) реактивной мощности нагрузки. Последовательность выполнения измерений:

установить пределы измерения вольтметра - 75 В, амперметра - 100 мА, ваттметра - 75 В и 100 мА;

переключатель режима работы осциллографа установить в положение 11, "X-Y", а

переключатель синхронизации - в положение "X-Y";

переключателями В/дел каналов 1 и 2 установить коэффициенты отклонения $k_{01} = k_x = 20$ В/дел, $k_{02} = k_y = 0.5$ В/дел;

установить значение сопротивления датчика тока $R_{ш} = 100 \text{ Ом}$;

установить частоту вводного напряжения генератора $f = 100$ Гц и напряжение $U = 40$ В;

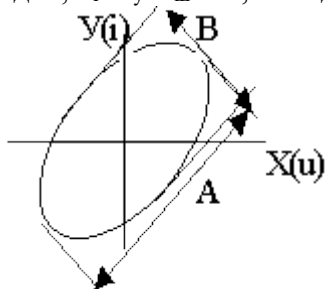
при значениях сопротивления и емкости нагрузки, указанных в ф. 7, измерить напряжение, ток и мощность и показания приборов занести в ф. 7.

изображение фигуры Лиссажу перенести на кальку с экрана осциллографа.

Полную мощность рассчитывают по формуле $S^Y = UI$. Где U и I – показание вольтметра и амперметра.

Реактивную мощность определяют по формуле Лиссажу, пользуясь формулой $Q =$

$0.037ABk_u k_i$, где A и B длины осей эллипса в см, определяют по осциллограмме рис.14; $k_u = 20$ В/дел; $k_i = k_y / R_{ш} = 0,05$ А/дел.



Используя значение активной P и реактивной Q мощностей, рассчитывают полную мощность

$$S_n = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Погрешность измерения полной мощности рассчитывают по формуле

$$\delta_s = \frac{S_g - S_n}{S_g} \cdot 100\%$$

Примечание. Вместо отключения нагрузки при выполнении п.3. можно установить сопротивление $R_n = 100 \text{ кОм}$.

Содержание отчета.

1. Краткие сведения о приборах, используемых в работе.
2. Таблицы по ф.1...7.
3. Графики экспериментальных зависимостей.
4. Временные диаграммы и графический расчёт импульсной мощности.
5. Осциллограммы фигур Лиссажу для расчёта реактивной мощности.
6. Схемы измерений по п.1...6.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы.

1. Виды мощности, используемые при исследовании электрических систем.
2. Как рассчитывают мощность в цепи постоянного тока?
3. Как рассчитывают мощность в цепи переменного тока?
4. Как определяют импульсную и среднюю мощности?
5. Какие методы измерения мощности используют на низкой частоте?
6. Какие методы измерения мощности используют на высокой частоте?
7. Объясните погрешности, свойственные косвенным методам измерения мощности.
8. Какие погрешности возникают при измерении мощности на переменном токе?
9. Способы измерения реактивной мощности.
10. Каким образом можно измерять реактивную мощность?
11. Устройство электродинамического ваттметра.
12. Как устроен преобразователь Холла?
13. Как определяют класс точности ваттметра?
14. Для чего выполняют согласование генератора с нагрузкой?
15. Чем вызвано появление фазовой погрешности при измерении мощности на переменном токе?

Лабораторная работа №16. Резонанс напряжений.

Приборы и принадлежности. Реостат, катушка с выдвигаемым железным сердечником, магазин емкостей, амперметр, вольтметр.

Резонанс напряжений. Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из соединенных *последовательно* активного сопротивления R , емкости C , индуктивности L и источника переменного тока (рис. 1). В цепи, содержащей индуктивность и емкость, могут, при определенных условиях, возникнуть электрические колебания, за что она называется *колебательным контуром*. Собственная частота колебаний определяется параметрами колебательного контура и равна

$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC}. \quad (1)$$

Лабораторная установка позволяет изменять по желанию экспериментатора параметры L и C в некоторых пределах и, следовательно, изменять собственную частоту колебаний в контуре.

Пусть рассматриваемая цепь соединена *последовательно* с источником переменного тока, напряжение на выходе которого меняется со временем с частотой ω по гармоническому закону следующим образом:

$$u(t) = U_m \cos \omega t. \quad (2)$$

Под действием этого напряжения в цепи протекает переменный ток той же частоты. Фаза тока может не совпадать с фазой напряжения, пусть разность фаз напряжения и тока составляет φ радиан.

$$i(t) = I_m \cos(\omega t - \varphi), \quad (3)$$

где $u(t)$, $i(t)$ – мгновенные значения напряжения и тока,

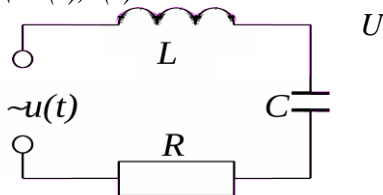


Рис.1

u , I_m – амплитуды напряжения и тока, которые в $\sqrt{2}$ раз больше эффективных значений, показываемых измерительными приборами.

Согласно закону Ома для переменного тока амплитуды тока и напряжения связаны следующим образом:

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}} \quad (4)$$

Разность фаз напряжения и тока определяется из соотношения

$$\tan \varphi = \frac{\omega L - 1/\omega C}{R} \quad (5)$$

Величина $\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} = Z$ называется полным сопротивлением цепи, которое складывается из активного R , индуктивного ωL и емкостного $1/\omega C$ сопротивлений. Рассмотрим случай, когда источник переменного тока работает на *одной* постоянной частоте ω . Путем *изменения* индуктивности (или емкости) цепи можно добиться того, чтобы индуктивное сопротивление стало равно по величине емкостному $\omega L = 1/\omega C$. Это произойдет, когда произведение LC будет равно $1/\omega^2$, т.е. когда собственная частота (1) контура ω_0 точно совпадет с частотой колебаний источника. В этом случае частота называется *резонансной*

$$\omega_{рез} = 1/\sqrt{LC} \quad (6)$$

Факт совпадения частот приводит к следующим результатам.

1. Полное сопротивление цепи Z становится наименьшим из всех возможных значений при данных R, L, C .
2. Ток, протекающий в цепи и потребляемый от источника, согласно формуле (4) становится наибольшим при данном входном напряжении U .
3. Падения напряжения на емкости и индуктивности оказываются одинаковыми по величине $U_C = U_L$ и противоположными по фазе.
4. Падение напряжения на активном сопротивлении становится равным напряжению, приложенному к цепи извне $U_R = U$.
5. Благодаря тому что ток достигает наибольшего значения, напряжение на конденсаторе и напряжение на катушке достигает значительных величин, превышающих подобные напряжения при прочих условиях. Это явление повышения напряжения на реактивных элементах в последовательной электрической RCL -цепи носит название *резонанса напряжений*.

напряжений.

П

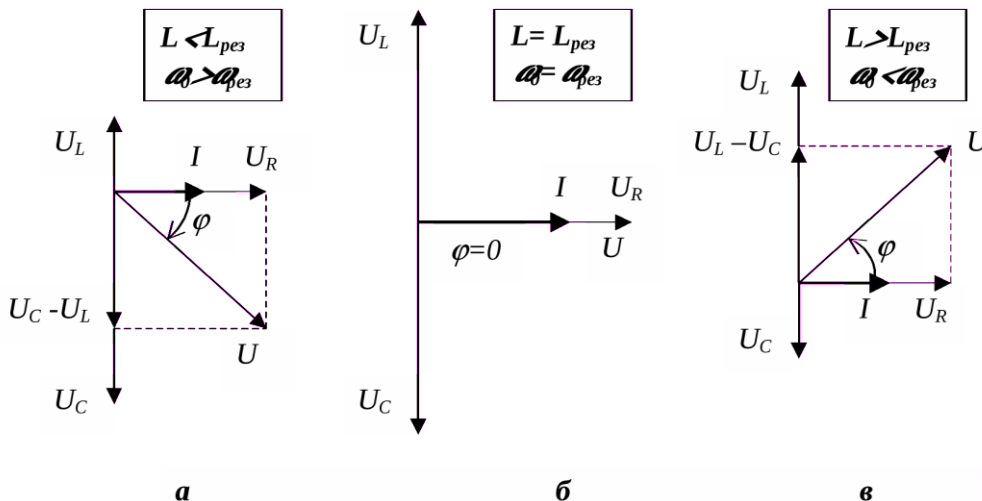


Рис.2

роиллюстрируем описываемые явления с помощью векторных диаграмм, представленных на рис.2 (о диаграммах см. лабораторную работу № 324).

Будем считать, что в ходе опытов емкость остается неизменной, а индуктивность можно плавно изменять так, чтобы собственная частота контура могла быть как меньше, так и больше частоты источника, а также *равна* ей. Последнее условие соответствует резонансу и частота называется резонансной.

Если индуктивность цепи *меньше* того значения, при котором наступает резонанс, сопротивление цепи носит ёмкостной характер ($1/\omega C > \omega L$) и полное напряжение согласно формуле (5) отстает от тока $-\varphi < 0$ (рис.2,а).

Если индуктивность *превышает* соответствующее резонансу значение, нагрузка приобретает индуктивный характер, т.е. $\omega L > 1/\omega C$, входное напряжение опережает ток в цепи. Из формулы (5) следует, что тангенс угла сдвига фаз положителен. Векторная диаграмма для данной ситуации представлена на рис. 2,в.

На рис. 2,б изображена диаграмма для резонансных условий, на которой отражены характерные черты, указанные выше (п.1-5 на стр. 126).

Резонанс токов. Рассмотрим разветвленную цепь, содержащую индуктивность и емкость, включенные *параллельно* с источником переменного тока (рис.3). Напряжение на входе цепи изменяется по тому же закону (2)

$$u(t) = U_m \cos \omega t$$

Оно является общим и для индуктивности, и для емкости.

Каков ток в конденсаторе, в катушке и во всей цепи?

Чтобы ответить на эти вопросы, можно построить векторную диаграмму. Ее построение начинается с выбора *оси напряжений*, так как в данном случае *напряжение является общим* для обоих элементов цепи (рис.4).

Полная сила тока, потребляемая от источника, равна сумме токов в ветвях, но только эта *сумма векторная*, так как фазы складываемых токов различны: ток в конденсаторе опережает напряжение на нем на $\pi/2$, ток в катушке – отстает на такую же величину (рис.4). Так будет в том случае, если активным сопротивлением указанных элементов цепи можно пренебречь.

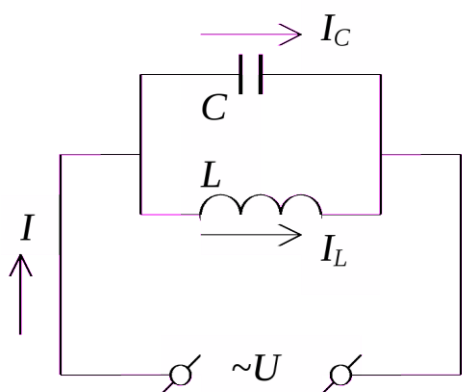


Рис.3



Рис.4

ила тока в каждой ветви определяется законом Ома:

$$I_L = \frac{U_m}{\omega L} \cos(\omega t - \pi/2) \quad I_C = \frac{U_m}{1/\omega C} \cos(\omega t + \pi/2) \quad (7)$$

Так как токи в ветвях изменяются в противофазе, то полный ток источника равен их разности и величина его определяется следующим выражением:

$$I_m = \left(\frac{1}{\omega L} - \frac{1}{\omega C} \right) U_m \quad (8)$$

Если индуктивное и емкостное сопротивления равны, скобка обращается в нуль и, следовательно, ток в подводящих к контуру проводах отсутствует. Это значит, что при таком условии ток от источника данной цепью не потребляется, сопротивление контура становится бесконечно большим. Но токи в ветвях при этом нулю не равны, они равны друг другу и могут достигать значительных величин. Они циркулируют в параллельных ветвях, осуществляя обмен энергией между катушкой с ее магнитным полем и конденсатором, в котором локализовано электрическое поле. Такое явление в параллельном контуре называется *резонансом токов*. Оно наступает тогда, когда путем изменения параметров собственную частоту контура сделали равной частоте источника внешнего напряжения. В *идеальном* параллельном контуре значение резонансной частоты такое же как в последовательном (6).

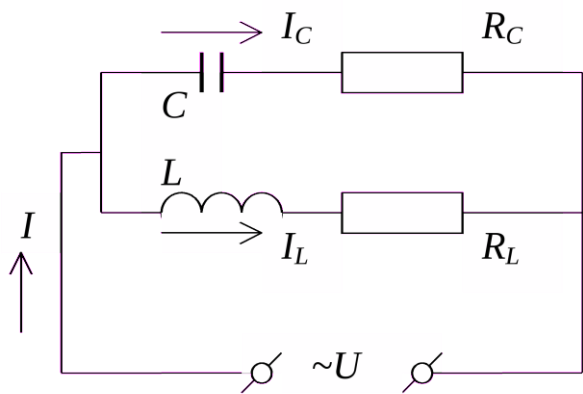


Рис.5

Полученные выводы сделаны для цепи, в которой отсутствует активное сопротивление. На самом деле катушка индуктивности обладает омическим сопротивлением – сопротивлением того провода, которым она намотана – R_L . Конденсатор на частоте 50 Гц также обладает небольшим активным сопротивлением R_C , связанным с его диэлектрическими потерями. С учетом сказанного эквивалентную схему данной цепи можно изобразить так (рис.5). В этом случае разность фаз между напряжением и током в каждой ветви не будет равна $\pi/2$. Но так как $R_L < \omega L$ и $R_C < 1/\omega C$, то она близка к $\pi/2$. Разности фаз определяются следующими

соотношениями:

$$\sin \varphi_L = \frac{\omega L}{\sqrt{(\omega L)^2 + R_L^2}}, \quad \sin \varphi_C = \frac{1/\omega C}{\sqrt{(1/\omega C)^2 + R_C^2}} \quad (10)$$

Теперь векторы не коллинеарны, как было в идеальном случае.

Модули этих векторов определим из эквивалентной схемы (рис.5).

$$I_L = \frac{U}{\sqrt{(\omega L)^2 + R_L^2}}; \quad I_C = \frac{U}{\sqrt{(1/\omega C)^2 + R_C^2}} \quad (11)$$

С учетом сказанного векторная диаграмма будет выглядеть примерно так, как изображено на рис. 6, т.е. сумма токов не равна нулю.

Путем изменения индуктивности катушки можно достичь совпадения по фазе результирующего тока в контуре и приложенного к нему напряжения. В этом случае ток, потребляемый от источника не становится равным нулю, но оказывается минимальным. Это характерно для резонанса токов в параллельном контуре (см. рис.7,а).
В

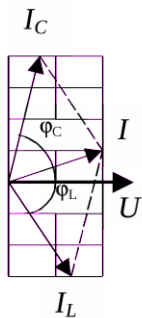


Рис.6

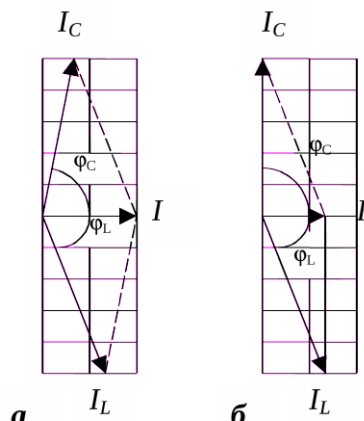


Рис.7

реальных условиях активное сопротивление конденсатора настолько мало по сравнению с сопротивлением емкостным, что им можно пренебречь и считать угол $\varphi_C \cong \pi/2$ (рис. 7,б). Тогда из прямоугольного треугольника на векторной диаграмме рисунка 7,б можно написать, что

$$I_C / I_L = \sin \varphi_L. \quad (12)$$

Из формул (10), (11) и (12) получается выражение для резонансной частоты параллельного контура следующего вида:

$$\omega_{рез} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R_L^2}{L^2}} \quad (13)$$

Таким образом, резонансная частота параллельного контура при учете его активного сопротивления получается несколько меньше по сравнению с резонансной частотой идеального контура (9) и тем меньше, чем больше R .

На векторной диаграмме (рис.7,б) видно, что результирующий ток, потребляемый от источника, становится при резонансе синфазным с входным напряжением – как при активной нагрузке, т.е. контур в момент резонанса ведет себя как чисто активная нагрузка.

Ток, потребляемый от источника при резонансе I , тем меньше, чем меньше активное сопротивление катушки R_L (см. рис. 7,б). В то же время ток в конденсаторе и ток в катушке значительно больше I .

Итак, при резонансе токов имеют место следующие явления:

1. Сопротивление контура наибольшее.
2. Потребляемый от источника ток наименьший.
3. Токи в ветвях могут значительно превышать ток, потребляемый от источника.

Наблюдениям и изучению резонансных явлений в последовательном и параллельном контурах посвящена данная работа. Все измерения проводятся на переменном токе промышленной частоты.

Упражнение 1

4.1 Резонанс напряжений

Описание установки. Все приборы и принадлежности, необходимые для выполнения работы, смонтированы на лабораторной панели.

Магазин емкостей состоит из двух конденсаторов: $C_1=10$ и $C_2=15$ мкФ.

Катушка индуктивности L содержит 2800 медного витков провода. Железный сердечник можно вдвигать-выдвигать с помощью ходового винта и рукоятки – таким образом изменяется индуктивность цепи. Положение сердечника отмечается по шкале, нуль которой соответствует полностью выдвинутому сердечнику (самая малая индуктивность).

Питание переменным током подведено к клеммам “~U” и производится от сети через понижающий трансформатор.

Измерения. 1. Перед сборкой электрической цепи приведите все приборы в исходное состояние:

- а) на реостате установите *наибольшее* сопротивление,
- б) сердечник полностью выдвиньте из катушки,

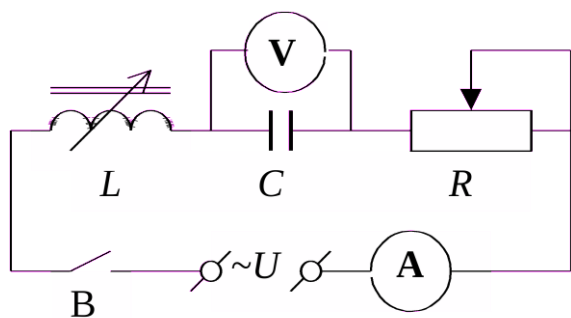


Рис.8

- в) переключатель пределов измерения амперметра установите на наибольший предел,
- г) на универсальном электронном вольтметре В7-35 левый переключатель установите в положение “~”, правый – в положение “V”.

2. Соберите электрическую цепь по схеме (рис.8), включив в нее сначала конденсатор $C_2=15$ мкФ.

3. Предложите преподавателю или лаборанту проверить собранную цепь.

4. Включите кабель питания панели и электронного вольтметра в сеть.

5. Вдвигая сердечник в катушку, снимите показания амперметра и вольтметра через каждый сантиметр перемещения сердечника. Единицы измерения напряжения высвечиваются на вольтметре индикаторной лампочкой. Результаты впишите в табл. 1.

Таблица 1

U				
l, см	$C_2=15$ мкФ	$C_2=15$ мкФ	$C_2=15$ мкФ	$C_1=10$ мкФ

	R		½R		R=0		R=0	
	I,мА	UC, В	I,мА	UC, В	I,мА	UC, В	I,мА	UC, В

6. Уменьшите сопротивление реостата вдвое и повторите измерения п.5.

7. Повторите такие же измерения при полностью выведенном сопротивлении реостата.

8. Выключите установку из сети. Замените конденсатор в цепи на $C_1=10$ мкФ и проведите с ним измерения п.5 с *нулевым* сопротивлением реостата.

9. Измерьте входное напряжение этим же вольтметром, подключив его к клеммам источника переменного тока “~U”.

Обработка результатов. 1. Постройте семейства кривых $I=f(l)$ и $U=f(l)$ при трех сопротивлениях реостата и обеих емкостях.

2. Вычислите индуктивность катушки при резонансе $L_{рез}$ для обеих емкостей из условия

$$\frac{1}{\omega C} = \omega L_{рез}$$

где $\omega=2\pi\nu$, $\nu=50$ Гц – частота промышленного переменного тока.

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте схему последовательного и параллельного колебательного контура. За что эти цепи получили название колебательного контура?

2. Сформулируйте и напишите закон Ома для переменного тока.

3. Как определяется сдвиг фаз между током и напряжением источника в последовательном контуре?

4. Что такое резонанс в электрической цепи? В чем это проявляется? Как можно обнаружить резонанс? Перечислите признаки возникновения резонанса напряжений и резонанса токов в соответствующих цепях.

5. Почему при резонансе падение напряжения на индуктивности и падение напряжения на емкости могут быть больше напряжения, которое дает источник?

6. Чему равна резонансная частота? Изменяется ли собственная частота контура в ходе выполнения работы? Чем это достигается?

7. Как зависит индуктивность катушки от свойств сердечника? Почему для успешного выполнения данной работы используется катушка, содержащая большое число витков и железный сердечник?

8. Получите формулу (12) в указанном приближении.

9. Сопоставьте полученные Вами результаты с теоретическими предпосылками и формулами (6), (12).

Лабораторная работа №17. Исследование электрической цепи при резонансе токов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: Изучить сущность процессов, при которых включение конденсаторов параллельно потребителю, обладающему индуктивностью, приводит к повышению коэффициента мощности электроустановки.

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

20. Источник питания - сеть переменного тока напряжением 220В.

21. Катушка индуктивности - 1 шт.

22. Амперметр электромагнитной системы с пределами измерения тока до 5 А - 3 шт.

23. Вольтметр электромагнитной системы с пределом измерения напряжения до 300 В - 1 шт.

24. Ваттметр электродинамической системы на ток 5 А и напряжение 150 В - 1 шт.

25. Фазометр электродинамической системы, классом точности 0,5 - 1 шт.

26. Конденсаторная батарея емкостью порядка 32 мкФ - 1 шт.

27. Двухполюсный разъединитель на 250 В - 1 шт.

28. Лабораторный автотрансформатор ЛАТР - 1 шт.

29. Соединительные провода.

ЗАДАНИЕ

1. Снять показания приборов, записать их в таблицу для различных режимов работы трансформатора.
2. По данным измерений вычислить величины, указанные в таблице.
3. Составить отчет о проделанной работе.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ И ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

Многочисленные потребители электрической энергии при переменном токе - электродвигатели и различные трансформаторы - характеризуются вследствие индуктивности их обмоток наличием реактивной мощности и сдвигом фаз между током и напряжением.

Полная мощность, передаваемая этим электроприемникам, состоит из двух составляющих: активной мощности, преобразуемой в теплоту и механическую работу, и реактивной мощности, пульсирующей между генератором и потребителем. Доля активной мощности в составе полной мощности характеризуется коэффициентом мощности электроустановки: $\cos \phi = P/S$. Активная мощность определяется по уравнению:

$$P = \sqrt{S^2 - Q^2}$$

Чем меньше реактивная мощность, тем выше коэффициент мощности. Снижение реактивной мощности в электрических системах снабжения энергией возможно методом компенсации ее реактивной мощностью при опережающем токе (отрицательный сдвиг фаз), возникающим в цепи конденсаторной батареи.

По формуле $P = UI \cos \phi$ ток в цепи $I = P / (U \cos \phi)$ будет уменьшаться за счет увеличения при постоянных значениях P и U . Уменьшение силы тока во всех звеньях системы электроснабжения (линии электропередачи, обмотки генераторов и трансформаторов) означает уменьшение потерь напряжения в них и потерь мощности на нагревание проводов. Таким образом, повышение коэффициента мощности подключением батарей статических конденсаторов имеет важное технико-экономическое значение. В данной работе, изменяя емкость батареи конденсаторов, необходимо добиться повышения $\cos \phi$ до значений близких к единице. На рис. 2.1. изображена схема, состоящая из двух параллельных ветвей.

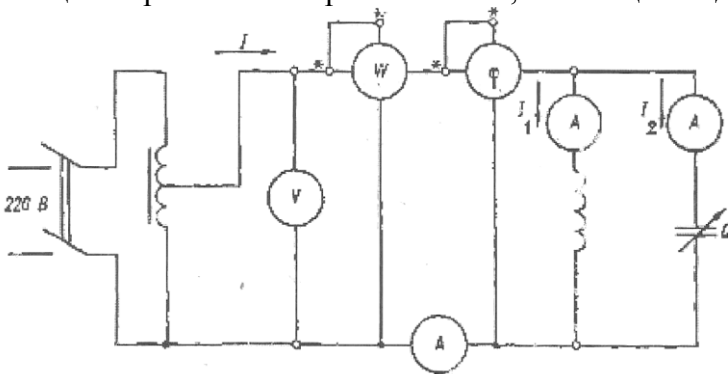


Рис. 2.1. Электрическая схема для исследования параллельной цепи с

Одна из ветвей содержит катушку индуктивности (с параметрами R, L), другая - конденсаторную батарею (емкостью C).

Ток в первой ветви $I_1 = I_L = U/Z_1 = U/\sqrt{R^2 + X_L^2}$ отстает по фазе от напряжения на угол ϕ_1 , косинус которого $\cos \phi_1 = R/Z_1$, где Z_1 - полное сопротивление катушки индуктивности.

Ток во второй ветви $I_2 = I_C = U/X_C$, содержащей емкость, опережает приложенное напряжение на угол 90° . Значение Φ для различных соотношений I_L и I_C изображено на рис 2.2.

1. Собрать схему (рис 2.1) и показать преподавателю.
2. После проверки схемы включить установку.
3. Записать показания приборов в таблицу 2.1.
4. Постепенно изменяя емкость конденсаторной батареи, добиться показаний по фазометру, близких к единице. Данные измерений записать в таблицу 2.1.
5. Рассчитать, какова должна быть емкость батареи конденсаторов, чтобы в цегш наступил резонанс токов и $\cos \phi$ был равен единице.

п/п	Данные измерений						Данные расчетов							
	I_1	I_2	I	i	p	$\cos \phi$	X_C	c	R	Z_1	x_L	Q_C	Q_L	Q
9														

	А	А	А	В	Вт		Ом	мкФ	Ом	Ом	Ом	вар	вар	вар
1-6														

7. По данным измерений рассчитать значения величин, указанных в таблице. Построить графики $\cos\varphi=f(C)$ и $I=f(C)$.

Величины, получаемые в результате расчетов для записи в таблицу 2.1 определяются по следующим формулам:

полное сопротивление индуктивной цепи

$$Z_1=U/I_1$$

активное сопротивление катушки $R=P/I_1^2$

индуктивность катушки

$$L=\sqrt{Z_1^2-R^2}/\omega$$

реактивное индуктивное сопротивление катушки $X_L=\omega L=27\pi fL$

полное сопротивление емкостной цепи (при условии, что активное сопротивление емкости $R_c\sim 0$)

$$Z_2=U/I_c=1/27\pi fCU \quad (I_2=I_c)$$

емкость включенной батареи конденсаторов (магазина конденсаторов) $C=10^6 I_c/27\pi fU$

реактивная индуктивная мощность электрической цепи $Q_L=I_1^2 X_L$

реактивная емкостная мощность электрической цепи $Q_C=I_2^2 X_C=U I_2 \quad (X_C=Z_2)$, реактивная

мощность электрической цепи $Q=Q_L-Q_C$

8. Составить отчет о проделанной работе.

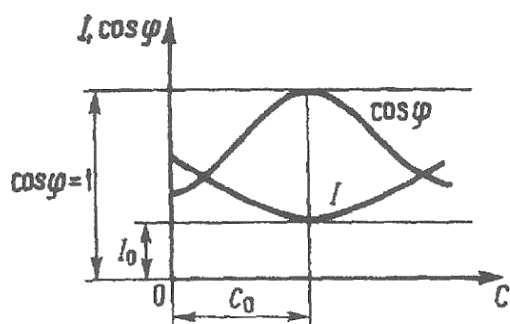


Рис.2.2. Графики зависимостей $\cos \varphi=f(C)$ и $I=f(C)$

катушки индуктивности и конденсатора изображены на рис 2.3.

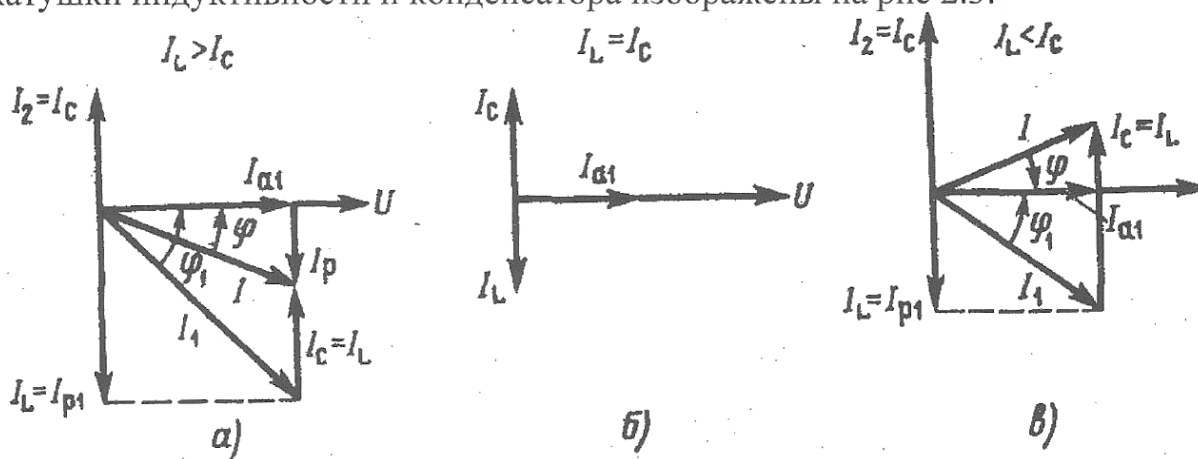


Рис. 2..3. Векторные диаграммы токов и напряжения при параллельном соединении катушки индуктивности и конденсатора

Ток до разветвления I может отставать на угол φ от напряжения цепи, если $I_L > I_c$ и опережать его если $I_L < I_c$, или совпадать по фазе с ним, если $I_L = I_c$. В последнем случае наступает явление резонанса. При резонансе токов $\varphi=0$, а $\cos\varphi=1$

Явление резонанса токов используют в установках для повышения коэффициента мощности путем подключения параллельно приемнику с параметрами r, L конденсаторной батареей емкостью

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называют резонансом токов и при каких условиях он возникает?
2. Чему равен коэффициент мощности в электроустановках переменного тока?
3. Чему равен коэффициент мощности электрической цепи при резонансе?
4. Каким будет характер сопротивления электрической цепи при резонансе токов?
5. Могут ли действующие токи параллельно соединенных ветвей электрической цепи превышать действующий ток в ее неразветвленной части?
6. Какими величинами нужно располагать для расчета емкости конденсаторной батареи, повышающей коэффициент мощности до заданного значения?

ОТЧЕТНЫЙ МАТЕРИАЛ

1. Технические данные измерительных приборов и оборудования.
2. Электрическая схема.
3. Таблица с данными измерений и вычислений.
4. Расчетные формулы и графики.
5. Вывод о проделанной работе.

Лабораторная работа №18. Исследование электрической цепи для получения сдвига фаз на 90° между током и напряжением.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ проверить на опыте возможность получения сдвига фаз на 90° между током и напряжением, а также сравнить опытные данные с расчетными.

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

1. Амперметр-3шт
2. Вольтметр- 2 шт
3. Ваттметр -1шт
4. Катушка - 2 шт
5. Реостат - 1 шт

ЗАДАНИЕ

1. Снять показания приборов и данные записать в таблицу.
2. Произвести необходимые расчеты.
3. Составить отчет о проделанной работе.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ И ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

Повторить теоретический материал по учебнику (1), 15.1,15.2 или(2), 11.10.

4. Получить угол между напряжением и током, равный 90° , можно различными способами. Схема одного из них показана на рисунке 2.85. Она содержит две катушки и резистор. Ток I_0 отстает от напряжения сети U на 90° , при соблюдении условия.

$$R_1 = (X_0, X_2 - R_0 R_2) / (R_0 + R_2)$$

Векторная диаграмма представлена на рисунке 2

2. В лабораторной работе предварительно определяют активное и индуктивное сопротивление катушек с помощью ваттметра. Затем рассчитывают значение R_1 и проверяют на опыте, действительно ли получается сдвиг по фазе между U и I_0 , равный 90° . В качестве резистора применяется реостат, сопротивление которого можно измерить по методу амперметра и вольтметра после проведенного опыта. Угол 90° можно зафиксировать по нулевому показанию ваттметра и сравнить R , с расчетным значением. Для большей прочности лучше использовать катушки без стальных сердечников. При различных напряжениях сердечники насыщаются по-разному, что отражается на величине индуктивных сопротивлений.

Ход работы

снять показания приборов

рассчитать активное и реактивное сопротивления катушек, сопротивление реостата

построить векторную диаграмму
 ответить на контрольные вопросы
 сделать заключение о возможности получения угла сдвига фаз 90° и о

№	Измеренные значения						Вычисленные значения				
	U	U	I	I	I	P	R ₀	X ₀	R ₂	x ₂	R ₁
	B	B	A	A	A	Вт	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1											
2											
3											

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова цель лабораторной работы?
2. Какие опыты нужно произвести, чтобы измерить активное и индуктивное сопротивления катушки?
3. Как измерить активное сопротивление реостата?
4. Как зафиксировать на опыте сдвиг фаз между напряжением и током, равный 90° ? почему нежелательно использование стальных сердечников и катушки?
5. Как рассчитать необходимое сопротивление R_1 ?
6. рассчитать R и X катушки, если известны ее напряжение U , ток I и мощность P ?
7. Как сдвинуты между собой векторы напряжения и тока в цепи с активным сопротивлением, индуктивным, емкостным, активно-индуктивным, активно-емкостным?
8. Изобразите векторную диаграмму для цепи рис 1.
9. Почему ваттметр показывает нуль, если угол сдвига между напряжением U и током I равен 90° ?

ОТЧЕТНЫЙ МАТЕРИАЛ.

1. Технические данные измерительных приборов, источников питания.
2. Таблицы с данными измерений.
3. Электрические схемы.
4. Вывод о проделанной работе

Лабораторная работа №19. Исследование трехфазной цепи при соединении приемника «звездой».

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- Источник питания—четырёхпроводная трехфазная цепь переменного тока напряжением 220 В
- Ламповый реостат с пятью лампами накаливания-и выключателями - 3 шт.
- Амперметр электромагнитный с пределами измерения 0,25—1 А - 3 шт.
- Амперметр электромагнитный с пределом измерения 3 А - 1 шт.
- Вольтметр электромагнитный с пределом измерения 300 В - 1 шт.
- Разъединитель трехполюсный на 250 В, 20 А - 1 шт.
- Разъединитель однополюсный на 250 В, 10 А - 1 шт.
- Провода соединительные многожильные сечением 2,5мм² - 16 шт.

Цель работы: Провести измерение токов и напряжений в трехфазной цепи при соединении потребителей звездой. Выяснить роль нулевого провода в четырехпроводной системе трехфазного тока.

ЗАДАНИЕ

- Снять показания приборов в трехфазной цепи с приемниками, соединенными звездой, при равномерной и неравномерной нагрузками по фазам. Выяснить роль нулевого провода в схеме.
- Рассчитать фазные мощности, развиваемые в каждой фазе потребителя, и мощность всей системы.
- Построить векторные диаграммы.
- Составить отчет о проделанной работе.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ И ПОЯСНЕНИЯ К РАБОТЕ

Работа трехфазной системы, соединенной по схеме звезды (рис. 2.1), обеспечивается наличием трехпроводной линии генератор—приемник, но чаще применяется четырехпроводная линия, состоящая из трех линейных проводов и одного нулевого или нейтрального.

В такой системе соотношение между линейными и фазными токами и напряжениями в случае симметричной нагрузки определяется выражениями: $U_L = U_\phi \sqrt{3}$ $I_L = I_\phi$

При неравномерной нагрузке фаз (без нулевого провода) фазные напряжения в большой степени зависят от распределения нагрузки между фазами: напряжение на фазах с большей нагрузкой (меньшим сопротивлением) понижается, а на фазах с меньшей нагрузкой (большим сопротивлением) - возрастает. Наличие нулевого провода при неравномерной нагрузке фаз обеспечивает независимость режима работы одной фазы потребителей электроэнергии от другой фазы, так как в этом случае при любых нагрузках фаз система будет оставаться симметричной. Поэтому там, где нагрузка фаз неравномерна (освещение, нагревательные приборы), применяется соединение потребителей энергии звездой с нулевым проводом. Линейные напряжения при любом распределении нагрузок между фазами сохраняют симметричный характер и остаются постоянными, так как мощность генератора значительно больше мощности, потребляемой приемниками электроэнергии.

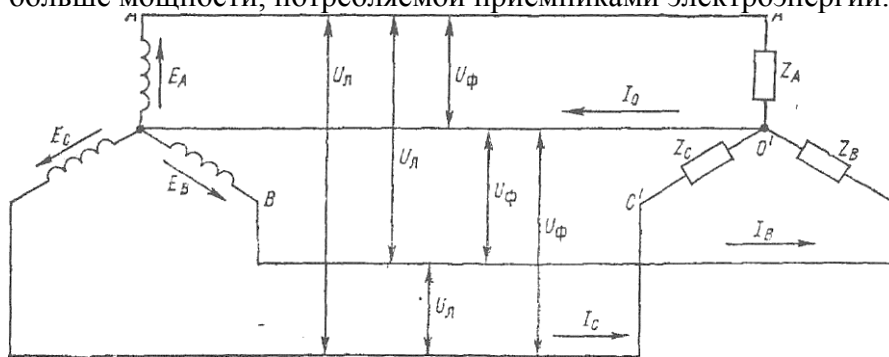


Рис. 5.1. Схема трехфазной цепи при соединении приемников звездой.

Распределение параметров электрической цепи при соединении потребителей звездой для различных режимов работы поясняется с помощью векторных диаграмм, изображенных на рис. 2.2 (в.г).

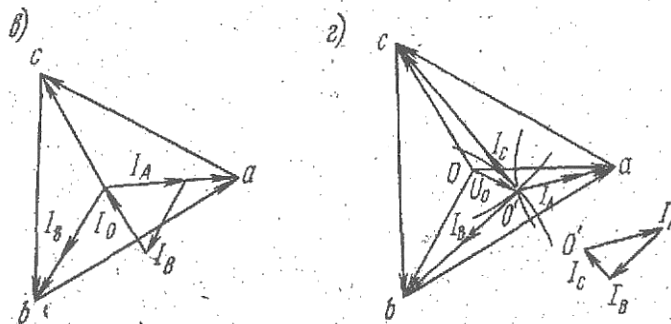


Рис. 2.2. Векторные диаграммы напряжений и токов при соединении потребителей звездой:

а - равномерная нагрузка;

б - неравномерная нагрузка с включенным нулевым проводом;

в - неравномерная нагрузка с включенным нулевым проводом при отсутствии тока в фазе С;

г - неравномерная нагрузка фаз при отключенном нулевом проводе

Из теории известно, что в нулевом проводе ток равен геометрической сумме векторов токов фаз.

При равномерной нагрузке, когда токи $I_A = I_B = I_C$, их геометрическая сумма равна нулю: $I_A + I_B + I_C = 0$ (рис. 2.2 а).

При отключенном, нулевом проводе и равномерной нагрузке фаз фазные напряжения равны: $U_a = U_b = U_c$. Между нейтральными точками 0 и 0' не будет напряжения, так как их потенциалы равны.

В случае неравномерной нагрузки фаз при включенном нулевом проводе потенциалы точек 0 и 0' будут одинаковы (поскольку сопротивление нулевого провода ничтожно и падением напряжения в нем можно пренебречь). Следовательно, фазные напряжения у потребителей будут одинаковы. Лампы получают напряжение

$$U_{\Phi} = U_{\text{л}}/\sqrt{3}$$

Ток в нулевом проводе, равный геометрической сумме фазных токов, будет тем больше, чем больше разница в нагрузках фаз (их сопротивлений) (см. рис. 2.2 б).

В случае отключения нагрузки одной фазы и при одинаковых нагрузках двух других фаз ток в нулевом проводе будет равен току любой из фаз (рис. 2.2 в).

При отключенном нулевом проводе и неравномерной нагрузке фаз принудительно сумма фазных токов будет равна нулю: $I_A = I_B = I_C = 0$. При этом изменятся фазные токи, изменятся и фазные напряжения, которые теперь уже не будут равны фазным напряжениям источника питания (генератора/трансформатора), и между точками системы 0—0' появится напряжение U_0 (рис. 2.2 г). Линейные напряжения, поддерживаемые источником питания, останутся по-прежнему равными и симметричными.

При отключении линейного провода (например, в фазе С перегорела вставка предохранителя или оборвался провод, воздушной линии; в условиях опыта достаточно вынуть вставку) цепь представляет собой последовательное соединение двух групп (ламп). В случае одинаковой нагрузки этих двух фаз линейное напряжение делится между ними поровну $U_0 = U_{\text{л}}/2$. При неодинаковых сопротивлениях фаз линейное напряжение делится пропорционально сопротивлениям фаз. Если же в этом случае нулевой провод будет включен, то фазные напряжения источника питания будут такими же и у потребителей, т. е. лампы получают нормальное напряжение. Таким образом, выявляется роль нулевого провода, который обеспечивает нормальное фазовое напряжение у зажимов потребителей при неравномерной нагрузке фаз, включая случай обрыва одного линейного провода.

Контрольные вопросы

1. Сравнить отношения линейных напряжений сети и фазных напряжений трёхфазного приёмника, соединённого звездой. Объяснить в каких режимах и почему выполняется отношение напряжений равное 3 и сдвиг по фазе равный $\pi/6$.

2. Какие факторы влияют на величину напряжения U_{nN} между нейтральными источника и трёхфазного приёмника, соединённого звездой и в каких случаях оно равно нулю?

3. Какова роль нейтрального провода в четырёхпроводной трёхфазной цепи, как влияет сопротивление нейтрального провода Z_N на величину напряжения U_{nN} и величины фазных напряжений U_a, U_b, U_c приёмника, соединённого звездой.

Лабораторная работа №20. Исследование трехфазной цепи при соединении приемника «треугольником».

Приборы и оборудование

1. Источник трехфазного тока с напряжением 220 В	-] шт.
2. Ламповый реостат .	- 3 шт.
3. Вольтметр электромагнитный 0-300В	-1 шт.
3. Амперметр электромагнитный 0-3 А	-3шт.
4. Амперметр электромагнитный 0-5 А	-3шт.
6.Разъединитель трехполюсный	-] шт.
7. Разъединительоднополюсный	-1шт.
8.Соединительные провода	

Цель работы: Проведение измерений токов и напряжений в трехфазной цепи при соединении потребителей электроэнергии треугольником. Проверка на опыте влияния обрыва линейного провода на работу потребителей.

Задание

1. Измерить токи и напряжения в трехфазной цепи при соединении потребителей треугольником и равномерной нагрузка фаз. Определить соотношения между линейными и фазными токами.
2. Измерить напряжения и токи в трехфазной цепи при неравномерной нагрузке по фазам.
3. Исследовать влияние обрыва линейного провода на режим работы трехфазной цепи при равномерной и неравномерной нагрузках по фазам.
4. Выбрать масштаб и построить векторные диаграммы.
5. Составить отчет о проделанной работе.

КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ сведения и пояснения к работе

При включении потребителей электроэнергии треугольником в трехфазную цепь (рис. 4.1) обеспечивается полная независимость работы отдельных фаз друг от друга, так как к фазам подводятся непосредственно линейные напряжения сети.

Большая мощность питающей сети и достаточное сечение подводящих проводов позволяет считать эти напряжения симметричными при разных нагрузках приемников в пределах нормы.

Поэтому даже значительные изменения тока в одной -----
из фаз практически не отражаются на напряжениях и токах в других фазах.

Герате г

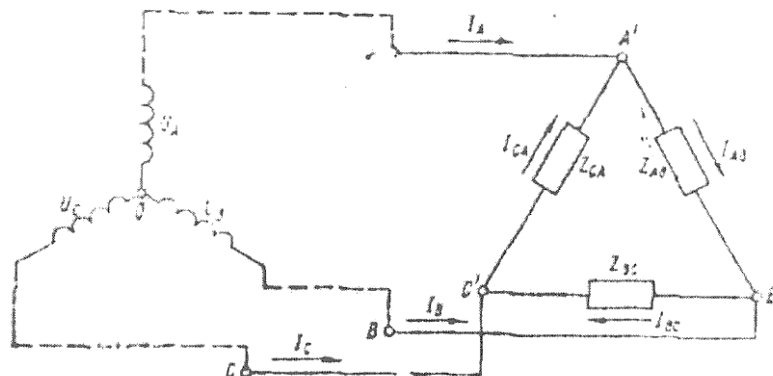


Рис. 4.1. Трехфазная цепь при соединении потребителей треугольником.

Изменение нагрузки изменяет ток данной фазы и линейные токи в двух прилежащих к данной фазе линейных проводах. В случае если нагрузка всех фаз одинакова ($Z_{AB}=Z_{BG}=Z_{CA}$), ТО система фазных токов " является симметричной. ' - Из схемы, представленной рис. 4.1, видно, что фазные напряжения равны линейным: $U_{\phi}=U_{\ell}$. В фазах потребителей протекают фазные токи I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} а в линейных проводах—линейные токи I_{ℓ} , I_{ℓ} и I_{ℓ} .

Согласно первому закону Кирхгофа: $I_A=I_{AB}-I_{CA}$; $I_B=I_{BC}-I_{CA}$; $I_C=I_{CA}-I_{BC}$

При симметричной нагрузке фазные токи равны и имеют сдвиг по фазе на угол 120° .

При неравномерной нагрузке фазные напряжения одинаковы, поскольку, они равны линейным напряжениям источника питания.

При отключенной нагрузке фазы АВ схема остается включенной в трехфазную сеть.

Потребители оставшихся фаз ВС и СА по-прежнему находятся под нормальным для них линейным напряжением и работают в обычном режиме. В линейных проводах проходят неодинаковые по величине токи. В проводах А и В протекают линейные токи, равные фазным, а в проводе С - линейный ток, равный геометрической разности фазных токов фаз ВС и СА. В

В случае обрыва линейного провода (например, А), что при опыте осуществляется снятием вставки предохранителя, цепь, получая питание по двум проводам, становится однофазной при смешанном соединении приемников энергии. Лампы фазы В остаются включенными на полное линейное напряжение, а фазы А и С оказываются включенными последовательно на то же линейное напряжение, которое делится между ними пропорционально сопротивлениям фаз.

Векторные диаграммы напряжений и токов при соединении потребителей треугольником:

Как видно из диаграммы значительная неравномерность нагрузки фаз (ток I_{AC} два раза больше тока I_{CA}) не вызывает такой же неравномерности нагрузки линейных проводов, что очень важно для уменьшения потерь напряжения и потерь мощности в линиях электропередачи. Следует помнить, что мощность потерь на выделение тепла $P = I^2 R$ пропорциональна квадрату тока. Поэтому перегрузка одного провода за счет недогрузки других сопряжена со значительными потерями при передаче электрической энергии.

Соединение в треугольник исключает опасность появления повышенных напряжений на фазах потребителя при обрыве одного из линейных проводов.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ И УКАЗАНИЯ

I. Ознакомиться с приборами и оборудованием, необходимыми для выполнения работы. Записать основные технические данные приборов и параметры источника питания потребителя.

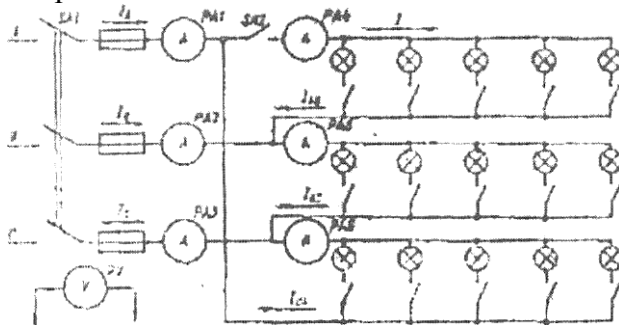


Рис. 4.3. Трехфазная цепь при соединении приемников треугольником.

№ опыта	Характер нагрузки	Положение нулевого провода (SA2)	Данные измерений		Данные расчетов
			I, А	U, В	
					P, Вт

			U	I _B	I _C	I ₀	U _A	U _B	U _C	U _{A B}	U _B с	U _C A	U ₀	P _A	P _B	P _C	p
1	симметричная	Вкл				0							0				
2		Выкл				0							0				
3	несимметричная	Вкл											0				
4		Выкл				0											
5	отключена фаза С	Вкл			0								0				
6		Выкл			0	0											
7	перегорел предохранитель в линейном проводе С	Вкл			0								0				
8		Выкл			0	0											

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какое соединение однофазных приемников электрической энергии называют звездой?
2. Чем отличается симметричная нагрузка от несимметричной?
3. Какова роль нулевого провода в четырехпроводной трехфазной цепи?
4. Как определить силу тока в нулевом проводе, если известна сила тока в каждой из фаз?
5. Каково соотношение между линейными и фазными напряжениями для симметричной системы при соединении **приемников** звездой?

ОТЧЕТНЫЙ МАТЕРИАЛ

1. Технические данные измерительных приборов и оборудования, использованных в работе.
2. Схема трехфазной четырехпроводной цепи при соединении приемников звездой.
3. Таблицы с данными измерений и вычислений.
4. Векторные диаграммы для схем измерения, указанных в п. 5. Выводы о проделанной работе.

Лабораторная работа № 21. Исследование линейного пассивного четырехполюсника.

Цель работы: Экспериментальное исследование свойств пассивных линейных четырехполюсников.

При подготовке к работе изучим типы четырехполюсников, уравнения передачи в различных формах, параметры-коэффициенты, характеристические параметры, рабочие меры передачи, методы их расчета.

Экспериментальная часть.

Схема пассивного резистивного четырехполюсника (рисунок 1)

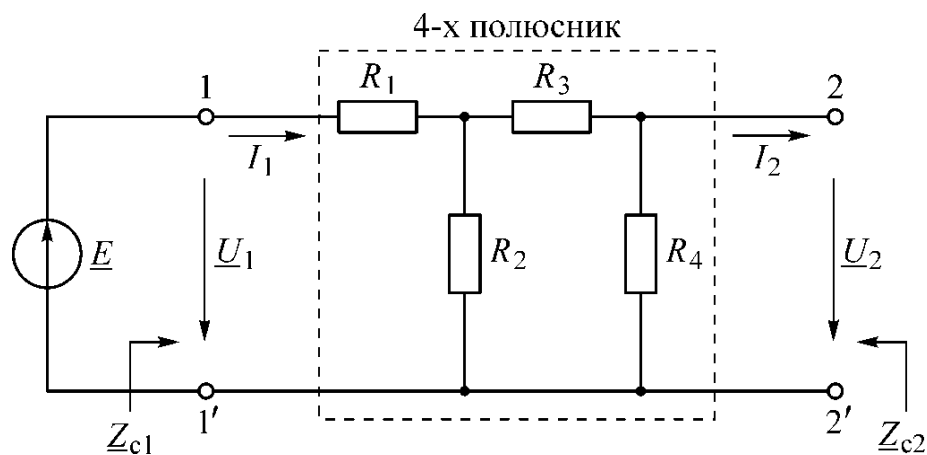


Рисунок 1

Четырёхполюсник - это электрическая схема с двумя входными и двумя выходными зажимами, характеризуемая обобщенными параметрами, необходимыми и достаточными для составления уравнений связи между токами и напряжениями на зажимах четырёхполюсника.

Коэффициенты каждой формы однозначно связаны между собой, т. к. характеризуют один и тот же четырёхполюсник. Соответственно, имея одну форму уравнений, всегда можно перейти к другой. Как правило, в учебной и специальной справочной литературе приводятся формулы перевода коэффициентов одной формы в другую. Обобщённые параметры четырёхполюсника могут быть определены экспериментально, например, из опытов холостого хода и короткого замыкания. Особое внимание обратить на вопросы методики экспериментального определения коэффициентов четырёхполюсника и построения круговой диаграммы по экспериментальным данным.

Доказать, что для данного четырёхполюсника коэффициент А является комплексным числом, находящимся в первом квадранте, а коэффициент С – чисто мнимым, и построить соответствующие векторные диаграммы.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение четырехполюсника. Какой четырехполюсник называется пассивным, а какой активным?
2. В чем состоит сущность теории четырехполюсника?
3. Какие существуют формы уравнений четырехполюсника?
4. Что такое коэффициенты четырехполюсника? Какова их размерность? Какие существуют способы их определения?
5. Какие существуют схемы замещения четырехполюсника? Как определяются параметры элементов этих схем?
6. Как производится расчет режима четырехполюсника?

Вывод:

Лабораторная работа №22. Исследование линейного активного двухполюсника.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является приобретение навыков по расчёту линейных электрических цепей и экспериментальной проверке правильности расчётов, а также сборке реальных электрических цепей и их исследованию.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Для выполнения работы применяются:

- наборное поле универсального лабораторного стенда;
- необходимые измерительные приборы;
- резисторы, соединительные провода.

В лабораторной работе проводится исследование электрической цепи постоянного тока, схема которой приведена на рисунке 1.

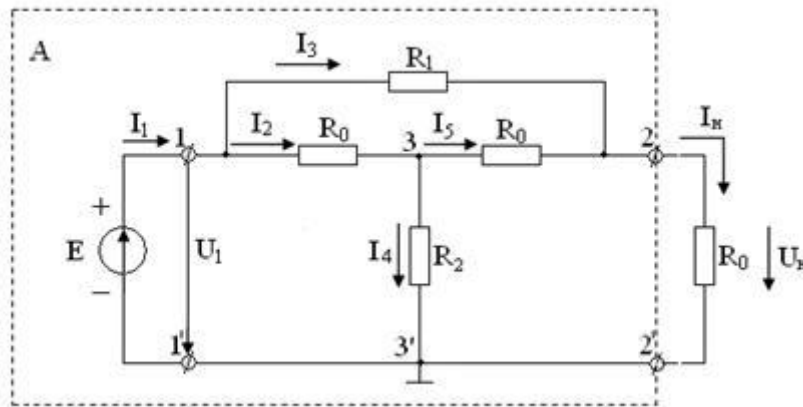


Рис.1. Исследуемая схема

Она состоит из активного двухполюсника (часть схемы, охваченная пунктиром), к выходным клеммам которого 2-2' подключена нагрузка. Эта схема интересна тем, что является единичным звеном делителя напряжения. При каскадном (друг за другом) соединении нескольких таких звеньев получается ступенчатый делитель напряжения, который называется аттенюатором и применяется в измерительных приборах.

В качестве звена делителя напряжения эта схема используется при выполнении следующего условия - значения резисторов R_1 и R_2 выбирается таким образом, чтобы

$$R_1 \cdot R_2 = R_0^2$$

При выполнении этого условия схема удлинителя приобретает ряд замечательных свойств:

- если к паре зажимов 2-2' или 1-1' подключен резистор R_0 , то входное сопротивление делителя со стороны другой пары зажимов 1-1' или 2-2' также равно R_0 ;
- напряжение на зажимах 2-2' делителя ($U_2 = U_n$), нагруженного на резистор R_0 , связано с входным напряжением (U_1) соотношением:

$$S = \frac{U_1}{U_2} = 1 + \frac{R_1}{R_0} = 1 + \frac{R_0}{R_2}$$

где S – коэффициент деления делителя.

Отсюда следует, что если задано значение коэффициента S и R_0 ; то значения резисторов R_1 и R_2 делителя выбираются из соотношений:

$$R_1 = (S - 1) R_0 \text{ и } R_2 = \frac{R_0}{S - 1}$$

ЛАБОРАТОРНОЕ ЗАДАНИЕ

1. Подобрать резисторы с номинальными сопротивлениями, соответствующими значениям, полученными при расчётах.
2. На наборном поле стенда собрать цепь в соответствии со схемой, изображенной на рисунке 2.1.
3. Замерить токи и напряжения в схеме.
4. Замерить значения $U_{нх}$, $I_{кз}$, $R_{2-2'}$.

5. Снять зависимость $U_* = f(R_*)$.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. С целью понимания причин расхождения результатов расчёта и эксперимента необходимо измерить истинные значения сопротивлений выбранных резисторов и записать эти значения. При сборке схемы, изображенной на рисунке 1, рекомендуется выбрать оптимальный вариант расположения резисторов на наборном поле с целью использования минимального количества соединительных проводов.

2. Замерить токи и напряжения в соответствии с требованиями таблицы 1 и внести их в эту таблицу.

3. Для определения параметров $U_{2-2'}$, I_{k3} и $R_{2-2'}$ необходимо выполнить следующее:

- отключить от зажимов 2-2' сопротивление нагрузки резистор R_* и при отключенной нагрузке измерить напряжение холостого хода $U_{2-2'}$ на выходных зажимах 2-2' двухполюсника;

- при отключенной нагрузке измерить ток короткого замыкания I_{k3} двухполюсника, замкнув его зажимы 2-2' через миллиамперметр;

- отключить от схемы источник питания, перемкнуть входные клеммы и, при отключенной нагрузке, измерить сопротивление между клеммами 2-2'

Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1

	Токи узла 1	Токи узла 2	Напряжения между парами узлов	U_{xx}	I_{k3}	$R_{2-2'}$							
Электрические величины	I_1	I_2	I_3	I_H	I_5	I_3	U_{12}	$U_{22'}$	$U_{11'}$	U_{13}	$U_{31'}$	U_{32}	
Расчет													
Измерения													

4. Для снятия внешней характеристики двухполюсника $U_* = f(I_*)$ необходимо подключить вольтметр к выходным клеммам 2-2'. Ток в нагрузке определяется по закону Ома. Затем в качестве нагрузки подключаются резисторы с различными номинальными значениями.. Их должно быть не менее семи, и они должны обеспечивать достаточно равномерное расположение точек по всей характеристике. Для каждого значения сопротивления нагрузки ток и напряжения нагрузки, и результаты заносятся в таблицу 2. Одно значение нагрузки должно равняться значению $R_{2-2'}$ или быть близким по значению к нему.

5. По данным измерения рассчитать:

- мощность, потребляемую нагрузкой P_* при различных значениях R_* , отметив особо значение максимальной мощности P_{max} при $R_* = R_{2-2'}$;

- коэффициент полезного действия двухполюсника η при различных значениях

Таблица 2

U_H (В)					
I_H (мА)					
R_H (кОм)					
P_H (Вт)					
η (%)					

1. Схемы исследуемой цепи, значения величин сопротивлений используемых в схеме резисторов;
2. Расчёты и графики в соответствии с домашним заданием.
3. Результаты экспериментальных исследований, представленных в таблицах.
4. Построенные экспериментальные зависимости:
 $U_x = f(I_x)$; $P_x = f(R_x)$; $\eta = f(R_x)$
5. Выводы по сравнительному анализу всех данных лабораторного исследования и предварительных расчетов

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чём суть расчета цепи методом контурных токов?
2. Каков смысл теоремы об эквивалентном источнике напряжения?
3. Как определяются $U_{\text{эк}}$, $R_{\text{эк}}$?
4. Что такое внешняя характеристика двухполюсника?
5. Каково условие передачи максимальной мощности от активного двухполюсника в нагрузку?
6. Каким образом определяется мощность, потребляемая нагрузкой и теряемая внутри двухполюсника?
7. Что называют коэффициентом полезного действия активного двухполюсника и как его определять?

Лабораторная работа №23. Исследование полупроводникового диода

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: снятие и анализ вольт - амперной характеристики (ВАХ) диода. Определение параметров диода.

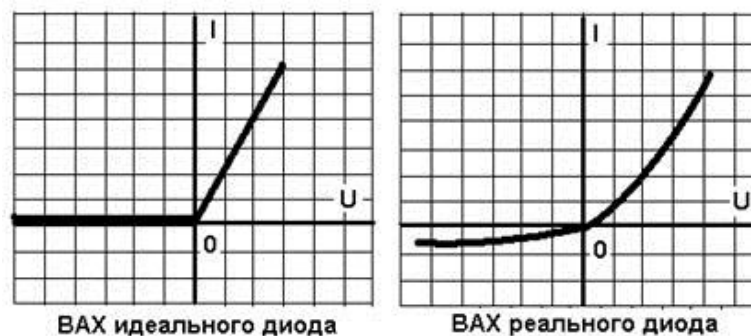
ПЛАН РАБОТЫ:

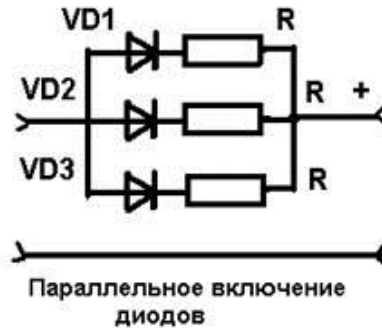
1. сборка схемы опыта;
2. снятие прямой ветви ВАХ;
3. снятие обратной ветви ВАХ;
4. определение параметров диода;
5. составление отчета

Полупроводниковым диодом называют прибор с двумя выводами (анод и катод) и одним электронно-дырочным переходом. Принцип действия диодов основан на использовании односторонней электропроводимости, электрического пробоя и других свойств p-n перехода. Полупроводниковые диоды в основном служат для преобразования энергии и реже – для усиления электрических сигналов.

Диоды разделяются на: выпрямительные; импульсные; стабилитроны; туннельные; варикапы, в качестве усилителей электрических сигналов по мощности могут быть использованы туннельные диоды.

Основной материал диодов - кремний и германий. По конструкции диоды выполняются плоскостные и точечные. Основной характеристикой диода служит его вольт - амперная характеристика, вид которой совпадает с видом вольт - амперной характеристики (ВАХ) p - n перехода. ВАХ диода зависит от температуры окружающей среды.

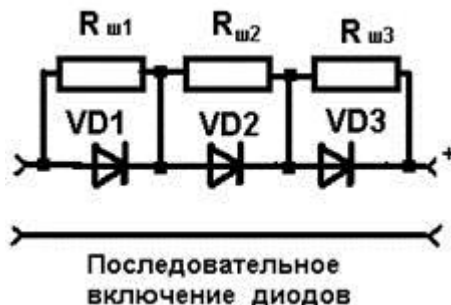




Диод обладает односторонней проводимостью (как и p-n переход). Включение диода в электрическую цепь, когда плюс (+) источника подсоединен к области p (анод), а минус (-) – к области n (катод), называется *прямым*. В этом случае сопротивление перехода p-n мало, диод открыт, через него проходит ток. Включение диода, при котором к области p подсоединен минус источника, а области n – плюс, называется *обратным*.

В этом случае сопротивление перехода резко возрастает, переход закрыт, ток через переход не проходит. При достижении обратным напряжением некоторого критического значения обратный ток перехода возрастает. Этот режим называется пробоем p - n перехода. Различают два вида пробоя: электрический и тепловой. Электрический пробой бывает обратимым и необратимым. При обратимом электрическом пробое при отключении источника обратного напряжения вентиляльные свойства (односторонняя проводимость) электронно-дырочного перехода полностью восстанавливается. Тепловой пробой приводит к разрушению кристалла и является аварийным режимом.

Выпрямительными называют полупроводниковый диод, предназначенный для преобразования переменного тока в постоянный. Принцип работы выпрямительного диода основан на выпрямительном свойстве p-n перехода. В зависимости от максимально допустимого среднего значения прямого тока диоды делятся на диоды малой (300 мА), средней (300 мА – 10А) и большой мощности (10А – 1000 А). Конструктивно выпрямительный диод выполнен в металлическом герметическом сварном корпусе.



Очень часто требуемые допустимые выпрямленный ток и максимальное обратное напряжение превышают номинальные значения параметров существующих выпрямительных диодов. В этих случаях задача решается соответственно параллельным и последовательным соединением диодов. Последовательное включение выпрямительных диодов делается тогда, когда необходимо увеличить суммарное допустимое обратное напряжение, прикладываемое к каждому из них.

Параллельное включение выпрямительных диодов делается для увеличения допустимых значений выпрямленных токов. Кроме рассмотренных выпрямительных диодов промышленность выпускает другие типы: высокочастотные и сверх высокочастотные – применяются в качестве выпрямительных на больших и сверхбольших частотах; импульсные – предназначенные для работы в импульсном режиме; варикапы – для использования зависимости емкости р - п перехода от обратного напряжения (регулируемые емкости); стабилитроны и стабистоны – для стабилизации напряжения; туннельные – для генерации и усиления электрических сигналов сверхвысокой частоты; обращенные – для выпрямления сигналов сверхвысокой частоты; модуляторные – для модуляции высокочастотного сигнала и др.

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ:

1.Собрать схему опыта в соответствии с рисунком 1 для снятия прямой ветви ВАХ диода. Подключить схему к источнику постоянного напряжения, изменяя прямое напряжение от 0 до 1 вольта, производить замеры тока диода. Результат замера занести в таблицу №1. По данным таблицы № 1 построить прямую ветвь ВАХ исследуемого диода.

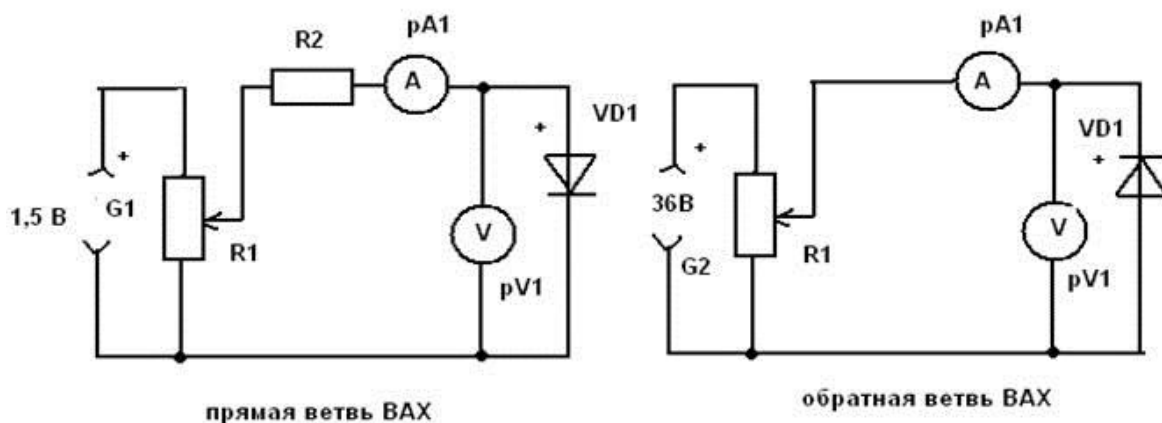


рис.1 рис.2

Оборудование:

- VD1 – исследуемый диод;
- G1 – источник постоянного напряжения;
- R1 – потенциометр (делитель напряжения);
- pV1 – вольтметр постоянного тока, 0-15 В;
- pA1 – амперметр постоянного тока, 0- 50 мА;

Прямая ветвь ВАХ табл.№1

U пр. В		0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
I пр. mA						

2. Собрать схему опыта в соответствии с рисунком 2 для снятия обратной ветви ВАХ диода. Подключить схему к источнику постоянного напряжения, изменяя обратное напряжение от 0 до 25 вольт, производить замеры обратного тока диода. Результат замера занести в таблицу № 2. По данным таблицы № 2 построить обратную ветвь ВАХ исследуемого диода.

Обратная ветвь ВАХ табл. № 2

U обр. В	
I обр. mA	

3. По графику ВАХ исследуемого диода рассчитать для характерной точки статическое сопротивление диода.

$$R_{стF} = U_{пр} / I_{пр} \quad R_{стR} = U_{обр} / I_{обр}$$

4. Составить отчет по лабораторной работе, в котором указать свойства исследуемого диода.

Контрольные вопросы

1. Что называется дрейфовым током?
2. Что называется инжекцией?
3. Почему обратный ток через р-п переход намного меньше прямого тока
4. какие носители заряда размножаются ударной ионизацией атомов:
5. Какой пробой опасен для р-п перехода:
6. Что называется полупроводниковым диодом?
7. Когда используют параллельное соединение диодов?
8. С какой целью мощные диоды изготавливают в массивных металлических корпусах?

**Критерии оценивания студентов в процессе обучения
с учетом модульно-компетентностного подхода.**

Уровни	Баллы	Буквенное значение	Показатели оценки
Низкий (рецептивный)	«1»	F-«очень неудовлетворительно»	Нет интереса к объекту изучения, стремления познать сущность явления.
	«2»	F+«неудовлетворительно»	Узнавание объекта изучения, оперирование терминами без овладения их значений, выполнение имитационных заданий (по образцу), неумение применять заданный алгоритм выполнения в измененных ситуациях.
Удовлетворительный (рецептивно-репродуктивный)	«3»	D- «посредственно»	Отсутствие видения целостной структуры представленного учебного материала, его частичное воспроизведение без освоения родовидовых отношений и причинно-следственных связей; наличие существенных ошибок в ответе; использование алгоритма выполнения с чьей-либо помощью; отсутствие самостоятельных навыков выполнения заданий.
	«4»	D+«удовлетворительно»	Механическое освоение учебного материала на репродуктивном уровне без осмысления содержания, отрывистое его воспроизведение на основе наводящих вопросов; неумение применять полученные знания на практике, проявление стремления использовать самостоятельно алгоритм решения задачи и достижение 50% -го выполнения.
Средний (репродуктивно-продуктивный)	«5»	C - «ниже среднего»	Понимание учебного материала, воспроизведение его на 70%; проявление интереса к учебе, приложение усилий как желания достичь поверхностный результат (мотивация учения – получение положительной отметки); владение средним уровнем учебных умений (выполнение заданий на 70%), заключающимся в повторении действий сверстников без глубокого

			осмысления значимости для дальнейшего познавательного процесса.
	«6»	C + «средне»	Воспроизведение учебного материала на 75%; овладение навыками выполнения задания по образцу в типичных ситуациях; затруднение выполнения задания в вариативных ситуациях; стремление самостоятельно выполнять задания, следствием которого является неполнота, непоследовательность действий, приводящая к ошибкам; стремление выполнять творческую работу в группе; отсутствуют навыки самостоятельного творческого решения задачи.
Достаточны й (продуктив ный)	«7»	B - «достаточно»	Овладение программным материалом на основе определения его когнитивной структуры (семантических блоков), видение взаимосвязи частей изучаемого материала, его родо-видовых и причинно-следственных связей; умение применять знания в типичных, вариативных и иногда проблемных ситуациях; выполнение заданий на 80%, проявление способности исправить собственные ошибки при указании на них; естественная мотивация в выполнении творческих заданий; активное участие в выполнении творческого задания в группе; самокритичность и умение ставить цель по устранению своих ошибок.
	«8»	B + «хорошо»	Освоение учебного материала и самостоятельное применение их в типичных, вариативных и проблемных ситуациях; владение навыками творческого применения полученных знаний; выполнение заданий на 85%, умение исправить собственные ошибки, самокритичность, планирование действий по совершенствованию

			навыков решения задач; использование полученных знаний для решения проблем в жизненных ситуациях.
Высокий (продуктивный - творческий)	«90»	A - «отлично»	Полное овладение учебным материалом и его воспроизведение с собственными дополнениями и аргументами; свободное оперирование учебным материалом различной степени сложности в проблемных и креативных ситуациях; выполнение заданий творческого характера; высокий уровень самостоятельности и творческого подхода; выполнение заданий на 90%; допущение незначительных погрешностей в последовательности действий или оформлении; творческое использование полученных знаний для решения проблем в жизненных ситуациях.
	«100»	A + «превосходно»	Творческое осмысление учебного материала, использование дополнительных источников для более глубокого осмысления сущности явлений, видение когнитивной структуры материала, выявление недостающих элементов структуры, дополнение ими; выделение проблемных аспектов изучаемого материала; выполнение заданий на 95-100%; естественная мотивация в изучении предмета; креативное использование полученных знаний для решения проблем в жизненных ситуациях.

Критерии оценки модуля

№	Виды контроля	Недели											макс балл
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Посещаемость												
2	Домашняя работа												
3	Практическая работа												
4	Рубежный контроль												
5	Тестовые задания												
6	Контрольная работа												
7	Реферат												
8	Презентация												
9	Промежуточный контроль												
10	Экзамен												
	Всего:												

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Тестовые задания

1 вариант

1

Электрическое поле – одна из двух сторон

- A) Электромагнитного поля
- B) Индукционного поля
- C) Электрического поля
- D) СТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ
- E) Электростатического поля

2

Напряженность электрического поля

- A) $E = Q_1 Q / (4 \pi \epsilon_0 \epsilon r^2)$
- B) $E = Q / (4 \pi \epsilon_0 \epsilon r^2)$
- C) $E = Q / (4 \pi \epsilon_0 \epsilon r)$
- D) $E = Q Q_2 / (4 \pi \epsilon_0 \epsilon r^2)$
- E) $E = I Q$

3

Напряженность электрического поля

- A) Векторная величина
- B) Скалярная величина
- C) Алгебраическая
- D) АРИФМЕТИЧЕСКАЯ
- E) Геометрическая

4

Закон Кулона

- A) $F = Q_1 / (4 \pi \epsilon_0 \epsilon r)$
- B) $F = Q / (4 \pi \epsilon_0 \epsilon r^2)$
- C) $F = Q / (\epsilon_0 \epsilon r^2)$
- D) $F = Q_1 Q_2 / (4 \pi \epsilon_0 \epsilon r^2)$
- E) $F = E Q$

5

Электрическое напряжение

- A) $U = \phi_1 - \phi_2$
- B) $U = E * Q_1$
- C) $U = Q / A$
- D) $U = Q_1$
- E) $U = E * Q$

6

Электрическое напряжение

- A) $U = A / Q_{1\infty}$
- B) $U = E Q_1$
- C) $U = Q / A$
- D) $U = Q_1 E$

E) $U = Q_1 A$

7

Электрический потенциал

- A) $\phi = A / Q_{1\infty}$
- B) $U = E * Q_1$
- C) $U = R * I$
- D) $U = Q_1$
- E) $U = E * Q$

8

Электрическое сопротивление

- A) $G = I / U$
- B) $R = \rho \ell / S$
- C) $I = U / R$
- D) $U = IR$
- E) $G = I / R$

9

Электрическое сопротивление

- A) $G = I / U$
- B) $R = U / I$
- C) $I = U / R$
- D) $U = IR$
- E) $G = I / R$

10

Электрическое сопротивление

- A) $G = I / U$
- B) $I = U / R$
- C) $R_2 = R_1 (1 + \alpha (T_2 - T_1))$
- D) $U = IR$
- E) $G = I / R$

11

Зависимость электрического сопротивления от размеров проводника

- A) $G = I / U$
- B) $R = \rho \ell / S$
- C) $I = U / R$
- D) $U = IR$
- E) $G = I / R$

12

Зависимость электрического сопротивления от температуры

- A) $G = I / U$
- B) $R = \rho \ell / S$
- C) $R_2 = R_1 (1 + \alpha (T_2 - T_1))$
- D) $U = IR$
- E) $G = I / R$

13

Единица измерения напряжения

- A) Ампер
- B) Ватт
- C) Вольт
- D) Ом
- E) Генри

14

Единица измерения силы тока

- A) Ампер
- B) Ватт
- C) Вольт
- D) Ом
- E) Генри

15

Единица измерения электрического сопротивления

- A) Ампер
- B) Ватт
- C) Вольт
- D) Ом
- E) Генри

16

Единица измерения э.д.с.

- A) Ампер
- B) Ватт
- C) Вольт
- D) Ом
- E) Генри

17

Единица измерения проводимости

- A) Ампер

- B) Ватт
- C) Вольт
- D) Ом
- E) Сименс

18

Эквивалентное сопротивление последовательной цепи постоянного тока равно

- A) Сумме сопротивлений отдельных участков цепи
- B) Наибольшему сопротивлению цепи
- C) Наименьшему сопротивлению цепи
- D) Нулю
- E) Произведению сопротивлений отдельных участков цепи

19

Алгебраическая сумма токов в узле электрической цепи постоянного тока равна нулю:

- A) закон Джоуля-Ленца
- B) закон Ома для полной цепи
- C) закон Ома для участка цепи
- D) первый закон Кирхгофа
- E) второй закон Кирхгофа

20

Алгебраическая сумма э.д.с., действующих в любом замкнутом контуре электрической цепи равна алгебраической сумме падений напряжений на отдельных участках этого контура:

- A) закон Джоуля-Ленца
- B) закон Ома для полной цепи
- C) закон Ома для участка цепи
- D) первый закон Кирхгофа
- E) второй закон Кирхгофа

21

Количество теплоты, выделяющееся в проводнике прямо пропорционально

квадрату силы тока, времени его прохождения и сопротивлению проводника:

- A) Закон Джоуля-Ленца
- B) Закон Ома для полной цепи
- C) Закон Ома для участка цепи
- D) Первый закон Кирхгофа
- E) Второй закон Кирхгофа

22

Сила тока в любом участке замкнутой цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению

- A) закон Джоуля-Ленца
- B) закон Ома для полной цепи
- C) закон Ома для участка цепи
- D) первый закон Кирхгофа
- E) второй закон Кирхгофа

23

Сила тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна электродвижущей силе, действующей в этой цепи, и обратно пропорциональна сопротивлению всей цепи

- A) Закон Джоуля-Ленца
- B) Закон Ома для полной цепи
- C) Закон Ома для участка цепи
- D) Первый закон Кирхгофа
- E) Второй закон Кирхгофа

24

Положительное направление Э.Д.С. внутри источника Э.Д.С. постоянного тока.

- A) От отрицательного полюса к положительному
- B) От положительного полюса к отрицательному
- C) Совпадает с положительным направлением тока

- D) Совпадает с отрицательным направлением тока
- E) Нет правильного ответа

25

Положительное направление тока в цепи.

- A) Не совпадает с направлением Э.Д.С.
- B) Совпадает с направлением Э.Д.С.
- C) От отрицательного полюса к положительному
- D) От положительного полюса к отрицательному
- E) Совпадает с направлением движения электронов

2 вариант

1

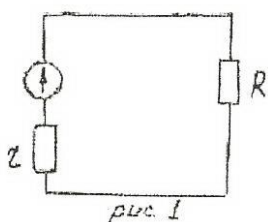
Силовой характеристикой электрического поля является:

- A) Скорость движения заряженных частиц
- B) Электропроводность
- C) Напряженность
- D) Пространственное распределение отрицательных и положительных частиц
- E) Электростатическая индукция

2. Материал, который можно отнести к полупроводникам:
 А) Германий
 В) Железо
 С) Чистая вода
 D) Дерево
 E) Стекло

3. Проводник, который быстрее нагреется при одном и том же токе, если диаметр и длина одинаковые
 А) Медный
 В) Стальной
 С) Нагреваются одинаково
 D) Нагрева не будет
 E) Это зависит от сечения проводника

4. Уравнение баланса мощностей электрической цепи



- $= P_o - P_n$
 C) $EI = I^2 r + I^2 R$
 D) $EI = I^2 * R - I^2 * R$
 E) $P_n = P_i + P_o$

5. Закон Джоуля - Ленца
 А) $Q = C * U^2 / 2$
 В) $Q = I^2 R t$
 С) $Q = A * U$
 D) $P_i = P_n - P_o$
 E) $P_i = P_o - P_n$

6. Электрическая постоянная
 А) $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ ф/м}$
 В) $\epsilon_0 = 4 \pi \epsilon r^2$
 С) $\epsilon_0 = 4 \pi \epsilon r$
 D) $\epsilon_0 = 4 \pi \epsilon$
 E) $\epsilon_0 = \pi \epsilon r^2$

7.

- Сопротивление участка цепи постоянного тока с параллельным соединением двух элементов равно
 А) Сумме сопротивлений отдельных участков цепи
 В) Наибольшему сопротивлению цепи
 С) Отношению произведения сопротивлений к их сумме
 D) Нулю
 E) Произведению сопротивлений отдельных участков цепи

8. Режим холостого хода электрической цепи

- А) $R \rightarrow \infty, U = E$
 В) $R \rightarrow 0, U = 0$
 С) $R \rightarrow \infty, U = 0$
 D) $R \rightarrow \infty, I_k = E/r$
 E) $R \rightarrow 0, U = E$

9. Режим короткого замыкания электрической цепи

- А) $R \rightarrow \infty, U = E$
 В) $R \rightarrow 0, U = \infty$
 С) $R \rightarrow \infty, U = 0$
 D) $R \rightarrow 0, I_k = E/r$
 E) $R \rightarrow 0, U = E$

10. Номинальный режим электрической цепи
 А) Режим при котором приемник отключен от источника. При этом источник не отдает энергию во внешнюю цепь, а приемник не потребляет ее.
 В) Режим, при котором данный элемент электрической цепи работает со значениями различных величин (тока, напряжения и др.), на которые он рассчитан заводом - изготовителем
 С) Режим, возникающий при соединении между собой выводов источника, приемника или соединительных проводов, а также иных элементов электрической цепи, между которыми имеется напряжение.
 D) Режим, при котором токи и мощности не превышают номинальных значений, а напряжения близки к номинальным
 E) Режим при котором сопротивление в месте соединения оказывается практически равным нулю.

- которые имеется напряжение.
 D) Режим, при котором токи и мощности не превышают номинальных значений, а напряжения близки к номинальным
 E) Режим при котором сопротивление в месте соединения оказывается практически равным нулю.

11. Режим холостого хода электрической цепи
 А) Режим, при котором приемник отключен от источника. При этом источник не отдает энергию во внешнюю цепь, а приемник не потребляет ее.
 В) Режим, при котором данный элемент электрической цепи работает со значениями различных величин (тока, напряжения и др.), на которые он рассчитан заводом - изготовителем
 С) Режим, возникающий при соединении между собой выводов источника, приемника или соединительных проводов, а также иных элементов электрической цепи, между которыми имеется напряжение.
 D) Режим, при котором токи и мощности не превышают номинальных значений, а напряжения близки к номинальным
 E) Режим при котором сопротивление в месте соединения оказывается практически равным нулю.

12. Режим короткого замыкания электрической цепи
 А) Режим при котором приемник отключен от источника. При этом источник не отдает энергию

во внешнюю цепь, а приемник не потребляет ее.

В) Режим, при котором данный элемент электрической цепи работает со значениями различных величин (тока, напряжения и др.), на которые он рассчитан заводом - изготовителем

С) Режим, возникающий при соединении между собой выводов источника, приемника или соединительных проводов, а также иных элементов электрической цепи, между которыми имеется напряжение.

Д) Режим, при котором токи и мощности не превышают номинальных значений, а напряжения близки к номинальным

Е) Режим при котором сопротивление в месте соединения оказывается максимальным.

13.

Рабочий режим

электрической цепи

А) Режим при котором приемник отключен от источника. При этом источник не отдает энергию во внешнюю цепь, а приемник не потребляет ее.

В) Режим, при котором данный элемент электрической цепи работает со значениями различных величин (тока, напряжения и др.), на которые он рассчитан заводом - изготовителем

С) Режим, возникающий при соединении между собой выводов источника, приемника или соединительных проводов, а также иных элементов электрической цепи, между которыми имеется напряжение.

Д) Режим, при котором токи и мощности не превышают

номинальных значений, а напряжения близки к номинальным

Е) Режим при котором сопротивление в месте соединения оказывается практически равным нулю.

14.

Режим при котором сопротивление в месте соединения оказывается практически равным нулю

А) Номинальный режим

В) Режим холостого хода

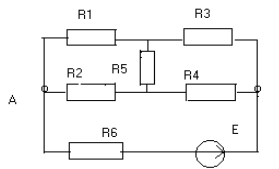
С) Режим короткого замыкания

Д) Рабочий режим

Е) Повторно-кратковременный режим

15.

Найдите эквивалентное сопротивление цепи, преобразовав один из треугольников сопротивлений в эквивалентную звезду, если $R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=R_6=6 \text{ Ом}$



А) 8 Ом

В) 6 Ом

С) 10 Ом

Д) 12 Ом

Е) 4 Ом

16.

Участок электрической цепи постоянного тока называется активным, если он содержит:

А) Источник Э.Д.С с малым внутренним активным сопротивлением

В) Активное сопротивление

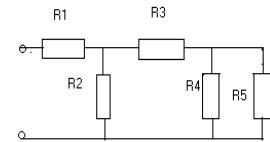
С) Источник Э.Д.С.

Д) Активное сопротивление и источник Э.Д.С.

Е) Конденсатор

17.

Найдите эквивалентное сопротивление цепи, если $R_1=34 \text{ Ом}$, $R_2=12 \text{ Ом}$, $R_3=2 \text{ Ом}$, $R_4=R_5=8 \text{ Ом}$



А) 44 Ом

В) 26 Ом

С) 14 Ом

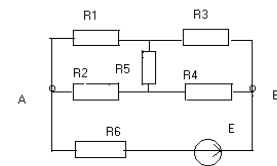
Д) 3,4 Ом

Е) 38 Ом

18.

Найти ток I , если

$R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=R_6=6 \text{ Ом}$, $E=12 \text{ В}$:



А) 2 А

В) 1 А

С) 1,5 А

Д) 0,2 А

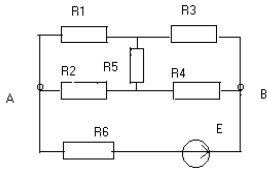
Е) 0,19 А

19

Найдите напряжение U_{ab} ,

если

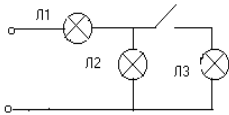
$R_1=R_2=R_3=R_4=R_5=R_6=6 \text{ Ом}$, $r=3 \text{ Ом}$, $E=12 \text{ В}$:



- A) 8 В
- B) 9,6 В
- C) 6 В
- D) 4,8 В
- E) 9 В

20.

Определить, увеличится или уменьшится яркость ламп Л1 и Л2 после включения лампы Л3:



- A) яркость ламп уменьшится
- B) яркость ламп увеличится
- C) яркость лампы Л1 увеличится, Л2 уменьшится
- D) яркость лампы Л1 уменьшится, Л2 увеличится
- E) яркость ламп не изменится

21.

Область применения первого закона Кирхгофа:

- A) Электрическая цепь
- B) Электрическая ветвь
- C) Электрический контур
- D) Узел электрической цепи
- E) Участок цепи

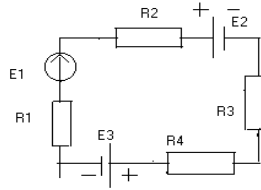
22.

Область применения второго закона Кирхгофа:

- A) Электрическая цепь
- B) Электрическая ветвь
- C) Электрический контур
- D) Узел электрической цепи
- E) Участок цепи

23.

Определите ток в цепи, если Э.Д.С. генератора $E_1 = 100$ В, аккумуляторов $E_2 = 130$ В и $E_3 = 90$ В, $R_1 = 16$ Ом, $R_2 = 12$ Ом, $R_3 = 4$ Ом, $R_4 = 8$ Ом, а внутреннее сопротивление источников $r_1 = 6$ Ом, $r_2 = 9$ Ом, $r_3 = 5$ Ом :



- A) 3 А
- B) 5 А
- C) 1,5 А
- D) 0,5 А
- E) 2 А

24.

Напряжение сети, измеренное вольтметром, $U = 120$ В. Определить амплитуду напряжения

- A) 140 В
- B) 150 В
- C) 160 В
- D) 170 В
- E) 208 В

25.

Амплитуда напряжения $U_m = 170$ В. Определить величину, которую покажет вольтметр

- A) 80 В
- B) 90 В
- C) 100 В
- D) 110 В
- E) 120 В

3 вариант

1

Напряжение на зажимах участка цепи $U = 120$ В. Сопротивление участка цепи $R = 6$ Ом. Определить ток и среднюю мощность:
 A) 20 А, 2400 Вт
 B) 10 А, 2000 Вт

- C) 30 A, 2500 Вт
- Д) 25 A, 2600 Вт
- Е) 35 A, 4000 Вт

2.

Напряжение на зажимах участка цепи $U=120$ В, ток $I=2$ А. Определите среднюю мощность:

- A) 200 Вт
- В) 240 Вт
- С) 300 Вт
- Д) 320 Вт
- Е) 360 Вт

3.

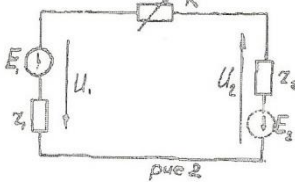
Определите среднюю мощность цепи, если сопротивление участка $R=6$ Ом, а ток $I=20$ А:

- A) 200 Вт
- В) 220 Вт
- С) 2400 Вт
- Д) 260 Вт
- Е) 280 Вт

4.

Сопротивление участка цепи $R=6$ Ом, по цепи проходит ток $I=20$ А. Определить напряжение на зажимах участка цепи:

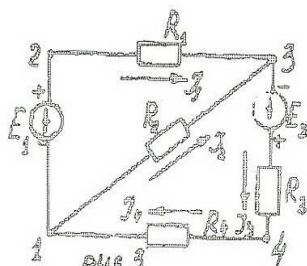
- A) 90 В
- В) 100 В
- С) 110 В
- Д) 120 В
- Е) 130 В



5.

Изменение напряжения U_1 и U_2 на зажимах источников при уменьшении сопротивления R

- A) U_1 увеличится U_2



уменьшится

- В) U_1 и U_2 увеличатся
- С) U_2 увеличится U_1 увеличится
- Д) U_1 и U_2 уменьшатся
- Е) U_1 и U_2 не изменятся

6.

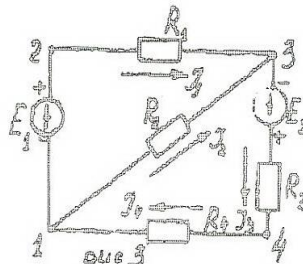
Первый закон Кирхгофа для узла

- A) $I_3=I_1+I_2$;
- В) $I_1+I_2-I_3=0$;
- С) $I_3=I_1+I_2$;
- Д) $I_3=I_1-I_2$;
- Е) $I_1+I_2+I_3=0$;

7.

Второй закон Кирхгофа для контура 1,2,3,4 (рис.3)

- A) $I_1R_1+I_3R_3+I_4R_4=-E_1+E_2$
- В) $I_1R_1+I_3R_3+I_4R_4=E_1+E_2$



- С) $I_1R_1-I_3R_3-I_4R_4=E_1+E_2$
- Д) $IR=E$
- Е) $IR=U$

8.

Указать количество узловых и контурных уравнений, необходимых для определения неизвестных токов. I_1, I_2, I_3, I_4

- A) 1 узловое; 3 контурных
- В) 2 узловых; 1 контурное
- С) 3 узловых; 3 контурных
- Д) 1 узловое; 1 контурное
- Е) 1 узловое; 2 контурных

9.

Указать количество контурных токов и уравнений входящих в систему уравнений для нахождения токов I_1, I_2, I_3, I_4

- A) 2 контурных тока, 2 уравнения

- В) 3 контурных тока, 2 уравнения
- С) 2 контурных тока, 1 уравнение
- Д) 1 контурный ток, 2 уравнения
- Е) 1 контурный ток, 1 уравнение

10.

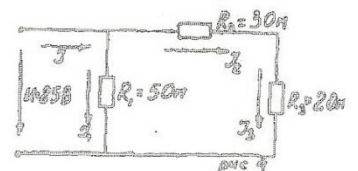
Число независимых уравнений определяемых при методе контурных токов, определяют из соотношения

- A) $n = p - (q - 2)$, где p — число ветвей, а q — число узлов
- В) $n = p - (q - 1)$, где p — число ветвей, а q — число узлов
- С) $n = p - (q - 4)$, где p — число ветвей, а q — число узлов
- Д) $n = p - (q - 3)$, где p — число ветвей, а q — число узлов
- Е) $n = p - (q + 1)$, где p — число ветвей, а q — число узлов

11.

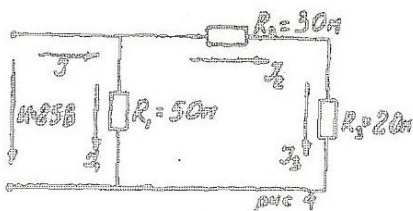
Метод узловых напряжений эффективен при расчете электрических цепей

- A) с двумя узлами и большим количеством параллельных ветвей
- В) с тремя узлами и большим количеством параллельных ветвей
- С) с четырьмя узлами и большим количеством параллельных ветвей



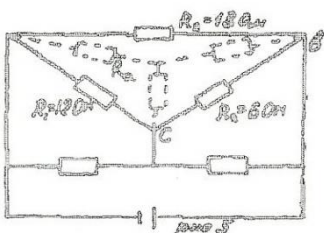
- Д) с пятью узлами и большим количеством параллельных ветвей
- Е) с шестью узлами и большим количеством параллельных ветвей

12.



Узловое напряжение

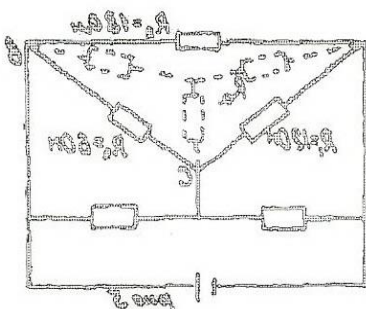
- A) $U_{12} = \sum E_k G_k / \sum G_k$
- B) $U_{12} = \sum E_k G_k / G_k$
- C) $U_{12} = \sum E_k G_k / \sum$
- D) $U_{12} = \sum E_k / \sum G_k$
- E) $U_{12} = E_k R_k / \sum G_k$



13.

Определить эквивалентное сопротивление электрической цепи

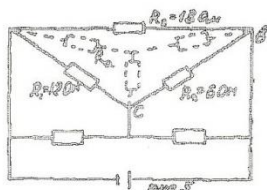
- A) 10 Ом



- B) 5 Ом
- C) 2,5 Ом
- D) 4 Ом
- E) 3 Ом

14.

Определить проводимость



электрической цепи

- A) 2,5 См.
- B) 1 См.
- C) 0,4 См.
- D) 0,2 См

E) 10 См.

15.

Определить ток I в электрической цепи, если $U=25 В$

- A) 10 А
- B) 1 А
- C) 5 А
- D) 2,5 А
- E) 22,5 А

16.

Преобразовать треугольник сопротивлений в звезду и найти R_a

- A) 6 Ом
- B) 2 Ом
- C) 3 Ом
- D) 4 Ом
- E) 12 Ом

17

Преобразовать треугольник сопротивлений в звезду и найти R_b .

- A) 6 Ом
- B) 2 Ом
- C) 3 Ом
- D) 4 Ом
- E) 12 Ом

18.

Преобразовать треугольник сопротивлений в звезду и найти R_c .

- A) 6 Ом
- B) 2 Ом
- C) 3 Ом
- D) 4 Ом
- E) 12 Ом

19.

Указать значение эквивалентного сопротивления последовательной цепи постоянного тока, в омах, состоящей из пяти сопротивлений величиной $R = 2 Ом$.

- A) 6 Ом
- B) 2 Ом
- C) 3 Ом

D) 10 Ом

E) 12 Ом

20.

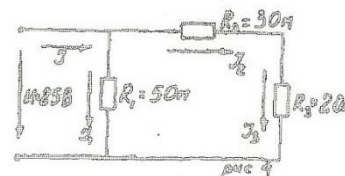
Укажите значение эквивалентного сопротивления последовательной цепи постоянного тока, в омах, состоящей из пяти сопротивлений величиной $R = 10 Ом$.

- A) 6 Ом
- B) 2 Ом
- C) 50 Ом
- D) 10 Ом
- E) 12 Ом

21.

Указать значение эквивалентного сопротивления последовательной цепи постоянного тока, в омах, состоящей из пяти сопротивлений величиной $R = 20 Ом$.

- A) 6 Ом
- B) 2 Ом
- C) 3 Ом



D) 100 Ом

E) 12 Ом

22.

Указать значение эквивалентного сопротивления последовательной цепи постоянного тока, в омах, состоящей из пяти сопротивлений величиной $R = 5 Ом$.

- A) 6 Ом
- B) 2 Ом
- C) 3 Ом
- D) 100 Ом
- E) 25 Ом

23.

Указать значение эквивалентного сопротивления последовательной цепи постоянного тока, в омах, состоящей из пяти сопротивлений величиной $R = 12 \text{ Ом}$.

- A) 60 Ом
- B) 2 Ом
- C) 3 Ом
- D) 100 Ом
- E) 12 Ом

24.

Указать значение эквивалентного сопротивления параллельной цепи постоянного тока, в омах, состоящей из четырёх сопротивлений, величиной 4 Ом.

- A) 6 Ом
- B) 1 Ом
- C) 3 Ом
- D) 100 Ом
- E) 12 Ом

25.

Указать значение эквивалентного сопротивления параллельной цепи постоянного тока, в омах, состоящей из четырёх сопротивлений, величиной 8 Ом.

- A) 6 Ом
- B) 2 Ом
- C) 32 Ом
- D) 100 Ом
- E) 12 Ом

4 вариант

1

Указать значение эквивалентного сопротивления параллельной цепи постоянного тока, в омах, состоящей из четырёх сопротивлений, величиной 16 Ом.

- A) 6 Ом

- В) 2 Ом
С) 4 Ом
D) 100 Ом
E) 12 Ом
2.
Указать значение эквивалентного сопротивления параллельной цепи постоянного тока, в омах, состоящей из четырёх сопротивлений, величиной 40 Ом.
A) 6 Ом
B) 2 Ом
C) 3 Ом
D) 10 Ом
E) 12 Ом
3.
Указать значение эквивалентного сопротивления параллельной цепи постоянного тока, в омах, состоящей из двух сопротивлений, величиной 20 Ом.
A) 6 Ом
B) 2 Ом
C) 3 Ом
D) 5 Ом
E) 12 Ом
4.
Указать значение силы тока, в амперах, текущей через сопротивление, если падение напряжения составляет 20 В, а величина сопротивления 5 Ом.
A) 4 А
B) 2 А
C) 3 А
D) 100 А
E) 12 А
5.
Указать значение силы тока, в амперах, текущей через сопротивление, если падение напряжения составляет 10 В, а величина сопротивления 5 Ом.
A) 4 А
B) 2 А
C) 3 А
D) 100 А
- E) 12 А
6.
Указать значение силы тока, в амперах, текущей через сопротивление, если падение напряжения составляет 200 В, а величина сопротивления 50 Ом.
A) 4 А
B) 2 А
C) 3 А
D) 100 А
E) 12 А
7.
Указать значение силы тока, в амперах, текущей через сопротивление, если падение напряжения составляет 60 В, а величина сопротивления 15 Ом.
A) 20 А
B) 2 А
C) 4 А
D) 100 А
E) 12 А
8.
Указать значение силы тока, в амперах, текущей через сопротивление, если падение напряжения составляет 120 В, а величина сопротивления 12 Ом.
A) 4 А
B) 2 А
C) 3 А
D) 10 А
E) 12 А
9.
Указать значение силы тока I_1 , в амперах, текущего через сопротивление $R_1 = 2$ Ом, цепи постоянного тока с параллельным соединением R_2 и R_1 , если сопротивление $R_2 = 8$ Ом, общий ток равен $I = 10$ А.
A) 7 А
B) 8 А
C) 3 А
D) 100 А
E) 12 А
10.
Указать значение силы тока I_1 , в амперах, текущего через сопротивление $R_1 = 4$ Ом, цепи постоянного тока с параллельным соединением R_2 и R_1 , если сопротивление $R_2 = 6$ Ом, общий ток равен $I = 10$ А.
A) 8 А
B) 3 А
C) 6 А
D) 100 А
E) 12 А
11.
Указать значение силы тока I_1 , в амперах, текущего через сопротивление $R_1 = 2$ Ом, цепи постоянного тока с параллельным соединением R_2 и R_1 , если сопротивление $R_2 = 2$ Ом, общий ток равен $I = 8$ А.
A) 8 А
B) 4 А
C) 3 А
D) 100 А
E) 12 А
12.
Указать значение силы тока I_1 , в амперах, текущего через сопротивление $R_1 = 20$ Ом, цепи постоянного тока с параллельным соединением R_2 и R_1 , если сопротивление $R_2 = 30$ Ом, общий ток равен $I = 5$ А.
A) 8 А
B) 4 А
C) 3 А
D) 100 А
E) 12 А
13.
Указать значение напряжения, в вольтах, на зажимах последовательной цепи постоянного тока, если она состоит из двух сопротивлений $R_1 = 7$ Ом и $R_2 = 8$ Ом, а ток в цепи $I = 2$ А.
A) 8 В
B) 4 В

- C) 30В
D) 100 В
E) 12 В

14.

Указать значение напряжения, в вольтах, на зажимах последовательной цепи постоянного тока, если она состоит из двух сопротивлений $R_1 = 10$ Ом и $R_2 = 20$ Ом, а ток в цепи $I = 2$ А.

- A) 8 В
B) 4 В
C) 30В
D) 60 В
E) 12 В

15.

Введите значение напряжения, в вольтах, на зажимах последовательной цепи постоянного тока, если она состоит из двух сопротивлений $R_1 = 15$ Ом и $R_2 = 25$ Ом, а ток в цепи $I = 1$ А.

- A) 8 В
B) 4 В
C) 40В
D) 100 В
E) 12 В

16.

Введите значение напряжения, в вольтах, на зажимах последовательной цепи постоянного тока, если она состоит из двух сопротивлений $R_1 = 40$ Ом и $R_2 = 60$ Ом, а ток в цепи $I = 0,5$ А.

- A) 8 В
B) 4 В
C) 30В
D) 50 В
E) 12 В

17.

Введите значение напряжения, в вольтах, на зажимах последовательной цепи постоянного тока, если она состоит из двух

сопротивлений $R_1 = 70$ Ом и $R_2 = 30$ Ом, а ток в цепи $I = 0,1$ А.

- A) 8 В
B) 4 В
C) 30В
D) 10 В
E) 12 В

18.

Укажите значение силы тока I_1 , в амперах, текущего через сопротивление $R_1 = 10$ Ом, цепи постоянного тока с параллельным соединением R_2 и R_1 , если сопротивление $R_2 = 10$ Ом, общий ток равен $I = 20$ А.

- A) 8 А
B) 4 А
C) 3А
D) 100 А
E) 10 А

19.

Укажите величину силы тока I_1 , в амперах, втекающего в узел цепи постоянного тока, если известно, что вытекающие токи равны: $I_2 = 2$ А, $I_3 = 3$ А.

- A) 8 А
B) 4 А
C) 5А
D) 100 А
E) 10 А

20.

Укажите величину силы тока I_1 , в амперах, втекающего в узел цепи постоянного тока, если известно, что вытекающие токи равны: $I_2 = 1$ А, $I_3 = 1$ А.

- A) 2 А
B) 8 А
C) 3А
D) 100 А
E) 10 А

21.

Укажите величину силы тока I_1 , в амперах, втекающего в узел цепи постоянного тока, если известно, что

вытекающие токи равны: $I_2 = 2$ А, $I_3 = 5$ А.

- A) 8 А
B) 4 А
C) 3А
D) 100 А
E) 7 А

22.

Укажите величину силы тока I_1 , в амперах, втекающего в узел цепи постоянного тока, если известно, что вытекающие токи равны: $I_2 = 6$ А, $I_3 = 3$ А.

- A) 8 А
B) 4 А
C) 9А
D) 100 А
E) 10 А

23.

Укажите величину силы тока I_1 , в амперах, втекающего в узел цепи постоянного тока, если известно, что вытекающие токи равны: $I_2 = 1$ А, $I_3 = 4$ А.

- A) 8 А
B) 4 А
C) 3А
D) 100 А
E) 5 А

24.

Э. д.с. батареи источников постоянного тока, состоящей из последовательно соединённых источников равна

- A) сумме э.д.с. источников
B) наибольшей из э.д.с. источников
C) наименьшей из э.д.с. источников
D) нулю
E) произведению э.д.с. источников

25.

Э. д.с. батареи источников постоянного тока, состоящей из параллельно соединённых источников с одинаковыми э.д.с. равна

- А) сумме э.д.с. источников
- В) э.д.с. одного источника
- С) произведению э.д.с. источника на число источников
- Д) нулю
- Е) произведению э.д.с. источников

5 вариант

1

Укажите значение мощности, в ваттах, выделяющейся в цепи постоянного тока если ток текущий в ней равен $I = 2$ А, а напряжение на зажимах цепи составляет 12 В.

- А) 8 Вт
- В) 4 Вт
- С) 3Вт

- D) 24 Вт
E) 10 Вт

2.

Укажите значение мощности, в ваттах, выделяющейся в цепи постоянного тока если ток текущий в ней равен $I = 5$ А, а напряжение на зажимах цепи составляет 20 В

- A) 8 Вт
B) 4 Вт
C) 3Вт
D) 100 Вт
E) 10 Вт

3.

Укажите значение мощности, в ваттах, выделяющейся в цепи постоянного тока если ток текущий в ней равен $I = 1$ А, а напряжение на зажимах цепи составляет 50 В.

- A) 8 Вт
B) 4 Вт
C) 50Вт
D) 100 Вт
E) 10 Вт

4.

Укажите значение мощности, в ваттах, выделяющейся в цепи постоянного тока если ток текущий в ней равен $I = 3$ А, а напряжение на зажимах цепи составляет 10 В.

- A) 8 Вт
B) 4 Вт
C) 30Вт
D) 100 Вт
E) 10 Вт

5.

Укажите значение мощности, в ваттах, выделяющейся в цепи постоянного тока если ток текущий в ней равен $I = 5$ А, а напряжение на зажимах цепи составляет 6 В.

- A) 8 Вт
B) 4 Вт
C) 30Вт
D) 100 Вт
E) 10 Вт

6.

Если сопротивления соединены между собой так, что конец первого соединён с началом второго, конец второго – с началом третьего и т.д., то такое соединение называется

- A) Смешанным
B) Последовательным
C) Параллельным
D) “Звездой”
E) “Треугольником”

7.

Если сопротивления соединены между собой так, что начала сопротивлений соединены в одну точку, а концы – соединены в другую точку, то такое соединение называется

- A) Смешанным
B) Последовательным
C) Параллельным
D) “Звездой”
E) “Треугольником”

8.

Установлено, что закон Ома применим к нелинейным цепям. Указать, применимы ли к нелинейным цепям законы Кирхгофа

- A) Нет
B) Да
C) Иногда
D) Первый закон - да, второй - нет
E) Первый закон - нет, второй – да

9.

Установлено, что законы Кирхгофа применимы к нелинейным цепям. Указать, применим ли закон Ома для участка и полной цепи к нелинейным цепям

- A) Нет
B) Да
C) Иногда
D) Для участка цепи - да, для полной - нет
E) Для участка цепи- да, для полной – да

10.

Магнитное поле одно из двух сторон

- A) Электромагнитного поля
B) Индукционного поля
C) Электрического поля
D) СТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ
E) Электростатического поля

11.

Магнитное поле характеризуется воздействием на электрически заряженную частицу с силой

- A) Заряду и скорости частицы
B) Заряду частицы
C) Скорости частицы
D) Массе частицы
E) Заряду, массе и скорости частицы

12.

Магнитное поле исследуется

- A) Положительным зарядом
B) Элементарной магнитной стрелкой
C) Пробным зарядом
D) Точечным зарядом
E) Отрицательным зарядом

13.

Магнитная индукция

- A) В
B) Т
C) Ф
D) Н
E) S

14

Единицы измерения магнитной индукции

- A) Вб
B) Тл
C) А/м
D) Н
E) А

15

Магнитный поток

- A) $N = (1/\epsilon_0) * \sum Q$
B) $\Phi = BS \cos \beta$
C) $B = \mu_0 H$
D) $\sum I = N \ell$



рис. 6



рис. 7

Е) $dF_M = \mu_0 \cdot I_1 \cdot dl_1 \cdot I_2 \cdot dl_2 \cdot \sin\alpha / 4\pi \cdot r^2$

16

Напряженность магнитного поля

- A) В
- B) Т
- C) Ф
- D) Н
- E) S

17

Единицы измерения напряженности магнитного поля

- A) В
- B) Т
- C) А/м
- D) Н
- E) S

18

Магнитная индукция в воздушном зазоре

- A) $N = (1/ \epsilon_0) \cdot \sum Q$
- B) $\Phi = BScos\beta$
- C) $B = \mu_0 H$
- D) $\sum I = H \ell$
- E) $dF_M = \mu_0 \cdot I_1 \cdot dl_1 \cdot I_2 \cdot dl_2 \cdot \sin\alpha / 4\pi \cdot r^2$

19

Закон полного тока

- A) $N = (1/ \epsilon_0) \cdot \sum Q$
- B) $\Phi = BScos\beta$
- C) $B = \mu_0 H$
- D) $\sum I = H \ell$
- E) $dF_M = \mu_0 \cdot I_1 \cdot dl_1 \cdot I_2 \cdot dl_2 \cdot \sin\alpha / 4\pi \cdot r^2$

20

Поле, возникающее вокруг движущихся электрических зарядов

- A) Магнитное
- B) Электрическое
- C) Электромагнитное
- D) Электростатическое

Е) Индукционное

21

Определить силовые линии магнитных полей (рис 6)

- A) Против часовой стрелки
- B) По часовой стрелке
- C) Вниз
- D) Вправо
- E) Влево

22

Определить силовые линии магнитных полей (рис 7)

- A) Против часовой стрелки
- B) По часовой стрелке
- C) Вниз
- D) Вправо
- E) Влево

23

Математическое выражение закона Био-Савара

- A) $N = (1/ \epsilon_0) \sum Q$
- B) $\Phi = BScos\beta$
- C) $dB = (\mu_0 I d I_1 / 4\pi r^2) \sin\alpha$
- D) $\sum I = H \ell$
- E) $dF_M = \mu_0 I_1 dl_1 I_2 dl_2 \sin\alpha / 4\pi r^2$

24

Закон Ампера

- A) $N = (1/ \epsilon_0) \sum Q$
- B) $\Phi = BScos\beta$
- C) $B = \mu_0 H$
- D) $\sum I = H \ell$
- E) $dF_M = \mu_0 I_1 dl_1 I_2 dl_2 \sin\alpha / 4\pi r^2$

25

Математическое выражение теоремы Гаусса

- A) $\Phi = (1/ \epsilon_0) \sum Q$
- B) $\Phi = BScos\beta$
- C) $B = \mu_0 H$
- D) $\sum I = H \ell$
- E) $dF_M = \mu_0 I_1 dl_1 I_2 dl_2 \sin\alpha / 4\pi r^2$

6 вариант

1

Потокоцепление

- A) $\psi = N\Phi$
- B) $N = (1/ \epsilon_0) \sum Q$
- C) $M = \sqrt{L_1 L_2}$
- D) $\sum I = H \ell$
- E) $dF_M = \mu_0 I_1 dl_1 I_2 dl_2 \sin\alpha / 4\pi r^2$

2.

Взаимоиндукция

- A) $\psi = N\Phi$

- B) $N = (1/\epsilon_0)\sum Q$
 C) $M = \sqrt{L_1 L_2}$
 D) $\sum I = H \ell$
 E) $dF_M = \mu_0 I_1 d\ell_1 I_2 d\ell_2 \sin\alpha / 4\pi r^2$

3.

Указать материал не проявляющий ферромагнитных свойств

- A) Кобальт
 B) Никель
 C) Платина
 D) Железо
 E) Сера

4.

Свойство магнитной цепи являющееся главным

- A) Нелинейность
 B) Способность насыщаться
 C) Малое магнитное сопротивление
 D) Способность сохранять остаточную намагниченность
 E) Способность не сохранять намагниченность

5.

Магнитное сопротивление сердечника

- A) $R_M = l / \mu_A S$
 B) $N = (1/\epsilon_0)\sum Q$
 C) $M = \sqrt{L_1 L_2}$
 D) $\sum I = H \ell$
 E) $dF_M = \mu_0 I_1 d\ell_1 I_2 d\ell_2 \sin\alpha / 4\pi r^2$

6.

Закон электромагнитной индукции

- A) $R_M = l / \mu_A S$
 B) $N = (1/\epsilon_0)\sum Q$
 C) $M = \sqrt{L_1 * L_2}$
 D) $\sum I = H \ell$
 E) $\epsilon = -d\Phi/dt$

7.

Сила Лоренца

- A) $F_L = BeV$
 B) $N = (1/\epsilon_0)\sum Q$
 C) $M = \sqrt{L_1 L_2}$
 D) $\sum I = H \ell$
 E) $\epsilon = -d\Phi/dt$

8.

ЭДС самоиндукции

- A) $\epsilon = -d\Phi/dt$
 B) $N = (1/\epsilon_0)\sum Q$
 C) $M = \sqrt{L_1 L_2}$
 D) $\sum I = H \ell$
 E) $dF_M = \mu_0 I_1 d\ell_1 I_2 d\ell_2 \sin\alpha / 4\pi r^2$

9.

Заданы токи $I_1 = 2A$, $I_2 = 3A$, $I_3 = 5A$. Определить полный ток, пронизывающий поверхность

- A) 6 A
 B) 8 A
 C) 5 A
 D) 10 A
 E) 2 A

10.

Соотношение между частотой вращения рамки (n) и скоростью поля (n_0) для синхронного двигателя

- A) $n < n_0$
 B) $n > n_0$
 C) $n = n_0$
 D) $n \geq n_0$
 E) $n \leq n_0$

11.

Трансформаторы используемые для питания жилых помещений

- A) Силовые
 B) Измерительные
 C) Специальные
 D) Трансформаторы тока
 E) Трансформаторы напряжения

12.

Энергия электрического поля конденсатора

- A) $P = I U \cos\varphi$
 B) $W = mV^2 / 2$
 C) $W_M = LI_2 / 2$
 D) $S = I\dot{U}$
 E) $W_3 = CU^2 / 2$

13.

Энергия магнитного поля

- A) $P = I U \cos\varphi$
 B) $W = mV^2 / 2$
 C) $W_M = LI_2 / 2$

D) $S = I\dot{U}$

E) $W_3 = C*U^2/2$

14.

Пробой диэлектрика наступает при

- A) Увеличении тока
 B) Увеличении напряженности электрического поля
 C) Увеличении электрической нагрузки
 D) Увеличении тока, увеличении напряженности электрического поля, увеличении электрической нагрузки
 E) Уменьшении тока

15.

Ёмкость батареи конденсаторов, состоящей из 2 конденсаторов, соединенных последовательно, параллельно

- A) $C_6 = C_1 C_2 / C_1 + C_2$; $C_6 = C_1 + C_2$
 B) $C_6 = C_1 + C_2$; $C_6 = C_1 C_2 / (C_1 + C_2)$
 C) $C_6 = C_1 + C_2$; $C_6 = C_1 + C_2 / C_1 C_2$
 D) $C_6 = C_1 - C_2$; $C_6 = C_1 + C_2 / C_1 C_2$
 E) $1/C_6 = 1/C_1 + 1/C_2$; $C_6 = C_1 C_2 / C_1 + C_2$

16.

Индуктивность в системе магнитосвязанных катушек при согласном включении

- A) $L = L_1 + L_2 + 2M$
 B) $L = L_1 + L_2 - 2M$
 C) $L = L_1 - L_2 - 2M$
 D) $L = L_1 - L_2$
 E) $L = L_1 + L_2$

17.

Индуктивность в системе магнитосвязанных катушек встречном включении

- A) $L = L_1 + L_2 + 2M$
 B) $L = L_1 + L_2 - 2M$
 C) $L = L_1 - L_2 - 2M$
 D) $L = L_1 - L_2$

E) $L = L_1 + L_2$

18.

Время одного полного колебания электрической величины, называют

- A) Частотой переменного тока
- B) Амплитудным значением силы тока
- C) Амплитудным значением напряжения
- D) Периодом переменного тока
- E) Сопротивлением электрической цепи

19.

Величину, обратную периоду, называют

- A) амплитудным значением силы тока
- B) амплитудным значением напряжения
- C) частотой электрического тока
- D) начальной фазой электрического тока
- E) Сопротивлением электрической цепи

20.

Мгновенные значения силы тока

- A) $i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$
- B) $f = 1/T$
- C) $\omega = 2\pi/T$
- D) $T = 2\pi f$
- E) $i = I_{\max} / \sqrt{2}$

21.

Угловая скорость

- A) $\omega = 2\pi/T$
- B) $f = 1/T$
- C) $i = I_{\max} / \sqrt{2}$
- D) $T = 2\pi f$
- E) $i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$

22.

Частота переменного тока

- A) $\omega = 2\pi/T$
- B) $f = 1/T$
- C) $i = I_{\max} / \sqrt{2}$
- D) $T = 2\pi f$

E) $i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$

23.

Реактивное индуктивное сопротивление

- A) $= U/I_R$
- B) $Z = \sqrt{R^2 - X^2}$
- C) $X = X_L - X_C$
- D) $X = \omega L$
- E) $X_C = 1/\omega C$

24.

Реактивное емкостное сопротивление

- A) $= U/I_R$
- B) $Z = \sqrt{R^2 - X^2}$
- C) $X = X_L - X_C$
- D) $X = \omega L$
- E) $X_C = 1/\omega C$

25.

Реактивное сопротивление

- A) $= U/I_R$
- B) $Z = \sqrt{R^2 - X^2}$
- C) $X = X_L - X_C$
- D) $X = \omega L$
- E) $X_C = 1/\omega C$

7 вариант

1

Полное сопротивление

- A) $= U/I_R$
- B) $Z = \sqrt{R^2 + X^2}$
- C) $X = X_L - X_C$
- D) $X = \omega L$
- E) $X_C = 1/\omega C$

2

Активное сопротивление

- A) $= U/I_R$
- B) $Z = \sqrt{R^2 - X^2}$

- C) $X = X_L - X_C$
D) $X = \omega L$
E) $X_C = 1/\omega C$
- 3
Действующая величина синусоидального тока
A) $I = U/R$
B) $i = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$
C) $I = I_m/\sqrt{2}$
D) $U = U_m/\sqrt{2}$
E) $E = E_m/\sqrt{2}$
- 4
В цепи с активным сопротивлением энергия источника преобразуется в энергию:
A) Магнитного поля
B) Электрического поля
C) Тепловую
D) Электромагнитных полей и тепловую
E) Механическую
- 5
Активная мощность
A) $Q = I^2 X$
B) $P = I U \cos\varphi$
C) $Q = I U \sin\varphi$
D) $S = I U$
E) $S = I^2 Z$
- 6
Активная мощность
A) $Q = I^2 X$
B) $P = I^2 R$
C) $Q = I U \sin\varphi$
D) $S = I U$
E) $S = I^2 Z$
- 7
Реактивная мощность
A) $P = I^2 R$
B) $P = I U \cos\varphi$
C) $Q = I U \sin\varphi$
D) $S = I U$
E) $S = I^2 Z$
- 8
Реактивная мощность
A) $P = I^2 R$
B) $P = I U \cos\varphi$
C) $Q = I^2 X$
D) $S = I U$
E) $S = I^2 Z$
- 9
Полная мощность
A) $P = I^2 R$
B) $P = I U \cos\varphi$
C) $Q = I U \sin\varphi$
D) $Q = I^2 X$
E) $S = I^2 Z$
- 10
Полная мощность
A) $P = I^2 R$
B) $P = I U \cos\varphi$
C) $Q = I U \sin\varphi$
D) $S = I U$
E) $Q = I^2 X$
- 11
 $\cos \varphi = \dots$
A) L/S
B) X/Z
C) Q/S
D) X/S
E) R/Z
- 12
 $\sin \varphi = \dots$
A) P/S
B) X/Z
C) L/S
D) X/S
E) R/Z
- 13
В сеть $f=50$ Гц включена катушка с индуктивностью $L=0,0127$ Гн и ничтожным активным сопротивлением. Определить реактивное сопротивление катушки X_L :
A) 0,5 Ом
B) 1 Ом
C) 2 Ом
D) 3 Ом
E) 4 Ом
- 14
В сеть $U=20$ В включена катушка с ничтожно малым активным сопротивлением и реактивным сопротивлением $X_L=4$ Ом. Определить ток в катушке:
A) 30 А
B) 40 А
- C) 5 А
D) 20 А
E) 10 А
- 15
В сеть $U=120$ В включена катушка, по которой течет ток $I=30$ А, $\sin\varphi=1$
Определить реактивную мощность катушки Q :
A) 3500 вар
B) 3600 вар
C) 3800 вар
D) 4000 вар
E) 4100 вар
- 16
В сеть $I=30$ А включена катушка с индуктивностью $L=0,01$ Гн. Определить энергию, запасаемую в магнитном поле катушкой W_{LM} :
A) 9,15 Дж
B) 8,5 Дж
C) 4,5 Дж
D) 12,48 Дж
E) 13,01 Дж
- 17
В сеть включена катушка с реактивной мощностью $Q=3600$ вар, ток $I=30$ А, $\sin\varphi=1$, Определить напряжение сети:
A) 260 В
B) 240 В
C) 220 В
D) 120 В
E) 100 В
- 18
Катушка с индуктивностью $L=0,01$ Гн имеет запас энергии $W_{LM}=4,5$ Дж в магнитном поле катушки. Определить ток I в катушке:
A) 60 А
B) 50 А
C) 45 А
D) 40 А
E) 30 А
- 19

К генератору с частотой 50 Гц присоединен конденсатор $C = 40 \text{ мкФ}$.

Определить реактивное сопротивление X_C :

- A) 80 Ом
- B) 90 Ом
- C) 100 Ом
- D) 110 Ом
- E) 120 Ом

20

Определить ток в цепи конденсатора, присоединенного к генератору с напряжением $U = 240 \text{ В}$. Реактивное сопротивление емкости $X_C = 80 \text{ Ом}$.

- A) 2 А
- B) 3 А
- C) 4 А
- D) 5 А
- E) 6 А

21

Определить реактивную мощность цепи, присоединенной к генератору с напряжением $U = 240 \text{ В}$, если ток I в цепи 3 А, $\sin\varphi = 1$

- A) 680 вар
- B) 700 вар
- C) 720 вар
- D) 750 вар
- E) 780 вар

22

К генератору с напряжением $U = 240 \text{ В}$ присоединен конденсатор емкостью $C = 40 \text{ мкФ}$. Определить максимальную энергию, запасаемую в электрическом поле конденсатора

- A) 2,0 Дж
- B) 2,1 Дж
- C) 2,4 Дж
- D) 1,15 Дж
- E) 2,5 Дж

23

Определить емкость конденсатора, с реактивным

сопротивлением $X_C = 80 \text{ Ом}$, присоединенного к генератору $f = 50 \text{ Гц}$:

- A) 1 мкФ
- B) 10 мкФ
- C) 20 мкФ
- D) 30 мкФ
- E) 40 мкФ

24.

Определить частоту в сети f , если к генератору присоединен конденсатор емкостью $C = 40 \text{ мкФ}$ и реактивным сопротивлением емкости $X_C = 80 \text{ Ом}$:

- A) 50 Гц
- B) 55 Гц
- C) 60 Гц
- D) 63 Гц
- E) 70 Гц

25

К генератору с каким напряжением U присоединен конденсатор с реактивным сопротивлением емкости $X_C = 80 \text{ Ом}$, если ток в цепи $I = 3 \text{ А}$

- A) 200 В
- B) 240 В
- C) 250 В
- D) 270 В
- E) 300 В

8 вариант

1

Реактивная мощность цепи $Q_C = 720 \text{ вар}$. Чему равен ток в цепи I генератора с напряжением 240 В:

- A) 1 А
- B) 2 А
- C) 3 А
- D) 4 А
- E) 5 А

2. Максимальная энергия, запасаемая в электрическом поле конденсатора с $C=40$ мкФ равна $W_C=2,3$ Дж. Указать необходимое напряжение генератора
 A) 200 В
 B) 210 В
 C) 230 В
 D) 240 В
 E) 339 В
3. В сеть $f=50$ Гц включена катушка с индуктивностью $L=0,0255$ Гн. Определить реактивное сопротивление катушки X_L :
 A) 20 Ом
 B) 18 Ом
 C) 17 Ом
 D) 12 Ом
 E) 8 Ом
4. Определите полное сопротивление цепи Z , если активное сопротивление катушки $r=6$ Ом, а реактивное сопротивление катушки $X_L=8$ Ом:
 A) 10 Ом
 B) 13,5 Ом
 C) 15 Ом
 D) 8 Ом
 E) 11 Ом
5. Определите ток сети $U=120$ В, в которую включена катушка с полным сопротивлением катушки $Z=10$ Ом:
 A) 9 А
 B) 12 А
 C) 15 А
 D) 16 А
 E) 20 А
6. Определить активную составляющую напряжения U_A , если в сеть с током $I=12$ А подключена катушка с активным сопротивлением $R=6$ Ом:
 A) 58 В
 B) 60 В
 C) 72 В
 D) 75 В
 E) 79 В
7. Определить индуктивную составляющую напряжения U_L , если в сеть с током $I=12$ А подключена катушка с реактивным сопротивлением $X_L=8$ Ом:
 A) 150 В
 B) 100 В
 C) 200 В
 D) 96 В
 E) 110 В
8. Определить $\cos \varphi$ сети, в которую включена катушка с активным сопротивлением $R=6$ Ом и реактивным $X_L=8$ Ом:
 A) 1,0
 B) 0,9
 C) 0,8
 D) 0,7
 E) 0,6
9. В сеть $U=120$ В включена катушка с активным сопротивлением $R=6$ Ом и реактивным сопротивлением $X_L=8$ Ом. Определите силу тока I .
 A) 12 А
 B) 10 А
 C) 8 А
 D) 15 А
 E) 18 А
10. Определить силу тока I в сети 120 В, в которую включена катушка с полным сопротивлением $Z=10$ Ом:
 A) 10 А
 B) 12 А
 C) 15 А
 D) 20 А
 E) 21 А
11. Определить силу тока в сети I , если активная составляющая напряжения $U_A=72$ В, а катушка, включенная в сеть имеет активное сопротивление $R=6$ Ом и реактивное сопротивление $X_L=8$ Ом:
 A) 5 А
 B) 6 А
 C) 7,2 А
 D) 16 А
 E) 20 А
12. Определить силу тока в сети I . Если активное сопротивление катушки, включенной в сеть $R=6$ Ом $U=120$ В:
 A) 5 А
 B) 6 А
 C) 10 А
 D) 20 А
 E) 16 А
13. Определить $\sin \varphi$, если полное сопротивление цепи $Z=10$ Ом, а реактивное сопротивление $X_L=8$ Ом:
 A) 1,0
 B) 0,95
 C) 0,9
 D) 0,8
 E) 0,6
14. Определить силу тока в цепи I , если $f=50$ Гц, индуктивная составляющая напряжения $U_L=96$ В, а индуктивность катушки $L=25,2$ мГн:
 A) 12 А
 B) 15 А

- C) 18 А
D) 20 А
E) 22 А

15.

Напряжение на зажимах цепи $U=240$ В, ток $I=4$ А, коэффициент мощности $\cos \varphi=0,8$. Определите среднюю мощность:

- A) 612 Вт
B) 768 Вт
C) 791 Вт
D) 812 Вт
E) 850 Вт

16

Напряжение на зажимах цепи $U=240$ в, средняя мощность $P=768$ Вт, коэффициент мощности $\cos \varphi=0,8$.

Определить силу тока I :

- A) 2 А
B) 3 А
C) 4 А
D) 5 А
E) 6 А

17

Определить $\cos \varphi$, если напряжение на зажимах цепи $U=240$ В, ток $I=4$ А, средняя мощность $P=768$ Вт

- A) 1,0
B) 0,95
C) 0,9
D) 0,8
E) 0,7

18

Определите напряжение на зажимах цепи, если $I=4$ А, средняя мощность $P=768$ Вт, а $\cos \varphi=0,8$:

- A) 150 В
B) 180 В
C) 200 В
D) 220 В
E) 240 В

19

Напряжение на зажимах цепи $U=111$ В, ток $I=2$ А, коэффициент мощности \cos

$\varphi=0,9$. Определить энергию, израсходованную в цепи за время $t=0,03$ ч:

- A) 5,99 Вт ч
B) 6,12 Вт ч
C) 6,48 Вт ч
D) 6,52 Вт ч
E) 7,02 Вт ч

20

Напряжение на зажимах цепи $U=111$ В, ток $I=2$ А, коэффициент мощности $\cos \varphi=0,9$. Определить среднюю мощность P :

- A) 185,3 Вт
B) 199,8 Вт
C) 241,3 Вт
D) 253,6 Вт
E) 269,8 Вт

21

Напряжение на зажимах цепи $U=220$ В, ток $I=3$ А, коэффициент мощности $\cos \varphi=0,85$. Определить среднюю мощность P

- A) 330 Вт
B) 370 Вт
C) 561 Вт
D) 582,3 Вт
E) 601,9 Вт

22

Напряжение на зажимах цепи $U=220$ В, ток $I=3$ А, коэффициент мощности $\cos \varphi=0,85$. Определить энергию W , израсходованную в цепи за время $t=1,2$ ч.

- A) 401,5 Вт.ч
B) 444,3 Вт.ч
C) 673,2 Вт.ч
D) 704,8 Вт.ч
E) 728,3 Вт.ч

23

Напряжение на зажимах цепи $U=220$ В, ток $I=3$ А, коэффициент мощности $\cos \varphi=0,85$. Определить время t , в течение которого израсходовано 673,2 Вт.ч энергии:

- A) 0,73 ч.

B) 0,95 ч.

C) 1,0 ч.

D) 1,2 ч.

E) 1,9 ч.

24

За 1,2 ч. израсходовано 673,2 Вт.ч энергии. Определить напряжение на зажимах цепи, если $I=3$ А, $\cos \varphi=0,85$:

- A) 280 В
B) 265 В
C) 240 В
D) 230 В
E) 220 В

25

Напряжение на зажимах цепи $U=220$ В, ток $I=3$ А, коэффициент мощности $\cos \varphi=0,9$. Определить среднюю мощность P

- A) 330 Вт
B) 370 Вт
C) 561 Вт
D) 594 Вт
E) 601,9 Вт

9 вариант

1

Напряжение на зажимах цепи $U=220$ В, ток $I=3$ А, коэффициент мощности $\cos \varphi=0,9$. Определить энергию W , израсходованную в цепи за время $t=1$ ч.

- A) 401,5 Вт.ч
B) 444,3 Вт.ч
C) 673,2 Вт.ч

- D) 594 Вт.ч
E) 728,3 Вт.ч
- 2
Напряжение на зажимах цепи $U=220$ В, ток $I=3$ А, коэффициент мощности $\cos \varphi=0,9$. Определить время t , в течение которого израсходовано 594 Вт.ч энергии:
A) 0,73 ч.
B) 0,95 ч.
C) 1,0 ч.
D) 1,2 ч.
E) 1,9 ч.
- 3
За 1 ч. израсходовано 594 Вт.ч энергии. Определить напряжение на зажимах цепи, если $I=3$ А, $\cos \varphi=0,9$:
A) 280 В
B) 265 В
C) 240 В
D) 230 В
E) 220 В
- 4
В сеть 50 Гц включена катушка с индуктивностью $L=0,0127$ Гн и активным сопротивлением $r=3$ Ом. Определить реактивное и полное сопротивление катушки:
A) 4 Ом
B) 5 Ом
C) 7 Ом
D) 9 Ом
E) 11 Ом
- 5
В сеть 50 Гц включена катушка с индуктивностью $L=0,0127$ Гн и активным сопротивлением $r=3$ Ом. Определить полное сопротивление катушки:
A) 4 Ом,
B) 5 Ом
C) 7 Ом
D) 9 Ом
E) 11 Ом
- 6
В сеть 50 Гц, 150 В включена катушка с активным сопротивлением $r=3$ Ом и индуктивностью $L=0,0127$ Гн. Определить реактивное сопротивление катушки X_L ток I катушки:
A) 3 Ом, 20 А
B) 4 Ом, 30 А
C) 6 Ом, 40 А
D) 7 Ом, 50 А
E) 8 Ом, 60 А
- 7
В сеть 50 Гц, 150 В включена катушка с полным сопротивлением $Z=5$ Ом и активным сопротивлением 3 Ом. Определить активную мощность катушки:
A) 2000Вт
B) 2400 Вт
C) 2700 Вт
D) 3000 Вт
E) 3300 Вт
- 8
В сеть 50 Гц, включена катушка с активным сопротивлением 3 Ом и индуктивностью $L=0,0127$ Гн. Определить реактивное сопротивление катушки X_L и $\cos \varphi$:
A) 1 Ом, 0,5
B) 2 Ом, 0,6
C) 3 Ом, 0,7
D) 4 Ом, 0,6
E) 5 Ом, 0,9
- 9
Определить реактивную мощность катушки (Q), включенную в сеть $U=150$ В, $I=30$ А, если реактивное сопротивление катушки $X_L=4$ Ом, а полное $Z=5$ Ом:
A) 2400 вар
B) 2700 вар
C) 3000 вар
D) 3400 вар
- E) 3600 вар
- 10
В сеть 150 В включена катушка с индуктивностью $L=0,0127$ Гн и полным сопротивлением $Z=5$ Ом. Определить энергию, запасаемую в магнитном поле катушки W_{LM} :
A) 5,715 Дж
B) 12,54 Дж
C) 12,91 Дж
D) 13,08 Дж
E) 13,57 Дж
- 11
В сеть 150 В включена катушка с полным сопротивлением $Z=5$ Ом. Определите индуктивность L , если энергия магнитного поля катушки составляет $W_{LM}=5,715$ Дж.
A) 0.0009 Гн
B) 0,0127 Гн
C) 0,0131 Гн
D) 0,0138 Гн
E) 0,0152 Гн
- 12
В сеть $U=50$ В включена катушка с реактивным сопротивлением $X_L=4$ Ом и активным сопротивлением $Z=5$ Ом. Определите силу тока I , если реактивная мощность катушки составляет 3600 вар:
A) 10 А
B) 20 А
C) 30 А
D) 40 А
E) 50 А
- 13
В сеть $U=120$ В, $I=12$ А включена катушка с активным сопротивлением $R=6$ Ом. Определить максимальную мощность в активном сопротивлении $P_{a.m.}$:
A) 763 Вт

- B) 798 Вт
C) 832 Вт
D) 850 Вт
E) 864 Вт

14

Определите реактивную мощность Q для сети $U=120$ В, если полное сопротивление катушки, включенной в сеть составляет $Z=10$ Ом, реактивное сопротивление $X_L=8$ Ом:

- A) 1152 вар
B) 1173 вар
C) 1204 вар
D) 1287 вар
E) 1311 вар

15

Определите полную мощность S для сети $U=120$ В, если катушка, включенная в сеть имеет следующие сопротивления: $R=6$ Ом, $X_L=8$ Ом:

- A) 1200 В.А.
B) 1440 В.А.
C) 1560 В.А.
D) 1610 В.А.
E) 1670 В.А.

16

Напряжение на зажимах цепи $U=240$ В, ток $I=4$ А, коэффициент мощности $\cos \varphi=0,8$. Определите среднюю мощность:

- A) 663 Вт
B) 712 Вт
C) 768 Вт
D) 791 Вт
E) 804 Вт

17

Определить $\cos \varphi$, если напряжение на зажимах цепи $U=240$ В, ток $I=4$ А, а средняя мощность составляет 768 Вт:

- A) 0,6
B) 0,65
C) 0,7
D) 0,8
E) 0,9

18

Чему равен ток, если напряжение на зажимах цепи $U=220$ В, коэффициент мощности $\cos \varphi=0,8$, а средняя мощность составляет 768 Вт:

- A) 2,0 А
B) 2,5 А
C) 3,0 А
D) 3,5 А
E) 4 А

19

К сети $f=50$ Гц присоединена цепь, состоящая из конденсатора емкостью $C=40$ мкФ и сопротивлением $R=60$ Ом. Определить реактивное сопротивление емкости X_C и полное сопротивление цепи Z :

- A) 80 Ом, 100 Ом
B) 87 Ом, 112 Ом
C) 93 Ом, 120 Ом
D) 100 Ом, 125 Ом
E) 110 Ом, 130 Ом

20

Найдите реактивную мощность на участке цепи с последовательно соединенными элементами R, L, C , если $R=3$ Ом, $X_L=6$ Ом, $X_C=2$ Ом, $U=10$ В

- A) 3,24 вар
B) 16 вар
C) 6,15 вар
D) 8,18 вар
E) 43,56 вар

21

Найти активную мощность на участке цепи с последовательно соединенными элементами R, L, C , если $R=3$ Ом, $X_L=6$

Ом, $X_C=2$ Ом,

$U=10$ В:

- A) 6 Вт
B) 12 Вт

- C) 2,43 Вт
D) 2,7 Вт
E) 3,72 Вт

22

Укажите режим работы неразветвленной цепи с активным характером нагрузки:

A) $U_L > U_C < U_R$

B) $U_L > U_R$

C) $U_L < U_C > U_R$

D) $U_C < U_R$

E) $U_C = U_L$

23

В замкнутой неразветвленной цепи с сопротивлением 160 Ом и лампой

ЭДС источника 24 В, сила тока 0,1 А. Найдите напряжение на лампе:

- A) 16 В
B) 12 В
C) 8 В
D) 20 В
E) 10 В

25

Найдите ток в неразветвленной цепи с сопротивлением 160 Ом и лампой на 80 Ом, если Э.Д.С. источника 12 :

- A) 0,15 А
B) 0,2 А
C) 0,05 А
D) 0,4 А
E) 0,8 А

10 вариант

1

Полное сопротивление участка цепи синусоидального тока с последовательным соединением резистора, конденсатора и катушки индуктивности определяют:

A) $Z=R+X_L+X_C$

B) $Z=R+X_L-X_C$

C) $Z=\sqrt{R^2+(x_L+x_C)^2}$

D) $Z=\sqrt{R^2+(x_L-x_C)^2}$

E) $Z=\sqrt{R^2+x_L^2+x_C^2}$

2

Угол сдвига фаз φ между напряжением и током при последовательном соединении R,L,C элементов равен:

A) $\varphi=\arcsin \frac{R}{X}$

B) $\varphi=\arccos \frac{R}{Z}$

C) $\varphi=\arctg \frac{R}{X}$

D) $\varphi=\arctg \frac{X_L-X_C}{R}$

E) $\varphi=\arctg \frac{R}{X_L-X_C}$

3

Выразить напряжение комплексным числом в показательной форме, если $U=220В, \varphi=30^\circ$

A) $U = 220 (\cos 30^\circ + j \sin 30^\circ)$

B) $U = 220 e^{j 30}$

C) $U = 110 e^{j 30}$

D) $U = 189+j 110$

E) $U = 220 e^{j (-30)}$

4

Выразить напряжение комплексным числом в тригонометрической форме, если $U=220В, \varphi=30^\circ$

A) $U = 220 (\cos 30^\circ + j \sin 30^\circ)$

B) $U = 220 e^{j 30}$

C) $U = 110 e^{j 30}$

D) $U = 189+j 110$

E) $U = 220 e^{j (-30)}$

5

Выразить напряжение комплексным числом в тригонометрической форме, если $U=220В, \varphi=60^\circ$

A) $U = 220 (\cos 60^\circ + j \sin 60^\circ)$

B) $U = 220 e^{j 30}$

C) $U = 110 e^{j 30}$

D) $U = 189+j 110$

E) $U = 220 e^{j (-30)}$

6

Выразить напряжение комплексным числом в алгебраической форме, если $U=220В, \varphi=30^\circ$

A) $U = 220 (\cos 30^\circ + j \sin 30^\circ)$

B) $U = 220 e^{j 30}$

C) $U = 110 e^{j 30}$

D) $U = 189+j 110$

E) $U = 220 e^{j (-30)}$

7

Укажите значение полного сопротивления однофазной цепи переменного тока, в омах, состоящей из последовательно соединённых $R=6 \text{ Ом}$ и $X_L=8 \text{ Ом}$.

A) 6 Ом

B) 8 Ом

C) 10 Ом

D) 12 Ом

E) 4 Ом

8

Укажите значение полного сопротивления однофазной цепи переменного тока, в омах, состоящей из последовательно соединённых $R=60 \text{ Ом}$ и $X_L=80 \text{ Ом}$.

A) 60 Ом

B) 80 Ом

C) 100 Ом

D) 120 Ом

E) 40 Ом

9

Укажите значение полного сопротивления однофазной цепи переменного тока, в омах, состоящей из последовательно соединённых $R=4 \text{ Ом}$ и $X_L=3 \text{ Ом}$.

A) 6 Ом

B) 8 Ом

C) 5 Ом

D) 12 Ом

E) 4 Ом

10

Укажите значение полного сопротивления однофазной цепи переменного тока, в омах, состоящей из последовательно соединённых $R=400 \text{ Ом}$ и $X_L=300 \text{ Ом}$.

A) 600 Ом

B) 800 Ом

C) 100 Ом

D) 500 Ом

E) 400 Ом

11

Укажите значение полного сопротивления однофазной цепи переменного тока, в омах, состоящей из последовательно соединённых $R=40 \text{ Ом}$ и $X_L=60 \text{ Ом}$.

A) 6 Ом

B) 8 Ом

C) 10 Ом

D) 12 Ом

E) 4 Ом

12

Укажите значение напряжения на зажимах однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением R, X_L , в вольтах, если напряжение на R равно $U_R=60В$, а напряжение на L равно $U_L=80 В$.

A) 6 В

B) 8 В

C) 100 В

D) 12 В

E) 4 В

13

Укажите значение напряжения на зажимах однофазной цепи переменного тока с последовательным

соединением R, X_L , в вольтах, если напряжение на R равно $U_R = 600\text{В}$, а напряжение на L равно $U_L = 800\text{В}$.

- A) 6 В
- B) 8 В
- C) 1000 В
- D) 12 В
- E) 4 В

14

Укажите значение напряжения на зажимах однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением R, X_L , в вольтах, если напряжение на R равно $U_R = 40\text{В}$, а напряжение на L равно $U_L = 30\text{В}$.

- A) 6 В
- B) 8 В
- C) 100 В

15

Укажите значение напряжения на зажимах однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением R, X_L , в вольтах, если напряжение на R равно $U_R = 4\text{В}$, а напряжение на L равно $U_L = 3\text{В}$.

- A) 6 В
- B) 8 В
- C) 100 В
- D) 12 В
- E) 25 В

16

Укажите значение напряжения на зажимах однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением R, X_L , в вольтах, если напряжение на R равно $U_R = 400\text{В}$, а напряжение на L равно $U_L = 300\text{В}$.

- A) 6 В

B) 8 В

C) 100 В

D) 12 В

E) 4 В

17

Укажите изменение $\cos\varphi$ однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением R, L, C при условии увеличения индуктивности, причем $X_L > X_C$

- A) Не изменится
- B) Уменьшится
- C) Увеличится
- D) Сначала увеличится, а потом уменьшится
- E) Сначала уменьшится, а потом увеличится

18

Укажите изменение $\cos\varphi$ однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением R, L, C при условии увеличения активного сопротивления, причем $X_L > X_C$

- A) Не изменится
- B) Уменьшится
- C) Увеличится
- D) Сначала увеличится, а потом уменьшится
- E) Сначала уменьшится, а потом увеличится

19

Укажите изменение $\cos\varphi$ однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением R, L, C при условии увеличения ёмкости, причем $X_L > X_C$

- A) Не изменится
- B) Уменьшится
- C) Увеличится
- D) Сначала увеличится, а потом уменьшится
- E) Сначала уменьшится, а потом увеличится

20

Укажите изменение $\cos\varphi$ однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением R, L, C при условии уменьшения индуктивности, причем $X_L < X_C$

- A) Не изменится
- B) Уменьшится
- C) Увеличится
- D) Сначала увеличится, а потом уменьшится
- E) Сначала уменьшится, а потом увеличится

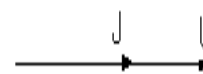
21

Укажите изменение $\cos\varphi$ однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением R, L, C при условии уменьшения ёмкости, причем $X_L < X_C$

- A) Не изменится
- B) Уменьшится
- C) Увеличится
- D) Сначала увеличится, а потом уменьшится
- E) Сначала уменьшится, а потом увеличится

22

Указать элемент цепи переменного тока, которому соответствует векторная диаграмма.

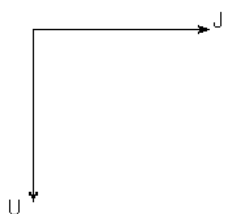


- A) Активное сопротивление
- B) Индуктивное сопротивление
- C) Ёмкостное сопротивление
- D) Активное сопротивление и индуктивность
- E) Активное сопротивление и ёмкость

23

Указать элемент цепи переменного тока, которому соответствует векторная

диаграмма, представленная на рисунке

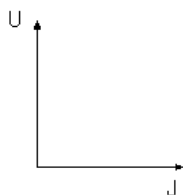


- D) Индуктивное сопротивление
- E) Емкостное сопротивление

- A) Активное сопротивление
- B) Индуктивное сопротивление
- C) Емкостное сопротивление
- D) Активное сопротивление и индуктивность
- E) Активное сопротивление и ёмкость

24

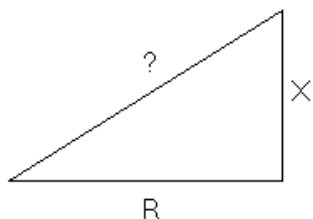
Указать элемент цепи переменного тока, которому соответствует векторная диаграмма, представленная на рисунке



- A) Активное сопротивление
- B) Индуктивное сопротивление
- C) Емкостное сопротивление
- D) Активное сопротивление и индуктивность
- E) Активное сопротивление и ёмкость

25

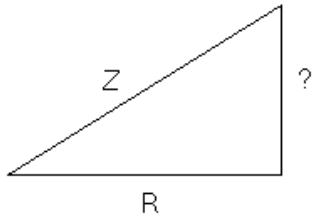
Неизвестная сторона в треугольнике сопротивлений для последовательной цепи однофазного переменного тока с R, L, C – это:



- A) Активное сопротивление
- B) Полное сопротивление
- C) Реактивное сопротивление

11 вариант

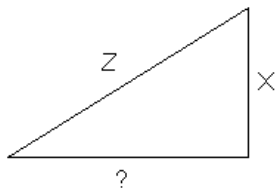
1
Неизвестная сторона в треугольнике сопротивлений для последовательной цепи однофазного переменного тока с R, L, C – это



- A) Активное сопротивление
- B) Полное сопротивление
- C) Реактивное сопротивление
- D) Индуктивное сопротивление
- E) Емкостное сопротивление

2

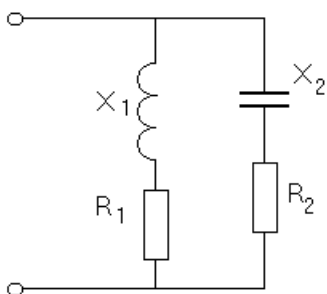
Неизвестная сторона в треугольнике сопротивлений для последовательной цепи однофазного переменного тока с R, L, C – это



- A) Активное сопротивление
- B) Полное сопротивление
- C) Реактивное сопротивление
- D) Индуктивное сопротивление
- E) Емкостное сопротивление

3

Найти активную проводимость первой ветви параллельной цепи переменного тока, представленной на рисунке, если известно, что $R_1=4\text{ Ом}$, $R_2=3\text{ Ом}$, $X_1=3\text{ Ом}$, $X_2=4\text{ Ом}$.

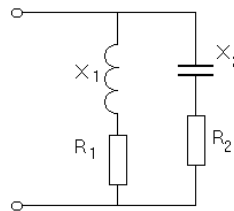


- A) 0,12 См
- B) 0,16 См
- C) 0,28 См

- D) 0,02 См
- E) 0,18 См

4

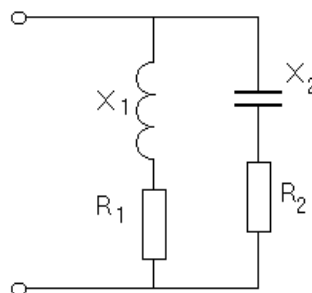
Найти реактивную проводимость первой ветви параллельной цепи переменного тока, представленной на рисунке, если известно, что $R_1=4\text{ Ом}$, $R_2=3\text{ Ом}$, $X_1=3\text{ Ом}$, $X_2=4\text{ Ом}$.



- A) 0,12 См
- B) 0,16 См
- C) 0,28 См
- D) 0,02 См
- E) 0,18 См

5

Найдите активную проводимость второй ветви параллельной цепи переменного тока, представленной на рисунке, если известно, что $R_1=4\text{ Ом}$, $R_2=3\text{ Ом}$, $X_1=3\text{ Ом}$, $X_2=4\text{ Ом}$.

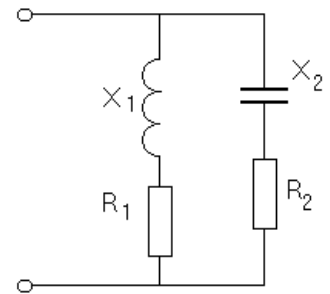


- A) 0,12 См
- B) 0,16 См
- C) 0,28 См
- D) 0,02 См
- E) 0,18 См

6

Найти реактивную проводимость второй ветви параллельной цепи переменного тока, представленной на рисунке, если известно, что $R_1=4\text{ Ом}$,

$R_2=3\text{ Ом}$, $X_1=3\text{ Ом}$, $X_2=4\text{ Ом}$.



- A) 0,12 См
- B) 0,16 См
- C) 0,28 См
- D) 0,02 См
- E) 0,18 См

7

Определить ток сети $U=120\text{ В}$, в которую включена катушка с полным сопротивлением $Z=10\text{ Ом}$:

- A) 12 А
- B) 9 А
- C) 15 А
- D) 16 А
- E) 20 А

8

Можно ли использовать режим резонанса напряжений для компенсации мощности в силовых электрических цепях

- A) можно
- B) нельзя
- C) можно, если использовать электролитические конденсаторы
- D) можно, если использовать трансформаторы тока
- E) можно, если частота переменного тока в 2 раза больше стандартной

9

Указать величину силы тока в однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением $R=8\text{ Ом}$, $X_L=6\text{ Ом}$, если напряжение на зажимах цепи составляет $U=220\text{ В}$.

- A) 12 А

- В) 9 А
- С) 15 А
- Д) 16 А
- Е) 22 А

10

Введите величину силы тока, в амперах, в однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением $R=8 \text{ Ом}$, $X_L=6 \text{ Ом}$, если напряжение на зажимах цепи составляет $U=380 \text{ В}$.

- А) 38 А
- В) 9 А
- С) 15 А
- Д) 16 А
- Е) 20 А

11

Введите величину силы тока, в амперах, в однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением $R=4 \text{ Ом}$, $X_L=3 \text{ Ом}$, если напряжение на зажимах цепи составляет $U=220 \text{ В}$.

- А) 12 А
- В) 9 А
- С) 15 А
- Д) 16 А
- Е) 20 А

12

Введите величину силы тока, в амперах, в однофазной цепи переменного тока с последовательным соединением $R=3 \text{ Ом}$, $X_L=4 \text{ Ом}$, если напряжение на зажимах цепи составляет $U=380 \text{ В}$.

- А) 12 А
- В) 9 А
- С) 15 А
- Д) 16 А
- Е) 20 А

13

Введите величину силы тока, в амперах, в однофазной цепи переменного тока с

последовательным соединением $R=80 \text{ Ом}$, $X_L=60 \text{ Ом}$, если напряжение на зажимах цепи составляет $U=200 \text{ В}$.

- А) 2 А
- В) 9 А
- С) 15 А
- Д) 16 А
- Е) 20 А

14

Режим резонанса напряжений в последовательной цепи переменного тока применяется для

- А) компенсации реактивной мощности в силовых сетях
- В) компенсации активной мощности в силовых сетях
- С) усиления слабого сигнала в радиотехнике
- Д) уменьшения $\cos \varphi$ в силовых сетях
- Е) увеличения $\cos \varphi$ в силовых сетях

15

Если частота переменного тока увеличится в 2 раза, то индуктивное сопротивление

- А) увеличится в 2 раза
- В) уменьшится в 2 раза
- С) увеличится в 4 раза
- Д) уменьшится в 4 раза
- Е) не изменится

16

Если частота переменного тока уменьшится в 2 раза, то индуктивное сопротивление

- А) увеличится в 2 раза
- В) уменьшится в 2 раза
- С) увеличится в 4 раза
- Д) уменьшится в 4 раза
- Е) не изменится

17

Если частота переменного тока увеличится в 2 раза, то ёмкостное сопротивление

- А) увеличится в 2 раза
- В) уменьшится в 2 раза
- С) увеличится в 4 раза

- Д) уменьшится в 4 раза
- Е) не изменится

18

Если частота переменного тока уменьшится в 2 раза, то ёмкостное сопротивление

- А) увеличится в 2 раза
- В) уменьшится в 2 раза
- С) увеличится в 4 раза
- Д) уменьшится в 4 раза
- Е) не изменится

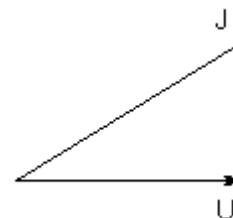
19

Если частота переменного тока увеличится в 2 раза, то активное сопротивление

- А) увеличится в 2 раза
- В) уменьшится в 2 раза
- С) увеличится в 4 раза
- Д) уменьшится в 4 раза
- Е) не изменится

20

Указать тип нагрузки, которому соответствует векторная диаграмма, представленная на рисунке



- А) активно-ёмкостная
- В) активно-индуктивная
- С) активная
- Д) индуктивная
- Е) ёмкостная

21

Определить $\cos \varphi$ последовательной цепи переменного тока, если на зажимах цепи ваттметр показывает $P=22 \text{ Вт}$, вольтметр: $U=220 \text{ В}$, амперметр: $J=0,2 \text{ А}$.

- А) 1.
- В) 0.
- С) 0, 8.
- Д) 0, 5.

Е) 0,6.

22

Найти $\cos \varphi$
последовательной цепи
переменного тока, если на
зажимах цепи ваттметр
показывает $P = 55$ Вт.,
вольтметр : $U = 220$ В,
амперметр: $J = 1$ А.

А) 0,50.

В) 0,25.

С) 0,45.

Д) 0.

Е) 1.

23

Прибор дающий точно
зафиксировать режим
резонанса

А) Амперметр

В) Вольтметр

С) Амперметр и вольтметр

Д) Ваттметр

Е) Фазометр

24

Явление электрического
резонанса возникает в цепях
переменного тока,
содержащих

А) Индуктивности

В) Индуктивности и емкости

С) Емкости

Д) Трансформаторы

Е) Двигатели

25

Явление электрического
резонанса возникает в цепях
переменного тока,
содержащих

А) Индуктивности

В) Индуктивности и емкости

С) Емкости

Д) Трансформаторы

Е) Двигатели

12 вариант

1). Угловая частота
собственных колебаний в
колебательном контуре

А) $R \geq 2 \sqrt{LC}$

В) $f_0 = 1 / (2\pi \sqrt{LC})$

С) $\omega_0 = 1 / \sqrt{LC}$

Д) $T_0 = 2\pi \sqrt{LC}$

Е) $Z_0 = (L / C)$

2). Частота собственных
колебаний в колебательном
контуре

А) $R \geq 2 \sqrt{LC}$

В) $f_0 = 1 / (2\pi \sqrt{LC})$

С) $\omega_0 = 1 / \sqrt{LC}$

Д) $T_0 = 2\pi \sqrt{LC}$

Е) $Z_0 = (L / C)$

3). Период собственных
колебаний в колебательном
контуре

А) $R \geq 2 \sqrt{LC}$

В) $f_0 = 1 / 2\pi \sqrt{LC}$

С) $\omega_0 = 1 / \sqrt{LC}$

Д) $T_0 = 2\pi \sqrt{LC}$

Е) $Z_0 = (L / C)$

- 4). Волновое сопротивление собственных колебаний в контуре
 А) $R \geq 2 \sqrt{LC}$
 В) $f_0 = 1/2\pi \sqrt{LC}$
 С) $\omega_0 = 1 / \sqrt{LC}$
 D) $T_0 = 2\pi \sqrt{LC}$
 E) $Z_0 = (L / C)$
- 5). Колебания в контуре не возникают, если
 А) $R \geq 2 \sqrt{LC}$
 В) $f_0 = 1/2\pi \sqrt{LC}$
 С) $\omega_0 = 1 / \sqrt{LC}$
 D) $T_0 = 2\pi \sqrt{LC}$
 E) $Z_0 = (L / C)$
- 6). Резонанс напряжений возникает в цепях
 А) При параллельном соединении участков с индуктивностью и емкостью
 В) При последовательном соединении участков с индуктивностью и емкостью
 С) При смешанном соединении участков с индуктивностью и емкостью
 D) При последовательном соединении участков цепи с активным сопротивлением и емкостью
 E) При последовательном соединении участков цепи с активным сопротивлением и индуктивностью
- 7). Резонанс токов возникает в цепях
 А) При параллельном соединении участков с индуктивностью и емкостью
 В) При последовательном соединении участков с индуктивностью и емкостью
 С) При смешанном соединении участков с индуктивностью и емкостью
 D) При последовательном соединении участков цепи с активным сопротивлением и емкостью
 E) При последовательном соединении участков цепи с
- активным сопротивлением и индуктивностью
- 8). Резонансная частота
 А) $R \geq 2 \sqrt{LC}$
 В) $f_p = 1/2\pi \sqrt{LC}$
 С) $\omega_0 = 1 / \sqrt{LC}$
 D) $T_0 = 2\pi \sqrt{LC}$
 E) $f_0 = (L / C)$
- 9). Условие резонанса
 А) $R \geq 2 \sqrt{LC}$
 В) $f_p = 1/2\pi \sqrt{LC}$
 С) $\omega_0 = 1 / \sqrt{LC}$
 D) $T_0 = 2\pi \sqrt{LC}$
 E) $X_1 = X_2$
- 10). Угловая резонансная частота
 А) $R \geq 2 \sqrt{LC}$
 В) $f_p = 1/2\pi \sqrt{LC}$
 С) $\omega_p = 1 / \sqrt{LC}$
 D) $T_0 = 2\pi \sqrt{LC}$
 E) $f_0 = (L / C)$
- 11). Добротность колебательного контура при последовательном соединении элементов
 А) $Q = 1/(\omega_p C R)$
 В) $Q = I^*t$
 С) $Q = E/U$
 D) $R \geq 2 \sqrt{LC}$
 E) $f_0 = (L / C)$
- 12). Добротность колебательного контура при параллельном соединении элементов
 А) $Q = 1/(\omega_p C R)$
 В) $Q = \omega_p C R$
 С) $Q = E/U$
 D) $R \geq 2 \sqrt{LC}$
 E) $f_0 = (L / C)$
- 13). Естественные меры сокращения реактивной мощности:
 А) Правильный выбор мощности двигателей и трансформаторов, рациональная эксплуатация их без перегрузки
- В) Правильный выбор мощности трансформаторов
 С) Рациональная эксплуатация двигателей и трансформаторов без перегрузки
 D) Правильный выбор мощности двигателей и трансформаторов
 E) Правильный выбор мощности двигателей
- 14). Искусственные меры компенсации реактивной мощности:
 А) Правильный выбор мощности двигателей и трансформаторов, рациональная эксплуатация их без перегрузки
 В) Правильный выбор мощности трансформаторов
 С) Рациональная эксплуатация двигателей и трансформаторов без перегрузки
 D) Включение параллельно с приемником батареи конденсаторов
 E) Правильный выбор мощности двигателей
- 15). Мощность батареи конденсаторов для компенсации реактивной мощности
 А) $Q_c = P (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)$
 В) $Q_c = P (\operatorname{tg}\varphi_1 + \operatorname{tg}\varphi_2)$
 С) $Q_c = P (\sin\varphi_1 + \sin\varphi_2)$
 D) $Q_c = P (\cos\varphi_1 + \cos\varphi_2)$
 E) $Q_c = P (\cos\varphi_1 - \cos\varphi_2)$
- 16). Явление совпадения по величине падения напряжения на индуктивном и ёмкостном сопротивлениях в последовательной цепи переменного тока называется
 А) Резонанс напряжений
 В) Резонанс токов
 С) Сдвиг фаз
 D) Частичная компенсация сдвига фаз
 E) Трансформация

17). Явление совпадения по величине реактивных токов индуктивных и ёмкостных ветвей в параллельной цепи переменного тока называется
А) Резонанс напряжений
В) Резонанс токов
С) Сдвиг фаз
D) Частичная компенсация сдвига фаз
E) Трансформация

18). Если ёмкость увеличится в 3 раза, то ёмкостное сопротивление
А) Увеличится в 4 раза.
В) Уменьшится в 2 раза.
С) Уменьшится в 3 раза.
D) Уменьшится в 8 раз.
E) Увеличится в 8 раз

19). Если ёмкость увеличится в 4 раза, то ёмкостное сопротивление
А) Увеличится в 4 раза.
В) Уменьшится в 2 раза.
С) Уменьшится в 4 раза.
D) Уменьшится в 8 раз.
E) Увеличится в 8 раз

20). Если индуктивность увеличится в 4 раза, то индуктивное сопротивление
А) Увеличится в 4 раза.
В) Уменьшится в 2 раза.
С) Уменьшится в 4 раза.
D) Уменьшится в 8 раз.
E) Увеличится в 8 раз.

21). Если ёмкость уменьшится в 4 раза, то ёмкостное сопротивление
А) Увеличится в 4 раза.
В) Уменьшится в 2 раза.
С) Уменьшится в 4 раза.
D) Уменьшится в 8 раз.
E) Увеличится в 8 раз.

22). Если индуктивность уменьшится в 4 раза, то индуктивное сопротивление
А) Увеличится в 4 раза.
В) Уменьшится в 2 раза.
С) Уменьшится в 4 раза.
D) Уменьшится в 8 раз.

E) Увеличится в 8 раз.

23). Если частота переменного тока уменьшится в 4 раза, то индуктивное сопротивление
А) Увеличится в 2 раза
В) Уменьшится в 2 раза
С) Увеличится в 4 раза
D) Уменьшится в 4 раза
E) Увеличится в 2 раз

24). Если частота переменного тока уменьшится в 6 раз, то индуктивное сопротивление
А) Увеличится в 2 раза
В) Уменьшится в 6 раз
С) Увеличится в 4 раза
D) Уменьшится в 4 раза
E) Увеличится в 2 раз

25). Если частота переменного тока уменьшится в 5 раз, то индуктивное сопротивление
А) Увеличится в 2 раза
В) Уменьшится в 5 раз
С) Увеличится в 4 раза
D) Уменьшится в 4 раза
E) Увеличится в 2 раз

13 вариант

1). Трёхфазная цепь не симметрична если...
А) Комплексы сопротивлений ее фаз неодинаковы
В) Неравны линейные напряжения
С) Неравны фазные напряжения
D) Неравны линейные токи
E) Неравны фазные токи

2). Коэффициент несимметрии линейных напряжений трехфазной цепи:
А) $\epsilon\% = 100 \cdot U_{2л} / U_{1л}$
В) $\epsilon = U_{2л} / 100 \cdot U_{1л}$
С) $\epsilon = U_{2л} / U_{1л}$
D) $\epsilon = U_{2л} / U_{2л}$
E) $\epsilon = 100 \cdot U_{2л}$

3). Система линейных напряжений считается симметричной, если коэффициент несимметрии...
А) $< 5\%$

- В) $> 5\%$
 С) $= 5\%$
 D) $< 10\%$
 E) $< 7\%$
- 4). Действующая величина несинусоидального напряжения
 A) $U = \sqrt{(U_R^2 + U_X^2)}$
 B) $U = U_m/\sqrt{2}$
 C) $U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2}$
 D) $U = U_m \sin(\omega t + \varphi_0)$
 E) Нет правильного ответа
- 5). Активная мощность в цепи несимметричного тока
 A) $P = U^2/R$
 B) $P = UI \cos \varphi$
 C) $P = I^2 R$
 D) $P = P_0 + P_1 + P_2 + \dots + P_k$
 E) $P = P_{\text{и}} + P_{\text{п}}$
- 6). Лампы накаливания с номинальным напряжением 127 В включены в трехфазную сеть с $U_{\text{л}} = 220$ В. Определить схему соединения ламп
 A) Последовательно
 B) Смешано
 C) Треугольником
 D) Параллельно
 E) Звездой с нулевым проводом
- 7). Трехфазный двигатель, каждая из обмоток которого рассчитана на 127 В включена в трехфазную сеть с напряжением 220 В. Указать соединение обмоток двигателя
 A) Параллельно
 B) Треугольником
 C) Звездой с нулевым проводом
 D) Параллельно
 E) Двигатель нельзя включить в эту сеть
- 8). Лампы накаливания с номинальным напряжением 220 В включены в трехфазную сеть с линейным напряжением 380 В.
- Определить схему соединения ламп
 A) Параллельно
 B) Треугольником
 C) Звездой с нулевым проводом
 D) Последовательно
 E) Смешано
- 9). Активная мощность симметричной трехфазной цепи соединенной звездой с напряжением $U_{\text{л}} = 220$ В, током $I_{\text{л}} = 5$ А при $\cos \varphi = 0.8$ равна
 A) 880 Вт
 B) 1100 Вт
 C) 1905 Вт
 D) 550 Вт
 E) 1524 Вт
- 10). Двигатель, каждая из обмоток которого рассчитана на 220 В включена в трехфазную сеть с линейным напряжением 220 В. Как следует соединить обмотки двигателя
 A) Звездой
 B) Треугольником
 C) Звездой с нулевым проводом
 D) Последовательно
 E) Смешано
- 11). Предохранитель в нулевом проводе ...
 A) Устанавливается
 B) Не устанавливается
 C) Устанавливается иногда
 D) Установка зависит от характера нагрузки
 E) Установка не зависит от характера нагрузки
- 12). Соотношение между $U_{\text{л}}$ и $U_{\text{ф}}$ при соединении нагрузки треугольником
 A) $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}/\sqrt{3}$
 B) $U_{\text{л}} = U_{\text{ф}}$
 C) $U_{\text{л}} = (\sqrt{3}) U_{\text{ф}}$
 D) $U = IR$
 E) $U = S/I$
- 13). Соотношение между $I_{\text{л}}$ и $I_{\text{ф}}$ при соединении нагрузки треугольником
 A) $I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$
 B) $I_{\text{л}} = (\sqrt{3}) I_{\text{ф}}$
 C) $U_{\text{л}} = (\sqrt{3}) U_{\text{ф}}$
 D) $I = U/R$
 E) $I = S/U$
- 14). Активная мощность 3х фазной симметричной цепи
 A) $P = 3 * U_{\text{ф}} I_{\text{ф}} \cos \varphi$
 B) $P = U_{\text{ф}} I_{\text{ф}} \cos \varphi$
 C) $Q = 3 U_{\text{ф}} I_{\text{ф}} \sin \varphi$
 D) $S = 3 U_{\text{ф}} I_{\text{ф}}$
 E) $S = U_{\text{ф}} I_{\text{ф}}$
- 15). Реактивная мощность трехфазной цепи при симметричной нагрузке
 A) $P = 3 * U_{\text{ф}} I_{\text{ф}} \cos \varphi$
 B) $P = U_{\text{ф}} I_{\text{ф}} \cos \varphi$
 C) $Q = 3 U_{\text{ф}} I_{\text{ф}} \sin \varphi$
 D) $S = 3 U_{\text{ф}} I_{\text{ф}}$
 E) $S = U_{\text{ф}} I_{\text{ф}}$
- 16). Полная мощность трехфазной симметричной цепи
 A) $P = 3 * U_{\text{ф}} I_{\text{ф}} \cos \varphi$
 B) $P = U_{\text{ф}} I_{\text{ф}} \cos \varphi$
 C) $Q = 3 U_{\text{ф}} I_{\text{ф}} \sin \varphi$
 D) $S = 3 U_{\text{ф}} I_{\text{ф}}$
 E) $S = U_{\text{ф}} I_{\text{ф}}$
- 17). Указать, может ли нулевой провод, обладающий большим активным сопротивлением, обеспечить симметрию фазных напряжений при несимметричной нагрузке
 A) Может
 B) Не может
 C) Это зависит так же от сопротивления нагрузки
 D) Это зависит от приложенного напряжения
 E) Это зависит от тока
- 18). Будут ли меняться линейные токи при обрыве нулевого провода в случае 1 - симметричной нагрузки; 2 - не симметричной нагрузки?

- А) 1- будут; 2 - не будут
 В) Будут
 С) 1 не будут; 2 будут
 D) Не будут
 E) Это зависит от характера нагрузки
- 19). Соединение обмоток на рисунке 12
 А) Звездой
 В) Треугольником
 С) Параллельно
 D) Последовательно
 E) Звездой с нулевым проводом
- 20). Линейный ток равен 2,2 А. Определить фазный ток, если симметричная нагрузка соединена треугольником
 А) 3,8 А
 В) 2,2 А
 С) 1,27 А
 D) 2,25 А
 E) 3,01 А
- 21). Векторная сумма токов фаз равняется нулю при отсутствии нулевого провода
 А) Всегда
 В) Не всегда
 С) Это зависит от характера нагрузки
 D) Это зависит от источника питания
 E) Это зависит от напряжения питания
- 22). Соотношение между U_n и U_ϕ при соединении нагрузки звездой
 А) $U_n = U_\phi / \sqrt{3}$
 В) $U_n = U_\phi$
 С) $U_n = (\sqrt{3}) U_\phi$
 D) $U_n > U_\phi$
 E) $U_n < U_\phi$
- 23). Соотношение между I_n и I_ϕ при соединении нагрузки звездой
 А) $I_n = I_\phi$
- В) $I_n = \sqrt{3} I_\phi$
 С) $I_n = I_\phi / \sqrt{3}$
 D) $I_n > I_\phi$
 E) $I_n < I_\phi$
- 24). Коэффициент трансформации
 А) $n = I_1 / I_2$
 В) $n = N_1 / N_2$
 С) $n = U_2 / U_1$
 D) $n = X_1 / X_2$
 E) $n = P_1 / P_2$
- 25). Указать количество проводов подводимых к генератору, обмотки которого образуют звезду
 А) 6
 В) 7
 С) 3
 D) 4
 E) 5

Оценка/балл по буквенной системе	Цифровой эквивалент баллов	Процентное содержание баллов	Оценка/балл по традиционной системе
A	4,0	95-100	Отлично
A-	3,67	90-94	
B+	3,33	85-89	Хорошо
B	3,0	80-84	
B-	2,67	75-79	
C+	2,33	70-74	
C	2,0	65-69	
C-	1,67	60-64	Удовлетворительно
D+	1,33	55-59	
D	1,0	50-54	
F	0	0-49	Неудовлетворительно

**Рефераттар мен баяндамалардың тақырыптары.
Тематика рефератов и докладов.**

1. Электрическая энергия, ее свойства и применение.
2. Закон об электроэнергетике Казахстана
3. Основные направления развития электроэнергетики Казахстана
4. Понятие о производстве и распределении электрической энергии.
5. Элементарные частицы и их электромагнитное поле.
6. Электромагнитное поле как вид материи.
7. Электростатическая защита.
8. Работы Ш. Кулона, Б. Франклина, М. В. Ломоносова и Г. В. Рихмана по исследованию электрических явлений.
9. Принцип работы ГЭС
10. Принцип работы ФЭС
11. Принцип работы ТЭЦ
12. Работы ученых В. В. Петрова, Э.Х. Ленца, Б.Н. Якоби по изучению и использованию свойств электрического тока.
13. Работы изобретателей А.Н. Лодыгина, Н.Н. Бенардоса, Н.Г. Славянова по использованию теплового свойства электрического тока.
14. Закон Ома
15. Законы Кирхгофа
16. Закон Ампера
17. Закон полного тока
18. Закон электромагнитной индукции
19. Защитное заземление и зануление
20. Основные и дополнительные средства защиты до 1000В

Қорытынды бақылауға арналған сұрақтар

Вопросы для итогового контроля

1. Применение электрической энергии. С-4
 2. Получение электрической энергии С-5
 3. Передача и распределение электрической энергии С-6
 4. Современное состояние энергосистемы Казахстана. БЛ. КОНСП
 - 5 Новый Закон РК «Об электроэнергетике» БЛ. КОНСП
 6. Электрическое поле: определение, изображение, исследование. Закон Кулона БЛ. КОНСП, С-12
 7. Основные характеристики электрического поля. БЛ. КОНСП
 8. Производные характеристики электрического поля. БЛ. КОНСП
 9. Эквипотенциальные поверхности. С-18
 10. Проводники в электрическом поле. Электростатическое экранирование С-19
 11. Электрическое сопротивление. Сопротивление проводника через его размеры. С-24.
- Зависимость электрического сопротивления от температуры. С-26
12. Закон Ома для участка и полной цепи С-24
 13. Электрический ток в вакууме С-27
 14. Электрический ток в газах С-31
 15. Электрический ток в полупроводниках С-34
 16. Электрическая цепь и ее элементы БЛ. КОНСП, С-39
 17. Получение электрической из других видов энергии С- 42
 18. Э.Д.С. и мощность источника электрической энергии. С- 46
 19. Преобразование электрической в другие виды энергии. С-48
закон Джоуля –Ленца. С-49
 - 20 Характерные участки электрической цепи: ветвь, узел, контур С-
 21. Режимы электрических цепей. С-51
 22. Схемы замещения электрических цепей. С-56
 23. Первый закон Кирхгофа 58
 24. Второй закон Кирхгофа С-58
 25. Последовательное соединение пассивных элементов (резисторов).
- Последовательное Соединение источников Э.Д.С. С-61
26. Параллельное соединение пассивных элементов. С-65
 27. Преобразование треугольника сопротивлений в эквивалентную звезду. С-74
 - 28 Преобразование звезды сопротивлений в эквивалентный треугольник. С-75
 29. Методы расчета сложных электрических цепей: метод узловых и контурных Уравнений С-76
 30. Методы расчета сложных электрических цепей: метод наложения токов. С-78
 31. Методы расчета сложных электрических цепей: метод эквивалентного генератора С-82
 32. Методы расчета сложных электрических цепей: метод контурных токов С-86
 33. Методы расчета сложных электрических цепей метод узловых напряжений С-89
 34. Последовательное соединение двух нелинейных элементов. С-95, КОНСП
 35. Параллельное соединение двух нелинейных элементов С-96. КОНСП
 36. Магнитное поле. Определение, изображение, характеристика. БЛ. КОНСП
 37. Основные характеристики магнитного поля. БЛ. КОНСП
 38. Производные характеристики магнитного поля. БЛ. КОНСП
 39. Закон Ампера. С-129
 40. Проводник с током в магнитном поле. Правило левой руки. С-133
 41. Работа при перемещении проводника с током в магнитном поле. 143
 42. Индуктивность собственная. С-146
 43. Согласное и встречное включение катушек. Взаимная индуктивность. С-149
 44. Закон полного тока. С-157
 45. Пара-, диа- и ферромагнетики. С-153

46. Магнитный гистерезис. С-161
47. Магнито - мягкие и магнито – твердые материалы. С-163
48. Магнитные цепи. Правила расчета. Магнитное сопротивление. С-165
49. Закон электромагнитной индукции. Правило Ленца. с -183
50. Наведение Э.Д.С. в проводнике движущимся в магнитном поле, Сила Лоренца. С-186
51. МГД генератор. Правило правой руки. с188
52. Принцип работы генератора. с-191
53. Принцип работы двигателя. с-192
54. Э.Д.С. самоиндукции, взаимоиנדукции. Принцип действия трансформатора. с-195
55. Переменный ток: определение, получение, изображение. С- 217
56. Характеристики переменного тока.
57. Параметры электрических цепей. С-225
58. Неразветвленная цепь переменного тока. Диаграмма напряжений. С - 258.
64. Колебательный контур с потерями С-294
65. Резонанс токов. С-302
66. Резонанс напряжений С-298

Әдебиеттер Литература

1. Евдокимов Ф.Е. Теоретические основы электротехники. М. Высшая школа, 2007 г.
2. Барсов И.Н. Теоретические основы электротехники. М. Энергоатомиздат. 2001г.
3. Попов В.С. Жуховицкий Б.Я. Теоретические основы электротехники. М. Энергоатомиздат, 2008 г.
4. Цейтлин Л.С. Руководство к лабораторным работам по теоретическим основам электротехники. М. Высшая школа, 2001