

Учебно-методический комплекс

**ПМ-11 «Техническое обслуживание электрооборудования и осветительной сети  
промышленных потребителей»**

**ПЦК Электротехнических дисциплин**



## СОДЕРЖАНИЕ

### Приложение 1. Теоретическая часть

#### Раздел I. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Тема 1.1 Общие сведения о полупроводниках. Электронно-дырочный переход. Образование и свойство p-n перехода .....	3
Тема 1.2 Выпрямительные, туннельные полупроводниковые диоды. Стабилитроны .....	8
Практическая работа №1 «Исследование вольт-амперных характеристик диода».....	13
Практическая работа №2 «Исследование характеристик выпрямительного диода».....	17
Практическая работа №3 «Исследование характеристик стабилитрона».....	19
Практическая работа №4 «Исследование характеристик светодиода».....	19
Тема 1.3 Усилители. Классификация, область применения .....	20
Практическая работа №5 «Исследование схемы инвертирующего, неинвертирующего и интегрирующего усилителя».....	22
Тема 1.4 Трансформаторные и бестрансформаторные усилители мощности.....	22
Тема 1.5 Многокаскадные усилители.....	22
Тема 1.6 Операционные усилители. Схема включения операционного усилителя.....	22
Практическая работа №6 «Исследование схемы дифференциального усилителя на операционном усилителе».....	22
Практическая работа №7 «Исследование схемы суммирующего усилителя на операционном усилителе».....	22
Практическая работа №8 «Исследование схемы вычитающего усилителя на операционном усилителе».....	22
Тема 1.7 Неуправляемые выпрямители. Назначение и структурная схема выпрямителей.....	22
Практическая работа №9 «Расчет выпрямителя».....	22
Практическая работа №10 «Исследование схемы одноходового компаратора на операционном усилителе».....	22
Практическая работа №11 «Исследование схемы двухходового компаратора на операционном усилителе».....	22
Практическая работа №12 «Исследование схемы регенеративного компаратора на операционном усилителе».....	22
Практическая работа №13 «Расчет выпрямителя с фильтром сглаживания».....	22
Тема 1.8 Логические элементы.....	22
Тема 1.9 Осциллограф. Принцип работы, устройство.....	22
Тема 1.10 Элементы микропроцессорной техники.....	22
<b>Раздел II. ЭЛЕКТРОПРИВОД</b>	
Тема 2.1 Установки общепромышленных предприятий .....	25
Тема 2.2 Электрооборудования грузовых и пассажирских лифтов .....	29
Тема 2.3 Компрессоры. Насосы. Классификация. Применение .....	30
Тема 2.4 Вентиляторы применение и его назначение .....	32
Практическая работа №14 «Расчет активных сопротивлений в цепи при пониженном напряжении».....	32
Тема 2.5 Двигатели постоянного тока.....	22
Тема 2.6 Двигатели переменного тока.....	22
Практическая работа №15 «Определение мощности электродвигателей, работающих в различных режимах».....	22
Тема 2.7 Режимы работы электродвигателей.....	22
Тема 2.8 Схемы включения двигателей постоянного тока.....	22
<b>Раздел III. ОСВЕЩЕНИЕ</b>	
Тема 3.1 Основные световые величины и единицы их измерения .....	48
Тема 3.2 Современные источники света и их применение .....	52
Тема 3.4 Виды освещения и их характеристики .....	55
Тема 3.6 Методы расчёта освещения .....	61
Практическая работа №16 Расчет производственного освещения.....	22
Тема 3.7 Выбор сечения кабеля и провода .....	73
Тема 3.8 Защита осветительной сети и выбор аппаратов защиты .....	77

Практическая работа №17 Расчет осветительных сетей.....	22
Тема 3.9 Проектирование осветительной установки.....	22
Практическая работа № 18 Расчет прожекторного освещения.....	22
Тема 3.10 Коммутационная защитная аппаратура .....	80
Тема 3.11 Виды источников света, светильников. применение	
Практическая работа №19 Выбор источника света и светильников.....	
Практическая работа №20 Расчёт освещения по методу коэффициента использования и удельной мощности.....	44
Практическая работа №21 Точечный метод расчета прямой составляющей горизонтальной освещенности.....	
Практическая работа №22 Схемы размещения светильников.....	
Практическая работа №23 Схемы подключения светильников.....	
Практическая работа № 24 Порядок подключения светодиодных светильников к электричеству.....	
Тема 3.12 Освещенность помещений. Нормы и расчеты.....	
Тема 3.13 Приборы и особенности.....	
Практическая работа № 25 Замер уровня освещения. Нормы освещения.....	
Потери напряжения в электрических сетях.....	
Тема 3.14 Устройство электрообогрева.....	

## Раздел I. ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

### Тема 1.1 Общие сведения о полупроводниках. Электронно-дырочный переход. Образование и свойство p-n перехода

План:

1. Основные определения.
2. Основные процессы протекающие при p-n –переходе

Электронно-дырочным переходом называют область на границе двух полупроводников, один из которых имеет электронную, а другой – дырочную электропроводность.

Практически p-n –переход получают введением в чистый полупроводник дополнительной легирующей примеси. Например, при введении донорной примеси в определенную часть полупроводника p-типа в нем образуется область полупроводника n-типа, граничащая с полупроводником p-типа.

Рассмотрим упрощенную схему образования p-n –перехода при соприкосновении двух полупроводников с различными типами электропроводности.

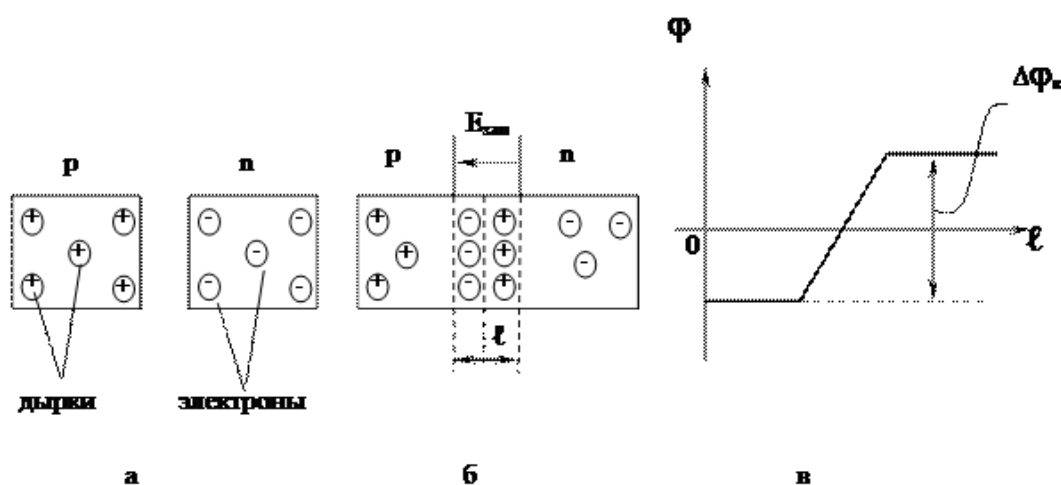


Рисунок – 1 Электронно-дырочный переход

а) до образования; б) после образования; в) образование контактной разницы потенциала (возникновение потенциального барьера)

До соприкосновения в обоих полупроводниках дырки и электроны были распределены равномерно.

При соприкосновении полупроводников в пограничном слое происходит рекомбинация (воссоединение) электронов и дырок, с другой стороны происходит взаимное проникновение дырок в n – зону и электронов в p – зону. Это явление в физике называется диффузией. Свободные электроны из полупроводника n-типа занимают свободные уровни в валентной зоне полупроводника p-типа. В результате вблизи границы двух полупроводников образуется слой, лишенный подвижных носителей заряда и поэтому обладающий высоким электрическим сопротивлением – это так называемый запирающий слой (рис. 8, б). Толщина этого слоя обычно не превышает нескольких микронметров.

Расширению запирающего слоя препятствуют неподвижные ионы, которые образуют на границе полупроводника двойной электрический слой. Так как в приграничной зоне справа от границы р-п –перехода присутствуют дырки, т.е. положительные носители заряда, а слева от р-п –перехода- электроны, т.е. отрицательные носители заряда, то возникает так называемая контактная разность потенциалов

$$E_{зап.} = j_{+} - j_{-} = \Delta j_k \text{ (рис. 1, в).}$$

Возникшая разность потенциалов создает в запирающем слое электрическое поле, препятствующее как переходу электронов в р-зону, так и дырок в п-зону полупроводника. Одновременно в каждой из зон р и п типа имеются неосновные носители электрических зарядов: это для р – полупроводника – электроны и для п-полупроводника – дырки, их заметно меньше, чем основных носителей заряда и они свободно переходят из одной зоны проводимости в другую, снижая до определенного уровня контактную разность потенциалов. Возникает так называемый дрейфовый ток, который направлен навстречу диффузионному току. В конечном итоге происходит динамическое равновесие, и оба эти тока становятся равными  $I_{диф.} = I_{др.}$  Если к запирающему слою приложить внешнее напряжение, то **р-п переход** ведет себя по разному в зависимости от направления внешнего электрического поля, т.е. в зависимости от полярности приложенного внешнего напряжения **U<sub>внеш.</sub>**

### Вольт-амперная характеристика р-п–перехода

Электроны из " **п**"-зоны притягиваются к положительному полюсу источника питания, т.е. к плюсу "+", а дырки из "**р**"-зоны поступают к отрицательному полюсу "-" источника питания.

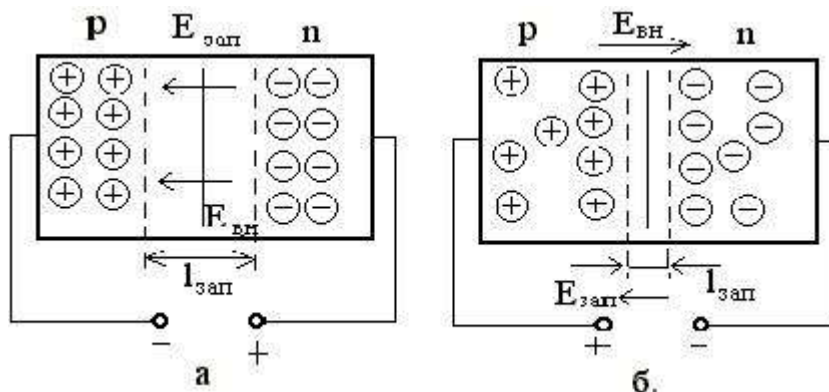


Рисунок – 2 Электонно-дырочный р-п переход во внешнем электрическом поле:

а) к переходу приложено обратное напряжение; б) к переходу приложено прямое напряжение

**Обратный (закрытый) р- п – переход.** Если к **р- п – переходу** приложить внешнее напряжение, которое создает в запирающем слое электрическое поле напряженностью **E<sub>вн.</sub>**, совпадающее по направлению с полем неподвижных зарядов **E<sub>зап.</sub>**, то это приведет к расширению запирающего слоя, так как отведет от контактной зоны и положительные, и отрицательные носители зарядов. При этом электрическое сопротивление запирающего слоя возрастет, ток в этом случае будет ничтожно мал и обусловлен неосновными носителями зарядов.

В этом случае ток называется **обратным**, а **р- п – переход – закрытым** (рис. 9, а). Электроны как бы отсасываются, притягиваются к плюсу источника питания, а дырки – к минусу, растягивая зону запирающего слоя.

**Прямой (открытый) р- п – переход.** При противоположной полярности (рис. 9, б) источника напряжения внешнее электрическое поле направлено навстречу полю запирающего слоя, толщина запирающего слоя уменьшается, и при напряжении 0,3...0,5 В запирающий слой практически

исчезает. Сопротивление **p-n перехода** резко снижается и возникает сравнительно большой ток. Ток при этом называется **прямым**, а переход – открытым. Сопротивление открытого **p-n перехода** определяется только сопротивлением полупроводника.

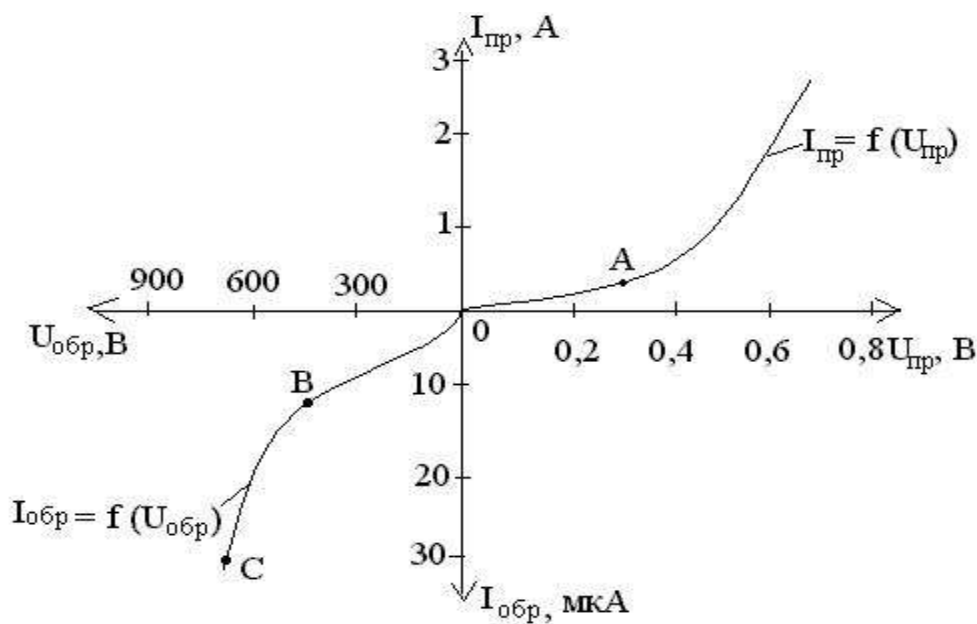


Рис. 10  
Вольт-амперная характеристика p-n - перехода

На рис. 10 показана полная вольт - амперная характеристика открытого и закрытого p-n переходов.

Она является существенно нелинейной. Необходимо помнить, что масштаб тока и напряжения при прямом и обратном включении **p-n перехода** отличаются значительно. В первом квадранте вольт – амперная характеристика определяет измерение тока от напряжения при **прямом включении p-n перехода**; в третьем квадранте – при **обратном включении**, когда ток мал и говорят, что **p-n переход** закрыт.

**При прямом включении p-n-перехода** на участке ОА вольт – амперной характеристики, когда  $|E_{вн.}| < |E_{зап.}|$  ток мал и состоит из потока неосновных носителей заряда и растущим, но еще незначительным потоком основных носителей. В это время запирающий слой уменьшается и его сопротивление падает. При достижении напряжения источника питания величины 0,3...0,5 В прямой ток начинает лавинообразно возрастать, а **p-n-переход** исчезает.

**При обратном включении p-n-перехода** на участке вольт – амперной характеристики ОВ запирающий слой растет, увеличивается электрическое сопротивление **p-n-перехода**. Небольшой ток обусловлен потоком неосновных носителей заряда. При значительном росте обратного напряжения происходит пробой **p-n-перехода** и резкое возрастание тока.

### Вопросы для самопроверки

1. Объясните физический смысл электронной электропроводности примесных полупроводников.
2. Объясните физический смысл дырочной электропроводности примесных полупроводников.
3. Почему электронно-дырочный переход имеет вентильные свойства.
4. В чем различие между типами *n-p-n* и *p-n-p*.

## Тема 1.2 Выпрямительные, туннельные полупроводниковые диоды.

### Стабилитроны

План:

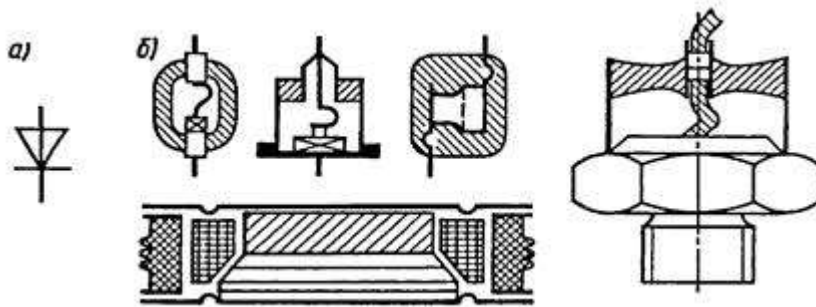
1. Полупроводниковые диоды.
2. Конструкции диодов.
3. Выпрямительные диоды.
4. Фотодиоды.

Полупроводниковым диодом называется прибор с двумя выводами и одним р-п переходом. Принцип работы полупроводникового диода основан на использовании односторонней проводимости, электрического пробоя и других свойств р-п перехода.

Полупроводниковые диоды подразделяют на группы по многим признакам. Бывают диоды из различных полупроводниковых материалов, предназначенные для низких или высоких частот, для выполнения различных функций и отличающиеся друг от друга по конструкции.

Условные графические обозначения различных диодов представлены на

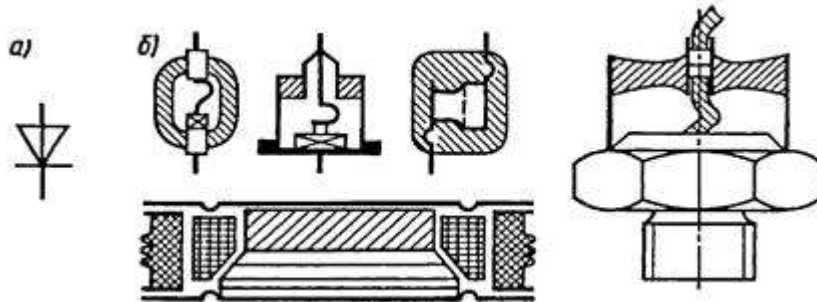




а - условное обозначение выпрямительного диода; б конструкция полупроводниковых диодов.

Рисунок 4 - Классификация и условные графические обозначения диодов

По конструктивно-технологическому принципу диоды разделяют на точечные и плоскостные. Точечные диоды рассчитаны на токи до нескольких миллиампер, а плоскостные - до нескольких ампер. Конструктивно диоды выполняются в металlostеклянных, стеклянных и пластмассовых корпусах (рисунок 5), а также в бескорпусном виде с защитным покрытием.



а - условное обозначение выпрямительного диода; б конструкция полупроводниковых диодов.

Рисунок 5 - Выпрямительные диоды

Выпрямительные диоды применяются для преобразования переменного тока в постоянный. Они делятся на: маломощные (до 0,3А), средней мощности (до 10А), мощные (более 1000А), низкочастотные (до 1кГц) и высокочастотные (до 100кГц).

Основной характеристикой диода является вольт-амперная характеристика (ВАХ) (рисунок 6). ВАХ любого прибора представляет собой зависимость между током, протекающим через прибор и приложенным напряжением.

Основные параметры диодов, указываемые в справочной литературе:

$I_{выпр. ср. макс}$  - максимальное значение среднего выпрямленного диодом тока.

$I_{обр}$  - обратный ток через диод.

$I_{обр. ср}$  - средний обратный ток через диод.

$I_{пр}$  - прямой ток через диод.

$I_{пр. макс}$  - максимальный прямой ток.

$I_{пр. и. макс}$  - импульсный максимальный прямой ток.

$I_{пр. ср}$  - средний прямой ток через диод.

$I_{пр. ср. макс}$  - максимальное значение среднего прямого тока через диод.

$U_{обр. макс}$  - максимальное постоянное обратное напряжение.

$U_{обр. и. макс}$  - максимальное импульсное обратное напряжение, приложенное к диоду.

$U_{пр}$  - падение напряжения на диоде при его прямом включении.

$U_{пр. ср}$  - среднее падение напряжения на диоде при его прямом включении.

$f_{макс}$  - максимальная частота, на которой ещё сохраняется свойство односторонней проводимости диода.



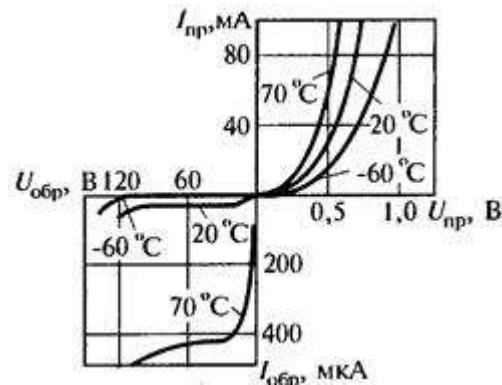


Рисунок 6 - Вольт-амперная характеристика выпрямительного диода

Стабилитроном называется полупроводниковый диод, напряжение на котором в области электрического пробоя при обратном смещении слабо зависит от тока в заданном его диапазоне и который предназначен для стабилизации напряжения.

В зависимости от площади р-п-перехода и конструктивного оформления стабилитроны могут иметь максимально допустимые мощности от десятых долей до 50 Вт.

Типичная ВАХ стабилитрона приведена на рисунке 7.

Прямой ток (кривая 1) в зависимости от напряжения изменяется, как у любого диода, по экспоненциальному закону. Ветвь обратного тока характеризует рабочий режим стабилитрона. Рабочим участком стабилизации является диапазон изменения обратного тока от  $I_{\min}$  до  $I_{\max}$  в области электрического пробоя. Изменение тока происходит при напряжении  $U_{ст}$ , мало зависящем от тока пробоя.

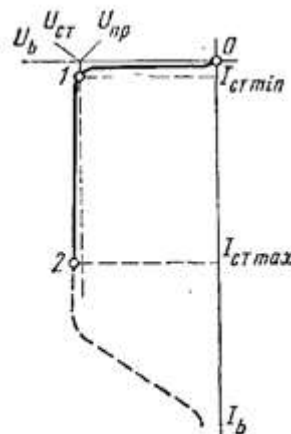


Рисунок 7 - Вольт-амперная характеристика стабилитрона

Стабилитроны - разновидность диодов, предназначенных для стабилизации напряжения. Для получения более высоких стабильных напряжений применяется последовательное соединение стабилитронов, рассчитанных на одинаковые токи.

Иногда стабилитрон называют опорным диодом, так как полученное от него стабильное напряжение в ряде случаев используется как эталонное.

Стабилитроны характеризуются следующими основными параметрами:

1. Напряжение стабилизации - значение напряжения на стабилитроне при протекании заданного тока стабилизации.
2. Максимальный и минимальный токи стабилизации
3. Дифференциальное сопротивление
4. Статическое сопротивление или сопротивление стабилитрона на постоянном токе в рабочей точке
5. Температурный коэффициент напряжения.

Туннельный диод представляет собой полупроводниковый диод на основе вырожденного полупроводника, в котором туннельный эффект приводит к появлению на вольт-амперной характеристике при прямом направлении участка отрицательной дифференциальной проводимости.

Туннельный диод представляет собой полупроводниковый прибор с р-п-переходом, образованным материалами с высокой концентрацией атомов примесей. Электропроводность таких полупроводников приближена к электропроводности металла.

Туннельные диоды изготавливаются из германия и арсенида галлия. Эти диоды обладают так называемой N-образной ВАХ (рисунок 8).

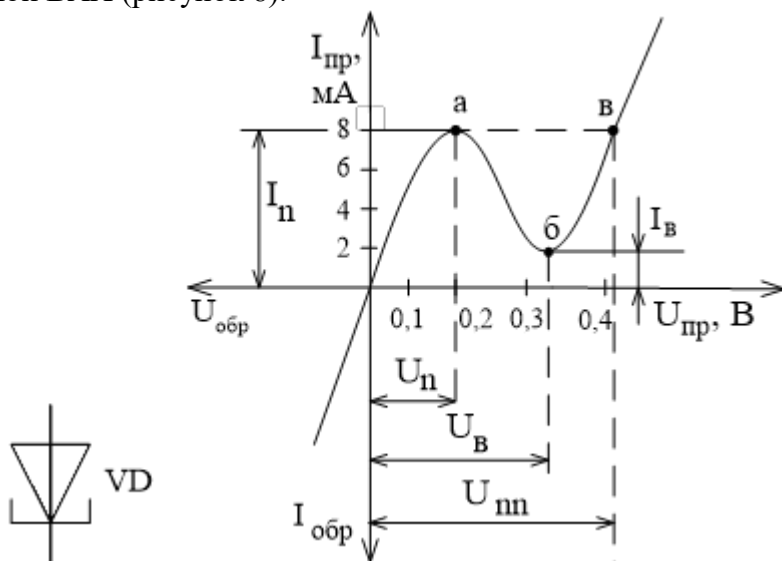
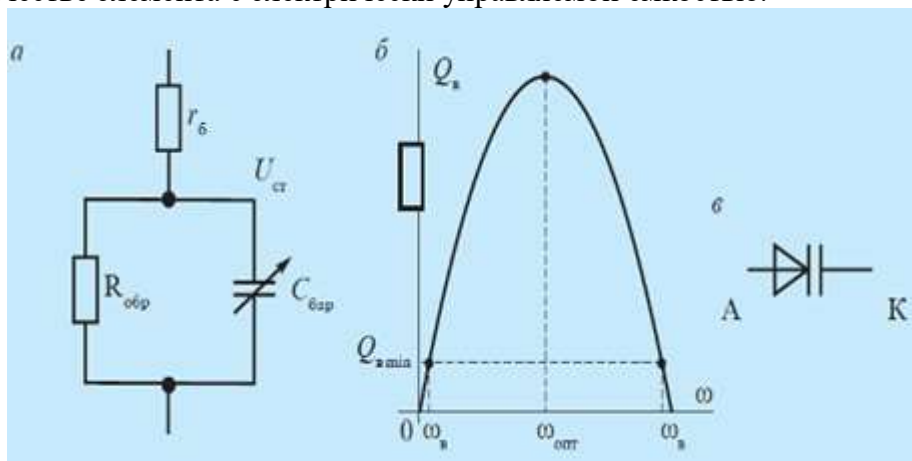


Рисунок 8 - Вольт-амперная характеристика туннельного диода

Туннельный диод нельзя использовать для выпрямления переменного тока, так как он обладает высокой проводимостью при обратном включении. Его применяют для создания и усиления электрических колебаний.

Варикапы - это полупроводниковые диоды, действие которых основано на использовании зависимости ёмкости р-п перехода от обратного напряжения. Варикап (рисунок 9) предназначен для применения в качестве элемента с электрически управляемой ёмкостью.



а - эквивалентная схема; б - зависимость добротности варикапа от частоты; в - условное графическое обозначение варикапа

Рисунок 9 - Характеристики варикапов

Варикапы включают в обратном направлении, т.к. при прямом смещении ёмкость р-п перехода шунтируется его малым сопротивлением.

Фотодиодами называют полупроводниковые диоды, в которых осуществляется управление величиной обратного тока с помощью света. Фотодиод устроен так, что в нем обеспечивается доступ света к р-п-переходу

На рисунке 10 приведены его вольт-амперные характеристики фотодиода для фотодиодного режима.

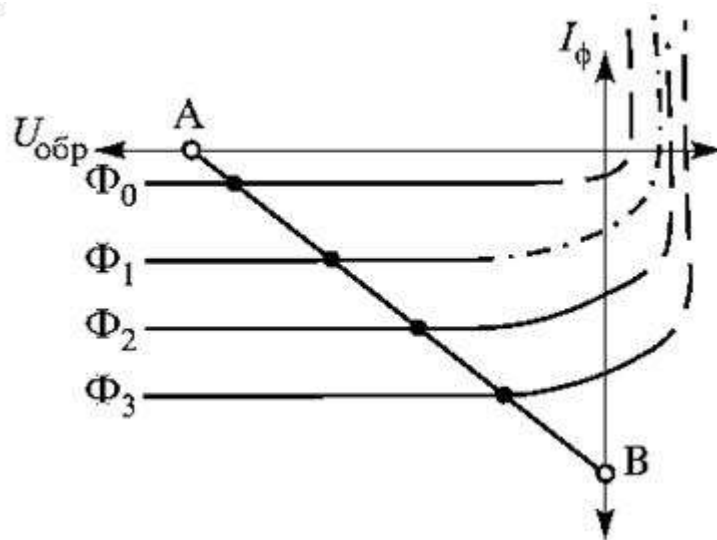


Рисунок 10 - Вольт-амперные характеристики фотодиода

Фотодиоды могут работать в одном из двух режимов: фотодиодном или фотогальваническом. В фотодиодном режиме на диод подают обратное напряжение. В этом режиме ток и напряжение определяются по пересечению нагрузочной линии с одной из вольт-амперных характеристик. При изменении светового потока изменяются ток в цепи и напряжение на диоде.

Излучающий полупроводниковый прибор, имеющий один p-n переход и предназначенный для непосредственного преобразования электрической энергии в энергию светового излучения, называется светодиодом (СД).

В светодиодах используется инжекционная электролюминесценция p-n перехода, включенного в прямом направлении. Вольт-амперная характеристика СД аналогична характеристике диода (рисунок 11).

Постоянное прямое напряжение 1-2В, максимальный постоянный прямой ток составляет в зависимости от типа диода 10-100 мА.

СД широко применяют в качестве световых индикаторов миникульторов и электронных часов, они служат основными элементами современных оптронов.

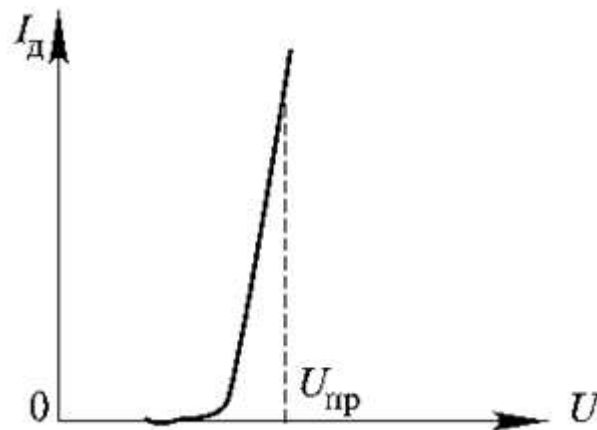


Рисунок 11 - ВАХ светодиода

## Вопросы для самопроверки

1. Объясните устройство полупроводниковых диодов
2. Назовите основные характеристики выпрямительных диодов
3. В чем принципиальное отличие выпрямительных диодов от туннельных.

## Практическая работа №1 «Исследование вольт-амперных характеристик диода»

. Цель работы – изучение основных свойств выпрямительных диодов и стабилитронов по их вольт-амперным характеристикам.

- Содержание отчета
1. Наименование лабораторной работы.
  2. Цель работы.
  3. Перечень приборов и оборудования, используемых в лабораторной работе.
  4. Исследуемые схемы (А1, А2, А3, А4).
  5. Результаты исследований.
  6. Табл. 1.1–1.4 с результатами исследований.
  7. Ответы на контрольные вопросы.

### Общие сведения

Полупроводниковые и выпрямительные диоды представляют собой полупроводниковые приборы с одним электронно-дырочным переходом (р–п-переходом). Одним из свойств р–п-перехода является способность изменять свое сопротивление в зависимости от полярности напряжения внешнего источника. Причем разница сопротивлений при прямом и обратном направлениях тока через р–п-переход может быть настолько велика, что в ряде случаев, например для силовых диодов, можно считать, что ток протекает через диод только в одном направлении – прямом, а в обратном направлении ток настолько мал, что им можно пренебречь. Прямое направление – это когда электрическое поле внешнего источника направлено навстречу электрическому полю р–п-перехода, а обратное – когда направления этих электрических полей совпадают. Полупроводниковые диоды, использующие вентильное свойство р–п-перехода, называются выпрямительными диодами и широко используются в различных устройствах для выпрямления переменного тока. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) идеализированного р–п-перехода описывается известным уравнением, где  $I_0$  – обратный ток р–п-перехода;  $q$  – заряд электрона ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл);  $k$  – постоянная Больцмана ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/град);  $T$  – температура в градусах Кельвина. Графическое изображение этой зависимости представлено на рис. 1.1. Вольт-амперная характеристика имеет явно выраженную нелинейность, что предопределяет зависимость сопротивления диода от положения рабочей точки. Различают сопротивление статическое  $R_{ст}$  и динамическое  $R_{дин}$ . Статическое сопротивление  $R_{ст}$ , например в точке А (рис. 1.1), определяется как отношение напряжения  $U_A$  и тока  $I_A$ , соответствующих этой точке:  $R_{ст} = \frac{U_A}{I_A}$ . Динамическое сопротивление  $R_{дин} = \frac{\Delta U}{\Delta I}$  определяется как отношение приращений

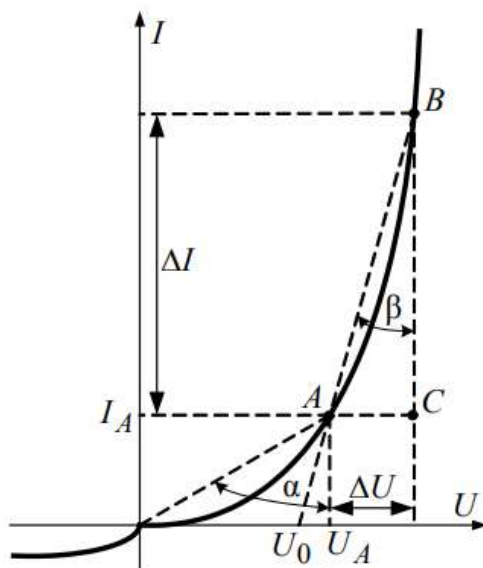


Рис. 1.1

Рис. 1.1  $U$   $\Delta U$   $\Delta I$   $I_A$   $I$   $A$   $B$   $C$   $\alpha$   $\beta$   $U_0$   $U_A$  При малых значениях отклонений  $\Delta U$  и  $\Delta I$  можно пренебречь нелинейностью участка  $AB$  характеристики и считать его гипотенузой прямоугольного треугольника  $ABC$ , тогда  $\text{дин } R = \text{tg} \beta$ . Если продолжить линейный участок прямой ветви вольт-амперной характеристики до пересечения с осью абсцисс, то получим точку  $U_0$  – напряжение отсечки, которое отделяет начальный пологий участок характеристики, где динамическое сопротивление  $R_{\text{дин}}$  сравнительно велико от круто изменяющегося участка, где  $R_{\text{дин}}$  мало. При протекании через диод прямого тока полупроводниковая структура нагревается, и если температура превысит при этом предельно допустимое значение, то произойдет разрушение кристаллической решетки полупроводника и диод выйдет из строя. Поэтому величина прямого тока диода ограничивается предельно допустимым значением  $\text{пр.мах } I$  при заданных условиях охлаждения. Если увеличивать напряжение, приложенное в обратном направлении к диоду, то сначала обратный ток будет изменяться незначительно, а затем при определенной величине  $U_{\text{проб}}$  начнется его быстрое увеличение (рис. 1.2), что говорит о наступлении пробоя  $p$ - $n$ -перехода. Существуют несколько видов пробоя  $p$ - $n$ -перехода в зависимости от концентрации примесей в полупроводнике, от ширины  $p$ - $n$ -перехода и температуры: • обратимый (электрический пробой); • необратимые (тепловой и поверхностный пробой). Необратимый пробой для полупроводникового прибора является нерабочим и недопустимым режимом.

**Оборудование, используемое в лабораторной работе:** лабораторный стенд, блок № 1

(схемы  $A1$ – $A4$ ); комбинированный прибор «Сура», мультиметры; соединительные провода.

1. Экспериментальное получение прямой ветви ВАХ диода  $I$   $fU$  при  $\text{пр} = ( )$  с использованием схемы  $A1$ , представленной на рис. 1.3. 1.1. Подключить стенд к сети, поставив сетевой тумблер в положение ВКЛ и нажав кнопку СЕТЬ на блоке питания.

1.2. На одном из источников питания  $V1$  или  $V2$  с помощью ручек ГРУБО и ПЛАВНО установить напряжение 5 В, измерив его мультиметром на пределе измерения 20 В. 1.3. Отключить сетевой тумблер.

1.4. Ручку потенциометра  $R1$  повернуть против часовой стрелки до упора.

1.5. Подать питание на исследуемую схему: «+» –  $X1$ , «-» –  $X2$ .

1.6. Подключить согласно мнемосхеме, соблюдая указанную полярность мультиметра со следующими пределами измерения: «20 mA» – в режиме амперметра, «2 V» – в режиме вольтметра.

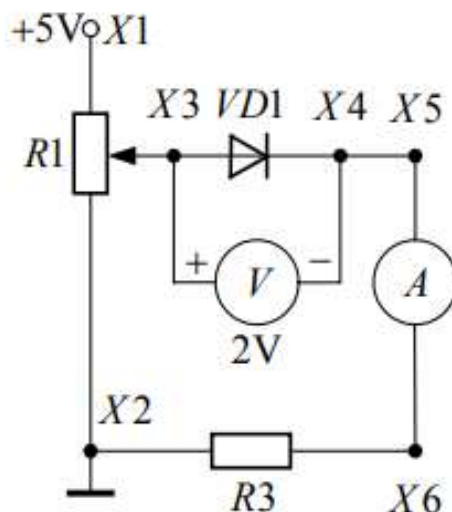


Рис. 1.3. Схема А1

После проверки схемы преподавателем включить сетевой тумблер. +5V V A X1 R1 X 2 X 3 VD1 X 4 + – R3 X 5 X 6 2V Рис. 1.3. Схема А1 1.8. Поворачивая ручку потенциометра R1 по часовой стрелке, изменять прямое напряжение диода в пределах, указанных в табл. 1.1, фиксируя значения тока через каждые 0,1–0,05 В. Результаты измерений занести в табл. 1.1.

U пр, В	0	0,1	0,2	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
I пр., А								

Выключить сетевой тумблер.

2. Экспериментальное получение обратной ветви ВАХ диода I fU обр обр = ( ) с использованием схемы А2, представленной на рис. 1.4.

2.1. На обоих источниках питания V1 и V2 выставить максимальные напряжения 15 В, повернув ручки ГРУБО и ПЛАВНО по часовой стрелке до упора. Соединить источники последовательно, установив, таким образом, напряжение блока питания 30 В.

2.2. Подать напряжение питания на исследуемую схему: «+» источника V2 – на клемму X1, «–» источника V1 – на клемму X2.

2.3. Ручку потенциометра R2 повернуть против часовой стрелки до упора.

2.4. Подключить согласно мнемосхеме, соблюдая указанную полярность мультиметра со следующими пределами измерения: «200  $\mu$ А» – в режиме амперметра, «200 V» – в режиме вольтметра.

### Вопросы для самопроверки

1. Объясните выпрямляющее действие диода.
2. Приведите основные параметры выпрямительного диода.
3. Как влияет температура на диод?
4. В чем заключается основное свойство выпрямительного диода?
5. По каким параметрам выбираются диоды в схемах?

## Практическая работа №1 Исследование характеристик выпрямительного диода

ЦЕЛЬ РАБОТЫ: снятие и анализ вольт - амперной характеристики (ВАХ) диода. Определение параметров диода.

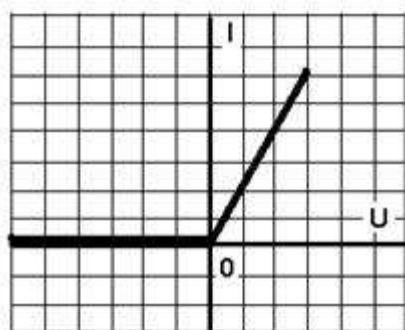
Содержание отчета

1. сборка схемы опыта;
2. снятие прямой ветви ВАХ;
3. снятие обратной ветви ВАХ;
4. определение параметров диода;
5. составление отчета

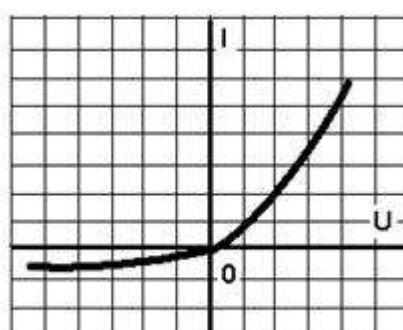
Полупроводниковым диодом называют прибор с двумя выводами (анод и катод) и одним электронно-дырочным переходом. Принцип действия диодов основан на использовании односторонней электропроводимости, электрического пробоя и других свойств p-n перехода. Полупроводниковые диоды в основном служат для преобразования 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.

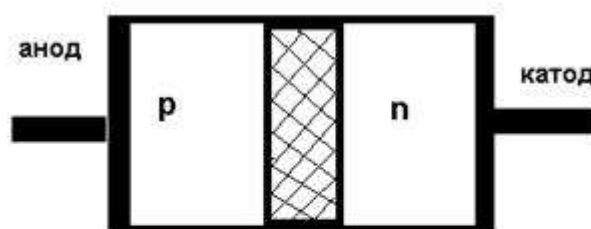
Основной материал диодов - кремний и германий. По конструкции диоды выполняются плоскостные и точечные. Основной характеристикой диода служит его вольт - амперная характеристика, вид которой совпадает с видом вольт - амперной характеристики (ВАХ) p - n перехода. ВАХ диода зависит от температуры окружающей среды.



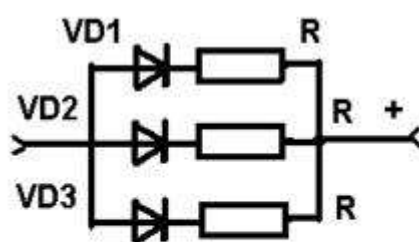
ВАХ идеального диода



ВАХ реального диода



Конструкция диода



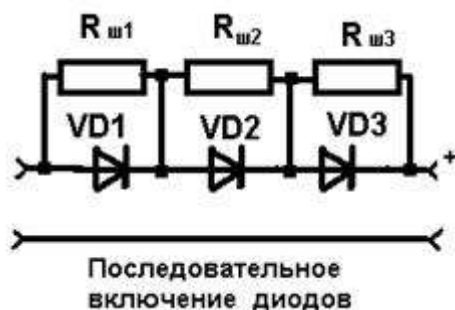
Параллельное включение диодов

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 (300мА – 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 p - n 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.



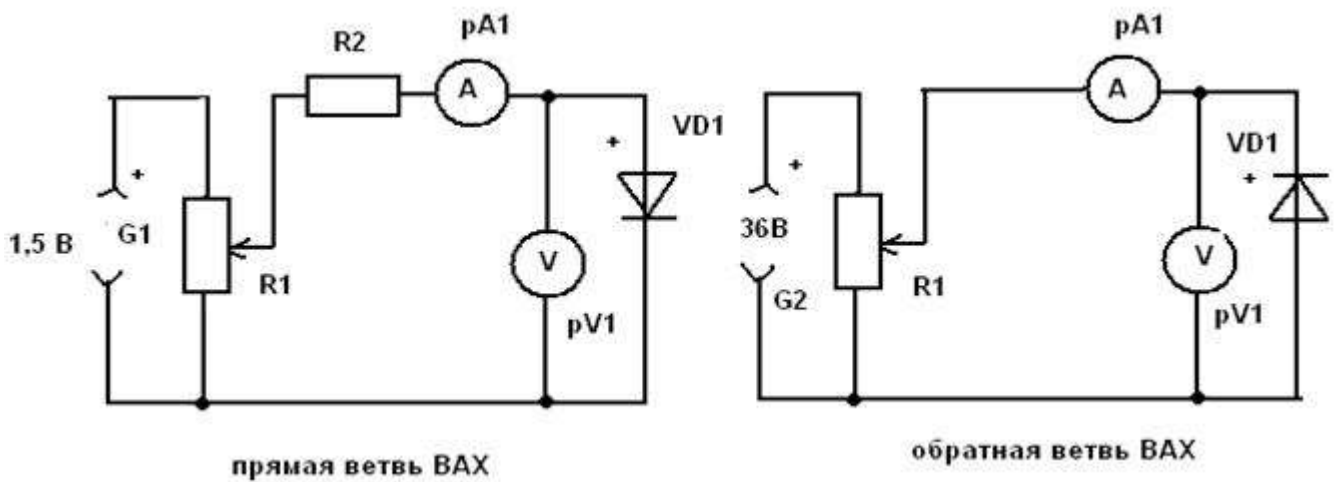


рис.1 рис.2

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.

### Вопросы для самопроверки

1. Какой пробой опасен для p-n перехода?
2. Что называется полупроводниковым диодом?
3. Когда используют параллельное соединение диодов?

## Практическая работа №3 Исследование характеристик стабилитрона

Цель работы: Исследование характеристик стабилитрона, определение параметров и изучить влияние температуры окружающей среды на его свойства.

### 1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Стабилитрон – это полупроводниковый диод, предназначенный для стабилизации напряжения. Для этого используются диоды, у которых на ВАХ имеется участок со слабой зависимостью напряжения от проходящего тока. Такой участок наблюдается на обратной ветви ВАХ диода в режиме электрического пробоя. Поэтому рассмотрим вначале пробой р-п перехода.

#### 1.1. Пробой р-п переходов

В реальном р-п переходе, когда обратное напряжение достигает некоторого критического значения, ток через переход резко возрастает, начинается пробой перехода. Величина напряжения, при котором наступает пробой  $U_{проб.}$  зависит от типа р-п перехода и составляет от нескольких вольт до нескольких киловольт.

Различают следующие виды пробоя: электрический и тепловой, а электрический в свою очередь разделяют на туннельный и лавинный.

Туннельный пробой – в основе лежит туннельный эффект, т.е. просачивание электронов сквозь потенциальный барьер, высота которого больше, чем энергия носителей заряда. Это становится возможным при значительном электрическом поле, т.е. при высоких уровнях легирования (ширина р-п перехода мала). Вероятность туннельного перехода зависит от ширины запрещенной зоны полупроводников. При увеличении температуры ширина запрещенной зоны уменьшается, ширина перехода уменьшается, напряжение пробоя снижается.

Лавинный пробой вызывается ударной ионизацией: неосновные носители, образующие  $I_0$ , ускоряются приложенным напряжением настолько, что при их соударении с атомами кристаллической решетки происходит ионизация атомов. В результате генерируется пара свободных носителей заряда: электрон и дырка. Вновь появившиеся носители заряда также ускоряются электрическим полем и в свою очередь могут вызвать ионизацию других атомов. Процесс приобретает лавинообразный характер. Это приводит к резкому увеличению обратного тока, который может быть ограничен только внешним сопротивлением. Лавинный пробой возникает в высокоомных р-п переходах, имеющих большую ширину р-п перехода.  $U_{проб.}$  в данном случае растет с увеличением температуры полупроводника, т.к. при увеличении температуры происходит уменьшение длины свободного пробега носителей.

Тепловой пробой возникает в результате разогрева р-п перехода, когда количество теплоты, выделяемой при протекании тока, больше отводимой. При этом происходит интенсивная тепловая генерация свободных носителей заряда. Это приводит к увеличению тока, что в свою очередь приводит к дальнейшему повышению температуры, т.е. возникает обратная положительная связь. Происходит тепловой пробой и прибор выходит из строя.

Следует отметить, что при электрическом пробое практически в той или иной степени могут иметь место одновременно и туннельный и лавинный механизм пробоя.

Необходимо подчеркнуть различие явлений теплового и электрического пробоя. Если при электрическом пробое процессы развиваются в области объемного заряда, то тепловой пробой является следствием нарушения теплового баланса полупроводникового прибора из-за наличия положительной обратной связи между выделением тепла и током.

#### 1.2. Стабилитроны

Действие полупроводниковых стабилитронов основано на электрическом (лавинном или туннельном) пробое р-п перехода, при котором происходит резкое увеличение обратного тока, а обратное напряжение изменяется очень мало. Это свойство использовано для стабилизации напряжения в электрических цепях. В связи с тем, что лавинный пробой характерен для диодов, изготовленных на основе полупроводника с большой шириной запрещенной зоны, исходным

материалом для стабилитронов служит кремний. Кроме этого, кремний обладает малым тепловым током  $I_0$  и устойчивыми характеристиками в широком диапазоне температур.

Для работы в стабилитронах используют пологий участок ВАХ обратного тока диода (см. рис.1.) в пределах которого резкие изменения обратного тока от  $I_{ст.мин.}$  до  $I_{ст.макс}$  сопровождаются весьма малыми изменениями обратного напряжения (см. рис.1). Т.е. для стабилитрона пробой является нормальным режимом работы. Другими словами стабилитрон – это диод работающий в режиме электрического пробоя.

Пробивное напряжение диода является напряжением стабилизации, которая зависит от толщины р-п перехода или от удельного сопротивления базы диода. Поэтому разные типы стабилитронов имеют различные напряжения стабилизации  $U_{ст}$  (от 3 до 400 В).

Низковольтные стабилитроны (с напряжением  $U_{ст} < 6$  В) выполняют на основе сильнолегированного кремния с малым удельным сопротивлением. В них возникает узкий р-п переход с высокой напряженностью поля, при которой получается туннельный пробой.

Высоковольтные стабилитроны изготавливают на основе слаболегированного кремния с высоким удельным сопротивлением. В них ширина перехода больше, напряженность поля меньше, чем в низковольтных, а характер пробоя меняется на лавинный.

На рис. 1.а изображена вольтамперная характеристика диода, на рис.1.б вольтамперная характеристика стабилитрона, а на рис.2 – схема стабилизации постоянного напряжения на нагрузке с использованием стабилитрона. При увеличении, например, входного напряжения возрастут ток  $I_{вх}$  в общей цепи и ток через стабилитрон  $I_{ст.}$ . Увеличится падение напряжения на балластном резисторе  $R_b$  а напряжения на стабилитроне  $U_{ст}$  и нагрузке  $R_n$  останутся практически неизменными.

Для стабилизации напряжения разной полярности выпускаются симметричные стабилитроны, имеющие симметричную ВАХ. Для получения симметричной ВАХ с двух сторон пластинки кремния одновременно формируют два р-п перехода. При подаче напряжения на крайние области структуры эти переходы оказываются включенными встречно.

Помимо стабилизации напряжения источников, стабилитроны нашли применение в качестве ограничителей, фиксаторов уровня, развязывающих элементов переключающих устройств.

## ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Лабораторный макет состоит из унифицированного корпуса и ячейки стабилитронов. На передней панели корпуса расположены кнопки переключателей S1-S3. На панели сменного блока приведена блок-схема лабораторной работы (рис.3) и вмонтированы гнезда для подключения источника напряжения и измерительных приборов. Переключение кнопки S1 приводит к изменению полярности напряжения, что позволяет исследовать прямую и обратную ветви ВАХ стабилитрона. При нажатой кнопке S2 производится измерение тока, протекающего через стабилитрон. Переключение кнопки S3 подключает вольтметр к одному из двух стабилитронов. Установка тока стабилитронов производится регулировкой напряжения источника питания ТЕС-88.

Ячейка стабилитронов представляет собой пластиковый корпус, в котором собраны нагреватель и два стабилитрона КС133, Д814. Нагреватель включается в сеть 220 В. После 15-20 мин. прогрева температура на радиаторе стабилитронов составляет 90 °С. Гнездо Т, °С предназначено для присоединения зонда, измеряющего температуру.

Внимание: нагрев осуществлять при выключенном источнике питания.

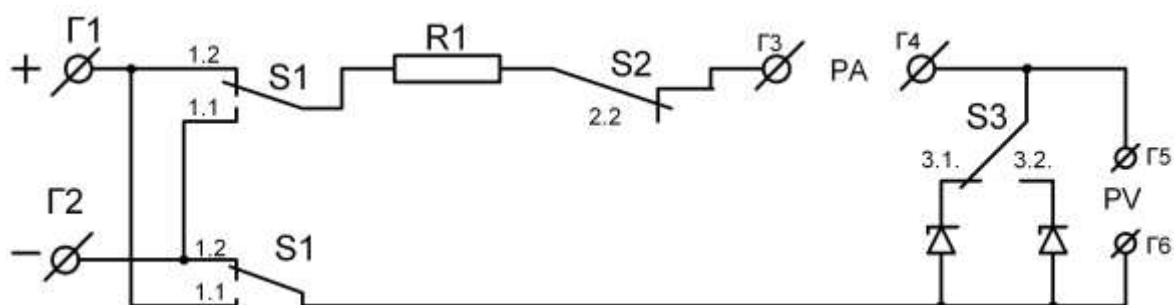


Рис. 3. Схема для измерения ВАХ стабилитронов.

### Вопросы для самопроверки

1. Какое назначение имеет стабилитрон и как он включается?
2. Почему ограничен ток стабилизации у стабилитрона?
3. Как называются электроды и стабилитрона?

## Практическая работа №4 Исследование характеристик светодиода

Целью данной работы является исследование характеристик светодиода

Рассмотрение данной темы в работе является актуальной для студентов первых и вторых курсов, так как изучению светодиодной техники по программе. Студент, освоивший данную тему, с легкостью сможет разобраться с инновациями, в которые внедрены и используются светодиоды.

Светодиод (рис. 1) или светоизлучающий диод (СД, СИД; англ. light-emitting diode, LED) – полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении.

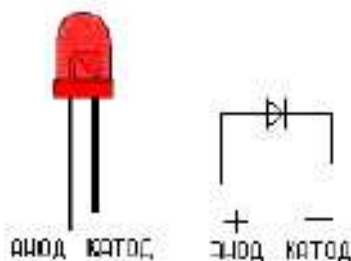


Рис. 1. Светоизлучающий диод

Принцип работы: при пропускании электрического тока через p-n переход в прямом направлении, носители заряда – электроны и дырки – рекомбинируют с излучением фотонов (из-за перехода электронов с одного энергетического уровня на другой).

### Задание 1

#### Эксперимент 1. Свечение зеленого светодиода

1. Соберите электрическую цепь, по схеме, приведенной на рис. 1.

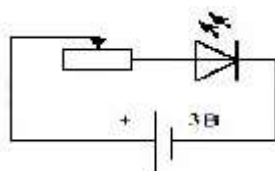


Рис. 1. Основная схема включения светодиода

2. В реостате выставить максимальное значения сопротивления (50 кОм). С помощью мультиметра измерить напряжение, сопротивление и силу тока. Занесите измеренные значения в табл. 1.
3. Изменяя сопротивление реостата (40; 30; 20; 15; 10; 5 кОм), измерьте силу тока и напряжение. Запишите полученные значения  $I$  и  $U$  в табл. 1.

## Задание 2

### Эксперимент 2. Свечение красного светодиода

Повторите проделанные расчеты, заменив светодиод на красный. Запишите полученные значения  $I_2$  и  $U_2$  в табл. 2.

## Задание 3

По заданным значениям постройте на одном графике зависимости силы прямого тока от напряжения для двух видов светодиодов (рис. 2).

## Задание 4

Сравнить график теоретический зависимости силы прямого тока от напряжения для двух видов светодиодов с полученным практическим (рис. 3). Сделать вывод.

### Таблица 1

#### Результаты измерений

R, кОм	50	40	30	20	15	10	5
$I_1$ , мА	2,2	2,8	4,3	8,5	9,1	23,5	26,8
$U_1$ , В	1,29	1,32	1,52	1,8	1,9	2,4	2,47
$I_2$ , мА	2,62	1,88	4,3	6,4	8,3	13,4	27
$U_2$ , В	1,2	1,3	1,4	1,42	1,44	1,55	1,57

### Таблица 2

#### Результаты измерений

R, кОм	50	40	30	20	15	10	5
$I_1$ , мА	1,2	3	4,3	5	7	19	25
$U_1$ , В	1,35	1,4	1,45	1,5	1,55	1,7	1,72
$I_2$ , мА	2	1,88	4,2	5	6,3	9,4	24
$U_2$ , В	1,2	1,27	1,3	1,36	1,38	1,4	1,42

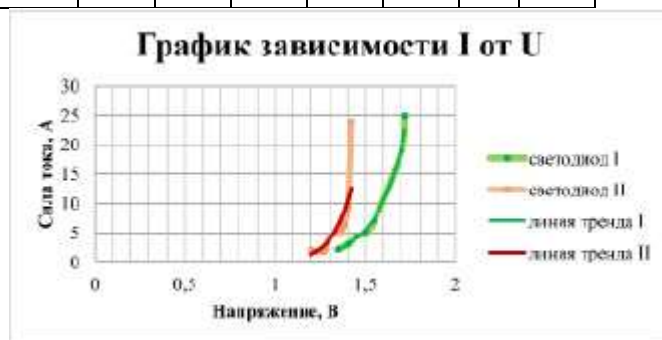


Рис. 2. Зависимости силы прямого тока от напряжения для двух видов светодиодов

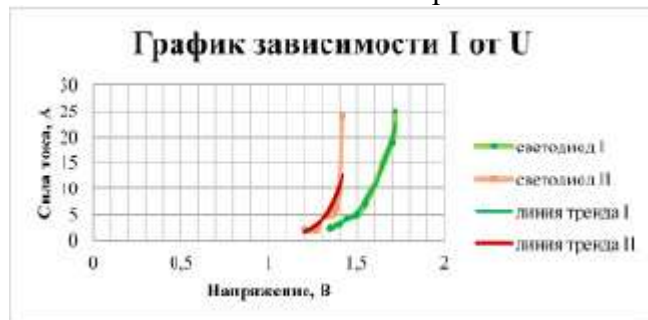


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики светодиодов

### Вопросы для самопроверки

1. Материалы для изготовления светодиодов?
2. Конструкция светодиодов?

3. Особенности светодиодов на гетеропереходах?
4. От чего зависит эффективность ввода излучения в волокно?

### Тема 1.3 Усилители. Классификация, область применения

Наиболее важное назначение электронных приборов – усиление электрических сигналов. Устройства, предназначенные для выполнения этой задачи, называются электронными усилителями (рис. 6.1). Усилительные устройства находят очень широкое применение. Они являются основными узлами различной электронной аппаратуры, широко используются в устройствах автоматики и телемеханики, в следящих, управляющих и регулирующих системах, счетно-решающих и вычислительных машинах, контрольно-измерительных приборах и т.д.

Усилителем называется устройство, предназначенное для повышения мощности входного сигнала. Увеличение мощности, выделяемой в сопротивлении нагрузки, по сравнению с мощностью источника входного сигнала, достигается за счет энергии источника постоянного напряжения, называемого источником питания (при этом соблюдается закон сохранения энергии). Маломощный входной сигнал лишь управляет передачей энергии источника питания в нагрузку. Под воздействием входного сигнала на выходе усилительного элемента возникают более мощные колебания, которые и передаются в нагрузку.

Усилители, используемые в современных устройствах, отличаются параметрами, назначением, характером усиливаемых сигналов и т.д.

По характеру усиливаемого сигнала усилители можно разделить на две группы: усилители гармонических сигналов и усилители импульсных сигналов:

Усилители гармонических сигналов (гармонические усилители) предназначены для усиления непрерывных во времени сигналов. При изменении любого параметра сигнала в усилителе возникает переходный процесс: колебание на выходе усилителя достигает установившегося значения через определенное время. Параметры усиливаемого сигнала в гармонических усилителях изменяются значительно медленнее переходных процессов;

Усилители импульсных сигналов (импульсные усилители) предназначены для сигналов, уровень которых меняется настолько быстро, что переходный процесс является определяющим для усиленного сигнала.

По ширине полосы и абсолютным значениям усиливаемых частот можно выделить следующие группы усилителей:

- усилители постоянного тока (УПТ), усиливающие как переменную, так и постоянную составляющие сигнала, т.е. нижшая пропускаемая частота  $f_n = 0$ ;

усилители переменного тока, усиливающие только переменную составляющую сигнала.

В свою очередь, усилители переменного тока в зависимости от значений частот  $f_n$  и  $f_v$  делятся на следующие группы:

- усилители звуковых частот (УЗЧ) или усилители низких частот (УНЧ), частотный спектр которых лежит в пределах от 20 Гц до 20 кГц;

- усилители высокой частоты (УВЧ), имеющих полосу пропускания от десятков килогерц до сотен мегагерц;

- избирательные (или селективные) усилители, усиливающие сигналы в очень узкой полосе частот. Для них характерна небольшая величина отношения верхней частоты к нижней (обычно  $f_v / f_n \approx 1$ ). Эти усилители могут использоваться как на низких, так и на высоких частотах. Часто их называют резонансными или полосовыми;

По типу усилительного элемента различают: транзисторные, ламповые, параметрические, квантовые и магнитные усилители.

По конструктивному выполнению усилители можно подразделить на две большие группы: усилители, выполненные с помощью дискретной технологии и усилители, выполненные с помощью интегральной микросхемотехники.

Приведенные классификационные признаки являются далеко не полными. Можно подразделять усилители по электрическому параметру усиливаемого сигнала. По этому признаку усилители подразделяют на усилители напряжения, тока или мощности (такое разделение условно, так как в

любом случае усиливается мощность). По числу усилительных каскадов усилители можно разделить на однокаскадные и многокаскадные и т.д.

Работу усилителей принято оценивать рядом технических показателей и характеристик, которые зависят от требований, предъявляемых к ним, и их конкретного назначения.

#### Вопросы для самопроверки

1. Поясните принцип усиления переменного напряжения в простейших усилителях?
2. Как рассчитываются элементы усилителя, обеспечивающие заданный режим работы?
3. В чем отличия избирательных усилителей от остальных

### Практическая работа №5 «Исследование схемы инвертирующего, неинвертирующего и интегрирующего усилителя»

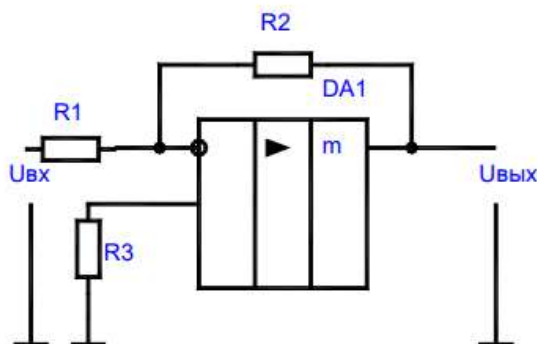
Цель работы: Изучение принципа работы, основных параметров и характеристик операционного усилителя (ОУ), исследование схем включения ОУ.

#### Подготовка к работе

1. Определить входное, выходное сопротивления и коэффициент усиления инвертирующего и неинвертирующего усилителей для заданных преподавателем значений параметров исследуемых схем.
2. Нарисовать схемы исследуемых усилителей.
3. Ознакомиться с порядком сборки схем на стенде.

Собрать схему инвертирующего усилителя, представленную на рис.

Инвертирующий усилитель. В этой схеме входной сигнал подается на инвертирующий вход ОУ, а его не инвертирующий вход заземлен



Усилитель называется инвертирующим, так как выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  инвертировано по отношению к выходному напряжению  $U_{\text{вх}}$ . Отрицательная обратная связь создается с помощью резисторов  $R_2$ ,  $R_1$  (параллельная ООС по напряжению). Коэффициент усиления напряжения схемой инвертирующего ОУ определяется выражением:

$$K_u = -R_2/R_1$$

Если  $R_2 = R_1$ , то  $K_u = -1$  и ОУ становится инвертирующим повторителем напряжения, у которого  $U_{\text{вых}} = -U_{\text{вх}}$ . Входное сопротивление инвертирующего ОУ.

$$R_{\text{вх}} = R_1$$

а выходное сопротивление

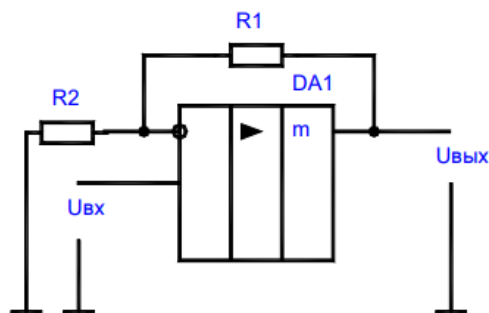
$$R_{\text{вых}} = R_{\text{вых оу}} / (1 + K_{\text{оу}}/K_u)$$

Для компенсации различия входных токов в схему введен резистор

$$R3 = R1 * R2 / (R1 + R2)$$

### Неинвертирующий усилитель

В этой схеме (ниже) входной сигнал подается на неинвертирующий вход ОУ, а его инвертирующий вход с помощью делителя выходного напряжения, выполненного на резисторах R1, R2, подается напряжение ООС.



Коэффициент усиления неинвертирующего усилителя

$$K_u = 1 + R1/R2$$

Входное сопротивление неинвертирующего усилителя

$$R_{вх} = R_{вх\ оу} * (1 + K_{оу}/K_u)$$

а выходное сопротивление

$$R_{вых} = R_{вых\ оу} / (1 + K_{оу}/K_u)$$

При выполнении условия  $R1 = 0$ ,  $R2 = \infty$  ОУ будет выполнять функцию практически идеального повторителя напряжения, у которого

$$K_u = 1, \text{ а } U_{вых} = U_{вх}$$

Собрать схему инвертирующего усилителя, представленную на рисунке

1. Подать на вход усилителя постоянное напряжение не более 1В от источника ИПН1 (выходное напряжение ИПН1 регулируется резистором R2). Замерить с помощью цифрового вольтметра выходное напряжение и рассчитать коэффициент усиления схемы.
2. Снять и построить амплитудную характеристику усилителя, изменяя напряжение от источника ИПН1 от 0 до  $U_{вх\ max}$  при котором усилитель входит в насыщение. Определить значение  $U_{вых\ нас.}$  исследуемого ОУ. Входное и выходное напряжения замеряются цифровым вольтметром.
3. Подать на вход усилителя синусоидальный сигнал частотой  $f = 1\text{кГц}$  и амплитудой не более 1В от генератора ГС1. Зарисовать осциллограммы входного и выходного напряжений.
4. Подать на вход усилителя сигнал с амплитудой более  $U_{вх\ max}$  и зарисовать осциллограмму выходного напряжения. Пояснить полученный результат.
5. Снять и построить амплитудно-частотную характеристику усилителя при  $U_{вх} = 1\text{В}$ , изменяя частоту входного сигнала от 200 Гц до 2 МГц.
6. Собрать схему неинвертирующего усилителя, представленную на рис.
7. Приложение 1.
8. Для исследования данной схемы усилителя выполнить указания пунктов



9. Сравнить результаты практического исследования схем на ОУ с теоретическими и сделать выводы.

### Вопросы для самопроверки

1. Какова разность фаз между входным и выходным сигналами инвертирующего усилителя на ОУ? Почему?
2. Чем отличается постоянная составляющая выходного напряжения усилителя на ОУ?

В каком случае для описания работы электрических схем на основе операционного усилителя? От чего может зависеть качество полученных результатов?

### Тема: Трансформаторные и бестрансформаторные усилители мощности.

В качестве *однотактных бестрансформаторных УМ* могут быть применены уже рассмотренные каскады с ОЭ (ОИ) и ОК (ОС), выполненные на мощных БТ или ПТ, причем эмиттерный (истоковый) повторитель эффективен при низкоомной (порядка единиц Ом) нагрузке. Основной недостаток таких каскадов — в режиме согласования с нагрузкой  $\text{КПД} \leq 25\%$ .

*Однотактные трансформаторные УМ* имеют  $\text{КПД} \leq 50\%$  за счет оптимального согласования с нагрузкой с помощью трансформатора (рисунок 4.4).

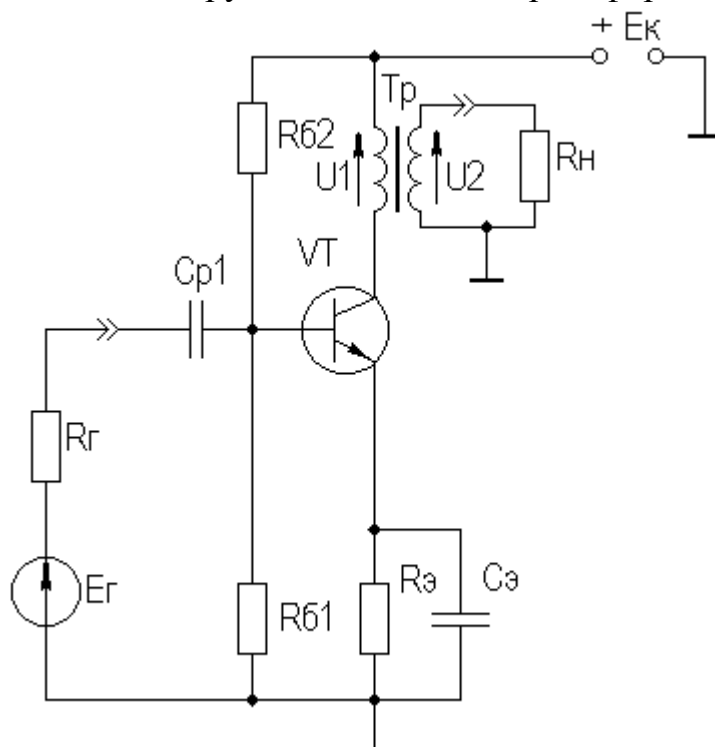


Рисунок 4.4. Однотактный трансформаторный УМ

Сопротивление нагрузки по переменному току равно:

$$R_{H\sim} \approx R_H \cdot n^2,$$

где  $n$  — коэффициент трансформации,  $n = U_1/U_2$ .

Данный каскад находит ограниченное применение в современной схемотехнике УМ из-за ряда существенных недостатков:

- ◆ малого КПД;
- ◆ больших частотных искажений за счет трансформатора;

- ◆ больших НИ за счет тока подмагничивания трансформатора;
- ◆ невозможности реализации в виде ИМС.

Трансформаторные УМ подробно описаны в классических учебниках по УУ, например, в [5,6].

### Двухтактные УМ

Двухтактные УМ ввиду возможности использования режимов АВ, В, С и D характеризуются лучшими энергетическими показателями. На рисунке 4.5 приведена схема *двухтактного УМ с трансформаторной связью*.

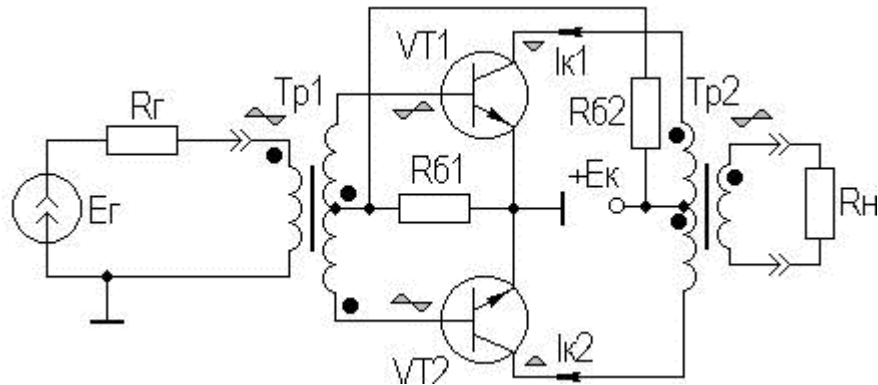


Рисунок 4.5. Двухтактный трансформаторный УМ

При работе данного УМ в режиме класса В, цепь резистора  $R_{62}$  отсутствует. Трансформатор  $Tr_1$  осуществляет согласование входа УМ с источником сигнала, трансформатор  $Tr_2$  согласует выходное сопротивление УМ с сопротивлением нагрузки. Трансформатор  $Tr_1$  выполняет еще и функции фазоинвертора (см. на рисунке 4.5 фазировку его обмоток).

Усиление сигнала в рассматриваемом УМ происходит в два такта работы устройства. Первый такт сопровождается усилением положительной полуволны гармонического сигнала с помощью транзистора  $VT_2$ , второй — усилением отрицательной полуволны гармонического сигнала с помощью  $VT_1$ .

Графический и энергетический расчет двухтактного трансформаторного УМ двухтактного достаточно полно представлены в классических учебниках по усилительным устройствам, например, [5,6]. Энергетический расчет показывает, что КПД такого УМ реально достигает порядка 70%, что примерно в 1,5 раза больше чем у однотактных УМ.

При выборе типа для УМ следует учитывать то обстоятельство, что на коллекторе закрытого транзистора действует напряжение, равное примерно  $2 \cdot E_k$ , что объясняется суммированием  $E_k$  и напряжения на секции первичной обмотки  $Tr_2$ .

Вследствие того, что каждый транзистор пропускает ток только для одной полуволны гармонического сигнала, режим класса В характеризуется лучшим использованием транзистора по току.

Поскольку токи в секциях обмоток трансформаторов протекают в разных направлениях, отсутствует подмагничивание их сердечников. Отметим так же, что в двухтактном УМ исключена (при симметрии плеч УМ) паразитная ОС по источнику питания и в выходном сигнале отсутствуют четные гармонические составляющие.

Как уже отмечалось выше, отсутствие тока покоя в УМ класса В приводит к появлению значительных НИ. Вследствие нелинейности входных ВАХ, выходной сигнал в двухтактном УМ класса В имеет переходные искажения типа "ступеньки" (рисунок 4.6).

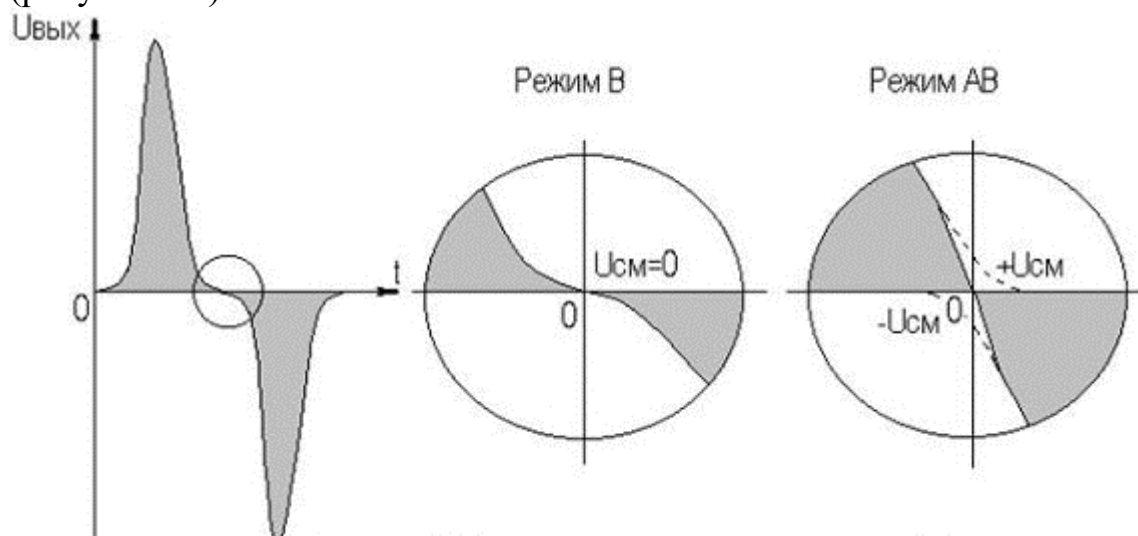


Рисунок 4.6. Искажения сигнала в двухтактном трансформаторном УМ

Уменьшение НИ возможно путем перехода к режиму класса АВ (см. рисунки 4.2 и 4.6). Т.к. токи покоя в режиме класса АВ малы, то они практически не влияют на энергетические показатели УМ.

Поскольку трансформатор является весьма "неудобным" элементом при выполнении УМ в виде ИМС и вносит существенные искажения в выходной сигнал усилителя, УМ с трансформаторами находят ограниченное применение в современной схемотехнике УУ.

В современной электронике наиболее широко применяются **бестрансформаторные двухтактные УМ**. Такие УМ имеют хорошие массогабаритные показатели и просто реализуются в виде ИМС.

Возможно построение двухтактных бестрансформаторных УМ по структурной схеме, показанной на рисунке 4.7.

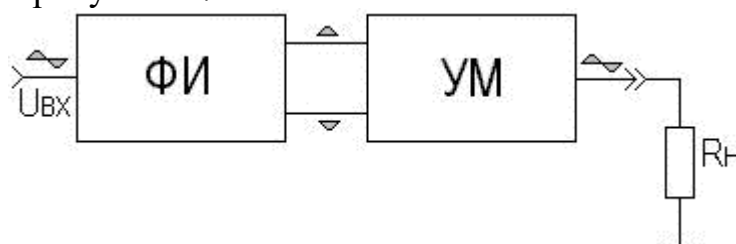


Рисунок 4.7. Структурная схема УМ с использованием ФИ

Здесь ФИ — фазоинверсный каскад предварительного усиления (драйвер), УМ — двухтактный каскад усиления мощности.

В качестве драйвера может использоваться **каскад с разделенной нагрузкой** (рисунок 4.8).

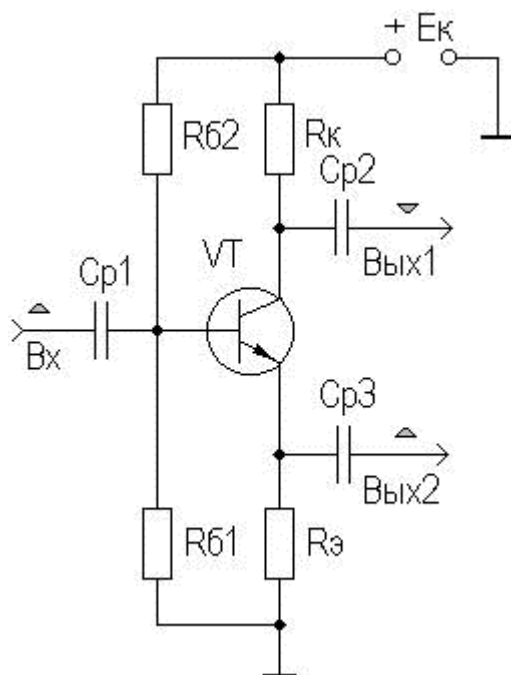


Рисунок 4.8. Каскад с разделенной нагрузкой

$$R_s = \frac{I_{э0}}{I_{к0}} \cdot R_k \approx R_k = R \quad K_{01} \approx K_{02} = \frac{S_0 R}{1 + S_0 R} \approx 1$$

Можно показать, что при

Несмотря на такие достоинства, как простота и малые частотные и нелинейные искажения, каскад с разделенной нагрузкой находит ограниченное применение из-за малого  $K_0$  и разных  $R_{вых}$ , что приводит к несимметричности АЧХ выходов в областях ВЧ и НЧ.

Гораздо чаще применяются **ФИ на основе дифференциального каскада** (ДК) (рисунок 4.9).

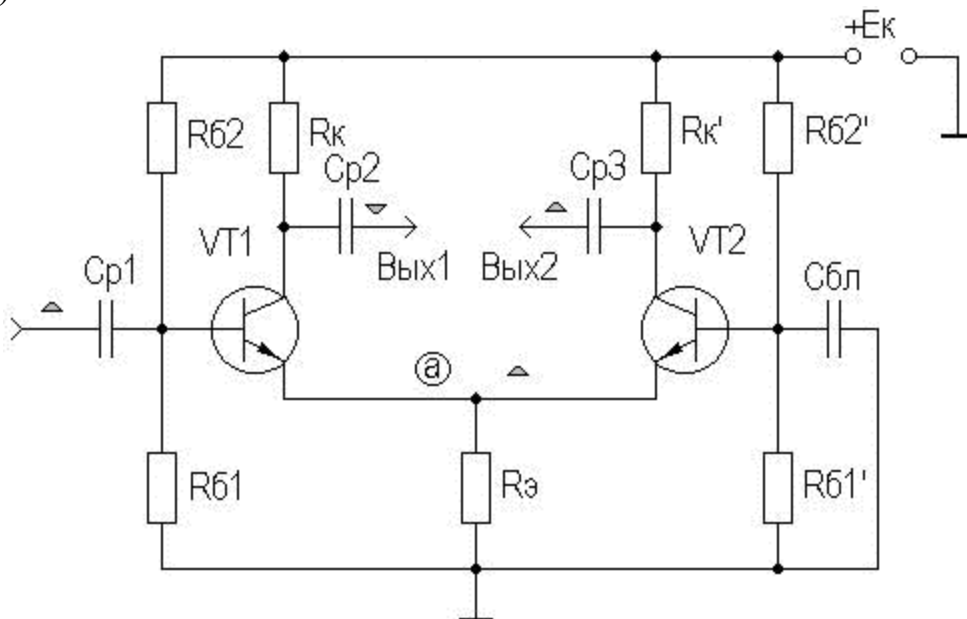


Рисунок 4.9. Фазоинверсный каскад на основе ДК

ДК будут рассмотрены далее, пока же отметим, что через  $R_э$  будет протекать удвоенный ток покоя транзисторов VT1 и VT2 и, следовательно, номинал

резистора  $R_3$  в схеме фазоинверсного каскада уменьшается вдвое по сравнению с расчетом каскада с ОЭ.

При рассмотрении, например, левой половины фазоинверсного каскада видно, что в цепи эмиттера транзистора VT1 (включенного с ОЭ) присутствует  $R_3$  и параллельно ему входное сопротивление транзистора VT2 (включенного с ОБ),  $R_{exOB} \approx 1/S_0$ .

Обычно берут  $R_3 \gg R_{exOB}$  (или заменяют  $R_3$  эквивалентом высокоомного сопротивления в виде источника стабильного тока, который будет рассмотрен в дальнейшем вместе с ДК), поэтому можно подставить вместо  $R_{oc}$  в выражение для глубины ПООСТ (см. подраздел 3.2)  $R_{exOB}$ :

$$A = 1 + S_0 \cdot R_{exOB} \approx 1 + S_0/S_0 = 2$$

Следовательно, можно считать, что в фазоинверсном каскаде присутствует ПООСТ с глубиной, равной двум. Принимая во внимание, что относительно эмиттера VT2 транзистор VT1 включен по схеме с ОК, нетрудно показать, что при идентичности параметров транзисторов  $K_{01} \approx K_{02} \approx K_0/2$ , т.е. коэффициенты передачи по напряжению плеч фазоинверсного каскада на основе ДК равны половине коэффициента передачи каскада с ОЭ.

Довольно широко применяется ФИ на комплиментарных транзисторах, вариант схемы которого представлен на рисунке 4.10.

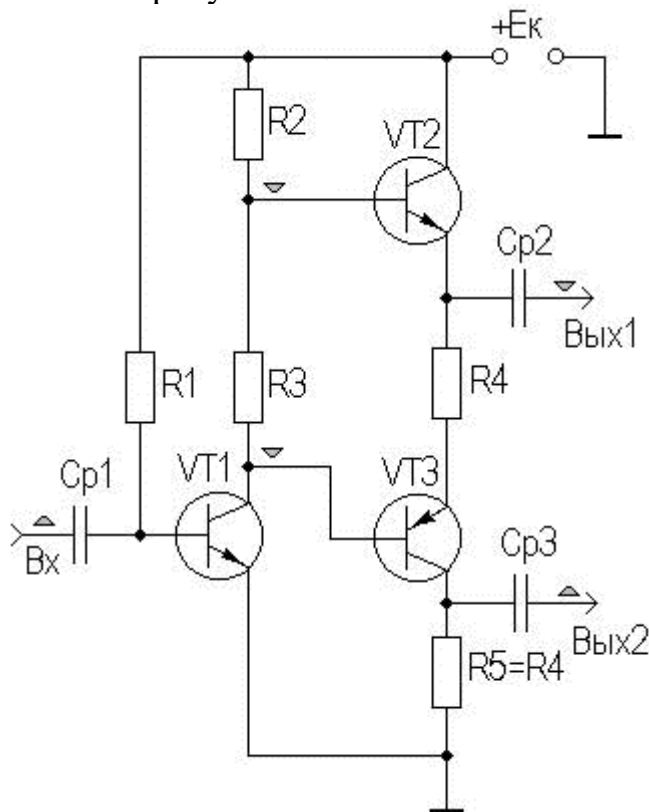


Рисунок 4.10. ФИ на комплиментарных БТ

Использование комплиментарной пары транзисторов VT1 и VT2, имеющих разную проводимость, но одинаковые параметры (например, КТ315-КТ361, КТ502-КТ503, КТ814-КТ815 и др.) позволяет инвертировать фазу входного сигнала на  $180^\circ$  на первом выходе.

Кроме рассмотренных выше каскадов, в качестве фазоинверсных также применяются каскады с ОЭ, включенные согласно структурной схеме, показанной на рисунке 4.11. Отметим, что ФИ, построенный по такой схеме, имеет разбаланс АЧХ и ФЧХ выходов.

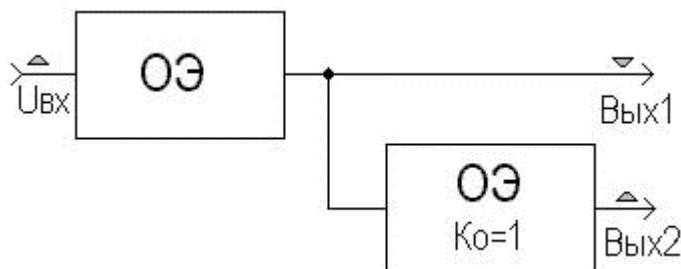


Рисунок 4.11. ФИ на основе каскадов с ОЭ

В качестве выходного каскада УМ, подключаемого к выходам ФИ, может использоваться каскад, одна из разновидностей которого приведена на рисунке 4.12.

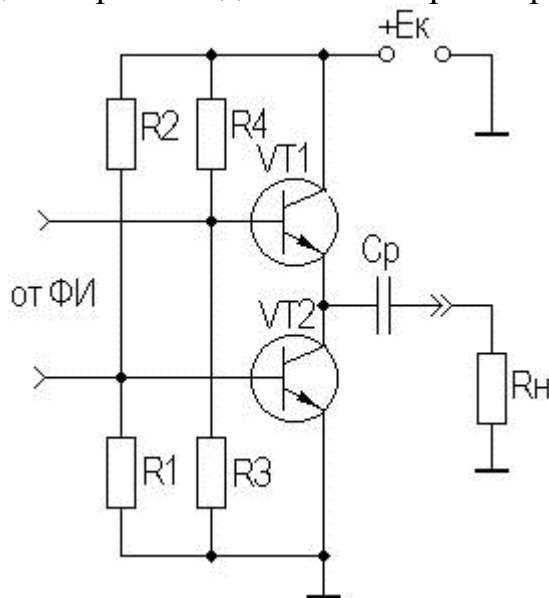


Рисунок 4.12. Выходной каскад УМ с ФИ

В данном каскаде возможно использование режимов классов В, АВ, С. К достоинствам каскада следует отнести возможность использования мощных транзисторов одного типа проводимости. При использовании двухполярного источника питания возможно непосредственное подключение нагрузки, что позволяет обойтись без разделительного конденсатора на выходе, который обычно имеет большую емкость и габариты и, следовательно, трудно реализуем в микроисполнении.

В целом, в УМ, выполненных по структурной схеме, представленной на рисунке 4.7, не достигим высокий КПД вследствие необходимости применения в ФИ режима класса А.

Гораздо лучшими параметрами обладают двухтактные бестрансформаторные УМ, выполненные на комплементарных транзисторах. Такие УМ принято называть *бустерами*. Различают бустеры напряжения и тока. Поскольку усиление напряжения обычно осуществляется предварительными каскадами многокаскадного

усилителя, а нагрузка УМ, как правило, низкоомная, то наибольшее распространение получили выходные каскады в виде бустера тока.

На рисунке 4.13 приведена схема простейшего варианта бустера тока класса В на комплементарных транзисторах и двухполярным питанием.

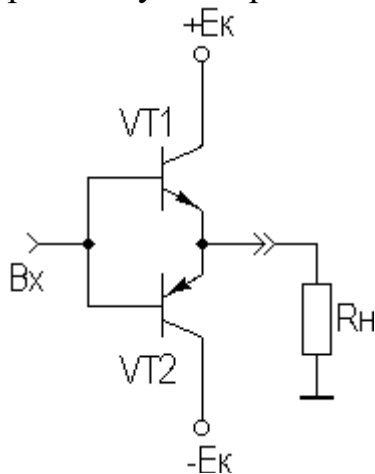


Рисунок 4.13. Точковый бустер класса В

При подаче на вход бустера положительной полуволны входного гармонического сигнала открывается транзистор VT1 и через нагрузку потечет ток. При подаче на вход бустера отрицательной полуволны входного гармонического сигнала открывается транзистор VT2 и через нагрузку потечет ток в противоположном направлении. Таким образом, на  $R_n$  будет формироваться выходной сигнал.

Включение транзисторов с ОК позволяет получить малое выходное сопротивление, что необходимо для согласования с низкоомной нагрузкой для передачи в нее максимальной выходной мощности. Большое входное сопротивление позволяет хорошо согласовать каскад с предварительным усилителем напряжения. За счет 100% ПООСН  $K_0 \approx 1$ .

Благодаря использованию двухполярного источника питания возможна гальваническая связь каскада с нагрузкой, что делает возможным применение токовых бустеров в усилителях постоянного тока. Кроме того, это обстоятельство весьма благоприятно при реализации бустера в виде ИМС.

Существенным недостатком рассматриваемого бустера является большие НИ ( $K_T > 10\%$ ), что и ограничивает его практическое использование. Свободным от этого недостатка является токовый бустер класса АВ, схема которого приведена на рисунке 4.14.

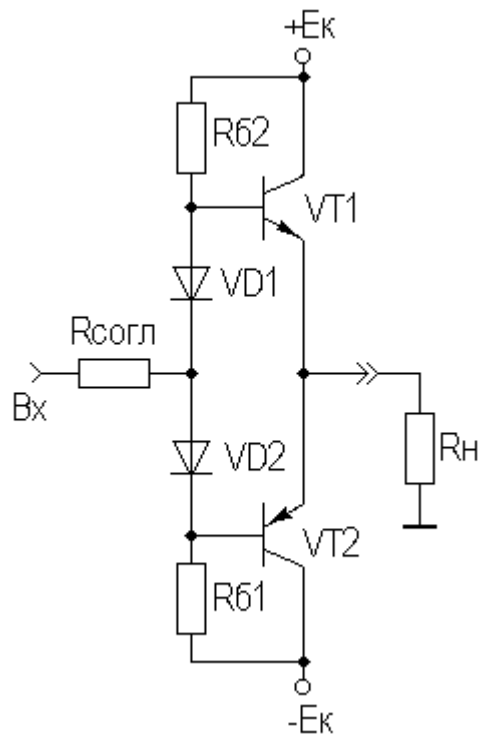


Рисунок 4.14. Токовый бустер класса АВ

Начальные токи покоя баз транзисторов здесь задаются с помощью резисторов  $R_{61}$  и  $R_{62}$ , а также диодов  $VD_1$  и  $VD_2$ . При интегральном исполнении в качестве диодов используются транзисторы в диодном включении. Напомним, что падение напряжения на прямосмещенном диоде  $\Delta\varphi \approx 0,7$  В, а в кремниевых ИМС с помощью диодов осуществляется параметрическая термостабилизация (см. подраздел 2.6). Сопротивление  $R_{согл}$  вводится для лучшего согласования с предыдущим каскадом усилителя.

При положительной полуволне входного гармонического сигнала диод  $VD_1$  подзапирается и на базе  $VT_1$  будет "отслеживаться" входной потенциал, что приведет к его отпиранию и формированию на сопротивлении нагрузки положительной полуволны выходного гармонического сигнала. При отрицательной полуволне входного гармонического сигнала работает  $VD_2$  и  $VT_2$ , и на нагрузке формируется отрицательная полуволна выходного гармонического сигнала.

Для увеличения выходной мощности могут быть использованы бустеры на составных транзисторах, включенных по схеме Дарлингтона (рисунок 4.15), у которой коэффициент передачи по току равен произведению коэффициентов передачи тока базы транзисторов  $VT_1$  и  $VT_2$  причем возможна однокристалльная реализация данной структуры, например, составной транзистор КТ829.

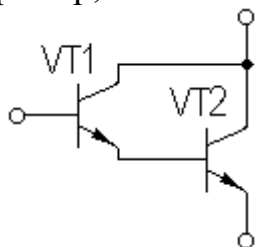


Рисунок 4.15. Схема Дарлингтона



Из полевых транзисторов в УМ более пригодны МОП-транзисторы с индуцированными каналами n- и p- типа, имеющими такой же характер смещения в цепи затвор-исток, как и у биполярных, но имеющих более линейную входную ВАХ, приводящую к меньшему уровню ВАХ. Схема УМ на ПТ указанного типа приведена на рисунке 4.16.

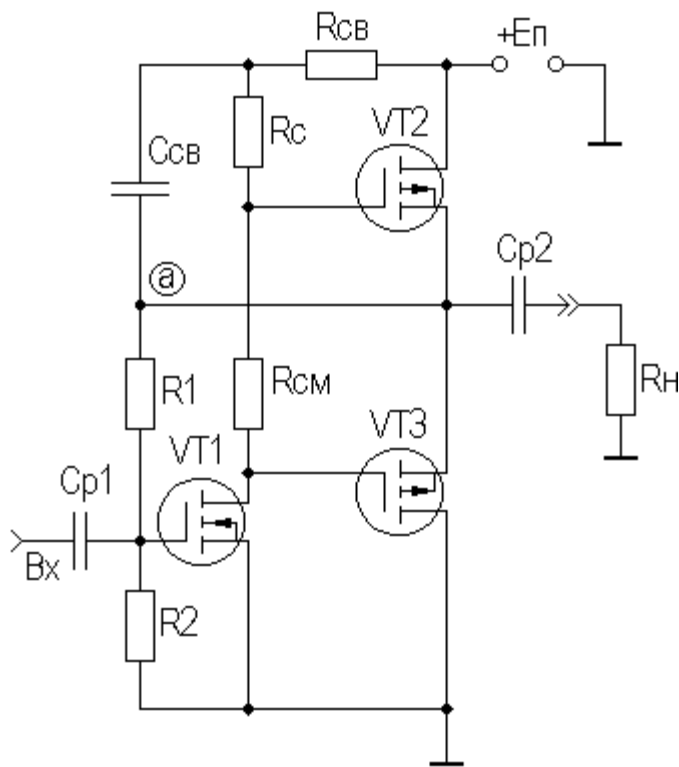


Рисунок 4.16. УМ на ПТ

В данном каскаде введена положительная ОС по питанию путем включения резистора  $R_{cb}$  последовательно с  $R_c$ . В точку **a** выходное напряжение подается через конденсатор и служит "вольтодобавкой", увеличивающей напряжение питания предоконечного каскада в тот полупериод, в который ток транзистора  $VT_1$  уменьшается. Это позволяет снять с него достаточную амплитуду напряжения, необходимую для управления окончательным истоковым повторителем, повышает выходную мощность и КПД усилителя. Аналогичная схема "вольтодобавки" применяется и в УМ на БТ.

Широкое применение находят УМ, у которых в качестве предварительных каскадов применены операционные усилители. На рисунках 4.17а,б приведены соответствующие схемы УМ режимов класса В и АВ.

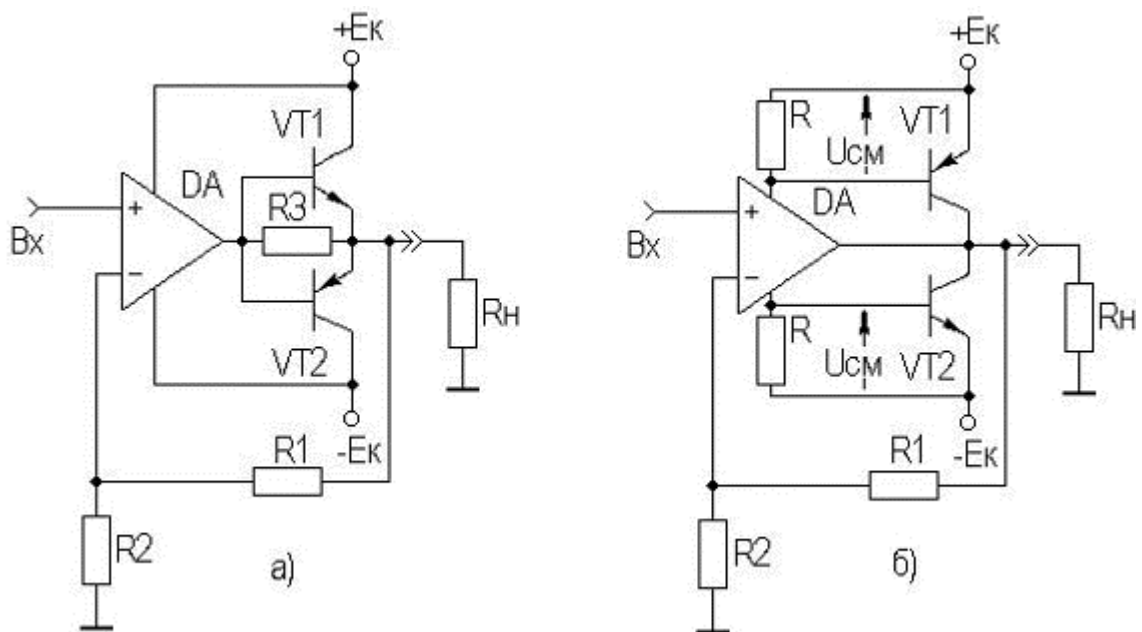


Рисунок 4.17. УМ на основе операционных усилителей

### Вопросы для самопроверки

#### Тема: Многокаскадные усилители

На практике в устройствах промышленной электроники в большинстве случаев для получения необходимой полезной выходной мощности в нагрузке одного каскада недостаточно. Поэтому применяют многокаскадные усилители, собираемые из нескольких последовательно соединенных одиночных усилительных каскадов. В блок-схеме (рис. 1) в качестве датчиков, преобразующих почти любой неэлектрический сигнал во входной электрический сигнал могут использоваться различные источники ЭДС, например микрофон, антенна, фотоэлемент, фотодиод, фоторезистор, фотоэлектронный умножитель, терморезистор, тензорезистор, тахогенератор, пьезоэлектрический преобразователь, считывающая головка с магнитофонной, перфорированной или фотографической ленты, биотоки, индуктивные или емкостные датчики давления, перемещения, плотности уровня и т. д.

В качестве нагрузки можно подключать в выходную цепь каскада УМ комплексные активно-реактивные нагрузки ( $R$ ,  $RL$ ,  $RC$ ,  $PCL$ ), например обмотку громкоговорителя, фидерную или абонентскую сеть, самописец, обмотку электромагнитного реле, или шагового (искателя) двигателя, или электроконтактора, обмотку возбуждения электродвигателя, различные контрольно-измерительные приборы, блоки развертки луча осциллографа или телевизора, световые индикаторы и т. д.

В блок-схеме многокаскадного усилителя первый входной каскад предназначен для согласования сопротивления датчика входного сигнала со входным сопротивлением усилителя при одновременном усилении входного сигнала по току или напряжению.

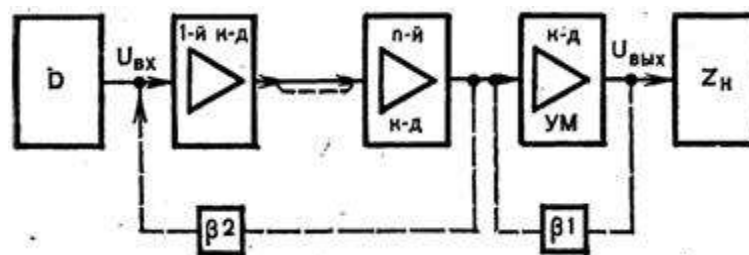


Рис. 1. Блок-схема многокаскадного усилителя

Последний - окончательный, или выходной, каскад является каскадом усиления мощности, передаваемой в полезную нагрузку.

Все остальные промежуточные каскады, включая предоконечный каскад, обеспечивают усиление полезного сигнала по напряжению или току до величины, необходимой для оптимальной работы выходного каскада, при которой отбирается в нагрузку максимально возможная полезная мощность каскада при допустимой величине нелинейных искажений.

На блок-схеме пунктиром показаны цепи отрицательной обратной связи  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , которые, уменьшая коэффициент усиления, улучшают другие более важные качественные показатели усилительного устройства.

Многокаскадные усилители характеризуются следующими признаками, параметрами и характеристиками. По разным признакам различают:

- 1) усилители на электронных усилительных лампах, на транзисторах, на тиристорах, на туннельных диодах, на микросхемах и т. п.;
- 2) по количеству усилительных каскадов - двух-, трех- и более каскадные усилители;
- 3) по частотным свойствам - усилители напряжения или тока низкой частоты (НЧ), высокой частоты (ВЧ), промежуточной частоты (ПЧ), ультразвуковой частоты (УЗКЧ), узкополосные и широкополосные усилители, усилители постоянного тока (УПТ);
- 4) по виду межкаскадной связи - усилители с RC-связью, в которых применяются разделительные конденсаторы между каскадами; усилители с трансформаторной связью между каскадами; усилители с полосовым колебательным контуром связи между каскадами; усилители с непосредственной гальванической связью между каскадами;
- 5) по виду используемой последовательной или параллельной отрицательной обратной связи по напряжению или току;
- 6) по режимам работы в классах А, В, АВ, С, Д;
- 7) по соотношению величины входного сопротивления первого каскада  $R_{вх\ к-да}$ , сравнительно с величиной сопротивления датчика  $R_{г}$  входного сигнала различают: а) режим холостого хода (хх), когда  $R_{вх\ к-да} \gg R_{г}$ ; б) режим короткого замыкания (кз), когда  $R_{вх\ к-да} \ll R_{г}$ ; в) режим согласования, когда  $R_{вх\ к-да} \approx R_{г}$ , при котором от датчика входного сигнала передается на вход усилителя наибольшая входная мощность сигнала;
- 8) по соотношению величины выходного сопротивления со стороны выходных клемм усилителя сравнительно с величиной сопротивления нагрузки  $R_{н}$  различают следующие режимы работы:

- а) режим хх, когда  $R_{\text{вых}} \ll R_{\text{н}}$ ;
- б) режим кз, когда  $R_{\text{вых}} \gg R_{\text{н}}$ ;
- в) режим согласования, когда  $R_{\text{вых}} \approx R_{\text{н}}$ .

### Основные характеристики многокаскадных усилителей

Приведем основные характеристики многокаскадных усилителей.

1. Амплитудная характеристика, показывающая зависимость величины выходного напряжения усилителя от величины входного напряжения при постоянной частоте усиливаемого сигнала, то есть  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$  при  $f = \text{const} \gg 400$  или  $1000$  Гц (рис. 2, а). Чтобы нелинейные искажения не превышали допустимой величины, используется только линейный участок амплитудной характеристики.

Наличие внутренних шумовых помех приводит к тому, что при отсутствии входного сигнала ( $U_{\text{вх}} = 0$ ) на выходе усилителя имеется выходное напряжение  $U_{\text{вых}} = U_{\text{шума}}$ .

2. Частотная (или амплитудно-частотная) характеристика, показывающая зависимость величины коэффициента усиления усилителя от частоты входного сигнала при неизменной величине входного напряжения, то есть  $K = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}} = j(f)$  при  $U_{\text{вх}} = \text{const}$ .

На частотной характеристике, показанной на рис. 2, б, различают три области: а) область низкой частоты; б) область средней частоты; в) область верхней частоты.

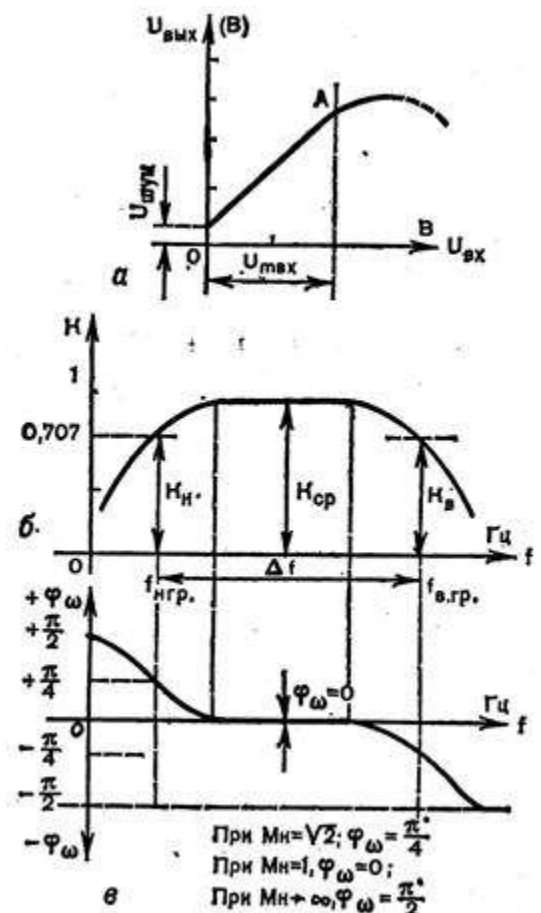


Рис. 2. Характеристики усилителей:  
 а - амплитудная; б - частотная

Эта характеристика показывает, что (или амплитудно-частотная); в - фазовая наибольшее усиление полезного сигнала происходит в области средних частот, а в областях низкой и верхней частот происходит завал характеристики, обусловленный реактивными (емкостными) элементами в схеме усилителя.

На этом графике показана рабочая полоса частот в пределах от верхней граничной частоты до нижней граничной частоты, то есть  $Df = f_{в\text{ гран}} - f_{н\text{ гран}}$ , где завал частотной характеристики не превышает допустимую величину более чем на 30% от коэффициента максимального усиления. Обычно ось абсцисс частотной характеристики строят в логарифмическом масштабе, чтобы очень сильно не растягивать график.

3. Фазовая характеристика, показывающая величину угла сдвига фазы  $j$  между фазой выходного сигнала и фазой входного сигнала в зависимости от частоты сигнала, то есть  $j = y(f)$ .

На графике (рис. 2, в) видно, что фазовый угол сдвига  $j$  между выходным и входным напряжениями в области средних частот примерно равен нулю, а в областях нижней и верхней частот допустимая величина этого угла примерно равна  $j \approx \rho/4 = 45^\circ$ .

Нужно иметь в виду, что фазовые искажения связаны с наличием реактивных элементов (емкостей и индуктивностей) в схемах усилительных устройств. Фазовые искажения существенное значение имеют в осциллографической, телевизионной, радиолокационной, импульсной и т. п. технике. В усилителях звуковой частоты они не оказывают заметного влияния на восприятие звукового сигнала человеком.

#### Основные параметры многокаскадных усилителей

Основными параметрами многокаскадных усилителей являются:

1. Общий коэффициент усиления по напряжению

$$K_u = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}} = U_{m\text{ вых}} / U_{m\text{ вх}},$$

где  $U_{\text{вх}}$  и  $U_{m\text{вх}}$  обозначают соответственно действующие и амплитудные значения выходных и входных напряжений усиливаемого сигнала.

В ламповых схемах усилителей, а также в усилителях на полевых униполярных транзисторах, у которых входное сопротивление каскада значительно больше внутреннего сопротивления датчика входного сигнала, то есть  $R_{\text{вх}} \text{ к-да} \gg R_{\text{г}}$ , то можно принять  $U_{\text{вх}} \approx E_{\text{г}}$ , где  $E_{\text{г}}$  - ЭДС датчика сигнала.

Однако в транзисторных усилителях, у которых  $R_{\text{вх}} \text{ к-да} < R_{\text{г}}$ , при необходимости определяют коэффициент усиления усилителя по напряжению относительно величины ЭДС  $E_{\text{г}}$  датчика как генератора входного сигнала. При этом  $K_u = U_{\text{вых}} / E_{\text{г}}$ . Если усилитель содержит несколько последовательно включенных каскадов, то общий коэффициент усиления будет равен произведению коэффициентов усиления всех каскадов, то есть

$$K_u = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}} = K_{u1} * K_{u2} \dots K_{un}.$$

2. Коэффициент усиления по току

$$K_i = I_{m\text{ вых}} / I_{m\text{ вх}} = I_{\text{вых}} / I_{\text{вх}},$$

где  $I_{\text{вых}}$  - ток в нагрузке,  $I_{\text{вх}}$  - ток во входной цепи усилителя.

3. Коэффициент усиления по мощности

$$K_p = K_i * K_u = P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}},$$

где  $P_{\text{вых}}$  - полезная мощность, выделяемая в нагрузке;  $P_{\text{вх}}$  полезная мощность, расходуемая во входной цепи усилителя.

4. Если коэффициенты усиления усилителя выражены в децибелах, то расчетные формулы имеют следующий вид:

$$K_u(\text{дБ}) = 20 \lg K_u; K_i(\text{дБ}) = 20 \lg K_i; K_p(\text{дБ}) = 10 \lg K_p.$$

Некоторые соотношения для перевода безразмерных  $K_u$  в коэффициенты усиления, выраженные в децибелах  $K_u(\text{дБ})$ , приведены в табл. 1.

Таблица 1

$K_u$	1.12	1.41	2	3.16	5.62	10.0	17.8	31.6	56.2	70.8	100
$K_u(\text{дБ})$	1	3	6	10	15	20	25	30	35	37	40
$K_u$	178	200	251	316	562	1000	1780	2000	3160	3980	5620
$K_u(\text{дБ})$	45	46	48	50	55	60	65	66	70	72	75
$K_u$	6310	7940	8910	10000	100000	1000000	10000000				
$K_u(\text{дБ})$	76	78	79	80	100	120	140				

Примечания. 1. Если нужно перевести безразмерные  $K_p$  в коэффициенты усиления мощности, выраженные в децибелах  $K_p(\text{дБ})$ , то указанные в таблице числа в децибелах  $K_u(\text{дБ})$  следует разделить на два. 2. Если необходимо выразить не усиление, а ослабление сигнала, когда  $U_{\text{вых}} < U_{\text{вх}}$  в указанное в таблице число раз, то перед найденным числом децибел нужно обязательно поставить знак минус ( - ), который означает, на сколько децибел ослаблен сигнал.

Если коэффициент усиления каждого каскада выражен в децибелах, то общий коэффициент усиления усилителя будет равен сумме коэффициентов усиления всех каскадов:

$$K(\text{дБ}) = K_1(\text{дБ}) + K_2(\text{дБ}) + \dots + K_n(\text{дБ}).$$

Человеческий слуховой анализатор может различать изменение уровня звукового сигнала около 1 дБ. Болевое ощущение вызывает верхний уровень звука, соответствующий 140 дБ.

5. Коэффициент полезного действия, характеризующий экономичность усилителя:

а) электрический КПД

$$\eta_{\text{э}} = P_{\text{вых}} / P_0 \times 100\%;$$

б) промышленный КПД с учетом всех потерь в цепях усилителя

$$\eta_{\text{п}} = P_{\text{вых}} / (P_0 + P_{\text{потерь}}) \times 100\%,$$

где  $P_{\text{вых}} = 0,5 * I_{2m \text{ вых}} * R_n$  - полезная мощность, выделяемая в нагрузке;

$P_0$  - мощность, потребляемая в выходной цепи усилителя;

$P_{\text{потерь}}$  - мощность, расходуемая на накал ламп и во вспомогательных цепях усилителя.

6. Допустимый коэффициент частотных искажений для каждого каскада в области нижних  $M_n$  и верхних  $M_v$  частот, равный отношению коэффициента усиления в области средних частот  $K_{\text{ср}}$  к коэффициенту усиления каскада в области нижних и верхних частот ( $K_n$  и  $K_v$ ), принимают равным

$$M_n = M_v = K_{\text{ср}} / K_n = K_{\text{ср}} / K_v = \sqrt{2}, \text{ что соответствует 3 дБ.}$$

В многокаскадных усилителях общий коэффициент частотных искажений как в области нижних, так и в области верхних частот равен  $M_{\text{ус}} = M_1 * M_2 \dots M_n$ , где  $n$  - число каскадов. В усилителях с реостатно-емкостной связью коэффициенты частотных искажений можно определить как для нижней граничной частоты, так и для верхней граничной частоты:

$$M_{\text{н}} = \frac{K_{\text{сп}}}{K_{\text{н}}} = \sqrt{1 + \frac{1}{(\omega \cdot \tau)^2}}$$

$$\omega_{\text{н}} = 2\pi f_{\text{н}}, \quad \tau_{\text{н}} = C_{\text{р}} \cdot R_{\text{с}}$$

$$M_{\text{в}} = K_{\text{сп}} / K_{\text{в}} = \sqrt{1 + (\omega_{\text{в}} \cdot \tau_{\text{в}})^2} \dots \text{ламповый вариант};$$

$$M_{\text{в}} = K_{\text{сп}} / K_{\text{в}} = \sqrt{1 + (f_{\text{в}} / f_{\text{всп}})^2} \dots \text{транзисторный вариант}.$$

Если принять допустимый коэффициент частотных искажений в пределах 1,05 ... 1,41, то соответствующие граничные частоты будут находиться в пределах

$$f_{\text{н гр}} = \frac{10}{6.28 \cdot \tau_{\text{н}}} \div \frac{1}{6.28 \cdot \tau_{\text{н}}}$$

$$f_{\text{в гр}} = \frac{10}{6.28 \cdot \tau_{\text{в}}} \div \frac{1}{6.28 \cdot \tau_{\text{в}}}$$

где для лампового усилителя  $\tau_{\text{н}} = C_{\text{сзд}} * R_{\text{с}}$ ;

$$\tau_{\text{в}} = C_{\text{вх}} R_{\text{экв}}; R_{\text{экв}} = R_{\text{а}} \parallel R_{\text{и}} \parallel R_{\text{с}};$$

аналогично, с учетом особенностей транзисторных схем, можно для них определить постоянные времени в области нижних и верхних граничных частот.

7. Коэффициент нелинейных искажений оценивается величиной

$$\gamma = \frac{\sqrt{U_{\text{н2}}^2 + U_{\text{н3}}^2 + \dots + U_{\text{нн}}^2}}{U_{\text{н1}}} \cdot 100\% \text{ (или дБ)}.$$

Нелинейные искажения характеризуют степень искажения формы усиленного выходного напряжения (или тока) по сравнению с формой входного сигнала. Появление нелинейных искажений полезного сигнала объясняется нелинейностью вольт-амперных характеристик усилительных ламп или транзисторов при работе с большой амплитудой усиливаемого сигнала. Это явление наглядно показано на амплитудной характеристике, выражающей линейную зависимость выходного напряжения при малых амплитудах входного сигнала и нарушение линейности с увеличением амплитуды входного усиливаемого сигнала. Это явление приводит к появлению в выходном сигнале высших гармоник, которых не было во входном сигнале.

В усилителях звуковой частоты (от 20 Гц до 16 кГц) нелинейные искажения проявляются в появлении хрипов и нечеткого, неразборчивого звуковоспроизведения. Допустимый коэффициент нелинейных искажений в таких усилителях не более 4-х %, а в усилителях телефонной связи не более 15-ти %.

8. Общий угол сдвига фаз между выходным и входным напряжениями многокаскадного усилителя как в области нижних, так и в области верхних частот равен  $j = j_1 + j_2 + \dots + j_n$ .

9. Коэффициент шума и внешних помех усилителя, связанный с внутренними флуктуационными процессами движения носителей зарядов в активных и пассивных элементах, входящих в электрические цепи усилителей, а также вследствие пульсаций питающего напряжения и наводки электромагнитных полей от внешних источников. Наибольшее влияние оказывают шумы и помехи, возникающие в первом

каскаде усилителя, так как они усиливаются далее всеми последующими каскадами усилителя.

Наличие шумовых и внешних помех видно на амплитудной характеристике, которая начинается выше нулевого значения при отсутствии входного сигнала, то есть  $U_{вых} > 0$  при  $U_{вх} = 0$ .

Наличие внутренних шумовых помех определяет пороговую чувствительность усилительного устройства, соответствующую минимальному напряжению входного сигнала, при котором выходное напряжение полезного сигнала равно выходному напряжению усилителя, возникающему от внутренних шумов.

#### Две схемы многокаскадных усилителей

В качестве примера на рис. 3 приведены две принципиальные электрические схемы многокаскадных усилителей: на биполярных транзисторах (а) и на полевых транзисторах (в).

В этих схемах усилителей в качестве первого входного каскада включен эмиттерный (катодный, истоковый) повторитель, который обеспечивает согласование высокоомного датчика сигнала со входным сопротивлением усилителя. Такой каскад, не усиливая входной сигнал по напряжению, усиливает его по току и мощности.

Все остальные каскады собираются по схеме с общим эмиттером (общим катодом, общим истоком), давая усиление и по току и по напряжению (транзисторный вариант), и в основном по напряжению (ламповый вариант).

Последний двухтактный каскад УМ (транзисторный вариант) и однотактный каскад УМ на лучевом тетраде (и полевом транзисторе) обеспечивают усиление сигнала по мощности, отдаваемой в нагрузку.

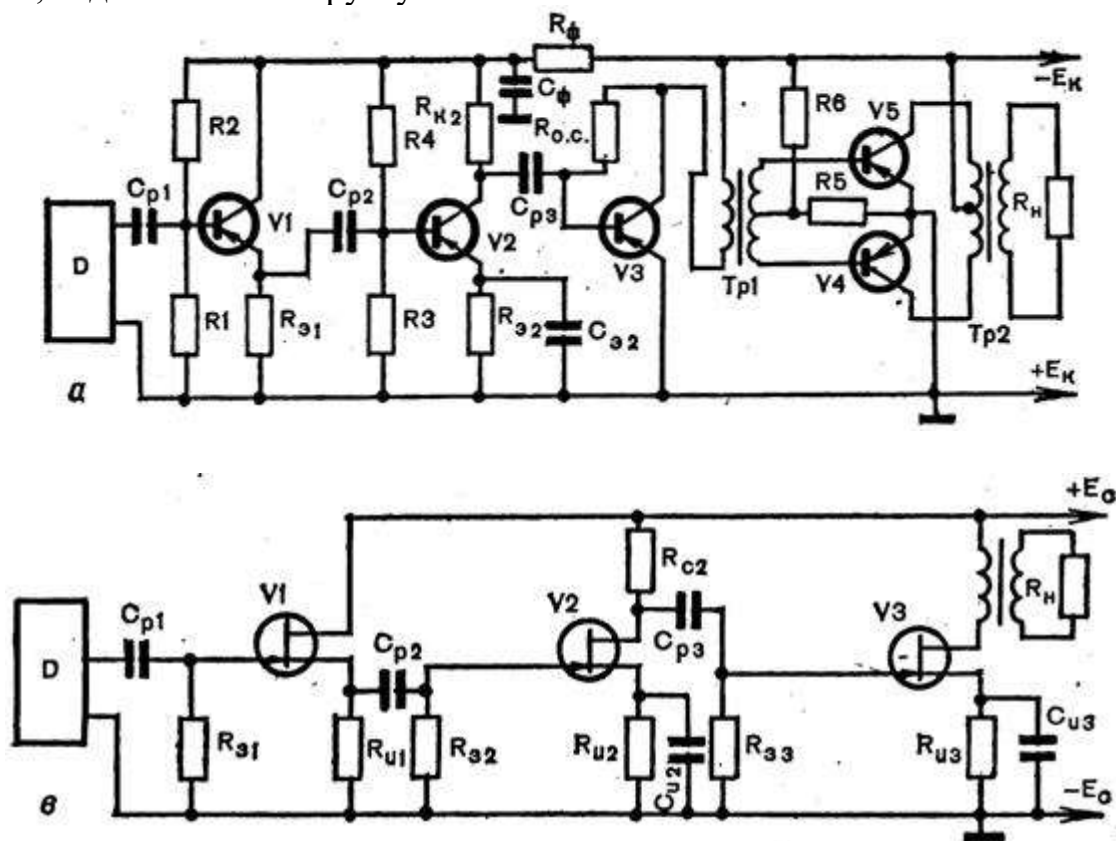


Рис. 3. Две схемы многокаскадных усилителей;  
 а - на биполярных транзисторах;  
 в- на полевых транзисторах с и-каналом



В этих схемах между первым и вторым, между вторым и третьим каскадами применена резистивно-емкостная связь, в которую по переменной составляющей усиливаемого сигнала входят элементы, указанные далее в эквивалентной схеме (рис. 4).

Между третьим и четвертым - выходным - каскадами применена трансформаторная связь при помощи переходного трансформатора ТР1, которая обеспечивает повышение КПД каскада предварительного усиления, устраняет гальваническую связь между этими каскадами по постоянному току и напряжению, согласует величину выходного тока (транзисторный вариант) или напряжения (ламповый вариант) предоконечного каскада с необходимой величиной входного тока или входного напряжения выходного - окончательного - каскада.

При этом коэффициент трансформации ТР1 берется небольшой величины, около 2 ... 3.

Следует иметь в виду, что трансформаторная межкаскадная связь может давать резкий подъем частотной характеристики в области резонансной частоты трансформатора при соответствующей величине индуктивности и распределенной межвитковой емкости его обмоток.

Чтобы использовать это явление для компенсации завала частотной характеристики в области нижних или верхних частот, необходимо подбирать переходной трансформатор с резонансной частотой, соответствующей этим частотам.

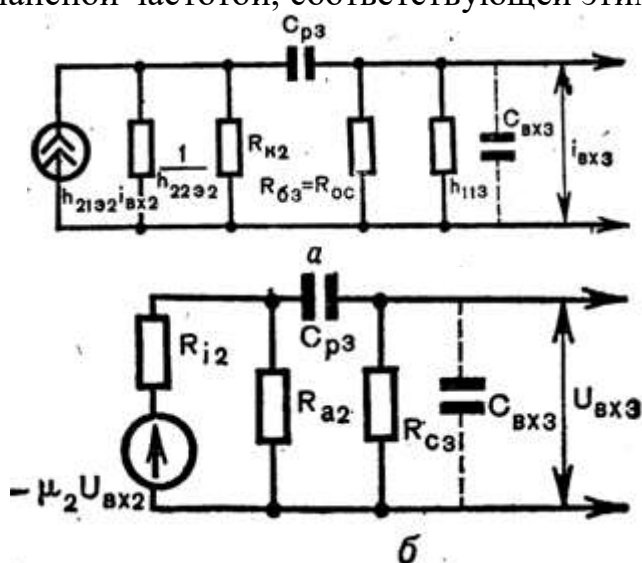


Рис. 4. Эквивалентная схема второго каскада а - транзисторного усилителя; б - лампового усилителя

В выходную цепь окончательного каскада УМ (двухтактного - на биполярных транзисторах и одноконтурного на мощном лучевом тетраде) при помощи выходного трансформатора ТР2 включена нагрузка  $R_{\text{н}}$  (или  $Z_{\text{н}}$ ).

Во всех схемах выходной трансформатор согласует величину сопротивления нагрузки  $R_{\text{н}}$  с выходным сопротивлением каскада, исходя из ранее указанного соотношения  $n^2 \cdot R_{\text{н}} = R_{\text{экв}}$  откуда

$$n = \frac{W_1}{W_2} = \sqrt{\frac{R_{\text{экв}}}{R_{\text{н}}}}$$

Все предварительные каскады и одноктактный каскад УМ работают в режиме класса А, а двухтактный каскад УМ на транзисторах может работать в классе А или с более высоким КПД в классе АВ1.

Если исключить из схемы двухтактного каскада УМ резисторы R5 , R6, то этот каскад будет работать в режиме класса В без начального смещения рабочей точки.

Для анализа частотной характеристики каждого каскада изображается его эквивалентная схема, то есть схема замещения каскада по переменным составляющим усиливаемого напряжения или тока.

При этом замещении источник питания Ек (или Еа - ламповый вариант) считается закороченным по переменным составляющим коллекторного (или анодного) тока, а транзистор замещается эквивалентным генератором тока  $i_g = -bI_{вх}$  и внутренним сопротивлением его  $R_g = R_{вх}$  транз или генератором напряжения (ламповый вариант) с ЭДС  $e_g = -bU_{вх}$  и внутренним его сопротивлением  $R_g = R_i$ , равным внутреннему сопротивлению усилительной лампы.

Пользуясь таким законом эквивалентного генератора, на рис. 4, а приведена эквивалентная схема второго каскада транзисторного усилителя (рис. 3, а) как эквивалентного генератора тока, а на рис. 4, б приведена полная эквивалентная схема второго каскада из лампового усилителя(рис. 3, б), где лампа представлена как генератор напряжения. Используя схему замещения лампового каскада и его типовую частотную характеристику, показанную на рис. 5, в качестве примера приведем анализ такой частотной характеристики.

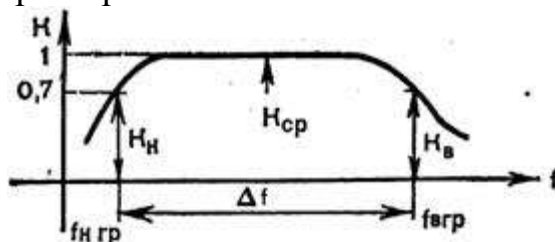


Рис. 5. Амплитудно-частотная характеристика усилительного каскада  
Анализ частотной характеристики усилительного каскада

Снижение коэффициента усиления в области нижних частот ( $f_n гр$ ) происходит в основном вследствие потерь выходного напряжения на разделительном конденсаторе  $C_{рз}$  в цепи межкаскадной связи, который имеет емкостное сопротивление  $X_c = 1 / (\omega_n C_{рз})$  значительной величины в области нижних частот и малой величины в области средних и верхних частот, на которых влияние его и не учитывается.

Снижение коэффициента усиления в области верхних частот ( $f_b гр$ ) вызывается тем, что резистор  $R_{сз}$  шунтируется сравнительно небольшим емкостным сопротивлением входной паразитной емкости каскада

$$X_{C_{вхз}} = 1 / (\omega_n C_{вхз}),$$

что снижает входное эквивалентное сопротивление каскада, уменьшая снимаемое с него напряжение, подаваемое на вход следующего каскада и соответственно уменьшая коэффициент усиления. Одновременно влияние этой емкости в области нижних и средних частот незначительно, поэтому в этих случаях в расчет не принимается.

Учитывая эти соображения, на рис. 6 приведены три эквивалентные схемы усилительного каскада, которые помогают составить расчетные формулы его коэффициентов усиления в области средних, нижних и верхних частот.

Во-первых, в области средних частот (рис. 6, а), где пренебрегают влиянием емкостных сопротивлений, получается максимальный коэффициент усиления. Из эквивалентной схемы следует, что

$$U_{\text{вх}3} = -\mu_2 U_{\text{вх}2} \frac{R_{\text{эв}2}}{R_{\text{эв}2} + R_{i2}}, \text{ где}$$

$$R_{\text{эв}2} = \frac{R_{a2} \cdot R_{c2}}{R_{a2} + R_{c2}},$$

отсюда получим

$$K_{\text{Ф}} = -\frac{U_{\text{вх}3}}{U_{\text{вх}2}} = -\frac{\mu_2 \cdot R_{\text{эв}2}}{R_{\text{эв}2} + R_{i2}}$$

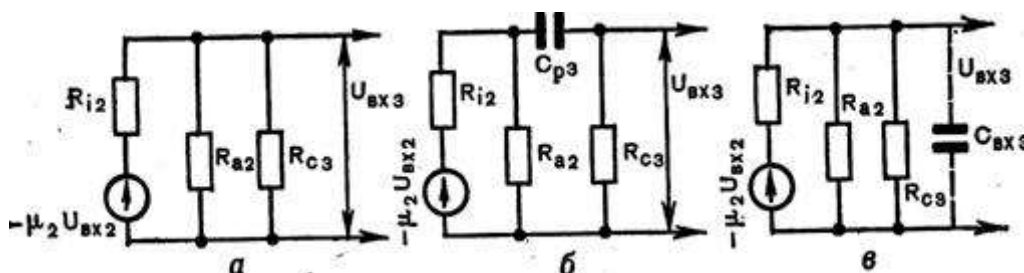


Рис. 6. Эквивалентные схемы лампового каскада в области:

### Вопросы для самопроверки

#### Тема: Операционные усилители. Схема включения операционного усилителя

**Операционный усилитель** - это электронный усилитель напряжения с высоким коэффициентом усиления, имеющий дифференциальный вход и обычно один выход. Напряжение на выходе может превышать разность напряжений на входах в сотни или даже тысячи раз.

Своё начало операционные усилители ведут от аналоговых компьютеров, где они применялись во многих линейных, нелинейных и частото-зависимых схемах. Параметры схем с операционными усилителями определяются только внешними компонентами, а так же небольшой температурной зависимостью или разбросом параметров при их производстве, что делает операционные усилители очень популярными элементами при конструировании электронных схем.

Операционные усилители являются наиболее востребованными приборами среди современных электронных компонент, они находят своё применение в потребительской электронике, применяются в промышленности и в научных приборах. Многие стандартные микросхемы операционных усилителей стоят всего несколько центов. Но некоторые модели гибридных или интегрированных операционных усилителей со специальными характеристиками, выпускаемые мелкими партиями, могут стоить более сотни долларов. Операционные усилители обычно выпускаются как отдельные компоненты, а так же они могут являться элементами более сложных электронных схем.

Операционный усилитель является разновидностью дифференциального усилителя. Другими разновидностями дифференциального усилителя являются:

1. Полностью дифференциальный усилитель (это устройство похоже по принципу действия на операционный усилитель, но имеет два выхода);
2. Инструментальный усилитель (он обычно состоит из трёх операционных усилителей);
3. Изолированный усилитель (это усилитель похож на инструментальный, но он выдерживает такие высокие напряжения, которые могут вывести из строя обычный операционный усилитель);

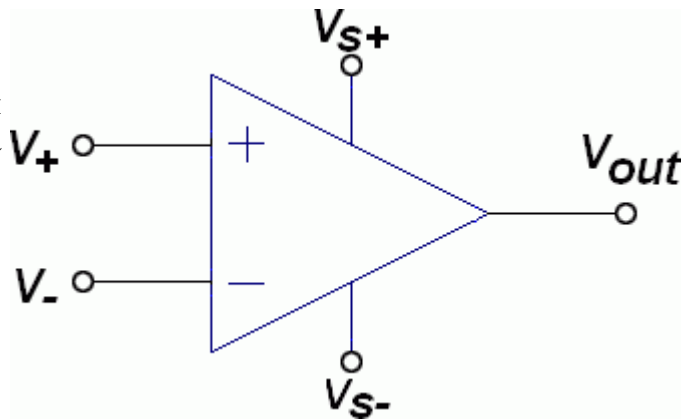
4. Усилитель с отрицательной обратной связью (обычно содержит один или два операционных усилителя и резистивную цепь обратной связи).

Выводы для подачи напряжения питания ( $V_{S+}$  и  $V_{S-}$ ) могут обозначаться по-разному. Независимо от различного обозначения, их функция остаётся одной и той же - обеспечение дополнительной энергии для усиления сигнала. Часто на схемах эти выводы не изображают, чтобы не загромождать чертёж, и их наличие либо указывается отдельно, либо должно быть ясно из схемы.

### Обозначения на схеме

Условные обозначения на схеме для операционного усилителя, изображённого на рисунке справа, следующие:

- $V_+$  - неинвертирующий вход
- $V_-$  - инвертирующий вход
- $V_{out}$  - ВЫХОД
- $V_{S+}$  - плюс напряжения питания
- $V_{S-}$  - минус напряжения питания



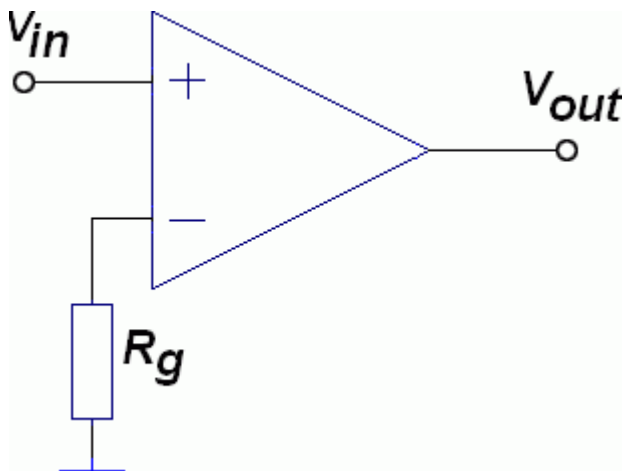
Условное графическое обозначение операционного усилителя

### Принцип действия

Дифференциальные входы усилителя состоят из двух выводов -  $V_+$  и  $V_-$ , идеальный операционный усилитель усиливает только разницу напряжений между двумя этими входами, эта разница называется дифференциальным напряжением на входе. Напряжение на выходе операционного усилителя определяется формулой

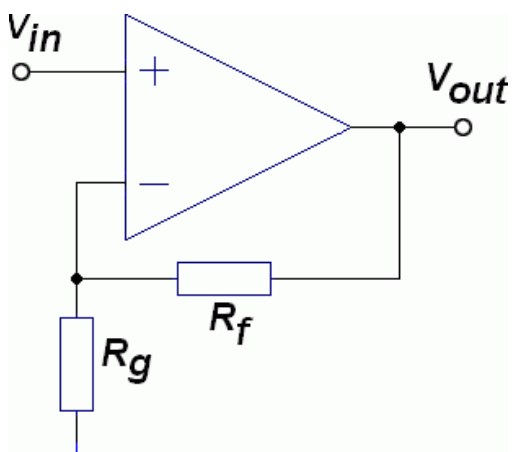
$$V_{out} = A_{OL} (V_+ - V_-)$$

где  $V_+$  - напряжение на неинвертирующем (прямом) входе,  $V_-$  - напряжение на инвертирующем (инверсном) входе, и  $A_{OL}$  - коэффициент усиления усилителя с разомкнутой петлёй обратной связи (то есть обратная связь от выхода ко входу отсутствует).



### Операционный усилитель без отрицательной обратной связи (компаратор)

Значение коэффициента усиления у микросхем операционных усилителей обычно большое - 100000 и более, следовательно довольно небольшая разница напряжений между входами  $V_+$  и  $V_-$  приведёт к появлению на выходе усилителя напряжения почти равному напряжению питания. Это называется *насыщение* усилителя. Величина коэффициента усиления  $A_{OL}$  имеет технологический разброс, поэтому не стоит использовать один операционный усилитель в качестве дифференциального усилителя, рекомендуется применять схему из трёх усилителей. Без отрицательной обратной связи, и возможно при наличии положительной обратной связи, операционный усилитель будет работать как компаратор. Если инвертирующий вход соединить с общим проводом (нулевым потенциалом) напрямую или через резистор, а напряжение  $V_{in}$ , поданное на неинвертирующий вход будет положительным, то выходное напряжение будет максимально положительным. Если подать на вход отрицательное напряжение  $V_{in}$ , то на выходе напряжение будет максимально отрицательным. Поскольку с выхода на входы обратная связь отсутствует, то такая схема с разомкнутой цепью обратной связи будет работать как компаратор, коэффициент усиления схемы будет равен коэффициенту усиления операционного усилителя  $A_{OL}$ .



### Операционный усилитель с отрицательной обратной связью (неинвертирующий усилитель)

Для того, что бы работа операционного усилителя была предсказуемой, применяется отрицательная обратная связь, которая устанавливается путём подачи части напряжения с выхода усилителя на его инвертирующий вход. Эта замкнутая цепь обратной связи существенно снижает усиление усилителя. При использовании отрицательной обратной связи общее усиление схемы значительно больше зависит от параметров цепи обратной связи, чем от параметров операционного усилителя. Если цепь обратной связи содержит компоненты с относительно стабильными параметрами, то изменения параметров операционного усилителя существенно не влияют на характеристики схемы. Передаточная характеристика схемы с операционным усилителем определяется математически

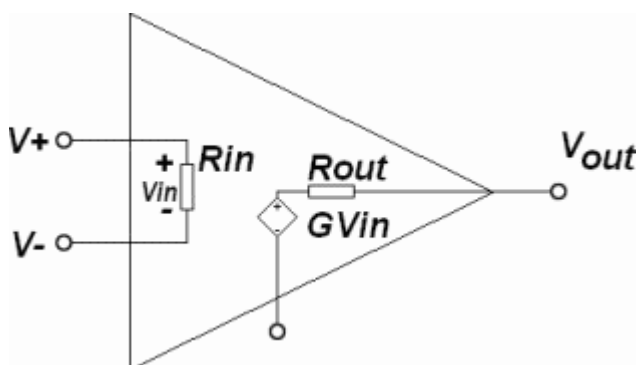
передаточной функцией. Проектирование схем с заданной передаточной функцией с операционными усилителями относится к области радиоэлектроники. Передаточная функция является важным фактором в большинстве схем, использующих операционные усилители, например, в аналоговых компьютерах. Высокое входное сопротивление входов и низкое выходное сопротивление выхода является так же полезной особенностью операционных усилителей.

Например, если к неинвертирующему усилителю добавить отрицательную обратную связь (см. рисунок справа) с помощью [делителя напряжения](#)  $R_f$ ,  $R_g$ , то это приведёт к снижению усиления схемы. Равновесие восстановится тогда, когда напряжение на выходе  $V_{out}$  станет достаточным для того, что бы изменить напряжение на инвертирующем входе до напряжения  $V_{in}$ . Коэффициент усиления всей схемы определяется по формуле  $1 + R_f/R_g$ . Например, если напряжение  $V_{in} = 1$  вольт, а сопротивления  $R_f$  и  $R_g$  одинаковые ( $R_f = R_g$ ), то на выходе  $V_{out}$  будет присутствовать напряжение 2 вольта, величина этого напряжения как раз достаточная для того, что бы на инвертирующий вход  $V_-$  поступало напряжение 1 вольт. Так как резисторы  $R_f$  и  $R_g$  образуют цепь обратной связи, подключённой от выхода ко входу, то получается схема с замкнутой петлёй обратной связи. Общий коэффициент усиления схемы  $V_{out} / V_{in}$  называется коэффициентом усиления с замкнутой петлёй обратной связи  $A_{CL}$ . Так как обратная связь отрицательная, то в этом случае  $A_{CL} < A_{OL}$ .

Можно рассмотреть это с другой стороны, сделав два предположения: Во-первых, когда операционный усилитель работает в линейном режиме, то разница напряжений между его неинвертирующим (+) и инвертирующим (-) выводами настолько мала, что ею можно пренебречь.

Во-вторых, будем считать входные сопротивления обоих входов (+) и (-) очень высокими (несколько мегаом у современных операционных усилителей). Таким образом, когда схема, изображённая на рисунке справа, работает как неинвертирующий линейный усилитель, то напряжение  $V_{in}$ , появившееся на входах (+) и (-), приведёт к появлению тока  $i$ , протекающего через резистор  $R_g$ , величиной  $V_{in}/R_g$ . Согласно закону Кирхгофа, утверждающего, что сумма токов, втекающих в узел, равна сумме токов, вытекающих из этого узла, и поскольку сопротивление входа (-) почти бесконечно, можно предположить, что почти весь ток  $i$ , протекающий через резистор  $R_f$ , создаёт напряжение на выходе, равное  $V_{in} + i * R_f$ . Подставляя слагаемые в формулу, можно легко определить усиление схемы этого типа.

## Идеальный операционный усилитель



## Эквивалентная схема операционного усилителя в которой смоделированы некоторые неидеальные резистивные параметры

Идеальный операционный усилитель может работать при любых входных напряжениях и имеет следующие свойства:

- Коэффициент усиления с разомкнутой петлёй обратной связи равен бесконечности (при теоретическом анализе полагают коэффициент усиления при разомкнутой петле обратной связи  $A_{OL}$  стремящимся к бесконечности).

- Диапазон выходных напряжений  $V_{out}$  равен бесконечности (на практике диапазон выходных

$U_{vx1}(E1),V$	-0,6	-0,4	-0,2	0	0,2	0,4	0,6
-----------------	------	------	------	---	-----	-----	-----

напряжений ограничивают величиной напряжения питания  $V_{s+}$  и  $V_{s-}$ ).

- Бесконечно широкая полоса пропускания (т.е. амплитудно-частотная характеристика является идеально плоской с нулевым фазовым сдвигом).
- Бесконечно большое входное сопротивление ( $R_{in} = \infty$ , ток из  $V_+$  в  $V_-$  не течёт).
- Нулевой входной ток (т.е. предполагается отсутствие токов утечки и токов смещения).
- Нулевое напряжение смещения, т.е. когда входы соединены между собой  $V_+ = V_-$ , то на выходе присутствует виртуальный ноль ( $V_{out} = 0$ ).
- Бесконечно большая скорость нарастания напряжения на выходе (т.е. скорость изменения выходного напряжения не ограничена) и бесконечно большая пропускная мощность (напряжение и ток не ограничены на всех частотах).
- Нулевое выходное сопротивление ( $R_{out} = 0$ , так что выходное напряжение не меняется при изменении выходного тока).
- Отсутствие собственных шумов.
- Бесконечно большая степень подавления синфазных сигналов.
- Бесконечно большая степень подавления пульсаций питающих напряжений.

Эти свойства сводятся к двум "золотым правилам":

1. Выход операционного усилителя стремится к тому, что бы разница между входными напряжениями стала равной нулю.
2. Оба входа операционного усилителя не потребляют ток.

Первое правило применимо к операционному усилителю, включённому в схему с замкнутой петлёй отрицательной обратной связи. Эти правила обычно применяются для анализа и проектирования схем с операционными усилителями в первом приближении.

На практике ни одно из идеальных свойств не может быть полностью достигнуто, поэтому приходится идти на различные компромиссы. В зависимости от желаемых параметров, при моделировании реального операционного усилителя учитывают некоторые неидеальности, используя эквивалентные цепи из резисторов и конденсаторов в его модели. Разработчик может заложить эти нежелательные, но реальные эффекты в общую характеристику проектируемой схемы. Влияние одних параметров может быть пренебрежительно мало, а другие параметры могут налагать ограничение на общие характеристики схемы.

### Вопросы для самопроверки

### Практическая работа №6 Исследование дифференциального усилителя на операционном усилителе

Снять передаточную характеристику дифференциального усилителя  $U_{out} = f(U_{in1})$  при  $U_{vx2}=0$ . Для этого с помощью переключателей подключить источники сигналов E1 (X1) и E2 (X2) к входам дифференциального усилителя (X4 и X5). Установить  $E2=U_{vx2}=0$ . Изменять  $E1=U_{vx1}$  от  $-0,6V$  до  $+0,6V$  и фиксировать потенциалы коллекторов  $U_{k1}$  и  $U_{k2}$  (гнезда X3 и X5). Выходное напряжение

определяется из соотношения  $U_{out} = U_{k1} - U_{k2}$  с учетом знака разности. Данные измерений занести в табл.4.1.

Таблица 4.1

Uк1, В							
Uк2, В							
Uвых, В							

Исследовать ослабление дифференциальным усилителем синфазного сигнала,

равного  $U_{\text{синф}} = U_{\text{вх1}} = U_{\text{вх2}}$ .

Для этого установить с помощью ручек «E1» и «E2» сигналы одного знака, измерить потенциалы коллекторов Uк1 и Uк2 и определит Uвых для двух случаев:

Uсинф1=0,1 В;

Uсинф2=0,4 В.

Исследование операционного усилителя

Произвести балансировку ОУ путем компенсации на входе напряжения смещения Uсм. Для этого подключить источник E2 на вход усилителя R3, R4 (гнездо X8) с ослаблением сигнала 1:200.

Вращая ручку «E2», добиться значения выходного напряжения ОУ не более ±(0,1-0,4)В и

зафиксировать значение сигнала  $E_2'$  на входе.

Снять передаточную характеристику ОУ  $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх1}})$ . Для этого произвести повторную балансировку ОУ в соответствии с п.4.3.2.1. Затем подключить источник сигналов E1 на вход делителя R1, R2 (гнездо X7) с ослаблением 1:2000. Снять характеристику от максимального отрицательного напряжения -E1, до максимального положительного +E1. Входное напряжение ОУ

равно  $U_{\text{вх}} = E_1 / 2000$ . Данные измерений занести в табл.4.2.

Таблица 4.2

E1,В									
Uвых, В									
Uвх, В									

Определить выходное сопротивление ОУ. Для этого повторить балансировку ОУ при E1=0. Затем установить на выходе усилителя напряжение +(4÷5) В и зафиксировать его значение Uвых1. Нажать кнопку S1 и при подключенной нагрузке Rн зафиксировать значение Uвых2.

Обработка результатов эксперимента и оформление отчета

По данным п.4.3.1.1 построить передаточную характеристику дифференциального усилителя.

Определить из передаточной характеристики коэффициент усиления  $K_u = \Delta U_{\text{вых}} / \Delta U_{\text{вх1}}$  на

линейном участке, а также максимальные значения выходного напряжения  $U_{\text{вых}}^+$  и  $U_{\text{вых}}^-$ , соответствующие участкам насыщения.

Используя п.4.3.1.2, определить коэффициент усиления синфазного

сигнала  $K_c = \Delta U_{\text{вых}} / \Delta U_{\text{синф}}$ . Сравнить с коэффициентом усиления дифференциального сигнала Kg, который численно равен значению Ku, определенному в п.4.4.1.

Используя данные п.4.3.2.1, определить напряжение смещения ОУ  $U_{\text{см}} = E_2' / 200$ . Построить передаточную характеристику ОУ по данным п.4.3.2.2 и определить коэффициент



усиления  $K_{OУ} = \Delta U_{\text{вых}} / \Delta U_{\text{вх}}$ , а также максимальные значения выходного напряжения  $U_{\text{вых}}^+$  и  $U_{\text{вых}}^-$ .

По данным п.4.3.1.3 определить выходное сопротивление ОУ по формуле

$$R_{\text{вых}} = R_n \left( \frac{U_{\text{вых1}}}{U_{\text{вых2}}} - 1 \right),$$

где  $R_n = 3 \text{ кОм}$ .

Отчет о выполненной работе должен содержать: цель работы, принципиальные схемы эксперимента, формулы, таблицы и графики, полученные в результате эксперимента и расчета.

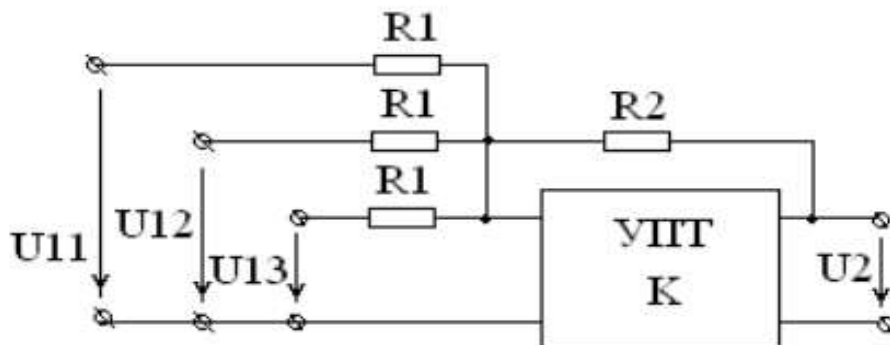
Отчет должен включать краткий анализ и выводы по результатам эксперимента и расчета.

### Вопросы для самопроверки

1. Что такое дрейф нуля и причины его появления в УПТ?
2. Что такое дрейф нуля, приведенный ко входу УПТ?
3. Каковы особенности схемы дифференциального каскада?
4. Опишите стабилизацию режима покоя дифференциального каскада при изменении питающего напряжения или температуры.
5. Почему резистор  $R_3$  увеличивает стабильность схемы и не влияет на коэффициент усиления дифференциального каскада?
6. Опишите способы подачи входного сигнала в УПТ.
7. Объясните, почему дифференциальный усилитель не усиливает синфазный сигнал.
8. Опишите общую структуру операционного усилителя (ОУ).
9. Объясните вид кривой передаточной характеристики ОУ.
10. Перечислите основные параметры ОУ
11. Как осуществляется в работе балансировка ОУ?

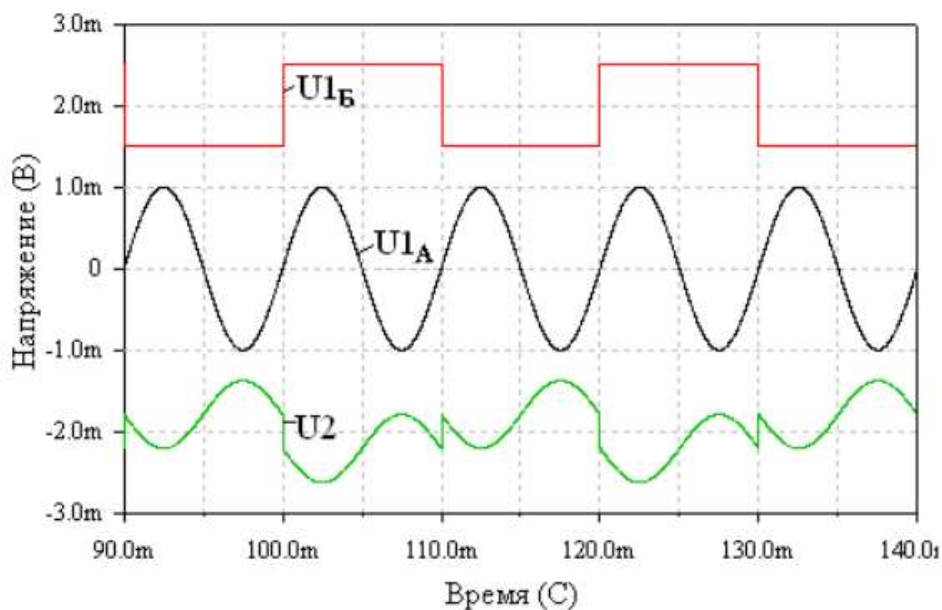
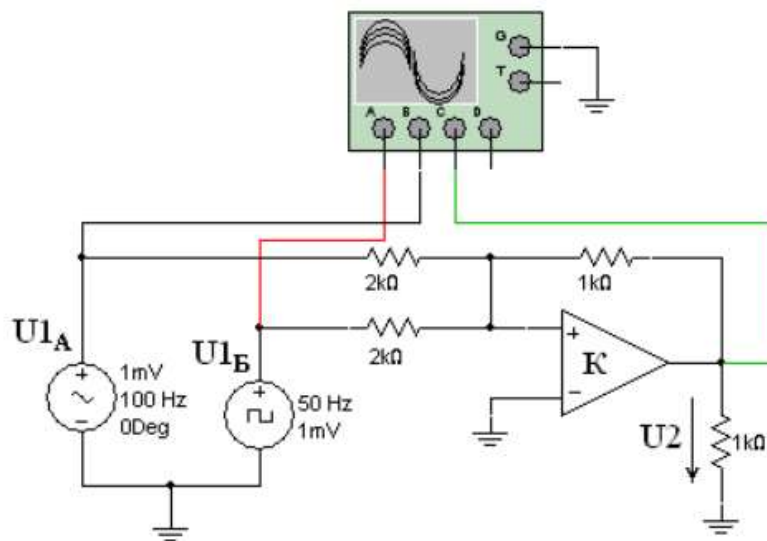
### Практическая работа №7 «Исследование схемы суммирующего усилителя на операционном усилителе»

Суммирующий операционный усилитель На рисунке представлена блок-схема суммирующего ОУ, где,  $Z_1 = R_1$ ,  $Z_2 = R_2$   $K_{oc} = -R_2 / R_1$ .  
В этом случае  $U_2 = -(U_{11} + U_{12} + U_{13}) \cdot R_2 / R_1$ .



Т. о. напряжение выхода суммирующего ОУ пропорционально сумме напряжений входа. При этом напряжения входа могут иметь различную конфигурацию и величину.

На схеме представлена принципиальная схема суммирующего ОУ в редакции Multisim. Здесь, входной источник  $U_{1A}$  имеет синусоидальную форму сигнала, с частотой 100 Гц. Входной источник  $U_{1B}$  имеет прямоугольную форму сигнала, с частотой 50 Гц. Напряжение выхода  $U_2$  усилителя пропорционально сумме двух входных сигналов, рис. 4.3. Рассмотренный, суммирующий ОУ имеет инвертирующие свойства.



### Вопросы для самопроверки

#### Практическая работа №8 «Исследование схемы вычитающего усилителя на операционном усилителе»

Исследование инвертирующего сумматора на операционном усилителе Соберите схему сумматора, как показано на принципиальной и монтажной схеме.

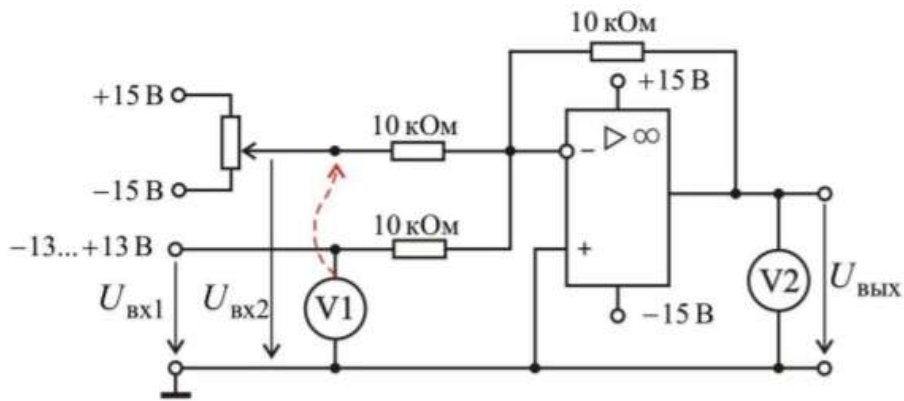


Рис. 18. Электрическая схема сумматора

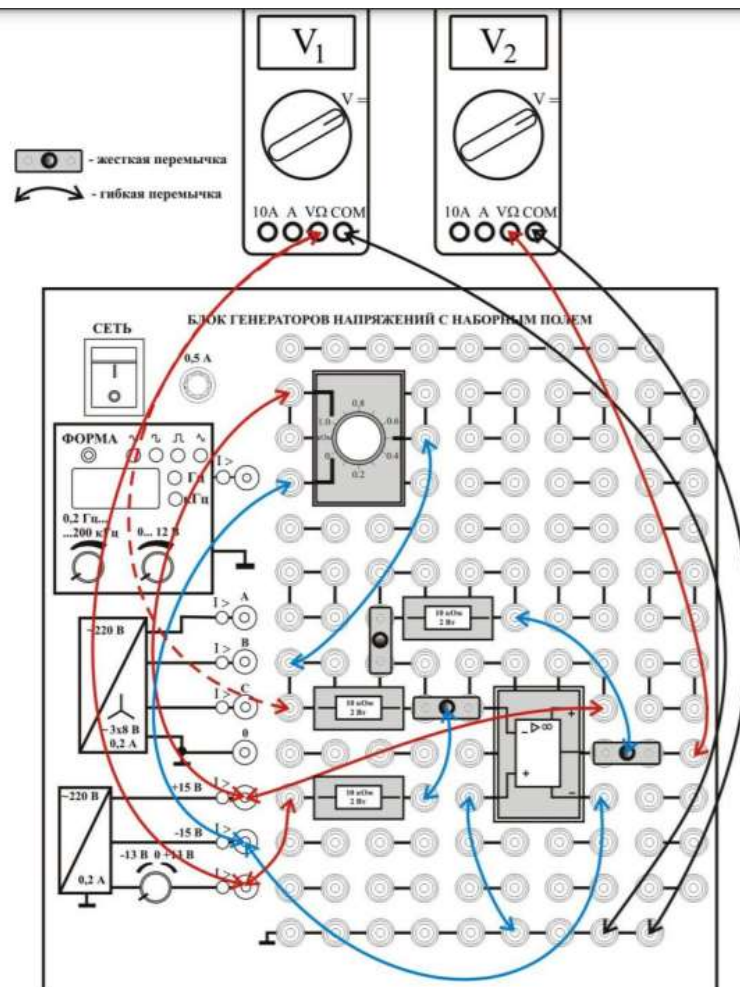


Рис. 19. Монтажная схема сумматора.

Включите тумблер «Сеть» Блока генераторов напряжений с наборным полем. С помощью мультиметра V2 измерьте величину выходного напряжения  $U_{\text{ВЫХ}}$  при различных входных напряжениях  $U_{\text{ВХ1}}$  и  $U_{\text{ВХ2}}$  согласно Таблице. Занесите эти значения в верхние строки таблицы. В нижние строки (серый цвет) запишите расчетные значения. Расчет провести по выражению

$$U_{\text{ВЫХ}} = -\frac{R_{\text{ос}}}{10} \cdot (U_{\text{ВХ1}} + U_{\text{ВХ2}}),$$

10  $U_{вх1}$   $U_{вх2}$  ос  $U_{вых}$   $U_{R}$   $U = - \cdot +$  где  $U_{вх1}$  и  $U_{вх2}$  брать из таблицы (установленные значения). Если расчетное  $U_{вых}$  превышает  $\pm 14$  В, то в соответствующую ячейку таблицы следует заносить  $\pm 13,6$  В. Убедитесь в близости расчетных и экспериментальных значений. Объясните их небольшое расхождение.

$U_{вх1}$ , В рекомендуемое		-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8	10
$U_{вх1}$ , В установленное												
$U_{вых}$ , В при $R_{ос}=10$ кОм $U_{вх2\_рек}=+2$ В $U_{вх2\_уст}=\phantom{+2}$	Эксп.											
	Расч.											
$U_{вх1}$ , В рекомендуемое												
$U_{вх1}$ , В установленное												
$U_{вых}$ , В при $R_{ос}=10$ кОм $U_{вх2\_рек}=-2$ В $U_{вх2\_уст}=\phantom{-2}$	Эксп.											
	Расч.											

### Вопросы для самопроверки

### Тема: Неуправляемые выпрямители. Назначение и структурная схема выпрямителей

Для преобразования переменного тока в постоянный наибольшее распространение получили неуправляемые выпрямители - устройства, включающие трансформатор (как правило, понижающий), набор полупроводниковых диодов (обеспечивающих выпрямление тока), реактивных L, C - элементов, стабилитронов, транзисторов, микросхем (обеспечивающих сглаживание пульсаций и стабилизацию выходного напряжения выпрямителя). На выходе неуправляемого выпрямителя напряжение будет постоянным (неизменным), если не изменится напряжение сети.

Существует несколько основных схем выпрямительных устройств, каждая из которых имеет некоторые преимущества по сравнению с другой. Принципиально возможно два вида выпрямления: однополупериодный и двухполупериодный. В первом случае выпрямлению подлежит один полупериод, а во втором - два полупериода переменного (как правило, синусоидального) тока.

Схема однополупериодного выпрямителя и выбор её параметров

Принцип действия одноконтурных (когда через вторичную обмотку трансформатора проходит ток в одном направлении в течение одного полупериода) однополупериодных выпрямителей покажем на примере выпрямительного устройства, схема которого представлена на рис. 7.3. Схема включает однофазный трансформатор TV, во вторичную обмотку которого включены последовательно диод VD и нагрузочное сопротивление RH. Первичная обмотка трансформатора присоединена к сети переменного тока. Работа рассматриваемой схемы протекает следующим образом. При подаче переменного напряжения на первичную обмотку трансформатора напряжение на зажимах его вторичной обмотки также будет

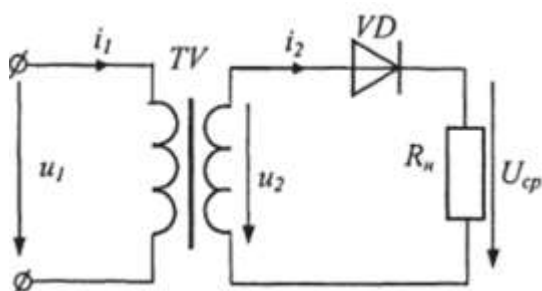


Рис. 7.3. Принципиальная схема однополупериодного выпрямителя переменного тока:  $u_1, u_2, i_1, i_2, U_{cp}$  - мгновенные значения напряжения и тока первичной и вторичной обмоток трансформатора

соответственно переменным. Если напряжение на первичной обмотке является синусоидальным, то мгновенное напряжение на вторичной обмотке трансформатора при этом будет меняться во времени по синусоидальному закону ( $u_2 = U_2 \sin \omega t$ ). Электрический вентиль (диод), как известно, проводит электрический ток только в том случае, когда его анод относительно катода будет иметь положительный потенциал. Поэтому ток в цепи - вторичная обмотка трансформатора TV, диод VD, нагрузка  $R_n$  - будет протекать только в одном направлении, т.е. в течение положительного полупериода переменного напряжения на первичной обмотке.

### Практическая работа №9 Расчет выпрямителя

Цель работы: Приобретение навыков расчёта выпрямителя.

Исходные данные для расчета выпрямителя:

- номинальное выпрямленное напряжение на нагрузке  $U_d = 23 \text{ В}$ ;
- ток нагрузки  $I_d = 0,9 \text{ А}$ ;
- допустимый коэффициент пульсаций выходного напряжения на нагрузке  $k_p. н. = 0,011$ ;
- частота питающей сети  $f = 50 \text{ Гц}$ ;
- количество фаз сети  $n = 1$ ;
- номинальное напряжение, подаваемое на первичную обмотку трансформатора  $U_1 = 220 \text{ В}$ .

В процессе расчёта выпрямительного устройства нужно выполнить следующие этапы:

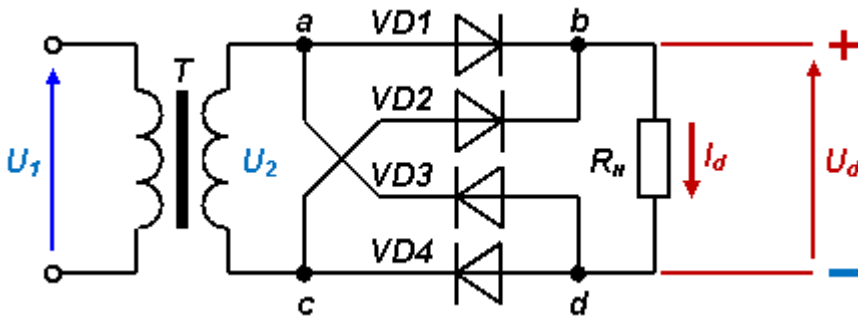
1. Анализ исходных данных и выбор принципиальной схемы выпрямителя.
2. Расчет параметров сглаживающего фильтра.
3. Расчет параметров вентильного узла и выбор типа выпрямительных диодов.
4. Расчет параметров трансформатора.
5. Построение временных диаграмм рассчитанного выпрямителя.

1. Выбор принципиальной схемы выпрямителя

Выбор схемы выпрямителя производят в зависимости от значения требуемой выходной мощности, выходного напряжения, коэффициента пульсаций, числа фаз. Критериями для выбора конкретного вида выпрямителя служат достоинства и недостатки. Но при отсутствии особых требований основным критерием выбора схемы выпрямления является мощность нагрузки постоянного тока.

Определим мощность нагрузки постоянного тока.

$$P_d = U_d \cdot I_d = 23 \cdot 0,9 = 20,7 \text{ Вт}$$



По этому критерию соответствует однофазная мостовая схема выпрямления (рис. 1).

Сопротивление нагрузки постоянного тока

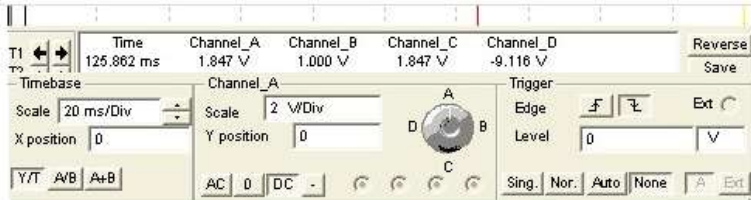
$$R_n = \frac{U_d}{I_d} = \frac{23}{0,9} = 25,556 \text{ Ом}$$

Эта схема способна работать со всеми типами фильтров - емкостными, Г- или П- образными LC- и RC- фильтрами.

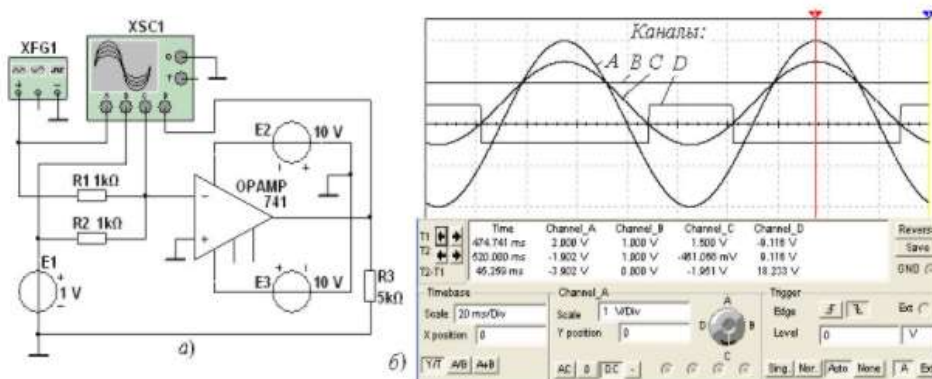
### Практическая работа №10 Исследование схемы одноходового компаратора на операционном усилителе

Одноходовый компаратор получается при подключении к одному из входов ОУ параллельно двух напряжений: исследуемого  $u_{вх}$  и порогового  $u_{оп}$  при "заземлении" второго входа ОУ (рис. 7.10, а). Пороговое напряжение, при котором происходит переключение компаратора, определяется выражением:  $u_{пор} = u_{оп}R1/R2$ .

ppp



### 3. ОДНОХОДОВЫЙ КОМПАРАТОР.



Так при подаче на вход компаратора (рис. 7.10, а) синусоидального напряжения от генератора XFG1 и постоянного от генератора E1 при изменении полярности входного сигнала на выходе



Сопротивление	10к	20к	30к	52к	74к	96к	152к	208к	264к	364к	470к

## 2. Задание и методические указания

### 1. Предварительное задание:

Изучить содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) пользуясь принципиальной схемой, приведенной в руководстве начертить схему соединений для проведения экспериментов, перечисленных в лабораторной работе;

в) нарисовать в масштабе временные диаграммы входного и выходного напряжений в регенеративном компараторе, если на инвертирующий вход подано синусоидальное напряжение с амплитудой 3,0 В и заданным преподавателем значением частоты  $f_{вх}$ , а на неинвертирующий вход постоянное опорное напряжение  $U_{оп}$ .

Определить ширину петли гистерезиса  $U_{г} = 2U_{пор}$ , где  $U_{пор}$  – напряжение порога срабатывания.

$$U_{пор} = \frac{U_{вых} R_3}{R_2 + R_3}, \quad \text{где } U_{вых} = \pm E = \pm 15 \text{ В}$$

### 2. Исследование двухвходового компаратора и регенеративного компаратора с положительной обратной связью

( триггера Шмидта):

а) собрать схему двухвходового компаратора с положительной обратной связью согласно рис. 1. В качестве резистора обратной связи  $R_3$  применить переключаемый резистор 10...470 кОм. В качестве

опорного напряжения  $U_{оп}$  использовать регулируемое постоянное напряжение.

На инвертирующий вход подключить функциональный генератор, используя у него выход «~»;

б) снять характеристики передачи компаратора без обратной связи и для двух значений сопротивлений обратной связи при заданном опорном напряжении. Измерение опорного напряжения можно производить мультиметром на пределе 20 В.

Выходное напряжение необходимо подключить на вход Y осциллографа, входное напряжение – на вход X.

Изменяя величину переменного сигнала на инвертирующем входе, добиться появления на выходе прямоугольных импульсов. После переключения развертки осциллографа в положение X/Y зарисовать характеристики.

Определить масштабы по осям Y и X;

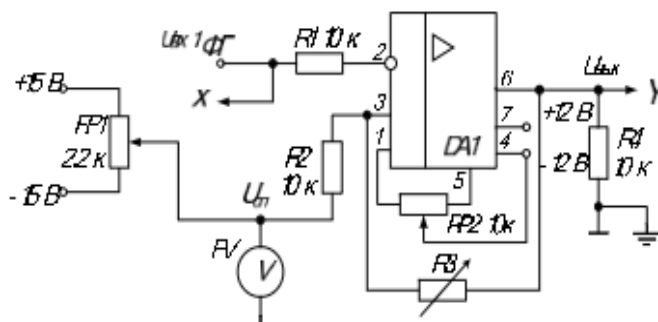


Рис. 1. Принципиальная схема

в) снять осциллограммы работы компаратора при сравнении постоянного (опорного) и переменного напряжений.

Установить амплитуду переменного напряжения 3,0 В с частотой 1 кГц.

Установить заданное опорное напряжение. Зарисовать с экрана осциллографа входные напряжения  $U_{вх1}$ ,  $U_{оп}$

и выходное напряжение  $U_{вых}$ .



### 3. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- а) наименование и цель работы;
- б) принципиальные электрические схемы для выполненных экспериментов;
- в) результаты экспериментальных исследований и проведенных по ним расчетов, помещенные в соответствующие таблицы;
- г) экспериментально снятые и построенные характеристики;
- д) обработанные осциллограммы.

### **Практическая работа №11 Исследование схемы регенеративного компаратора на операционном усилителе**

Изучение различных схем включения и характеристик компараторов и мультивибратора на базе операционного усилителя.

#### *Описание лабораторной установки*

В лабораторной работе исследуется операционный усилитель (ОУ) КР140УД608. Лицевая панель лабораторного модуля «Операционный усилитель» представлена на рис. 1.

Рис. 1 Модуль операционного усилителя

На ней изображена мнемосхема исследуемого усилителя и установлены регулирующие и коммутирующие элементы. С помощью потенциометра  $RP1$  на вход усилителя (гнезда  $X4, X8, X9, X12$ ) может быть подано регулируемое постоянное напряжение с положительной так и отрицательной полярностью или переменный сигнал от функционального генератора, подключаемого между гнездами  $X11 - X14$ . С помощью переключателей  $SA1-SA4$  изменяются параметры соответствующих элементов схемы (табл.1).

Таблица 1

$SA1$	$SA2$	$SA3$	$SA4$
$R4, \text{кОм}$	$C2, \text{нФ}$	$C, \text{нФ}$	$R5, \text{кОм}$
20; 50; 100; 150; 200	6,8; 10	1,5; 10	200; 400

Большому значению на шкалах переключателей соответствуют большие значения номиналов резисторов и конденсаторов.

В качестве источника переменного входного сигнала используется «Модуль функциональный генератор». Измерение постоянных напряжений осуществляется при вольтметров модуля измерительного. Для осциллографирования сигналов применяется двухканальный осциллограф (желательно).

Сопротивления на входах операционного усилителя равны  $R1 = R2 = R3 = 10 \text{ кОм}$ ; сопротивление нагрузки  $R_H = 10 \text{ кОм}$ . Напряжение питания ОУ двухполярное .

#### *Задание и методические указания*

1. Предварительное домашнее задание:

а) изучить темы курса «Характеристики и параметры операционных усилителей», «Обратные связи в усилителях», «Компараторы», «Регенеративный компаратор (триггер Шмидта)» и «Мультивибратор»; изучить содержание данной работы, быть готовым ответить на все контрольные вопросы;

б) нарисовать схему для снятия передаточной характеристики одноходового компаратора при помощи осциллографа и временные диаграммы его входного и выходного напряжений, если на инвертирующий вход подано синусоидальное напряжение с амплитудой , а также постоянное опорное напряжение в соответствии с таблицей вариантов;

в) нарисовать схему для снятия передаточной характеристики двухходового компаратора и временные диаграммы его входного и выходного напряжений, если на инвертирующий вход подано синусоидальное напряжение с амплитудой , а на неинвертирующий – постоянное опорное напряжение в соответствии с таблицей вариантов;

г) нарисовать схему для снятия передаточной характеристики регенеративного компаратора и временные диаграммы его входного и выходного напряжений, если на инвертирующий вход подано синусоидальное напряжение с амплитудой , а на неинвертирующий – постоянное опорное напряжение в соответствии с таблицей вариантов. Для регенеративного компаратора определить ширину петли гистерезиса , где  $U_{пор}$  – напряжение порога срабатывания,

где – максимальное напряжение на выходе ОУ, принять равным 13,5 В;

д) нарисовать временные диаграммы сигналов мультивибратора: напряжение на выходе , напряжение на инвертирующем и неинвертирующем входах ОУ. В соответствии с таблицей вариантов определить частоту на выходе мультивибратора:

(1)

. (2)

*2. Исследование одноходового компаратора:*

а ) собрать схему одноходового компаратора согласно рис. 2. Для этого соединить перемычкой гнезда X12 – X14. К гнезду X9 подключить источник опорного напряжения , соединив гнезда X3 – X9. Для измерения опорного напряжения между гнездами X9 – X14 включить вольтметр. Между гнездами X11 – X14 подключить источник входного сигнала (модуль «Функциональный генератор»), и соединить перемычкой гнезда X4 – X11.

Включить питание модуля;

б) снять осциллограммы работы компаратора при сравнении постоянного (опорного) и переменного напряжений. Для этого канал CH2 осциллографа подключить к выходному гнезду X10 операционного усилителя, а канал CH1 – к входному переменному напряжению (гнездо X5), корпус осциллографа «⊥» соединить с гнездом X14. Установить амплитуду переменного синусоидального напряжения ручкой модуля «Функциональный генератор» на уровне 2,5 В с частотой 1 кГц и заданное по варианту опорное напряжение . Зарисовать с экрана осциллографа входное и выходное напряжения. Определить масштабы по осям Y и X;

в ) снять передаточную характеристику компаратора, переключив развертку осциллографа в положение X/Y. Зарисовать характеристику на кальку.

Выключить питание модуля.

*3. Исследование двухходового компаратора:*

а) собрать схему двухходового компаратора рис. 3. Для этого разъединить гнезда X9 – X14. Источник опорного напряжения подключить к неинвертирующему входу ОУ (соединить перемычкой гнезда X3 – X12). Вольтметр включить между гнездами X12 – X14. Включить питание модуля;

б) снять осциллограммы работы компаратора при сравнении постоянного (опорного) и переменного напряжений. Для этого канал CH2 осциллографа подключить к выходному гнезду X10 операционного усилителя, а канал CH1 – к входному переменному напряжению (гнездо X4), корпус осциллографа «⊥» соединить с гнездом X14. Установить амплитуду переменного синусоидального

напряжения ручкой модуля «Функциональный генератор» на уровне 2,5 В с частотой 1 кГц и на протяжении всех опытов не изменять. Опорное напряжение установить согласно таблице вариантов. Зарисовать с экрана осциллографа входное и выходное напряжения. Определить масштабы по осям  $Y$  и  $X$ ;

в) снять передаточную характеристику компаратора, переключив развертку осциллографа в положение  $X/Y$ . Зарисовать характеристику на кальку;

г) снять зависимость коэффициента заполнения положительных импульсов от величины опорного напряжения:  $\tau$ . Здесь – длительность положительных импульсов выходного напряжения;  $T$  – период выходного напряжения компаратора. Опорное напряжение изменять в пределах, которое обеспечивает работу компаратора (от  $-2,5$  до  $+2,5$  В). Длительность периода и положительных импульсов замерять по экрану осциллографа, а напряжение – вольтметром. Измеренные величины заносить в таблицу.

Выключить питание модуля.

4. *Исследование регенеративного компаратора с положительной обратной связью (триггера Шмидта):*

а) собрать схему двухвходового компаратора с положительной обратной связью согласно рис. 4, соединив гнезда  $X10$  –  $X13$ . Включить питание модуля;

б) снять осциллограммы работы компаратора при сравнении постоянного (опорного) и переменного напряжений, повторив последовательность действий п. 3 б);

в) снять передаточные характеристики компаратора для двух значений сопротивлений обратной связи ( $R5$ ) при заданном опорном напряжении, переключив развертку осциллографа в положение  $X/Y$ . Зарисовать характеристики на кальке. Определить ширину петли гистерезиса передаточной характеристики и сделать сравнение с расчетом (см. п. 1 г).

Выключить питание модуля.

5. *Исследование мультивибратора:*

а) собрать схему мультивибратора (рис. 5). Для этого отсоединить все источники напряжений от входных цепей операционного усилителя (гнезда  $X4$ ,  $X8$ ,  $X9$ ,  $X12$ ). Собрать цепь положительной обратной связи, соединив перемычкой гнезда:  $X10$  –  $X13$  и  $X12$  –  $X14$ , а затем  $RC$ -цепь, установив дополнительные перемычки между гнездами:  $X6$  –  $X7$ ,  $X1$  –  $X5$  и  $X2$  –  $X14$ . При помощи переключателей  $SA1$ ,  $SA2$  и  $SA4$  установить заданные значения сопротивлений и емкостей в соответствии с таблицей вариантов. Включить питание модуля;

б) снять осциллограммы работы мультивибратора. Для этого канал  $CH2$  осциллографа подключить к выходному гнезду  $X10$  операционного усилителя, а канал  $CH1$  – к инвертирующему входу ОУ (гнездо  $X1$ ), корпус осциллографа « $\perp$ » соединить с гнездом  $X14$ . Зарисовать с экрана осциллографа выходное напряжение и напряжение на инвертирующем входе (напряжение на емкости  $C2$ ). Обработать осциллограммы. Определить масштабы по осям  $Y$  и  $X$ , частоту на выходе мультивибратора. Сравнить экспериментальное значение частоты на выходе мультивибратора с расчетной (см. п. 1 д);

в) исследовать влияние сопротивлений  $R4$  и  $R5$  на изменение частоты на выходе мультивибратора. Для этого с помощью переключателя  $SA1$  установить любое значение  $R4$ . Зарисовать осциллограммы сигналов:  $U_{out}$  и  $U_{in}$ . Определить выходную частоту мультивибратора. Установить первоначальное значение сопротивления  $R4$ . Аналогичные действия повторить для сопротивления  $R5$ .

### **Практическая работа №13 «Расчет выпрямителя с фильтром сглаживания»**

**Цель работы** – изучение принципа действия и экспериментальные исследования однофазного маломощного выпрямителя с простейшими сглаживающими фильтрами.

#### 1.1 Основные положения

Для питания постоянным током различных электронных управляющих измерительных и вычислительных устройств, а также бытовых электронных устройств применяют маломощные

выпрямители (мощностью десятки и сотни ватт), которые предназначены для преобразования переменного напряжения промышленной сети в постоянное.

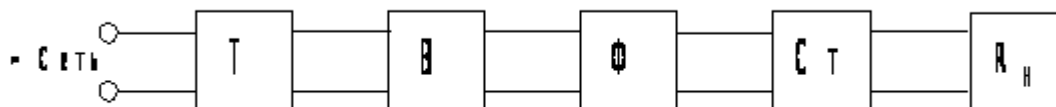


Рисунок 1.1 - Структурная схема выпрямителя

Структурная схема маломощного выпрямителя представлена на рис.1.1 и содержит следующие узлы:

В - выпрямительный блок, преобразующий переменное напряжение в постоянное;

Ф - фильтр для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения;

Т - трансформатор, служащий для получения необходимого напряжения на выходе выпрямителя, а также для гальванической развязки источника питания и сети;

Ст - стабилизатор постоянного напряжения, который позволяет обеспечить высокую стабильность питающего напряжения в нагрузке при применении напряжения сети или изменении параметров нагрузки.

К выходу выпрямителя могут подключаться различные электронные устройства, которые для удобства анализа заменяют эквивалентным нагрузочным резистором  $R_n$ .

В зависимости от условий работы и требований, предъявляемых к выпрямительным устройствам, отдельные узлы его могут отсутствовать. В частности, это относится к стабилизатору напряжения. Рассмотрим в первую очередь принцип действия выпрямительных схем, построенных на полупроводниковых диодах.

### Сглаживающие фильтры

Сглаживающие фильтры предназначены для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения и тока и содержат реактивные элементы

(L или C), способные накапливать энергию, а затем ее отдавать в нагрузку.

На рис.1.6 приведены простейшие сглаживающие фильтры, подключаемые между выпрямителем и нагрузкой.

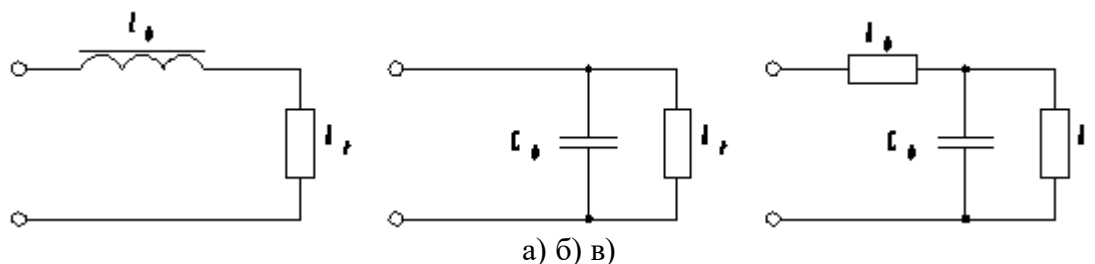


Рисунок 1.6 - Схемы сглаживающих фильтров

В индуктивном фильтре используется дроссель  $L_\phi$ , который включается последовательно с нагрузкой  $R_n$  (рис.1.6,а). Сущность работы данного фильтра сводится к тому, что при увеличении напряжения вторичной обмотки трансформатора выпрямителя происходит накопление энергии в индуктивности  $L_\phi$ , а при его уменьшении за счет возникшей э.д.с. самоиндукции ток в нагрузке будет мало меняться. Индуктивность  $L_\phi$  выбирается из условия  $\omega_1 L_\phi \gg R_n$ , где  $\omega_1$  - угловая частота первой гармоники пульсации. При выполнении указанного условия практически вся переменная составляющая выпрямленного напряжения будет падать на дросселе, а постоянная составляющая полностью передаваться в нагрузку.

В емкостном фильтре (рис.1.6,б) необходимо выполнить условие  $1/\omega_1 C_\phi \ll R_n$ . В этом случае переменная составляющая напряжения будет замыкаться через конденсатор  $C_\phi$  а постоянная составляющая поступает в нагрузку.

Из приведенных неравенств следует, что индуктивный фильтр более эффективен при больших токах нагрузки (малых  $R_n$ ), а емкостной – при малых токах (больших  $R_n$ ).

В RC-фильтре (рис. 1.6,в) конденсатор  $C_\phi$  шунтирует нагрузку по переменной составляющей напряжения, которая дополнительно ограничивается сопротивлением резистора  $R_\phi$ . В результате доля переменной составляющей в выпрямленном напряжении значительно уменьшается. Недостатком RC-фильтра является потеря мощности на резисторе  $R_\phi$ , что снижает к.п.д. фильтра. Поэтому RC-фильтры целесообразно использовать в выпрямителях при малых токах нагрузки. Основным параметром, характеризующим эффективность действия сглаживающего фильтра, является коэффициент сглаживания, равный отношению коэффициентов пульсаций  $g_1$  и  $g_2$  на входе и выходе фильтра

$$S = \frac{g_1}{g_2} = \frac{U_{m1}/U_d}{U'_{m1}/U_n}$$

где  $U_d$  - напряжение на входе фильтра;

$U_n$  - напряжение на нагрузке;

$U_{m1}, U'_{m1}$  - амплитуды первой гармоники выпрямленного напряжения на входе и выходе фильтра.

### 1.2 Описание схемы эксперимента

В работе исследуется однофазная двухполупериодная схема выпрямителя с выводом средней точки трансформатора с фильтрами, приведенная на рис. 1.9.

Такое же изображение схема выпрямителя имеет и на накладной панели стенда с указанием контрольных точек (гнезда X1-X5).

Ток нагрузки регулируется реостатом  $R_n$  с помощью ручки « $R_n$ ».

С помощью коммутации ключей S1 и S2 можно исследовать работу выпрямителя с активной нагрузкой, C-фильтром и RC-фильтром.

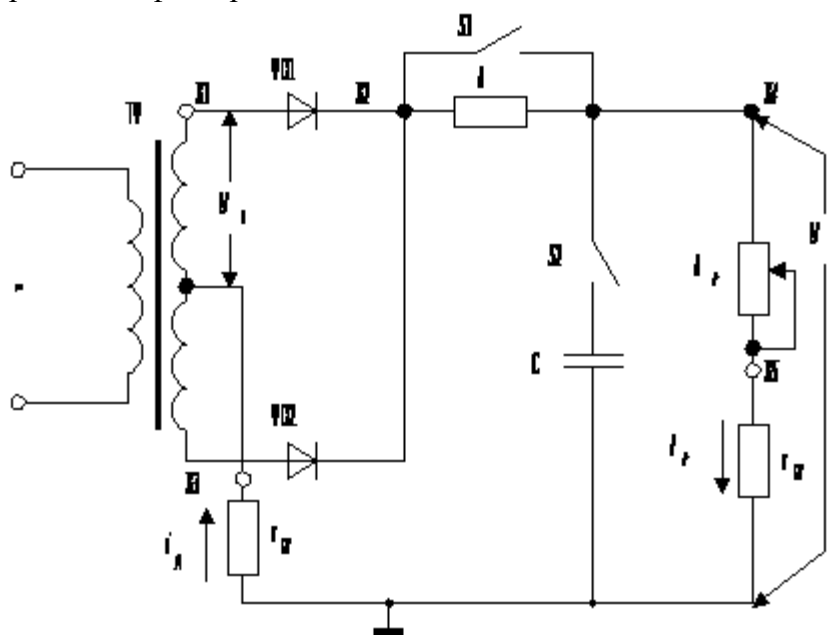


Рисунок 1.9. Схема однофазного двухполупериодного выпрямителя с выводом средней точки трансформатора с фильтрами.

Шунты из резисторов  $r_{ш}=1$  Ом позволяют проводить измерения токов в цепях выпрямителя. Так, при подключении осциллографа к гнезду X3 можно наблюдать на одной оси времени поочередное протекание токов диодов VD1 и VD2. При подключении цифрового вольтметра к гнезду X5 можно определить ток нагрузки по падению напряжения на шунте  $r_{ш}$ .

На гнезде X1 можно наблюдать переменное напряжение во вторичной обмотке трансформатора, на гнезде X2 - напряжение на выходе выпрямителя, на гнезде X4 – напряжение на нагрузке.

### 1.3 Порядок выполнения работы

Перед началом экспериментов подготовьте стенд к работе в соответствии с указаниями данной инструкции. Обратите внимание на использование коммутатора стенда при снятии нескольких осциллограмм одновременно.

#### 1.3.1 Исследование внешних характеристик выпрямителя

$$U_n = f(I_n)$$

Снятие внешних характеристик выпрямителя производится с помощью цифрового вольтметра, который фиксирует напряжение  $u_n$  на гнезде X4 и ток  $I_n$  по падению напряжения на гнезде X5 (шунт  $r_{ш} = 1 \text{ Ом}$ ).

1.3.1.1 Снять внешнюю характеристику выпрямителя при активной нагрузке (ключ S1 замкнут, ключ S2 разомкнут), Ток нагрузки устанавливать ручкой «R<sub>n</sub>» равномерно в пределах от минимального до максимального значения. Данные измерений занести в табл. 1.1.

**Таблица 1.1**

$I_n, \text{ mA}$						
$U_n, \text{ В}$						

1.3.1.2 Снять внешнюю характеристику выпрямителя с С-фильтром (ключи S1 и S2 замкнуты). Измерения произвести аналогично п.1.3.1.1.

1.3.1.3 Снять внешнюю характеристику выпрямителя с RC-фильтром (ключ S1 разомкнут, ключ S2 замкнут). Измерения произвести аналогично п.1.3.1.1.

### Вопросы для самопроверки

1. Объясните принцип работы простейших сглаживающих фильтров и укажите основные их качественные показатели.
2. Объясните ход внешних характеристик выпрямителя при работе на активную нагрузку, а также при наличии С-фильтра и RC-фильтра.

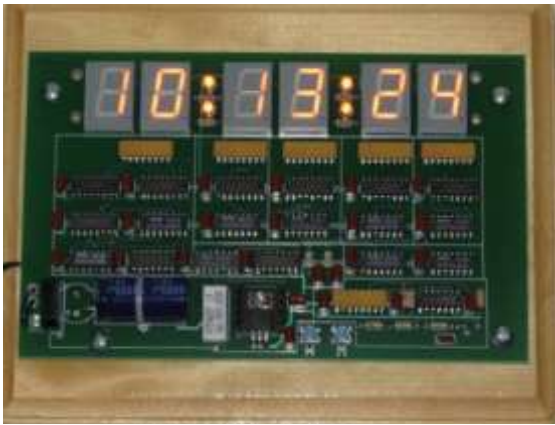
### Тема: Логические элементы

Электрическая схема, предназначенная для выполнения какой-либо логической операции с входными данными, называется логическим элементом. Входные данные представляются здесь в виде напряжений различных уровней, и результат логической операции на выходе — также получается в виде напряжения определенного уровня.

Операнды в данном случае подаются в двоичной системе счисления — на вход логического элемента поступают сигналы в форме напряжения высокого или низкого уровня, которые и служат по сути входными данными. Так, напряжение высокого уровня — это логическая единица 1 — обозначает истинное значение операнда, а напряжение низкого уровня 0 — значение ложное. 1 — ИСТИНА, 0 — ЛОЖЬ.

**Логический элемент** — элемент, осуществляющий определенную логическую зависимость между входными и выходными сигналами. Логические элементы обычно используются для построения логических схем вычислительных машин, дискретных схем автоматического контроля и управления. Для всех видов логических элементов, независимо от их физической природы, характерны дискретные значения входных и выходных сигналов.

Логические элементы имеют один или несколько входов и один или два (обычно инверсных друг другу) выходы. Значения «нулей» и «единиц» выходных сигналов логических элементов определяются логической функцией, которую выполняет элемент, и значениями «нулей» и «единиц» входных сигналов, играющих роль независимых переменных. Существуют элементарные логические функции, из которых можно составить любую сложную логическую функцию.

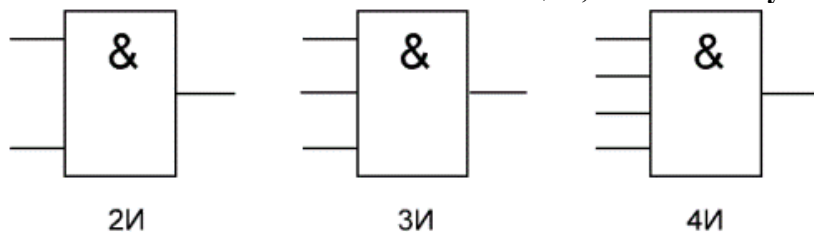


В зависимости от устройства схемы элемента, от ее электрических параметров, логические уровни (высокие и низкие уровни напряжения) входа и выхода имеют одинаковые значения для высокого и низкого (истинного и ложного) состояний.



Традиционно логические элементы выпускаются в виде специальных радиодеталей — интегральных микросхем. Логические операции, такие как конъюнкция, дизъюнкция, отрицание и сложение по модулю (И, ИЛИ, НЕ, исключающее ИЛИ) — являются основными операциями, выполняемыми на логических элементах основных типов. Далее рассмотрим каждый из этих типов логических элементов более внимательно.

#### Логический элемент «И» - конъюнкция, логическое умножение, AND



«И» - логический элемент, выполняющий над входными данными операцию конъюнкции или логического умножения. Данный элемент может иметь от 2 до 8 (наиболее распространены в производстве элементы «И» с 2, 3, 4 и 8 входами) входов и один выход.

Условные обозначения логических элементов «И» с разным количеством входов приведены на рисунке. В тексте логический элемент «И» с тем или иным числом входов обозначается как «2И», «4И» и т. д. - элемент «И» с двумя входами, с четырьмя входами и т. д.

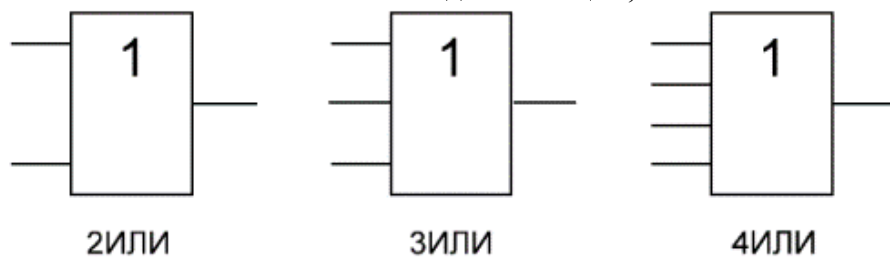


Вход X1	Вход X2	Выход Y
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

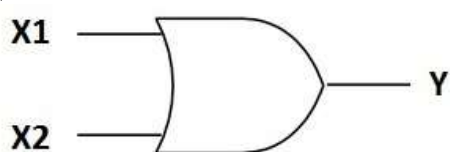
Таблица истинности для элемента 2И показывает, что на выходе элемента будет логическая единица лишь в том случае, если логические единицы будут одновременно на первом входе И на втором входе. В остальных трех возможных случаях на выходе будет ноль.

На западных схемах значок элемента «И» имеет прямую черту на входе и закругление на выходе. На отечественных схемах — прямоугольник с символом «&».

### Логический элемент «ИЛИ» - дизъюнкция, логическое сложение, OR



«ИЛИ» - логический элемент, выполняющий над входными данными операцию дизъюнкции или логического сложения. Он так же как и элемент «И» выпускается с двумя, тремя, четырьмя и т. д. входами и с одним выходом. Условные обозначения логических элементов «ИЛИ» с различным количеством входов показаны на рисунке. Обозначаются данные элементы так: 2ИЛИ, 3ИЛИ, 4ИЛИ и т. д.

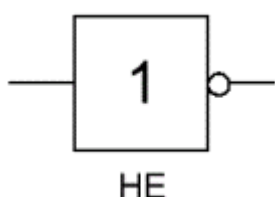


Вход X1	Вход X2	Выход Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1

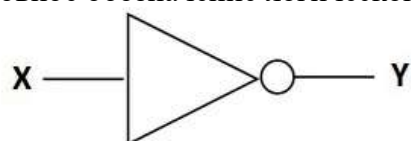
Таблица истинности для элемента «2ИЛИ» показывает, что для появления на выходе логической единицы, достаточно чтобы логическая единица была на первом входе ИЛИ на втором входе. Если логические единицы будут сразу на двух входах, на выходе также будет единица.

На западных схемах значок элемента «ИЛИ» имеет закругление на входе и закругление с заострением на выходе. На отечественных схемах — прямоугольник с символом «1».

### Логический элемент «НЕ» - отрицание, инвертор, NOT



«НЕ» - логический элемент, выполняющий над входными данными операцию логического отрицания. Данный элемент, имеющий один выход и только один вход, называют еще инвертором, поскольку он на самом деле инвертирует (обращает) входной сигнал. На рисунке приведено условное обозначение логического элемента «НЕ».



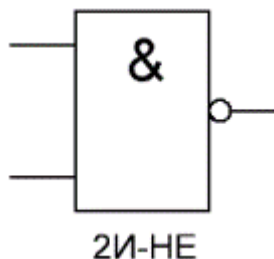
Вход X	Выход Y
0	1
1	0

Таблица истинности для инвертора показывает, что высокий потенциал на входе даёт низкий потенциал на выходе и наоборот.

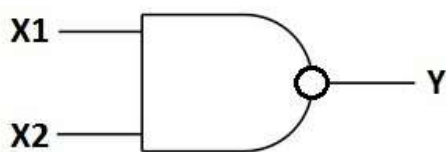


На западных схемах значок элемента «НЕ» имеет форму треугольника с кружочком на выходе. На отечественных схемах — прямоугольник с символом «1», с кружком на выходе.

**Логический элемент «И-НЕ» - конъюнкция (логическое умножение) с отрицанием, NAND**



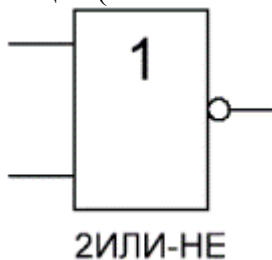
«И-НЕ» - логический элемент, выполняющий над входными данными операцию логического сложения, и затем операцию логического отрицания, результат подается на выход. Другими словами, это в принципе элемент «И», дополненный элементом «НЕ». На рисунке приведено условное обозначение логического элемента «2И-НЕ».



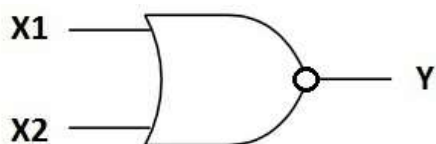
Вход X1	Вход X2	Выход Y
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

Таблица истинности для элемента «И-НЕ» противоположна таблице для элемента «И». Вместо трех нулей и единицы — три единицы и ноль. Элемент «И-НЕ» называют еще «элемент Шеффера» в честь математика Генри Мориса Шеффера, впервые отметившего значимость этой логической операции в 1913 году. Обозначается как «И», только с кружочком на выходе.

Логический элемент «ИЛИ-НЕ» - дизъюнкция (логическое сложение) с отрицанием, NOR



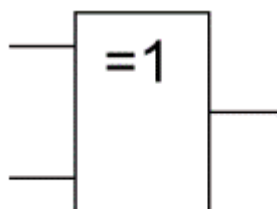
«ИЛИ-НЕ» - логический элемент, выполняющий над входными данными операцию логического сложения, и затем операцию логического отрицания, результат подается на выход. Иначе говоря, это элемент «ИЛИ», дополненный элементом «НЕ» - инвертором. На рисунке приведено условное обозначение логического элемента «2ИЛИ-НЕ».



Вход X1	Вход X2	Выход Y
0	0	1
1	0	0
0	1	0
1	1	0

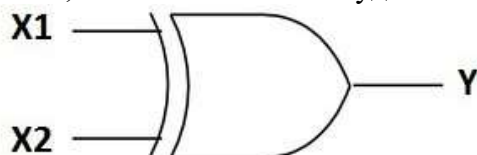
Таблица истинности для элемента «ИЛИ-НЕ» противоположна таблице для элемента «ИЛИ». Высокий потенциал на выходе получается лишь в одном случае - на оба входа подаются одновременно низкие потенциалы. Обозначается как «ИЛИ», только с кружочком на выходе, обозначающим инверсию.

Логический элемент «исключающее ИЛИ» - сложение по модулю 2, XOR



исключающее ИЛИ

«исключающее ИЛИ» - логический элемент, выполняющий над входными данными операцию логического сложения по модулю 2, имеет два входа и один выход. Часто данные элементы применяют в схемах контроля. На рисунке приведено условное обозначение данного элемента. Изображение в западных схемах — как у «ИЛИ» с дополнительной изогнутой полоской на стороне входа, в отечественной — как «ИЛИ», только вместо «1» будет написано «=1».



Вход X1	Вход X2	Выход Y
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0

Этот логический элемент еще называют «неравнозначность». Высокий уровень напряжения будет на выходе лишь тогда, когда сигналы на входе не равны (на одном единица, на другом ноль или на одном ноль, а на другом единица) если даже на входе будут одновременно две единицы, на выходе будет ноль — в этом отличие от «ИЛИ». Данные элементы логики широко применяются в сумматорах.

**Тема: Осциллограф. Принцип работы, устройство**

Осциллограф – электронный прибор для измерения электрических сигналов в цепи и наблюдения за ними. Определение формы и параметров колебаний необходимо для отслеживания корректности работы оборудования.

Первые попытки создать прибор для определения электрических колебаний относятся ещё к 1880 году. Их делали французские и русские физики. Первые осциллографы были аналоговыми. С 1980-х годов сигналы стали фиксироваться с помощью цифрового оборудования.

### **Устройство и принцип действия прибора**

Объясним устройство аналогового осциллографа просто, «для чайников». Прибор состоит из следующих элементов:

- лучевая трубка;
- блок питания;
- канал вертикального / горизонтального отклонения;
- канал модуляции луча;
- устройство синхронизации и запуска развёртки.

Для управления параметрами сигнала и его отображения на экране есть регуляторы. У старых моделей экрана не было. Изображение фиксировалось на фотоленте.

### **Принцип работы**

При запуске прибора сигнал подаётся на вход канала вертикального отклонения. Он имеет высокое входное сопротивление. По тому же принципу работает вольтметр, измеряющий напряжение. Однако вольтметр не показывает временного графика колебаний напряжения.

Сигнал усиливается до необходимого уровня после подачи на вход. Он отображается на экране по вертикальной оси. Усиление требуется для работы отклоняющей системы лучевой трубки или преобразователя сигнала из аналогового в цифровой. Оно позволяет менять масштаб отображения колебаний на экране от крупного до мелкого.

### **Устройство**

Лучевая трубка чувствительна к электрическим импульсам. Чем ниже их частота, тем выше чувствительность. В нынешних трубках количество лучей может составлять от одного до 16. Их количеству соответствует число сигнальных входов и отображающихся одновременно графиков.



Особенность цифрового осциллографа в том, что он имеет экран и преобразователь аналогового сигнала. У него есть память для сохранения данных о полученном графике колебаний. Часть информации анализируется в автоматическом режиме и отображается в обработанном виде. Аналоговый осциллограф не запоминает данные, а только показывает их в реальном времени.

Разверткой называется траектория движения луча, который улавливает колебания и выводит изображение на экран. Она бывает разной формы — эллиптической, круговой. Значение развёртки регулируется в зависимости от исследуемого сигнала по горизонтальной оси (временной).

Блок питания подаёт напряжение от сети 220 В на электронные схемы. Есть и аккумуляторные модели, способные работать автономно. Виды осциллографов

По принципу действия осциллографы бывают цифровыми и аналоговыми. Существуют смешанные аналого-цифровые приборы. Всё чаще выпускают виртуальные. Там в качестве экрана используется другой прибор – монитор компьютера, телевизора.

Работа некоторых моделей основана на электромеханическом принципе:

- электродинамический;
- электростатический;
- выпрямительный;
- электромагнитный;
- магнитоэлектрический;
- термоэлектрический.



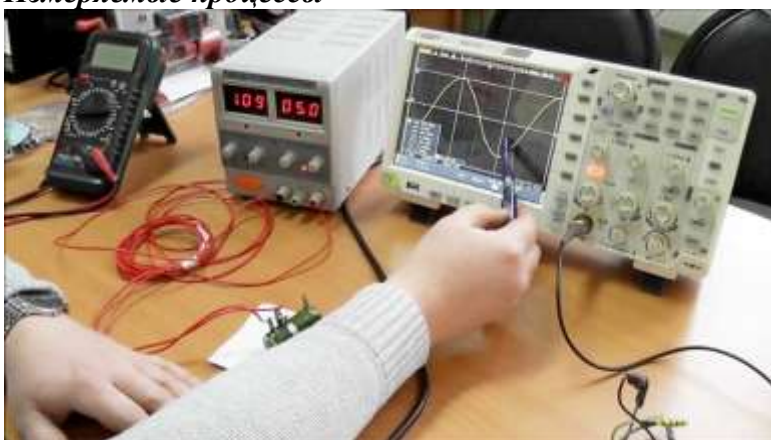
Прибор может работать самостоятельно или являться приставкой к другому оборудованию (например, компьютеру). Во втором случае цена ниже, но сам прибор зависим от внешнего устройства.

### Виды развёрток

В разных режимах работы осциллографа линейные (создаваемых пилообразным напряжением) развёртки могут различаться:

- Однократная. Генератор запускается один раз, затем блокируется. Такая развёртка нужна для фиксирования неповторяющихся сигналов.
- Ждущая. Запуск происходит сразу после сигнала. Нужна для наблюдения за редкими колебаниями.
- Автоколебательная. Генератор периодически включается при отсутствии сигнала. Удобна для отображения частых периодических импульсов.

### Измеряемые процессы



По принципу работы приборы делят на:

- Специальные. Имеют блоки для целевого использования (например, телевизионные осциллографы).
- Стробоскопические. Чувствительные приборы для исследования кратковременных повторяющихся процессов.



- Скоростные. Используют для фиксации процессов с высокой скоростью (с точностью до нано- и пикосекунд).
- Запоминающие. Сохраняют полученное изображение. Обычно применяют для изучения редких однократных действий.
- Универсальные. Исследуют разные процессы.

Информация, которую даёт осциллограф:

- значения напряжения, временные параметры колебаний;
- сдвиг фаз, искажение импульса на разных участках цепи;
- частота (определяется путем фиксирования его временных характеристик);
- переменная и постоянная составляющие колебаний;
- процессы в цепи.

Осциллографы используют как в практических, так и в научно-исследовательских целях. Для простых измерений можно воспользоваться мультиметром, но в большинстве случаев осциллограф незаменим.

Приборы для измерения колебаний применяют при настройке электронного оборудования. К примеру, для регулировки телевизионного сигнала необходимо получить его осциллографическое изображение. Приборы также используются при ремонте блоков питания, диагностике печатных плат.

Методика измерений

Осциллограф измеряет электрическое напряжение и формирует амплитудный график электрических колебаний. Цифровые приборы могут запоминать полученный график, возвращаться к нему.

Колебания отображаются на экране в двухмерной системе координат (напряжение – вертикальная ось, время – горизонтальная ось), формируя график — осциллограмму. Есть ещё третий компонент исследований – интенсивность сигнала (или яркость).

При отсутствии входных импульсов на экране горизонтальная линия – «нулевая», обозначающая отсутствие напряжения. Как только на вход (или входы) прибора подаётся напряжение, на экране становятся видны один или несколько графиков одновременно (зависит от количества измеряемых сигналов).



График электрических колебаний по форме может представлять собой:

- синусоиду;
- затухающую синусоиду;
- прямоугольник;
- меандр;
- треугольники;
- пилообразные колебания;
- импульс;
- перепад;

- комплексный сигнал.

Для получения стабильного графика колебаний в приборе стоит блок синхронизации. Получить циклическое отображение колебаний можно только после установки значения синхронизации. Оно принимается за «стартовое», служит отправной точкой графика. Все скачки отображаются по отношению к этой точке.

## Тема: Элементы микропроцессорной технике

В результате изучения данной главы студенты должны: знать: типовую структуру микропроцессора и микропроцессорной системы, виды и особенности микропроцессорных систем; уметь: проводить классификацию микропроцессорных систем; владеть: технологиями взаимодействия блоков, составляющих структуру микропроцессора, и взаимодействия модулей микропроцессорной системы.

### *Микропроцессор как элемент цифрового вычислительного устройства*

В современных системах измерения, контроля и управления обработка информации преимущественно выполняется в цифровой форме. Встраиваемые в техническое оборудование специализированные ЦВУ могут быть построены на основе аппаратной логики реализации алгоритма, который жестко зафиксирован в схеме соединения вычислительных блоков. Другой подход заключается в выполнении требуемых операций обработки информации путем программного управления функционированием вычислительного устройства. Базовым элементом вычислительной системы с гибким программным управлением является процессор (processor), выполняющий обработку данных в соответствии с принятым алгоритмом.

Достижения в полупроводниковой технологии позволили разместить на ИМС с высоким уровнем интеграции совокупность устройств, составляющих центральный процессорный элемент (ЦПЭ), или Central Processor Unit (CPU). В результате был создан *микропроцессор* (МП), представляющий собой цифровое вычислительное устройство, осуществляющее процесс обработки числовых данных и программное управление этим процессом.

За не слишком большой срок существования микропроцессоров с момента выпуска корпорацией Intel первого из них в 1971 г.

отмечают несколько этапов их развития. Первое поколение микропроцессоров имело структуру, во многом повторяющую структуру процессоров: арифметическое логическое устройство с регистровой памятью и устройство управления, объединенные общей магистралью для передачи данных, команд и сигналов управления. Для создания микропроцессорной системы (микрокомпьютера), способной обрабатывать данные, приведенный состав дополняется памятью достаточного быстродействия и емкости, устройствами ввода-вывода и шинами (магистралями) для передачи данных и сигналов.

Создано и выпускается множество модификаций микропроцессоров, отличающихся совокупностью аппаратных средств и программного обеспечения. При рассмотрении общих принципов организации и работы микропроцессоров целесообразно не касаться особенностей конкретного изделия, а использовать гипотетический (иллюстративный) прибор, имеющий минимальный состав оборудования и набор команд. Базовая структура МП содержит операционный блок, включающий арифметико-логическое устройство (АЛУ) с набором регистров для временного хранения данных, команд и адресов, а также устройство управления и синхронизации (УУС) с генератором тактовых импульсов (ГТИ) и распределителем сигналов синхронизации (С) (рис. 16.1).

Простые арифметические действия над данными (сложение — ADD, вычитание — SUB) и вычисление логических функций двух

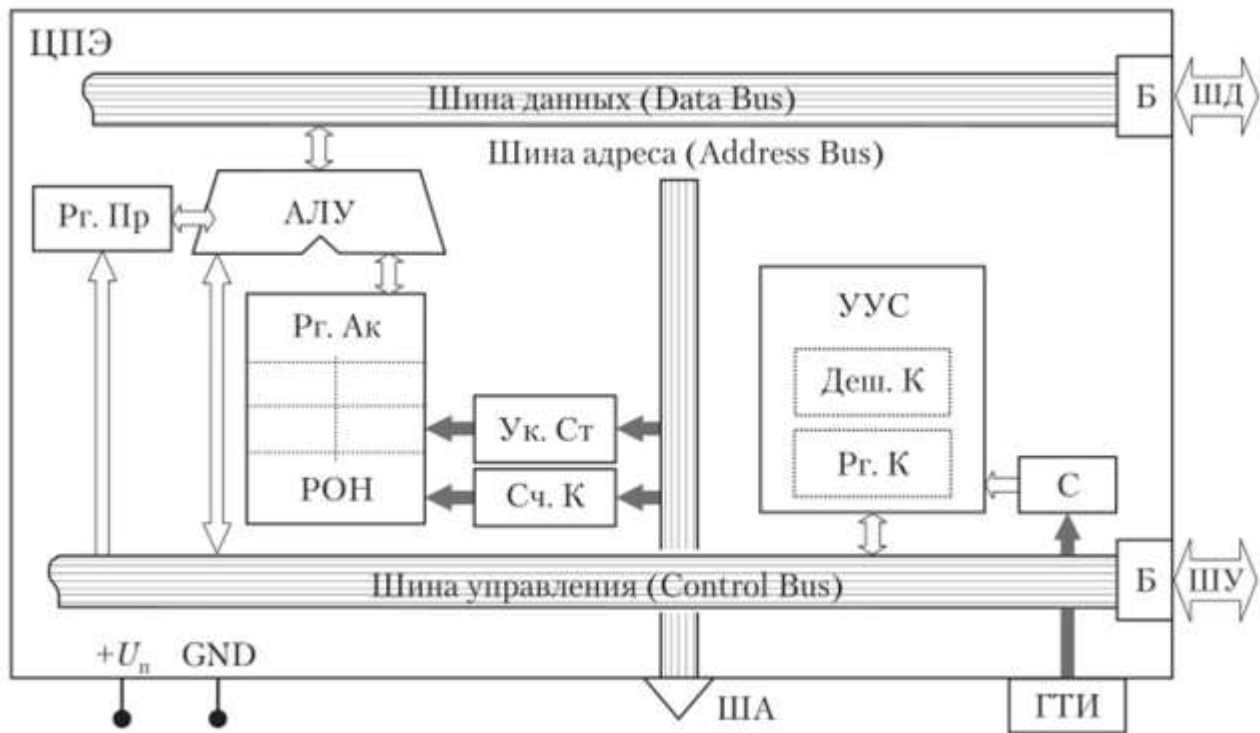


Рис. 16.1. Типовая структура микропроцессора

(расшифровку обозначений см. в тексте) переменных и некоторые другие действия (например, сдвиг — SHIFT, сравнение — COMP) производит непосредственно АЛУ. Сложные операции, такие как умножение, деление и вычисление функций, выполняются программным способом с использованием сверхоперативного регистрового ЗУ. В составе операционного блока имеется два типа регистров: общего назначения (РОН) и специализированные. Программно-доступные РОН служат для оперативного хранения обрабатываемых в АЛУ данных. Отдельно выделенный регистр — аккумулятор (Рг. Ак) — предназначен для непосредственного обмена данными с АЛУ при выполнении операций для хранения входных операндов и результатов.

К АЛУ подключен специальный регистр признаков (Рг. Пр), или *Flags*, фиксирующий особенности результата последней выполненной операции (положительный, отрицательный, нулевой, переполнение, перенос и т.д.). Полученные сведения используют для организации переходов по заданным признакам и условиям внутри программы. Специальные регистры операционного блока — счетчик команд (Сч. К) и указатель стека (Ук. Ст) — предназначены для обеспечения выполнения команд в заданной программой последовательности.

Выработку командных сигналов осуществляет блок УУС посредством помощью декодирования поступивших из внешних ЗУ команде помощью дешифратора (Деш. К). Команды временно помещают в регистр команд (Рг. К). Распределение команд и потоков данных во времени осуществляется под воздействием синхронизирующих сигналов.

Обмен данными между регистрами АЛУ и передачу управляющих сигналов осуществляют по быстродействующей внутренней магистрали, в которой выделяют шины данных (ШД) (Data Bus), адресов (ША) (Address Bus) и управления (ШУ) (Control Bus), которые подключены к соответствующим внешним шинам через буферные устройства (Б).

Структура современного высокопроизводительного микропроцессора гораздо сложнее рассмотренной и, как правило, строится с использованием «суперскалярной» архитектуры, которая содержит более одного вычислительного блока. Микропроцессорный чип включает высокопроизводительный блок вычислений с плавающей запятой, аппаратную поддержку многопроцессорного режима работы, сверхоперативные ЗУ (кэш-память), программируемые таймеры, устройства управления производительностью, средства обнаружения ошибок и функциональной избыточности, систему интеллектуального управления потреблением электроэнергии и другие устройства.

Микропроцессор по существу является программно-управляемой интегральной микросхемой, предназначенной для обработки цифровых данных. Организация управления выполнением функций

осуществляется с помощью последовательности команд (программы). Для эффективной работы микропроцессорной системы обработки данных МП следует дополнить запоминающими устройствами для хранения данных и команд, а также системой ввода-вывода информации.

Вычислительные мощности и производительность системы на базе МП во многом зависят от объема памяти, количества адресуемых устройств, подключаемых к внешним выводам МП, и скорости обмена данными между МП и внешними устройствами. На оба параметра влияют структура и свойства МП, а также организация внешнего интерфейса.

Ограниченность линий внешнего интерфейса МП оказывает влияние на параметры микропроцессорных систем. Например, при необходимости передачи 16-разрядного слова по 8-разрядной шине данных требуется организовать два цикла, что приводит к аппаратным затратам (наличие мультиплексора и устройства управления им) и снижению производительности (увеличение времени передачи). В процессе совершенствования микропроцессорной техники создавались новые типы корпусов. Так, вместо корпуса DIP (Dual Inline Package) с двухрядным расположением выводов по сторонам стали применять корпуса PGA (Pin Grid Array) с матричным размещением выводов по площади.

Микропроцессор представляет собой вычислительное устройство, реализованное в виде микросхемы, что нашло отражение в его характеристиках и системе параметров. Большое число паспортных параметров, характеризующих структуру микропроцессора, конструктивное исполнение и основные свойства, делят на группы. Как вычислительную систему МП характеризует группа параметров, описывающая:

- архитектуру, принципы адресации, число и вид команд;
- способ управления;
- наличие и вид программного обеспечения;
- емкость адресуемой памяти, тип адресации устройств;
- разрядность, т.е. длину обрабатываемого информационного слова;
- тип и число шин;
- быстродействие, характеризуемое временем выполнения простых команд (набора типовых команд, микрокоманд) или тактовой частотой;
- тип и размер корпуса, число и назначение выводов.

Микропроцессор как ИМС характеризует группа параметров, описывающая степень интеграции, технологию изготовления, единичные и нулевые уровни напряжений и токов, нагрузочную способность, среднее быстродействие. Используется также группа эксплуатационных параметров, характеризующих условия эксплуатации (интервал рабочих температур, вибраций, влажности, значения питающих напряжений и мощностей и целый ряд других параметров).

Полная техническая документация содержит также схемы различных систем, использующих МП, состав команд, временные диаграммы работы.

### **Тема: Установки общепромышленных предприятий**

К общепромышленным условно можно отнести насосные установки и установки сжатого воздуха (УСВ), так как в них нуждается любое предприятие.

Установки подобного рода обеспечивают жизнедеятельность рабочего персонала и технические процессы на производстве.

Кроме того, они имеют много общего в принципе действия, конструктивных решениях, характеристиках.

**Установки сжатого воздуха** по назначению, давлению на напоре и принципу действия УСВ классифицируются в соответствии с **табл. 2.1**.



Таблица 2.1

## Классификация установок сжатого воздуха

Назначение установки	Вентиляторы	Воздуходувки	Компрессоры		
Давление на напоре, Па	$(1...1,1) \cdot 10^5$	$(1,1...4,0) \cdot 10^5$	$(4...1000) \cdot 10^5$		
			$(4...6) \cdot 10^5$	$(6...15) \cdot 10^5$	$(15...1000) \cdot 10^5$
Принцип действия	Осевые	ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ	Турбинные	Ротационные	Поршневые

**Вентиляторы** предназначены для вентиляции производственных помещений, отсасывания газов, подачи воздуха или газа в камеры электропечей и т.п.

Из табл. 2.1 видно, что они имеют небольшой перепад давления (до  $10^4$  Па) между всосом и напором.

Выполняются осевыми или центробежными.

Представление о составе оборудования и движении воздуха дает рис. 2.1-1.

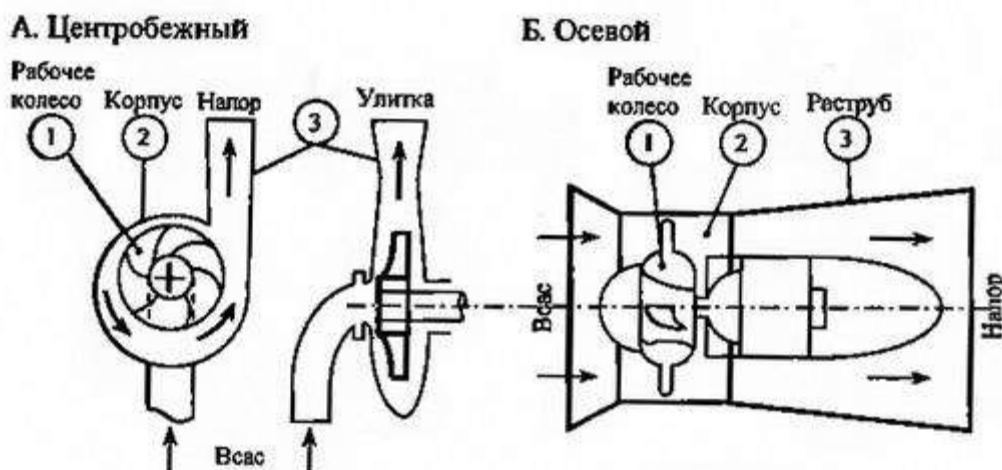


Рис. 2.1-1. Общий вид центробежного (А) и осевого (Б) вентиляторов

Центробежные и осевые вентиляторы отличаются конструкцией воздушной полости и расположением приводного электродвигателя. У центробежных воздушная полость выполнена в виде «улитки» при расположении электродвигателя ЭД вне этой полости, а у осевого — ЭД расположен внутри воздушной полости (раструба), что обеспечивает его охлаждение потоком воздуха.

Рабочее колесо (1) центробежного вентилятора расположено в корпусе эксцентрично, что позволяет повысить давление на напоре.

Рабочее колесо (1) осевого вентилятора по форме сходно с воздушным или гребным винтом, которые создают тягу (поток) воздуха через раструб.

На предприятиях наибольшее распространение получили центробежные вентиляторы, для которых характерны следующие зависимости:

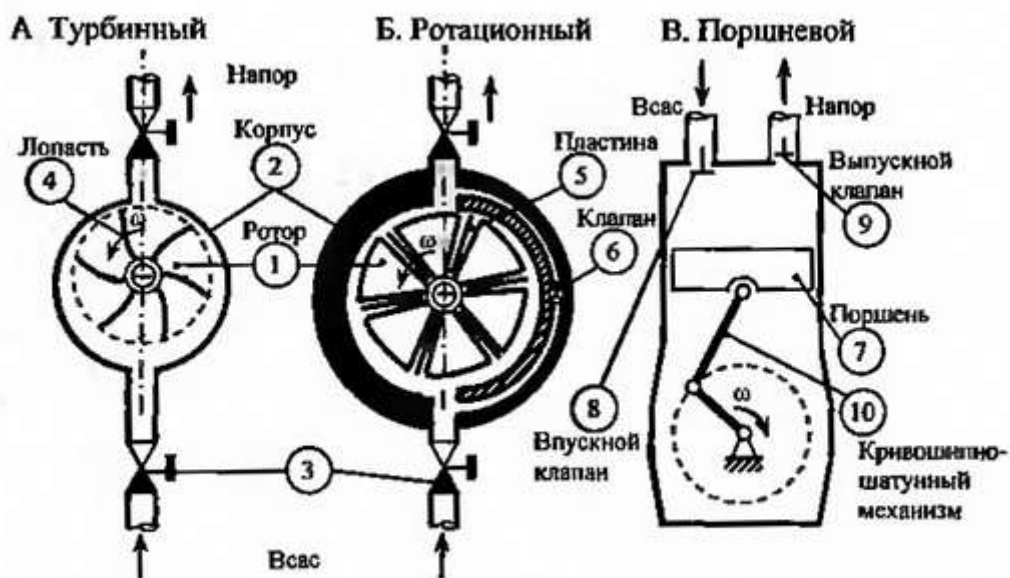
$$Q = C_1 \omega, \quad M = C_2 \omega^2, \quad P = C_3 \omega^3,$$

где  $Q$  — производительность вентилятора,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $M$  — момент на валу вентилятора,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ ;  $P$  — статическая мощность на валу вентилятора,  $\text{кВт}$ ;  $C_1, C_2, C_3$  — постоянные коэффициенты;  $\omega$  — угловая скорость вентилятора (двигателя),  $\text{рад}/\text{с}$ .

Зависимость  $P = F(\omega^3)$  представляет собой кубическую параболу и называется «вентиляторной характеристикой».

**Компрессоры** предназначены для получения сжатого воздуха или газа с повышенным давлением с целью его использования в пневматических устройствах (пневмоустановки, пневмоинструмент, пневмоавтоматика и т.п.).

Из табл. 2.1 видно, что компрессоры работают при большом перепаде давления между всосом и напором и выполняются поршневыми и центробежными (турбинные и ротационные). Представление о составе оборудования и движении воздуха дает **рис. 2.1-2**.



**Рис. 2.1-2.** Схемы компрессоров: турбинного (А), ротационного (Б) и поршневого (В)

**Центробежные** компрессоры создают давление воздуха на напоре до  $15 \cdot 10^5$  Па при высокой производительности и не требуют дополнительных систем для обеспечения нормальной работы. Они просты по устройству и надежны в эксплуатации.

Турбинные и ротационные центробежные компрессоры отличаются конструкцией роторов (1) и корпусов (2).

В турбинном компрессоре на роторе, расположенном в корпусе эксцентрично, установлены лопасти (4).

Увеличение давления при вращении создается за счет сжатия воздуха между корпусом и лопастями.

**В ротационном** компрессоре эксцентрично расположенный ротор имеет пластины (5), которые перемещаются в направляющих ротора под действием центробежных сил при его вращении. Увеличение давления создается путем сжатия воздуха в камерах, образуемых пластинами и корпусом, к которому они плотно прилегают при вращении. Для работы компрессора без потребления воздуха (газа) предусмотрен обходной трубопровод с клапаном (6).

На всасывающих и напорных трубопроводах, обычно, устанавливаются невозвратные вентили (3), которые исключают обратный ход воздуха при остановке компрессоров.

Особенностью центробежных компрессоров является равномерное истечение воздуха повышенного давления, что не требует установки дополнительных приспособлений для выравнивания

неравномерности нагрузки на ЭП. При отсутствии противодействия справедливы соотношения, приведенные для вентиляторов.

**Поршневые** компрессоры создают давление воздуха на напоре до  $10^8$  Па при сравнительно малой производительности.

Рабочим органом является поршень (7), возвратно-поступательное движение которого обеспечивается ЭД через кривошипно-шатунный механизм (10). При движении поршня вниз воздух поступает через впускной клапан (8), а вверх — выталкивается через выпускной клапан (9). Особенностью поршневых компрессоров является неравномерность выхода воздуха на напоре, что требует дополнительных устройств, выравнивающих неравномерность. Сглаживание пульсаций возможно установкой маховика на валу приводного ЭД.

Для уменьшения колебаний давления воздуха у потребителя после компрессора устанавливают ресивер (промежуточный воздухоотборник), который представляет собой герметичный резервуар. Наличие трущихся частей, а следовательно, и повышенного нагрева требует вспомогательных обслуживающих систем:

- системы охлаждения (СВО — система водяного охлаждения),
- системы смазки (масляная система).

Наибольшая неравномерность получается у компрессоров одинарного действия (подача воздуха только при движении поршня вверх, как показано на **рис. 2.1-2**).

Для уменьшения неравномерности применяются компрессоры двойного действия (подача воздуха производится при движении поршня в обе стороны).

Высокие давления воздуха (газа) получают в многоступенчатых компрессорах, в которых сжатие происходит последовательно в нескольких цилиндрах или камерах.

Таким образом, очевидно, что поршневые компрессорные установки являются более сложными конструкциями по сравнению с центробежными.

**Насосные установки** применяются на производстве для обеспечения технологического процесса предприятия и жизнедеятельности работающего коллектива.

Насосы работают в системе водоснабжения и канализации, перекачивают агрессивные и технологические жидкости и т.п.

По принципу действия насосные установки можно разделить на три группы: поршневые, центробежные и оседагональные.

**Поршневые (ПН)** предназначены для перекачивания жидкости при больших высотах всасывания (до 6 м) с небольшой производительностью. Как и для всех поршневых систем, характерны неравномерность хода и пульсация нагрузки (при всасывании жидкости — холостой ход, а при сжатии — рабочий), поэтому жидкость в напорном трубопроводе течет неравномерно. Для сглаживания пульсаций нагрузки и повышения равномерности хода в одном насосе применяют несколько рабочих цилиндров, а на валу устанавливают маховик.

Поршневые насосы во избежание гидроудара и поломки пускаются только при открытых задвижках на напоре.

При работе насоса на магистраль, где поддерживается постоянный напор ( $H$ ), поршню при каждом ходе приходится преодолевать постоянное среднее усилие независимо от скорости перемещения.

$$P_{cp} = CHQ; \quad M_{cp} = P_{cp}/\omega; \quad P_{cp} = C_1Q = C_2\omega,$$

где  $P_{cp}$  — средняя мощность на валу, кВт;  $H$  — напор, м.ст.ж;  $Q$  — производительность, м<sup>3</sup>/с;  $M_{cp}$  — среднее значение момента на валу, Н · м.

Из соотношений следует, что  $M_{cp} = \text{const}$ .

Таким образом, поршневой насос пускается в ход под нагрузкой, что требует ЭП с повышенным пусковым моментом.

Для нормальной эксплуатации поршневых насосных установок необходимы вспомогательные системы (водяного охлаждения и смазки).

**Центробежные (ЦН)** предназначены для перекачивания жидкости при малых высотах всасывания с большой производительностью.

В отличие от поршневых насосов, ход равномерный, а истечение жидкости без пульсаций. Особенностью насосов является необходимость заполнения полости жидкостью перед пуском, в противном случае, насос не будет перекачивать жидкость из-за «разрыва струи». Если насос находится ниже уровня перекачиваемой жидкости, то для его запуска достаточно открыть вентиль (задвижку) на напоре, и заполнение произойдет самотеком. Если насос находится выше уровня жидкости, то для его заполнения необходимы дополнительные устройства

Для этой цели применяют:

- вакуум-насосы, создающие разрежение в полости насоса, что обеспечивает заливку;
- аккумуляторные баки, заполненные жидкостью и установленные выше уровня жидкости; так как бак соединен с всасывающим трубопроводом, то после остановки полость насоса всегда будет заполнена.

Пуск насоса возможен в трех вариантах:

- при закрытой напорной задвижке; в этом случае давление в напорном трубопроводе повышается плавно и гидравлический удар исключен; пуск, практически, вхолостую;
- при открытой напорной задвижке; целесообразно применять, если насос расположен ниже уровня жидкости и есть обратный клапан; время пуска меньше, чем при закрытой задвижке, так как не требуется тратить время на открытие задвижки, при одновременном открытии напорной задвижки и пуске ЭД — это частный случай первых двух вариантов.

При остановке необходимо сначала медленно закрыть задвижку на напоре, а затем остановить ЭД насоса.

Примечание— Предварительное закрытие задвижки на напоре (перед остановкой) необходимо во избежание возможного гидроудара (при отсутствии обратного клапана) и гидротурбинного режима насоса под напором жидкости в системе. Оседиагональные (ОДН) предназначены для транспортировки неоднородных по плотности и вязкости жидкостей.

Например, откачка разлитой нефти, удаление нефтеостатков из емкостей, перекачка грунтовых и глинистых растворов.

Насосы семейства ОДН более мощны, долговечны и виброустойчивы, чем все известные. При малом весе (например, 35 кг) они имеют производительность до 150 м<sup>3</sup>/час. Это новейшая выпускаемая серия работает в нефтеперегонной промышленности, в нефтяных терминалах морских и речных портов.

В настоящее время выпущены насосы производительностью до 1000 м<sup>3</sup>/час для выполнения уникальной операции, недоступной другим, - перекачки холодного мазута.

**Электропривод.** Режим работы — продолжительный, реверса не требуется.

- АД с короткозамкнутым ротором, мощностью до 100 кВт при напряжении 380 В, с прямым пуском от мощной сети или через автотрансформатор (реактор), ограничивающий пусковой ток.
- Синхронные двигатели (СД), мощностью более 100 кВт при напряжении 10 (6) кВ, с прямым пуском от мощной сети.

Наиболее применимы: серии 4А (основного исполнения), 4АР (с повышенным пусковым моментом), АИ (новая серия) на напряжение 380 В и СДН (насосы, вентиляторы, дымососы), СДК (компрессоры) на напряжение 10 (6) кВ.

Примечания:

1. АД с фазным ротором применяются, если необходимо регулирование скорости механизмов с вентиляторной нагрузкой на валу (например, вентиляторы и дымососы котельных).
2. Для компрессорных установок двигатели обычно тихоходные, а для насосных и вентиляторных — быстроходные.
3. Технически и экономически обоснованный нижний предел номинальных мощностей синхронных двигателей (СД) составляет от 500 до 600 кВт.

СД с частотой вращения до 1000 об/мин выпускаются с явнополюсными роторами с демпферной (пусковой) обмоткой, а с частотой вращения 1500 об/мин, как правило, мощностью свыше 12500 кВт с массивными полюсами без демпферной обмотки.

СД с частотой вращения до 3000 об/мин имеют неявно выраженные полюса. СД выпускаются на напряжение 6 и 10 кВ, а низковольтные (0,38 кВ) до 320 кВт заменяются на более экономичные АД.

В настоящее время для возбуждения СД применяют только полупроводниковые статические или бесщеточные системы возбуждения.

## **Тема: Электрооборудования грузовых и пассажирских лифтов**

Лифты являются стационарными механизмами, предназначенными для транспортировки с одного этажа здания на другой грузов и людей в кабинах, которые перемещаются в огражденной со всех сторон шахте. В настоящее время лифты выполняются с высокой степенью автоматизации операций по открыванию и закрыванию дверей, по передвижению и остановке кабины; они отличаются безусловной безопасностью, комфортабельностью и общедоступностью пользования.

По назначению лифты разделяют на пассажирские, грузовые с проводником и без проводника, грузопассажирские, специальные. По скорости движения кабины различают тихоходные (до 0,5 м/с), быстроходные (до 1,0 м/с), и скоростные (свыше 1,0 м/с) пассажирские лифты. Грузоподъемность пассажирских лифтов составляет от 250 до 1500 кг (т.е. от 3 до 21 пассажира).

При большом разнообразии вариантов конструкций пассажирских и грузовых лифтов основными узлами оборудования для них являются подъемная лебедка, канаты, противовес, двигатель, механический тормоз и аппаратура управления.

### **Техническое обоснование выбора электропривода**

Для привода лифта применяются двигатели с жесткими механическими характеристиками- трехфазные асинхронные и постоянного тока с независимым возбуждением, специально рассчитанные на повторно-кратковременный режим работы (серии АС, АСШ, МПЛ, а так же крановых серий), либо двигатели продолжительного режима работы (серий АО2, А4, П, 2П).

Для упрощения конструкции лифтовых установок и возможности эксплуатации их персоналом средней квалификации целесообразно применять наиболее простой электропривод с асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором. Однако такие двигатели могут быть использованы только в тихоходных пассажирских и грузовых лифтах.

Быстроходные лифты для повышения точности остановки оборудуются асинхронными двухскоростными двигателями, обеспечивающими пониженную скорость перед остановкой кабины. Асинхронные двигатели с фазным ротором устанавливаются в тихоходных и в редких случаях в быстроходных лифтах, обычно при ограниченной мощности сети, питающей подъемную установку.

Для скоростных лифтов самым распространенным типом электропривода является Г-Д, в котором для питания обмотки возбуждения генератора применяются магнитные, электромашинные и тиристорные усилители. Эта система дорога, сложна в наладке и эксплуатации, но позволяет получить близкий к оптимальному закон изменения скорости привода во время пуска и торможения, а так же обеспечивает точность установки кабины в пределах жестких технических требований.

В настоящее время находят все большее применение тиристорные преобразователи для питания якоря двигателя постоянного тока. Использование системы ТП-Д совместно с унифицированными блоками управления позволяет достаточно точно реализовать законы оптимального пуска, а торможения и так же точную остановку кабины скоростных лифтов.

Все электрооборудование лифтов выполняется в соответствии с «Правилами устройства и безопасной эксплуатации лифтов». Напряжение главных цепей в шахтах, кабинах и на этажных площадках должно быть не выше 380 В, осветительных цепей, а так же цепей управления и сигнализации- не выше 220 В, переносных ламп- не выше 36 В.

Корпуса электродвигателей, трансформаторов, электрических аппаратов, светильников, каркасы станций управления и другие металлические конструкции, связанные с установкой электрооборудования, при номинальных напряжениях выше 36 В переменного тока и 110 В постоянного тока заземляют для защиты обслуживающего персонала и пассажиров от поражения электрическим током. Подлежат заземлению также кабина, металлические направляющие кабины и противовеса и металлические конструкции ограждения шахты.

Электрооборудование лифта не должно допускать появления аварийных ситуаций, а тем более аварий или несчастных случаев с людьми. Требования безопасности направлены к тому, чтобы аварийные ситуации вообще не возникали, а если они появились, то не приводили к авариям установки и несчастным случаям.

Каждую дверь шахты и кабины снабжают электрическими (блокировочными) контактами, включенными в схему управления таким образом, чтобы пуск лифта был возможен только при закрытых дверях кабины и шахты и запертых дверях шахты. Если во время движения кабины отперта дверь шахты или открыта дверь кабины, то лифт должен остановиться. В пассажирских лифтах вызов пустой кабины на нужный этаж допускается с открытыми дверями кабины, а в малых грузовых лифтах, работающих без проводника, установка блокировочных контактов у дверей кабины не обязательна.

Лифты всех типов оборудуют электрическими контактами, отключающими привод лифта при срабатывании ловителей. Лифты, у которых ловители не связаны с подъемными канатами, дополнительно снабжают электрическими контактами, отключающими приводной электродвигатель при обрыве или ослаблении подъемных канатов. Кроме того, на лифтах всех типов устанавливают концевые выключатели, автоматически отключающие электродвигатель лифта при переходе кабиной крайних рабочих положений.

В приемке шахты, снабженной дверью, и в помещении верхних блоков устанавливают выключатели для отключения управления лифтом электропривод переменного тока лифта выполняют так, чтобы растормаживание лебедки было возможно только одновременно с включением электродвигателя или после его включения. Это приводит к тому, что при отключении электродвигателей от сети автоматически происходит наложение механического тормоза (затормаживание).

Малозумность работы электрооборудования лифта создают установкой лифтовой лебедки на амортизаторах, а также тщательным монтажом электроаппаратуры. При проектировании лифтов выбирают электрооборудование такого типа, которое издает наименьший шум.

Помехи радиоприему и телевидению возникают при неправильном монтаже лифтов. Источниками помех радиоприему являются искрящие элементы электрооборудования, главным образом электрические контакты и щетки. Проскакивающие между электрическими контактами искры служат причиной возникновения электромагнитных волн, которые, попадая в питающую сеть по проводам или через эфир, принимаются радиоприемниками в виде щелчков и треска. Борьба с помехами радиоприему ведется шунтированием искрящих контактов заземленными конденсаторами, экранированием этих контактов металлическими оболочками, применением кабелей с внешней металлической экранирующей оболочкой, прокладкой проводов в металлических рукавах или трубах.

На рис. 6.1 приведена схема кнопочного управления лифтом. Привод осуществляется от асинхронного двигателя с фазным ротором. Пуск двигателя производится в три ступени. Параллельно обмотке статора двигателя включен электромагнитный тормоз, колодки которого поднимаются, как только на статор подается питание. Контактные ускорения включаются по принципу независимой выдержки времени контактами реле времени.

Пуск двигателя производится пассажиром, из кабины кнопками приказа  $KП$  либо пассажирами, находящимися на любом из этажей, вызывными кнопками  $KB$ . Характерными для лифта аппаратами управления являются этажные реле  $ЭР$ , установленные на общей панели управления, и этажные переключатели  $ЭП$ , которые устанавливаются на каждом

этаже. Количество этажных реле и этажных переключателей соответствует числу этажей, обслуживаемых лифтом.

Электрическое оборудование, находящееся в кабине, связано с панелями управления гибким кабелем. В статорную цепь двигателя включены контакты конечных выключателей  $KВ$ , ограничивающих ход кабины вверх и вниз в аварийных случаях. В цепи управления предусмотрен ряд блокировок, предназначенных для повышения безопасности обслуживания пассажиров. Например, движение кабины недопустимо при открытых дверях шахты и кабины, что обеспечивается конечными выключателями  $D_1 - D_n$  и конечным выключателем  $ДК$ , находящимся в цепи управления.

В цепи управления двигателем предусмотрены блокировки, обеспечивающие безопасную работу лифта. К ним относятся контакты конечного выключателя  $KL$ , открывающиеся при срабатывании ловителя, и контакты конечного выключателя  $KK$ , контролирующего натяжение канатов. Контакты  $KL$  и  $KK$  воздействуют на аппараты управления таким образом, что двигатель отключается от сети при работе ловителей и обрыве канатов.

В цепи управления имеются конечные выключатели пола  $ПК_1$  и  $ПК_2$ , которые находятся в открытом состоянии, когда кабина занята пассажирами, и закрываются после того, как кабина освобождается. Контакты  $ПК_1$  дают возможность вызывать кабину с этажных площадок только в том случае, когда в ней нет пассажиров. Контакты  $ПК_2$  шунтируют контакты выключателя  $ДК$  и создают обходную цепь тока в том случае, когда пассажир вышел из кабины, а дверь

Работа аппаратов управления пассажирским подъемником может быть проиллюстрирована примером, когда пассажир, находясь в кабине, со второго этажа хочет поехать на  $(n-1)$  этаж. В этом случае он нажимает кнопку приказа  $KП_{n-1}$ . Через контакты дверей шахты, контакты конечных выключателей  $KL$ ,  $KK$  и  $ДК$ , кнопки  $C_{топ}$ , а также контакты  $ЗУ$  на катушку этажного реле  $ЭР_{n-1}$  будет подано напряжение от сети переменного тока. Другой конец катушки реле  $ЭР_{n-1}$  подсоединен к сети. Этажное реле  $ЭР_{n-1}$  срабатывает, замыкает свои контакты и через этажный переключатель  $ЭП_{n-1}$  подает питание на катушку контактора  $B$ .

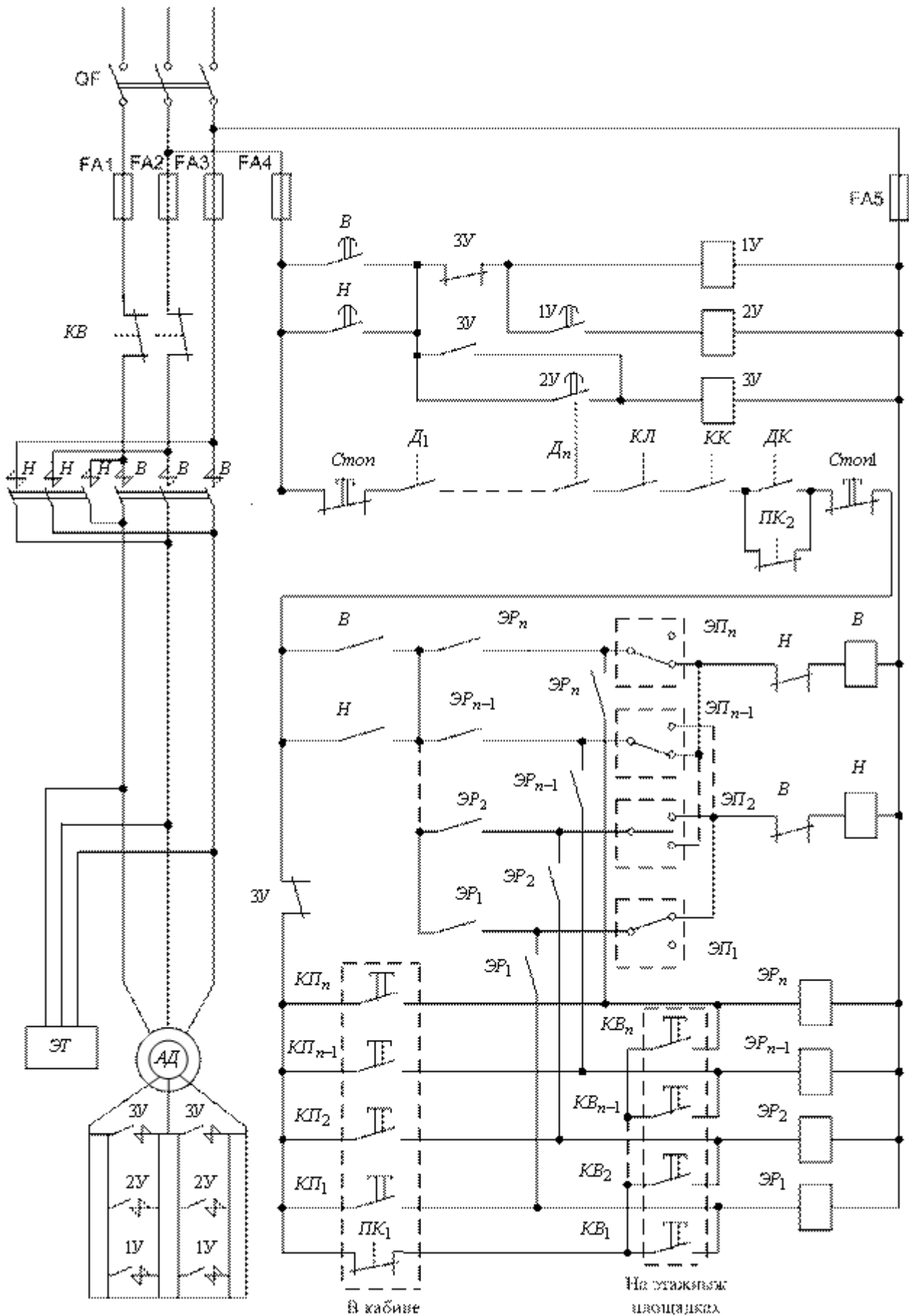


Рис. 6.1. Схема кнопочного управления электроприводом тихоходного лифта

При включении контактора  $B$  на статор двигателя подается напряжение. Одновременно оно подается и на катушку электромагнитного тормоза  $\mathcal{E}T$ , который освобождает тормозной



шквив. После того, как кнопка  $KП_{n-1}$  будет отпущена, катушки реле  $ЭР_{n-1}$  и контактора  $B$  будут подключены к сети через контакты этажного реле и контакт  $B$ .

К реверсирующим контакторам  $B$  и  $H$ , а также к контакторам ускорения  $1У$  и  $2У$  пристроены маятниковые реле времени, позволяющие управлять пуском двигателя по принципу времени. Поэтому вслед за контактором  $B$  с некоторой выдержкой времени последовательно срабатывают контакторы ускорения  $1У$ ,  $2У$  и  $3У$ , после чего двигатель будет работать на естественной характеристике. Блокировочные размыкающие контакты  $3У$  предотвращают операции пусковыми кнопками во время движения лифта и отключают катушки контакторов  $1У$ ,  $2У$  от сети. Движение кабины прекратится тогда, когда она дойдет до заданного  $(n-1)$ -го этажа. При этом установленная на кабине фасонная отводка переставит рычаг этажного переключателя  $ЭП_{n-1}$  в нейтральное положение, в связи с чем отключатся от сети катушки контактора  $B$  и этажного реле  $ЭР_{n-1}$ .

Вызов кабины на любой этаж возможен в том случае, когда в кабине нет пассажиров. Если, например, нажать кнопку вызова  $KB_1$ , подается напряжение на катушку  $ЭР_1$ . При этом включается контактор  $H$ , который остается включенным и при отпущенной кнопке, так как его катушка получает питание через контакты реле  $ЭР_1$ . Вслед за контактором  $H$  срабатывает электромагнитный тормоз и контакторы ускорения. Кабина начнет движение вниз, которое прекратится при повороте  $ЭП_1$  в нейтральное положение.

Рассмотренная схема проста и надежна в эксплуатации, но имеет значительное количество этажных реле и переключателей, равное числу этажей. Этажные переключатели довольно громоздки и нуждаются в сравнительно частых осмотрах и подрегулировках. В схеме не показаны цепи сигнализации, которая применяется на подъемниках, сигнализирует о том, что кабина занята или свободна (аварийная сигнализация).

## **Тема: Компрессоры. Насосы. Классификация. Применение.**

### **Принцип**

Принцип гениально прост: вращающаяся лопасть запечатывает носитель информации на стороне всасывания в камере между корпусом и лопастью. Он впитывает его в верхней и нижней части насосной камеры через насос на стороне нагнетания. Это позволяет особенно компактный тип конструкции с мягким накачке, хорошей затравки и сухого хода характеристик, а также легкий доступ к элементам накачки.

Компактные и экономичные кулачковые насосы могут быть интегрированы в любую систему. Универсальный дизайн обеспечивает разнообразные возможности применения и позволяет устанавливать в узких местах.

Параметры подключения для всех насосов серии IQ, например, позволяют адаптировать их к широкому спектру монтажных ситуаций в несколько простых шагов без специальных разъемов.

### **Обслуживание**

Быстрая и недорогая конструкция QuickService из Фогельзанга насосов позволяет быстро и низкой стоимости технического обслуживания, которые могут быть выполнены на месте без демонтажа насоса.

### **Картриджные уплотнения**

Полная, предварительно смонтированный прибор содержит все компоненты. Особые варианты для химической промышленности, также доступны. Например, двойное механическое уплотнение, совместимые с TA-Luft, эффективно борется с загрязнением воздуха.

### **Специально для ваших потребностей**

Техническая группа Vogelsang разрабатывает каждый насос, чтобы удовлетворить потребности каждого приложения. Каждый насос поставляется является лучшим решением для конкретного

применения, прекрасно сочетая все различные возможности и варианты в отношении мокрой и мочки материалов. Vogelsang поворотные поршневые насосы могут также обрабатывать заявки в потенциально взрывоопасной среде (ATEX).

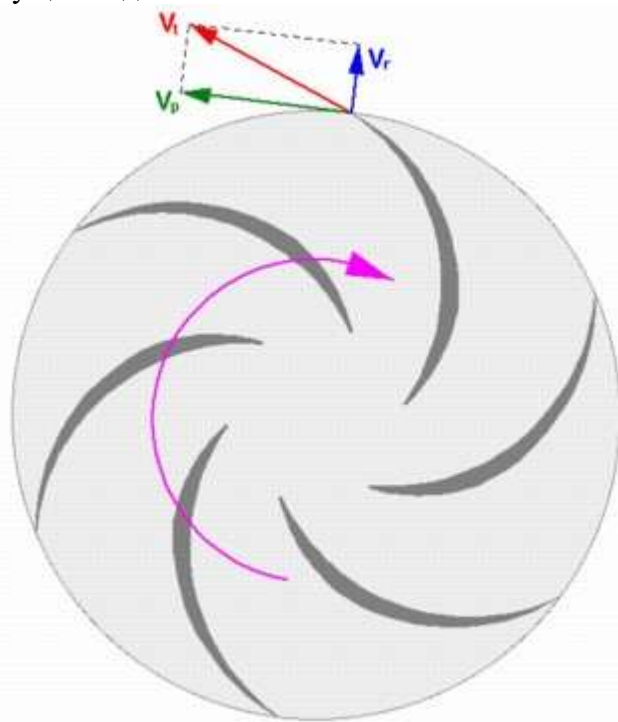
Vogelsang насосы могут быть также сертифицированы Physikalisch-Technische Bundes-Anstalt (Немецкий национальный метрологический институт). Благодаря своей уникальной конструкции, насосы предотвращают распространение дефлаграций и взрывами на заводе, тем самым устраняется необходимость в дополнительных пламегасителях наполнения и водосточных труб.

### Гидравлические насосы барана

Гидравлический таран водяной насос питается от гидроэнергии. Он функционирует как гидравлический трансформатор, который принимает в воде при одном "гидравлического напора" (давление) и скорости потока, и выводит воду при более высокой гидравлической головки и нижней скорости потока. Устройство использует эффект гидравлического удара развить давление, которое позволяет часть входной воды, который питает насос, чтобы быть поднятым в точке, расположенной выше, где вода изначально. Гидроцилиндр иногда используется в отдаленных районах, где есть как источник низконапорного гидроэнергетики, а также необходимость для перекачивания воды к месту назначения выше, чем высота источника. В этой ситуации, баран часто полезно, так как оно не требует внешнего источника энергии, кроме кинетической энергии текущей воды.

### Центробежные насосы

Центробежные насосы (или динамические насосы) представляют собой тип скорости насоса, в котором кинетическая энергия добавляется к жидкости за счет увеличения скорости потока. Такое увеличение энергии преобразуется к выигрышу в потенциальной энергии (давление), когда скорость уменьшается до или как поток выходит из насоса в выпускную трубу. Это преобразование кинетической энергии давления можно объяснить первым законом термодинамики или более конкретно по принципу Бернулли. Динамические насосы могут быть разделены в соответствии со средствами, в которых достигается усиление скорости. [1]



Эти типы насосов имеют ряд характеристик:

1. Непрерывная энергия
  2. Преобразование добавленной энергии к увеличению кинетической энергии (увеличение скорости)
  3. Превращение повышенной скорости (кинетической энергии) к увеличению напора
- Одним из практических различия между насосами динамического и положительным смещением является их способность работать при закрытых условиях клапанов. Объемный насосы физически вытесняет жидкость; следовательно, закрывая клапан на выходе из нагнетательного насоса приведет к постоянному накоплению давления, что приводит к механическому повреждению либо трубопровода или насоса. Динамические насосы отличаются тем, что они могут безопасно работать при закрытых условиях клапанов (в течение коротких периодов времени).

### Центробежный насос

Центробежный насос представляет собой центробежный насос, который использует вращающуюся крыльчатку для увеличения давления и скорости потока жидкости. Центробежные насосы являются наиболее распространенным типом насоса используется для перемещения жидкости через систему трубопроводов. Жидкость поступает в рабочее колесо насоса вдоль или вблизи к оси вращения и ускоряется крыльчаткой, протекающий в радиальном направлении наружу или в осевом направлении в диффузор или спиральным камеру, откуда он выходит в нижний бьеф системы

трубопроводов. Центробежные насосы обычно используются для больших разряда через меньшие головки.

Центробежные насосы наиболее часто связаны с типом с радиальным потоком. Тем не менее, термин "центробежный насос" может быть использован для описания всех центробежных насосов типа крыльчатки [2], включая радиальные, осевые и диагональные вариации потока.

### **Насосы с радиальным потоком**

Часто называют просто центробежными насосами. Жидкость поступает вдоль осевой плоскости, ускоряется крыльчаткой и выходит под прямым углом по отношению к валу (в радиальном направлении). Насосы с радиальным потоком работают при более высоких давлениях и низких скоростях потока, чем осевые и диагональные насосы потока.

### **Насосы осевые**

Насосы осевые потоки отличаются от радиального потока в том, что жидкость входит и выходит в том же направлении, параллельном вращающемуся валу. Жидкость не ускоряется, но вместо того, чтобы «поднять» под действием рабочего колеса. Их можно сравнить с пропеллером спиннинг на длине трубки. насосы с осевым потоком работают при значительно более низких давлениях и более высокие скорости потока, чем насосы с радиальным потоком.

### **Насосы смешанного потока**

Насосы смешанного потока, как следует из названия, функция как компромисс между радиальной и насосов осевых, опыт жидкости как радиального ускорения и подъема и выходит из рабочего колеса где-то между 0-90 градусов от осевого направления. Как следствие этого смешанного потока насосы работают при более высоких давлениях, чем насосы осевых обеспечивая при этом более высокие разряды, чем насосы с радиальным потоком. Угол выхода потока диктует голова разряда характеристику давления по отношению к радиальной и смешанного потока.

### **Эжектор-струйный насос**

Это использует струю, часто пара, чтобы создать пониженное давление. Такое низкое давление засасывает жидкость и толкает его в более высокую область давления.

### **Гравитационные насосы**

Гравитационные насосы включают сифон и фонтан Герона - а также имеет важное значение подземных водоводов или системы foggara, которые просто используют горные потоки, чтобы брать воду из дальнего подземных водоносных горизонтов в районах с высокой для потребителей на более низких высотах. Гидравлический таран также иногда называют гравитационным насосом.

### **Паровые насосы**

Паровые насосы в настоящее время в основном исторический интерес. Они включают в себя любой тип насоса с питанием от парового двигателя, а также pistonless насосы, такие как насос Томаса Savery и паровой насос пульсометр.

### **Бесклапанный насосы**

Бесклапанный насосное помогает в транспортировке жидкости в различных биомедицинских и инженерных систем. В системе бесклапанная откачки, клапаны не присутствуют, чтобы регулировать направление потока. Fluid эффективность откачки системы бесклапанного, тем не менее, не обязательно ниже, чем имеющие клапаны. На самом деле, многие жидкости динамические системы в природе и технике, более или менее полагаться на Бесклапанный накачке в нем транспортировки рабочих жидкостей. Например, циркуляция крови в сердечно-сосудистой системы сохраняется в некоторой степени даже тогда, когда клапаны сердца выйти из строя. В то же время, эмбриональная позвоночное сердце начинает перекачивать кровь задолго до развития различных камер и клапанов.

## **Тема: Вентиляторы применение и его назначение**

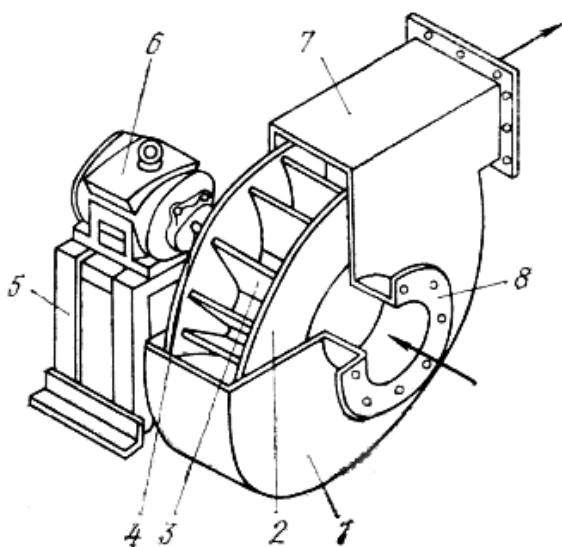
Для обеспечения надлежащих условий работы промышленных предприятий, в производственных зданиях и помещениях используют **системы общеобменной вентиляции**, которые подразделяются на два основных типа.

**Приточная вентиляция** обеспечивает доступ свежего воздуха в помещение, который дополнительно подвергается фильтрации, охлаждению или увлажнению в зависимости от используемых приточных вентиляторов.

**Вытяжная вентиляция** отвечает за удаление загрязнённого воздуха, играя роль промышленной вытяжки. Вытяжные промышленные вентиляторы используются в совокупности с приточными, а их производительность рассчитывается таким образом, чтобы сбалансировать давление во внутреннем пространстве.

Радиальные вентиляторы для приточно-вытяжной вентиляции

Радиальный вентилятор применяется для организации приточно-вытяжной вентиляции или для дымоудаления, в качестве составляющего элемента системы пожарной безопасности. Устройства такого типа также называют центробежными вентиляторами. Основное назначение — перемещение и циркуляция газовой смеси без примеси твёрдых частиц.



#### Конструкция радиального (центробежного) вентилятора:

- 1 — кожух;
- 2 — рабочее колесо;
- 3 — лопатки рабочего колеса;
- 4 — ось вентилятора;
- 5 — станина;
- 6 — электродвигатель;
- 7 — выхлопной патрубок;
- 8 — фланец всасывающего патрубка

Отличительная особенность конструкции вентиляторов ВР — радиальное расположение лопастей, которое и дало название категории. Форма лопаток, концы которых загнуты вперёд или назад в зависимости от направления перемещения потока, а также спиралевидный корпус обеспечивает завихрение воздуха на входе или выходе из помещения. За счёт этого достигается максимально эффективная циркуляция, в результате которой воздух перемешивается и распространяется по всему объёму внутреннего пространства.

Причудливая форма корпуса, внутри которого установлено рабочее колесо, оснащённое спиральными лопастями, послужило основанием для народного названия устройства — вентилятор «Улитка». Вращение колеса провоцирует создание центробежной силы, за счёт которой происходит всасывание и выброс воздушного потока в определённом направлении. С этим свойством связано альтернативное наименование категории оборудования — вентиляторы ВЦ, то есть центробежные.

В зависимости от создаваемого давления, **вентиляторы ВР** разделяются на:

- Вентиляторы радиальные низкого давления (до 1000Па)
- Вентиляторы радиальные среднего давления (от 1000 до 3000Па)
- Вентиляторы радиальные высокого давления (от 3000 до 12000Па)

**Вентиляторы центробежные низкого давления** – агрегаты, предназначенные для перемещения воздуха при давлении до 1000 Па. Они широко используются в системах вентиляции и кондиционирования воздуха в промышленных, жилых и административных помещениях и зданиях. Пример ВР 80-75

**Вентиляторы центробежные среднего давления** применяются в системах отопления, кондиционирования и вентиляции помещений различного назначения. Данные агрегаты предназначены для перемещения газоздушных смесей при общем сопротивлении сети не более 3000 Па. Пример — ВР 280-46

**Вентиляторы центробежные высокого давления** – агрегаты, предназначенные для перемещения воздуха при давлении до 12000 Па. Мощный напор воздуха, создаваемый **промышленными центробежными вентиляторами высокого давления**, позволяет применять их в достаточно специфических условиях, например, там, где необходимо перемещать средние объемы воздуха при значительных сопротивлениях оборудования. Пример — ВР 132-30



**Радиальные центробежные вентиляторы:**

1. ВР 80-75 низкого давления 2. ВР 280-46 среднего давления 3. ВР 132-30 высокого давления

Все Вентиляторы ВЦ могут быть взрывозащищенными, коррозионностойкими или теплостойкими.

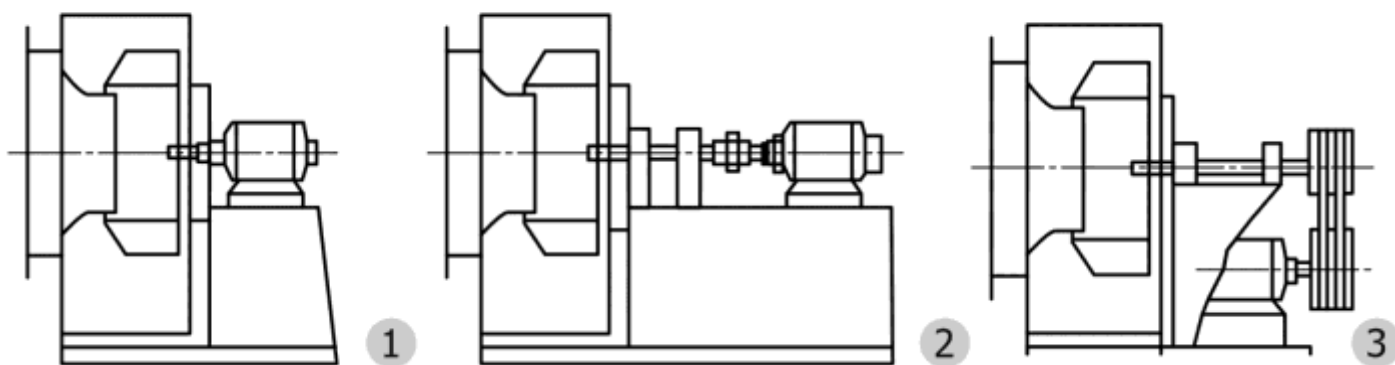
Варианты конструктивного исполнения радиального **вентилятора ВР:**

- **Исполнение 1** – Рабочее колесо смонтировано на валу приводного электродвигателя. Пример — ВР 80-75 №6.3 исп.1
- **Исполнение 3** – Рабочее колесо соединяется с электродвигателем через промежуточную подшипниковую опору.
- **Исполнение 5** – Рабочее колесо соединяется с электродвигателем через промежуточную подшипниковую опору и клиноременную передачу. Пример — ВР 80-75 №6.3 исп.5

*Исполнение 1*

*Исполнение 3*

*Исполнение 5*



**Варианты исполнения центробежного Вентилятора ВЦ:**

1. Исполнение №1 2. Исполнение №3 3. Исполнение №5

Осевые вентиляторы для приточно-вытяжной вентиляции

Осевой вентилятор представляет собой универсальную модель вентиляционного оборудования, состоящую из корпуса круглого сечения с расположенной по центру осью, на которой при помощи электропривода вращается рабочее колесо с воздухозаборными лопатками.

По принципу действия и назначению вентиляторы осевые промышленные подразделяются на три разновидности:

1. **Приточно-вытяжные вентиляторы** — надёжные и компактные устройства, которые применяются в комплексном устройстве вентиляционного оснащения здания.

2. **Приточные вентиляторы** — применяются для организации постоянного притока свежего воздуха в помещение

3. **Вентиляторы для вытяжки** — служат для очищения внутреннего пространства от продуктов горения. **Вентилятор осевой вытяжной** — наиболее популярная разновидность устройств, устанавливаемых для дымоудаления на случай возникновения пожароопасной ситуации.

Все осевые модели подразделяются на три группы в зависимости от нагнетаемого давления — высокого (более 3 кПа), среднего (от 1 до 3 кПа) и низкого (менее 1 кПа).

## **Практическая работа №14 «Расчет активных сопротивлений в цепи при пониженном напряжении»**

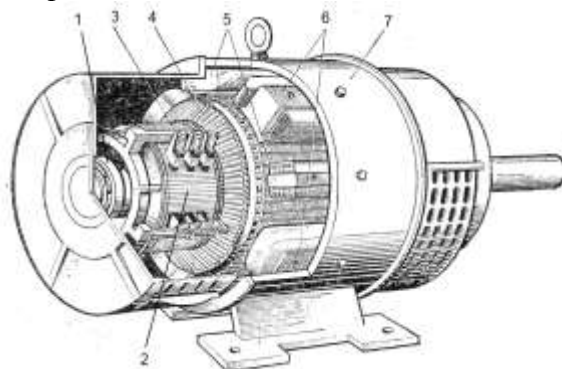
### **Тема: Двигатели постоянного тока**

**Двигатели постоянного тока** предназначены для превращения энергии постоянного тока в механическую работу.

Электродвигатели постоянного тока, намного меньше распространены, нежели двигатели переменного тока. Это связано в первую очередь со сравнительной дороговизной, более сложным устройством, сложностями в обеспечении питания. Но, несмотря на все эти недостатки, ДПТ имеют немало плюсов. Например, двигатели переменного тока, сложно регулировать, ДПТ же отлично регулируются массой способов. Кроме того ДПТ имеют более жесткие механические характеристики и позволяют обеспечить большой пусковой момент.

Электродвигатели постоянного тока применяются в качестве тяговых двигателей, в электротранспорте, в качестве различных исполнительных устройств.

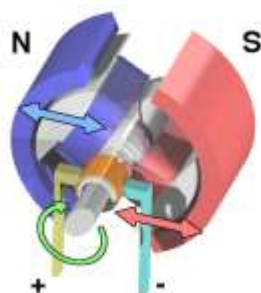
*Устройство двигателей постоянного тока*



Конструкция двигателя постоянного тока аналогична двигателю переменного тока, но все же имеются существенные различия. На станине 7, которая изготавливается из стали, установлена обмотка возбуждения в виде катушек 6. Между основными полюсами, могут устанавливаться дополнительные полюса 5, для улучшения свойств ДПТ. Внутри устанавливается якорь 4, который состоит из сердечника и коллектора 2, и устанавливается с помощью подшипников 1 в корпус двигателя. Коллектор является существенным отличием от двигателей переменного тока. Он соединяется с щетками 3, что позволяет подавать или в генераторах, наоборот снимать напряжение с якорной цепи.



### Принцип действия



Принцип действия ДПТ основан на взаимодействии магнитных полей обмотки возбуждения и якоря. Можно представить, что вместо якоря у нас рамка, через которую протекает ток, а вместо обмотки возбуждения постоянный магнит с полюсами N и S. При протекании постоянного тока через рамку, на нее начинает действовать магнитное поле постоянного магнита, то есть рамка начинает вращаться, причем, так как направление тока не меняется, то и направление вращения рамки остается прежним.

При подаче напряжения на зажимы двигателя начинает протекать ток в обмотке якоря, на него, как мы уже знаем, начинает действовать магнитное поле машины, при этом якорь начинает вращаться, а так как якорь вращается в магнитном поле, начинает образовываться ЭДС. Эта ЭДС направлена против тока, в связи с этим её называют противоЭДС. Её можно найти по формуле

$$E = C_e \Phi n$$

Где  $\Phi$  – магнитный поток возбуждения,  $n$  – частота вращения, а  $C_e$  это конструктивный момент машины, который остается для нее постоянным.

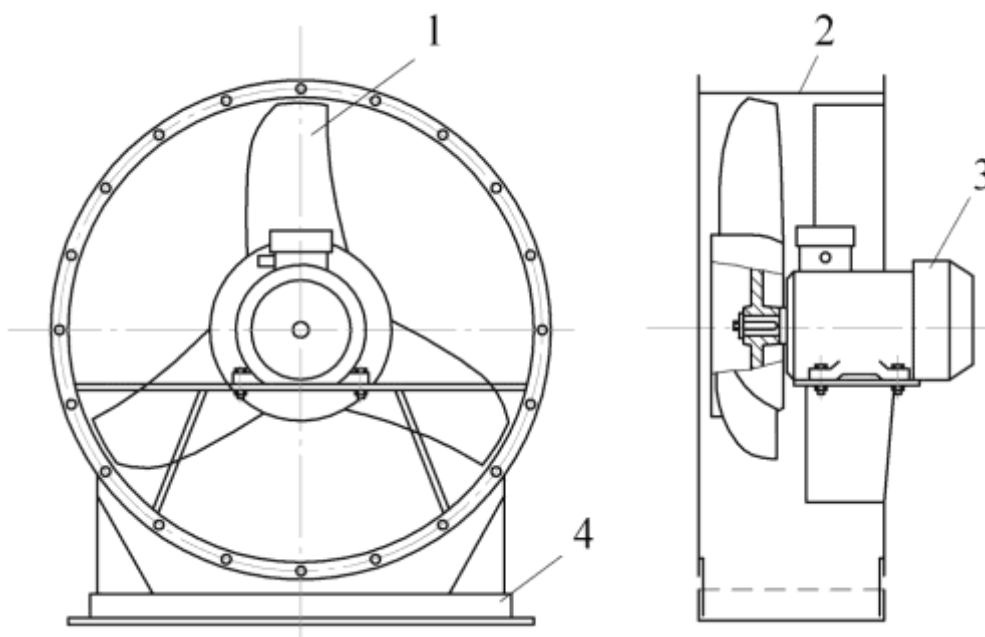
Напряжение на зажимах больше чем противоЭДС на величину падения напряжение в якорной цепи.

$$U = E + I_a R_a$$

А если домножить это выражение на ток, то получим уравнение баланса мощностей.

$$UI_a = EI_a + I_a^2 R_a$$

Левая часть уравнения  $UI_a$  представляет собой мощность подаваемая электродвигателю, в правой части первое слагаемое  $EI_a$  представляет собой электромагнитную мощность, а второе  $I_a R_a$  мощность потерь в цепи якоря.



### Конструкция (схема) осевого вентилятора:

1. Лопасть рабочего колеса
2. Корпус
3. Электродвигатель
4. Основание

## Тема: Двигатели переменного тока

Группа асинхронных машин включает электрические машины, принцип действия которых основан на **вращающемся магнитном поле** в зазоре между статором и ротором. Важнейшей и наиболее часто используемой рабочей машиной этой группы является асинхронный двигатель переменного тока с короткозамкнутым ротором. Он имеет следующие характерные особенности:

- простая и прочная конструкция;
- высокая эксплуатационная надежность;
- простота обслуживания;
- низкая цена.

В электрической приводной технике используют, как правило, следующие электродвигатели:

- асинхронные двигатели переменного тока (с короткозамкнутым ротором, с фазным ротором, моментные асинхронные двигатели);
- асинхронные однофазные двигатели переменного тока;
- асинхронные или синхронные серводвигатели;
- двигатели постоянного тока.

Частота вращения привода лучше, проще и экономичнее регулируется с помощью двигателей переменного тока с преобразователем частоты, поэтому двигатели постоянного тока и двигатели переменного тока с контактными кольцами постепенно отходят на второй план. Другие типы асинхронного двигателя переменного тока играют в приводной технике лишь незначительную роль. Поэтому более подробного описания здесь не приводится.

Если скомбинировать электродвигатель, например асинхронный, с редуктором, получается так называемый мотор-редуктор. Каким бы ни был электрический принцип действия двигателя, его механическая конструкция очень сильно зависит от способа монтажа на редуктор.

Устройство

### Ротор

В пазах пакета ротора находятся залитые под давлением или вставленные стержни обмотки (например, из алюминия и/или меди). С обоих концов они замкнуты накоротко кольцами из того же материала. Стержни с замыкающими кольцами напоминают клетку. Отсюда и второе общепринятое наименование этих двигателей: „асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа беличьей клетки“.

### Статор

Обмотка вложена в полужакрытые пазы стального шихтованного сердечника и залита синтетической смолой. Количество секций и шаг обмотки варьируются в зависимости от нужного числа полюсов (= скоростей вращения). Вместе с корпусом двигателя шихтованный сердечник образует так называемый статор.

### Подшипниковые щиты

Подшипниковые щиты из стали, чугуна или алюминиевого литья под давлением закрывают внутреннее пространство двигателя спереди и сзади. От конструктивного исполнения на стыке со статором зависит степень защиты двигателя.

### Вал ротора

Пакет пластин ротора насаживается на стальной вал. Оба конца вала проходят сквозь передний и задний подшипниковые щиты. Спереди это конец выходного вала (в случае мотор-редуктора в форме вала для шестерни); на задний конец устанавливаются крыльчатка для самоохлаждения и/или дополнительные системы, такие как механический тормоз, датчик и т. п.

### Корпус двигателя

Корпуса двигателей малой и средней мощности могут изготавливаться из алюминиевого литья под давлением. Но кроме того, для всех классов мощности корпуса изготавливаются также из чугуна. На корпус установлена клеммная коробка, в которой концы обмотки статора подсоединены к клеммной колодке для подключения кабеля питания. Охлаждающие ребра увеличивают поверхность корпуса и тем самым отдачу потерянного тепла окружающему пространству.

### Крыльчатка, кожух крыльчатки

Крыльчатка на заднем конце вала закрывается кожухом. Он направляет воздушный поток от вращающейся крыльчатки вдоль ребер корпуса независимо от направления вращения ротора. При



вертикальной монтажной позиции защитная крышка (опция) предотвращает падение мелких предметов сквозь решетку кожуха крыльчатки.

### **Подшипники**

Подшипники в переднем и заднем подшипниковых щитах механически соединяют вращающиеся детали с неподвижными. Чаще всего применяются радиальные шарикоподшипники, реже цилиндрические роликоподшипники. Типоразмер подшипника зависит от воспринимаемых им усилий и частоты вращения. Различные системы уплотнений обеспечивают стабильность смазочных свойств в подшипнике и не дают вытекать маслам и/или смазкам.

### **Принцип действия**

Симметричная трехфазная обмотка статора подключена к трехфазной сети переменного тока с соответствующими напряжением и частотой. В каждой из трех фаз обмотки протекают **синусоидальные токи одинаковой амплитуды**, которые смещены во времени друг относительно друга на  $120^\circ$ . За счет того, что полюса обмотки тоже смещены в пространстве на  $120^\circ$ , статор создает магнитное поле, которое вращается с частотой подаваемого напряжения.

Это вращающееся магнитное поле – или просто **вращающееся поле** – индуцирует в обмотке или в стержнях ротора электрическое напряжение. Поскольку обмотка замкнута кольцами, через нее текут **токи короткого замыкания**. Возникая вместе с вращающимся полем, эти силы создают на радиусе ротора вращающий момент, который разгоняет ротор в направлении вращающегося поля до частоты вращения. С увеличением скорости вращения ротора частота создаваемого напряжения в роторе снижается, так как разность между скоростями вращения поля и ротора сокращается.

В результате индуцированные напряжения снижаются и уменьшают токи в беличьей клетке, а значит, уменьшаются силы и вращающий момент. Если бы ротор достиг той же скорости, с которой вращается поле, они стали бы вращаться синхронно, и напряжение не индуцировалось бы – следовательно двигатель не смог бы развивать вращающий момент. Однако момент нагрузки и моменты трения в подшипниках обеспечивают **разность между скоростями вращения ротора и поля** и за счет этого результирующее равновесие между ускоряющим моментом и моментом нагрузки. **Двигатель работает асинхронно.**

В зависимости от нагрузки на двигатель эта разность больше или меньше, но никогда не равна нулю, поскольку даже при работе без нагрузки всегда есть трение. Если момент нагрузки больше создаваемого двигателем максимального ускоряющего момента, то двигатель „опрокидывается“ в недопустимый режим работы, который может привести к поломке из-за перегрева.

Это необходимое для работы **относительное движение между частотой вращения поля и механической частотой вращения** обозначается как скольжение  $s$  и указывается в процентах от частоты вращения поля. У двигателей малой мощности **скольжение** может составлять от 10 до 15 процентов, более мощные асинхронные двигатели имеют скольжение около 2–5 процентов.

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором потребляет электрическую мощность из электросети и преобразует ее в механическую мощность – то есть в частоту вращения и вращающий момент. Если бы двигатель работал без потерь, **отдаваемая механическая мощность  $P_{out}$**  была бы равна **потребляемой электрической мощности  $P_{in}$** .

Но как и при всяком преобразовании энергии, в асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором тоже неизбежно возникают потери: **потери в меди  $P_{Cu}$**  и **потери в стержнях  $P_Z$**  возникают из-за нагрева, которому подвергается любой проводник с током. **Потери в железе  $P_{Fe}$**  возникают из-за нагрева при перемагничивании пакета пластин с частотой электросети. **Потери на трение  $P_{Rb}$**  возникают из-за трения в подшипниках; а потери на вентиляцию – из-за использования воздуха для охлаждения. Отношение отдаваемой мощности к потребляемой называется **коэффициентом полезного действия (КПД) машины**.

*КПД становится все более важным показателем*

Согласно требованиям законодательства в последние годы особое внимание уделяется применению двигателей с более высоким КПД. Для этого соответствующими нормативными соглашениями определены **категории эффективности**, которые указываются изготовителями в технических данных. В целях сокращения основных потерь в электродвигателе это означает следующие условия для его конструкции:

- повышение содержания меди в обмотке двигателя ( $P_{Cu}$ );
- повышение качества материала пластин ( $P_{Fe}$ );

- оптимизация геометрии крыльчатки ( $P_{Rb}$ );
- энергетически оптимальные подшипники.

Если представить графически зависимость вращающего момента и тока от частоты вращения, получится **механическая характеристика** асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. До достижения стабильной рабочей точки двигатель проходит эту кривую после каждого включения. Характер кривых зависит от числа полюсов, конструкции и материала обмотки ротора. Знание этих кривых особенно важно в случае приводов, которые работают с постоянными моментами нагрузки (например, подъемные устройства).

Если момент нагрузки рабочей машины больше, чем **момент в седловой точке**, частота вращения ротора „застрянет в седле“. Двигатель уже не достигнет своей номинальной рабочей точки, т. е. стабильной, термически безопасной рабочей точки. А если момент нагрузки больше, чем даже **пусковой момент**, вал двигателя останется неподвижным. Если перегружается работающий привод (например, слишком много груза на ленточном конвейере), частота вращения снижается с увеличением нагрузки. Когда момент нагрузки превысит **опрокидывающий момент**, двигатель „опрокинется“, а частота вращения снизится до значения в седловой точке или даже до нуля. Все сценарии приводят к слишком большим токам в роторе и статоре, так что оба они очень быстро нагреваются. Если нет подходящих защитных устройств, это может привести к термическому разрушению двигателя – он „сгорает“.

#### *Классы нагревостойкости*

Количество теплоты, выделяемое электрическим проводником с током, зависит от сопротивления проводника и от силы протекающего тока. Частые включения и разгон при наличии момента нагрузки создают очень высокую тепловую нагрузку на асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. **Допустимый нагрев** двигателя зависит от температуры охлаждающей среды (например, воздуха) вокруг него и термостойкости материала изоляции обмотки.

Максимально допустимый перегрев двигателей регламентируется через **разделение на классы нагревостойкости** (ранее „классы изоляции“) (IEC 60034). Двигатель в своем изначальном классе нагревостойкости должен выдерживать длительную работу с перегревом, обусловленным номинальной мощностью, не получая при этом никаких повреждений. Например, при температуре охлаждающей среды до 40 °С максимально допустимый перегрев по классу нагревостойкости 180(H)<sup>3</sup> составляет 125 °С.

#### *Возможные режимы работы*

- Самый простой режим – работа с постоянным моментом нагрузки. Благодаря постоянной нагрузке в номинальной точке двигатель достигает установившегося теплового состояния через определенное время. Этот режим называют **продолжительным режимом S1**.
- В **кратковременном режиме S2** двигатель в течение определенного периода времени (tB) работает с постоянной нагрузкой. За этот период времени двигатель не успевает достичь установившегося теплового состояния. Затем следует время простоя, которое должно быть выбрано настолько долгим, чтобы двигатель успевал остыть до температуры охлаждающей среды.
- В **повторно-кратковременном режиме S3** двигатель в течение определенного времени (tB) работает с постоянной нагрузкой. При этом пуск не должен влиять на нагрев двигателя. Затем следует определенное время простоя (tSt). При этом режиме работы указывается относительная продолжительность включения (ПВ), которая согласно IEC 60034-1 примерно указывает отношение времени работы ко времени цикла (= время работы + время простоя), равному 10 минутам.

**Пример:** Режим работы S3/40% имеет место, когда двигатель периодически 4 минуты включен и 6 минут выключен.

Допустимая частота включений указывает, сколько раз в час можно включать двигатель без появления тепловой перегрузки. Она зависит от следующих факторов:

- разгоняемые моменты инерции;
- длительность разгона;
- температура окружающей среды;
- продолжительность включения.

Допустимую частоту включений двигателя можно увеличить следующими мерами:

- повышение класса нагревостойкости;
- выбор двигателя на один типоразмер больше;
- установка вентилятора принудительного охлаждения;
- изменение передаточного числа редуктора, а значит, и относительного момента инерции.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором за счет переключения пар полюсов могут **работать с разной частотой вращения**. Размещая в пазы статора несколько обмоток или изменяя направление тока в отдельных секциях обмотки, получают различное число полюсов. В случае раздельных обмоток мощность на каждое число полюсов составляет менее половины мощности односкоростного двигателя того же типоразмера.

Асинхронные мотор-редукторы с переключением числа полюсов **применяются в качестве приводов транспортных устройств**. При работе с малым числом полюсов скорость движения высокая. Для позиционирования переключаются на многополюсную обмотку с малой частотой вращения. После переключения двигатель по инерции некоторое время сохраняет свою высокую частоту вращения. В это время двигатель переменного тока работает как генератор и затормаживается. Кинетическая энергия преобразуется в электрическую и возвращается в сеть. Недостатком является большой **скачок вращающего момента** при переключении, который, тем не менее, удастся уменьшить соответствующими коммутационными мерами.

Современное развитие недорогой преобразовательной техники благоприятствует замене двигателей с переключением числа полюсов на односкоростные частотно-регулируемые двигатели для многих применений.

#### *Однофазные двигатели*

Однофазный двигатель хорошо подходит для таких вариантов применения, где не нужен большой пусковой момент, имеется подключение к однофазной сети переменного тока и используется небольшая мощность ( $\leq 2,2$  кВт). Типичные примеры применения: привод вентиляторов, насосов и компрессоров. Здесь возможны **два основных конструктивных различия**:

В первом случае классический асинхронный трехфазный двигатель подключается только к фазе и нулевому проводу. Третья фаза подстраивается через сдвиг фаз **с помощью конденсатора**. Поскольку конденсатор может создать сдвиг фаз не  $120^\circ$ , а только  $90^\circ$ , однофазный двигатель такого типа, как правило, имеет номинальную мощность всего в две трети от мощности сопоставимого трехфазного двигателя.

Второй способ построения однофазного двигателя заключается в **конструктивном изменении обмотки**. Вместо трехфазной обмотки реализуются только две фазы, причем разные – основная и вспомогательная. В этом случае секции обмотки смещены друг от друга в пространстве на  $90^\circ$ , а с помощью конденсатора ток на них подается еще и со смещением на  $90^\circ$  по времени, благодаря чему возникает вращающееся поле. Неодинаковые токовые характеристики основной и вспомогательной обмоток, как правило, тоже позволяют развивать лишь две трети от мощности трехфазного двигателя того же типоразмера. Типичные однофазные двигатели: **конденсаторный двигатель, двигатель с расщепленной фазой, а также двигатель без самозапуска**, который обходится без конденсатора.

#### *Моментные асинхронные двигатели*

Моментные асинхронные двигатели – это **специальное исполнение** двигателей переменного тока с короткозамкнутым ротором. Номинальные параметры этих двигателей рассчитываются таким образом, чтобы даже при частоте вращения 0 потребляемый ток был как можно больше, но не доводил до разрушения от перегрева. Это целесообразно, например, для приводов **открывания дверей, перевода стрелок или прессовых инструментов**, от которых требуется достижение и надежное удержание положения с помощью электродвигателя.

Еще один часто используемый режим работы – так называемый **режим торможения противотоком**: Внешняя нагрузка способна проворачивать ротор против направления вращения поля. Вращающееся поле „затормаживает“ частоту вращения и отбирает у системы генераторную энергию, которая возвращается в электросеть – почти **ротационное торможение без механической работы трения тормоза**.

## Практическая работа №15 «Определение мощности электродвигателей, работающих в различных режимах»

### Взрывозащищенные двигатели переменного тока

Взрывозащищенные двигатели переменного тока

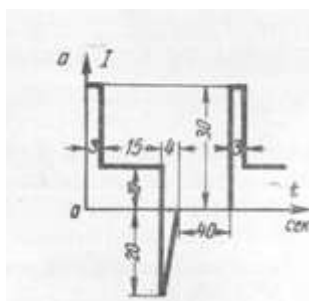
Если электродвигатели применяются во взрывоопасных зонах, для приводов нужно принимать определенные меры защиты.

Выбор мощности двигателя для длительного режима работы.

Для механизмов, работающих с переменной нагрузкой, мощность приводного двигателя сначала определяется ориентировочно по средней мощности или моменту с некоторым запасом, а затем, после построения нагрузочной диаграммы привода, проверяется поверочным расчетом. Для расчета применяются несколько методов: эквивалентного тока, эквивалентного момента и эквивалентной мощности.

Метод эквивалентных величин основан на том, что переменную нагрузку заменяют постоянной эквивалентной, при которой двигатель в течение длительного времени выделял бы то же количество тепла, что и при действительной переменной нагрузке.

Рис. 41. График нагрузки двигателя



Вместо метода эквивалентного тока для определения мощности двигателя во многих случаях может быть использован метод эквивалентного момента. При этом принимаются моменты нагрузки, приведенные к валу двигателя. Метод эквивалентного момента не пригоден для электродвигателей постоянного тока последовательного и смешанного возбуждения.

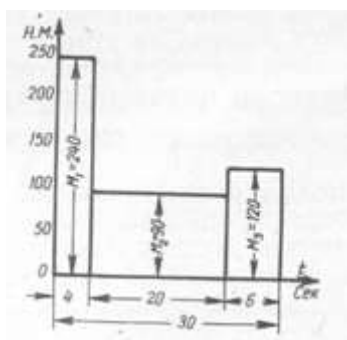


Рис. 43. График нагрузки двигателя к примеру

Определение эквивалентной мощности по приведенной формуле (61) ограничивается двигателями постоянного тока параллельного возбуждения и, с некоторым приближением, асинхронными двигателями, работающими с незначительными изменениями номинальной скорости.

При окончательном выборе мощности двигателя желательно, чтобы его номинальный ток, момент или мощность не превышали более чем на 5—10% соответствующие эквивалентные величины.

Выбор мощности электродвигателя для кратковременного режима работы. При кратковременном режиме работы двигателя перегрев отдельных частей машины при неизменной температуре окружающего воздуха не достигает установившегося значения, а за период остановки машина остывает и достигает температуры окружающей среды. При кратковременном режиме двигатель может быть нагружен больше, чем при длительном режиме, без опасности его перегрева. Использовать для работы при кратковременном режиме двигателя нормальных -серий, предназначенные для длительной работы, нецелесообразно. Для кратковременного режима работы

электропромышленность выпускает специальные двигатели. Продолжительность их работы при указанных номинальных мощностях составляет 15, 30, 60 и 90 мин. Двигатели постоянного тока, выпускаемые для кратковременного режима работы, обладают большой перегрузочной способностью и имеют усиленные коллекторы и обмотки возбуждения. Выбранный по каталогу двигатель должен быть проверен на перегрузочную способность и пусковой момент.

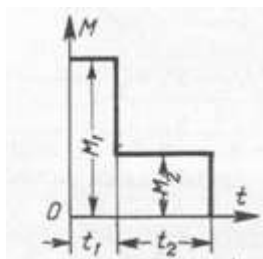


Рис. 44. Двухступенчатый график нагрузки двигателя при кратковременном режиме работа

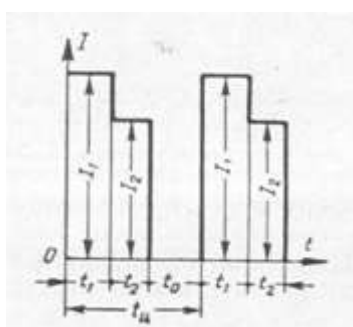


Рис. 45. График работы двигателя при повторно-кратковременном режиме работы

Выбор мощности электродвигателя для повторно-кратковременного режима работы. Режим работы машины называется повторно-кратковременным, если кратковременные рабочие периоды чередуются с кратковременными периодами отключения — паузами.

В реальных графиках нагрузки имеют место случаи нерегулярного чередования рабочих периодов и пауз.

Для улучшения экономических показателей электроприводов при повторно-кратковременном режиме их работы электропромышленность выпускает специальную серию двигателей. Мощности двигателей специальной серии отнесены к определенному стандартному значению ПВ. При определении мощности расчетным путем можно не учитывать пауз, так как продолжительность последних уже учтена при подсчете величины ПВ, которой соответствует выбранный по каталогу двигатель.

### Тема: Режимы работы электродвигателей

Режимы работы электродвигателей – это определенный порядок чередования периодов, который характеризуется:

- продолжительностью и величиной нагрузки;
- условиями охлаждения;
- частотой пуска и отключений;
- частотой реверса;
- соотношениями потерь в периоды установившегося движения и пуска.

Так как существует множество режимов, выпуск двигателей для каждого из них нецелесообразен, поэтому серийные двигатели проектируются согласно ГОСТ для работы в восьми номинальных режимах. Номинальные данные содержатся в паспорте электродвигателя. Оптимальное функционирование агрегата гарантируется при его эксплуатации при номинальной нагрузке и в номинальном режиме.

### **Основные режимы работы электродвигателей**

Существуют три основных (продолжительный, кратковременный, повторно-кратковременный) и пять дополнительных режимов работы, условно маркированных согласно международной классификации S1-S8. Отечественные электромашиностроительные заводы в обязательном порядке включают номинальные данные на основные режимы в каталоги и паспорт агрегата.

**Продолжительный режим (S1)** предусматривает длительный и непрерывный рабочий период, во время которого двигатель нагревается до установившейся температуры. Он может «подразделяться» на два вида:

**Режим с постоянной нагрузкой** (без изменения температуры в период работы). В нем функционируют двигатели конвейеров, электроприводы вентиляторов и насосов.

**Режим с изменяющейся нагрузкой** (температура поднимается или падает с изменением нагрузки). Он используется при работе металлорежущих, деревообрабатывающих и прокатных станков.

**Кратковременный режим работы электродвигателя (S2)** характеризуется непродолжительным рабочим периодом (по стандартам 10, 30, 60, 90 минут) без нагрева двигателя до установившейся температуры с последующим его охлаждением во время паузы до температуры окружающей среды. В этом режиме действуют электроприводы запорных устройств (вентилей, шлюзов, заслонок и т.д.). В паспорте двигателя указывается продолжительность рабочего периода (например, S2 – 60 мин.).

**Повторно-кратковременный режим работы электродвигателя (S3)** – режим, при котором в течение рабочего периода нагрев двигателя не достигает установившейся температуры, а во время паузы не происходит охлаждения до температуры окружающей среды. Он характеризуется непрерывным чередованием периодов работы под нагрузкой и вхолостую. Так функционируют электроприводы подъемных кранов, экскаваторов и лифтов, то есть устройств, действующих циклично.

### **Дополнительные режимы работы электродвигателей**

Дополнительные режимы обозначены маркерами S4-S8. Они введены для более удобного эквивалентирования произвольных режимов и расширения номенклатуры номинальных режимов.

**S4 – повторно-кратковременный режим с влиянием пусковых процессов.** Каждый цикл работы включает в себя:

- длительный период пуска, в течение которого пусковые потери оказывают влияние на температуру узлов агрегата;
- период функционирования при постоянной нагрузке без нагрева до установившейся температуры;
- паузу, во время которой не предусмотрено охлаждение двигателя до температуры окружающей среды.

**S5 – повторно-кратковременный режим с электрическим торможением.** В цикл работы входят:

- долгое время пуска;
- время работы при постоянной нагрузке без нагрева до установившейся температуры;
- период быстрого электрического торможения;
- период работы вхолостую без охлаждения до температуры окружающей среды.

**S6 – перемежающийся режим работы.** Цикл работы состоит из:

- периода функционирования с постоянной нагрузкой;
- паузы.

В течение обоих периодов температура двигателя не достигает установившегося значения.

**S7 – перемежающийся режим с электрическим торможением и влиянием пусковых процессов.**

В каждый цикл включены:

- длительный период пуска;
- время действия машины с постоянной нагрузкой;
- быстрое электрическое торможение.

Паузы данным режимом не предусмотрены.

**S8 – перемежающийся режим с разными частотами вращения (2 или более).** В цикл входят периоды:

- работы с неизменной частотой вращения и постоянной нагрузкой;
- работы при других неизменных нагрузках, причем каждой из них соответствует определенная частота вращения.

Как и предыдущий, этот режим не содержит пауз.

Если вы знаете характеристики работы электродвигателей, вам не составит труда выбрать агрегат, оптимально подходящий для ваших целей.

### Тема: Схемы включения двигателей постоянного тока

Свойства электродвигателей постоянного тока определяются в основном способом включения обмотки возбуждения. В зависимости от этого различают электродвигатели:

1. с **независимым возбуждением**: обмотка возбуждения питается от постороннего источника постоянного тока (возбудителя или выпрямителя),
2. с **параллельным возбуждением**: обмотка возбуждения подключена параллельно обмотке якоря,
3. с **последовательным возбуждением**: обмотка возбуждения включена последовательно с обмоткой якоря,
4. со **смешанным возбуждением**: он имеет две обмотки возбуждения, одна подключена параллельно обмотке якоря, а другая — последовательно с ней.

Все эти электродвигатели имеют одинаковое устройство и отличаются лишь выполнением обмотки возбуждения. Обмотки возбуждения указанных электродвигателей выполняют так же, как у соответствующих генераторов.

#### Электродвигатель постоянного тока с независимым возбуждением

В этом электродвигателе (рис. 1, а) обмотка якоря подключена к основному источнику постоянного тока (сети постоянного тока, генератору или выпрямителю) с напряжением  $U$ , а обмотка возбуждения — к вспомогательному источнику в напряжением  $U_B$ . В цепь обмотки возбуждения включен регулировочный реостат  $R_{pB}$ , а в цепь обмотки якоря — пусковой реостат  $R_n$ .

Регулировочный реостат служит для регулирования частоты вращения якоря двигателя, а пусковой — для ограничения тока в обмотке якоря при пуске. Характерной особенностью электродвигателя является то, что его ток возбуждения  $I_B$  не зависит от тока  $I_A$  в обмотке якоря (тока нагрузки). Поэтому, пренебрегая размагничивающим действием реакции якоря, можно приближенно считать, что и поток двигателя  $\Phi$  не зависит от нагрузки. Зависимости электромагнитного момента  $M$  и частоты вращения  $n$  от тока  $I_A$  будут линейными (рис. 2, а). Следовательно, линейной будет и механическая характеристика двигателя — зависимость  $n(M)$  (рис. 2, б).

При отсутствии в цепи якоря реостата с сопротивлением  $R_n$  скоростная и механическая характеристики будут жесткими, т. е. с малым углом наклона к горизонтальной оси, так как падение напряжения  $I_A \Sigma R_A$  в обмотках машины, включенных в цепь якоря, при номинальной нагрузке составляет лишь 3—5 % от  $U_{ном}$ . Эти характеристики (прямые 1 на рис. 2, а и б) называются естественными. При включении в цепь якоря реостата с сопротивлением  $R_n$  угол наклона этих характеристик возрастает, вследствие чего можно получить семейство реостатных характеристик 2, 3 и 4, соответствующих различным значениям  $R_{n1}$ ,  $R_{n2}$  и  $R_{n3}$ .

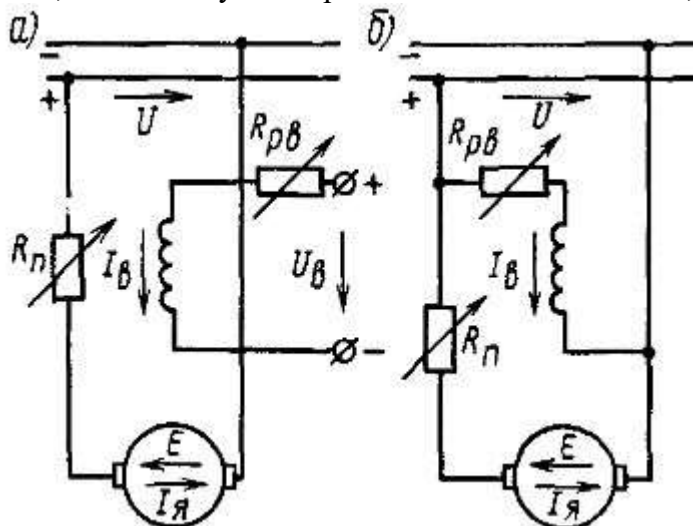


Рис. 1. Принципиальные схемы электродвигателей постоянного тока с независимым (а) и параллельным (б) возбуждением

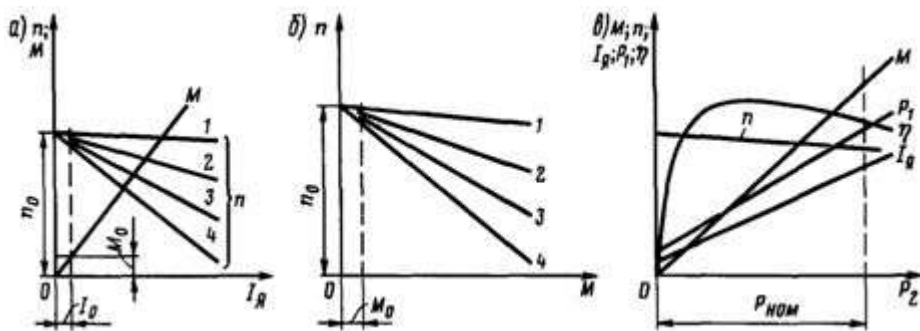


Рис. 2. Характеристики электродвигателей постоянного тока с независимым и параллельным возбуждением: а — скоростные и моментная, б — механические, в — рабочие. Чем больше сопротивление  $R_n$ , тем больший угол наклона имеет реостатная характеристика, т. е. тем она мягче. Регулировочный реостат  $R_{rv}$  позволяет изменять ток возбуждения двигателя  $I_b$  и его магнитный поток  $\Phi$ . При этом будет изменяться и частота вращения  $n$ .

### Тема: Основные световые величины и единицы их измерения

Восприятие глазом излучения видимого диапазона определяется не только мощностью воспринимаемого излучения, но также зависит от его спектрального состава (так как глаз — селективный приемник излучения). Световые характеристики описывают, как энергию излучения воспринимает зрительная система глаза с учетом спектрального состава света.

Световые величины обозначаются аналогично энергетическим величинам, но без индекса.

$\Phi$	— световой поток
$I$	— сила света
$E$	— освещенность
$M$	— светимость
$L$	— яркость

У световых величин нет никакой спектральной плотности, так как глаз не может провести спектральный анализ.

#### Сила света:

Если в энергетических величинах исходная единица — это поток, то в световых величинах исходная единица — это сила света (так сложилось исторически). Сила света определяется аналогично энергетической силе света:

$$I = \frac{\partial \Phi}{\partial \Omega} \text{ [кд]} \quad (2.2.1)$$

1 кандела — сила излучения эталона (эталонный излучатель или черное тело) при температуре затвердевания платины ( $\sim 2042^\circ K$ ) площадью  $1/60 \text{ см}^2$ .

**Абсолютно черное тело** — это тело, которое полностью поглощает падающую на него энергию. Модель абсолютно черного тела представляет собой полое тело, внутренняя поверхность которого выкрашена в черный цвет. Через небольшое отверстие поток излучения поступает внутрь тела, где в результате многократного отражения полностью поглощается (рис.2.2.1).



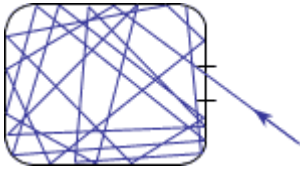


Рис.2.2.1. Абсолютно черное тело.

**Поток излучения:**

$$\Phi = I \cdot \Omega, \text{ [лм]} \quad (2.2.2)$$

1 люмен – это поток, который излучается источником с силой света  $1 \text{ кд}$  в телесном угле  $1 \text{ ср}$ :  
 $1 \text{ лм} = 1 \text{ кд} \cdot \text{ср}$ .

**Освещенность:**

$$E = \frac{\partial \Phi}{\partial S}, \text{ [лк]} \quad (2.2.3)$$

1 люкс – освещенность такой поверхности, на каждый квадратный метр которой равномерно падает поток в  $1 \text{ лм}$ .

**Светимость:**

$$[M] = \frac{\text{лм}}{\text{м}^2}$$

За единицу светимости принимают светимость такой поверхности, которая излучает с  $1 \text{ м}^2$  световой поток, равный  $1 \text{ лм}$ .

**Яркость:**

$$[L] = \frac{\text{кд}}{\text{м}^2}$$

За единицу яркости принята яркость такой плоской поверхности, которая в перпендикулярном направлении излучает силу света  $1 \text{ кд}$  с  $1 \text{ м}^2$ .

## Тема: Современные источники света и их применение

### Лампы накаливания

Лампы накаливания – это тепловые источники света. На сегодняшний день эффективные лампы накаливания – это галогенные лампы, в которых используется буферный газ в виде паров галогенов. Пары галогена в колбе лампы позволяют увеличить ее ресурс до 2 тыс. ч и более и повысить световую отдачу до 20–24 лм/Вт.

Предпринимались неоднократные попытки повысить эффективность ламп накаливания, например создать лампу накаливания, в которой часть длинноволнового ИК-излучения преобразовывалась бы в более коротковолновое видимое излучение с помощью так называемых антистоксовых люминофоров.

Кроме того, предлагались интерференционные покрытия на колбу лампы, которые возвращают тепловую энергию на нить накаливания, подогревая ее. Таким образом, для нагрева нити требуется меньше электрической энергии.



Сейчас пытаются использовать в лампах накаливания новые технологии, в том числе нанотехнологии, которые позволяют эффективно выделить из теплового излучения лампы видимый диапазон, который воспринимается человеческим глазом. Применение таких технологий позволяет уменьшить тепловые потери и, соответственно, повысить эффективность лампы накаливания. Специалисты говорят о трехкратном повышении световой отдачи.

Если удастся создать лампу со световой отдачей более 60 лм/Вт при тех же достоинствах, которыми отличаются современные лампы накаливания: спектр излучения, привычный для человека, отсутствие пульсаций и приемлемая стоимость,— это будет хороший и эффективный источник света. «Хоронить» лампу накаливания неэтично, неправильно.

### **Лампы с электродами**

Разрядные источники света делятся на две большие группы. Это лампы высокого давления и лампы низкого давления. Обычно они имеют два электрода для введения энергии в разряд, а для включения их в сеть требуется пускорегулирующий аппарат.

Лампы низкого давления наиболее широко представлены трубчатыми люминесцентными лампами различной объемной конфигурации. Это могут быть линейные лампы или сложно изогнутые конструкции. Принцип их действия таков: электрический разряд в насыщенных парах ртути с инертным газом создает ультрафиолетовое излучение, которое трансформируется люминофором в свет видимого диапазона. Световая отдача люминесцентных ламп от 60 до 115 лм/Вт.

В лампах высокого давления используются разные виды заполнения колбы. Например, в металлогалогенных лампах (МГЛ) это смесь паров ртути, инертных газов и галогенидов металлов, состав которых и определяет спектр лампы. Наиболее высокими параметрами обладают лампы с керамическими горелками, их световая отдача превышает 100 лм/Вт при хорошей цветопередаче. В натриевых лампах, главными областями применения которых являются освещение дорог и растениеводство, используется амальгама натрия. Световая отдача превышает 130 лм/Вт, и на сегодня это самое высокое значение среди разрядных ламп.

### **Безэлектродные лампы**

Наряду с упомянутыми выше разрядными лампами, в последнее время расширяется класс безэлектродных ламп. Необходимо сразу пояснить: безэлектродность – это просто другой способ ввода электрической энергии в объем разрядной колбы лампы. Соответственно, существуют безэлектродные лампы как низкого, так и высокого давления. Главным преимуществом этих ламп является отсутствие вакуумноплотных вводов в колбу, распыления электродов при работе, и

особенно при зажигании, и, как следствие, больший срок службы по сравнению с аналогичными электродными лампами.

Для передачи мощности в объем разрядной колбы в лампах высокого давления используются более высокие частоты, низкого давления – переменное напряжение более низких частот. Это связано как со свойствами электромагнитного поля, так и с условиями, которые нужно создать в разрядной колбе. Низкая частота в данном случае – это десятки и сотни килогерц, вплоть до 10 МГц. Для ламп высокого давления эта цифра достигает порядка 1000 МГц. Это частоты сантиметрового СВЧ-диапазона, то есть длина волны соизмерима с размером разрядной колбы.

*Люминесцентные безэлектродные лампы* состоят из колбы тороидальной или подобной ей замкнутой формы, разряд в которой представляет собой вторичный виток высокочастотного трансформатора – индуктора (иногда их называют индукционными лампами). Существуют лампы, имеющие шарообразную колбу<sup>3</sup>, принцип их действия такой же. На колбу лампы нанесен люминофор, наполнение вполне традиционное – ртуть или ее амальгама с инертным газом. Частота питания «низкая», световая отдача более 80 лм/Вт при сроке службы выше 35 тыс. часов.

Плазменные лампы имеют двух типов. Один из них – «высокочастотная» безэлектродная МГЛ с кварцевой колбой, ее мощность до 250 Вт. Это компактная полупроводниковая СВЧ-техника, ее световая отдача до 130 лм/Вт. Срок службы таких ламп может составлять свыше 20 тыс.ч.

Ко второму типу относятся плазменные лампы, имеющие спектр излучения, близкий к солнечному. Мощность ламп от 500 Вт до нескольких киловатт. Применяются они, как правило, для освещения больших пространств. СВЧ-излучение большой мощности генерируют магнетроны. Ресурс магнетронного генератора определяет срок службы этой системы; один из производителей указывает значение 10 тыс. ч. Потенциал срока службы безэлектродных ламп во многом определяется ресурсом радиоэлектронных компонентов.

### **Светодиоды**

Один из самых перспективных и динамично развивающихся сейчас источников искусственного света – это светодиоды, полупроводниковые приборы с электронно-дырочным переходом, создающие оптическое излучение при пропускании через них тока в прямом направлении. Быстрое развитие и применение светодиодов для освещения началось с конца 1990-х годов, после разработки относительно дешевых синих светодиодов. Сочетание таких светодиодов с люминофором позволило создать компактный белый источник света. Главные их достоинства – высокая эффективность и механическая прочность, длительный срок службы. Световая отдача коммерческих изделий достигает 130 лм/Вт при сроке службы более 30 тыс.ч. С применением светодиодов созданы конструкции ламп-ретрофитов, повторяющих по внешнему виду лампы накаливания и предназначенных для их прямой замены в диапазоне мощности до 75 Вт.

Основные области применения светодиодной техники – это наружное и архитектурное освещение, административные здания и крупные предприятия. Сегодня главным ограничивающим фактором более широкого применения полупроводниковых источников света является их высокая стоимость.

## **Тема: Виды искусственного освещения**

Искусственное освещение делится на несколько разновидностей. Существует *четыре вида искусственного освещения*. Обычно три из них устанавливаются в жилых помещениях, четвертое встречается реже.

### **1. Общее**

При общем освещении происходит равномерное распределение света по всей площади. Это достигается соблюдением одинакового расстояния между светильниками, которые равномерно рассеяны.



При источнике света, локализованном в одной точке, будет наблюдаться разница в яркости света, но резкие перепады будут отсутствовать. Примером может послужить расположенная посередине потолка люстра.

## 2. Местное

Чтобы выделить необходимые объекты или зоны используют местное освещение. Источник света при этом располагают на определенном участке: кухонной плите, рабочем столе или части стены. По словам дизайнеров, местное освещение играет важную роль в оформлении интерьера. Оно придает ему полноту и логическую завершенность. Например, в кабинете или спальне можно вообще использовать только одно местное освещение, полностью отказавшись от общего.



Перечисленные выше **виды освещения** имеют свои недостатки. Так, общее освещение исключает возможность изменения направления основного светового потока, а так же имеет чрезмерную рассеянность света.



Местное освещение наоборот позволяет выделить только конкретный участок комнаты, который ярко освещается локализованным источником света.

### 3. Комбинированное

Устранить все эти недостатки можно, совместив местный и общий свет вместе. Таким образом, будет решена проблема освещенности современного жилища. Именно поэтому, комбинированное освещение, которое совмещает в себе два предыдущих вида, наиболее часто применяемый вариант.

### 4. Аварийное

Описанные выше **виды освещения** применяются в жилых помещениях. Четвертый вид освещения – аварийное. К сожалению, его не всегда можно встретить в жилых помещениях.

Питание источников света данного вида освещения происходит от аккумуляторов. Дополнительные лампы слабой мощности автоматически включаются, когда происходит отключение основного источника.



Аварийное освещение является необходимым в помещениях, где отключение света может стать причиной получения серьезных травм.

Простейшим примером являются дома с лестницами, в которых при отсутствии освещения легко упасть. А аварийные светильники, расположенные по бокам ступеней, предохранят жильцов от подобных неприятностей.

### Тема: Методы расчёта освещения

Светотехническим расчетом могут быть определены:

- мощность ламп, необходимая для получения заданной освещенности при выбранном типе, расположении и числе светильников,
- число и расположение светильников, необходимых для получения заданной освещенности при выбранном типе светильников и мощности ламп в них,
- расчетная освещенность при известном типе, расположении светильников и мощности ламп в них.

Основными при проектировании являются задачи первого вида, поскольку тип светильников и их расположение должны выбираться исходя из качества освещения и его экономичности.

Решение задач при расчете освещения второго вида производится, если мощность ламп точно задана, например необходимо применить светильники с люминесцентными лампами мощностью 80 Вт.

Задачи третьего вида решаются для существующих установок, если освещенность невозможно измерить, и для проверки проектов и расчетов, например, для проверки точный методом расчетов, выполненных методом коэффициента использования.

**Выполнение светотехнических расчетов возможно методами:**

- 1) методом коэффициента использования светового потока,
- 2) методом удельной мощности,
- 3) точечным методом.

**Метод коэффициента использования** применяется для (расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при светильниках любого типа.

**Метод удельной мощности** применяется для приближенного предварительного определения установленной мощности осветительной установки.



**Точечный метод расчета освещения** применяется для расчета общего равномерного и локализованного освещения, местного освещения независимо от расположения освещаемой поверхности при светильниках прямого света.

Кроме вышеуказанных методов расчета освещения, имеется комбинированный метод, который применяется в тех случаях, когда неприменим метод коэффициента использования, а светильники не относятся к классу прямого света.

Для некоторых видов помещений (коридоров, лестниц и т. д.) существуют прямые нормативы, задающие мощность ламп для каждого такого помещения.

Рассмотрим методику проведения расчетов по каждому из описанных методов.



### **Метод коэффициента использования светового потока**

В результате решения по методу коэффициента использования светового потока находится световой поток лампы, по которому она подбирается из числа стандартных. Поток выбранной лампы не должен отличаться от расчетного более чем на +20 или -10%. При большем расхождении корректируется намеченное число светильников.

Расчетное уравнение для определения необходимого светового потока одной лампы:

$$F = (E_{\text{мин}} \times S \times k_z \times z) / (n \times \eta)$$

где  $F$  - световой поток лампы (или ламп) в светильнике, лм;  $E_{\text{мин}}$  - нормируемая освещенность, лк,  $k_z$  - коэффициент запаса (зависит от типа ламп и степени загрязненности помещения),  $z$  - поправочный коэффициент, учитывающий, что средняя освещенность в помещении больше, чем нормируемая, минимальная,  $n$  - число светильников (ламп),  $\eta$  - коэффициент использования светового потока, равный отношению светового потока, падающего на рабочую поверхность, к суммарному потоку всех ламп;  $S$  — площадь помещения, м<sup>2</sup>.

**Коэффициент использования светового потока** - справочное значение, зависит от типа светильника, параметров помещения (длины, ширины и высоты), коэффициентов отражения потолков, стен и полов помещения.

### **Порядок расчета освещения по методу коэффициента использования светового потока:**

1) определяется расчетная высота  $H_p$ , тип и количество светильников в помещении.

Расчетная высота подвеса светильника определяется исходя из геометрических размеров помещения

$$H_p = H - h_c - h_p, \text{ м,}$$

где  $H$  - высота помещения, м,  $h_c$  – расстояние светильника от перекрытия ("свес" светильника, принимается в пределах от 0, при установке светильников на потолке, до 1,5 м), м,  $h_p$  – высота рабочей поверхности над полом (обычно  $h_p = 0,8$  м).

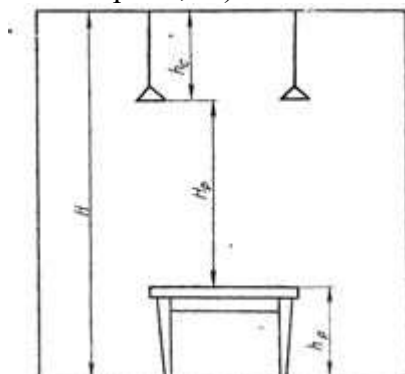


Рис. 1. Определение расчетной высоты при расчетах электрического освещения

2) по таблицам находятся: коэффициент запаса  $k_z$  поправочный коэффициент  $z$ , нормированная освещенность  $E_{мин}$ ,

3) определяется индекс помещения  $i$  (он учитывает зависимость коэффициента использования светового потока от параметров помещения):

$$i = (A \times B) / (H_p \times (A + B)),$$

где  $A$  и  $B$  - ширина и длина помещения, м,

4) коэффициент использования светового потока ламп  $\eta$  в зависимости от типа светильника, коэффициентов отражения стен, потолка и рабочей поверхности  $\rho_c, \rho_p, \rho_r$ ;

5) находится по формуле необходимый поток одной лампы  $F$ ;

6) выбирается стандартная лампа с близким по величине световым потоком.

Если в результате расчета окажется, что лампа больше по мощности, чем применяемые в выбранном светильнике, или если требуемый поток больше, чем могут дать стандартные лампы, следует увеличить количество светильников и повторить расчет или отыскать необходимое количество ламп, задавшись их мощностью (а следовательно и световым потоком лампы  $F$ ):

$$n = (E_{мин} \times S \times k_z \times z) / (F \times \eta)$$

### Метод удельной мощности

Удельной установленной мощностью называют частное от деления общей установленной в помещении мощности ламп на площадь помещения:

$$P_{уд} = (P_{л} \times n) / S$$

где  $P_{уд}$  - удельная установленная мощность, Вт/м<sup>2</sup>,  $P_{л}$  - мощность лампы, Вт;  $n$  - число ламп в помещении;  $S$  — площадь помещения, м<sup>2</sup>.

**Удельная мощность** - это справочное значение. Для того, что бы правильно выбрать величину удельной мощности необходимо знать тип светильников, нормированную освещенность, коэффициент запаса (при его значениях, отличающихся от указанных в таблицах, допускается пропорциональный пересчет значений удельной мощности), коэффициенты отражения поверхностей помещения, значения расчетной высоты и площадь помещения.

Расчетное уравнение для определения мощности одной лампы:

$$P_{л} = (P_{уд} \times S) / n$$

### Порядок расчета освещения по методу удельной мощности:

1) определяется расчетная высота  $H_p$ , тип и количество светильников и в помещении;

2) по таблицам находятся нормированная освещенность для данного вида помещений  $E_{мин}$ , удельная мощность  $P_{уд}$ ;

3) рассчитывается мощность одной лампы и подбирается стандартная.

Если расчетная мощность лампы оказывается большей чем применяемая в принятых светильниках, следует определить необходимое количество светильников, приняв величину мощности лампы в светильнике  $P_{л}$ .



### Точечный метод расчета освещения

Этим методом находят освещенность в любой точке помещения.

### Порядок расчета для точечных источников света:

1) Определяется расчетная высота  $H_p$ , тип и размещение в светильников в помещении и чертится в масштабе план помещения со светильниками,

2) на план наносится контрольная точка  $A$  и находятся расстояния от проекций светильников до контрольной точки -  $d$ ;

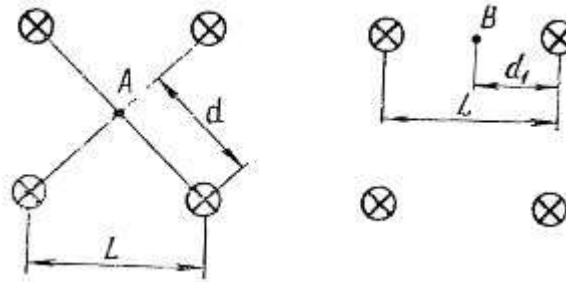


Рис. 2. Расположение контрольной точки А при размещении светильников по углам квадрата и В по сторонам прямоугольника

- 3) по пространственным изолюксам горизонтальной освещенности находится освещенность  $e$  от каждого светильника;
- 4) находится общая условная освещенность от всех светильников  $\sum e$ ;
- 5) рассчитывается горизонтальная освещенность от всех светильников в точке А:

$$E_a = (F \times \mu / 1000 \times k_3) \times \sum e,$$

где  $\mu$  - коэффициент, учитывающий дополнительную освещенность от удаленных светильников и отраженного светового потока,  $k_3$  - коэффициент запаса.

Вместо пространственных изолюксов условной горизонтальной освещенности возможно использование таблиц значений горизонтальной освещенности при условной дажде 1000 лм.

#### Порядок по точечному методу расчета для светящихся полос:

- 1) определяется расчетная высота  $H_p$ , тип светильников и люминесцентных ламп в них, размещение светильников в полосе и полос в помещении. Затем полосы наносятся на план помещения, вычерченный в масштабе;
- 2) на план наносится контрольная точка А и находятся расстояния от точки А до проекции полос  $r$ . По плану помещения находится длина половины полосы, которую принято в точечном методе обозначать  $L$ . Ее не следует путать с расстоянием между полосами, обозначенным также  $L$  и определяемым по наивыгоднейшему соотношению  $(L/H_p)$ ;

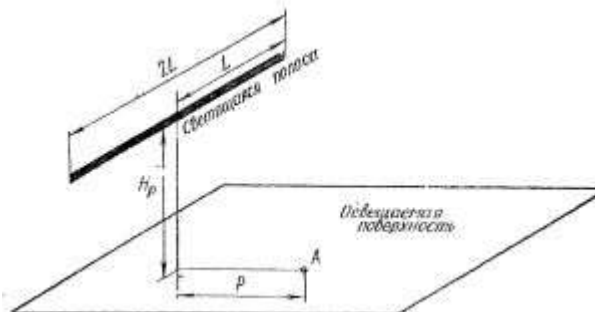


Рис. 3. Схема к расчету освещения точечным методом полосами светильников

- 3) определяется линейная плотность светового потока

$$F' = (F_{св} \times n) / 2L,$$

где  $F_{св}$  - световой поток светильника, равный сумме световых потоков ламп, светильника;  $n$  - количество светильников в полосе;

- 4) находятся приведенные размеры  $r' = r/H_p$ ,  $L' = L/H_p$

- 5) по графикам линейных изолюксов относительной освещенности для люминесцентных светильников (светящихся полос) находится для каждой полуполосы в зависимости от типа светильника  $r'$  и  $L'$

$$E_a = (F' \times \mu / 1000 \times k_3) \times \sum e$$

### Практическая работа №16 Расчет производственного освещения

Цель занятия: Расчет естественного освещения:

- методом светового потока (коэффициент использования);
- методом удельной мощности
- точечным методом



Задача практического занятия:

- закрепление и углубление теоретических знаний по этому вопросу;
- приобретение навыков расчета по производственному освещению;
- приобретение опыта работы со справочной и нормативной литературой;
- приобретение опыта в оценке, выборе методов расчета производственного освещения.

Содержание и порядок выполнения

Производственное освещение, правильно спроектированное и выполненное, обеспечивает необходимые условия для осуществления работающими своих функциональных обязанностей. Рациональное освещение производственных помещений позволяет сохранять зрение человека, обеспечить безопасность на производстве, повысить производительность труда. Производственное освещение характеризуется количественными и качественными показателями. К качественным показателям относят: коэффициент пульсации, фон, контраст объекта с фоном и др. К количественным показателям относятся: световой поток, сила света, освещенность, коэффициент отражения.

Световой поток  $\Phi$  определяется как мощность лучистой энергии, за единицу которой принят люмен (лм). Для характеристики источников света, кроме величины светового потока, необходимо указывать пространственную плотность потока в различных направлениях. Пространственная плотность светового потока, т.е. световой поток, отнесенный к единице телесного угла ( $W$ ), носит название силы света

$$I = \Phi / W$$

Где  $I$  — сила света;

$\Phi$  — световой поток, равномерно распределяющийся в пределах телесного угла, лм.

За единицу силы света принята кандела (кд). Одна кандела равна силе света, испускаемого с поверхности площадью  $1/600000$  м<sup>2</sup> полного излучателя в перпендикулярном направлении, при температуре излучателя, равной температуре затвердения платины. (2046,65 К при давлении 101325 Па (760 мм рт.ст.))

Освещенность  $E$  – плотность светового потока на освещаемой поверхности

$$E = \Phi / S$$

За единицу освещенности принят люкс (лк). Она определяется как поверхностная плотность светового потока в 1 лм, равномерно распределенного по площади 1 м<sup>2</sup>. Коэффициент отражения  $\rho$  характеризует способность поверхности отражать падающий на нее световой поток.

Яркостью поверхности  $L$  в данном направлении называется отношение силы света, излучаемой поверхностью в этом направлении, к проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную данному направлению

$L$  = Повышенная яркость вызывает нарушение зрительных функций. Яркость 30000 кд/м<sup>2</sup> является слепящей.

Достаточная освещенность на рабочих поверхностях обеспечивается выполнением нормативных требований, устанавливающих нормы освещенности в зависимости от характеристики зрительной работы, определяемой степенью ее точности, т.е. размером объекта различения. СНИП II-4-79 «Естественной и искусственное освещение» предусматривает нормативы освещенности для восьми разрядов зрительной работы.

В зависимости от источника света производственное освещение может быть двух видов: естественное, создаваемое солнечным светом через световые проемы и подразделяемое на боковое, верхнее и комбинированное (верхнее и боковое), и искусственное.

В качестве нормируемой величины для естественного освещения принят коэффициент естественной освещенности КЕО, который представляет собой выраженное в процентах отношение освещенности в данной точке внутри помещения  $E_v$  к одновременной наружной горизонтальной освещенности  $E_n$ , создаваемой рассеянным светом всего небосвода.

В СНИП II-4-79 приведены нормированные значения КЕО еПН для зданий, расположенных в 3 зоне светового климата СНГ, для остальных поясов (1,2,4 и 5) светового климата нормированное значение КЕО определяют по формуле

$$eI-V=eIII\pi mc$$

где  $m$  – коэффициент светового климата;

$n$  – коэффициент солнечности климата

Для искусственного освещения, которое может быть общим и комбинированным, применяют, как правило, газоразрядные лампы низкого и высокого давления – люминесцентные, металлогалогенные, ксеноновые, ДРЛ. Использование ламп накаливания допускается лишь в тех случаях, когда применение газоразрядных ламп невозможно или нецелесообразно. Технические данные различных светильников представлены в таблице.

При расчете естественного освещения определяют площадь световых пролетов, которые обеспечивают нормированное значение КЕО, а при искусственном рассчитывают мощность осветительной установки в целом и каждого осветительного прибора в отдельности. Решение этой задачи осуществляется следующими методами:

— методом светового потока (коэффициент использования);

— методом удельной мощности;

— точечным методом;

Метод светового потока используют при расчете общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности, метод удельной мощности – при ориентировочных расчетах и точечный метод – для расчета локализованного и местного освещения и в тех случаях, когда неприменимы другие методы.

Расчет по коэффициенту использования светового потока

При расчете общего освещения по коэффициенту использования осветительной установки, учитывают отношение светового потока, падающего на световую поверхность, к суммарному световому потоку всех источников света.

$\eta$  – где  $\Phi_r$  – световой поток, падающий на условную поверхность, лм;

$N$  – число источников света в помещении;

$\Phi_l$  – световой поток одной лампы, лм;

$\eta$  — коэффициент использования осветительной установки.

Расчетные формулы этого метода имеют следующий вид:

1. Производственные помещения с воздушной средой, содержащей в рабочей зоне:

а) свыше 5 мг/м<sup>3</sup> пыли, дыма, копоти

б) от 1 мг/м<sup>3</sup> до 5 мг/м<sup>3</sup> пыли, дыма, копоти

в) менее 1 мг/м<sup>3</sup> пыли, дыма, копоти

г) значительная концентрации паров, кислот, щелочей, газов, способных при соприкосновении с влагой образовывать слабые растворы кислот, щелочей, а также обладающих большой коррозивирующей способностью

1. Помещения общественных и жилых зданий

2. Территории:

а) металлургических, химических, горнодобывающих предприятий, шахт, рудников;

б) промышленных предприятий (кроме указанных в «а») и общественных зданий

## **Тема: Выбор сечения кабеля и провода**

**Сечение проводов и кабелей** определяют, исходя из допустимого нагрева с учетом нормального и аварийного режимов, а также неравномерного распределения токов между отдельными линиями, поскольку нагрев изменяет физические свойства проводника, повышает его сопротивление, увеличивает бесполезный расход электрической энергии на нагрев токопроводящих частей и сокращает срок службы изоляции. Чрезмерный нагрев опасен для изоляции и контактных соединений и может привести к пожару и взрыву.

### **Выбор сечения кабеля и провода по нагреву**

Выбор сечения из условий допустимого нагрева сводится к пользованию соответствующими таблицами длительно допустимых токовых нагрузок  $I_d$  при которых токопроводящие жилы нагреваются до предельно допустимой температуры, установленной практикой так, чтобы

предупредить преждевременный износ изоляции, гарантировать надежный контакт в местах соединения проводников и устранить различные аварийные ситуации, что наблюдается при  $I_d \geq I_p$ ,  $I_p$  - расчетный ток нагрузки.

Периодические нагрузки повторно-кратковременного режима при выборе сечения кабеля пересчитывают на приведенный длительный ток

$$I_p = I_{пв} \cdot \frac{\sqrt{ПВ}}{0,875}$$

где  $I_{пв}$  - ток повторно-кратковременного режима приемника с продолжительностью включения ПВ.



При выборе сечения проводов и кабелей следует иметь в виду, что при одинаковой температуре нагрева допустимая плотность тока токопроводящих жил большего сечения должна быть меньше, так как увеличение сечения их происходит в большей степени, чем растет охлаждающая поверхность (смотрите рис. 1). По этой причине часто с целью экономии цветных металлов вместо одного кабеля большего сечения выбирают два или несколько кабелей меньшего сечения.

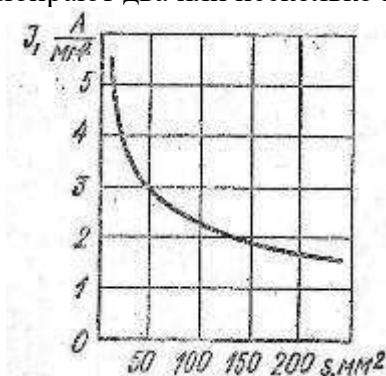


Рис 1. График зависимости допустимой плотности тока от сечения медных жил открыто проложенного трехжильного кабеля на напряжение 6 кВ с бумажной пропитанной изоляцией, нагретых током до температуры  $+65^\circ\text{C}$  при температуре воздуха  $+25^\circ\text{C}$ .

При окончательном **выборе сечения проводов и кабелей из условия допустимого нагрева** по соответствующим таблицам необходимо учитывать не только **расчетный ток линии, но и способ прокладки ее, материал проводников и температуру окружающей среды.**

Кабельные линии на напряжение выше 1000 В, выбранные по условиям допустимого нагрева длительным током, проверяют еще на нагрев токами короткого замыкания. В случае превышения температуры медных и алюминиевых жил кабелей с бумажной пропитанной изоляцией напряжением до 10 кВ свыше  $200^\circ\text{C}$ , а кабелей на напряжения 35 - 220 кВ свыше  $125^\circ\text{C}$  сечение их соответственно увеличивают.

Сечение жил проводов и кабелей сетей внутреннего электроснабжения напряжением до 1000 В согласуют с коммутационными возможностями аппаратов защиты линий - плавких предохранителей и автоматических выключателей - так, чтобы оправдывалось неравенство  $I_d / I_z \leq k_z$ , где  $k_z$  - кратность допустимого длительного тока проводника по отношению к номинальному току или току срабатывания аппарата защиты  $I_z$  (из ПУЭ). Несоблюдение приведенного неравенства вынуждает выбранное сечение жил соответственно увеличить.

**Выбор сечения кабелей и проводов по потере напряжения**

Сечение кабелей и проводов, выбранное из условий нагрева и согласованное о коммутационными возможностями аппаратов защиты, нужно проверять на **относительную линейную потерю напряжения**.

$$\Delta U = \frac{U - U_{\text{ном}}}{U_{\text{ном}}} \cdot 100$$

где  $U$  — напряжение источника электрической энергии,  $U_{\text{ном}}$  - напряжение в месте присоединения приемника.

Допустимое отклонение напряжения на зажимах двигателей от номинального не должно превышать  $\pm 5\%$ , а в отдельных случаях оно может достигать  $+10\%$ .

В осветительных сетях снижение напряжения у наиболее удаленных ламп внутреннего рабочего освещения и прожекторных установок наружного освещения не должно превышать  $2,5\%$  номинального напряжения ламп, у ламп наружного и аварийного освещения —  $5\%$ , а в сетях напряжением  $12..42\text{ В}$  —  $10\%$ . Больше снижение напряжения приводит к существенному уменьшению освещенности рабочих мест, вызывает снижение производительности труда и может привести к условиям, при которых зажигание газоразрядных ламп не гарантировано. Наибольшее напряжение на лампах, как правило, не должно превышать  $105\%$  его номинального значения.

Повышение напряжения сетей внутреннего электроснабжения выше предусмотренного нормами не допустимо, так как оно приводит к существенному увеличению расхода электрической энергии, сокращению срока службы силового и осветительного электрооборудования, а иногда к снижению качества выпускаемой продукции.

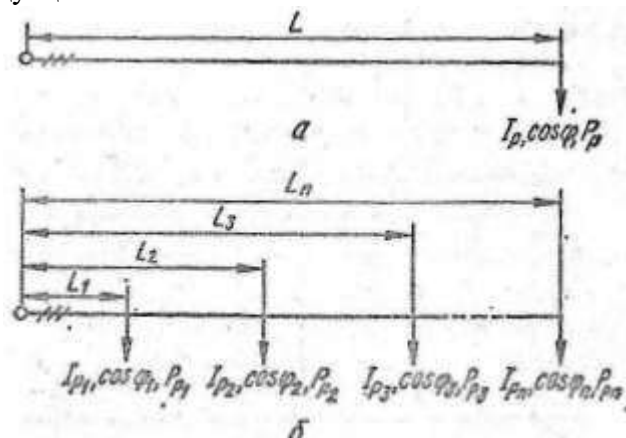


Рис. 2. Расчет потери напряжения в трехфазной трехпроводной линии при выборе сечения кабелей и проводов: а - с одной нагрузкой на конце линии, б - с несколькими распределенными нагрузками.

Проверку сечения проводников трехфазной трехпроводной линии с одной нагрузкой в конце ее (рис. 2, а), характеризуемой расчетным током  $I_p$  и коэффициентом мощности  $\cos \phi$  на относительную линейную потерю напряжения, выполняют так:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_{\text{ном}}} \cdot (R_0 \cdot \cos \phi + X_0 \cdot \sin \phi) \cdot I_p \cdot L = \frac{10^5}{U_{\text{ном}}^2} \cdot (R_0 + X_0 \cdot \tan \phi) \cdot P_p \cdot L$$

где  $U_{\text{ном}}$  — номинальное линейное напряжение сети, В,  $R_0$  и  $X_0$  — соответственно активное и индуктивное сопротивление одного километра линии, выбираемое из справочных таблиц, Ом / км,  $P_p$  — расчетная активная мощность нагрузки, кВт,  $L$  — длина линии, км.

Для неразветвленной магистральной трехфазной трехпроводной линии постоянного сечения, несущей распределенные вдоль нее нагрузки с расчетными токами  $I_{p1}, I_{p2}, \dots, I_p$  и соответствующими коэффициентами мощности  $\cos \phi_1, \cos \phi_2, \dots, \cos \phi$ , удаленными от источника питания на расстояния  $L_1, L_2, \dots, L_n$  (рис. 2, б), относительная линейная потеря напряжения до наиболее удаленного приемника:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot 100}{U_{\text{ном}}} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} (R_0 \cdot \cos \phi_i + X_0 \cdot \sin \phi_i) \cdot I_{pi} \cdot L_i = \frac{10^5}{U_{\text{ном}}^2} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} (R_0 + X_0 \cdot \tan \phi_i) \cdot P_{pi} \cdot L_i$$

где  $P_{pi}$  активная мощность — расчетная  $i$ -й нагрузки, удаленной от источника питания на расстояние  $L$ .

Если расчетная относительная потеря напряжения  $dU$  получится выше допустимой нормами, приходится выбранное сечение увеличить с тем, чтобы обеспечить нормируемое значение этой величины.

## **Защита осветительной сети и выбор аппаратов защиты**

Все осветительные сети должны иметь защиту от токов короткого замыкания, а в некоторых случаях также от перегрузки.

Защиту от перегрузки должны иметь:

- сети внутреннего освещения, выполненные открыто проложенными проводами с горючей наружной оболочкой или изоляцией;
- осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников (утюги, чайники, плитки, комнатные холодильники, пылесосы, стиральные и швейные машины и т.п.), при любых видах проводов, кабелей и способах проводки;
- сети во взрывоопасных и пожароопасных зонах при любых видах проводов, кабелей и способах проводки.

**Защита осветительных сетей осуществляется аппаратами защиты — предохранителями и автоматическими выключателями (автоматами), отключающими защищаемую электрическую сеть при ненормальных режимах.** Для защиты осветительных сетей наиболее распространены автоматы. Одним из преимуществ автоматов перед предохранителями является возможность их использования не только для защиты, но и для отключения.

Предохранители или автоматы следует устанавливать во всех местах сети, где сечение провода по направлению к местам потребления энергии уменьшается. Однако установка аппаратов защиты не требуется, если предыдущий аппарат защищает провода меньшего сечения. Естественно, что аппараты защиты должны быть установлены в начале всех головных участков сети.

При выполнении ответвлений к щиткам от питающей сети аппараты защиты могут не устанавливаться при длине ответвления до 1 м. Допускается осуществлять ответвления к щиткам с установкой аппаратов защиты на расстоянии до 30 м от места ответвления, если провода при прокладке в стальных трубах будут иметь пропускную способность не менее 10 %, а при открытой прокладке — не менее 50 % пропускной способности питающей линии. Такое отступление от общего правила, в частности, имеет в виду ответвления от питающих линий, прокладываемых в цехе на большой высоте, где обслуживание аппаратов защиты весьма затруднено.

**Независимо от общих требований для повышения надежности и удобства эксплуатации осветительных установок защитные аппараты целесообразно устанавливать:**

1. в местах разветвления питающей сети более чем на три направления;
2. в начале питающих стояков, обслуживающих три и более щитка;
3. на вводах в здание;
4. в начале ответвлений от основной линии системы блока трансформатор — магистраль;
5. в установках наружного освещения при ответвлении к каждому светильнику;
6. в установках местного освещения на низшей стороне понижающих трансформаторов.

Плавкие предохранители по сравнению с автоматами в силу их простоты и малой стоимости пока имеют преимущественное распространение. Плавкий предохранитель состоит из корпуса той или иной конструкции и заключенной в нем плавкой вставки. Плавкая вставка изготавливается из легко плавящегося проводника, сильно нагревающегося, а затем плавящегося при прохождении по нему тока свыше номинального. Корпус предохранителя допускает установку в нем серии плавких вставок на определенный диапазон токов. Таким образом, представляется возможным подобрать соответствующую конкретному случаю плавкую вставку, применяя один или несколько типов предохранителей.

**В осветительных сетях наибольшее применение получили следующие предохранители:**

- пробочные типа Н;
- трубчатые типы ПР.

Применяемые типы предохранителей и значения номинальных токов плавких вставок к ним приведены в табл. 1.

Пробочные предохранители Н-10 имеют малую резьбу Е14 и применяются только для вспомогательных цепей (например, цепи сигнализации).

Малая механическая прочность не позволяет применять их в собственно осветительных сетях. Предохранители Н-20 имеют нормальную резьбу Е27 и получили преимущественное распространение для осветительных групповых сетей.

Предохранители Н-20 выпускаются с квадратным основанием размером 55 x 55 мм, высотой 60 мм и прямоугольным — размером 90 x 50 мм, высотой 55 мм. К первым провода присоединяются сзади, а вторые — предохранители прямоугольной формы, имеют два исполнения: для присоединения проводов спереди и для присоединения сзади к проходным шпилькам.

Предохранители типа Н-60, имеющие большую резьбу Е33, применяются только в питающих сетях и то только на тех объектах, где отсутствует постоянный обслуживающий персонал. Во всех других случаях в питающей сети следует рекомендовать установку трубчатых предохранителей типа ПР. Такое ограничение для предохранителей типа Н обусловливается сравнительно небольшими, допускаемыми для них значениями предельно отключаемых токов.

Таблица 1. Номинальные токи предохранителей Н и ПР и плавких вставок к ним

Тип предохранителя	Номинальный ток, А		Предельно отключаемый ток, А
	предохранителя	плавких вставок к предохранителю	
Н-10	10	4; 6; 10	Ориентировочно 1000
Н-20	20	6; 10; 15; 20	
Н-60	60	10; 15; 20; 25; 35; 60	
ПР	15	6; 10; 15	1200
	60	15; 20; 25; 35; 60	3500
	100	60; 80; 100	10000
	200	100; 125; 160; 200	10000

Предохранители типа ПР в отличие от предохранителей типа Н имеют открытые токоведущие части, ввиду чего для их обслуживания допускается лишь специальный персонал. К преимуществам предохранителей типа ПР следует отнести большой предельно отключаемый ток. Основная область их применения — защита отдельных участков питающей сети.

Чем больше ток, расплавляющий плавкую вставку, превышает номинальный ток вставки, тем меньше будет время ее расплавления. Однако, плавкие вставки предохранителей не перегорают мгновенно при протекании по ним тока больше номинального. Практически мгновенное (несколько секунд) перегорание плавких вставок гарантируется лишь при токе, превышающем номинальный в 2,5 раза.

Плавкие вставки выдерживают при испытаниях полуторный ток не менее 1 ч, а ток, превышающий номинальный на 20 — 30 %, — неопределенно продолжительное время. В условиях эксплуатации материал плавких вставок окисляется и стареет и нередко происходит перегорание при токе, близком к номинальному. Поэтому во избежание ложных отключений предохранители не должны нагреваться током выше номинального.

Действующие электротехнические правила требуют, чтобы номинальный ток плавкой вставки был не меньше рабочего тока нагрузки, т.е.

$$I_{\text{в}} \geq I_{\text{раб}}$$

В последнее время наметилась тенденция к замене предохранителей установочными автоматами. Успехи техники позволили конструировать автоматы с хорошими электрическими данными (большие предельно отключаемые токи — до 10000 А, быстрое отключение при коротких замыканиях) и с конструктивными размерами, чрезвычайно удобными для установки на щитках.



Особенностями конструкции автоматов являются возможность совмещения в автомате функций предохранителя и выключателя, гарантированная безопасность их обслуживания и удобство комплектации в малогабаритные надежные щитки. Автоматы изготавливаются с разделителями, содержащими только тепловое или тепловое и электромагнитное реле.

Тепловое реле работает в области перегрузок и отключает автомат через отрезки времени, находящиеся в обратной зависимости от величины перегрузки, а электромагнитное реле отключает автомат мгновенно при коротких замыканиях.

Условия защиты проводов и кабелей установочными автоматами близки к условиям защиты предохранителями. Поэтому ток уставки установочного автомата должен быть не меньше рабочего тока нагрузки, т.е.

$$I_a \geq I_{\text{раб}}$$

В расчетах при пользовании этих формул не следует выбирать номинальные токи плавких вставок предохранителей или токи уставок автоматов излишне большими. Как правило, номинальный ток плавкой вставки предохранителя или ток уставки установочного автомата надо принимать равным или ближайшим к большим значениям выражений, стоящих в правых частях соотношений соответственно.

Выбор уставок автоматов без выдержки времени производится непосредственно по таблицам, предложенным ПУЭ.

Сечения проводов и кабелей должны быть такими, чтобы при данном рабочем токе и выбранной плавкой вставке температура проводников в эксплуатации не достигала значений, при которых нарушается механическая прочность провода, возникает опасность пожара или нарушается изоляция проводов и кабелей. Поэтому во всех случаях длительно допустимый ток провода  $I_{\text{доп}}$  должен быть не меньше рабочего тока, определяемого расчетной нагрузкой, т.е.

$$I_{\text{доп}} > I_{\text{раб}}$$

Кроме того, сечения проводов и кабелей должны удовлетворять соотношениям

$$I_{\text{доп}} \geq \beta \cdot I_{\text{в}}$$

$$I_{\text{доп}} \geq \beta \cdot I_{\text{а}}$$

где  $\beta$  — коэффициент, обуславливающий запас в сечении проводов для помещений, где электропроводка может вносить элементы повышенной пожарной опасности.

При защите предохранителями в производственных помещениях промышленных предприятий  $\beta = 1$ , в жилых домах, бытовых и общественных помещениях, огнеопасных складских и служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий  $\beta = 1,25$ . При защите установочными автоматами во всех случаях  $\beta = 1$ .

## Практическая работа №17 Расчет осветительных сетей

Цель работы:

1. Изучение методики расчёта и выбора проводов электрического освещения.
2. Получение практических навыков.

Порядок проведения работы:

1. Изучить методику расчёта сети электрического освещения и выбора проводов по справочным данным;
2. Получить индивидуальное задание для проведения расчёта;
3. Произвести расчет в соответствии с заданным вариантом.
4. Оформить отчет.
5. Сделать вывод.

Основные положения:

Расчёт сети электроосвещения сводится к выбору сечений и марки проводов на допустимую потерю напряжения и на минимум проводящего материала с проверкой по допустимому нагреву током.

**Потерей напряжения** называется разность между напряжением источника питания и напряжением отдельного электроприемника

При проектировании сети электроосвещения следует руководствоваться следующими основными положениями: от щита низкого напряжения заводской или цеховой подстанции (1) прокладывается самостоятельная четырёхпроводная питающая сеть (2) до распределительного щита (3), от которого через распределительную сеть (4) питаются щитки (5), к которым подключаются отдельные группы светильников через групповую сеть (6). В небольших помещениях возможно совмещение распределительного щита с групповыми щитками. Расчёт сети электрического освещения начинают с разбивки на отдельные участки. При рассмотрении методики расчёта встречается необходимость использования следующих величин:

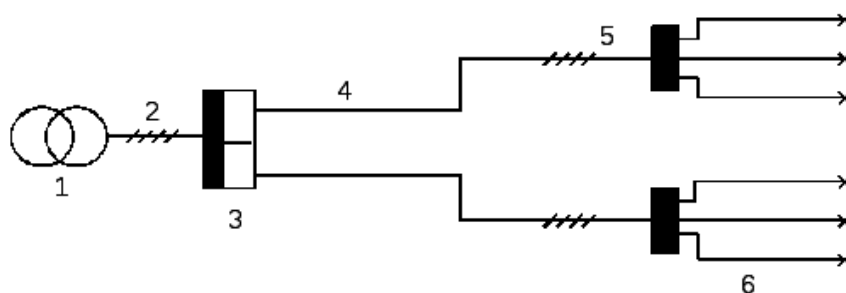


Рисунок 1 - Расчёта сети электрического освещения

1. Момент мощности рассматриваемого участка:

$$M_{\text{прив}i} = \Sigma P_n \cdot l_n + \alpha \cdot m P_n \cdot l_n, \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

где  $P_n$  – мощность трехфазной линии, кВт

$l_n$  - длина участка трехфазной линии; м;

$P_n'$  - мощность ответвления от трехфазной линии, м;

$l_n'$  – длина участка ответвления от трехфазной линии, м;

$m$  - количество ответвлений с одинаковой длиной и одинаковой мощностью

$\alpha$  – коэффициент приведенной мощности, зависящий от типа линий и ответвления, выбирается из (табл 3.)

1. Сечение проводов заданного участка :

$$F_i = \frac{M_i}{C \Delta U_{\%i}}, \text{ мм}^2$$

где  $C$  – коэффициент, зависящий от напряжения линии и удельной проводимости металла жил, значения  $C$  в (табл. 2),

$\Delta U$ - допустимые потери напряжения на трансформаторе, выбирается из (табл. 1), в зависимости от коэффициента загрузки трансформатора  $\beta$ , коэффициента мощности  $\cos\phi$ , мощности трансформатора  $S$  (ВА).

По справочным данным (табл. 4) выбирается стандартное сечение провода.

$$F_{\text{стан}} \geq F_{\text{расч.}}$$

1. Проверяется фактическая потеря напряжения на данном участке:

$$U_{\%i} = \frac{M_i}{C F_{cm}}, \%$$

Сечение проводов групповой сети, для которой оставшаяся потеря напряжения, определяется как разность общей допустимой потери напряжения за минусом потерь напряжений на предыдущих участках:

$$F_r = \frac{P_r l_r}{C \Delta U_{\%r}}, \text{ мм}^2$$



### Пример:

Рассчитать сеть электрического освещения на минимум проводящего материала при подключении сети к трансформатору 160 кВА по схеме, приведенной на рисунке 2 (напряжение сети 380/220 В; нагрузки на групповых линиях по 1,2 кВт, а всего на шести группах 7,2 кВт; длины участков указаны на схеме). В соответствии с производственными условиями сеть электроосвещения выполняется медными проводами при допустимой потере напряжения в питающей и распределительной сети 5,5%.

Решение.

1. Определяем сечение проводов участка I – II (ТП - РЩ).

В начале определяем приведенный расчётный момент нагрузки с учётом коэффициента приведения от четырёхпроводной линии на однофазное ответвление к лампам ( $\alpha = 1,85$  по справочнику [Л. 13])

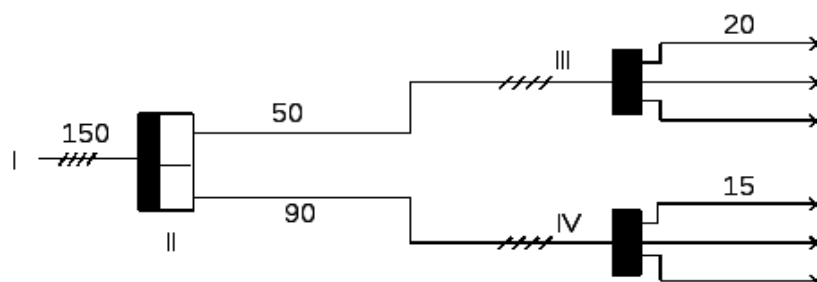


Рисунок 2 - Пример расчёта сети электрического освещения

$$M_{I-II} = \sum M + \sum \alpha m = 7,2 * 150 + 3,6 * 50 + 3,6 * 90 + 1,85(3 * 24 + 3 * 18) = 1817 \text{ кВт*м.}$$

Определяем сечение участка I – II:

$$F_{I-II} = M_{I-II} / C * \Delta U = 1817 / 72 * 5,5 = 4,7 \text{ мм}^2$$

(коэффициент  $C = 72$  по табл.2).

Принимаем стандартное сечение  $6 \text{ мм}^2$  и проверяем фактическую потерю напряжения на данном участке

$$\Delta U = 7,2 * 150 / 72 * 6 = 2,3\%$$

1. Определяем сечение проводов участка II – IV (наиболее удалённого).

Приведенный расчётный момент

$$M_{II-IV} = 3,6 * 90 + 1,85 * 3 * 18 = 424 \text{ кВт*м.}$$

Располагаемая потеря напряжения на участке

$$F_{II-IV} = 424 / 72 * 3,2 = 1,7 \text{ мм}^2.$$

Принимаем стандартное сечение проводов  $2,5 \text{ мм}^2$  и проверяем потерю напряжения на участке II – IV

$$\Delta U = 3,6 * 90 / 72 * 2,5 = 1,7\%$$

1. Определяем сечение проводов групповой сети, для которой располагаемая (оставшаяся) потеря напряжения

$$\Delta U = 5,5 - 2,3 - 1,7 = 1,5\%$$

Тогда сечение групповой сети

$$F = 1,2 * 15 / 12,8 * 1,5 = 1 \text{ мм}^2$$

( $C = 12$  по табл.2).

Выбираем  $S_{\text{стан.}} = 2,5 \text{ мм}^2$ .

При расчёте приведённого момента групповой сети учитывались длины проводов к лампам.

По ПУЭ для осветительной сети применяется медь, с минимальным сечением  $S = 2,5 \text{ мм}^2$ .

Тогда для выполнения условия селективности необходимо увеличить сечение проводов на участке  $S_{II-IV}$  на одну ступень выше  $S_{\text{стан.}} = 4 \text{ мм}^2$

## Тема: Проектирование осветительной установки

Приступая к проектированию освещения строительной площадки, в первую очередь надо изучить проект постоянного освещения территории объекта и определить возможность его применения в том или ином объеме. В отдельных случаях, когда освещенность от прожекторов или светильников, установленных на мачтах постоянного назначения, окажется недостаточной, нужно предусмотреть временное местное освещение — установку единичных осветительных приборов. Лишь тогда, когда будет установлена невозможность использования проекта постоянного освещения территории объекта, освещение строительной площадки следует проектировать по временной схеме, с максимальным использованием инвентарных осветительных устройств. При проектировании надо руководствоваться соответствующими СНиПами, ГОСТ 12.1.013—78 и ГОСТ 21.608—84 ПУЭ [33] и другими нормативными документами. Освещение обычно осуществляют комбинированным, т. е. сочетая общее и локализованное освещение.

Проектирование осветительной установки сводится к обеспечению требуемых световых параметров на рабочих местах, выбору системы освещения, расчету источников света, их мощности и количества, определению высоты установки их над территорией, мест расположения осветительных мачт или отдельных прожекторов, углов их наклона в вертикальной плоскости, углов поворота в горизонтальной плоскости, расчету осветительных сетей (определению сечений и марок кабельной продукции).

На строительных площадках прожекторы рекомендуется дополнять вверху козырьками для более рационального использования светового потока.

Выбор светильников или прожекторов должен производиться исходя из стабильности светотехнических характеристик в данных условиях среды, энергетической экономичности источника света, удобства обслуживания и безопасности.

Таблица 9. Методика упрощенного расчета освещения территории

Участки строительной площадки	Освещаемая площадь, м <sup>2</sup>	Удельная мощность $P_{уд}$ , Вт/м <sup>2</sup>	Потребная мощность без учета $K_c$ участка, кВт
Общее освещение площадки	$S_1$	2	$\frac{2S_1}{1000} = P_1$
Освещение мест производства земляных работ	$S_2$	5	$\frac{5S_2}{1000} = P_2$
Участок монтажа фундаментов	$S_3$	10	$\frac{10S_3}{1000} = P_3$
Участок монтажа строительных конструкций	$S_4$	30	$\frac{30S_4}{1000} = P_4$

$$\Sigma P_{осв} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4; P' = \Sigma P_{осв} \cdot 0,8$$

Удельная мощность

Коэффициент спроса принят равным 0,8

$$P_{уд} = 0,2 E_{мин} k_c$$

Выбирать светильники следует начиная с простых, а затем переходить к сложным. Прожекторная мачта со всеми устанавливаемыми на ней прожекторами рассматривается как единый светильник. Для расчета освещения можно пользоваться методом светового потока или методом удельной мощности.

Площадь территории площадки 12 930 м<sup>2</sup>. Находим удельную мощность по формуле 4  $P_{уд} = (0,16 + 0,25) E_{мин} k_c$ .

Принимая по нормам освещенность  $E_{мин} = 2$  лк, коэффициент запаса (для наружного освещения)  $k = 1,5$ , получим:

$$P_{уд} = 0,2 \cdot 2 \cdot 1,5 = 0,6 \text{ Вт/м}^2$$

Определяем количество прожекторов для двух вариантов: с обычными лампами накаливания мощностью 1000 Вт и с ртутными ДРЛ мощностью 700 Вт: при лампах накаливания мощностью 1000 Вт их число

$$n = \frac{P_{уд} S}{P_{л}} = \frac{0,6 \cdot 12930}{1000} = 8;$$

при лампах ДРЛ мощностью 700 Вт

$$\pi = \frac{0,6 \cdot 12930}{700} = 11.$$

Так как лампы ДРЛ-700 имеют световой поток 38 500 лм, т. е. в два раза больше, чем лампы накаливания (18 600 лм), принимаем к установке шесть прожекторов ПЗС-45 с лампами ДРЛ-700, размещая их в центре площадки на одной железобетонной мачте типа ПМЖ-19,3. При этом световой поток превысит расчетный на 82200 лм, а потребляемая мощность снизится на 3800 Вт.



Рис. 10. Инвентарная бесфундаментная прожекторная мачта высотой 10 м на строительстве котельной

Рис. 11. Инвентарная бесфундаментная консольная прожекторная мачта высотой 18 м на строительстве жилого дома

Прожекторы рекомендуется размещать в первую очередь на крышах соседних сооружений, возвышенностях, и только при невозможности этого использовать специальные мачты. На строительных площадках можно применять мачты различных конструкций и различной высоты в зависимости от размещения на них осветительных приборов. Преимущественно следует использовать мачты, предусмотренные проектами постоянного освещения объектов, устанавливая их уже с началом строительства. Мачты металлические и железобетонные, у которых базой является центрифугированная опора сети электрифицированного железнодорожного транспорта или опора линий электропередачи, а также деревянные высотой 15 м и перевозимые металлические бесфундаментные, в числе которых телескопические.

На рис. 10 и 11 изображены используемые строительными организациями инвентарные обрабатываемые осветительные мачты.

В соответствии с разработанными типовыми решениями по освещению строительных площадок рекомендуется при их ширине до 150 м применять прожекторы с лампами ДРЛ, при ширине до 300 м — прожекторы с лампами накаливания и с йодным циклом (в первую очередь — последние), для более широких площадок — светильники с ксеноновыми трубчатыми лампами.

При наличии на строительной площадке башенного крана целесообразно размещать на нем осветительные приборы. В этом случае освещаются рабочие места стропалей и сигнальщиков, приемщика груза или монтажника, производственная зона, обслуживаемая краном, подкрановый путь, участок складирования строительных изделий, конструкций, материалов и различного оборудования, т. е. пространство, в зоне которого перемещается стрела крана с грузом. При этом освещение не должно слепить крановщика.

К осветительным приборам для данного варианта освещения относятся софиты универсального исполнения с обычными лампами накаливания; их можно подвешивать на башенных кранах. Примером софита является корытообразный отражатель из листовой стали, покрытый изнутри белой эмалевой краской; в нем расположены пять патронов для ламп накаливания мощностью по 200 Вт и штепсельный разъем; предусмотренное простейшее крепление позволяет быстро и надежно подвесить софит на башне крана (рис. 12).

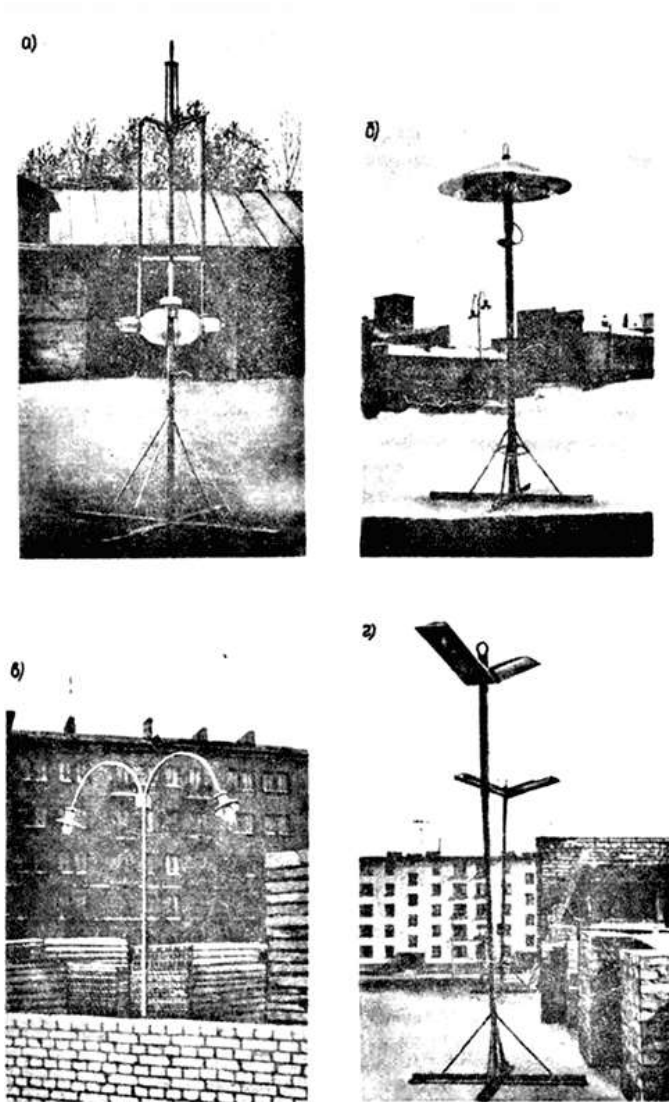


Рис. 13. Конструкции стоек освещения рабочих мест при кирпичной кладке: а — стойка освещения рабочих мест с заводской арматурой в транспортном положении; б — стойка с отражателем (подобие торшера); в — стойка с заводской арматурой наружного освещения; г — стойка с корытообразными отражателями

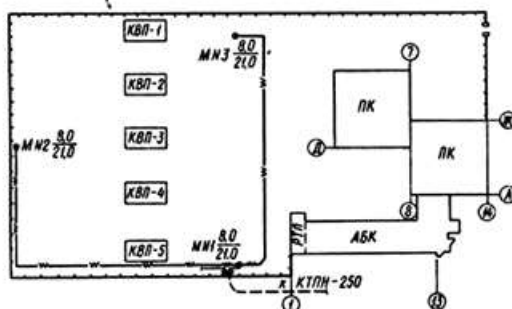
Прожектор, подвешиваемый на конце стрелы башенного крана, направляет световой поток книзу, что улучшает видимость крановщика, смягчает границы световых потоков, увеличивая пространственную освещенность в зоне движения стрелы и горизонтальную освещенность на местах строповки и расстроповки грузов. Этот прожектор, кроме того, смягчает тени на рабочих местах стропалы и монтажников. Вопрос об оптимальном использовании таких прожекторов должен быть еще всесторонне изучен.

При кирпичной кладке зданий следует предусматривать инвентарные стойки освещения рабочих мест с лампами накаливания напряжением 220 В, которые должны присоединяться к электросети шланговым трехжильным проводом (третья жила предназначена для зануления, для чего на стойке специально предусмотрен болт). Изготавливать стойки рекомендуется в заводских условиях или на производственных базах строительных трестов, предварительно согласовав их конструкцию. На рис. 13 /Изображены конструкции стоек, применяемых для освещения рабочих мест. Для освещения мест работы самоходных строительных машин надо пользоваться осветительными приборами, которыми оснащены машины. Для стационарного освещения эти приборы не следует использовать, так как они ослепляют работающих. Освещение внутри строящихся зданий надо осуществлять с помощью инвентарных электростояков заводского изготовления (рис. 14), удлинителей с шланговым проводом длиной до 15 м, переносных напольных и ручных светильников.

Рис. 15. Мачта со светильником УОЖИ-10000 на строительстве автотранспортного предприятия



Рис. 16. План расположения осветительных мачт и кабельных сетей на строительстве АТП



Фотоэлектронные или часовые автоматы управления осветительными установками не только упрощают их эксплуатацию, но и сокращают время их действия, а следовательно способствуют экономии энергии.

Рассмотрение поступающей в строительные тресты проектно-сметной документации по постоянному освещению территорий производственных предприятий показывает, что в ряде случаев можно выполнить работы по их освещению со значительным опережением других строительных работ и уже к началу общестроительных работ обеспечить площадку освещением. Подобным примером может служить предложенная автором организация освещения на строительстве автотранспортного предприятия в Ленинграде. Уже с началом строительных работ на площадке были установлены три железобетонные мачты типа ПМЖ-19,5 высотой 22 м (разработана СЗО Энергосеть- проекта) и расположены на них светильники типа УОЖИ-10 000 с лампами КГ220-10000. Данная организация работ позволила исключить материальные и трудовые затраты строительного треста на временное освещение. На рис. показан план расположения мачт и кабельных сетей на строительстве автотранспортного предприятия.

Оценивая принятый вариант осветительной установки площадки, следует определять, помимо светотехнических показателей, экономические, к которым относятся материальные и трудовые затраты на монтаж, а также затраты на ее эксплуатацию.

Качество осветительной установки определяется после ее осмотра специалистом, включения в темное время суток и опросов работающих на освещаемой территории. Более полная оценка может быть получена после измерения освещенности на разных участках территории и рабочих мест. Рациональное освещение, оказывающее большое влияние на производительность труда, является весьма важным фактором организации строительного производства и его экономики. Однако вопрос об освещении строительных площадок еще недостаточно изучен и на сегодня остается в стадии проблемы.

## Тема: Расчет прожекторного освещения

*Цель расчета* – определить количество прожекторов, необходимых для создания заданной освещенности, высоту их установки над освещаемой поверхностью, углы наклона в вертикальной и разворот в горизонтальной плоскости.

*Порядок выполнения работы*

Расчет прожекторного освещения производится на основе нормируемой освещенности в горизонтальной плоскости.

1. Записать цель работы, законспектировать теоретические положения, выписать данные по своему варианту табл. 5.
2. Выписать из табл. 9.3 марку лампы и ее характеристики, в зависимости от выбранного прожектора. Тип прожектора зависит от характера работ, назначения территории освещения (*описание прожекторов* см. табл. 3).
3. Коэффициент запаса ( $k$ ) принять равным, если прожектор с ЛН, ГЛН то  $k=1,5$ , если прожектор с ДРЛ, ДРИ то  $k=1,7$  [2].

4. Определить необходимое число прожекторов ( $N$ , шт.) по формуле [3]

$$N = m \times E_n \times k \times S P_l, \quad (9.1)$$

где  $m$  – коэффициент, учитывающий световую отдачу источников света, КПД прожекторов и коэффициент использования светового потока, принимается по табл. 9.1 [2];  $E_n$  – нормируемая освещенность, лк, принимае по табл. 9.2 [2];  $k$  – коэффициент запаса,  $S$  – освещаемая площадь, м<sup>2</sup>;  $P_l$  – мощность лампы, Вт (табл. 9.3).

5. Определить минимальную высоту установки прожекторов над ос- вещаемой поверхностью ( $h$ ), м по формуле [1]

Выписать из табл. 9.4 минимально допустимую высоту установки прожектора, для указанного типа прожектора. Во избежание слепящего действия прожекторов принимают к установке наибольшую высоту про- жектора из двух определенных. Если рассчитанная по формуле (9.2) высо- та больше, чем высота, указанная в табл. 9.4, то к установке принимаем расчетную высоту. Если, рассчитанная по формуле (9.2) высота меньше, чем высота, указанная в табл. 9.4, то к установке принимаем табличное значение высоты. Если в табл. 9.4 нет параметров для рассчитанного про- жектора, то к установке принимаем расчетное значение высоты.

6. Определить оптимальный угол наклона прожектора к горизон- тальной плоскости  $\theta$ , град где  $L$  – длина строительной площадки или рабочей зоны. Если ширина строительной площадки или рабочей зоны  $>75$  м, то опоры устанавливаются по периметру,  $a$  – расстояние между опорами, применяется  $(5, 7) \times h$ , м. Определить количество прожекторов, устанавливаемых на каждой опоре по формуле  
Сделать выводы.

## Практическая работа №19 Выбор источника света и светильников

**Цель работы:** изучить светотехнические характеристики источников света; исследовать зависимость светотехнических величин (яркости, световой отдачи и удельного расхода мощности) лампы накаливания от потребляемой мощности фотоэлектрическим методом; получить практические навыки визуальной фотометрии; сравнить световые потоки источников света нового поколения методом визуальной фотометрии.

**Оборудование:** мерная линейка с ценой деления 1 мм; люксметр марки Ю-116, лабораторный автотрансформатор ЛАТР, вольтметр переменного тока с пределами 50-250 В (цена деления 10 В), миллиамперметр с пределами 100 – 500 мА (цена деления 10 мА); эталонная лампа накаливания мощностью 40 Вт; набор исследуемых ламп нового поколения различных типов.

### Общие сведения

Солнечный свет играет большую роль в жизни человека. Однако помимо солнечного света человек широко пользуется и искусственными источниками, чтобы сделать окружающую среду более пригодной для работы и отдыха. Тысячи различных типов ламп и систем освещения дают людям свет и создают новую, более красивую среду существования.

Правильно спроектированное и подобранное освещение обеспечивает комфорт и настроение, повышает работоспособность, способствует сохранению здоровья. Подбор качественного

освещения - это не только достижение достаточной освещенности, но и надежность, безопасность, экономичность.

В современном освещении в основном используют 5 видов искусственных источников света: лампы накаливания, галогенные лампы накаливания, люминесцентные лампы, газоразрядные лампы и светодиоды.

Преимуществом **ламп накаливания (ЛН)** является их привычность, распространенность и дешевизна. Но, к сожалению, они не экономичны и сильно нагреваются. Обычная лампа накаливания 92 - 94% электроэнергии преобразует в тепло и лишь 6 - 8% - в свет. Еще одним недостатком ЛН является то, что спектр ее отличается от дневного света преобладанием желтого и красного излучения и полным отсутствием ультрафиолета. Срок службы ЛН очень мал - не более 1 000 часов. Высокий технический уровень освещения с этими лампами невозможен. Несмотря на то, что ЛН является наиболее распространенным источником света, последнее время она постепенно уступает место лампам других видов. Последнее время стали широко использоваться ЛН с внутренним зеркальным покрытием, увеличивающим светоотдачу. Зеркальные лампы, излучающие направленный свет, являются самым простым средством создания световых акцентов. Они также рассчитаны на применение во встраиваемых, подвесных, потолочных и настенных светильниках.

Свет **галогенных ламп накаливания (ГЛН)** - от широкого рассеянного, мягкого, не дающего тени, до резко ограниченного узкого пучка - дает возможность изыскивать бесчисленное количество вариантов освещения. Миниатюрная колбочка ГЛН выполнена не из обычного, а из тугоплавкого кварцевого стекла. Условия работы нити накала ГЛН можно назвать "реабилитационными". Испаряющиеся с ее поверхности частицы вольфрама соединяются с частицами галогена, образуя химические комплексы. Отразившись от горячих стенок кварцевой колбочки эти комплексы конвективно движутся назад к нити накала. Термическое разложение комплексов возвращает частицы вольфрама на поверхность нити. Процесс возврата протекает в динамическом равновесии с процессом испарения.

Галогенные лампы, в отличие от традиционных ламп накаливания, дают свет с более высокой цветовой температурой (около 3000 К). Повышенные значения цветовой температуры нити накала ГЛН обеспечивают сдвиг спектра излучения в коротковолновую область. Максимум излучения ЛН располагается в желто-зеленой области. У ГЛН он сдвинут в зеленую область, где чувствительность человеческого глаза много выше. Иными словами, свет ГЛН наиболее приближен к солнечному свету. Они более светового долговечны, дают больше света при одинаковой мощности и сохраняют постоянную величину потока в течение всего срока эксплуатации. Новое поколение галогенных ламп имеет четкое ограничение пучка,

наличие теплоотражающих покрытий, превосходную передачу цветов. Уровень ультрафиолета, излучаемого галогенными лампами, мал. Так, 8 часов пребывания в офисе, освещенном галогенными лампами, эквивалентны 10 минутам пребывания при солнечном освещении.



В **газоразрядных лампах** излучателем света являются газы или пары натрия, ртути, возникающие под действием проходящего через них электрического тока. Спектр излучения - линейчатый, причем значительная часть (до 30 %) сконцентрирована в видимой области. Свечение газов отличается более высокой экономичностью. Однако спектр газовых источников состоит из отдельных линий и сильно отличается от привычного для человеческого глаза белого света. Если этот фактор играет второстепенную роль, то газосветные источники с успехом заменяют лампы накаливания, например, при освещении магистралей. К серьезным недостаткам газоразрядных ламп следует отнести невозможность регулировки светового потока. Принцип работы газоразрядных ламп следующий. После включения разрядной лампы



ток течет через буферный газ, находящийся в горелке. По мере выделения тепла происходят испарение ртути, натрия или галогенидов, пока давление их паров не стабилизируется и не достигнет значения давления в рабочем состоянии. Это так называемое время разгорания может достигать 1 - 4 минут. Время повторного зажигания в среднем составляет 10 минут.



Такие лампы рекомендуются к использованию для непрерывного освещения в закрытых светильниках

В **люминесцентных лампах** излучателем света являются вещества -люминофоры, свечение которых происходит за счет любого вида энергии, кроме тепловой. Это так называемое «холодное свечение». В бытовых люминесцентных лампах люминофор, нанесенный на внутреннюю поверхность газоразрядной лампы, излучает полосатый спектр под действием ультрафиолетового излучения разряда. Люминофор подбирают таким образом, чтобы его свечение восполняло недостаток газового свечения. В стандартных лампах типа ЛЛ применяют галофосфатный люминофор. В результате получается источник, цвет излучения которого приближается к солнечному. Для люминесцентных ламп характерны стабильность светового потока, улучшенные цветовые характеристики и более высокая световая отдача. Есть лампы с теплым светом, близким к цвету ламп накаливания, а также приглушенный свет с низкой дозой ультрафиолета. Малые габариты (до 0 16 мм) при высоком световом потоке исключительная гибкость дизайна, легкий монтаж светового прибора в модульные системы потолков, малые размеры эффективны при решении вопросов перераспределения светового потока.

Люминесцентные лампы обладают значительно более рассеянным светом, чем «точечные» источники (лампы накаливания, галогенные лампы либо разрядные). Они идеально подходят для освещения открытых пространств, таких как офисные и производственные помещения. Рекомендуется использовать там, где начальные низкие затраты имеют приоритетное значение. Компактные люминесцентные (декоративные) лампы дают больше света практически без нагрева, преобразуя до 25% потребляемой электроэнергии в свет. Срок службы в 15 раз продолжительнее ламп накаливания.

К источникам света новейшего поколения относятся **светодиодные лампы и лазеры** – квантовые генераторы оптического диапазона. В них свет излучают так называемые возбужденные активные среды (газы, кристаллы, растворы), в которых создана инверсная заселенность квантовых энергетических уровней. Существует много способов возбуждения (накачки) активной среды. Например, накачку производят потоком электронов либо ионов, разогнанных в электрическом поле, которое при столкновении с атомами и молекулами возбуждают их. При химической качке используется то, что продуктом некоторых реакций являются молекулы, сразу в возбужденном состоянии. Есть способ «ударной» накачки газовой среды, когда возбуждают один из газов смеси, а его атомы при столкновении передают энергию возбуждения излучающим атомам.

К уникальным свойствам лазерного излучения следует отнести узко направленность, возможность сконцентрировать в кратковременном импульсе огромную энергию, получение излучения различных частот в широком диапазоне. Всё это обусловило широкое научное и техническое применение лазеров.

Наименование	Цена	Срок службы (часы)
Лампа Накаливания 100Вт	600 руб.	1 000
Контактная люминесцентная (энергосберегающая) Лампа 20 Вт=100 Вт	12-18 тыс. руб.	6 000-10 000
Светодиодная 5 Вт=100 Вт	100 тыс. руб.	30 000-50 000

Пока светодиодные технологии слишком дороги, но, как утверждают эксперты, по мере роста производства и развития научной мысли могут быть вполне сопоставимы по цене с люминесцентными. К тому же отпадет необходимость создания индустрии утилизации ламп, содержащих ртуть, и светодиод дает наиболее приближенный к солнечному спектру.



К основным характеристикам источника света относятся:

- электрическая – напряжение (В), потребляемая мощность (Вт);
- световая – световая отдача (лм/Вт), яркость (нит);
- цветовая – спектральный состав, цветовая температура (К) и общий индекс цветопередачи ( $R_{\square}$ );
- экономическая – срок службы (час), стоимость, экологическая безопасность и возможности утилизации.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

**Задание 1.** Определить зависимость силы света, светового потока, световой отдачи и удельного расхода мощности эталонной лампы типа ЛН от потребляемой мощности. При выполнении данного задания используется фотометрический метод измерения освещенности люксметром марки Ю-116, стационарно закрепленном на левом экране скамьи ФС-М. Навыки работы с прибором и методика расчета светотехнических величин освоены при выполнении лабораторной работы 2.1.

1.1 Получить у преподавателя эталонную лампу накаливания, установить в патрон левой каретки, включить блок питания. Регулируя напряжение поворотом ручки трансформатора, установить напряжение 200 В.

1.2 Установить каретку с эталонной лампой на расстояние, соответствующее освещенности 1000 лк. Зафиксировать положение каретки. Измерить расстояние между эталонной лампой и фотодатчиком ( $r$ , м).

1.3 Изменяя напряжение и силу тока, следовательно, изменяя накал лампы, можно изменить все светотехнические величины. Установить напряжение  $U_i$  (В) согласно таблице 1, измерить силу тока  $I_i$  (мА) и освещенность  $E$  (лк).

Потребляемая электрическая мощность  $P$  (Вт) вычисляется как произведение напряжения  $U$  (В) на силу тока  $I$  (А). Сила света  $I$  (кд) вычисляется как произведение освещенности на квадрат расстояния  $r$  (м). Лучистый поток  $\Phi$  (лм) вычисляется как произведение освещенности на площадь освещаемой поверхности фотодатчика ( $S = 30 \text{ см}^2$ ). Формулы для расчетов яркости источника света, световой отдачи и удельного расхода мощности приведены в теоретической части методического указания. Выключить эталонную лампу. Произвести необходимые вычисления.

1.4. Результаты измерений и расчетов представить в форме таблицы.

Таблица 1 Зависимость светотехнических характеристик эталонной лампы от потребляемой мощности ( $r = \dots$ , м)

Измеряемые величины				Расчетные величины				
№	$U_i$ , В	$I_i$ , мА	$E_i$ , лк	$P$ , Вт	$I$ , кд	$\Phi$ , лм	$V$ , нит	$Z$ , лм/Вт
1	200							
2	180							
3	160							
4	120							
5	100							

**Задание 2.** Изучить светотехнические характеристики источника света нового поколения.

2.1. Получить у преподавателя исследуемую лампу со стандартным цоколем. Выписать в таблицу 2 из технических характеристик на исследуемую лампу следующие данные: электрическая мощность, световой поток, цветовая температура, срок службы.

**Задание 3.** Сравнить светотехнические характеристики ламп накаливания и лампы нового поколения.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислить классы источников света и указать их преимущества.
2. Перечислить светотехнические характеристики источников света.
3. Дать определение единицам измерения световых величин (кандела, люмен, люкс, люмен-секунда).
4. Обосновать экономическую целесообразность применения источников света нового поколения.

### Практическая работа №20 Расчёт освещения по методу коэффициента использования и удельной мощности

**Цель:** Научиться выбирать типы ламп и светильников соответствующие своему назначению и нормам освещенности. Рассчитать осветительную сеть.

**Задание:**

По данным таблицы 1 рассчитать освещение объекта по методу коэффициента использования и удельной мощности, приняв соответствующий заданию способ расчета. Выбрать тип и количество осветительных приборов. Рассчитать осветительную сеть. Выбрать провод или кабель для подключения ламп.

Принять напряжение осветительной сети  $U_c=220$  В.

Расстояние до ближайшего распределительного устройства  $L=300$  м.

Таблица 1. Варианты заданий

Вариант	Наименование объект	Размеры объекта
	длина, м ширина, м	высота, м
1	Место разгрузки ж-д составов	250
2	Помещение землесосной установки в районе землесосных зумфов	30
3	Места работы машин на породном отвале	400
4	Машинное отделение	20
5	Ж-д пути в пределах разреза	800
6	Автомобиля в пределах разреза	1000
7	Место работы экскаватора	30
8	Конвейерная галерея	120
9	Помещение на участке для обогрева работающих	12
10	Складские помещения	40
11	Территория участка в районе ведения работ	500
12	Место укладки породы в гидроотвал	100
13	Места производства буровых работ	15
14	Механические мастерские	40
15	Административно-канторские и другие служебные помещения	24
16	Ремонтная площадка экскаватора	150
17	Механические мастерские	50
18	Ж-д пути в пределах разреза	1000
19	Автомобиля в пределах разреза	800
20	Территория участка в районе ведения горных работ	500
21	Место работы экскаватора	40
22	Ремонтная площадка экскаватора	100
23	Складские помещения	10
24	Автомобиля в пределах разреза	900

Применяется для расчета внутреннего освещения помещений производственных и служебных зданий.

Для расчета необходимо знать размеры помещения:  $a$  - длина, м;  $b$  - ширина, м.

$S$ -площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$$S = a \times b, \text{ м}^2$$

По таблице 7.5 выбираем коэффициенты:

рп - коэффициент отражения пола, %;

рс - коэффициент отражения стен, %;

рр - коэффициент отражения расчетной поверхности, %.

Общее освещение может быть выполнено одним из следующих типов светильников:

“ Универсаль” УЗ с лампой накаливания НГ

ПВЛМ с двумя люминесцентными лампами ЛБ

Глубокоизлучатель ГсР с лампой ДРЛ

Светильники подвешиваются на высоте  $h = \text{м}$  от уровня освещаемой поверхности.

Определяем показатель помещения

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$$

Определяем число светильников:

$$n_{\alpha} = \frac{E_n \cdot S \cdot k_3 \cdot z}{\Phi_n \cdot \eta_i \cdot \eta_{\alpha}}$$

Где  $E_n$  – нормируемая освещенность, лк.

$k_3$ - коэффициент запаса ;

$z$ - коэффициент;

$\eta_{\alpha}$ - количество ламп в одном светильнике ;

$\eta_i$  - коэффициент использования светового потока светильников, определяют по таблице 7.5, используя показатель помещения  $i$  и коэффициенты рп, рс, рр для светильников УЗ, ПВЛМ, ГсР.

Для светильников УЗ :

$E_n = 30$  лк

$k_3 = 1,3$

$Z = 1,1$

$\eta_{\alpha} = 1$

$\eta_i =$

Для светильников ПВЛМ:

$E_n = 75$  лк

$k_3 = 1,5$

$Z = 1,2$

$\eta_{\alpha} = 2$ -для светильников ПВЛМ ;

Находим фактическую освещенность при расчетном числе светильников:

$$E_{\text{ф}} = \frac{\Phi_n \cdot \eta_i \cdot \eta_{\alpha}}{S \cdot k_3 \cdot z}, \text{ лк}$$

Выбрать наиболее подходящий светильник, который обеспечивает освещенность, соответствующую нормам  $E_n$ .

## Практическая работа №21 Точечный метод расчета прямой составляющей горизонтальной освещенности

Цель светотехнического расчета - выбор осветительных устройств, обеспечивающих достаточную освещенность рабочей поверхности.

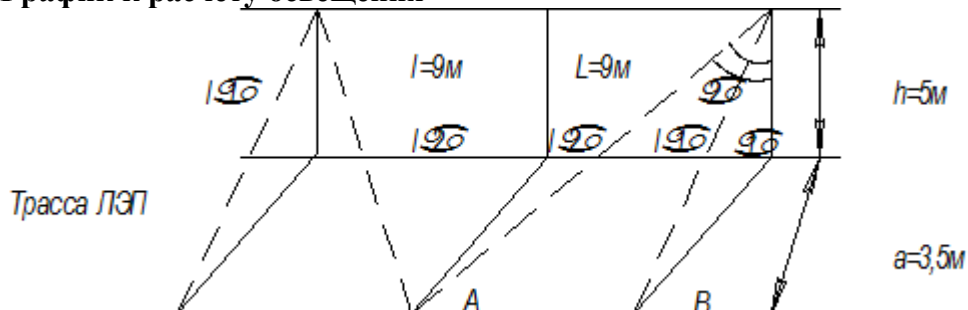
В практике проектирования применяют два основных метода: точечный метод и коэффициента использования светового потока.

Точечный метод применяется для расчета освещения железнодорожного пути, автомобильной дороги.

Точечный метод основан на зависимости освещенности  $E$  поверхности в данной точке от силы света  $I$  источника.

Воздушная линия освещения, на опорах которой подвешены светильники расположена на расстоянии  $a$  от оси железнодорожного пути (автомобильной дороги).

### График к расчету освещения



По таблице 7.3 выбираем лампу и записываем её основные технические данные:

Тип лампы:.....; тип светильника:.....

$U$  – напряжение, В;

$P$  – мощность, Вт;

$\Phi_l$  – световой поток, лм.

Выбираем коэффициент запаса, учитывающий старение лампы и загрязнение поверхности лампы и светильника:  $k_3=1,5$ . Определяем  $C$  - коэффициент, численно равный отношению световых потоков действительной ( $\Phi_l$ ) и условной лампы,  $C = \Phi_l / 1000$

Находим углы наклона лучей от светильников к точкам: А, расположенной на наибольшем расстоянии от светильника, В, находящейся против светильника,

$$\cos \alpha_1 = \frac{h}{\sqrt{a^2 + h^2}}$$

$$\alpha_1 = \arccos \cos \alpha_1 =$$

$$\cos^3 \alpha_1 =$$

$$\cos \alpha_2 = \frac{h}{\sqrt{a^2 + h^2 + l^2}}$$

$$\alpha_2 = \arccos \cos \alpha_2 =$$

$$\cos^3 \alpha_2 =$$

По кривой распределения силы света (см. рис. 7.5) определяем силу света, соответствующую

углам  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ :  $I_{\alpha_1} = I_{\alpha_2}$  = Вычисляем горизонтальную освещенность в точках А и В :

$$E_{A,r} = \frac{2 \cdot C \cdot I_{\alpha_2} \cdot \cos^3 \alpha_2}{k_3 \cdot h^2}, \text{ ЛК}$$

$$E_{B,r} = \frac{2 \cdot C \cdot I_{\alpha_1} \cdot \cos^3 \alpha_1}{k_3 \cdot h^2}, \text{ ЛК}$$

Проверяем, удовлетворяет ли полученная освещенность нормам освещенности по таблице 7.1. Определяем число светильников для освещения всей длины железной дороги (автомобильной дороги):

$$n = \frac{L - 2 \cdot l}{2 \cdot l}$$

Где  $L$  – длина железнодорожного пути ( автомобильной дороги ) , м.

### Расчет освещения методом светового потока.

Применяется для расчета освещения прожекторами рабочей поверхности в карьере.

$S$  – площадь участка, м<sup>2</sup>,

$$S = a \times b, \text{ м}^2$$

где a-ширина участка, м;

b-длина участка, м.

$E_n$  - норма освещенности, лк, выбирается по **таблице 7.1.**

$k_3 = 1.5$ - коэффициент запаса;

$k_n = 1.2$ - коэффициент потерь.

Определяем суммарный световой поток

$$\Phi = E_n \cdot S \cdot k_3 \cdot k_n, \text{ лм.}$$

Принимаем прожектор ПЗС или ПКН или светильник СКсН (если необходимо осветить большую площадь).

По **таблицам СНиП** записать технические данные выбранных источников света :

$I_{\max}$ - максимальная сила света, кд;

$\Phi_{\lambda}$  - световой поток лампы, лм;

$$\eta \text{ пр - к. п. д., \%}$$

Находим число прожекторов или светильников

$$N = \frac{\Phi}{\Phi_{\lambda} \cdot \eta_{\text{пр}}}$$

Определяем высоту установки прожектора (светильника)

$$H \geq \sqrt{\frac{I_{\max}}{300}}, \text{ м} - \text{ для прожектора ПЗС;}$$

$$H \geq 0,11 \cdot \sqrt{\frac{\Phi_{\lambda}}{E_{\min}}}, \text{ м} - \text{ для светильника с лампой ДКсТ.}$$

$E_{\min} = 10$  лк - минимальная освещенность.

## 2. Устройство и расчет осветительной сети.

Схема к расчету осветительной сети

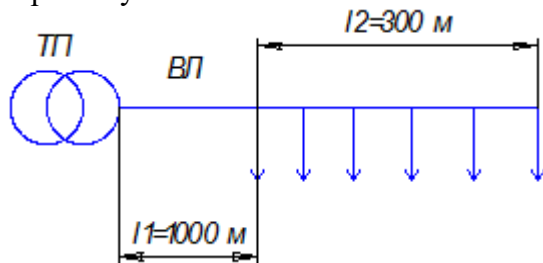


Рисунок 1

Стационарные осветительные установки в карьерах и на отвалах питаются напряжением 220 или 127 В от ТП или ПТП с трансформаторами с изолированной нейтралью. Осветительные сети в карьере и на отвалах выполняют алюминиевыми проводами марки А, подвешенными на опорах ВЛ. Светильники и прожектора подсоединяются к осветительной ВЛ изолированными проводами марок ПР, ПРГ, ПВ, ПГВ.

Ток нагрузки проводов :

для двухпроводной сети

$$I_{\text{нагр}} = \frac{P_{\lambda} \cdot n_{\lambda} \cdot n_{\text{св}}}{U_{\text{ф}} \cdot \cos \varphi_{\text{св}} \cdot \eta_{\text{св}}}, \text{ А}$$

для трех - и четырехпроводной сети

$$I_{\text{нагр}} = \frac{P_{\lambda} \cdot n_{\lambda} \cdot n_{\text{св}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}} \cdot \cos \varphi_{\text{св}} \cdot \eta_{\text{св}}}, \text{ А}$$

где  $P_{\lambda}$  - мощность лампы, Вт;  $n_{\lambda}$ -число ламп в светильнике;  $n_{\text{св}}$ -число светильников;

$U_{\text{ф}}$ ,  $U_{\text{ном}}$  - фазное и линейное напряжения, В;  $\cos \varphi_{\text{св}}$  и  $\eta_{\text{св}}$  - соответственно

коэффициенты мощности и к. п. д. светильника (с лампами накаливания равны  $\cos \varphi_{\text{св}} = 1$ , с газоразрядными лампами  $\cos \varphi_{\text{св}} = 0,8 \div 0,9$ ).

Сечение проводов и кабелей осветительной сети должны быть выбраны такими, чтобы при допустимой максимальной нагрузке потеря напряжения в сети от трансформатора до наиболее удаленного светильника не превышала 5 %.

Сечение проводов

$$S_{\text{расч}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot I_{\text{расч}} \cdot L \cdot \cos\varphi_{\alpha}}{\gamma \cdot \Delta U_{\%} \cdot U_{\text{н}}} \cdot \frac{l_2}{2}, \text{ мм}^2;$$

где  $L_{\text{расч}} = L + \frac{l_2}{2}$  – расчетная длина провода или кабеля, м; (см. рис. 1)

$\gamma$  – удельная проводимость материала, жил кабеля или провода, м/Ом · мм<sup>2</sup>, принимается по таблице 5П.

$\Delta U\% = 5\%$  – допустимая потеря напряжения.

По таблицам 6П выбрать провода для подключения светильников. Сечение проводов выбирают близкими к расчетному сечению  $S$ .

По таблице выбрать кабель для подключения лампы.

## 2.2 Устройство и расчет сети внутреннего освещения помещений.

Схема к расчету осветительной сети.

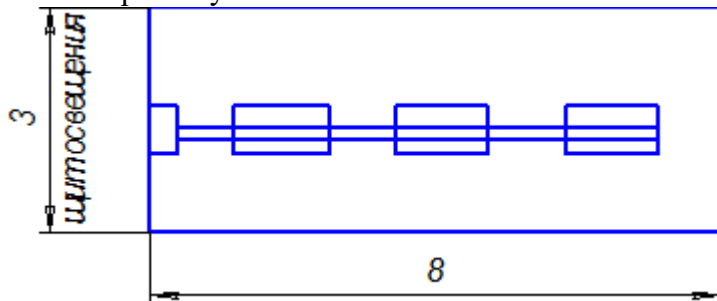


Рисунок 2.

Внутреннее освещение помещений, а также [наружное освещение](#) объектов поверхности карьера осуществляется напряжением 220 В от силовых трансформаторов с вторичным напряжением 380/ 220 В.

Сеть освещения помещений состоит из ввода, группового распределительного пункта РП или щитка ЩО и распределительной проводки. Ввод от распределительного щита ТП до группового распределительного пункта внутри здания выполняют четырехжильным кабелем или четырехпроводной воздушной линией. От распределительного пункта или щитка к светильникам проводку осуществляют кабелем или изолированными проводами.

Осветительная сеть внутри помещений может быть выполнена следующими способами:

- 1) открытой проводкой изолированными проводами АПР или АПВ, АППВ и др., закрепленными на стене, перегородках и перекрытиях по слою штукатурки;
- 2) прокладкой небронированного кабеля АВРГ, закрепленного скобами на стенах или потолке;
- 3) прокладкой в трубах с применением изолированных проводов ПРТО или АПРТО;
- 4) скрытой проводкой (под штукатуркой) изолированными плоскими проводами АППВ, АППВС, ППВ, ППВС.

Марку провода или кабеля и способ прокладки выбирают в зависимости от категории помещения.

Ток нагрузки проводов :

для двухпроводной сети

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}} \cdot n_{\text{св}}}{U_{\text{л}} \cdot \cos\varphi_{\alpha} \cdot \eta_{\alpha}}, \text{ А}$$

для трех - и четырехпроводной сети

$$I_{\text{расч}} = \frac{P_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}} \cdot n_{\text{св}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos\varphi_{\alpha} \cdot \eta_{\alpha}}, \text{ А}$$

где  $P_{\text{л}}$  - мощность лампы, Вт;  $n_{\text{л}}$  - число ламп в светильнике;  $n_{\text{св}}$  - число светильников;

Uф, Uном - фазное и линейное напряжения, В; cos φ св и η св- соответственно коэффициенты мощности и к. п.д. светильника (с лампами накаливания равны cosφсв= 1, с газоразрядными лампами cos φ св= 0,8÷ 0,9).

Сечение проводов двухпроводной осветительной сети с равномерно распределенной нагрузкой

$$S_{\text{мин}} = \frac{2 \cdot 100 \cdot I_{\text{св}} \cdot \frac{l_{\text{гр}}}{2}}{\gamma \cdot \Delta U_{\text{з}} - U_{\text{ф}}}, \text{ мм}^2$$

где  $l_{\text{гр}}$  – длина групповых проводов, м;

Uф- фазное напряжение, В.

γ - удельная проводимость, м / Ом \* мм<sup>2</sup>, определяется по таблице 5П;

**По таблицам или** выбрать провода или кабель для подключения светильников. Сечение проводов выбирают близкими к расчетному сечению S.

## Контрольные вопросы

Рассказать конструкцию и принцип действия выбранных источников света. Достоинства и недостатки выбранных источников света. Рассказать схему включения выбранных лам

## Практическая работа №22 Схемы размещения светильников

Перед тем, как приступить к установке точечных светильников и люстры, необходимо, само собой, выбрать схему их расположения. В этом деле существует множество нюансов, и если Вы их не захотите учитывать, неправильное размещение негативно повлияет на интерьер комнат, качество освещенности и даже расход электроэнергии. Тут же следует отметить, что для каждой из комнат есть свои требования к месторасположению люстры и спотов. Далее мы расскажем Вам, как расположить светильники на потолке, предоставив несколько советов, схемы и фото примеры.

Первое, о чем Вы должны знать – требования к расположению осветительных приборов. Чтобы свет был качественным и максимально эффективным, рекомендуется размещать изделия по следующим правилам:

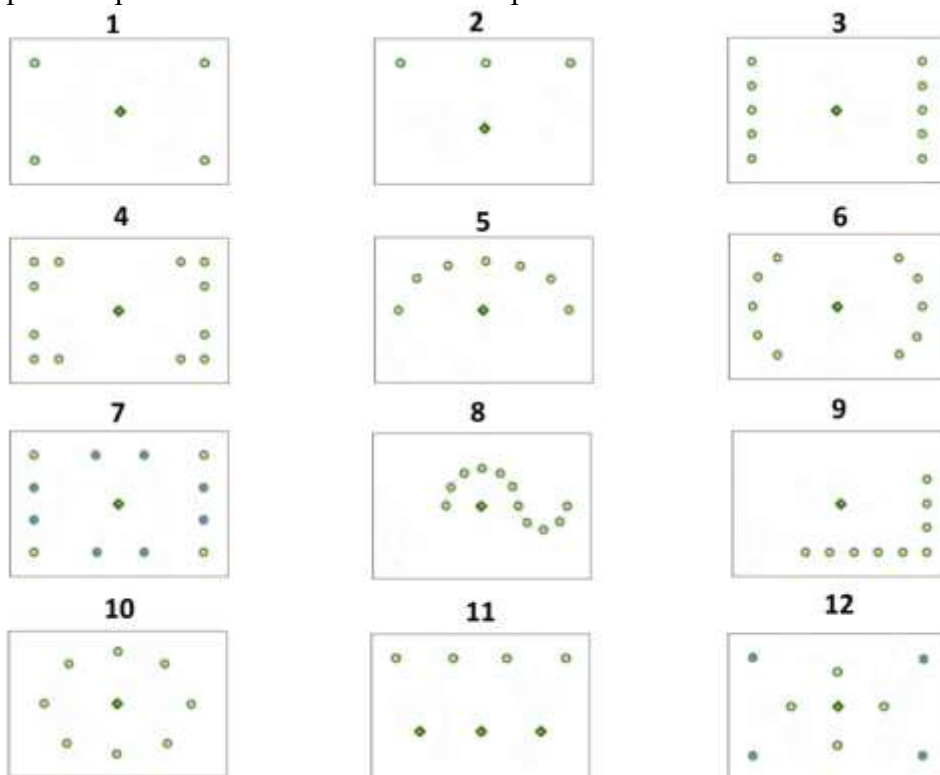
1. Минимальное расстояние от края стены к точечным светильникам на потолке должно быть 20 см.
2. Вешать люстру нужно строго по центру потолка. Если это студия – лучше расположить ее посередине определенной зоны (гостиной либо кухни), отталкиваясь от интерьера комнаты.
3. В случае с натяжными потолками расстояние от встраиваемых светильников до шва ПВХ пленки должно быть не менее 15 см.
4. Один спот может освещать не более 2 м<sup>2</sup> помещения. Лучше при расчете количества точечных светильников исходить из того, что одно изделие обеспечит достаточное освещение 1,5 м<sup>2</sup>.
5. Если Вы решили организовать симметричное размещение потолочных осветительных приборов, позаботьтесь о том, чтобы изделия были установлены максимально на одинаковом расстоянии по отношению друг к другу и стенам.

Что касается норм расположения светильников относительно окон, особо никто этот момент не оговаривает. По отношению к оконным проемам Вы можете разместить изделия как угодно. Главное — чтобы зона освещения была максимально эффективной, т.е. свет падал на какие-либо объекты.

Учитывая эти рекомендации, Вам будет легче расположить светодиодные споты на подвесном, натяжном либо даже реечном потолке. Теперь рассмотрим, какие бывают схемы размещения изделий.

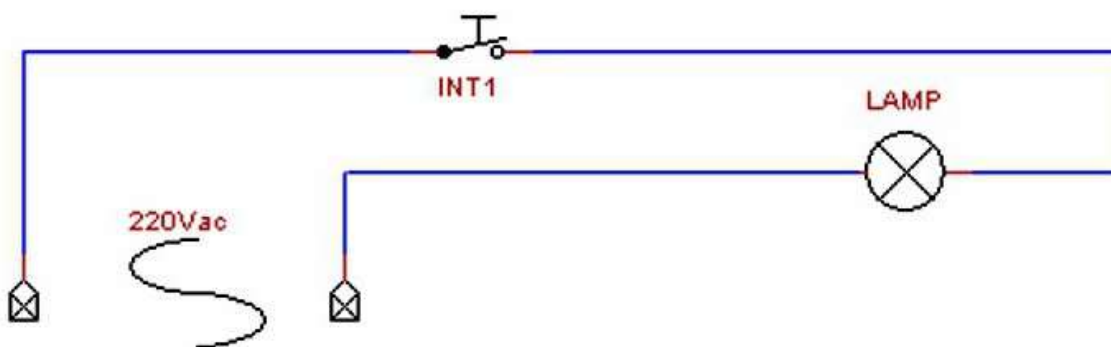
Лучшие схемы расстановки

На сегодняшний день при проектировании освещения на потолке используются следующие варианты расположения спотов и люстры:



### Практическая работа №23 Схемы подключения светильников

Выключателем света может быть простое электротехническое устройство, а также сложный коммутационный аппарат. Они предназначены для разных схем управления приборами освещения. При монтаже проводки важно правильно подключить выключатель света. Схема подключения в классическом варианте — это применение простейшего устройства с одной клавишей.



Его контакты размыкаются при отключении освещения и замыкаются при включении. При этом фаза проходит через выключатель, а ноль подключен к лампе. Путать порядок подключения нельзя, иначе на лампе постоянно будет напряжение.

Подключение одноклавишного выключателя

Устройства выполняются для внутренней и открытой установки. Схема подключения выключателя света с одной клавишей обеспечивает коммутацию светильника или группы.

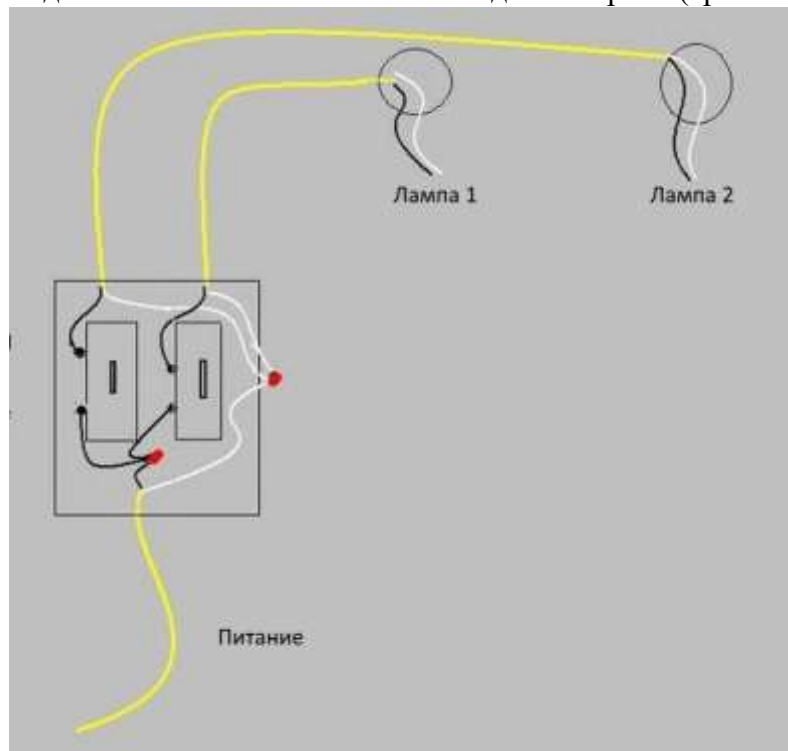
Особенности применения нескольких клавиш

Схема двойного выключателя света позволяет управлять тем же количеством светильников. Здесь производится раздельное переключение ламп через одно коммутирующее устройство, в



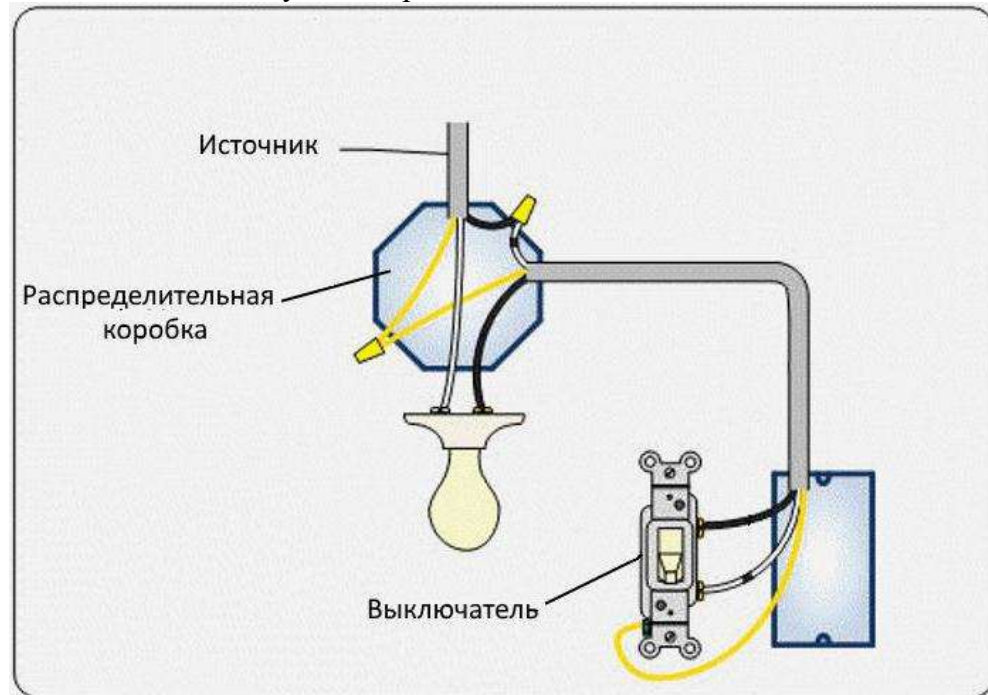
зависимости от того, какая из двух клавиш будет нажата. Способ распространен для включения люстры. Реже применяются трехклавишные модели.

Сложность замены на устройство с большим количеством переключений заключается в необходимости прокладки дополнительных проводов фазы к светильникам и выключателю. Схемы подключений обозначены на его задней стороне (три вывода для двухклавишного устройства).



По существу, выключатель представляет два простейших прибора, объединенных в одном корпусе. При включении одной из клавиш фаза подается на соответствующий светильник. Напряжение поступает на входную клемму (зажим). К ней подключены две контактные группы, для каждой из которых предназначена своя клавиша. На выходные клеммы подключаются лампы.

Аналогичным образом работает трехклавишный выключатель света. Принцип действия заключается в коммутации проводов, соединенных с отдельными лампами или их группами.



Если ламп больше, основные соединения также производятся через распределительную коробку.

## Практическая работа № 24 Порядок подключения светодиодных светильников к электричеству

Светодиодные лампы стремительно набирают популярность, обусловлено это большим количеством достоинств в сравнении с аналогами: экономичность и экологичность использования, длительный срок службы. Для применения в быту изготавливают осветительные приборы с рабочим напряжением в 220 и 12 Вольт.

### Как подключить ЛЕД-светильник к 220В



Светильник светодиодный EVRO-LED-HX-20 18Вт 6400К IP20

Основное достоинство таких светильников в сравнении с работающими от 12 Вольт в том, что их напрямую можно питать от выключателя. В результате не требуются дополнительные финансовые затраты на приобретение блока питания, а также монтаж не вызывает сложностей. Существует несколько способов установки светодиодных светильников:

- последовательное подключение;
- параллельное;
- лучевое.

Каждый используется в разных ситуациях и имеет свои достоинства и недостатки.

#### Последовательное

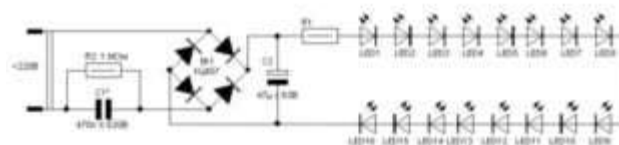
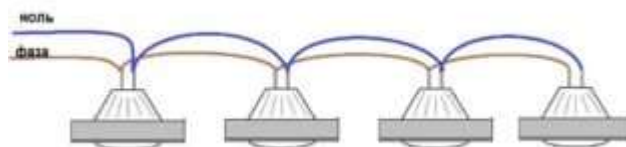


Схема последовательного подключения светодиодных светильников

Последовательное подключение используется в том случае, если нужно сэкономить метраж кабеля, и при этом к помещению нет особых требований. Для реализации потребуется несколько двойных или тройных проводов. В одну цепь допускается установка не более шести светодиодных лампочек, в противном случае яркость будет низкой. Если один светильник выйдет из строя, придется проверять работоспособность каждого, чтобы устранить поломку.

Само подключение не должно вызывать сложностей. К первому светильнику от выключателя проводится фаза, далее от первого переключателя кабель протягивается к следующему устройству. К последнему светильнику прокладывается ноль, который идет от распределительной коробки.

#### Параллельное



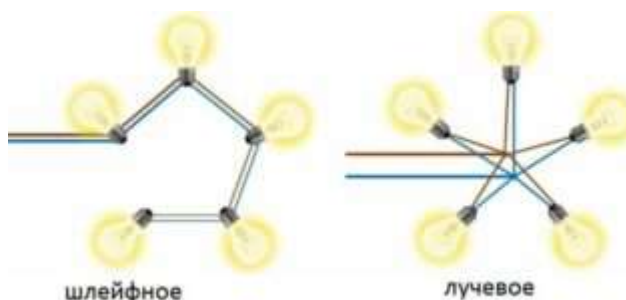
### Параллельное соединение источников света шлейфным способом

Параллельное подключение более практичное и используется чаще. В процессе реализации каждый светильник будет выдавать яркость, которая заявлена производителем. Единственный недостаток, который можно выделить – повышенный расход проводника в сравнении с последовательным подключением.

Рекомендуется отдавать предпочтение кабелю ВВГ нг 2\*1,5 или 3\*1,5. Обозначение свидетельствует о наличии ПВХ-оболочки – качественного изоляционного материала. В маркировке отметка «нг» указывает на негорючесть модели. Если к помещению выдвинуты особые требования, иногда используют провода с дополнительной маркировкой «ls», которая означает, что при воспламенении выделяется небольшое количество дыма.

Для подключения светильника через выключатель от распределительной коробки протягивают кабель. Его поочередно соединяют с каждым светильником. После первой лампы кабель обрезается и подается к следующему, пока все устройства не будут соединены в одну общую систему.

### Лучевое



### Шлейфное и лучевое соединение ламп

По своей природе лучевая схема относится к параллельному подключению, часто применяется для люстр. Принцип реализации заключается в прокладке кабеля к каждому осветительному прибору индивидуально. Этот способ самый трудоемкий и требует больших финансовых затрат из-за большого количества используемого провода. Для экономии кабель от распределительного щитка проводят в центр комнаты и уже оттуда к каждому светильнику. Далее к фазе и нулю подводят одножильные провода, которые прокладываются к светильникам.

Еще на этапе проектирования важно решить, как будут соединены жилы с отдельным кабелем. Если ламп немного, достаточно скрутки. С целью безопасности ее надежно обжимают пассатижами и паяльником сваривают воедино. Существует альтернатива этому способу – приобрести клеммы с определенным количеством выходов. На каждую жилу надевается разъем и лишь после провода тянутся к осветительным приборам.

Схема подключения светодиодных ламп во всех случаях принципиальных отличий не имеет.

### Необходимые инструменты



Инструмент для снятия изоляции с проводов – стриппер

Для подключения осветительных приборов своими руками потребуются следующие рабочие инструменты:

- набор отверток (плоская и крестообразная);
- инструмент, предназначенный для оголения проводов (удаления изоляционного слоя);
- плоскогубцы.

Особенности крепления и подключения потолочных светильников



Осветительные приборы со светодиодными лампами чаще всего производятся в корпусах, которые оснащены всем необходимым для крепления. Сложности в установке возникают редко, поскольку светодиодные светильники достаточно легкие. Для этих целей используют обычно пластиковые или металлические дюбели, турбовинты.

В зависимости от внешнего вида и конструктивных особенностей установка конкретной модели на потолок может отличаться. Алгоритм монтажа осветительного прибора на потолок:

- На месте, предназначенном для плафона, рядом с выводом проводов делаются отверстия под



монтажную пластину.

- Отверстия для крепления проделывать необходимо только в полнотелом основании. Если при работе буром перфоратора монтажная пластина падает в пустоту, требуется сделать отверстия в другом месте, соответственно перенести осветительный прибор.
- Надежно фиксируется в одном положении монтажная пластина.

- Если светодиодный светильник крепится не к полнотелому основанию, предварительно нужно позаботиться о надежном креплении.
- Обесточивается УЗО или электросчетчик, подсоединяются контакты осветительного



прибора к электрической магистрали.

- Уже подключенный осветительный прибор надевается на проушину монтажной пластины и с помощью крепежных элементов надежно фиксируется.
  - На закрепленный светодиодный светильник надеваются прозрачные части, например, защитное стекло или колпак.
- Завершающий этап – обязательная проверка работоспособности осветительных приборов.

#### *Меры предосторожности*

Во время выполнения работ нужно помнить о соблюдении техники личной безопасности.

### **Тема: Освещенность помещений. Нормы и расчеты.**

Плохая освещенность помещений, рабочего места или комнаты в квартире отрицательно влияет на здоровье человека, снижает концентрацию внимания, работоспособность, появляется раздражительность и сбой в психике. Очень яркий свет также является раздражителем, и не дает ничего положительного для человека.

Поэтому необходимо обеспечить нормальную освещенность помещений, которая регламентируется определенным стандартом СНиП. Для этого требуется простая установка соответствующих ламп освещения для каждого помещения.

Освещенность помещений в номинальном выражении является потоком света, который излучается на поверхность под прямым углом в расчете на единицу площади. При падении света под острым углом освещенность снижается в зависимости от угла наклона.

Освещенность измеряется в люксах, который равен 1 люмену (единица светового потока) на м<sup>2</sup>.

Освещенность помещений прямо зависит от силы света, который исходит от источника. Чем больше расстояние от светового источника до поверхности, тем меньше параметр освещенности.

Каждый тип помещения имеет свои нормативы освещенности. Например, для помещения магазина по продаже продуктов наибольшее значение пульсации установлено 15%, освещенность 300 люксов, однако для отдела спортивных товаров или строительных материалов нормы совсем другие. Также правила устанавливают определенную допустимую освещенность для поликлиник, детских садов, автосервисов и других объектов.



### Нормы освещенности для торговых помещений

Тип помещения	Уровень освещенности рабочего места, лк	Максимальное значение коэффициента пульсации, %
Торговые залы в продуктовых магазинах	300	15
Торговые залы в магазинах самообслуживания	400	10
Отделы стройматериалов, сантехники, спорттоваров	200	20
Отделы посуды, канцтоваров, мебели, одежды, игрушек	200	20
Примерочные	300	20
Помещения кассации	300	15

### Нормы освещенности для школы

Тип помещения	Уровень освещенности, лк	Максимальное значение коэффициента пульсации, %
Класс для занятий	400	10
Лаборатория	400	10
Учебная аудитория	400	10
Кабинет труда для мальчиков	300	15
Компьютерный класс	400	15
Коридор, лестница	150	-
Спортзал	200	20
Кабинет труда для девочек	400	10
Актный зал	200	-
Кабинеты преподавателей	300	15
Кабинет черчения	500	10

### Нормы освещенности для детских садов

Тип помещения	Уровень освещенности, лк	Максимальное значение коэффициента пульсации, %
Приемная, коридор	200	15
Раздевалка	200	15
Группы, зал для занятий музыкой, игровые комнаты	400	10
Спальные комнаты	150	15
Медицинский кабинет	200	15
Изолятор для заболевших детей	200	15

### Нормы освещенности для жилых помещений

Тип помещения	Уровень освещенности, лк	Максимальное значение коэффициента пульсации, %
Жилые комнаты	150	20
Кухня	150	25
Ванная	50	-
Коридор	50	-
Туалет	50	-
Вестибюль, прихожая	30	-
Лестницы	20	-

## Нормы освещенности для медицинских учреждений

Тип помещения	Уровень освещенности, лк	Максимальное значение коэффициента пульсации, %
Кабинеты врачей-специалистов	500	10
Кабинеты врачей терапевтов в поликлинике	300	15
Темная комната в кабинете окулиста	20	10
Помещение операционной	500	10
Родовая комната	500	10
Комнаты функциональной диагностики	300	15
Рентгенкабинет	50	-
Помещение флюорографии	200	20
Вспомогательные помещения	75	-
Детские палаты	200	15
Палаты для взрослых пациентов	100	15
Лаборатории	500	10

## Нормы освещенности для автомойки

Тип помещения	Уровень освещенности, лк	Максимальное значение коэффициента пульсации, %
Моечный бокс	300	15
Технические помещения	75	20
Кабинет для персонала	150	15
Комната администратора	300	10
Помещение для клиентов	200	15

### *Приборы для измерения освещенности*

Для замера освещенности помещений применяют различные приборы, которые имеют свои особенности конструкции и методы измерений. Основные приборы рассмотрим более подробно.

#### **Люксметр**

Люксметры делятся на электронные и аналоговые, которые уже не производятся, и остались только старые образцы таких моделей.





**Такой люксметр используется:**

- Проверка соответствия освещенности помещений нормативным данным.
- Измерение параметров освещения при проведении работ по оценке условий труда.
- При электромонтажных работах для сравнения показателей освещенности с расчетами для приборов освещения.

Принцип действия люксметра заключается в работе встроенного фотоэлемента, на который направляется поток света. При этом в фотоэлементе возникает значительный поток заряженных частиц. В результате появляется течение электрического тока, сила которого зависит от силы светового потока, направленного на фотоэлемент. Обычно этот параметр и выводится на шкалу прибора.

### **Виды люксметров**

**В зависимости от расположения датчика, измеряющего освещенность помещений, люксметры делятся на виды:**

- **Моноблок (цельное устройство).** Датчик фиксируется в самом корпусе прибора.



- **Прибор с выносным датчиком,** подключаемым гибким проводом.



Чтобы произвести простые измерения подойдет обычный люксметр-моноблок, без вспомогательных различных функций. Для определения нескольких параметров освещенности при производстве профессионального расчета, необходимо использовать устройства, имеющие дополнительный набор функций. Такие приборы имеют встроенную память и могут определять средние значения параметров.

Значительным преимуществом для люксметра является наличие особых светофильтров, которые помогают точнее определить значение силы света, которая исходит от приборов освещения с разными оттенками цветов.

Наличие выносного датчика в люксметре дает возможность определить освещенность с большей точностью, так как при этом влияние внешних факторов снижается. На современных моделях имеется жидкокристаллический дисплей. С помощью него намного проще снимать показания прибора.

### **Тема: Приборы и особенности**

Для монтажа осветительных и силовых сетей применяют инструмент, приспособления и инвентарь, собранные в бригадные технологические комплекты по видам электромонтажных работ, индивидуальные наборы НЭ, НИЗ, а также специализированный инструмент и приспособления [клещи для установки клиньев в универсальных сборных электроконструкциях (УСЭК), для пробивки и выдавливания отверстий в стенках коробок, ящиков; ключи для установочных заземляющих гаек и т. д.; слесарный инструмент (станки ножовочные, ключи обычные, торцевые и т. д.); измерительный инструмент; штанги для определения правильности подключения осветительной арматуры; приборы для проверки отсутствия напряжения, отыскания мест повреждения скрытой проводки. Бригадные технологические комплекты перемещают в контейнерах, передвижных мастерских или на станциях механизации.

Мастерские смонтированы на шасси автомобилей и прицепах с кузовами типа фургона. Кузова мастерских унифицированы, они представляют собой фургоны с теплоизоляцией и внутренней облицовкой. Мастерские оборудованы слесарными верстаками, ящиками-сиденьями, шкафами для одежды, умывальниками и снабжены средствами для безопасной работы, противопожарным оборудованием, медицинскими аптечками, а также специальными инструментом, приспособлениями и вспомогательными средствами в зависимости от назначения мастерской. В мастерских установлены вводно-распределительные щиты и понижающие трансформаторы, обеспечивающие питание от внешней сети 380/220 В. Мастерские имеют естественное и электрическое освещение, а также отопление.

Для монтажа освещения жилых домов и культурно-бытовых объектов используют мастерскую МО-А на базе автомобилей ГАЗ-53А или ЗИЛ-130 или типа МО-П на базе прицепов 2ПН-2 или 2П2-2; мастерскую для монтажа электрооборудования промышленных предприятий МЭ-АП на базе автовышки АТ-60 и прицепа 2ПН-2 или МП-Г1 на базе прицепа 2ПН-2. На автомобилях и прицепах устанавливают кузова типа фургона. См. характеристики передвижных мастерских и станций механизации.

Набор электромонтажника (НЭ) поставляют в чемодане. Для удобства пользования набором в чемодан укладывают сумку с наиболее часто используемым инструментом. В этот набор включены слесарный и специализированный инструмент. Набор применяют для всех технологических операций при монтаже осветительного и силового электрооборудования, к инструменту набора добавляют лишь инструмент и приспособления, предназначенные для того или иного вида проводок. В отличие от слесарного инструмента в наборе НЭ используют инструмент с эластичными чехлами на ручках: боковые кусачки (рис. 1, а) и универсальные электромонтажные плоскогубцы (рис. 1, б). Габаритные размеры кусачек 155x18x55 мм, масса 0,33 кг, а универсальных плоскогубцев 204X66X23 мм, масса 0,386 кг.

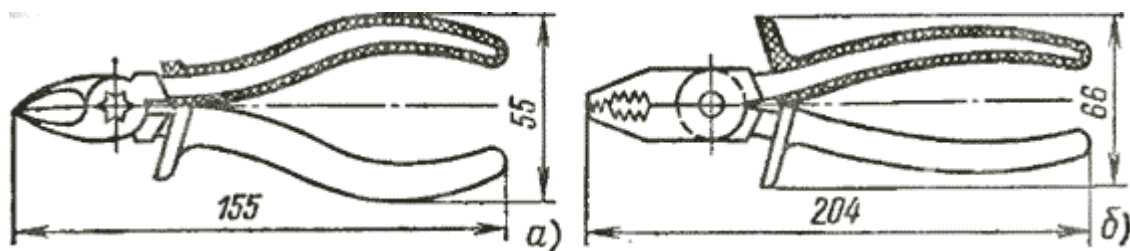


Рис. 1. Инструмент с эластичными чехлами на ручках:  
 а — боковые кусачки; б — универсальные электромонтажные плоскогубцы

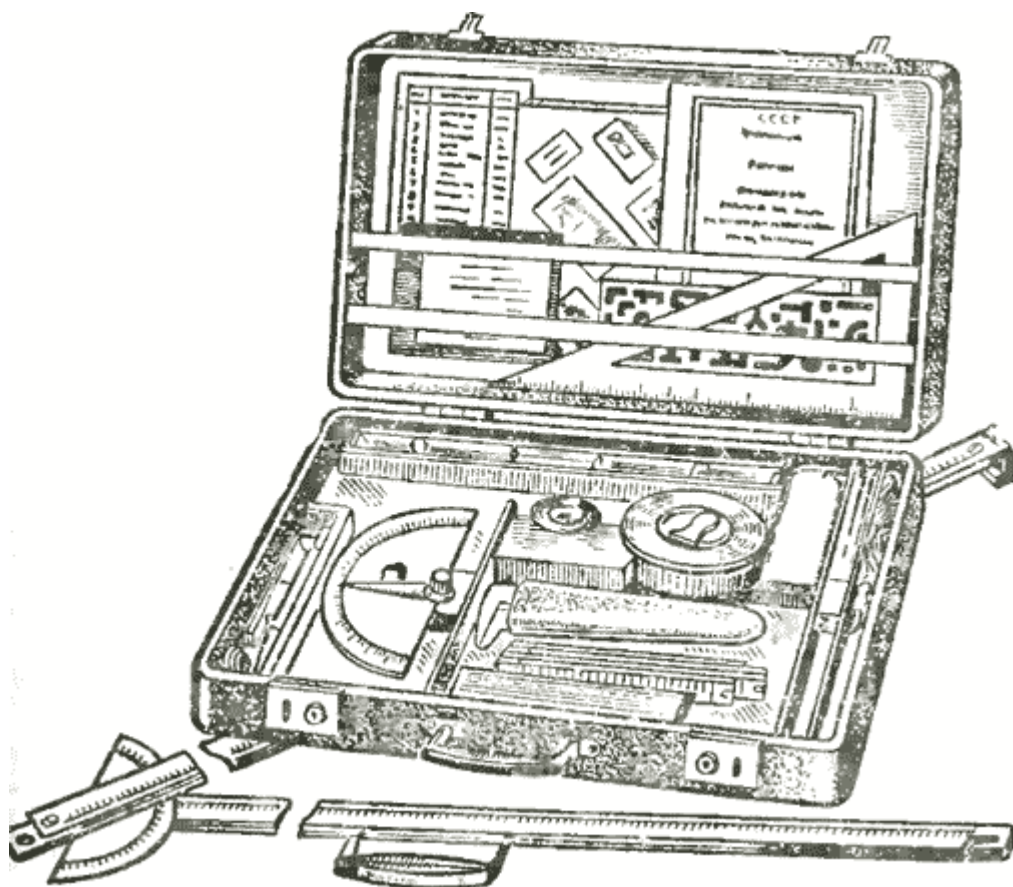
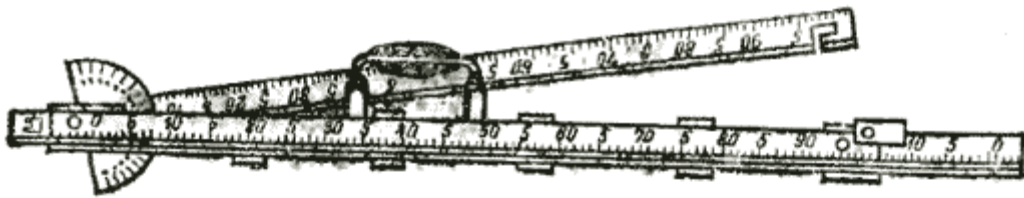
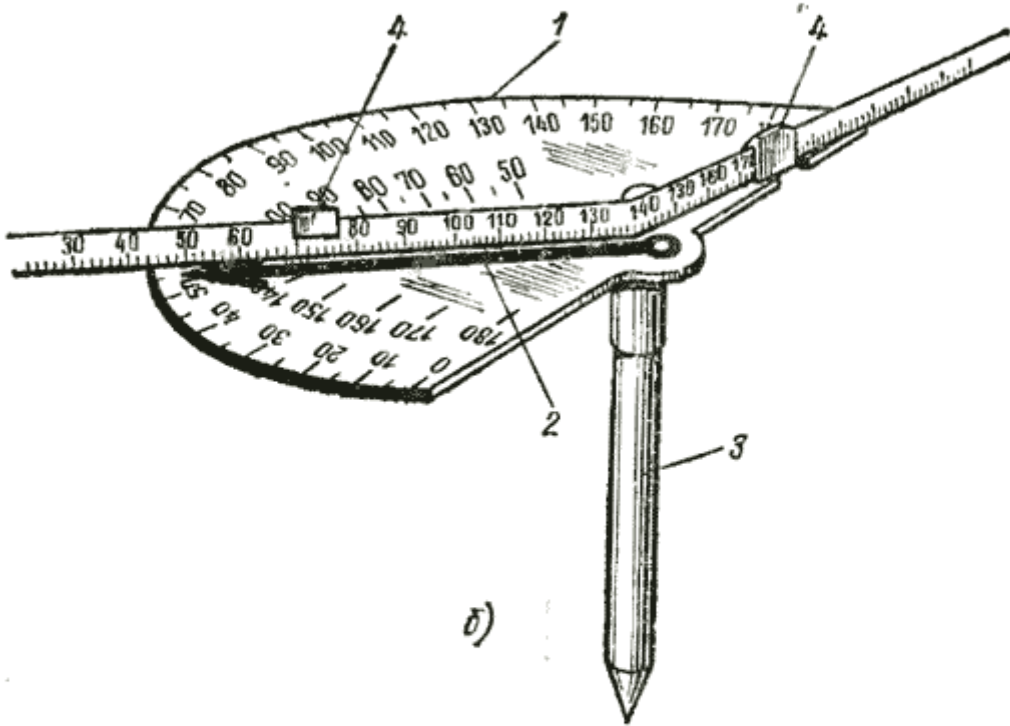


Рис. 2. Набор инструмента и приспособлений типа НИЗ для замерщиков

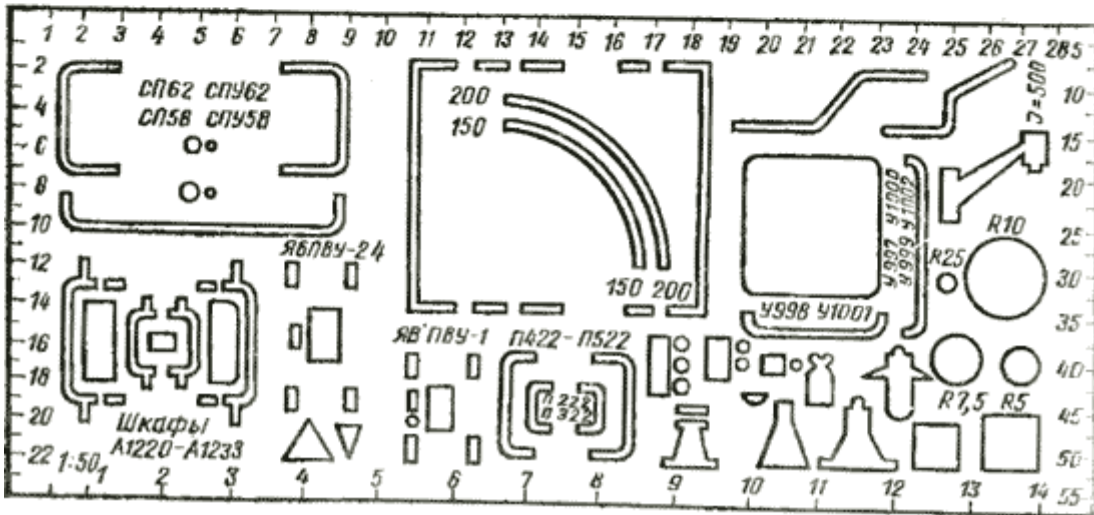
Для подготовки и выполнения трубных, открытых и других проводок, прокладки трасс шинопроводов и шин применяют набор инструмента и приспособлений для замерщиков типа НИЗ (рис. 2). Набор поставляется в деревянном футляре, крышка которого имеет пружинный прижим для крепления бумаги при нанесении эскизов. Основные размеры футляра 450x350x80 мм, масса набора 7 кг. Набор инструмента НИЗ состоит из измерительного инструмента, а также вспомогательных таблиц подсчета материалов, условных обозначений и т.д. Телескопическая линейка (рис. 3, а) состоит из трех секций. Первая из них вставлена во вторую, они могут передвигаться одна относительно другой. Третья секция присоединена на оси (заклепке). Она имеет транспортир и позволяет замерять углы трасс. Линейка имеет отверстия для закрепления отвеса, а средняя секция — рукоятку для переноса линейки. В собранном виде линейка имеет длину 1 м, максимальная длина при раскрытии всех секций 3 м. Линейка изготавливается из алюминиевого сплава, ее общая масса 0,9 кг.



а)



б)



в)

Рис. 3. Инструмент для измерений:

а — телескопическая линейка; б — угломер; в — линейка-трафарет

Для измерения углов трубной заготовки применяют угломер (рис. 3,б), состоящий из транспорта 1, стрелки-указателя 2 и штыря 3. При измерении угла заготовки в ее вершине устанавливают штырь угломера. Транспорт со стрелкой и указателем закрепляют на штыре с помощью винта. Для определения длины замеряемого трубопровода или его трассы через уши угломера 4 протаскивают ленту рулетки. Стрелку — указатель транспорта совмещают с осью

линейки, отсчитывая на шкале угол трубной заготовки в градусах. При выполнении эскизов применяют линейки-трафареты (рис. 3,в). Линейка позволяет быстро наносить на эскизы размеры осветительных арматур, кронштейнов, а также места креплений различной аппаратуры, щитков и шкафов. Применение линейки-трафарета не только повышает производительность труда, но и значительно улучшает качество эскизов. Линейку изготавливают из прозрачной пластмассы толщиной 1 — 1,5 мм.

Для соединения универсально-сборных электроконструкций клиновыми соединителями применяют различные клещи. Одни из них показаны на рис. 4.

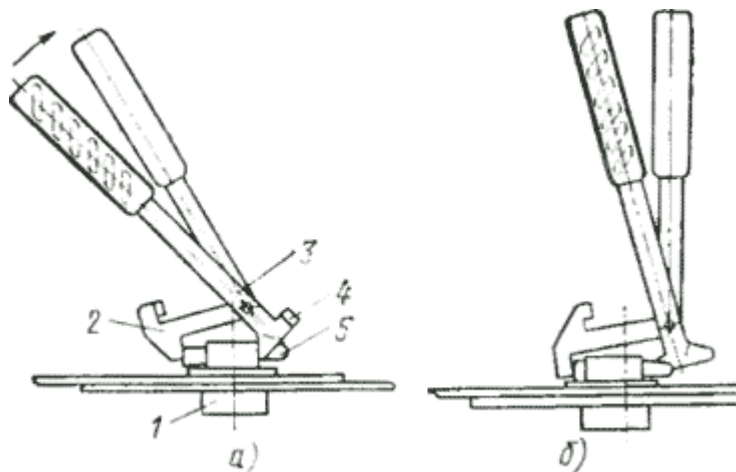


Рис. 4. Клещи для соединения УСЭЖ клиновыми соединителями

а — установка соединителя; б — разводка хвостовой части соединителя; 1 — вставка соединителя; 2 — тяга; 3 — щека; 4 — призма; 5 — клин соединителя

Клещи затягивают клин соединителя и разводят его хвостовую часть. Клещи состоят из двух щек, рычага (тяги), двух пластмассовых плашек. В нижней части щек имеются выступы для упора при затяжке клинового соединения. С противоположной стороны расположена призма, которая соединена со щеками двумя заклепками и предназначена для разведения хвостовой части соединителя. Для соединения конструкций в их отверстие устанавливают клин. Опоры щек прижимают к вставке клинового соединителя (рис. 4, а) и нажатием на рукоятку клещей устанавливают клин. Тягу клещей поворачивают на 180° и вводят в клин, а призму — в шпильковую (разрезную) часть соединения. Нажатием на рукоятку разводят хвостовую часть соединителя (рис. 4, б).

Одновременно с заготовкой труб на различных механизмах и станках или комплектацией трубных проводок из мерных отрезков в стенках стальных коробок, ящиков или кожухов аппаратов пробивают отверстия на прессах или приспособлениях.

При выполнении работ на месте монтажа применяют ручной механический пресс ПРМПО (рис. 5,а), который пробивает отверстия диаметром 23, 28 и 35 мм. Пресс состоит из головки 1, корпуса 2, рейки 3, двух рычагов 4 с зубчатыми секторами 8, подвижной ручки 5. Инструмент (матрица и пуансон) устанавливают соответственно в головку и рейку прессы.



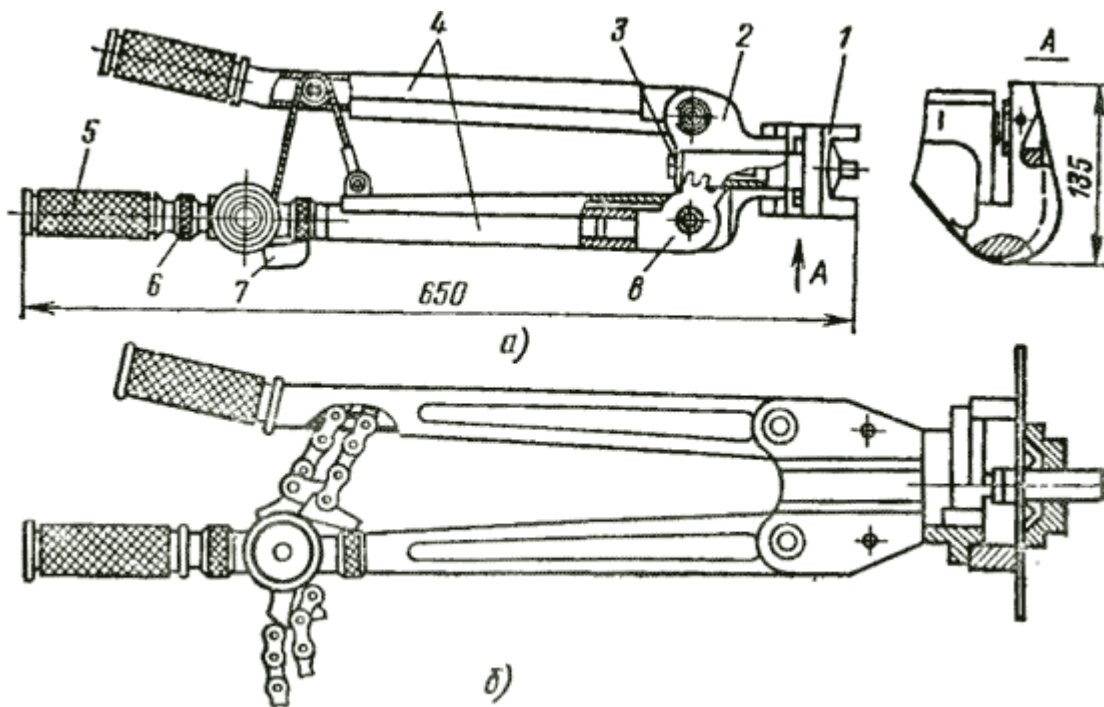


Рис. 5. Ручные механические прессы для пробивки отверстий; а - ПРМПО; б - РППО-3

Для пробивки отверстий стенку обрабатываемого изделия закладывают в зев головки. Пресс включается поворотом колец 6, 7 и приводится в действие качанием ручки 5. Пресс поставляется комплектно с набором инструмента (матрицами и пуансонами). С помощью этого прессы при максимальном усилии на пуансоне 70 кН можно пробивать отверстия в стальных стенках изделий толщиной до 1,8 мм. Основные размеры прессы 650X X120X135 мм, его масса 5,5 кг.

Для пробивки отверстий в стальных листовых конструкциях применяют также различные прессы, созданные на базе стандартных ручных прессов или клещей. Например, пресс РППО-3 разработан на базе ручного прессы РМП-7м (см. инструмент для монтажа кабельных сетей). Пресс (рис. 5,б) выдавливает отверстия с помощью матрицы и пуансона. Их взаимодействие осуществляется посредством шпильки, один конец которой закреплен в перемещающейся рейке, а на втором установлен пуансон, соответствующий диаметру продавливаемого отверстия. Шпильку вводят в предварительно заготовленное отверстие диаметром 18 мм. Пресс выдавливает отверстия диаметром 28 — 62 мм при усилии на пуансоне до 70 кН. Усилие на рукоятках прессы не превышает 150 Н, масса прессы с набором одного типоразмера матрицы с пуансоном — не более 6,5 кг.

Стальные трубы к коробкам и ящикам крепятся установочными заземляющими гайками. Для завинчивания таких гаек имеется серия специальных ключей КГЛ (рис. 6). Ключи выпускают шести типоразмеров для завинчивания установочных гаек с резьбой от 1/2 до 2" и соответственно массой от 0,3 до 0,94 кг. При креплении элементов электропроводок, конструкций для оборудования, установочных деталей и аппаратов широкое применение нашли электрифицированный и пиротехнический инструмент и механизмы, описанные в специальной литературе. Пробивку гнезд под дюбеля выполняют также и ручными пробойниками ПО-1, ПО-2 с оправкой ОПКМ (рис. 7,с). В конусе / стержня 2 оправки ОПКМ устанавливают пробойник ПО (рис. 7, е), которым вручную пробивают гнезда в кирпичных или бетонных основаниях. Чехол 3 оправки полиэтиленовый. Клин (рис. 7,б) предназначен для выбивания пробойников из оправки.

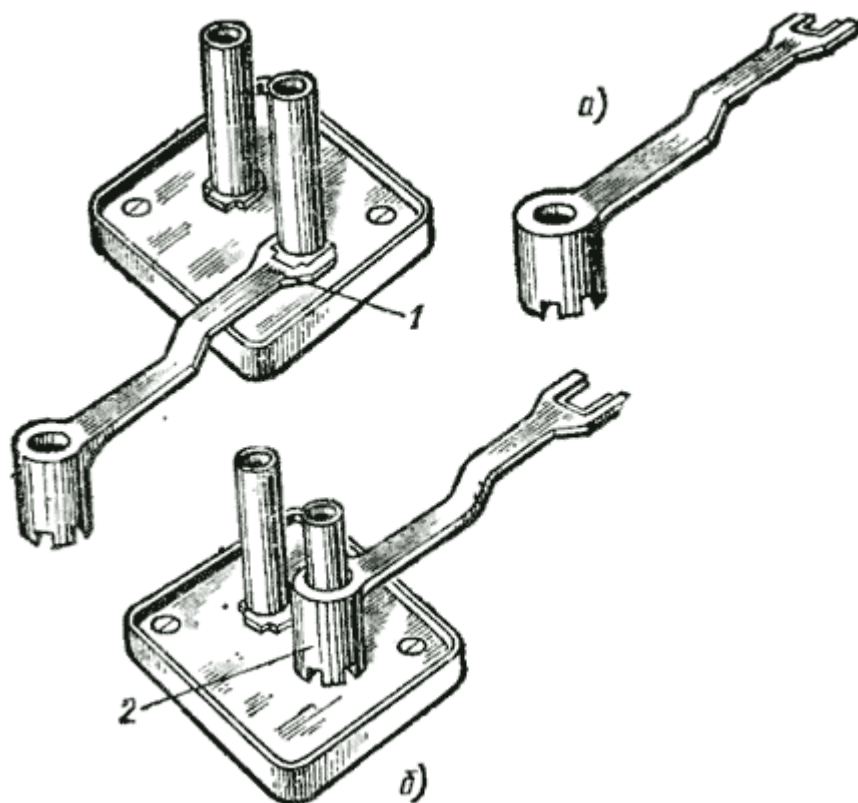


Рис. 6. Ключ КГЛ для установочных заземляющих гаек  
 а — общий вид ключа; б — сборка трубных узлов прямым (1) и накидным (2) ключами

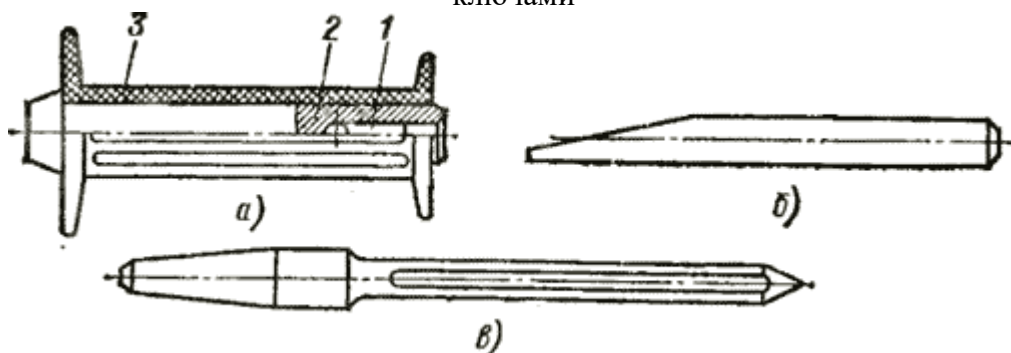


Рис. 7. Инструмент для пробивки гнезд для дюбелей:  
 а — оправка ОПКМ; б — клин; в — ручной пробойник

Пробойники образуют цилиндрические гнезда диаметром 5,8 и 7,8 мм, длиной до 60 мм. Длина пробойников 90 мм, а масса 0,03 — 0,04 кг. Масса оправки ОПКМ 0,26 кг. Для снятия изоляции при окончевании проводов и кабелей применяют специализированные инструменты для снятия изоляции МБ-1М, МБ-2, М-1. Наиболее удобным инструментом для опрессовки проводов в гильзах ГАО являются ручные пресс-клещи ПК-3, они служат для соединения и окончевания жил проводов и кабелей при монтаже силовых и осветительных сетей.

### Практическая работа № 25 Замер уровня освещения. Нормы освещения

Цель работы Изучение методов измерения освещенности, в видимой области спектра, создаваемой источниками света, произвольно расположенными относительно прибора в производственных или лабораторных условиях.

#### 2. Общие сведения

Неправильно подобранное освещение ухудшает условия зрительной работы, повышает утомляемость глаз, нервной системы, снижает производительность труда, может стать причиной несчастного случая или заболевания. С освещенностью связаны следующие вредные и опасные производственные факторы: ее чрезмерная или недостаточная величина, пульсация, несоответствие спектрального состава света условиям работы и искажение цветопередачи объектов, неравномерность освещения рабочего места, чрезмерная или недостаточная контрастность рассматриваемого предмета с фоном, ослепление прямым попаданием в глаза и др. В зависимости от источника света различают естественное, искусственное и комбинированное освещения, нормирование которых осуществляется в соответствии со СНиП 23-05-95. В них установлены оптимальные нормы освещенности для восьми разрядов работ в зависимости от их точности, наименьшего размера объекта различения, контрастности объекта различения с фоном и характеристики фона. Если в результате проверки фактическая освещенность в рабочем помещении оказывается ниже установленных СНиП 23-05-95 норм, то ее повышают несколькими способами. Повышения освещенности можно добиться путем увеличения количества светильников, установки ламп с более высокой светоотдачей, увеличения размеров или числа оконных проемов (если это возможно), очистки светильников и окон от пыли, копоти, грязи и т. п. В некоторых случаях подбирают виды работ, которые можно выполнять в помещении без изменения освещенности. Искусственное освещение нормируется в люксах. Люкс (лк) равен освещенности, создаваемой световым потоком в 1 лм (люмен), равномерно распределенным по площади в 1 м<sup>2</sup>. Источниками света при искусственном освещении являются газоразрядные лампы и лампы накаливания. Естественное освещение нормируется в процентах естественной освещенности рабочей поверхности внутри помещения от наружной освещенности на горизонтальной площадке, от рассеянного света всего небосвода (коэффициент естественной освещенности). Измерение освещенности можно производить люксметрами различных моделей.

### 3. Применяемые приборы и оборудование

1. Установка для исследования искусственного освещения;

2. Люксметр Ю-116.

1. Установка для исследования искусственного освещения включает: светильники общего освещения лаборатории - люминесцентные лампы и светильник местного освещения, высота установки которого может изменяться. С помощью этих светильников исследуют комбинированное освещение рабочего места.

2. Для определения степени освещенности, в видимой области спектра, создаваемой источниками произвольно расположенными относительно оборудования в производственных и лабораторных условиях, можно применять люксметр Ю-116.

3. Селеновый фотоэлемент посредством шнура с розеткой присоединяется к вилке на боковой стенке корпуса измерителя. Форма вилки обеспечивает правильную полярность соединения. Физический принцип работы люксметра заключается в следующем: под действием света, падающего на фотоэлемент, в цепи прибора возникает фототок, пропорциональный силе света. Величина силы тока регистрируется показывающим прибором, шкалы которого проградуированы в люксах. Прибор имеет две равномерные шкалы: 0-30 и 0-100 лк и соответствующие им кнопки управления. При нажатии левой кнопки - отсчет показаний ведется по шкале 0—30 лк, при нажатии правой кнопки — по шкале 0 - 100 лк. На передней панели измерителя, кроме кнопок для переключения, имеется табличка со схемой, связывающей действие кнопок и используемых в приборе насадок. Применяемые в приборе насадки М, Р и Т используются для расширения диапазонов измерений. Для уменьшения косинусной погрешности применяется насадка на фотоэлемент в виде полусферы из белой светорассеивающей пластмассы. Внутренняя сторона этой насадки обозначена буквой К. Диапазоны измерений и общий номинальный коэффициент ослабления применяемых одновременно двух насадок (коэффициент пересчета шкалы) приведены в табл. 1. Наибольшую погрешность измерений прибор дает при малых отклонениях стрелки гальванометра. Поэтому начальные значения диапазонов измерений отмечены на шкале 0-30 точкой над отметкой 5, на шкале 0-100 - точкой над отметкой 20. На диапазонах измерений 5-30 и 20-100 люксметр имеет наименьшую погрешность измерения - 10%.

Метрологические характеристики люксметра Ю-116

1. Диапазон измерения освещенности, лк ..... 1 - 100000



2. Спектральный диапазон, мкм:..... 0,38 - 0,77  
4. Потребляемая мощность, Вт:.....0,02  
5. Время установления рабочего режима, с:.....2

#### 4.2 Порядок работы прибора

1. Установить стрелку прибора в нулевое положение. Для этого: отсоединить фотоэлемент от измерителя люксметра и, в случае необходимости, с помощью корректора установить стрелку прибора на нулевое деление шкалы.
2. Корпус измерителя и фотоэлемент установить горизонтально, отсчет по измерителю производить на некотором расстоянии от фотоэлемента, чтобы тень от проводящего измерения не падала на фотоэлемент.
3. Для получения правильных показаний следует оберегать селеновый фотоэлемент люксметра от излишней освещенности, не соответствующей выбранным насадкам. Поэтому, если величина измеряемой освещенности неизвестна, измерения нужно начинать с установки на фотоэлемент двух насадок К и Т. С целью ускорения поиска нужного диапазона измерений поступают следующим образом: последовательно устанавливают насадки К и Т; К и Р; К и М и при каждой паре насадок сначала нажимают правую кнопку, а затем левую. Если при насадках К и М и нажатой левой кнопке стрелка не доходит до 5 делений по шкале 0-30, измерения производят без насадок, т. е. открытым фотоэлементом.
4. По окончании измерения отсоединить фотоэлемент от измерителя люксметра и, надев насадку Т, уложить в крышку футляра.

#### 4.3 Отсчет показаний

Принцип отсчета значения измеряемой освещенности состоит в следующем: напротив нажатой кнопки определяется выбранное с помощью насадок (или без насадок) наибольшее значение диапазона измерений. При нажатой правой кнопке, напротив которой нанесены значения диапазонов измерений кратные 10, следует пользоваться для отсчета показания шкалой 0-100. При нажатой левой кнопке, напротив которой нанесены наибольшие значения диапазонов измерений кратные 30, следует пользоваться шкалой 0-30. Показания прибора в делениях по соответствующей шкале умножают на коэффициент пересчета шкалы, указанный в табл.1 для применяемых насадок. Например, на фотоэлементе установлены насадки К и Р, нажата левая кнопка, стрелка показывает 10 делений по шкале 0-30. Измеряемая освещенность составит  $10 \times 100 = 1000$  лк.

#### 5. Порядок работы

Задание: Определить коэффициент естественной освещенности и исследовать зависимость искусственного комбинированного освещения от высоты расположения светильника местного освещения. Определить разряд зрительной работы и оптимальную высоту расположения светильника местного освещения.

1. Измерить освещенность на горизонтальной площадке от рассеянного света всего небосвода.
2. Измерить освещенность на рабочем месте от естественного бокового освещения. Светильники искусственного освещения при этом должны быть выключены.
3. Рассчитать уровень естественной освещенности, который нормируется в процентах естественной освещенности рабочей поверхности внутри помещения от наружной освещенности на горизонтальной площадке от рассеянного света всего небосвода КЕО е (коэффициент естественной освещенности). Сравнить рассчитанный уровень естественной освещенности с допустимым значением (табл.2) и сделать вывод.
4. Зашторить в помещении окна для исключения влияния естественного света. Включить общее освещение лаборатории и измерить освещенность на рабочем месте на плоскости стола под светильником местного освещения (не включая его) Еобщ.
5. Включив дополнительно светильник местного освещения и установив его на высоту  $\approx 0,25$  м от плоскости стола, измерить под ним освещенность от системы комбинированного освещения Екомб. Затем, последовательно устанавливая светильник на высоту  $\approx 0,5; 0,75; 1,0$  м, произвести остальные замеры. Для каждой высоты рассчитать долю общего освещения от комбинированного, сравнить с нормативной величиной и сделать вывод. Освещенность рабочей поверхности, созданная светильниками общего освещения должна составлять не менее 10 % нормируемой величины комбинированного освещения при тех источниках света, которые применяются для местного

освещения. По СНиП 23-05-95 (таблица 2) определить допустимый разряд работы при различных положениях светильника.

### **Тема: Потери напряжения в электрических сетях**

Потеря напряжения в системе электроснабжения — величина, равная разности между установившимися значениями действующего напряжения, измеренными в двух точках системы электроснабжения (ГОСТ 23875-88 «Качество электрической энергии. Термины и определения»), например, алгебраическая разность между напряжением в начале (например, у источника питания) и в конце (на зажимах электроприемника) линии.

На вторичных обмотках трансформаторов ТП напряжение 0,4кВ (п. 1.2.23 ПУЭ 7-го изд.), т.е. 105% от номинального напряжения электрической сети 0,38кВ (ГОСТ 721 и ГОСТ 21128). Имеем от шин ТП до ВРУ “располагаемую” потерю напряжения в нормальном режиме 5% — среднее значение в пределах 4-6% (п. 5.2.4 РД 34.20.185-94). Нормально допустимые значения установившегося отклонения напряжения на зажимах ЭП  $\pm 5\%$  от номинального напряжения сети. Имеем “располагаемую” потерю напряжения  $\approx 10\%$  от шин РУ 0,4кВ ТП до н.у. ЭП, но рекомендуется, чтобы суммарные потери напряжения от шин ТП до н.у. лампы ЭО не превышали 7,5% (СП 31-110-2003). Значит, если от шин 0,4кВ ТП до ВРУ — 5%, то на участке от ВРУ до н.у. лампы ЭО не более 2,5%, а для остальных ЭП потери в ЭУ зданий не должны превышать 4% (ГОСТ Р 50571.15-97):

- от шин ТП до ВРУ — 5% (380В);
- от шин ТП до н.у. лампы ЭО — 7,5% (370В);
- от шин ТП до н.у. ЭП — 9% (364,8В).

А потери напряжения в ЭУ здания на различных участках электрической сети, не нормируются и выбираются исходя из конкретных условий, ТЭО и т.д. С точки зрения уменьшения трудоёмкости проектирования, потери напряжения на различных участках электрической сети, на мой взгляд, можно принять следующими, от ВРУ до:

- эл.двигателя, РЭА и спец.оборудования — по паспорту, но не более 15%.
- Для цепей напряжения счетчиков учета электроэнергии — 0,5% (РМ-2559).

Потерю напряжения в каждой групповой линии (при равных сечениях проводников) в сетях внутреннего ЭО и штепсельных розеток рассчитывать не требуется, т.к. нет действующих руководящих документов, обязывающих делать такой расчет, который необходим только для выявления значений при наихудших условиях, т.е. для н.у. лампы ЭО и самой нагруженной линии ЭП.

По опыту проектирования потери напряжения во внутриквартирных групповых линиях общего освещения могут приниматься равными 1-0,8 % (Тульчин И.К., Нудлер Г.И., Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий Рекомендуются допустимые потери напряжения и обязательные нормально допустимые значения установившегося отклонения напряжения в нормальном режиме в электрических сетях 0,4/0,23 кВ.

На шинах н/н ТП в период наименьших нагрузок сетей не выше 100% номинального напряжения (п. 1.2.23 ПУЭ 7-го изд.) и потери напряжения, зависящие от мощностей нагрузки в сетях, пропорционально уменьшаются.

Нужно сделать расчет на потери напряжения в послеаварийном режиме, чтобы не выйти за предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения (ГОСТ 13109-97):  $\pm 10\%$  от номинального напряжения электрической сети по ГОСТ 721 и ГОСТ 21128 (номинальное напряжение). Расчет на потери напряжения в послеаварийном режиме м.б. актуален, например, для взаиморезервируемых кабельных линий.

### **Тема: Устройство электрообогрева**

Современные системы обогрева, формируемые с помощью продукции группы компаний, позволяют получать температуры нагрева поверхности до 600°C (с помощью греющих кабелей) и могут быть реализованы в различных вариантах - от системы обогрева отдельного трубопровода, основанном на свойствах саморегулирования, до централизованных систем обогрева технологических установок, содержащих до 300 и более участков трубопроводов а также систем обогрева протяженных трубопроводов (до 20км) с подводом питания к трубопроводу с одной точки без устройства промежуточных соединительных коробок.

Данные системы могут быть использованы не только для поддержания технологических температур и защиты трубопроводов от замерзания, но и для кратковременного разогрева технологического участка, обогрева резервуаров и емкостей, приводов и задвижек, импульсных линий и шкафов КиП, полов и покрытий различных помещений и других компонентов технологического процесса.



Наши специалисты выполняют полный комплекс мероприятий связанных с установкой систем промышленного обогрева на объектах заказчика:

- проект монтажа и подключения системы к действующим электросетям предприятия,
- проектирование вспомогательных конструкций,
- поставка материалов и оборудования на приобъектный склад заказчика,
- монтаж оборудования,
- пуско-наладочные работы с последующей сдачей системы эксплуатирующей организации,
- теплоизоляционные работы;

#### **Области применения греющего кабеля и компонентов**

Основные направления деятельности в области промышленного взрывозащищенного электрообогрева с применением компонентов и греющего кабеля и ТЭНов:

- проектирование, строительство объектов железнодорожного транспорта (ж/д пути, ж/д пункты погрузки разгрузки, сливо-наливные установки ЛВЖ и ГЖ и.т.п.);
- проектирование, производство, монтаж систем промышленного электрообогрева различного назначения с применением компонентов, греющего кабеля и ТЭНов Bartec (технологические трубопроводы, резервуары и иные элементы взрывоопасных зон, полы, дороги и подъезды различного назначения, крыши, водостоки, лотки, технологические трубопроводы и резервуары, а также железнодорожные пути и стрелочные переводы);
- проектирование, изготовление и поставка устройств, предназначенных для установки на взрывоопасных объектах;
- производство электромонтажных и теплоизоляционных работ;
- поставка теплоизоляционных материалов;
- устройство внешних инженерных сетей (водопровод, канализация) с прокладкой трубопроводов методом бестраншейного горизонтального направленного бурения;
- полный комплекс ремонтно-строительных работ по внутреннему обустройству зданий и сооружений (в том числе устройство внутренних инженерных сетей);

Системы обогрева Bartec применимы как для обогрева всех видов продуктопроводов, так и для предотвращения замерзания и поддержания эксплуатационных температур других компонентов технологического процесса:

- приводов задвижек,
- клапанов,

- вентиляй,
- сливных патрубков,
- трубопроводов факельных хозяйств (стволов факелов) и др.

Могут быть оснащены широким спектром возможностей по управлению, мониторингу, контролю за расходом и использованием энергии.

## Приложение 4

### Блок тестовых заданий по всему курсу обучения

1 Нұсқа

Вариант

1. Сұрақ

Вопрос Какие диоды применяют для выпрямления переменного тока

- A. Плоскостные , точечные
- B. ни какие
- C. плоскостные
- D. точечные
- E. круглые

2. Сұрақ

Вопрос В каких случаях в схемах выпрямителей используется параллельное включение диодов

- A. При отсутствии реле
- B. При отсутствии конденсатора
- C. При отсутствии резисторов
- D. При отсутствии катушки
- E. При отсутствии трёхфазного трансформатора

3. Сұрақ

Вопрос Из каких элементов можно составить сглаживающие фильтры

- A. Из катушек индуктивности
- B. Из резисторов
- C. Из всех вышеперечисленных приборов
- D. Из конденсаторов
- E. Из реле

4. Сұрақ

Вопрос Для выпрямления переменного напряжения применяют

- A. Многофазные выпрямители
- B. Однофазные выпрямители
- C. Мостовые выпрямители
- D. Все перечисленные
- E. Выпрямители

5. Сұрақ

Вопрос Какие направления характерны для совершенствования элементной базы электроники

- A. Снижение потребления мощности
- B. Повышение надежности
- C. Миниатюризация
- D. Все перечисленные
- E. Надежность

6. Сұрақ

Вопрос Укажите полярность напряжения на эмиттере и коллекторе транзистора типа р-п-р

- A. минус, минус
- B. плюс, плюс
- C. плюс, минус
- D. минус, плюс
- E. север, юг

7. Сұрақ

Вопрос Каким образом элементы интегральной микросхемы соединяют между собой

- A. Всеми перечисленными способами
- B. Напылением золотых или алюминиевых дорожек через окна в маске
- C. Пайкой
- D. Термокомпрессией
- E. Сваркой

8. Сұрақ

Вопрос Какие особенности характерны как для интегральных микросхем (ИМС), так и для больших интегральных микросхем (БИС)

- A. Технология
- B. Миниатюрность
- C. Комплексная технология
- D. Сокращение внутренних соединительных линий
- E. Все перечисленные

9. Сұрақ

Вопрос Как называют средний слой у биполярных транзисторов

- A. База
- B. Сток
- C. Исток
- D. Коллектор
- E. Кожух

10. Сұрақ

Вопрос Сколько р-п переходов содержит полупроводниковый диод

- A. Один
- B. Три
- C. Два
- D. Четыре
- E. Пять

11. Сұрақ

Вопрос Как называют центральную область в полевом транзисторе

- A. Исток
- B. Сток
- C. Канал
- D. Ручей
- E. распределительный пункт (РП)

12. Сұрақ

Вопрос Сколько р-п переходов у полупроводникового транзистора

- A. Ноль
- B. Три
- C. Один

- D. Пять
- E. Два

13. Сұрақ

Вопрос Управляемые выпрямители выполняются на базе

- A. Тиристоров
- B. Дiodов
- C. Биполярных транзисторов
- D. Полевых транзисторов
- E. Транзисторов

14. Сұрақ

Вопрос К какой степени интеграции относятся интегральные микросхемы, содержащие 500 логических элементов

- A. К высокой
- B. К малой
- C. К средней
- D. К сверхвысокой
- E. К большей

15. Сұрақ

Вопрос Электронные устройства, преобразующие постоянное напряжение в переменное, называются

- A. Выпрямителями
- B. Инверторами
- C. Стабилитронами
- D. Фильтрами
- E. Стабилизаторами

16. Сұрақ

Вопрос Какими свободными носителями зарядов обусловлен ток в фоторезисторе

- A. Протонами
- B. Дырками
- C. Электронами
- D. Нейтронами
- E. Атомами

17. Сұрақ

Вопрос У каких веществ на энергетической диаграмме валентная зона примыкает к зоне проводимости

- A. Проводники
- B. Диэлектрики
- C. Полупроводники
- D. Металлы
- E. Стали

18. Сұрақ

Вопрос У каких веществ на энергетической диаграмме валентная зона отделена от зоны проводимости большой запрещённой зоной

- A. Диэлектрики
- B. Полупроводники
- C. Металлы
- D. Проводники
- E. Сплавы

19. Сұрақ

Вопрос В полупроводниках имеют место два типа носителей заряда, это

- A. Электроны и протоны
- B. Электроны и дырки
- C. Электроны и нейтроны
- D. Протоны и дырки
- E. Протоны и атомы

20. Сұрақ

Вопрос Необратимым типом пробоя полупроводникового диода является

- A. Электрический пробой
- B. Тепловой пробой
- C. Туннельный пробой
- D. Пробой
- E. Разрядный пробой

21. Сұрақ

Вопрос Какие знаете способы выбора проводов электрических сетей

- A. по удельному сопротивлению
- B. по динамической плотности тока
- C. по тепловой плотности тока
- D. по энергетической плотности тока
- E. по экономической плотности тока

22. Сұрақ

Вопрос Однофазные бытовые счетчики проходят государственную проверку не реже

- A. 1 раз в 5 лет
- B. 1 раз в 8 лет
- C. 1 раз в 7 лет
- D. 1 раз в 10 лет
- E. 1 раз в 6 лет

23. Сұрақ

Вопрос Источник света, работа которой сопровождается выделением не значительной тепловой энергии

- A. люминесцентная лампа
- B. галогенная лампа
- C. лампа накаливания
- D. неоновая лампа
- E. ксеноновая лампа

24. Сұрақ

Вопрос При системе...интенсивно освещают только виды работ, имеющих незначительную площадь

- A. рабочего освещения
- B. ночного освещения
- C. общего освещения
- D. комбинированного освещения
- E. местного освещения

25. Сұрақ

Вопрос Лампа, включение которой свидетельствует о неисправности какой либо цепи обрабатывающего станка относится к группе

- A. сигнальной
- B. исполнительной
- C. командной
- D. защитной
- E. рабочей

## 2 Нұсқа

### Вариант

#### 1. Сұрақ

Вопрос Какой схемы включения биполярного транзистора не существует

- A. С общим калибратором
- B. С общим эмитером
- C. С общей базой
- D. Полевых транзисторов
- E. С общим диодом

#### 2. Сұрақ

Вопрос Прочитайте все варианты и выберите истинное высказывание

- A. В чистом полупроводнике валентные электроны могут переходить из валентной зоны в зону проводимости
- B. В чистом полупроводнике валентные электроны могут переходить из запрещенной зоны в зону p-n перехода
- C. В чистом полупроводнике валентные электроны могут переходить из валентной зоны в запрещенную зону
- D. В чистом полупроводнике валентные электроны могут не переходить из валентной зоны в зону не проводимости
- E. В чистом полупроводнике валентные электроны могут не переходить из валентной зоны в зону ковалентности

#### 3. Сұрақ

Вопрос Как называется полупроводниковый прибор с двумя переходами и тремя и более выводами

- A. Предохранителем
- B. Диод
- C. Биполярный транзистор
- D. Транзит
- E. Триод

#### 4. Сұрақ

Вопрос Когда могут образоваться новые энергетические уровни в кристаллах полупроводников

- A. воздействием электрического поля
- B. при дефектах кристаллической решетки
- C. воздействием излучения
- D. тепловыми полями
- E. магнитным

#### 5. Сұрақ

Вопрос Что происходит с запрещенной зоной при дефектах кристаллической решетки полупроводника с примесями

- A. увеличивается запрещенная зона
- B. уменьшается запрещенная зона
- C. возрастает запрещенная зона
- D. нагревается запрещенная зона
- E. охлаждает запрещенную зону



6. Сұрақ

Вопрос Сколько электронов на внешних валентных оболочках у атомов германия и кремни

- A. 5 электронов
- B. по 2 электрона
- C. 1 электрон
- D. по 4 электрона
- E. 10 электронов

7. Сұрақ

Вопрос Что применяют в качестве примесей

- A. одновалентные элементы
- B. двухвалентные элементы
- C. четырехвалентные элементы
- D. трехвалентные элементы
- E. пятивалентные элементы

8. Сұрақ

Вопрос Как называется атом, если электрон переходит на очень удаленную орбиту и отрывается от атома

- A. водородный
- B. электронным
- C. ионизированным
- D. кислотный
- E. щелочной

9. Сұрақ

Вопрос Какая энергия электрона соответствует каждой разрешенной орбите

- A. электрическая
- B. тепловая
- C. механическая
- D. кинематическая
- E. принципиальная

10. Сұрақ

Вопрос Плоский электрический переход, линейные размеры которого, определяющие его площадь, значительно больше ширины p-n-перехода

- A. Стабилитрон
- B. Плоскостный диод
- C. Точечный диод
- D. Электрон
- E. Диод

11. Сұрақ

Вопрос Прочитайте все варианты и выберите истинное высказывание

- A. Если в качестве примесей к кристаллам германия или кремния применяют пятивалентные элементы, то это — полупроводник с электронной проводимостью.
- B. Если в качестве примесей к кристаллам германия или кремния применяют пятивалентные элементы, то это — полупроводник с дырочной проводимостью
- C. Если в качестве примесей к кристаллам германия или кремния применяют трехвалентные элементы, то это — полупроводник с валентностью
- D. Если в качестве примесей к кристаллам германия или кремния применяют пятивалентные элементы, то это — полупроводник с дырочной валентностью

Е. Если в качестве примесей к кристаллам германия или кремния применяют пятивалентные элементы, то это — полупроводник с ковалентностью

12. Сұрақ

Вопрос Выберите полупроводниковые диоды, которые работают в режиме электрического пробоя

- А. Импульсный диод
- В. Стабилитрон
- С. Точечный диод
- Д. Плоскостной диод
- Е. Резистор

13. Сұрақ

Вопрос Чем сопровождается переход в чистом полупроводнике электрона из валентной зоны в зону проводимости

- А. появление дырки в зоне проводимости
- В. появлением дырки в запрещенной зоне
- С. появлением дырки
- Д. появлением дырки в зоне
- Е. появление электрона

14. Сұрақ

Вопрос Чем является один р-n-переход и 2 омических контакта

- А. Полупроводниковым диодом
- В. Выпрямительным диодом
- С. Плоскостным диодом
- Д. Проводниковым диодом
- Е. Выпрямителем

15. Сұрақ

Вопрос Единицей измерения реактивной мощности Q цепи синусоидального тока является

- А. АВ
- В. ВА
- С. Вт
- Д. ВАр
- Е. кВт

16. Сұрақ

Вопрос Единица измерения активной мощности P

- А. АВ
- В. кВтАр
- С. кВА
- Д. кДж
- Е. кВт

17. Сұрақ

Вопрос Единица измерения полной мощности

- А. кВА
- В. кДж
- С. кВтАр
- Д. кВт
- Е. В

18. Сұрақ

Вопрос Если сопротивления всех резисторов одинаковы и равны 6 Ом, то входное сопротивление схемы, изображенной на рисунке, равно

- A. 36 Ом
- B. 11 Ом
- C. 2 Ом
- D. 18 Ом
- E. 15 Ом

19. Сұрақ

Вопрос Определите, при каком соединении (последовательном или параллельном) двух одинаковых резисторов будет выделяться большее количество теплоты и во сколько раз

- A. при параллельном соединении в 4 раза
- B. при последовательном соединении в 2 раза
- C. при параллельном соединении в 2 раза
- D. при последовательном соединении в 4 раза
- E. при последовательном соединении в 6 раза

20. Сұрақ

Вопрос Вольт-амперные характеристики нелинейных элементов заменяют ломанной, состоящей из отрезков прямых при расчёте

- A. линейным
- B. пассивным
- C. нелинейным
- D. активным
- E. не активным

21. Сұрақ

Вопрос Для получения безопасного напряжения, питающего светильники местного освещения металлорежущих станков применяют

- A. самостоятельно фидерами
- B. дополнительными фидерами
- C. резервными фидерами
- D. совместными фидерами
- E. вспомогательными фидерами

22. Сұрақ

Вопрос Единица измерения светового потока

- A. люмен
- B. люкс
- C. ампер
- D. кандела
- E. вольт

23. Сұрақ

Вопрос Нормы аварийного освещения для эвакуации людей

- A. 0,5 лк
- B. 10 лк
- C. 20 лк
- D. 15 лк
- E. 30 лк

24. Сұрақ

Вопрос Элемент необходимый для ограничения рабочего тока люминесцентной лампы

- A. конденсатор

- В. дроссель
- С. резистор
- Д. стартер
- Е. трансформаторы

#### 25. Сурак

Вопрос Метод, использующийся для определения фактической освещенности рабочей поверхности

- А. точечный метод
- В. метод удельной мощности
- С. метод коэффициента спроса
- Д. метод коэффициента мощности
- Е. метод мегаомметра

### Приложение 4

#### Вопросы для самоконтроля по всему курсу ПМ-11

1. Если сопротивление элемента зависит от тока или приложенного напряжения, то такой элемент называется?
2. Электрическая цепь, у которой электрические напряжения и электрические токи связаны друг с другом нелинейными зависимостями, называется?
3. Единицей измерения сопротивления участка электрической цепи является?
4. Единицей измерения силы тока в электрической цепи является?
5. Число независимых уравнений, которое можно записать по первому закону Кирхгофа для заданной схемы равно?
6. Для определения всех токов путем непосредственного применения законов Кирхгофа необходимо записать столько уравнений, сколько \_\_\_\_\_ в схеме?
7. Основным назначением схемы выпрямления во вторичных источниках питания является
8. Основным назначением параметрического стабилизатора напряжения во вторичных источниках питания является
9. Если при неизменном магнитном потоке увеличить площадь поперечного сечения  $S$  магнитопровода, то магнитная индукция  $B$
10. При подключении катушки со стальным сердечником к источнику синусоидального напряжения вследствие возникновения переменного магнитного потока магнитопровод
11. Магнитная цепь, основной магнитный поток которой во всех сечениях одинаков, называется?
12. Величина магнитной проницаемости  $\mu_a$  используется при описании?
13. Величиной, имеющей размерность А/м, является.
14. Зависимость магнитной индукции  $B$  от напряженности магнитного поля  $H$  характеризуется гистерезисом, который проявляется.
15. Если уменьшить амплитуду синусоидального напряжения  $U_m$  на катушке со стальным сердечником, то амплитуда магнитного потока.
16. Если увеличить амплитуду синусоидального напряжения  $U_m$  на катушке со стальным сердечником (сердечник не насыщен), то амплитуда магнитного потока.
17. Если при неизменном числе витков  $w$ , площади поперечного сечения  $S$  и длине  $l$  магнитопровода (сердечник не насыщен) увеличить ток  $I$  в обмотке, то магнитный поток  $\Phi$ .
18. На эквивалентной последовательной схеме замещения катушки с ферромагнитным сердечником потери в проводе катушки учитывает элемент
19. Отрезок а-б основной кривой намагничивания  $B(H)$  соответствует.
20. Точка НС предельной петли гистерезиса называется.
21. Метод неотносящийся к светотехническому расчету.
22. Система освещения, обеспечивающая освещенность помещения при отключении основного освещения.

23. По типу светильника, индексу помещения и отражающим коэффициентам определяется
24. Минимальная рекомендуемая высота установки ламп ДРЛ.
25. Основные электрические параметры источников света.
26. В цепи обмотки якоря двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением устанавливается пусковой реостат для.
27. Основной магнитный поток машин постоянного тока регулируется изменением.
28. Обмотка возбуждения, расположенная на роторе синхронной машины, подключается.
29. Если скорость вращения поля статора синхронной двухполюсной машины 3000 об/мин, то номинальная скорость вращения ротора
30. Вращающееся магнитное поле статора синхронного двигателя создается при выполнении следующих условий
31. Для подвода постоянного напряжения к обмотке возбуждения ротора синхронной машины используется.
32. В синхронной машине в режиме двигателя статор подключается к.
33. Величина ЭДС, наводимой в обмотке трансформатора, не зависит от.
34. Отношение напряжений на зажимах первичной и вторичной обмоток трансформатора при холостом ходе приближенно равно
35. Трансформатор не предназначен для преобразования.
36. Если на щитке трёхфазного понижающего трансформатора изображено, то его обмотки соединены по следующей схеме
37. Однофазный трансформатор имеет две обмотки с номинальным напряжением 220 В и 44 В.
38. Ток в обмотке высшего напряжения равен 10 А. Ток в обмотке низшего напряжения равен
39. Трансформаторы предназначены для преобразования в цепях переменного тока
40. В основу принципа работы трансформатора положен

#### **Рекомендуемая литература:**

1. Закон РК от 27.07.2007г. № 319-3 «Об образовании» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 18.02.2014г.)... РК от 16.05.2014
2. Государственная программа развития технического и профессионального образования, Астана, 2008г.
3. Методические рекомендации по разработке рабочих учебных программ и календарно-тематических планов учебных дисциплин по специальностям технического и профессионального образования. Управления образования Костанайской области РНМЦ ТиПО, 2013г.
4. Миклашевский С.П Промышленная электроника М.: Высшая школа, 1973 г
5. Китаев В.Е Электротехника с основами промышленной электроники М.: Высшая школа, 1980 г
6. Зимин Е.Н, Преображенский В.И, Чувашов И.И Электрооборудование промышленных предприятий и установок М.: Энергоиздат 1981 г
7. Айзенберг Световые приборы М.: Энергия 1980 г
8. Утешев Е, Байсенова Г.С Электрическое освещение Алматы Триумф Т 2013 г