

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение**  
**высшего образования**  
**«Майкопский государственный технологический университет»**

**РЕЖИМЫ РАБОТЫ СИЛОВОГО  
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СТАНЦИЙ И  
ПОДСТАНЦИЙ**

учебно-методическое пособие для студентов очной и заочной форм обучения по  
направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

**Майкоп 2019**

**УДК 621.311(07)**

**ББК 31.277**

**Р 33**

**Составитель: Старков Н.Н., кандидат технических наук, доцент**

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Тема 1. Введение .....	4
2. Тема 2. Характеристика режимов работы электрического оборудования..	4
3. Тема 3. <b>Методология расчета мощности элементов электрооборудования</b> .....	7
4. Тема 4. <b>Современная элементная база электрического оборудования</b> .....	20
5. Тема 5 <b>Расчёт электрических процессов и выбор рабочих параметров статических преобразователей приводов электрооборудования</b> .....	26
6. 5.1. Преобразователи электрической энергии.....	26
7. 5.2. Устройства компенсации реактивной мощности.....	28
8. 5.3. Электрические фильтры – определение, классификация, характеристика, основные виды.....	33
9. Тема 6. <b>Расчёт нестационарных режимов работы электрооборудования</b> .....	36
<b>Библиографический список источников информации</b> .....	42

## Тема 1. Введение

Дисциплина «Режимы работы электрооборудования электростанций и подстанций» является вариативной дисциплиной, формирующей у обучающихся готовность к получению знаний о режимах работы основного электрооборудования электрических станций и подстанций, процессах протекающих в электрооборудовании в результате воздействия нагрузок, возмущений, которые приводят к изменению параметров режима; исследование причин возникновения аварийных ситуаций на электрических станциях, разработка предложений по ликвидации аварий и их предупреждению; формирование и развитие навыков позволяющих студентам характеризовать режим как качественно, так и количественно по отношению, как к отдельному типу электрооборудования, так и к электрической системе в целом. Целью освоения дисциплины является знакомство обучающихся с основными закономерностями в работе электрооборудования электростанций и подстанций. Задача изучения дисциплины: - усвоение основ функционирования электрических станций и подстанций в стационарных режимах и переходных процессах, выработка умения и навыков расчета и анализа стационарных режимов работы и переходных процессов в электроустановках станций и подстанций.

## Тема 2. Характеристика режимов работы электрического оборудования

Режим работы электрических сетей и систем, а следовательно, и электрооборудования определяется токовой нагрузкой, частотой тока, уровнем напряжения, способом соединения нейтрали с землей, симметричностью системы напряжения, синусоидальностью напряжения, климатическими условиями эксплуатации (температурой окружающей среды, влажностью воздуха, высотой над уровнем моря) и др.

Режимы работы электрических систем условно подразделяют на четыре вида [13]:

- 1) нормальные режимы, при которых отклонения приведенных выше параметров от их номинальных (нормируемых) значений не превышают длительно допустимые;
- 2) временно допустимые режимы, при которых отклонения приведенных выше параметров допустимы на определенное ограниченное время без существенного ущерба для электрической сети и питаемого от нее электрооборудования (например, систематические перегрузки силовых трансформаторов, возможность работы электрооборудования в течение указанного в ПУЭ времени в сетях с изолированной или компенсированной нейтралью при однофазном замыкании на землю);
- 3) аварийные режимы, характеризующиеся опасными для электрооборудования сверхтоками или другими недопустимыми явлениями (например, нарушения изоляции, КЗ, обрывы проводов); эти режимы имеют, как правило, переходный (неустановившийся) характер;
- 4) послеаварийные режимы, в которые входят как переходные процессы (например, вызванные одновременным самозапуском большого числа двигателей), так и установившиеся режимы в новых условиях питания, часто ограниченных по мощности.

Кроме того, существует классификация работы электрооборудования в зависимости от длительности нагрузки. На основании этой классификации двигатели подразделяют на три характерные группы:

- • работающие в режиме с продолжительной неизменной или мало меняющейся нагрузкой — в этом режиме электрооборудование может работать значительное время без превышения температуры его отдельных частей выше допустимой (например, электродвигатели насосов, вентиляторов);
- • работающие в режиме повторно-кратковременной нагрузки — в этом режиме кратковременные периоды работы электрооборудования чередуются с кратковременными периодами его отключения, кроме того, в этом режиме электрооборудование может работать с допустимой для него относительной продолжительностью включения неограниченное время;

- работающие в режиме кратковременной нагрузки — в этом режиме электрооборудование может работать длительно, так как период остановки электрооборудования настолько длителен, что оно практически успевает охладиться до температуры окружающей среды (например, электродвигатели электроприводов вспомогательных механизмов).

Известно, что электрооборудование выбирают по номинальным параметрам, и оно должно удовлетворять следующим основным требованиям:

- 1) иметь необходимую прочность изоляции;
- 2) соответствовать допустимым токам нагрева в длительных режимах работы;
- 3) обладать стойкостью в режиме короткого замыкания;
- 4) иметь достаточную механическую прочность;
- 5) соответствовать окружающей среде.

Все номинальные параметры электрооборудования, приводимые в справочной литературе, соответствуют температуре окружающей среды, не превышающей 40 °С, и среднесуточной температуре, не превышающей 35 °С.

Для обеспечения надежности системы электроснабжения при эксплуатации электрооборудования необходимо учитывать режимы его кратковременных перегрузок на период от нескольких часов до нескольких суток. Эти режимы имеют место при повреждении или отключении соседнего электрооборудования (линий, трансформаторов и др.) и должны предусматриваться заранее, еще при проектировании. Тогда в условиях эксплуатации надежность питания электрооборудования будет обеспечена.

Особо следует рассмотреть возможности перегрузки силовых трансформаторов, относящихся к основному электрооборудованию систем электроснабжения. Срок службы любого силового трансформатора определяется старением его изоляции, которое резко возрастает с повышением температуры его обмотки. Известно, что для силовых трансформаторов допускаются два вида перегрузок:

- длительная, за счет снижения температуры окружающей среды по сравнению с номинальной;
- кратковременная или аварийная, которая используется в тех случаях, когда отключается один из двух трансформаторов, питающих разные секции шин (шины секционированы коммутационным аппаратом), и оставшийся в работе трансформатор принимает на себя повышенную нагрузку, т.е. в общем случае нагрузку обеих секций.

Силовой трансформатор может работать непрерывно в течение всего срока службы в следующих случаях:

- 1) при температуре окружающей среды, равной 20 °С;
- 2) при превышении средней температуры масла над температурой окружающей среды для систем охлаждения М и Д, равной 44 °С, для систем охлаждения ДЦ и Ц, равной 36 °С;
- 3) при превышении температуры наиболее нагретой точки обмотки над средней температурой обмотки, равной 13 °С;
- 4) во время переходных процессов в течение суток наибольшая температура верхних слоев масла не должна превышать 95 °С, а наиболее нагретая точка металла обмотки — 140 °С.

Необходимость перегрузки электрооборудования возникает не только в послеаварийных режимах, но и при увеличении электрической нагрузки. В среднем для воздушных и кабельных линий допускают перегрузку на 30—35%; для силовых трансформаторов, согласно ПУЭ, систематическая перегрузка может составлять не более 30%. При длительности перегрузки до шести часов в сутки допускается аварийная перегрузка на 40% сверх номинального тока в течение не более пяти суток.

Если температура окружающего воздуха равна расчетной (35 °С) для данного электрооборудования, то перегрузка его током сверх номинального не всегда допускается. Если максимальная температура окружающего воздуха меньше расчетной, т.е. меньше 35 °С, то рабочий ток высоковольтных

выключателей, разъединителей и трансформаторов тока можно увеличить на 0,5% номинального тока на каждый градус понижения температуры ниже 35 °С, но всего не более чем на 20%.

Для того чтобы выбранное по номинальным параметрам электрооборудование надежно работало в системах электроснабжения, его проверяют на термическую и электродинамическую стойкость к токам короткого замыкания.

Короткие замыкания (КЗ) возникают, как правило, при повреждениях изоляции электрооборудования и линий, не выявленных, например, своевременно при профилактических испытаниях или из-за перенапряжений. Кроме того, КЗ могут быть вызваны ошибочными действиями обслуживающего персонала, механическими повреждениями кабельных линий, схлестыванием проводов воздушных линий или перекрытием их птицами. Короткие замыкания являются одним из основных видов аварий в электрических сетях и системах. В трехфазных сетях и электрооборудовании их разделяют на трех-, двух- и однофазные; первые из них называют еще симметричными.

При возникновении КЗ общее сопротивление цепи системы электроснабжения уменьшается, вследствие чего токи в ветвях системы резко увеличиваются, а напряжения на отдельных участках системы значительно снижаются. За время КЗ с момента его возникновения до момента отключения поврежденного участка в цепи протекает переходный процесс с большими мгновенными токами, вызывающими электродинамическое воздействие на электрооборудование.

В современном мощном электрооборудовании ток КЗ, соответствующий времени 0,01 секунды, является ударным и может достигать очень больших значений. Возникающие при этом механические усилия между отдельными токоведущими частями электрооборудования, способны вызвать значительные повреждения. Поэтому для надежной работы системы электроснабжения все ее электрооборудование должно обладать достаточной динамической стойкостью против максимальных механических усилий при возникновении ударного тока [15].

При длительном, более 0,01 с, протекании токов КЗ они оказывают термическое действие (вызывают дополнительный нагрев электрооборудования), которое может привести к значительному повышению температуры нагрева электрооборудования. Поскольку протекание тока КЗ обычно происходит в течение малого промежутка времени (не более нескольких секунд), то для различных токоведущих частей допускаются некоторые повышения температуры сверх той, которая устанавливается для данного рабочего режима. Так, допустимая температура для медных шин составляет 300 °С, для кабелей с поливинилхлоридной и резиновой изоляцией она равна 150 °С, для кабелей с полиэтиленовой изоляцией она равна 120 °С.

Для проверки электрооборудования и линий, выбранных по номинальным параметрам, производят приближенное определение токов КЗ, а для выбора и настройки устройств релейной защиты и автоматики точность расчетов должна быть выше [15].

Расчет токов КЗ выполняют как при проектировании, так и в реальных условиях эксплуатации. Этот расчет преследует две цели:

- определение максимально возможных токов КЗ для проверки выбранных по номинальным параметрам электрооборудования и линий на термическую и электродинамическую стойкость к токам КЗ, а также выбор мер по ограничению значений токов КЗ или времени их действия;
- определение минимально возможных токов КЗ для проверки чувствительности, правильного выбора параметров срабатывания, в том числе и максимально возможного времени действия релейной защиты.

В первом случае расчетным видом КЗ обычно является трехфазное КЗ, а точку КЗ выбирают так, чтобы ток, проходящий через проверяемое электрооборудование или линию, оказался максимально возможным. При этом все нормально работающие источники, в том числе и двигатели, в момент КЗ переходящие в режим генератора, считаются включенными и их надо обязательно учитывать.

Во втором случае расчетным видом КЗ обычно служит двухфазное КЗ в конце проверяемого участка при таких реально возможных схеме и числе источников питания, при которых токи КЗ будут минимальны.

Расчеты токов КЗ выполняют при определенных допущениях [14].

Уровни токов и мощностей КЗ характеризуют те условия, в которых будет работать электрооборудование в аварийных режимах. Они определяют не только выбор электрооборудования, но и их отключающую и коммутационную способность, электродинамическую и термическую стойкость.

При эксплуатации систем электроснабжения, сопровождающейся их развитием (включение новых источников и приемников электроэнергии, изменение схемы электрической сети), возникает задача ограничения уровней токов и мощностей КЗ в случае, если они превышают технические параметры установленного электрооборудования. При ее решении используют специальные меры по ограничению токов КЗ. К таким наиболее распространенным мерам относятся следующие:

- применение силовых трансформаторов с расщепленными обмотками вторичного напряжения;
- применение одинарных и сдвоенных токоограничивающих реакторов;
- секционирование шин выключателями;
- изменение режима нейтрали и др.

Для обеспечения безаварийной работы подстанций электрических станций, сетей и систем необходим контроль за режимами работы электрооборудования: нагрузкой отдельных присоединений, напряжением и частотой в контрольных точках сетей, значением и направлением перетоков активной и реактивной мощности, количеством отпущенной электроэнергии.

Контроль за соблюдением этих параметров и других технических показателей работы электрооборудования осуществляется в основном с помощью щитовых контрольно-измерительных приборов и реже (при необходимости) используются переносные измерительные приборы. Для контроля номинального значения измеряемой величины на шкалы приборов наносят красную черту, облегчающую дежурному персоналу наблюдение за режимом работы электрооборудования и помогающую предупредить недопустимые перегрузки.

### Тема 3.

#### Методология расчета мощности элементов электрооборудования.

#### Основные методы расчета электрических нагрузок

- По номинальной мощности и коэффициенту использования;

- По номинальной мощности и коэффициенту спроса;

- По средней мощности и расчетному коэффициенту;

- По средней мощности и отклонению расчетной нагрузки от средней;

- По средней мощности и коэффициенту формы графика нагрузки.

Применение того или иного метода определяется допустимой погрешностью расчетов и наличием исходных данных.

Метод расчета электрических нагрузок по номинальной мощности и коэффициенту использования

Метод определения расчетных нагрузок по номинальной мощности и коэффициенту использования применяется, как правило, для индивидуальных ЭП напряжением до 1 кВ, работающих в длительном режиме (ПВ=1).

По данному методу расчетные нагрузки принимаются равными средним значениям нагрузок за наиболее загруженную смену:

- расчетная активная мощность, потребляемая одним ЭП, при наличии графика нагрузки по активной мощности

$$P_p = P_{см.}, (5.1)$$

где  $P_p$  – расчетная активная мощность, кВт;  $P_{см}$  – среднее значение активной мощности ЭП за наиболее загруженную смену, кВт;

- расчетная активная мощность, потребляемая одним ЭП, при отсутствии графика нагрузки по активной мощности

$$P_p = k_{и.а} P_n, (5.2)$$

где  $k_{и.а}$  – коэффициент использования активной мощности электроприемником за рассматриваемый промежуток времени (технологический параметр);

$P_n$  – номинальная активная мощность ЭП, кВт;

- расчетная реактивная мощность, потребляемая одним ЭП, при наличии графика нагрузки по реактивной мощности

$$Q_p = Q_{см.}, (5.3)$$

где  $Q_p$  – расчетная реактивная мощность, кВ·Ар;  $Q_{см}$  – среднее значение реактивной мощности ЭП за наиболее загруженную смену, кВ·Ар;

- расчетная реактивная мощность, потребляемая одним ЭП, при отсутствии графика нагрузки по реактивной мощности

$$Q_p = k_{и.р} Q_n = P_p \operatorname{tg} \varphi_n, (5.4)$$



где  $k_{н. q}$  – коэффициент использования реактивной мощности ЭП за рассматриваемый промежуток времени (технологический параметр);  $Q_{н}$  – номинальная реактивная мощность ЭП, кВт;  $\operatorname{tg} \varphi_{н}$  – номинальное значение коэффициента реактивной мощности, соответствующего  $\cos \varphi_{н}$  ЭП;

- расчетная полная мощность, потребляемая одним ЭП:

$$s_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (5.5)$$

где  $s_p$  – расчетное значение полной мощности ЭП, кВ·А;

- расчетное значение тока ЭП

$$i_p = \frac{s_p}{\sqrt{3} U_{н}} \quad (5.6)$$

где  $i_p$  – расчетный ток ЭП, А;  $U_{н}$  – напряжение питания ЭП, кВ.

По данному методу допускается определение расчетных нагрузок группы ЭП напряжением до 1 кВ, связанных технологическим процессом, (например, многодвигательные приводы), а их число, как правило, не более трех-четырех. Режим работы электроприемников данной группы должен быть приведен к длительному режиму (ПВ=1).

### **Расчетные нагрузки группы ЭП, определяемые по данному методу:**

- расчетная активная мощность, потребляемая группой ЭП, при наличии группового графика узла нагрузки по активной мощности

$$P_p = P_{с.м.} \quad (5.7)$$

где  $P_p$  – расчетная активная мощность, потребляемая группой ЭП, кВт;

$P_{с.м.}$  – средняя активная мощность, потребляемая группой ЭП, за наиболее загруженную смену, кВт;

- расчетная активная мощность, потребляемая группой ЭП, при отсутствии группового графика узла нагрузки по активной мощности

$$P_p = \sum_{i=1}^n k_{н.а.i} P_{нi} \quad , (5.8)$$

где  $k_{н.а.i}$  – коэффициент использования по активной мощности индивидуального ЭП, входящего в группу; n – число ЭП в группе;

- расчетная реактивная мощность, потребляемая группой ЭП, при наличии группового графика узла нагрузки по реактивной мощности

$$Q_p = Q_{с.м.} \quad , (5.9)$$

где  $Q_p$  – расчетная реактивная мощность группы ЭП, кВ·Ар;  $Q_{с.м.}$  – среднее значение реактивной мощности группы ЭП, кВ·Ар;

- расчетная реактивная мощность, потребляемая группой ЭП, при отсутствии группового графика узла нагрузки по реактивной мощности

$$Q_p = \sum_{i=1}^n k_{н.q.i} q_{нi} \quad \text{или} \quad Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi \quad , (5.10)$$

где  $k_{н.q.i}$  – коэффициент использования по реактивной мощности индивидуального ЭП, входящего в группу;  $\operatorname{tg} \varphi$  – средневзвешенный коэффициент реактивной мощности, соответствующий средневзвешенному значению  $\cos \varphi_{с.вз.}$  данной группы ЭП;

- расчетная полная мощность, потребляемая группой ЭП

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad , (5.11)$$

где  $S_p$  – расчетная полная мощность узла нагрузки, кВ·А.

- Расчетное значение тока группы ЭП

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_n} \quad , (5.12)$$

где  $I_p$  – суммарный расчетный ток узла нагрузки, А;  $U_n$  – напряжение питания узла нагрузки, кВ.

### Метод расчета электрических нагрузок по номинальной мощности и коэффициенту спроса

Метод определения расчетных нагрузок по номинальной мощности и коэффициенту спроса применяется, как правило, для группы ЭП, работающих в длительном режиме (ПВ=1). Данный метод наиболее прост и широко применяется при разработке технического задания на проектирование.

Для определения расчетных нагрузок по этому методу необходимо знать номинальную мощность группы приемников (производства, цеха и т.п.), коэффициент спроса данной группы ЭП и значение коэффициента мощности данной группы.

Групповые графики нагрузок подразделений предприятия, как правило, не приводятся, поэтому значения  $K_{с.а.}$  и  $\cos\varphi_{с.вз.}$  принимаются как средневзвешенные значения группы ЭП данного подразделения по справочной литературе.

### Расчетные нагрузки по данному методу определяются по следующим выражениям:

- активная расчетная мощность

$$P_p = K_{с.а.} P_n, (5.13)$$

где  $P_p$  – расчетное значение активной мощности узла нагрузки (цеха и т.п.), кВт;  $K_{с.а.}$  – средневзвешенное значение коэффициента спроса группы ЭП подразделения предприятия, о.е.;

- расчетная реактивная мощность

$$Q_p = P_p \operatorname{tg}\varphi, (5.14)$$

где  $Q_p$  – расчетное значение реактивной мощности узла нагрузки (цеха и т.п.), кВт;  $\operatorname{tg}\varphi$  – значение коэффициента реактивной мощности, соответствующего средневзвешенному значению  $\cos\varphi_{с.вз.}$  группы ЭП данного подразделения;

- полная расчетная мощность

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, (5.15)$$

где  $S_p$  – полная расчетная мощность группы ЭП данного подразделения, кВ·А;

- расчетное значение тока

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H} \text{ , (5.16)}$$

где  $I_p$  – расчетный ток, А;  $U_H$  – напряжение питания узла нагрузки, кВ.

Расчетные нагрузки, определенные данным методом, необходимы для выбора сечения линий электропередачи, питающих узел нагрузки; силовых пунктов и трансформаторов; коммутационных и защитных аппаратов.

#### Метод расчета электрических нагрузок по средней мощности и расчетному коэффициенту

При наличии данных о числе ЭП, их мощности и режимах их работы расчет силовых нагрузок до 1 кВ рекомендуется проводить по средней мощности ( $P_c$ ) и расчетному коэффициенту ( $K_p$ ). Расчетный коэффициент определяется по упорядоченным диаграммам. Поэтому данный метод носит название – метод упорядоченных диаграмм.

Для расчета нагрузок необходимы исходные данные по каждому ЭП:

количество и номинальная мощность ЭП ( $P_H$ ); коэффициент

использования по активной мощности ( $k_{н.а}$ ); коэффициент активной мощности ( $\cos \varphi$ ) и режим работы. При различных режимах работы ЭП их необходимо привести к длительному режиму (ПВ=1).

Для определения расчетной мощности узла нагрузки по методу упорядоченных диаграмм все электроприемники разбиваются на подгруппы с учетом их подключения к узлу питания (силовой пункт, щит, сборка и т.п.). Необходимо отметить, что при формировании подгруппы резервные ЭП не учитываются.

По сформированным подгруппам ЭП определяются эффективное число электроприемников и средневзвешенный коэффициент использования данной подгруппы.

Эффективное число электроприемников – это такое число однородных по режиму работы электроприемников одинаковой мощности, которое обуславливает те же значения расчетной нагрузки, что и группа электроприемников с разными мощностями и различными режимами работы.

- Величина эффективного числа электроприемников подгруппы ( $n_{\text{Э}}$ ) определяется по формуле

$$n_{\text{Э}} = \frac{\left( \sum_{i=1}^n P_{\text{Н}i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{\text{Н}i}^2}, \quad (5.17)$$

где  $P_{\text{Н}i}$  – номинальная активная мощность отдельного ЭП, входящего в состав подгруппы, кВт;  $n$  – число ЭП в подгруппе.

При значительном числе ЭП в подгруппе (магистральные шинопроводы, шины цеховых ТП, в целом по цеху) допускается эффективное число электроприемников подгруппы определять по упрощенному выражению

$$n_{\text{Э}} = \frac{2 \sum_{i=1}^n P_{\text{Н}i}}{P_{\text{Н.мах}}}, \quad (5.18)$$

где  $P_{\text{Н.мах}}$  – номинальная активная мощность наиболее мощного ЭП в подгруппе, кВт.

Полученное по указанной формуле значение эффективного числа электроприемников подгруппы округляется до ближайшего меньшего целого числа. Допускается принимать значение эффективного числа электроприемников равным действительному числу электроприемников в подгруппе при условии, что

отношение номинальной активной мощности наиболее мощного ЭП ( $P_{\text{Н.мах}}$ )

к номинальной мощности наименее мощного ЭП ( $P_{\text{Н.мин}}$ ) менее трех.

- Средневзвешенный коэффициент использования для подгруппы ( $K_{\text{с}}$ ) определяется по выражению

$$K_H = \frac{\sum_{i=1}^n k_{н.а.i} P_{н.i}}{\sum_{i=1}^n P_{н.i}} \quad .(5.19)$$

Определение расчетных нагрузок по данному методу сводится к расчету значений активной, реактивной, полной мощностей и полного тока, рассматриваемого узла нагрузки.

- Активная расчетная мощность группы электроприемников, подключенных к узлу питания напряжением до 1 кВ, определяется по выражениям

$$P_p = K_p \sum_{i=1}^n P_{с.i} = K_p \sum_{i=1}^n k_{н.а.i} P_{н.i} = K_p K_H P_H \quad .(5.20)$$

где  $P_p$  – активная расчетная мощность узла нагрузки, кВт;  $K_p$  – расчетный коэффициент подгруппы, определяемый как  $K_p = f(n_{\text{Э}}; K_H)$ , о.е.;  $P_{н.i}$   $P_{с.i}$  – номинальная и средняя мощности ЭП, входящих в подгруппу, кВт;  $k_{н.а.i}$  – коэффициент использования индивидуального ЭП в подгруппе, о.е.;  $P_H$  – активная суммарная мощность ЭП, входящих в подгруппу, кВт;  $K_H$  – средневзвешенный коэффициент использования по активной мощности для ЭП, входящих в подгруппу, о.е.;  $n$  – число ЭП в подгруппе.

В случае, если расчетная мощность, определенная по выражению (5.20), окажется меньше номинальной мощности наиболее мощного ЭП в подгруппе, следует принять расчетную мощность данной подгруппы равной номинальной мощности наиболее мощного ЭП.

Расчетный коэффициент определяется в зависимости от средневзвешенного коэффициента использования по активной мощности для подгруппы и эффективного числа электроприемников подгруппы. Значение расчетного коэффициента определяется по кривым этой зависимости или по таблицам с учетом постоянной времени нагрева сети, для которой рассчитываются электрические нагрузки.

Более точное значение расчетного коэффициента определяется по кривым зависимости  $K_p = f(n_{\text{Э}}, K_H)$ , а также при  $n_{\text{Э}} \leq 4$  (рис. 5.1).

Для сетей напряжением до 1 кВ, питающих силовые пункты, щиты, распределительные шинопроводы, постоянная времени нагрева принята

равной 10 мин ( $T_0=10$  мин). В данном случае расчетный коэффициент определяется по табл. 5.1.

Для магистральных шинопроводов и шин НН цеховых ТП постоянная времени нагрева принята равной 2,5 ч ( $T_0=2,5$  ч). В данном случае расчетный коэффициент определяется по табл. 5.2.

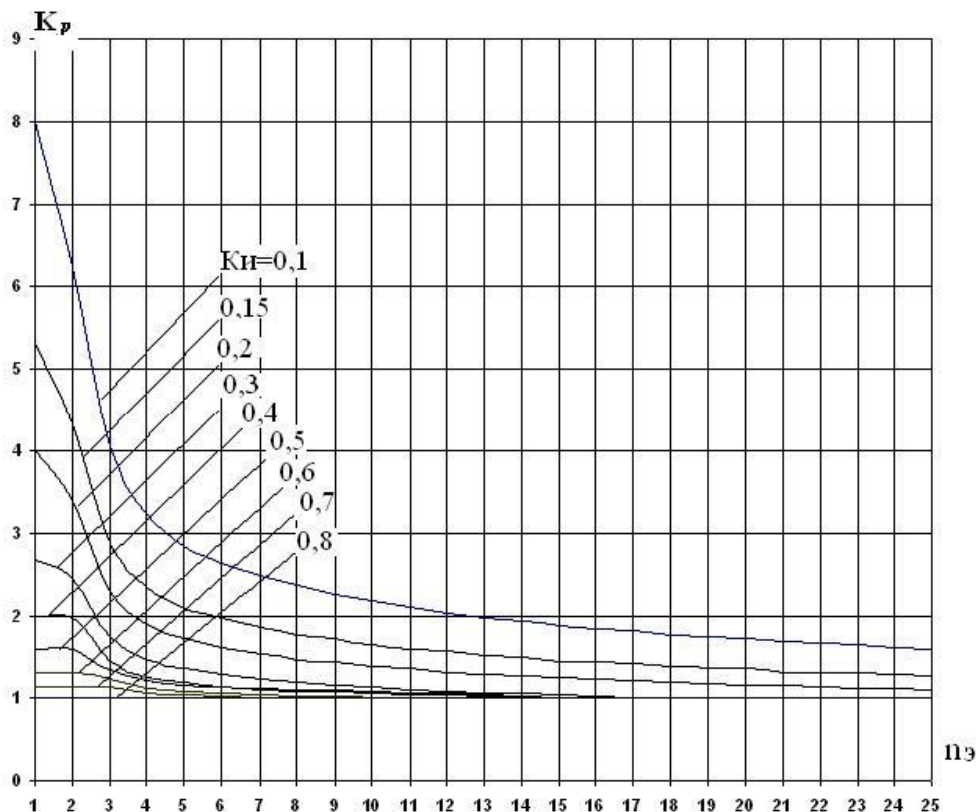


Рис. 5.1. Кривые коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$  для различных коэффициентов использования  $K_{И}$  в зависимости от  $n$

- Расчетная реактивная мощность узла нагрузки по этому методу определяется по формулам:

- при  $n \leq 10$

$$Q_p = 1,1 \sum_{i=1}^n k_{Иi} p_{Иi} \operatorname{tg} \varphi$$

; (5.21)

- при  $n > 10$

$$Q_p = \sum_{i=1}^n k_{Иi} p_{Иi} \operatorname{tg} \varphi$$

, (5.22)

где  $Q_p$  – расчетная реактивная мощность, кВ·Ар;  $\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной мощности, соответствующий средневзвешенному значению  $\cos \varphi_{с.вз.}$  для ЭП, входящего в данную группу.

Таблица 5.1

Значения коэффициентов расчетной нагрузки  $K_p$   
для питающих сетей напряжением до 1 кВ

Коэффициент $K_{II}$ использования											
$\Pi_{\Sigma}$		0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	
						2,67					
						2,45	2,00	1,6 1,6	1,33		
						1,74	1,98	1,34	1,33	1,14	
				5,33 4,33	4,00 3,39	1,47	1,45	1,21	1,22	1,14	1,0 1,0
				2,89 2,35	2,31 1,91	1,35	1,25	1,16	1,12	1,14	1,0 1,0
				2,09 1,96	1,72 1,62	1,28	1,16	1,13 1,1	1,08	1,06	1,0 1,0
				1,86 1,78	1,54 1,48	1,23	1,14	1,08	1,06	1,03	1,0 1,0
				1,71 1,65	1,43 1,39	1,19	1,12 1,1	1,07	1,04	1,01 1,0	1,0 1,0
	8,00 6,22 4,05 3,24 2,84			1,61 1,56	1,35 1,32	1,16	1,09	1,05	1,02	1,0 1,0	1,0 1,0
	2,64 2,49 2,37 2,27 2,18			1,52 1,49	1,29 1,27	1,13 1,1	1,07	1,04	1,01 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0
	2,11 2,04 1,99 1,94 1,89			1,46 1,43	1,25 1,23	1,08	1,06	1,03	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0
	1,85 1,81 1,78 1,75 1,72			1,41 1,39	1,21 1,19	1,06	1,05	1,01 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0
	1,6 1,51 1,44 1,4 1,35 1,3			1,36 1,35	1,17 1,16	1,05	1,04	1,01 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0
	1,25 1,2 1,16			1,27 1,21	1,1 1,05	1,03	1,02 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0
				1,26 1,13	1,0 1,0	1,02 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0
				1,1 1,07	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0
				1,03 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0
				1,0	1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0
						1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	1,0 1,0	
						1,0 1,0	1,0 1,0	1,0	1,0		
						1,0 1,0	1,0 1,0				

Таблица 5.2

Значения коэффициентов  $K_p$  на шинах НН цеховых трансформаторов  
и для магистральных шинопроводов напряжением до 1 кВ

Коэффициент $K_{II}$ использования											
$\Pi_{\Sigma}$		0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7 и более		
				5,33 3,44	4,00 2,69	2,67 1,9	2,00 1,52	1,6 1,24	1,33 1,11	1,14 1,0	1,0
6 - 8 9 - 10				2,17 1,73	1,8 1,46	1,42 1,19	1,23 1,06	1,14 1,04	1,08 1,0	0,97	0,93
10 - 25 25	8,00 5,01 2,94 2,28 1,31			1,12 1,0	1,02 0,96	1,0 0,95	0,98 0,94	0,96 0,93	0,94 0,92	0,91 0,9	0,85
-50	1,2 1,1 0,8 0,75 0,65			0,97 0,8	0,91 0,8	0,9 0,85	0,9 0,85	0,9 0,85	0,9 0,9	0,9 0,85	0,8
Более 50				0,75 0,65	0,75 0,65	0,75 0,7	0,75 0,7	0,8 0,75	0,85 0,8		

- Полная расчетная мощность узла нагрузки



$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (5.23)$$

где  $S_p$  – полная расчетная мощность, кВ·А.

- Расчетный ток узла нагрузки

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3}U_H} \quad (5.24)$$

где  $I_p$  – расчетный ток, А;  $U_H$  – номинальное напряжение узла питания, кВ.

После определения расчетных нагрузок подгрупп ЭП по узлам питания (силовой пункт, щит, сборка и т.п.) рассчитывается нагрузка всего подразделения (цеха, корпуса и т.п.). Подразделение рассматривается как центр питания всех подгрупп ЭП, а расчетные нагрузки подгрупп ЭП составляют группу нагрузок всего подразделения. Допускается  $n_{\Sigma}$  определять по упрощенной формуле (5.18). Расчет нагрузок подразделения в целом производится аналогично, как и для подгрупп ЭП. Но в формулах (5.19) и (5.20) вместо мощностей и коэффициентов индивидуальных ЭП необходимо подставлять мощности и коэффициенты, рассчитанные для подгруппы ЭП. При расчете суммарной нагрузки подразделения в целом необходимо учитывать осветительную нагрузку всего подразделения (цеха).

**Метод расчета электрических нагрузок по средней мощности и отклонению расчетной нагрузки от средней**

Поскольку групповая нагрузка представляет собой систему независимых случайных нагрузок отдельных электроприемников, то при большом их числе групповая нагрузка подчиняется нормальному закону распределения случайных величин. Данный метод расчета – статистический метод расчета нагрузок.

По этому методу расчетную нагрузку группы приемников определяют двумя интегральными показателями: генеральной средней нагрузкой ( $P_c$ ) и генеральным среднеквадратичным отклонением ( $\sigma$ ) из уравнения

$$P_p = P_c + \beta\sigma \quad (5.25)$$

где  $\beta$  – статистический коэффициент, зависящий от закона распределения и принятой вероятности превышения по графики нагрузки  $P(t)$  от уровня  $P_c$ ;

$\sigma$  – среднеквадратичное отклонение для принятого интервала осреднения.

Среднеквадратичное отклонение для группового графика определяют по формуле

$$\sigma = \sqrt{DP} = \sqrt{P_{с.к.}^2 - P_c^2} \quad (5.26)$$

где  $P_{с.к.}$  – активная среднеквадратичная мощность, кВт.

Статистический метод позволяет определять расчетную нагрузку с любой принятой вероятностью ее появления. В практических расчетах достаточно принять вероятность превышения расчетной нагрузки от средней, на 0,5 %, что соответствует  $\beta = 2,5$ , тогда

$$P_p = P_c + 2,5\sigma \quad (5.27)$$

Применение этого метода целесообразно для определения нагрузок по отдельным группам и узлам СЭС при наличии результатов анализа действующих электроустановок напряжением до 1 кВ.

Расчетные значения полной мощности и тока по данному методу для группы ЭП определяются по известным формулам.

#### **Метод расчета электрических нагрузок по средней мощности и коэффициенту формы графика**

В данном методе расчетную нагрузку группы ЭП принимают равной их среднеквадратичной. Метод применим для расчета нагрузок группы ЭП, когда число приемников в группе достаточно велико и их режим работы разнообразен.

Данный метод может применяться для определения расчетных нагрузок цеховых шинопроводов, на шинах низшего напряжения цеховых трансформаторных подстанций, на шинах РУ напряжением 6; 10 кВ, когда значения коэффициента формы графика ( $K_{\phi}$ ) достаточно стабильны.

**По данному методу расчетные нагрузки группы электроприемников определяют по формулам:**

- активная мощность

$$P_p = P_{с.к.} = K_{\phi.з.} P_{с.м.} \quad (5.28)$$

где  $P_p$  – расчетное значение активной мощности, кВт;  $K_{ф.а.}$  – коэффициент формы графика по активной мощности;  $P_{с.м.}$  – расчетное значение средней мощности группы ЭП за наиболее загруженную смену, кВт;

- реактивная мощность

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi, \quad (5.29)$$

где  $Q_p$  – расчетное значение реактивной мощности, кВ·Ар;  $\operatorname{tg} \varphi$  – коэффициент реактивной мощности, соответствующий средневзвешенному  $\cos \varphi_{с.вз.}$  узла нагрузки;

- полная мощность

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (5.30)$$

где  $S_p$  – расчетное значение полной мощности, кВ·А;

- расчетный ток

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} U_H}, \quad (5.31)$$

где  $I_p$  – расчетное значение тока узла нагрузки, А;  $U_H$  – напряжение узла питания нагрузки, кВ.

Значения коэффициента формы графика достаточно стабильны, если производительность (и, как следствие, нагрузка) завода или цеха примерно постоянна. При проектировании значение коэффициента  $K_{ф.а.}$  может быть принято по опытным данным аналогичного действующего предприятия.

При отсутствии данных можно принимать  $K_{ф.а.} = 1,1 \dots 1,2$ .

Все рассмотренные методы определения расчетных нагрузок применяются при расчетах симметричных трехфазных нагрузок.

## Полупроводниковые приборы - виды, обзор и использование

Стремительное развитие и расширение областей применения электронных устройств обусловлено совершенствованием элементной базы, основу которой составляют **полупроводниковые приборы**. Поэтому, для понимания процессов функционирования электронных устройств необходимо знание устройства и принципа действия основных типов полупроводниковых приборов.

Полупроводниковые материалы по своему удельному сопротивлению занимают промежуточное место между проводниками и диэлектриками.

Основными материалами для производства полупроводниковых приборов являются кремний (Si), карбид кремния (SiC), соединения галлия и индия.

Электропроводность полупроводников зависит от наличия примесей и внешних энергетических воздействий (температуры, излучения, давления и т.д.). Протекание тока обуславливают два типа носителей заряда – электроны и дырки. В зависимости от химического состава различают чистые и примесные полупроводники.

Для изготовления электронных приборов используют твердые полупроводники, имеющие кристаллическое строение.

**Полупроводниковыми приборами называются приборы, действие которых основано на использовании свойств полупроводниковых материалов.**



### Классификация полупроводниковых приборов

На основе безпереходных полупроводников изготавливаются **полупроводниковые резисторы**:

**Линейный резистор** - удельное сопротивление мало зависит от напряжения и тока. Является «элементом» интегральных микросхемах.

**Варистор** - сопротивление зависит от приложенного напряжения.

**Терморезистор** - сопротивление зависит от температуры. Различают два типа: термистор (с увеличением температуры сопротивление падает) и позисторы (с увеличением температуры сопротивление возрастает).

**Фоторезистор** - сопротивление зависит от освещенности (излучения). Тензорезистор - сопротивление зависит от механических деформаций.

Принцип работы большинства полупроводниковых приборов основывается на свойствах **электронно-дырочного перехода р-п – перехода**.

### Полупроводниковые диоды

Это полупроводниковый прибор с одним р-п-переходом и двумя выводами, работа которого основана на свойствах р-п - перехода.

Основным свойством р-п – перехода является односторонняя проводимость – ток протекает только в одну сторону. Условно-графическое обозначение (УГО) диода

имеет форму стрелки, которая и указывает направление протекания тока через прибор.

Конструктивно диод состоит из p-n-перехода, заключенного в корпус (за исключением микромодульных бескорпусных) и двух выводов: от p-области – анод, от n-области – катод.

**Т.е. диод – это полупроводниковый прибор, пропускающий ток только в одном направлении – от анода к катоду.**

Зависимость тока через прибор от приложенного напряжения называется **вольт-амперной характеристикой (ВАХ)** прибора  $I=f(U)$ . Односторонняя проводимость диода видна из его ВАХ (рис. 1).

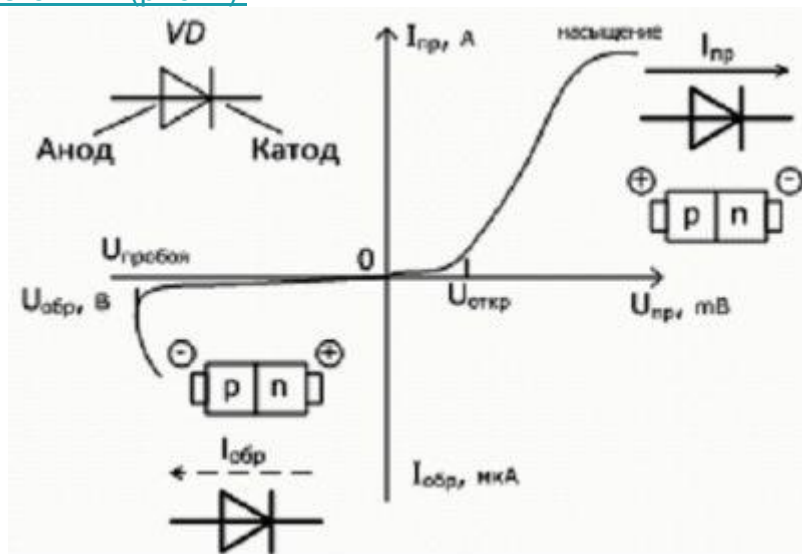


Рисунок 1 – Вольт-амперная характеристика диода

В зависимости от назначения полупроводниковые диоды подразделяют на выпрямительные, универсальные, импульсные, стабилитроны и стабилоры, туннельные и обращенные диоды, светодиоды и фотодиоды.

Односторонняя проводимость определяет выпрямительные свойства диода. При прямом включении («+» на анод и «-» на катод) диод открыт и через него протекает достаточно большой прямой ток. В обратном включении («-» на анод и «+» на катод) диод заперт, но протекает малый обратный ток.

**Выпрямительные диоды** предназначены для преобразования переменного тока низкой частоты (обычно менее 50 кГц) в постоянный, т.е. для выпрямления. Их основными параметрами являются максимально допустимый прямой ток  $I_{пр\max}$  и максимально допустимое обратное напряжение  $U_{обр\max}$ . Данные параметры называют предельными – их превышение может частично или полностью вывести прибор из строя.

С целью увеличения этих параметров изготавливают диодные столбы, сборки, матрицы, представляющие собой последовательно-параллельное, мостовое или другие соединения p-n-переходов.

**Универсальные диоды** служат для выпрямления токов в широком диапазоне частот (до нескольких сотен мегагерц). Параметры этих диодов те же, что и у выпрямительных, только вводятся еще дополнительные: максимальная рабочая частота (МГц) и емкость диода (пФ).

**Импульсные диоды** предназначены для преобразования импульсного сигнала, применяются в быстродействующих импульсных схемах. Требования, предъявляемые к этим диодам, связаны с обеспечением быстрой реакции прибора на импульсный характер подводимого напряжения - малым временем перехода диода из закрытого состояния в открытое и обратно.

**Стабилитроны** - это полупроводниковые диоды, падение напряжения на которых мало зависит от протекающего тока. Служат для стабилизации напряжения.

**Варикапы** - принцип действия основан на свойстве р-п-перехода изменять значение барьерной емкости при изменении на нем величины обратного напряжения.

Применяются в качестве конденсаторов переменной емкости, управляемых напряжением. В схемах варикапы включаются в обратном направлении.

**Светодиоды** - это полупроводниковые диоды, принцип действия которых основан на излучении р-п-переходом света при прохождении через него прямого тока.

**Фотодиоды** – обратный ток зависит от освещенности р-п-перехода.

**Диоды Шоттки** – основаны на переходе металл-полупроводник, за счет чего обладают значительно более высоким быстродействием, нежели обычные диоды.



Рисунок 2 – Условно-графическое обозначение диоды

[Подробнее о диодах смотрите здесь:](#)

[Выпрямительные диоды](#)

[Силовые диоды](#)

[Параметры и схемы выпрямителей](#)

[Фотодиоды: устройство, характеристики и принципы работы](#)

[Транзисторы](#)

**Транзистор** - это полупроводниковый прибор, предназначенный для усиления, генерирования и преобразования электрических сигналов, а также коммутации электрических цепей.

Отличительной особенностью транзистора является способность усиливать напряжение и ток - действующие на входе транзистора напряжения и токи приводят к появлению на его выходе напряжений и токов значительно большей величины.

С распространением цифровой электроники и импульсных схем основным свойством транзистора является его способность находиться в открытом и закрытом состояниях под действием управляющего сигнала.

Свое название транзистор получил от сокращения двух английских слов tran(sfer)(re)sistor - управляемый резистор. Это название неслучайно, так как под действием приложенного к транзистору входного напряжения сопротивление между его выходными зажимами может регулироваться в очень широких пределах.

Транзистор позволяет регулировать ток в цепи от нуля до максимального значения.

**Классификация транзисторов:**

- по принципу действия: полевые (униполярные), биполярные, комбинированные.
- по значению рассеиваемой мощности: малой, средней и большой.
- по значению предельной частоты: низко-, средне-, высоко- и сверхвысокочастотные.
- по значению рабочего напряжения: низко- и высоковольтные.
- по функциональному назначению: универсальные, усилительные, ключевые и др.
- по конструктивному исполнению: бескорпусные и в корпусном исполнении, с жесткими и гибкими выводами.

В зависимости от выполняемых функций транзисторы могут работать в трех режимах:

1) Активный режим - используется для усиления электрических сигналов в аналоговых устройствах. Сопротивление транзистора изменяется от нуля до максимального значения - говорят транзистор «приоткрывается» или «подзакрывается».

2) Режим насыщения - сопротивление транзистора стремится к нулю. При этом транзистор эквивалентен замкнутому контакту реле.

3) Режим отсечки - транзистор закрыт и обладает высоким сопротивлением, т.е. он эквивалентен разомкнутому контакту реле.

Режимы насыщения и отсечки используются в цифровых, импульсных и коммутационных схемах.



**Биполярный транзистор** - это полупроводниковый прибор с двумя p-n-переходами и тремя выводами, обеспечивающей усиление мощности электрических сигналов. В биполярных транзисторах ток обусловлен движением носителей заряда двух типов: электронов и дырок, что и определяет их название. На схемах транзисторы допускается изображать, как в окружности, так и без неё (рис. 3). Стрелка указывает направление протекания тока в транзисторе.

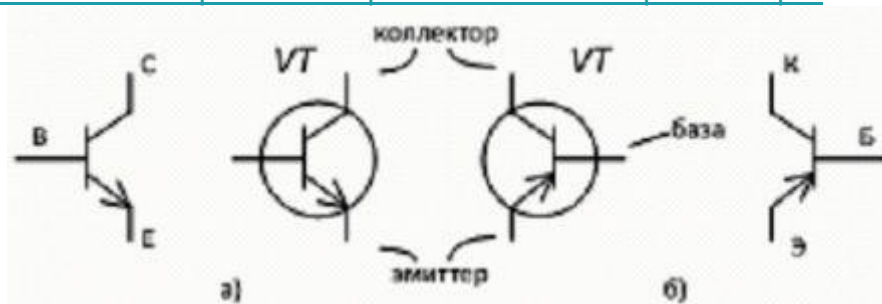


Рисунок 3 - Условно-графические обозначения транзисторов n-p-n (а) и p-n-p (б). Основой транзистора является пластина полупроводника, в которой сформированы три участка с чередующимся типом проводимости - электронным и дырочным. В зависимости от чередования слоев различают два вида структуры транзисторов: n-p-n (рис. 3, а) и p-n-p (рис. 3, б).

Эмиттер (Э) - слой, являющийся источником носителей заряда (электронов или дырок) и создающий ток прибора;

Коллектор (К) - слой, принимающий носители заряда, поступающие от эмиттера;

База (Б) - средний слой, управляющий током транзистора.

При включении транзистора в электрическую цепь один из его электродов является входным (включается источник входного переменного сигнала), другой - выходным (включается нагрузка), третий электрод - общий относительно входа и выхода. В большинстве случаев используется схема с общим эмиттером (рис 4). На базу подается напряжение не более 1 В, на коллектор более 1 В, например +5 В, +12 В, +24 В и т.п.

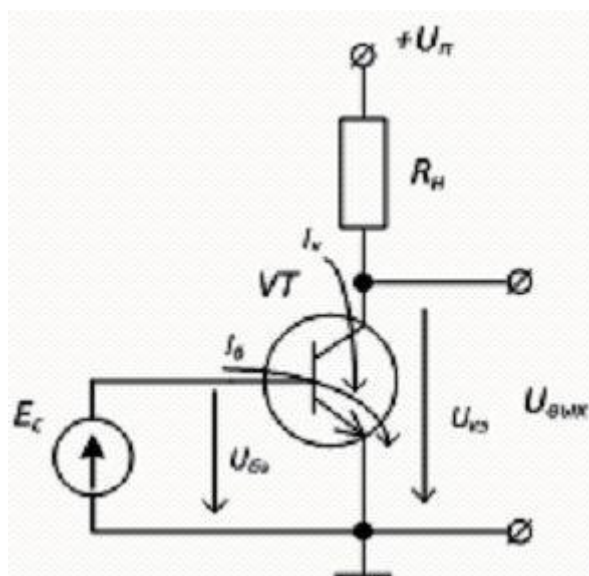


Рисунок 4 - Схемы включения биполярного транзистора с общим эмиттером. Ток коллектора возникает только при протекании тока базы  $I_{\text{б}}$  (определяется  $U_{\text{ба}}$ ). Чем больше  $I_{\text{б}}$ , тем больше  $I_{\text{к}}$ .  $I_{\text{б}}$  измеряется в единицах мА, а ток коллектора - в десятках и сотнях мА, т.е.  $I_{\text{б}} I_{\text{к}}$ . Поэтому при подаче на базу переменного сигнала малой амплитуды, малый  $I_{\text{б}}$  будет изменяться, и пропорционально ему будет изменяться большой  $I_{\text{к}}$ . При включении в цепь коллектора сопротивления нагрузки, на нем будет выделяться сигнал, повторяющий по форме входной, но большей амплитуды, т.е. усиленный сигнал.

К числу предельно допустимых параметров транзисторов в первую очередь относятся: максимально допустимая мощность, рассеиваемая на коллекторе  $P_{k.max}$ , напряжение между коллектором и эмиттером  $U_{кэ.max}$ , ток коллектора  $I_{k.max}$ . Для повышения предельных параметров выпускаются транзисторные сборки, которые могут насчитывать до нескольких сотен параллельно соединенных транзисторов, заключенных в один корпус.

Биполярные транзисторы ныне используются все реже и реже, особенно в импульсной силовой технике. Их место занимают **полевые транзисторы MOSFET и комбинированные транзисторы IGBT**, имеющие в этой области электроники несомненные преимущества.

В полевых транзисторах ток определяется движением носителей только одного знака (электронами или дырками). В отличие от биполярных, ток транзистора управляется электрическим полем, которое изменяет сечение проводящего канала.

Так как нет протекания тока во входной цепи, то и потребляемая мощность из этой цепи практически равна нулю, что несомненно является достоинством полевого транзистора.

Конструктивно транзистор состоит из проводящего канала n- или p-типа, на концах которого находятся области: исток, испускающий носители заряда и сток, принимающий носители. Электрод, служащий для регулирования поперечного сечения канала, называют затвором.

**Полевой транзистор** - это полупроводниковый прибор, регулирующий ток в цепи за счет изменения сечения проводящего канала.

Различают полевые транзисторы с затвором в виде p-n перехода и с изолированным затвором.

У полевых транзисторов с изолированным затвором между полупроводниковым каналом и металлическим затвором расположен изолирующий слой из диэлектрика - МДП-транзисторы (металл - диэлектрик - полупроводник), частный случай - окисел кремния - МОП-транзисторы.

МДП-транзистор со встроенным каналом имеет начальную проводимость, которая при отсутствии входного сигнала ( $U_{зи} = 0$ ) составляет примерно половине от максимальной. В МДП-транзисторы с индуцированным каналом при напряжении  $U_{зи}=0$  выходной ток отсутствует,  $I_c = 0$ , так как проводящего канала изначально нет. МДП-транзисторы с индуцированным каналом называют также MOSFET транзисторы. Используются в основном в качестве ключевых элементов, например в импульсных источниках питания.

Ключевые элементы на МДП-транзисторах имеют ряд преимуществ: цепь сигнала гальванически не связана с источником управляющего воздействия, цепь управления не потребляет тока, обладают двухсторонней проводимостью. Полевые транзисторы, в отличие от биполярных, не боятся перегрева.

Подробнее о транзисторах смотрите [здесь](#):

Биполярные транзисторы

IGBT транзисторы

### **Тиристоры**

**Тиристор** - это полупроводниковый прибор, работающие в двух устойчивых состояниях – низкой проводимости (тиристор закрыт) и высокой проводимости (тиристор открыт). Конструктивно тиристор имеет три или более p-n – переходов и три вывода.

Кроме анода и катода, в конструкции тиристора предусмотрен третий вывод (электрод), который называется управляющим.

Тиристор предназначен для бесконтактной коммутации (включения и выключения) электрических цепей. Характеризуются высоким быстродействием и способностью коммутировать токи весьма значительной величины (до 1000 А). Постепенно вытесняются коммутационными транзисторами.



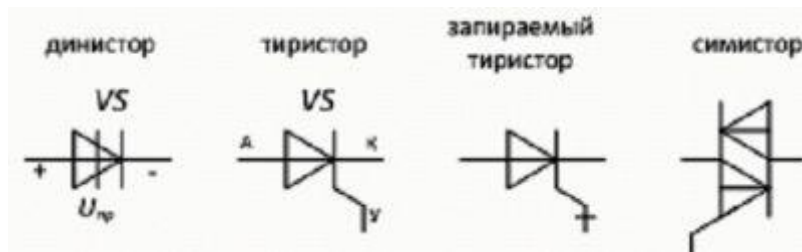


Рисунок 5 - Условно - графическое обозначение тиристоров

**Динисторы (двухэлектродные)** - как и обычные выпрямительные диоды имеют анод и катод. С увеличением прямого напряжения при определенном значении  $U_a = U_{кл}$  динистор открывается.

**Тиристоры (тринисторы - трехэлектродные)** - имеют дополнительный управляющий электрод;  $U_{кл}$  изменяется током управления, протекающим через управляющий электрод.

Для перевода тиристора в закрытое состояние необходимо подать напряжение обратное (- на анод, + на катод) или уменьшить прямой ток ниже значения, называемого током удержания  $I_{удер}$ .

**Запираемый тиристор** – может быть переведен в закрытое состояние подачей управляющего импульса обратной полярности.

Тиристоры: принцип действия, конструкции, типы и способы включения

**Симисторы (симметричные тиристоры)** - проводят ток в обоих направлениях.

Тиристоры применяются в качестве бесконтактных переключателей и управляемых выпрямителей в устройствах автоматики и преобразователях электрического тока. В цепях переменного и импульсных токов можно изменять время открытого состояния тиристора, а значит и время протекания тока через нагрузку. Это позволяет регулировать мощность, выделяемую в нагрузке.

## Тема 5

### Расчёт электрических процессов и выбор рабочих параметров статических преобразователей приводов электрооборудования.

#### 5.1. Преобразователи электрической энергии

**Преобразователь** – это электротехническое устройство, преобразующее электроэнергию одних параметров или показателей качества в электроэнергию с другими значениями параметров или показателей качества.

Параметрами электрической энергии могут являться род тока и напряжения, их частота, число фаз, фаза напряжения.

##### Классификация преобразователей

1. По степени управляемости преобразователи электрической энергии подразделяются на **неуправляемые** и **управляемые**. В управляемых преобразователях выходные переменные: напряжение, ток, частота — могут регулироваться.
2. По элементной базе преобразователи электроэнергии подразделяются на **электромашинные (вращающиеся)** и **полупроводниковые (статические)**. Электромашинные преобразователи реализуются на основе применения электрических машин и в настоящее время находят относительно редкое применение в электроприводах. Полупроводниковые преобразователи могут быть диодными, тиристорными и транзисторными.

3. По характеру преобразования электроэнергии силовые преобразователи подразделяются на выпрямители, инверторы, преобразователи частоты, регуляторы напряжения переменного и постоянного тока, преобразователи числа фаз напряжения переменного тока.

В современных автоматизированных электроприводах применяются главным образом **полупроводниковые тиристорные и транзисторные преобразователи постоянного и переменного тока.**

Достоинствами полупроводниковых преобразователей являются широкие функциональные возможности управления процессом преобразования электроэнергии, высокие быстродействие и КПД, большие сроки службы, удобство и простота обслуживания при эксплуатации, широкие возможности по реализации защит, сигнализации, диагностирования и тестирования как самого электрического привода, так и технологического оборудования.

Вместе с тем, для полупроводниковых преобразователей характерны и определенные недостатки. К ним относятся: высокая чувствительность полупроводниковых приборов к перегрузкам по току, напряжению и скорости их изменения, низкая помехозащищенность, искажение синусоидальной формы тока и напряжения сети.

**Выпрямителем** называется преобразователь напряжения переменного тока в напряжение постоянного (выпрямленного) тока.

**Неуправляемые выпрямители** не обеспечивают регулирование напряжения на нагрузке и выполняются на полупроводниковых неуправляемых приборах — диодах.

**Управляемые выпрямители** выполняются на управляемых диодах — тиристорах и позволяют регулировать свое выходное напряжение за счет соответствующего управления тиристорами.

#### Управляемый выпрямитель

Выпрямители могут быть нереверсивными и реверсивными. Реверсивные выпрямители позволяют изменять полярность выпрямленного напряжения на своей нагрузке, а нереверсивные — нет. По числу фаз питающего входного напряжения переменного тока выпрямители подразделяются на однофазные и трехфазные, а по схеме силовой части — на мостовые и с нулевым выводом.

**Инвертором** называется преобразователь напряжения постоянного тока в напряжение переменного тока. Эти преобразователи используются в составе преобразователей частоты в случае питания электропривода от сети переменного тока или в виде самостоятельного преобразователя при питании электропривода от источника постоянного напряжения.

Инверторы подразделяются на 2 класса: ведомые (зависимые) и автономные

#### Инвертор

В схемах электроприводов наибольшее применение нашли автономные инверторы напряжения и тока, реализуемые на тиристорах или транзисторах.

**Автономные инверторы напряжения (АИН)** имеют жесткую внешнюю характеристику, представляющую собой зависимость выходного напряжения от тока нагрузки, вследствие чего при изменении тока нагрузки их выходное напряжение практически не изменяется. Тем самым инвертор напряжения по отношению к нагрузке ведет себя как источник ЭДС.

**Автономные инверторы тока (АИТ)** имеют «мягкую» внешнюю характеристику и обладают свойствами источника тока. Тем самым инвертор тока по отношению к нагрузке ведет себя как источник тока.

**Преобразователем частоты (ПЧ)** называется преобразователь напряжения переменного тока стандартных частоты и напряжения в напряжение переменного

тока регулируемой частоты. Полупроводниковые преобразователи частоты подразделяются на две группы: преобразователи частоты с непосредственной связью и преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока.

### **Преобразователи частоты**

#### Лабораторный преобразователь частоты

Преобразователи частоты с непосредственной связью позволяют изменять частоту напряжения на нагрузке только в сторону ее уменьшения по сравнению с частотой напряжения источника питания. Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока не имеют подобного ограничения и находят более широкое применение в электроприводе.

#### Промышленный преобразователь частоты для управления электроприводом

### **Регуляторы напряжения**

**Регулятором напряжения переменного тока** называется преобразователь напряжения переменного тока стандартных частоты и напряжения в регулируемое напряжение переменного тока той же частоты. Они могут быть одно- и трехфазными и используют в своей силовой части, как правило, однооперационные тиристоры.

**Регулятором напряжения постоянного тока** называется преобразователь нерегулируемого напряжения источника постоянного тока в регулируемое напряжение на нагрузке. В таких преобразователях используются силовые полупроводниковые управляемые ключи, работающие в импульсном режиме, а регулирование напряжения в них происходит за счет модуляции напряжения источника питания. Наибольшее распространение получил широтноимпульсный способ модуляции, при котором изменяется длительность импульсов напряжения при неизменной частоте их следования.

Читайте также по этой теме: Совершенствование полупроводниковых преобразователей в системах автоматизированного электропривода

## **5.2. Устройства компенсации реактивной мощности**

### **УКРМ — установка компенсации реактивной мощности**

Нагрузка предприятий подразделяется на активную, индуктивную и емкостную, все эти виды мощностей зависят от типа работающего оборудования.

Существование реактивной энергии несет отрицательное воздействие на электрические сети, создает электромагнитные поля в электрических устройствах.

Существование реактивного тока создает дополнительную нагрузку, приводящую к снижению качества электроэнергии, влекущую увеличение сечений токовых проводников.

### **Назначение устройства компенсации реактивной мощности**



Рис. Внешний вид УКРМ 6(10) кВ

Основным предназначением устройства является снижение действия реактивной мощности, служит для увеличения и поддержания на определенном нормативном уровне величины коэффициента мощности в трехфазных распределительных сетях. Главное предназначение УКРМ, является аккумуляция в конденсаторах реактивной мощности. Это действие помогает разгрузить электрическую сеть от перетоков реактивной мощности, происходит стабилизация напряжения, увеличивается доля активной мощности.

### Основные функции УКРМ

1. Понижение потребляемого нагрузочного тока на 30-50%.
2. Снижение составляющих элементов распределительной сети, увеличение их срока службы.
3. Повышение надежности и пропускной способности электрической сети.
4. Понижение тепловых потерь электрического тока.
5. Снижение воздействия высших гармоник.
6. Понижение несимметричности фаз, сглаживание сетевых помех.
7. Снижение до минимума стоимости индуктивной мощности.

Установка компенсации реактивной мощности УКРМ отличается рядом преимуществ, обусловленных применением конденсаторов, дополненных третьим уровнем безопасности в виде полипропиленовой сегментируемой пленки пропитанной специальной жидкостью, обеспечивающих надежное использование, долговечность, невысокую стоимость при выполнении работ по техническому обслуживанию и ремонту.

Наличие в конденсаторной установке УКРМ специализированных тиристорных быстродействующих пускателей, работающих с опережением по времени для коммутации фазовых конденсаторов, срабатывающих при изменении  $\cos\varphi$ , продляет время их безотказной работы.



Рис. Внешний вид тиристора для коммутации конденсаторных установок.

Для обеспечения регулирования  $\cos\varphi$  в автоматическом режиме с передачей информации на РС с контролем в сети высших гармоник тока и напряжения, применяются контроллеры с контакторным переключением.

Для повышения качества работы УКРМ в установке присутствует фильтр нечетных гармоник и устройства терморегуляции, для обнаружения неисправностей продумана система индикации.

Все оборудование помещается в блок-контейнер, снабженный вентиляцией и обогревом с автоматическим управлением. Устройства обеспечивают комфортное и удобное обслуживание при низких температурах до  $-60^{\circ}\text{C}$ .

Модульный тип построения, способствует поэтапному наращиванию мощности УКРМ.

### **Защита конденсаторных установок**

Для безопасной работы устройства предусмотрены защиты:

1. Блокировки, обеспечивающие защиту от прикосновения к токоведущим частям, находящимся под напряжением.
2. Защита, предохраняющая установку от короткого замыкания конденсатора.
3. От превышения нормы электрического тока.
4. От перенапряжения.
5. От перекоса токов по фазам устройства.
6. Электромагнитное блокирование, предохраняющее от ошибочного

- включения коммутационных аппаратов УКРМ.
7. Механическое блокирование включения заземляющих ножей в работающей установке.
  8. Наличие контактного выключателя, отключающего установку при открывании дверей при включенном оборудовании.
  9. Тепловая защита, включающая принудительное охлаждение при повышении температуры конденсаторных батарей.
  10. Термодатчик включающий обогрев в установке при понижении температуры.

### **Достоинства устройства конденсаторной установки УКРМ**

1. Наличие трехфазных пожарозащищенных экологических конденсаторов.
2. Применение в устройстве специальных предохранителей и разрядников сопротивления с обкладками из полимерной металлизированной пленки с минеральной пропиткой.
3. Регуляторы реактивной мощности и цифровые анализаторы с дистанционным управлением.
4. Для повышения сейсмостойчивости и вибрационной стойкости применяются специальные полимерные изоляторы.

### **Типы УКРМ**

Существуют несколько типов установок УКРМ, применяемых в сетях 6-10 кВ, это:

1. Нерегулируемые установки, выполненные в модульном построении, состоящем из нескольких фиксированных ступеней, коммутация происходит в ручном режиме при отсутствии токов нагрузки.
2. Автоматические или регулируемые, базовое устройство предназначено для автоматического регулирования ступеней, каждая из которых состоит из трех конденсаторов, соединенных в звезду, операции по осуществлению коммутационных действий производят автоматически с использованием электронного блока, определяющего мощность и время включения.
3. Полуавтоматические установки применяются для снижения стоимости устройства компенсации реактивной мощности, цена становится доступной с одновременным сохранением качества работы устройства. Для этого в устройстве применяются, как регулируемые ступени, так и фиксированные.
4. Высоковольтные установки с фильтрами, применяемыми для защиты от нелинейных гармонических искажений защитных антирезонансных дросселей. Применяются такие установки совместно с устройствами, генерирующими явление в сети высших гармоник, это: устройства, обеспечивающие плавный пуск и частотные преобразователи.

Тип установки КРМ	Мощности ступеней, кВАр								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
КРМ-0,4-35-2,5-6Х	2,5	2,5	5	5	10	10			
КРМ-0,4-50-5-6Х	5	5	10	10	10	10			
КРМ-0,4-75-5-7Х	5	5	5	10	10	20	20		
КРМ-0,4-100-10-6Х	10	10	20	20	20	20			
КРМ-0,4-112,5-12,5-6Х	12,5	12,5	12,5	25	25	25			
КРМ-0,4-150-25-6Х	25	25	25	25	25	25			
КРМ-0,4-200-25-5Х	25	25	50	50	50				
КРМ-0,4-300-25-7Х	25	25	50	50	50	50	50		
КРМ-0,4-400-25-7Х	25	25	50	50	50	100	100		
КРМ-0,4-600-25-9Х	25	25	50	50	50	100	100	100	100

Таблица №1 Типы конденсаторных установок с указанием мощности ступеней.

В модульных установках КРМ ступени конструктивно объединены в модуль

### Особенности подключения УКРМ

Самым оптимальным подключением устройства компенсации реактивной мощности, является установка устройства в непосредственной близости к потребителю (индивидуальная компенсация). В этом случае, стоимость установки компенсации реактивной мощности, состоящая из суммы стоимости внедрения и дальнейшего обслуживания составляет значительную величину.

При объединении нагрузок в единый комплекс по потреблению реактивной мощности, целесообразно применять групповую компенсацию. В этом случае применение цена устройства реактивной мощности становится наиболее приемлемой при внедрении в работу, но менее выгодной для пользователей из-за понижения активных потерь, в электрической сети оказывающих влияние на экономию средств.

Возможно, подключение устройства КРМ в виде отдельного оборудования с индивидуальным кабельным вводом, так и в составе НКУ, к примеру, в составе главного распределительного щита.

### Расчет УКРМ

Для выбора УКРМ производится подсчет полной суммарной мощности конденсаторных батарей электроустановки, по формуле:

$$Q_c = P_x (tg(\phi_1) - tg(\phi_2)).$$

Где Р – активная мощность электроустановки

Показания  $(tg(\phi_1) - tg(\phi_2))$  находятся по данным  $\cos(\phi_1)$  и  $\cos(\phi_2)$

Значение  $\cos(\phi_1)$  коэффициента мощности до установки УКРМ

Значение  $\cos(\phi_2)$  коэффициента мощности после установки УКРМ, задается электроснабжающим предприятием.

Формула мощности приобретает такой вид:



$$Q_c = P \times k,$$

k- табличный коэффициент, соответствующий значениям коэффициента мощности  $\cos(\varphi_2)$

Мощность УКРМ определяется конкретно для всех участков электрической сети в зависимости от характера нагрузки и способа компенсации.

Только после проведенного в полной мере анализа показателей, полученных при диагностике данных, появляется возможность выбора регулируемых или нерегулируемых УКРМ.

Обозначается степень дробления мощности по ступеням, время и скорость повторного срабатывания ступеней, выявляется необходимость использования в конденсаторной установке компенсации реактивной мощности для снижения коэффициента несинусоидальности в питающей сети, фильтрации нечетных гармоник, а также отсутствие эффекта резонанса. Это обеспечивает качество электроэнергии.

Исходный коэффициент мощности		Мощность конденсатора (квар) на 1 кВт нагрузки, необходимая для увеличения коэффициента мощности до значения:										
$\cos \varphi$	$\tan \varphi$	0.90	0.91	0.92	0.93	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99	1
0.40	2.29	1.805	1.832	1.861	1.895	1.924	1.959	1.998	2.037	2.085	2.146	2.288
0.41	2.22	1.742	1.769	1.798	1.831	1.840	1.896	1.935	1.973	2.021	2.082	2.225
0.42	2.16	1.681	1.709	1.738	1.771	1.800	1.836	1.874	1.913	1.961	2.002	2.164
0.43	2.10	1.624	1.651	1.680	1.713	1.742	1.778	1.816	1.855	1.903	1.964	2.107
0.44	2.04	1.558	1.585	1.614	1.647	1.677	1.712	1.751	1.790	1.837	1.899	2.041
0.45	1.98	1.501	1.532	1.561	1.592	1.626	1.659	1.695	1.737	1.784	1.846	1.988
0.46	1.93	1.446	1.473	1.502	1.533	1.567	1.600	1.636	1.677	1.725	1.786	1.929
0.47	1.88	1.397	1.425	1.454	1.485	1.519	1.532	1.588	1.629	1.677	1.758	1.881
0.48	1.83	1.343	1.370	1.400	1.430	1.464	1.467	1.534	1.575	1.623	1.684	1.826
0.49	1.78	1.297	1.326	1.355	1.386	1.420	1.453	1.489	1.530	1.578	1.639	1.782
0.50	1.73	1.248	1.276	1.303	1.337	1.369	1.403	1.441	1.481	1.529	1.590	1.732
0.51	1.69	1.202	1.230	1.257	1.291	1.323	1.357	1.395	1.435	1.483	1.544	1.686
0.52	1.64	1.160	1.188	1.215	1.249	1.281	1.315	1.353	1.393	1.441	1.502	1.644
0.53	1.60	1.116	1.144	1.171	1.205	1.237	1.271	1.309	1.349	1.397	1.458	1.600
0.54	1.56	1.075	1.103	1.130	1.164	1.196	1.230	1.268	1.308	1.356	1.417	1.559
0.55	1.52	1.035	1.063	1.090	1.124	1.156	1.190	1.228	1.268	1.316	1.377	1.519
0.56	1.48	0.996	1.024	1.051	1.085	1.117	1.151	1.189	1.229	1.277	1.338	1.480
0.57	1.44	0.958	0.986	1.013	1.047	1.079	1.113	1.151	1.191	1.239	1.300	1.442
0.58	1.40	0.921	0.949	0.976	1.010	1.042	1.073	1.114	1.154	1.202	1.263	1.405
0.59	1.37	0.884	0.912	0.939	0.973	1.005	1.039	1.077	1.117	1.165	1.226	1.368
0.60	1.33	0.849	0.878	0.905	0.939	0.971	1.005	1.043	1.083	1.131	1.192	1.334
0.61	1.30	0.815	0.843	0.870	0.904	0.936	0.970	1.008	1.048	1.096	1.157	1.299
0.62	1.27	0.781	0.809	0.836	0.870	0.902	0.936	0.974	1.014	1.062	1.123	1.265
0.63	1.23	0.749	0.777	0.804	0.838	0.870	0.904	0.942	0.982	1.030	1.091	1.233
0.64	1.20	0.716	0.744	0.771	0.805	0.837	0.871	0.909	0.949	0.997	1.058	1.200
0.65	1.17	0.685	0.713	0.740	0.774	0.806	0.840	0.878	0.918	0.966	1.007	1.169
0.66	1.14	0.654	0.682	0.709	0.743	0.775	0.809	0.847	0.887	0.935	0.996	1.138
0.67	1.11	0.624	0.652	0.679	0.713	0.745	0.779	0.817	0.857	0.905	0.966	1.108
0.68	1.08	0.595	0.623	0.650	0.684	0.716	0.750	0.788	0.828	0.876	0.937	1.079
0.69	1.05	0.565	0.593	0.620	0.654	0.686	0.720	0.758	0.798	0.840	0.907	1.049
0.70	1.02	0.536	0.564	0.591	0.625	0.657	0.691	0.729	0.796	0.811	0.878	1.020
0.71	0.99	0.508	0.536	0.563	0.597	0.629	0.663	0.701	0.741	0.783	0.850	0.992
0.72	0.96	0.479	0.507	0.534	0.568	0.600	0.634	0.672	0.721	0.754	0.821	0.963
0.73	0.94	0.452	0.480	0.507	0.541	0.573	0.607	0.645	0.685	0.727	0.794	0.936
0.74	0.91	0.425	0.453	0.480	0.514	0.546	0.580	0.618	0.658	0.700	0.767	0.909
0.75	0.88	0.398	0.426	0.453	0.487	0.519	0.553	0.591	0.631	0.673	0.740	0.882
0.76	0.86	0.371	0.399	0.426	0.460	0.492	0.526	0.564	0.604	0.652	0.713	0.855
0.77	0.83	0.345	0.373	0.400	0.434	0.466	0.500	0.538	0.578	0.620	0.687	0.829
0.78	0.80	0.319	0.347	0.374	0.408	0.440	0.474	0.512	0.552	0.594	0.661	0.803
0.79	0.78	0.292	0.320	0.347	0.381	0.413	0.447	0.485	0.525	0.567	0.634	0.776
0.80	0.75	0.266	0.294	0.321	0.355	0.387	0.421	0.459	0.499	0.541	0.608	0.750
0.81	0.72	0.240	0.268	0.295	0.329	0.361	0.395	0.433	0.473	0.515	0.582	0.724
0.82	0.70	0.214	0.242	0.269	0.303	0.335	0.369	0.407	0.447	0.489	0.556	0.698
0.83	0.67	0.188	0.216	0.243	0.277	0.309	0.343	0.381	0.421	0.463	0.530	0.672
0.84	0.65	0.162	0.190	0.217	0.251	0.283	0.317	0.355	0.395	0.437	0.504	0.645
0.85	0.62	0.136	0.164	0.191	0.225	0.257	0.291	0.329	0.369	0.417	0.478	0.602
0.86	0.59	0.109	0.140	0.167	0.198	0.230	0.264	0.301	0.343	0.390	0.450	0.593
0.87	0.57	0.083	0.114	0.141	0.172	0.204	0.238	0.275	0.317	0.364	0.424	0.567
0.88	0.54	0.054	0.085	0.112	0.143	0.175	0.209	0.246	0.288	0.335	0.395	0.538
0.89	0.51	0.028	0.059	0.086	0.117	0.149	0.183	0.230	0.262	0.309	0.369	0.512
0.90	0.48		0.031	0.058	0.089	0.121	0.155	0.192	0.234	0.281	0.341	0.484



Таблица №2 Расчет мощности конденсаторов для УКРМ

Необходимо знать, что нельзя производить полную компенсацию реактивной мощности до единицы, это приводит к перекомпенсации, которая может произойти в результате непостоянного значения активной мощности потребителя, а также в результате случайных факторов. Желательное значение  $\cos\phi^2$  от 0,90 до 0,95.

### 5.3. Электрические фильтры - определение, классификация, характеристики, основные виды

Промышленные источники энергии обеспечивают практически синусоидальные кривые изменения напряжения. Вместе с тем в ряде случаев переменные токи и напряжения, являясь периодическими, резко отличаются от гармонических. Электрические фильтры могут применяться для сглаживания пульсаций напряжения выпрямителей, демодуляторов, которые преобразуют модулированные по амплитуде колебания высокой частоты в относительно медленные изменения напряжения сигнала, и в других подобных устройствах.

В самом простейшем случае можно ограничиться включением последовательно с нагрузкой катушки индуктивности, сопротивление которой увеличивается с возрастанием порядка гармонической и сравнительно невелико для низкочастотных колебаний, и тем более для постоянной составляющей. Более эффективно применение П-образных, Т-образных и Г-образных фильтров.

#### **Основные определения и классификация электрических фильтров**

Избирательностью фильтра называется способность его выделять определенный диапазон частот, присущих полезному сигналу из всего спектра частот токов, поступающих на его вход.

Для получения хорошей избирательности фильтр должен пропускать тока с частотами, присущими полезному сигналу с минимальным затуханием, и иметь максимальное затухание для токов всех других частот. В соответствии с этим фильтру можно дать следующее определение.

**Электрическим фильтром называется четырехполюсник, пропускающий токи в определенной полосе частот с небольшим затуханием (полоса пропускания), а токи с частотами, лежащими вне этой полосы, — с большим затуханием, или, как условно принято говорить, не пропускает (полоса непропускания).**

По структуре схем фильтры разделяются на цепочечные (лестничные) и мостиковые. Цепочечными называются фильтры, выполненные по Т-, П- и Г-образно-мостиковым схемам. Мостиковыми называются фильтры, выполненные по мостиковой схеме.

В зависимости от характера элементов фильтры разделяются на:

- LC — элементами которых являются индуктивности и емкости;
- RC — элементами которых являются активные сопротивления и емкости;
- резонаторные — элементами которых являются резонаторы.

По наличию в схеме фильтров источников энергии их разделяют на:

- пассивные — не содержащие внутри схемы источников энергии;
- активные — содержащие внутри схемы источники энергии в виде лампового или кристаллического усилителя; иногда их называют фильтрами с активными элементами.

Для всесторонней характеристики работы фильтра необходимо знать его электрические характеристики, к которым относятся частотные зависимости затухания, фазового сдвига и характеристического сопротивления.

**Наилучшим является такой фильтр, который при минимальном количестве элементов обладает:**

- максимальной крутизной характеристики затухания;
- большим затуханием в полосе не пропускания;
- минимальным и постоянным затуханием в полосе пропускания;
- максимальным постоянством характеристического сопротивления в полосе пропускания;
- линейной фазовой характеристикой;
- возможностью простой и плавной регулировки полосы пропускания и ее ширины;
- постоянством характеристик, не зависящих от: напряжений (токов), действующих на входе фильтра, температуры и влажности окружающей среды, а также влияния посторонних электрических и магнитных помех;
- возможностью работы в различных диапазонах частот;
- при этом габариты, вес и стоимость фильтра должны быть минимальными.

К сожалению, нет ни одного элементарного типа фильтров, характеристики которого удовлетворяли бы всем этим требованиям. Поэтому в зависимости от конкретных условий применяются такие типы фильтров, характеристики которых больше всего удовлетворяют предъявляемым техническим требованиям. Очень часто приходится применять фильтры сложных схем, состоящих из элементарных звеньев различного типа.

**Самые распространенные виды фильтров**

На рис. 1 показана схема простого Г-образного фильтра с катушкой индуктивности  $L$  и конденсатором  $C$ , включенными между приемником  $гпр$  и выпрямителем  $B$ . Переменные токи всех частот встречают значительное сопротивление катушки индуктивности, а включенный параллельно конденсатор пропускает по параллельной ветви остаточные токи высоких частот. Благодаря этому значительно уменьшаются пульсации напряжения на нагрузке  $гпр$ .

Могут применяться и фильтры, состоящие из двух и более подобных звеньев. Иногда используются упрощенные фильтры с резисторами вместо катушек индуктивности.

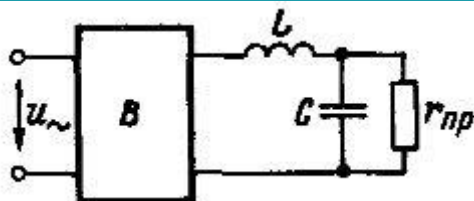


Рис. 1. Простейший сглаживающий Г-образный электрический фильтр

Более совершенными являются резонансные фильтры, в которых используются явления резонанса.

При последовательном соединении катушки индуктивности и конденсатора, когда  $\omega L = 1/(\omega C)$ , цепь будет иметь наибольшую проводимость (активную) при частоте  $\omega$  и достаточно высокие проводимости в полосе частот, близких к резонансной. Такая цепь является простым полосовым фильтром.

При параллельном соединении катушки индуктивности и конденсатора такая цепь будет иметь наименьшую проводимость при резонансной частоте и относительно малые проводимости в полосе частот, близких к резонансной. Такой фильтр является заградительным для некоторой полосы частот.

Для улучшения характеристики простого полосового фильтра можно применять схему (рис. 2), в которой параллельно приемнику включены параллельно друг другу катушка индуктивности и конденсатор. Такая цепь настроена также в резонанс на частоту  $\omega_0$  и представляет очень большое сопротивление для токов выбранной полосы частот и значительно меньшее сопротивление — для токов других частот.

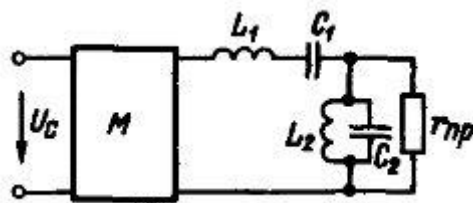


Рис. 2. Схема простого полосового электрического фильтра

Подобный фильтр может применяться в модуляторах, которые выдают модулированные колебания определенной частоты. На модулятор М подается напряжение  $U_c$  сигнала низкой частоты, которое преобразовывается в модулированные колебания высокой частоты, а фильтр выделяет напряжение требуемой частоты, которое подается на нагрузку  $r_{пр}$ .

Для примера предположим, что через цепь протекает несинусоидальный переменный ток и нужно устранить из кривой тока приемника очень большие по значению третью и пятую гармонические. Тогда последовательно в цепь включим два контура, настроенные в резонанс для третьей и пятой гармонических (рис. 3, а).

Сопrotивление левого контура, настроенного в резонанс для частоты  $3\omega$ , будет очень велико для этой частоты и мало для всех других гармонических; аналогичную роль выполняет правый контур, настроенный в резонанс для частоты  $5\omega$ . Поэтому в кривой тока приемника  $i_{пр}$  почти не будут содержаться третья и пятая гармонические (рис. 3, б), которые окажутся подавленными фильтром.

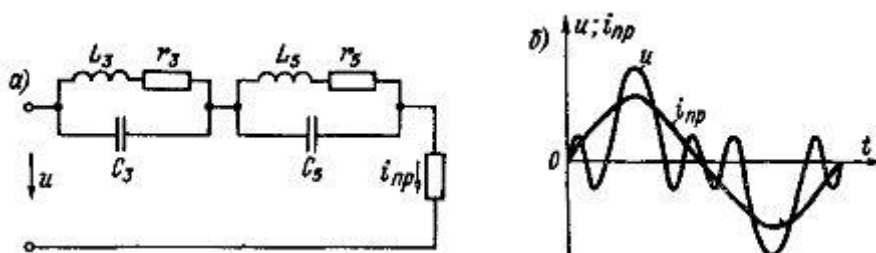


Рис. 3. Цепь с последовательно включенными резонансными контурами, настроенными в резонанс для третьей и пятой гармонических: а — схема цепи; б — кривые напряжения и цепи и тока  $i_{пр}$  приемника

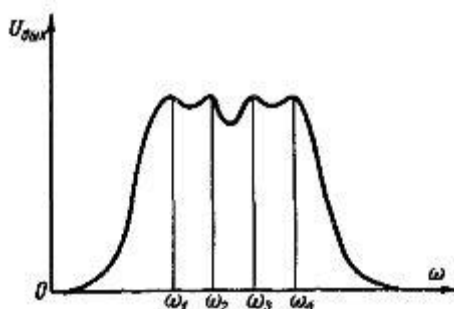


Рис. 4. Кривая напряжения на выходе полосового фильтра

Выполняются в некоторых случаях и более совершенные полосовые фильтры, а также режущие фильтры, пропускающие или не пропускающие колебания, начиная с некоторой частоты. Такие фильтры состоят из Т-образных или П-образных звеньев. Принцип действия фильтров заключается в том, что в полосе пропускания частот, например полосового фильтра, наступает резонанс при  $n+1$  частотах, где  $n$  - число звеньев. Кривая  $U_{вых} = f(\omega)$  для такого фильтра, составленного из трех звеньев, показана на рис. 4. Резонанс имеет место при частотах  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  и  $\omega_4$ . Смотрите также по этой теме: Фильтры источников питания и Входные и выходные фильтры для частотных преобразователей

## Выбор электрооборудования для взрывоопасных и пожароопасных помещений

---

Электрооборудование, выполненное без учета специфических требований, характерных для определенной отрасли производства, является электрооборудованием общего назначения. Применение его во взрывоопасных зонах, как правило, недопустимо, так как электрооборудование может искрить или нагреваться до опасных температур и явиться причиной пожара или взрыва. Поэтому во взрывоопасных зонах (за небольшим исключением) следует применять специальное взрывозащищенное электрооборудование.

Взрывозащищенное электрооборудование - электрооборудование, в котором предусмотрены конструктивные меры по устранению (или затруднению) возможности воспламенения окружающей взрывоопасной среды. Согласно ГОСТ 12.2.020[14] и ГОСТ Р 51330.0-99 (см. прил. 4), взрывозащищенное электрооборудование подразделяется по уровням и видам взрывозащиты, группам и температурным классам.

Уровень взрывозащиты электрооборудования – это степень его взрывозащиты (надежности) при установленных нормативными документами условиях.

Существует три уровня взрывозащиты электрооборудования: повышенной надежности против взрыва, взрывобезопасное, особовзрывоопасное.

1. Уровень «электрооборудование повышенной надежности против взрыва» – взрывозащита электрооборудования обеспечивается только в признанном нормальном режиме работы. Признанный нормальный режим работы приведен в стандартах на виды взрывозащиты электрооборудования.
2. Уровень «взрывобезопасное электрооборудование» – взрывозащита электрооборудования обеспечивается как при нормальном режиме работы, так и при признанных вероятных повреждениях, определяемых условиями эксплуатации, кроме повреждений средств взрывозащиты. Признанные вероятные повреждения электрооборудования приведены в стандартах на виды взрывозащиты электрооборудования.
3. Уровень «особовзрывобезопасное электрооборудование» - дополнительные средства взрывозащиты, предусмотренные стандартами на виды взрывозащиты. Знаки обозначения уровней взрывозащиты приводятся в табл. 2.11.

Если в состав взрывозащищенного электрооборудования входят элементы с различными уровнями взрывозащиты, общий уровень взрывозащиты устанавливается по элементу, имеющему наиболее низкий уровень.

Наименование уровней взрывозащиты электрооборудования	Знаки уровня взрывозащиты по	
ГОСТ 12.2.020 –76 ГОСТ Р 51330.0-99, ПУЭ	ПИБРЭ	
Электрооборудование повышенной надежности против взрыва Взрывобезопасное электрооборудование Особовзрывобезопасное электрооборудование	0 (цифра)	Н В О (буква)

Вид взрывозащиты электрооборудования– совокупность средств его взрывозащиты, установленная нормативными документами. Под средством взрывозащиты электрооборудования понимается конструктивное (или схемное) решение для обеспечения его взрывозащиты.

Виды взрывозащиты, обеспечивающие различные ее уровни, отличаются средствами и мерами обеспечения взрывобезопасности. Установлено девять видов взрывозащиты (табл. 2.12).

Таблица 2.12

Наименование видов взрывозащиты электрооборудования	Знаки вида взрывозащиты по	
ГОСТ 12.2.020 – 76 ГОСТ Р 51330.0-99, ПУЭ	ПИБРЭ, ПИВЭ	
Взрывонепроницаемая оболочка Защита вида «е» (повышенной надежности против взрыва) Искробезопасная электрическая цепь Масляное заполнение оболочки Заполнение или продувка оболочки под избыточным давлением Кварцевое заполнение оболочки Специальный вид взрывозащиты Герметизация компаундом Защита вида «п»	d e i o p q s m n	В Н И М П К С --

Взрывозащищенное электрооборудование в зависимости от области применения подразделяется на две группы:

группа I – рудничное взрывозащищенное электрооборудование, предназначенное для применения в подземных выработках шахт и в их наземных строениях, рудников, опасных по газу или горючей пыли;

группа II – взрывозащищенное электрооборудование (кроме рудничного взрывозащищенного) для внутренней и наружной установки, предназначенное для потенциально взрывоопасных сред. Электрооборудование группы II, имеющее виды взрывозащиты «взрывонепроницаемая оболочка» и (или) «искробезопасная электрическая цепь», подразделяется на три подгруппы, соответствующие категориям взрывоопасных смесей, - IIA, IIB и IIC (см. табл. 2.7).

Для электрооборудования группы II (в зависимости от значения максимальной температуры поверхности) устанавливаются температурные классы, обозначаемые так же, как и группы взрывоопасных смесей (табл. 2.13).

Таблица 2.13

Температурный класс	Максимальная температура поверхности взрывозащищенного электрооборудования, °С	Группы взрывоопасной смеси, для которой электрооборудование является взрывозащищенным
T1 T2 T3 T4 T5 T6		T1 T1, T2 T1...T3 T1...T4 T1...T5 T1...T6

Максимальная температура поверхности электрооборудования – наибольшая температура, возникающая в процессе эксплуатации при наиболее неблагоприятных условиях (но в пределах регламентированных отклонений) на любой части или поверхности электрооборудования, которая может привести к воспламенению окружающей взрывоопасной газовой среды (см. табл. 2.13).

Электрооборудование должно выбираться таким образом, чтобы максимальная температура его поверхности не превышала температуры самовоспламенения любого газа или пара, которые могут присутствовать в атмосфере взрывоопасной зоны.

Рассмотренная классификация взрывозащищенного электрооборудования и знаки обозначения его уровней, видов, групп и подгрупп, а также температурных классов позволяют выполнять и правильно понимать маркировку взрывозащиты.

Выбор и условия применения электрооборудования. Надежность и безопасность эксплуатации взрывозащищенного электрооборудования во взрывоопасных зонах может быть обеспечена, если оно будет соответствовать классу взрывоопасной зоны, категории и группе взрывоопасной смеси, а также условиям, характеризующим температуру, влажность, химическую агрессивность и запыленность среды. При этом количество взрывозащищенного электрооборудования, устанавливаемого во взрывоопасных зонах, должно быть по возможности минимальным, а электрооборудование с нормально искрящими частями рекомендуется выносить за пределы взрывоопасных зон.

Выбору количества и места установки электрооборудования должен предшествовать анализ технической документации как самого электрооборудования, так и места его установки.

При пожарно-технической экспертизе электротехнической части проектов или пожарно-техническом обследовании электроустановок действующих объектов следует учитывать, что расчет и техническое обоснование класса взрывоопасной зоны приводятся в технологической части проекта. В электротехнической части проекта (на планах расположения силового и осветительного электрооборудования) указываются классы взрывоопасных зон, группы и категории взрывоопасных смесей, по которым был произведен выбор электрооборудования.

Определяющим при выборе взрывозащищенного электрооборудования является его назначение, уровень и вид взрывозащиты. Эти характеристики устанавливаются по паспортным данным и маркировке. Допустимые уровни взрывозащиты, а также допустимая степень защиты оболочки электрооборудования (для случая, когда



взрывозащищенное электрооборудование не требуется, а допускается электрооборудование общего назначения) приводится в табл. 2.19.

При проектировании новых объектов и реконструкции старых электрооборудование для взрывоопасных зон должно выбираться в соответствии с требованиями гл. 7.3 [1], с учетом табл. 2.19, с соблюдением при этом определенной последовательности [24].

В случае, если промышленность не выпускает взрывозащищенное электрооборудование в нужном исполнении, вопрос о замене решается Главгосэнергонадзором.

В основе выбора зарубежного взрывозащищенного электрооборудования лежат те же факторы, т.е. анализ взрывоопасных условий будущей эксплуатации и особенностей его взрывозащиты. Задача несколько усложняется, если зарубежное взрывозащищенное электрооборудование поставляется комплектно, так как обязательно требуется проводить сравнение классификации взрывоопасных условий по зарубежному стандарту с классификацией взрывоопасных зон по ПУЭ.

Вторым важным фактором выбора является установление соответствия вида взрывозащиты электрооборудования категории и группе взрывоопасной смеси. Это соответствие должно устанавливаться по маркировке, а также по указаниям сертификата (или свидетельства).

Любое зарубежное взрывозащищенное электрооборудование должно обязательно пройти государственные контрольные испытания на национальной испытательной станции или на испытательной станции страны, в которую оно будет поставляться. По результатам испытаний испытательная станция выдает сертификат (или свидетельство) о проведенных испытаниях, в котором указываются особенности рассмотренного электрооборудования.

Зарубежное взрывозащищенное электрооборудование, поставляемое в Россию комплектно с технологической установкой или отдельно, должно пройти освидетельствование средств взрывозащиты в контрольных (испытательных) организациях [12]. В некоторых случаях освидетельствование можно не проводить, ограничившись соответствующим заключением головной проектной организации, если зарубежное оборудование будет использоваться только в каких-либо конкретных условиях, например на газораспределительной станции с хорошо известными взрывоопасными условиями.

После получения дополнительных результатов освидетельствования испытательная организация оформляет свидетельство о взрывозащищенности (сертификат) установленного образца и передает его на утверждение в Главгосэнергонадзор. В дальнейшем поступающее в Россию подобное электрооборудование освидетельствованию не подлежит. Последующие переосвидетельствования проводят через 5 лет.

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА, МОНТАЖА И ЭКСПЛУАТАЦИИ  
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОЖАРООПАСНЫХ ЗОН И ПОМЕЩЕНИЙ  
С НОРМАЛЬНОЙ СРЕДОЙ



Для обеспечения пожарной безопасности электрооборудования в пожароопасных зонах помещений и наружных установок пожароопасных производств применяется электрооборудование общего назначения. При этом степень защиты оболочки электрооборудования должна соответствовать классу пожароопасной зоны (см. п. 2.1 и табл. 7.4.1, 7.4.3 [1] и [24]).

При размещении в помещениях или наружных установках единичного пожароопасного оборудования, когда специальные меры против распространения пожара не предусмотрены, зона в пределах до 3 м по горизонтали и вертикали от этого оборудования является пожароопасной, а ее класс определяется в зависимости от нормативных признаков и характеристик.

Электрооборудованием общего назначения называется электрооборудование, выполненное без соблюдения специфических требований, характерных для определенной отрасли промышленности или определенного назначения.

На оболочку такого электрооборудования или на табличку с его паспортными данными, либо в помещениях, указанных в стандартах или технических условиях могут наноситься условные обозначения степени защиты оболочки по ГОСТ 14254-86 [16]. Такая степень обозначается латинскими буквами IP (начальные буквы слов International Protection). Следующие за ними две цифры означают: первая – степень защиты персонала от соприкосновения с токоведущими частями и попадания внутрь оболочки твердых посторонних тел; вторая – степень защиты оборудования от проникновения внутрь оболочки воды. В табл. 2.20 приведены предпочтительные степени защиты оболочек электрооборудования.

Таблица 2.20

### **Библиографический список источников информации**

1. Электрические машины: учебник для вузов / Вольдек А.И. М.: Энергия, 1974. 839 с..
2. Режимы работы трансформаторов: учеб. пособие / Меркурьев Г.В – Санкт-Петербург: Издание центра подготовки кадров энергетики, 2004 г.
3. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. – М.: Энергия, 1977.
4. ГОСТ 14209-85. Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки.
5. ГОСТ 11677-85. Трансформаторы силовые. Общие технические условия