

УДК 621.311

**ПРИМЕНЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В  
ЭНЕРГЕТИКЕ**  
**APPLICATION OF REACTIVE POWER SOURCES IN THE ENERGY  
SECTOR**

Р.А. Голубев, К.Д. Короткевич

Научный руководитель – Т.Е. Жуковская, старший преподаватель  
Белорусский национальный технический университет,  
Г. Минск, Республика Беларусь

[zukovskya@bntu.by](mailto:zukovskya@bntu.by)

R. Golubev, K. Korotkevich

Supervisor – T. Zhukovskaya, Senior Lecturer  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В статье рассмотрена тема использования источников реактивной мощности в энергетике. В статье описаны основные источники реактивной мощности и принцип их работы*

***Abstract:** The article discusses the topic of using reactive power sources in the energy sector. The article describes the main sources of reactive power and the principle of their operation*

***Ключевые слова:** реактор, реактивная мощность, тиристоры, выключатели, шунтирующий, комбинированный*

***Keywords:** reactor, reactive power, thyristors, switches, shunt, combine, saturating*

**Введение:**

Для того чтобы ограничивать ток короткого замыкания и уменьшить последствия его воздействия в электрических сетях, удерживать некоторый уровень напряжения на шинах, применяют реакторы. Потребность использования реакторов обусловлена вероятностью повреждения электроустановок по фактору воздействия электродинамических сил. Поэтому в сфере оптимизации электроэнергии стоит одна из главных задач – наиболее полно обеспечить компенсацию реактивной мощности.

**Основная часть:**

Базой конструкции реактора является катушка индуктивности, включённая последовательно в разрыв основной цепи питания.

Реакторы подразделяются:

- 1) наружного использования и внутреннего;
- 2) среднего и высокого напряжения;
- 3) бетонные, сухие, масляные и броневые;
- 4) с вертикальной, горизонтальной и ступенчатой позицией фаз;
- 5) одинарные и сдвоенные;
- 6) фидерные, фидерные пакетные и межсекционные.

В основном реактор подключается на шины или к третичной обмотке трансформатора через выключатель. Постоянная характеристика реактора

линейна, но при присутствии железного сердечника линейна в рабочем диапазоне, а за его границами может проявляться нелинейной. Выключатели, коммутирующие реакторы, обладают в своей конструкции наружными резисторами, а сами реакторы – разрядниками, обеспечивающими защиту изоляции от перенапряжений. Реакторы повышают применение реактивной мощности, содействуя его ограничению, тем самым проявляют стабилизирующий эффект.

Для регулирования реактивной мощности используют насыщающиеся реакторы, рабочий охват регулирования которого располагается в насыщенной части его статической характеристики. В нелинейной части характеристики сопротивление реактора колеблется в зависимости от приложенного к нему напряжения. Увеличивая напряжение, увеличивается и ток в реакторе, следовательно, увеличивается потребление реактивной мощности, что приводит к стабилизации напряжения в точке подключения реактора. Параллельное подключение к источнику реактивной мощности конденсаторной батареи позволяет обеспечить параметрическое регулирование в режиме потребления и генерирования реактивной мощности. Конденсаторная батарея выполняет функцию фильтрокомпенсирующего устройства и её мощность выбирают исходя из условия, что суммарная мощность источника реактивной мощности при номинальном напряжении будет равняться нулю. Следовательно, увеличив напряжения выше номинального, источник потребляет реактивную мощность, а, снизив напряжение выше номинального, источник генерирует реактивную мощность.

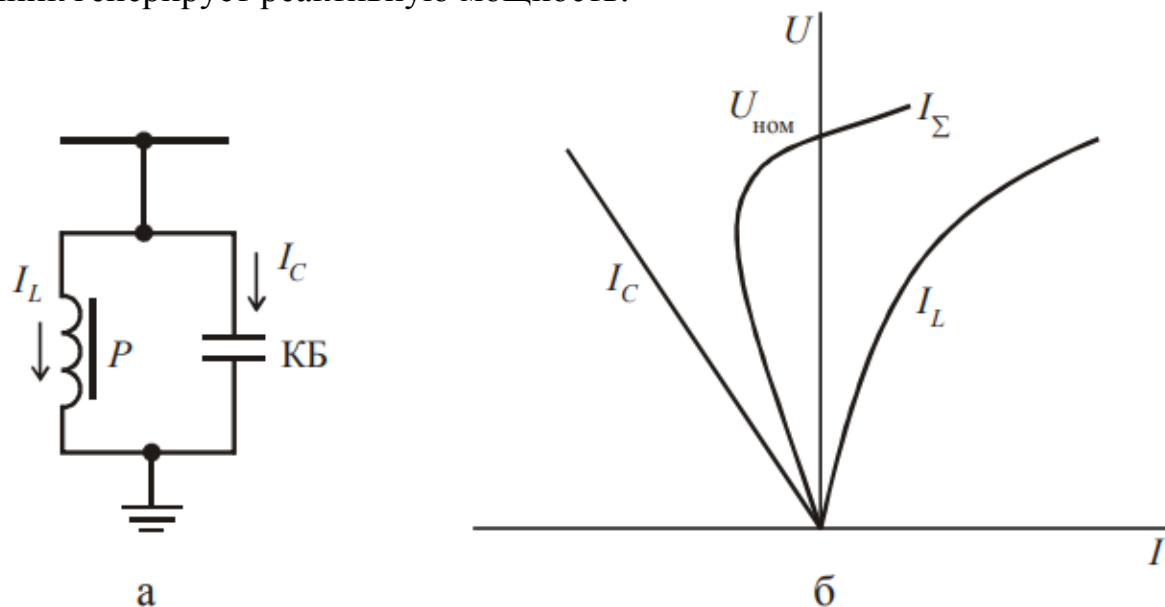


Рисунок 1 - Параметрический ИРМ с насыщающимся реактором: а – принципиальная схема; б – статическая характеристика

Существует реактор, коммутируемый с сетью бесконтактными полупроводниковыми ключами вентильного типа. Принцип его работы заключается в закрытии тиристорных ячеек при переходе тока сквозь нулевые значения и открытии в момент одинаковых значений напряжений на нагрузке и в сети. Принципиальная схема реактора представлена на рисунке 2.

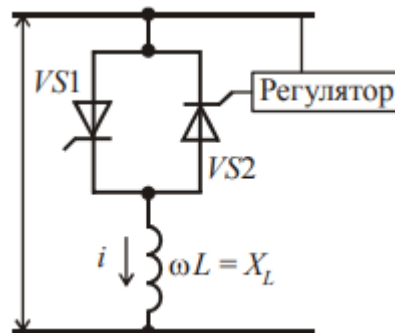


Рисунок 2 – Принципиальная схема реактора

Коммутируемые посредством затвора тиристоры открываются и закрываются по установленному углу управления и позволяют прерывисто давать напряжение на нагрузку по принципу фазового регулирования или широтно-импульсной модуляции. Мощность реактора регулируется с помощью увеличения или уменьшения углов управления двух тиристоров, включённых встречно и параллельно, что приводит к изменению тока в самом реакторе. При этом углы управления равны. Если угол управления равен  $\pi/2$ , тиристоры открыты и ток в реакторе максимальный. Данный ток представлен пунктирной линией на рисунке 3. По мере увеличения угла управления и его изменения в пределе  $\pi/2 \leq \alpha \leq \pi$  ток в реакторе уменьшается и утрачивает синусоидальный характер. Характер этого тока на рисунке 3 показан непрерывной линией.

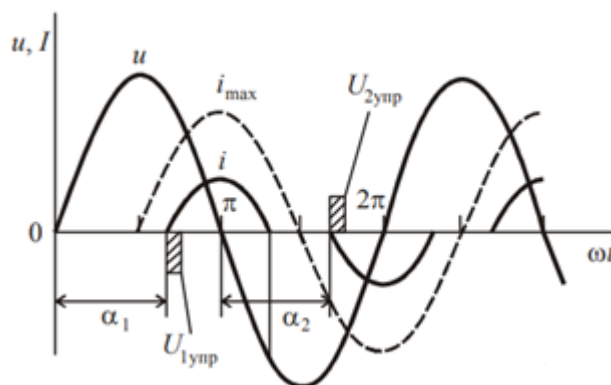


Рисунок 3 – Диаграмма токов и напряжений

Несовершенством реактора, контролируемого тиристорами, является то, что при углах  $\alpha > \pi/2$  он становится источником высших гармоник тока. Порядок гармоник и их значения близки к гармоникам, генерируемые 6-импульсными преобразователями. Для компенсации гармоник реакторы включают при помощи трансформаторов с обмоткой, собранной по схеме треугольник-звезда-треугольник.

Для плавной регулировки реактивной мощности в режиме ее потребления и в режиме её генерации используют комбинированные источники реактивной мощности. Принципиальная схема комбинированного источника реактивной мощности, который называется статичным тиристорным компенсатором (СТК), изображена на рисунке 4.

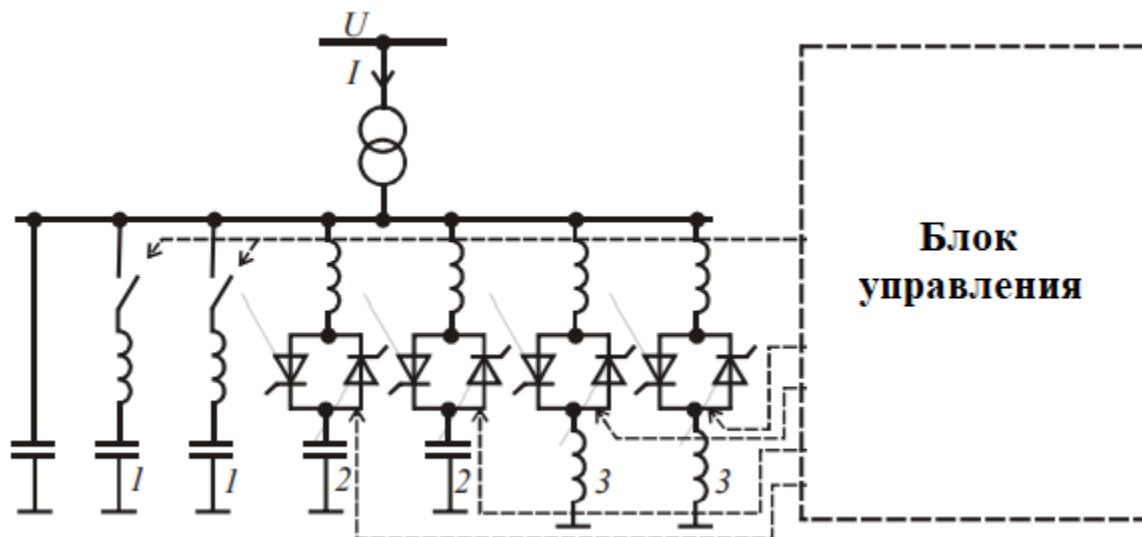


Рисунок 4 – Принципиальная схема комбинированного СТК

Одним из основных элементов комбинированного источника реактивной мощности является управляемый шунтирующий реактор, используемый эффект предельного насыщения стали, благодаря специальной конструкции и подмагничивания магнитопровода. Управляемый шунтирующий реактор представляет собой трёхфазное ферромагнитное устройство, мощность которого изменяется от нуля до номинального значения за счёт подмагничивания постоянным током сердечника реактора, что приводит к изменению индуктивности реактора. Реактор состоит из двух обмоток, одна из которых называется сетевая и подключена к электрической сети, создаёт переменный магнитный поток промышленной частоты, вторая обмотка называется управляющей и подключена к регулируемому источнику постоянного напряжения, создаёт постоянный и регулируемый магнитный поток подмагничивания. Постоянный магнитный поток подмагничивания изменяет индуктивное сопротивление устройства за счёт смещения переменного тока в область насыщения кривой намагничивания стали, в свою очередь это приводит к изменению намагничивающей силы, данный процесс представлен на рисунке 5.

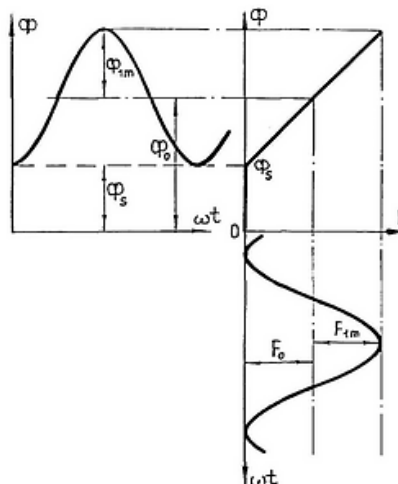


Рисунок 5 – Кривые намагничивания

Для питания обмоток управления реактора необходим управляемый тиристорный выпрямитель, который питает масляный трансформатор и управляется системой автоматического управления.

Исходя из назначения комбинированного статичного тиристорного компенсатора, выбирается рабочий диапазон регулирования реактивной мощности, установленная мощность нерегулируемой или ступенчато регулируемой батареи, мощность регулируемых тиристорами реакторов. Существует огромное количество отношений между установленной мощностью реактора и конденсаторной батареей. В качестве демонстрации статических характеристик рассматриваются два отношения:

- 1) установленная мощность реактора и конденсаторной батареи равны;
- 2) установленная мощность реактора больше в 2 раза мощности конденсаторной батареи.

При первом отношении мощностей рабочий спектр регулирования генерируемой реактивной мощности находится в зоне режимов от генерирования мощности, равноправной поставленной мощности КБ, до нуля, когда тиристоры реактора открыты полностью. Статическая характеристика показана на рисунке 6.

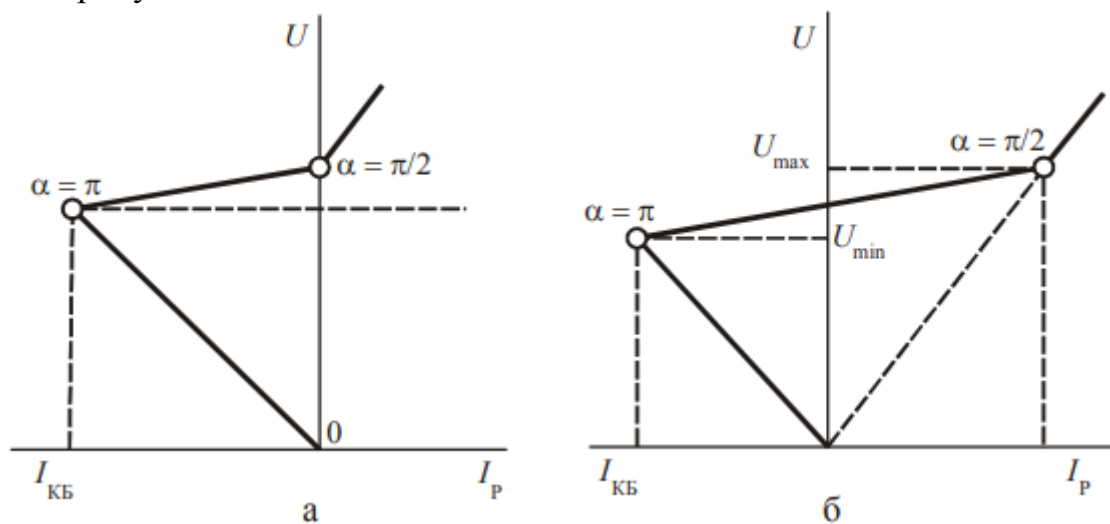


Рисунок 5 – Статические характеристики при двух отношениях мощностей: а – при равном отношении; б – установленная мощность реактора в 2 раза больше конденсаторной батареи

При втором отношении мощностей статичный тиристорный компенсатор работает в двух режимах, а именно в режиме генерирования и употребления реактивной мощности.

**Заключение:**

Передаваемые в нагрузку неактивные составляющие полной мощности отрицательно влияют на режимы работы электрических сетей и на показатели качества электроэнергии, поэтому для их компенсации нужны источники реактивной мощности. Представленные в статье источники реактивной мощности являются устройствами, благодаря быстрдействию и способности регулировки, оказывают положительное влияние на режимы электрических

систем и сетей, поэтому необходимо расширять производство и объекты установки ИРМ.

### Литература

1. Кабышев А. В., Компенсация реактивной мощности в электроустановках промышленных предприятий: учебное пособие. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2012. – 234с.
2. Сетевые компенсаторы реактивной мощности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.skrm.com.ru/mcsr>. – Дата доступа: 10.04.2022
3. CyberPedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberpedia.su/6x6291.html>. – Дата доступа: 12.04.2022
4. Инфопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://infopedia.su/3x84bc.html>. – Дата доступа: 13.04.2022