

# ОСОБЕННОСТИ КОММУТАЦИИ КОНДЕНСАТОРОВ УКРМ ТИРИСТОРНЫМИ КОММУТАТОРАМИ

## Часть 1

**Е.Н. ВАСИН (ЗАО “МЕАНДР”)**



В статье рассматриваются с одной стороны, основные схемы включения тиристорных коммутаторов для коммутации конденсаторов в установках компенсации реактивной мощности, с другой стороны, делается попытка сравнения функциональных возможностей и особенностей эксплуатации тиристорных коммутаторов различных производителей, представленных на рынке России.

Коммутаторы называются “тиристорными”, потому что в качестве ключа в них используются полупроводниковые управляемые диоды – тиристоры. Особенность тиристоров в том, что они во включённом состоянии проводят электрический ток только в одном направлении.

Для коммутации переменного тока применяют два, включённых встречно-параллельно тиристора. Один пропускает ток при положительной полуволне сетевого напряжения, второй – при отрицательной. Вторая особенность тиристоров в том, что включить его можно в любой момент времени, но выключаются они только при снижении тока, практически до нулевого значения, т.е. в конце каждого полупериода сетевого напряжения. В начале каждого последующего полупериода его снова надо включать. В паре со специальной схемой управления, включающей тиристор в момент, когда напряжение на нём практически равно нулю (zero crossing), тиристор можно считать почти “идеальным” для коммутации переменного тока. В отличие от электромеханического контактора, тиристорный ключ имеет целый ряд серьёзных преимуществ для коммутации конденсаторов в УКРМ:

- 1) Включение тиристора происходит только при совпадении сетевого напряжения и напряжения на конденсаторе, т.е. при нулевом токе через конденсатор.
- 2) Полное отсутствие искрения и дугообразования при коммутации.
- 3) Неограниченный ресурс по числу коммутаций.

- 4) Большое быстродействие. Время включения трёхфазного коммутатора составляет менее 5 миллисекунд, что позволяет создавать УКРМ с динамической компенсацией реактивной мощности в режиме реального времени.

Но полностью заменить электромеханические контакторы тиристоры пока не могут. Им присущи несколько серьёзных недостатков:

- 1) Рассеиваемая мощность. На каждом тиристорном ключе падает напряжение, примерно 1,1-1,3 В. Это приводит к выделению на нём 1,1-1,3 Вт тепловой мощности на каждый ампер коммутируемого тока.
- 2) Как следствие, увеличенные размеры. Для обеспечения нормального теплового режима работы, тиристоры устанавливаются на специальные охладители с естественным или принудительным охлаждением.
- 3) Пока, к сожалению, тиристорные коммутаторы значительно дороже электромеханических контакторов.

### СРАВНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ОСОБЕННОСТЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТИРИСТОРНЫХ КОММУТАТОРОВ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ НА РЫНКЕ РОССИИ

На российском рынке сегодня представлены тиристорные коммутаторы нескольких фирм-производителей, принципиально отличающихся количеством коммутируемых фаз (2 или 3) и конструкцией ключа. Большая часть производителей применяет в своих ком-



мутаторах более дешёвые диодно-тиристорные ключи, состоящие из включённых встречно-параллельно неуправляемого диода и управляемого тиристора (рис. 1).

В выключенном состоянии такой ключ представляет собой однополупериодный выпрямитель, при этом на выходе коммутатора присутствует постоянное напряжение 566 В (при сетевом 400 В). Это накладывает некоторые ограничения (см. ниже), но не мешает нормальной коммутации конденсаторов в УКРМ.

В остальных случаях применяются тиристорно-тиристорные ключи, состоящие из двух включённых встречно-параллельно тиристоров (рис. 2).

Такой ключ на переменном токе, практически, эквивалентен механическому ключу и не накладывает никаких ограничений на коммутацию и работу конденсаторов в УКРМ.

**Коммутатор с двухфазной коммутацией двумя полупроводниковыми ключами, состоящими из встречно-параллельно включённых диода и тиристора**

Благодаря своей относительной дешевизне, в России наиболее распространены двухфазные коммутаторы с диодно-тиристорными ключами.

На рисунке 3 представлена схема подключения такого коммутатора. Конденсаторы могут быть подключены как “треугольником”, так и “звездой”.

**Достоинства:**

- Простота конструкции, относительная дешевизна, так как коммутируются только две фазы.
- Меньшая, чем у трёхканальных коммутаторов мощность потерь (тепловыделение).

**Недостатки:**

- В выключенном состоянии коммутатора напряжение на конденсаторе С2 равно нулю, на конденсаторах С1 и С3 присутствует опасное для жизни персонала напряжение минус 566 В (при сетевом 400 В).
- Из-за наличия постоянного напряжения на выходе коммутатора *нельзя использовать разрядные дроссели.*
- Разрядные резисторы надо выбирать исходя из воздействия на них постоянного высокого напряжения ( $U_r = U_{\text{лин}} * 1.41$ ).
- В выключенном состоянии ступени, на резисторах выделяется мощность:

$P = U_r^2 / R = (U_{\text{лин}} * 1.41)^2 / R$ , во включённом состоянии:  $P = U_{\text{лин}}^2 / R$ , т.е. в 2 раза меньше.

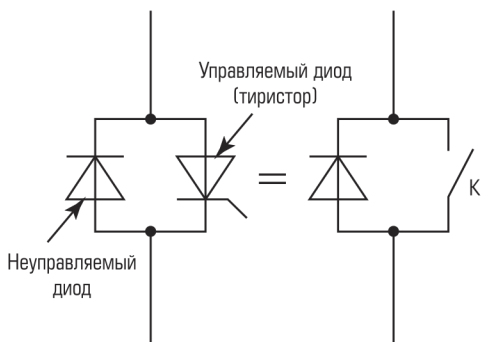


Рис. 1. Эквивалентная схема полупроводникового ключа, выполненного из встречно-параллельно включённых диода и тиристора

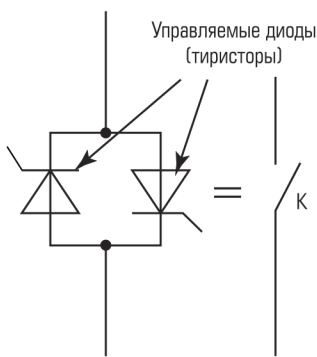


Рис. 2. Эквивалентная схема полупроводникового ключа, выполненного из встречно-параллельно включённых тиристоров

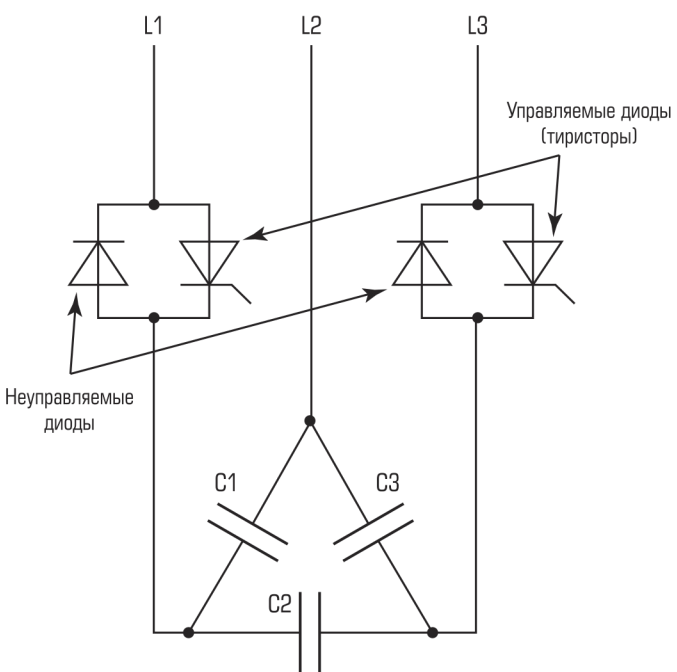
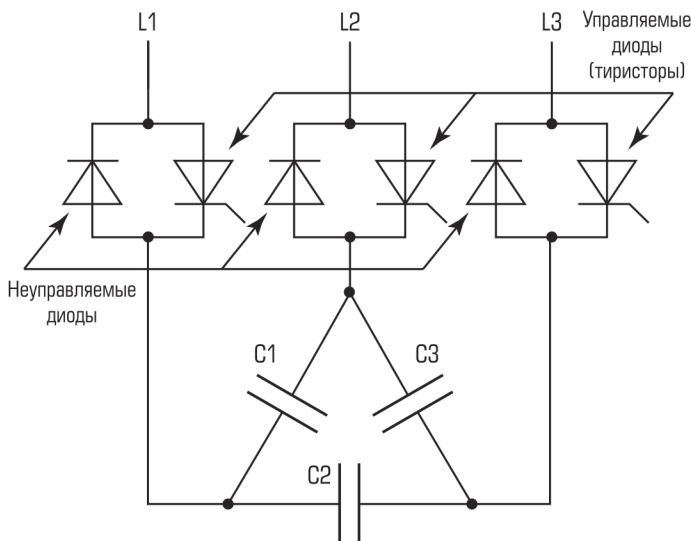
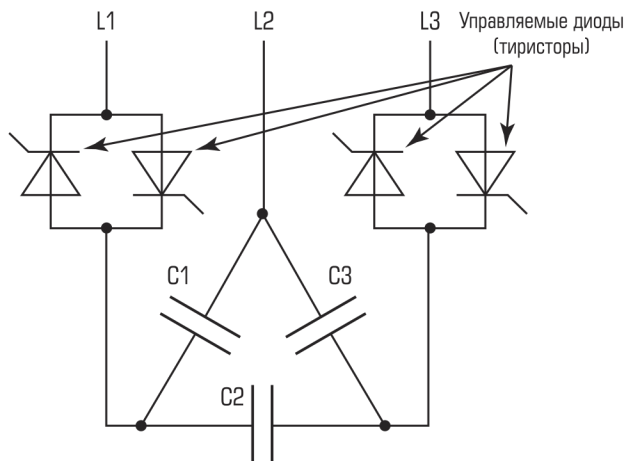


Рис. 3. Коммутатор с двухфазной коммутацией двумя полупроводниковыми ключами, состоящими из встречно-параллельно включённых диода и тиристора



▲ Рис. 4. Трёхфазный коммутатор с тремя полупроводниковыми ключами, состоящими из встречно-параллельно включённых диода и тиристора



▲ Рис. 5. Двухфазный коммутатор с двумя полупроводниковыми ключами, состоящими из встречно-параллельно включённых тиристоров

Из известных автору, по этой схеме выпускаются линейки коммутаторов:

- BEL-TS H2 мощностью от 25, 50, 75, 100 и 300 квар ф. Beluk (Германия).
- DSTM3 мощностью 30, 50 и 100 квар ф. Lovato (Италия).
- TSM-LC мощностью 10, 25, 50, 200 квар и TSM-HV мощностью 50 квар ф. Erpoc (Германия).

**Коммутатор с трёхфазной коммутацией тремя полупроводниковыми ключами, состоящими из встречно-параллельно включённых диода и тиристора (рис. 4)**

**Достоинства:**

- Напряжение на конденсаторах C1, C2 и C3 равно нулю.
- Можно использовать разрядные дроссели.

- Разрядные резисторы выбираются исходя из воздействия на них только линейного сетевого напряжения ( $U_r = U_{\text{лин}}$ ).

**Недостатки:**

- Дороже, так как коммутируются три фазы.
- Мощность потерь (тепловыделение) в 1,5 раза больше, чем у двухканальных коммутаторов.
- В выключенном состоянии коммутатора на всех выходных клеммах коммутатора присутствует опасное для жизни персонала средневыврявленное напряжение минус 270 В (относительно нулевого провода).

**Коммутатор с двухфазной коммутацией двумя полупроводниковыми ключами, состоящими из встречно-параллельно включённых тиристоров**

По этой схеме выпускаются линейка коммутаторов СТU-02-400, мощностью от 10 до 72 квар ф. BMR (Чехия) (рис. 5).

**Достоинства:**

- Простота, относительная дешевизна.
- Меньшая, чем у трёхканальных коммутаторов мощность потерь (тепловыделение).
- Можно использовать разрядные дроссели.
- Разрядные резисторы выбираются исходя из воздействия на них линейного сетевого напряжения ( $U_r = U_{\text{лин}}$ ).
- В выключенном состоянии после разряда, напряжение на конденсаторах C1, C2 и C3 равно нулю.

**Недостатки:**

- В выключенном состоянии коммутатора на выходных клеммах коммутатора присутствует фазное напряжение 220 В (относительно нулевого провода).

По этой схеме выпускается линейка коммутаторов МТК-2 мощностью от 15 до 120 квар ф. МЕАНДР (СПб, Россия).

**Коммутатор с трёхфазной коммутацией тремя полупроводниковыми ключами, состоящими из встречно-параллельно включённых тиристоров (рис. 6)**

**Достоинства:**

- В выключенном состоянии коммутатора на всех выходных клеммах коммутатора напряжения нет, напряжение на конденсаторах C1, C2 и C3 равно нулю (при разряженных конденсаторах).
- Можно использовать разрядные дроссели.
- Разрядные резисторы выбираются исходя из воздействия на них линейного сетевого напряжения ( $U_r = U_{\text{лин}}$ ).

**Недостатки:**

- Дороже, так как коммутируются три фазы.
  - Мощность потерь (тепловыделение) в 1,5 раза больше, чем у двухканальных коммутаторов.
- По этой схеме выпускаются:
- линейка коммутаторов МТК-3 мощностью от 15 до 120 квар, ф. МЕАНДР (СПб, Россия);
  - линейка коммутаторов BEL-TS мощностью 50, 100 и 300 квар ф. Beluk (Германия).

**Коммутатор с трёхфазной коммутацией тремя полупроводниковыми ключами, состоящими из встречно-параллельно включённых тиристоров включённых по схеме "разорванный треугольник" (рис. 7)**

**Достоинства:**

- Эта схема позволяет достичь максимально возможной скорости коммутации ступеней (до 25 раз в секунду), так как для включения тиристоров, имеющих схему детектирования нуля ("Zero Crossing") условия включения тиристоров выполняются всегда, независимо от напряжения на конденсаторах.
- Для обеспечения быстрой коммутации не требуется быстрый разряд конденсаторов. Резисторы выбираются исходя из соображений безопасности персонала.
- В выключенном состоянии коммутатора напряжения на конденсаторах C1, C2 и C3 равно нулю (при разряженных конденсаторах).
- Ток через тиристоры в 1,73 раза меньше, чем в других схемах.

**Недостатки:**

- Дороже, так как коммутируются три фазы.
- Работает только с однофазными конденсаторами.
- Более сложный монтаж.
- Мощность потерь (тепловыделение) в 1,5 раза больше, чем у двухканальных коммутаторов.

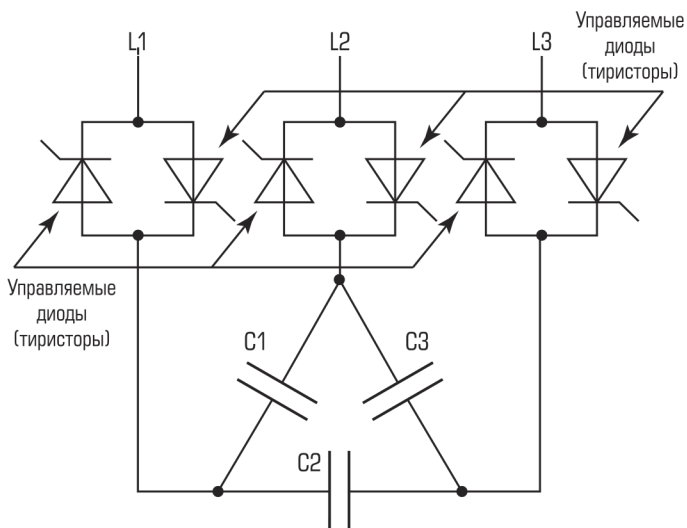
По этой схеме могут быть подключены:

- все коммутаторы МТК-3 ф. МЕАНДР (СПб, Россия);
- коммутаторы BEL-TS мощностью 50, 100 и 300 квар ф. Beluk (Германия).

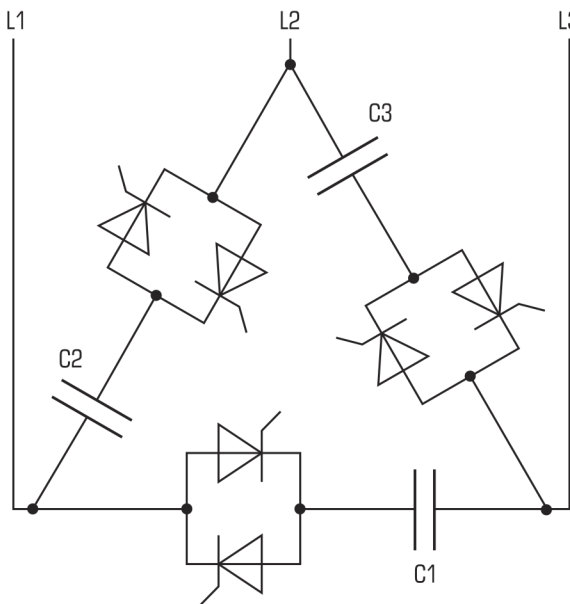
**Коммутатор с трёхфазной коммутацией тремя полупроводниковыми ключами, состоящими из встречно-параллельно включённых тиристоров, включённых по схеме "звезда с нейтралью" (рис. 8)**

**Достоинства:**

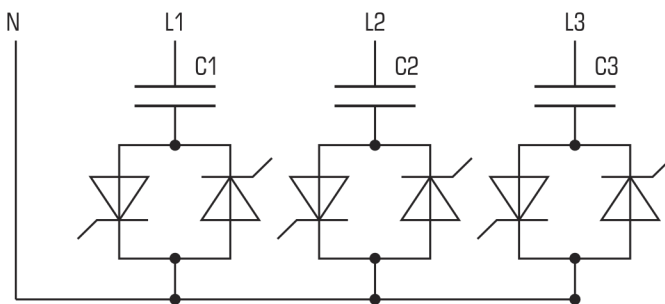
- Эта схема позволяет достичь максимально возможной скорости коммутации ступеней



▲ Рис. 6. Трёхфазный коммутатор с тремя полупроводниковыми ключами, состоящими из встречно-параллельно включённых тиристоров



▲ Рис. 7. Трёхфазный коммутатор с тремя полупроводниковыми ключами, состоящими из встречно-параллельно включённых тиристоров, включённых по схеме "разорванный треугольник"



▲ Рис. 8. Трёхфазный коммутатор с тремя полупроводниковыми ключами, состоящими из встречно-параллельно включённых тиристоров, включённых по схеме "звезда с нейтралью"



(до 25 раз в секунду), так как для включения тиристорov, имеющих схему детектирования нуля (“Zero Crossing”), условия включения тиристорov выполняются всегда, независимо от напряжения на конденсаторах.

- В выключенном состоянии коммутатора напряжения на конденсаторах C1, C2 и C3 равно нулю (при разряженных конденсаторах).
- Разрядные резисторы выбираются исходя из воздействия на них линейного сетевого напряжения ( $U_r = U_{\text{лин}}$ ).
- Позволяет использовать коммутаторы на 400 В в сети с линейным напряжением 690 В.

#### Недостатки:

- Дороже, так как коммутируются три фазы.
- Работает только с однофазными конденсаторами.
- Мощность потерь (тепловыделение) в 1,5 раза больше, чем у двухканальных коммутаторов.

По этой схеме могут быть подключены коммутаторы:

- МТК-3 ф. МЕАНДР (СПб, Россия).
- TSM-HV50 мощностью 50 квар ф. Epcos (Германия).

#### Список литературы:

1. *Шишкин С.А.* “Тиристорные контакторы для коммутации низковольтной емкостной нагрузки”, Силовая электроника, № 2, 2005.
2. “*Тиристорные коммутаторы КАТКА и основные проблемы их применения в системах компенсации*”, Milan Bleha, KMB systems, s.r.o. <http://ukrm.ru/content/view/50>, <http://www.kmb.cz>
3. “*КАТКА 20/80 – Operating Manual*” <http://www.kmb.cz/index.php/en/>
4. “*Discharge resistor EW-22*”, EPCOS AG, 2010, B44066T0022E400.
5. “*Discharge Reactor*“, EPCOS AG, 2004, B44066E9900S001.
6. “*Installation and maintenance instructions for thyristor modules TSM-HV series*” EPCOS AG, 2011.
7. “*CTU-02 Thyristor switching module for fast PF compensation*”, BMR, <http://www.bmr-trading.com/ru/>
8. “*CTU-03 Thyristor switching module for fast PF compensation*”, BMR, <http://www.bmr-trading.com/ru/>
9. “*Thyristor switch for reactive current compensation. User manual*” KBR, EDEBDA0200-2112-1\_EN.
10. *Power Factor Correction. Product Profile 2005.* Published by Epcos AG. Ordering No EPC: 26013-7600. Germany. 2005. 103 p.
11. *Power Factor Correction. Product Profile 2003/2004.* Published by Epcos AG. Ordering No EPC: 26011-7600. Germany. 2003. 87 p.
12. *Reactive Power Controller Prophi. Operating instructions.* Janitza electronics GmbH. Dok Nr 1.020.009.a Serie II. Germany. 2003. 56 p.
13. *Thyristor Module TSM-Series.* Published by Epcos AG. Germany. July 2006. <http://sashthapower.com/pdf/>