

## 43-44 Статические бесконтактные аппараты автоматического управления

### Достоинства и недостатки бесконтактных аппаратов по сравнению с обычными пускателями и контакторами

По сравнению с контактными аппаратами бесконтактные имеют преимущества:

- не образуется электрическая дуга, оказывающая разрушительное воздействие на детали аппарата; время срабатывания может достигать небольших величин, поэтому они допускают большую частоту срабатываний (сотни тысяч срабатываний в час),

- не изнашиваются механически,

В то же время, у бесконтактных аппаратов есть и недостатки:

- они не обеспечивают гальваническую развязку в цепи и не создают видимого разрыва в ней, что важно с точки зрения техники безопасности;

- глубина коммутации на несколько порядков меньше контактных аппаратов,

- габариты, вес и стоимость на сопоставимые технические параметры выше.

Бесконтактные аппараты, построенные на полупроводниковых элементах, весьма чувствительны к перенапряжениям и сверхтокам. Чем больше номинальный ток элемента, тем ниже обратное напряжение, которое способен выдержать этот элемент в непроводящем состоянии. Для элементов, рассчитанных на токи в сотни ампер, это напряжение измеряется несколькими сотнями вольт.

Возможности контактных аппаратов в этом отношении неограниченны: воздушный промежуток между контактами протяженностью 1 см способен выдержать напряжение до 30 000 В. Полупроводниковые элементы допускают лишь кратковременную перегрузку током: в течение десятых долей секунды по ним может протекать ток порядка десятикратного по отношению к номинальному. Контактные аппараты способны выдерживать

стократные перегрузки током в течение указанных отрезков времени.

Падение напряжения на полупроводниковом элементе в проводящем состоянии при номинальном токе примерно в 50 раз больше, чем в обычных контактах. Это определяет большие тепловые потери в полупроводниковом элементе в режиме длительного тока и необходимость в специальных охлаждающих устройствах.

Все это говорит о том, что вопрос о выборе контактного или бесконтактного аппарата определяется заданными условиями работы. При небольших коммутируемых токах и невысоких напряжениях использование бесконтактных аппаратов может оказаться более, целесообразным, чем контактных. Бесконтактные аппараты нельзя заменить контактными в условиях большой частоты срабатываний и большого быстродействия.

Безусловно, бесконтактные аппараты даже при больших токах предпочтительны, когда требуется обеспечить усилительный режим управления цепью. Но в настоящее время контактные аппараты имеют определенные преимущества перед бесконтактными, если при относительно больших токах и напряжениях требуется обеспечивать коммутационный режим, т. е. простое отключение и включение цепей с током при небольшой частоте срабатываний аппарата.

Существенным недостатком элементов электромагнитной аппаратуры, коммутирующих электрические цепи, является низкая надежность контактов. Коммутация больших значений тока связана с возникновением электрической дуги между контактами в момент размыкания, которая вызывает их нагрев, оплавление и, как следствие, выход аппарата из строя. В установках с частым включением и отключением силовых цепей ненадежная работа контактов коммутирующих аппаратов отрицательно сказывается на работоспособности и производительности всей установки. Бесконтактные электрические коммутирующие аппараты лишены указанных недостатков.

## Тиристорные пускатели

Тиристорные пускатели являются бесконтактными аппаратами и служат для включения и выключения электромеханических систем. В каждой фазе пускателя (рис. 1) включены незапирающиеся тиристоры  $VS1$  —  $VS3$  и диоды  $VD1$  —  $VD3$ .

Тиристоры открываются один раз в течение периода последовательно через промежутки времени  $T/3$ , в моменты времени, когда подается импульс на открывание тиристора, при прохождении напряжения через нуль в сторону увеличения его в проводящем направлении.

После того как напряжение достигнет нулевого значения, тиристор становится непроводящим и напряжение данной фазы подается через параллельный диод. По истечении одной трети периода включается следующий тиристор и т. д. Этим обеспечивается непрерывная подача энергии приемнику, например асинхронному двигателю  $MA$  (рис. 1). Отметим, что в приводе отсутствуют контактные устройства, имеются только кнопки «Пуск» и «Стоп».

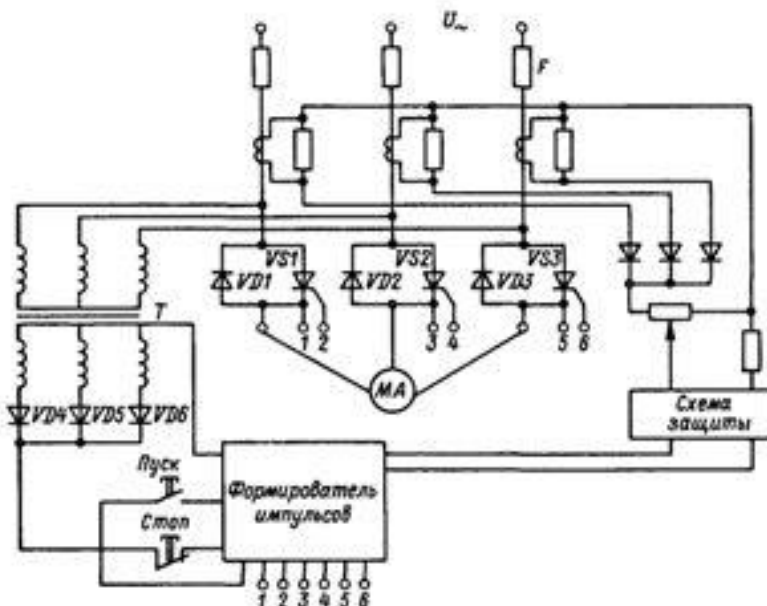


Рис. 1. Тиристорный пускатель

Импульсы на открывание тиристоров подаются на зажимы 1, 2, 3, 4, 5, 6 формирователя импульсов, который питается от отдельного трансформатора Т через диоды VD4, VD5 и VD6, чем обеспечивается подача импульсов одной полярности. При нажатии кнопки «Пуск» включаются формирователь импульсов и пускатель.



Защита двигателя обеспечивается при помощи предохранителей F и схемы защиты от недопустимых токов. В каждой фазе пускателя включены трансформаторы тока. Токи трёх фаз суммируются и преобразуются в напряжение. При установленном значении напряжения, если оно действует не кратковременно, снимаются открывающие импульсы и привод останавливается. При нажатии кнопки «Стоп» также прекращается подача импульсов.

### **Что такое преобразователь частоты и для чего он нужен?**

Для регулирования работы асинхронного двигателя с целью не допустить снижения его КПД применяют специальные устройства – частотные преобразователи. Их работа заключается в том, что они плавно изменяют скорость вращения двигателя, с помощью смены частоты питающего напряжения.

Мы постараемся рассмотреть ряд незаметных, на первый взгляд, особенностей в работе асинхронного электродвигателя и проанализируем, насколько важно в ходе его эксплуатации использовать частотный преобразователь.

### **Что может привести к неисправности?**

В асинхронном двигателе напряжение для работы чаще всего поступает через последовательно включенный автоматический выключатель. Таким образом, это провоцирует высокий рост тока пусковой обмотки, что для оборудования закончится весьма плачевно.

Частотный преобразователь обеспечивает плавный пуск.

Преобразователь частоты Danfoss



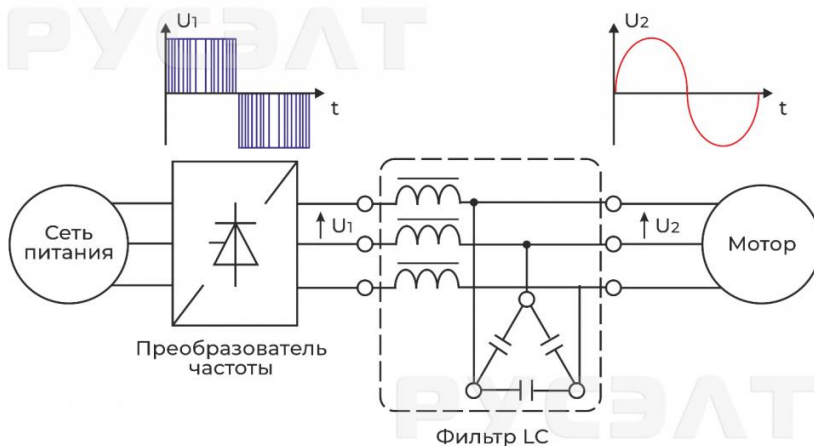
Преобразователь частоты Ритм-Н



Преобразователь частоты Веспер



**Частотный преобразователь** имеет к этому важное отношение – он **контролирует ток электродвигателя**. **Формируя необходимое напряжение нужной амплитуды и частоты, частотник подает их на двигатель**. Поясим – в процессе его запуска преобразователь отдает не полную частоту, скажем, в 50 Герц, а где-то 0,1Гц (или чуть больше). То же самое и с напряжением – не все 220 В или 380 В, а около 20-30 (смотрим, какие выставлены настройки).



### **Принцип работы преобразователя частоты для электродвигателя**

Все это **позволяет пропускать через обмотку статора ток оптимального значения, не выше номинального показателя**, чтобы создать магнитное поле, которое, в свою очередь, вместе с созданным в обмотке током создаст крутящий момент. Что касается принципов изменения характеристик напряжения, то подробно об этом, а также о критериях выбора частотника, вы можете прочесть [здесь](#), в одной из других наших статей. Кстати, если говорить о критериях выбора, то отметим также, что **выходные токи преобразователя частоты должны быть ниже тока полного режима нагрузки**.

Выше мы описывали старт двигателя. **Что касается разгона, то в ходе этого процесса преобразователь плавно повышает частоту и величину поступаемого напряжения, тем самым разгоняя**

**двигатель.** Главное – настроить частотник таким образом, чтобы времени на разгон уходило как можно меньше, а ток обмотки статора не был выше её номинального значения. Кроме того, важно поддерживать достаточный крутящий момент на валу.

**Почему без преобразователя не обойтись? Главные преимущества его использования**

Итак, преобразователь частоты дает следующие преимущества при управлении асинхронным двигателем:

1. Плавный пуск и остановка электропривода
2. Управление производительностью оборудования
3. Установка оптимальных режимов работы
4. Взаимное согласование электроприводов в сложных

системах

Самые важные – это 1 и 2 пункты. Почему именно они?

**Плавный пуск позволяет** наращивать скорость постепенно, что позволяет **не допустить скачков тока.** Неконтролируемые скачки опасны, так как при прямом пуске они превышают номинальные показатели в 5-7 раз, что может спровоцировать высокую нагрузку на электросеть, защитит оборудование от перегрузок и экономит деньги на затратах электроэнергии.

Что касается управления производительностью, то в этом случае преобразователь частоты контролирует скорость работы электродвигателя с учетом «реальных нужд» в системе в целом. Это также помогает напрасно не тратить энергию и гарантирует её экономию в 30-60%.

**Помимо 4-х основных** преимуществ описанных выше, использование преобразователя обеспечивает **следующие преимущества:**

- **Понижение величины пусковых токов в 4-6 раз**
- **Регулировка частоты и напряжения с экономией до 50% электроэнергии**
- **Самостоятельное выключение контактора, снятие напряжения и с его плавной подачей в звено постоянного тока**
- **Устранение ударных нагрузок, защита двигателя от механической перегрузки, либо недогрузки**

- Понижение общего числа ненужных отключений при ударных нагрузках

- Обеспечение нужной величины и частоты при запуске оборудования, поддержание обратной связи смежных приводов

- Контроль скорости вращения ротора и анализ работы двигателя

### **Классификация частотных преобразователей**

В первую очередь, данные устройства различаются по режимам работы:

- Амплитудно-частотное регулирование (скалярное) – применяются в обычных установках с вентиляторами, насосами, тележками, транспортерами и т.д. где не требуется стабилизация оборотов двигателя

- Векторное регулирование – используются на любом оборудовании, где возможны резкие изменения крутящего момента на валу, причем в большом диапазоне и где нужна высокая стабильность оборотов на валу электродвигателя.

**По типу питания:**

- Низковольтный 0,4 кВ

- Среднее напряжение 0,69 кВ

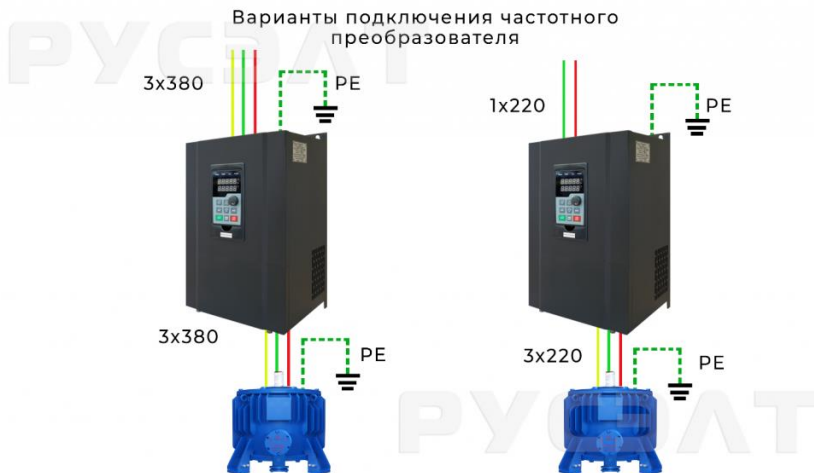
- Высоковольтный 6 и 10 кВ

Также данные устройства бывают с промежуточным звеном (связью) и без него. О характере работы таких устройств читайте [тут](#), в ещё одной нашей статье.

### **Настройка**

Настройка преобразователей выполняется строго по инструкции производителя и с учетом особенностей задачи, которая решается посредством оборудования, в котором установлен двигатель.





Например, если применяется асинхронный двигатель скалярного типа, то амплитуду сигнала и выходную частоту устанавливают по определенной формуле. Для других видов двигателя обычно используют датчики скорости вращения вала двигателя. Последовательность этапов алгоритма настройки мы перечислили [здесь](#), в другом нашем материале.

### **Можно ли отказаться от частотных преобразователей?**

Можно. Но лучше этого не делать. Безусловно, скорость вращения можно также регулировать и при помощи гидравлической муфты или механического вариатора и других. Но данные приспособления неэкономичны (а в промышленности это крайне важно!), у них узкий диапазон регулирования, что доставляет серьезные неудобства в ходе эксплуатации, а также они гораздо быстрее выйдут из строя.

### **Итоги: почему нужно использовать преобразователи частоты?**

Вот основной перечень преимуществ для работы оборудования, которые вы получаете, используя преобразователи:

- Плавный пуск и плавную остановку оборудования
- Эффективную защиту от перегрузок и бросков напряжения
- Возможность эксплуатации оборудования с большими номинальными сетевыми напряжениями и токами
- Понижение энергопотребления

- **Стабильность технологического процесса и улучшение КПД**

Итак, это наиболее важная информация о частотных преобразователях, которую мы хотели до вас донести. В завершение скажем о том, от чего зависит стоимость и на что стоит обращать внимание при выборе. Это такие факторы, как марка производителя, модель и тип управления преобразователем. Также **стоит обращать внимание при выборе на тип и уровень мощности двигателя, его диапазон и точность, а также степень точности поддержки крутящего момента.**

### **Элементная база преобразователей частоты.**

В современной электронике **использование транзисторов в инверторах является предпочтительным**, поскольку они имеют много преимуществ перед тиристорами.

Во-первых, **транзисторы имеют более высокую электрическую изоляцию и низкую чувствительность к помехам**, что обеспечивает более надёжную работу инвертора.

Во-вторых, **транзисторы имеют более высокую скорость реакции и более высокую мощность**, чем тиристоры, что позволяет использовать их в более сложных и высокоэффективных системах.

Наконец, **транзисторы имеют меньшую стоимость производства и легче для массового производства, чем тиристоры**, что делает их более доступными для широкого круга потребителей.

В целом, **транзисторы являются более эффективным** и предпочтительным выбором для использования в современных инверторах, благодаря их высокой надёжности, скорости реакции, мощности и доступности.

Хотя тиристоры имеют свои преимущества, они уступают транзисторам в многих важных аспектах, таких как надёжность и эффективность.

**Тиристор**, как и мощный полевой транзистор, конечно, **может коммутировать значительные токи**. И в отличие от полевых транзисторов, **мощности, коммутируемые тиристорами, могут исчисляться мегаваттами при высоких рабочих напряжениях**. Но

имеют тиристоры один серьезный недостаток — значительное время выключения.

Для того чтобы запереть тиристор, необходимо прервать или сильно уменьшить его прямой ток на достаточно продолжительное время, за которое неравновесные основные рабочие носители заряда, электронно-дырочные пары, успели бы рекомбинировать или рассосаться. Пока не прерван ток, тиристор будет оставаться в проводящем состоянии, то есть будет продолжать вести себя как диод.

Схемы коммутации переменного синусоидального тока обеспечивают тиристорам подходящий режим работы — синусоидальное напряжение смещает переход в обратном направлении, и тиристор автоматически запирается. Но для поддержания работы прибора, на управляющий электрод необходимо в каждом полупериоде подавать отпирающий управляющий импульс.

В схемах с питанием на постоянном токе прибегают к дополнительным вспомогательным схемам, функция которых — принудительно снизить анодный ток тиристора, и вернуть его в запертое состояние. А поскольку при запираии рекомбинируют носители заряда, то и скорость переключения тиристора сильно ниже, чем у мощного полевого транзистора.

Если сравнить время полного закрытия тиристора с временем полного закрытия полевого транзистора, то разница достигает тысяч раз: полемому транзистору чтобы закрыться нужно несколько наносекунд (10-100 нс), а тиристору требуется несколько микросекунд (10-100 мкс). Почувствуйте разницу.

Конечно, есть области применения тиристоров, где полевые транзисторы не выдерживают конкуренции с ними. Для тиристоров практически нет ограничений в предельно допустимой коммутируемой мощности — это их преимущество.

Тиристоры управляют мегаваттами мощности на больших электростанциях, в промышленных сварочных аппаратах они коммутируют токи в сотни ампер, а также традиционно управляют

мегаваттными индукционными печами на сталелитейных заводах. Здесь полевые транзисторы никак не применимы.



Тиристоры стержневого и таблеточного типа

В импульсных же преобразователях средней мощности полевые транзисторы выигрывают. В настоящий момент, все производители инверторов делают их с использованием полевых транзисторов MOSFET *metal-oxide-semiconductor field-effect transistor* и составных транзисторов (вход полевой, выход биполярный) IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) или биполярный силовой транзистор с изолированным затвором). Основное различие между этими транзисторами — различный ток коммутации. Большим током обладают транзисторы IGBT.



**IGBT**

