

Применение электроники в технике больших токов началось в двадцатых и тридцатых годах прошлого столетия с появлением неуправляемых и управляемых ионных и полупроводниковых приборов, таких, как ртутный вентиль, тиратрон, селеновый вентиль. В эти же годы были уже в основном разработаны и наиболее важные схемы, в которых использовались упомянутые приборы.

Тиристор – история создания и развития. Часть 2

Юрий Чернихов, г. Днепр

(Продолжение. Начало см. Э 6/2019)

Тиристоры в устройствах силовой электроники

В 70-х годах прошлого столетия управляемые выпрямители на тиристорах нашли самое широкое применение в регулируемом электроприводе постоянного тока нереверсивного и реверсивного исполнения. Эти приводы оказались очень эффективными для прокатных станов, шахтных подъемников, кранов, бумагоделательных и текстильных машин и т. д. При этом были использованы схемы выпрямления, разработанные в 1930-х годах для ртутных выпрямителей и тиратронов, а также предложенный Тулоном в 1922 г. принцип фазо-импульсного управления выпрямителем, позволяющий регулировать среднее значение выпрямленного напряжения от нуля до максимального значения.

В этот период во всех передовых в техническом отношении странах мира развернулась интенсивная работа по созданию и серийному внедрению электроприводов постоянного тока с тиристорными преобразователями.

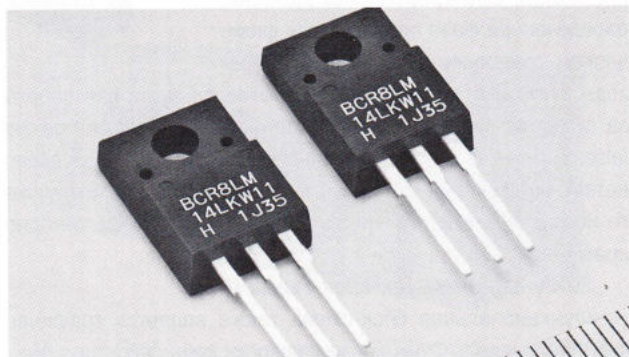
В США стала выпускаться серия таких тиристорных электроприводов постоянного тока общего применения мощностью до 75 кВт. Были созданы тиристорные преобразователи главных приводов проволочных прокатных станов мощностью 4000 кВт при напряжении 500 В. Фирмой General Electric создана и введена эксплуатацию самая мощная установка с управляемыми тиристорными выпрямителями – обжимной прокатный стан-слябинг с двигателем постоянного тока мощностью 8832 кВт на напряжение 900 В для прокатки слитков массой до 30 т.

Интенсивные работы по разработке и внедрению тиристорных электроприводов постоянного тока были развернуты в СССР. Во ВНИИЭлектроаппарат был разработан тиристорный электропривод блюминга с реверсивным преобразователем мощностью 5000 кВт, на ток 6300 А и напряжение 850 В. Различные схемы тиристорных преобразователей и системы регулируемого электропривода постоянного тока на их основе были разработаны в ВЭИ, ВНИИ Электропривод, СИБНИЭТИ, ЧЭТНИИ, ЭНИМС.

Регуляторы постоянного тока работают по принципу широтно-импульсного регулирования. Этот принцип управления электрическими машинами постоянного тока при помощи электромеханических переключающих аппаратов был в начале 1930-х годов исследован советскими учеными академиком В. С. Кулебакиным (рис.1.), профессо-



Рис.1



рами Я. З. Цыпкиным, В. Д. Нагорным, а также позже немецким ученым К. Блауфусом. [1]. В регуляторе постоянного тока постоянное напряжение подводится к потребителю через тиристорный выключатель. Среднее значение этого напряжения регулируется путем изменения длительности периодически повторяющихся интервалов включения и отключения выключателя.

Для обеспечения непрерывного протекания тока в нагрузке при отключении источника постоянного напряжения ток нагрузки переводится на диод, подключенный параллельно нагрузке в непроводящем для источника постоянного напряжения направлении. Для выключения тиристора в этом регуляторе используется принудительная его коммутация. Такие регуляторы-прерыватели, построенные по схеме Джонса [2], используются в системах регулируемого электропривода на подвижных объектах с питанием от аккумуляторных батарей

Тиристорные широтно-импульсные преобразователи в реверсивном варианте строят по мостовой схеме, содержащей четыре силовых тиристора, шунтированных обратными диодами [3]. В некоторых преобразователях предусматривался вспомогательный тиристор, включающий цепь динамического торможения.

Регуляторы постоянного тока отличаются от управляемых выпрямителей следующей особенностью – частота переключения ключей значительно больше, поскольку их ограничивает не частота питающего напряжения, а динамические возможности самих ключей. Эти регуляторы обеспечивают малые пульсации выходного тока и соответственно высокую стабильность скорости вращения двигателя, высокое быстродействие и, вследствие этого, широко используются в быстродействующих высокоточных следящих системах, в приводах станков с программным управлением, промышленных роботов.

Использование выпускаемых в 1970-е годы тиристоров на токи от единиц до сотен ампер и максимальные прямые и обратные напряжения до 1 кВ позволило создать широтно-импульсные преобразователи, без применения последова-

тельно-параллельного соединения тиристорov, на выходные мощности до 300 кВт

Схемы тиристорных прерывателей с емкостной коммутацией для ламп накаливания широко применяются в системах питания уличных светофоров, навигационных и авиационных маяков, а также для рекламного освещения.

Регулятор переменного тока содержит два тиристора, включенных между собой встречно-параллельно. Эти тиристоры и нагрузка соединены между собой последовательно. Регулирование напряжения осуществляется фазо-импульсным способом. Основным достоинством способа управления, связанного с изменением формы напряжения сети в течение его полупериода, является минимальная относительная дискретность регулирования мощности или напряжения. Однако, способу фазо-импульсного управления присущи и некоторые недостатки:

- высокий уровень импульсных помех в сети и радиоканале из-за больших скоростей переключения и значительных амплитуд коммутируемых токов и напряжений;
- реактивный характер потребляемой мощности даже при чисто активной нагрузке вследствие искусственно вносимого фазового сдвига между напряжением и током на ней [4].

В силу указанных причин применение регуляторов переменного тока с фазо-импульсным управлением для высокоточного регулирования и стабилизации температур, световых потоков, скоростей вращения двигателей ограничивается небольшими мощностями (до 5 кВт).

В случае применения регулятора переменного тока для управления объектом большой мощности и большой инерционности используют другой способ управления этим регулятором, заключающийся в изменении числа целых полупериодов подключаемого к нагрузке напряжения сети. Такое управление позволяет снизить уровень помех, генерируемых тиристорным регулятором переменного тока, а при синхронизации работы нескольких таких регуляторов также существенно уменьшить искажения синусоидальной формы напряжения питающей сети. Основной областью применения такого способа управления является автоматизация процессов управления мощным электротермическим оборудованием, при котором регуляторы переменного тока выполняют функции регуляторов температуры объекта или мощности в нагрузке.

Автономные независимые инверторы тока и напряжения с промежуточным звеном постоянного тока к началу 70-х годов прошлого столетия были известны уже около 40 лет. Однако до конца 1960-х годов, несмотря на большое число предложенных за это время схем, автономные инверторы почти не нашли практического применения. В то же время потребность в такого рода инверторах, являющихся основным узлом статических преобразователей частоты, была достаточно велика: частотное регулирование асинхронных двигателей, индукционный нагрев, стабилизация частоты при переменной скорости вращения первичных генераторов, например, на судах и самолетах, автономные сети повышенной частоты, например, для питания ручного электроинструмента.

Основная причина практической непригодности в то время автономных инверторов была обусловлена несовершенством использовавшихся в них ионных приборов, в основном, тиратронов. Положение изменилось с появлением в конце 1960-х годов тиристорov.

Другим важным направлением развития вентиляных преобразователей переменного тока явилась разработка тиристорных преобразователей переменного тока с регулируемым выходным напряжением и частотой без звена постоянного тока с непосредственной связью питающей сети и цепи нагрузки.

В заключение можно отметить, что тиристоры значительно расширили возможности силовой электроники в создании надежных статических аппаратов и по существу вновь открыли давно известные области применения. Об этом этапе развития тиристорov и тиристорной техники можно сказать: «Жизнь удалась».

Управляемый п-р-п-р-п переключатель (симистор)

Дальнейшее изучение свойств четырехслойных полупроводниковых структур привело к созданию нового семейства – симметричных тиристорov. В технической литературе можно встретить и другие названия – симистор, двунаправленный триодный тиристор, а также триак (по терминологии принятой в США). Такой симметричный тиристор представляет собой многослойный полупроводниковый прибор с п-р-п-р-п структурой. Как и обычный тиристор он имеет три вывода: анод, катод и управляющий электрод. Симметричный тиристор можно рассматривать как встречно – параллельное включение двух тиристорov, совмещенных в одном монокристалле. По отношению к обычному тиристору симметричный тиристор имеет существенные преимущества, а именно:

- его вольт-амперная характеристика симметрична относительно начала координат, что позволяет пропускать и блокировать ток любой полярности;
- в зависимости от устройства управляющего электрода симметричный тиристор может управляться сигналами положительной, отрицательной или любой полярности (и положительной и отрицательной);
- обладает способностью к самозащите – при возникновении больших переходных напряжений он переключается в состояние проводимости при любой полярности приложенного напряжения.

Все эти достоинства позволили значительно упростить схемные решения, так как была решена проблема коммутации напряжений различных полярностей с помощью одного прибора, и соответственно, значительно уменьшились размеры и стоимость аппаратуры.

Триак изобрел в 1963 году в США сотрудник фирмы General Electric Фрэнк Гутцвиллер (рис.2) [5], который получил на него патент США №3275909 «Semiconductor switch» (дата приоритета – 19.12.1963 г., дата публикации – 27.09.1966 г.). Он назвал его triac (от англ. – triod for alternating current). За изобретение триака и более ранние работы в области полупроводников Гутцвиллер был награжден престижной премией GE Cordiner «за выдающийся вклад в компанию».

В США фирма General Electric в середине 1960-х годов освоила серийное производство симметричных тиристорov четырех типов на ток до 10 А и напряжением до 400 В (рис.3).

В СССР в конце шестидесятых годов было освоено серийное производство симметричных тиристорov ВКДУС двух типов на ток до 150 А и напряжением до 700 В (рис.4) [6].



Рис.2

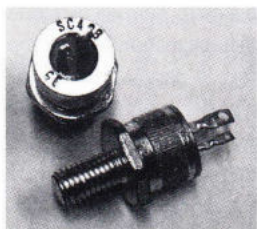


Рис.3



Рис.4

Симметричные тиристоры типа ВКДУС переключаются в проводящее состояние импульсом положительной полярности, прикладываемым к управляющему электроду. Симметричные тиристоры типа ВКДУС-2 переключаются в проводящее состояние в одном направлении импульсом положительной полярности, а в другом – импульсом отрицательной полярности.

Исторической справедливости ради, следует сказать, что в 1963 году в СССР сотрудники Мордовского научно-исследовательского электротехнического института А.Н. Думаневич и Ю.А. Евсеев изобрели симистор, на который получили авторское свидетельство СССР №349356 на изобретение «Симметричный тиристор» (дата приоритета – 22.06.1963 г., дата публикации – 30.05.1988 г., т.е. заявка на это изобретение была сделана на полгода раньше, чем это сделал Гутцвиллер).

В настоящее время симметричные тиристоры широко применяются в различных областях техники:

- в качестве быстродействующих выключателей для замены электромеханических выключателей;
- в качестве переключателей с синхронной коммутацией, про-

изводящих включение нагрузок в момент прохождения напряжения переменного тока через нулевое значение;

- для регулирования фазы включения переменного тока в электронагревательных устройствах и светорегуляторах;
- для регулирования частоты вращения двигателей переменного тока.

Особенно широко используются симметричные тиристоры в электробытовых приборах: вентиляторах, калориферах, швейных и кухонных машинах, ручном переносном электроинструменте.

Литература:

1. Blaufuss K. Drehzahlregelung von Gleichstrommotoren durch Stromstöße, Archiv für Electrotechnik, 1940, Bd. 34. №10.
2. Тиристоры (технический справочник) Пер. с англ. под ред. В.А. Лабунцова, С.Г. Обухова, А.Ф. Свиридова, Изд. 2-е, доп.-М.: «Энергия», 1971. – С.284-286.
3. Глазенко Т.А. Полупроводниковые преобразователи в электроприводах постоянного тока. – Л.: «Энергия», 1973 г. – С. 231.
4. Скаржепа В.А., Шелехов К.В. Цифровое управление тиристорными преобразователями. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. Отд-ние, 1984. – С.8.
5. General Electric History – Transistor History, <http://sites.google.com/.../transistor-history/.../general-electric-...>
6. Дзюбин И.И. Симметричные тиристоры. – М.: «Знание», 1970. – С.14 -15.

(Окончание следует)



II Міжнародна спеціалізована виставка
низьковольтної електротехніки
та електроніки

ELECTRO INSTALL 2019

Листопад 5–7



МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР

Україна, м. Київ, Броварський пр-т, 15

тел.: (044) 201-11-57, 206-87-96, e-mail: lyudmila@iec-expo.com.ua

www.iec-expo.com.ua, www.tech-expo.com.ua