

ЭЛЕКТРО панорама

3.2006

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Modelion



**ПОЯВЛЯЕТСЯ КОМПЛЕКТНЫЙ РЯД
С КОТОРЫМ ВЫ ВСЕГДА
ВЫИГРЫВАЕТЕ**

ДП „ОЕЗ Украина”, Васильковская, 34, оф. А-208, 03022 Киев, тел./факс: +38 044 433 71 62/63/64/65, e-mail: ukr@oez.cz

OEZ®

Автоматы “Modelion” найдут применение в любой электроустановке. Современная конструкция со сменными расцепителями максимального тока - это гарантия Вашего безупречного выбора и возможности проведения работ на профессиональном уровне.

www.oez.cz

Трудный путь инвертора

Ю.В. Черников

(Продолжение.

Ноч. см. ЭИ, № 11–12, 2005)

Как отмечается в [1], появление тиристора способствовало практическому внедрению автономного инвертора. При этом почти все разработанные схемы автономных инверторов можно отнести к двум видам: инвертор тока и инвертор напряжения.

В **инверторе тока** происходит периодическое переключение постоянного тока, при этом через нагрузку принудительно пропускается переменный ток прямоугольной формы. В инверторе тока могут быть использованы тиристоры с неполным управлением, так как в его составе имеется коммутирующий конденсатор, подключенный параллельно нагрузке и обеспечивающий запирающие тиристоры.

В **инверторе напряжения** происходит периодическое переключение постоянного напряжения, при этом к нагрузке принудительно прикладывается переменное напряжение прямоугольной формы. В инверторе напряжения при использовании тиристоры с неполным управлением каждый из них должен быть снабжен дополнительным коммутирующим устройством, обеспечивающим его запирающие в нужный момент времени.

Эти устройства реализуются с использованием следующих способов:

- запирающие тиристоры за счет подключения к нему параллельно предварительно заряженного конденсатора;
- запирающие тиристоры за счет энергии отдельных источников, подключаемых к ним параллельно или последовательно.

Для возврата реактивной энергии, запасенной в индуктивности нагрузки инвертора, в источник постоянного тока Мак-Муррей (США) в 1946 г. ввел в схему параллельного инвертора на тиратронах обратные диоды [2]. Такой инвертор является полным статическим аналогом системы генератор-двигатель. Исследование инверторов с обратными диодами было проведено в СССР в 1960–1961 гг. Д.А. Завалишиным, Б.П. Соустиним и В.Ф. Шукаловым.

Другое радикальное усовершенствование схемы параллельного инвертора было предложено Н.Н. Шедриным и исследовано Б.У. Умаровым. Оно заключалось во включении последовательно с основными управляемыми вентилями добавочных неуправляемых вентилей-диодов. Добавочные вентили в соответствующий момент отключают конденсатор от трансформатора в инверторе, сохраняя его напряжение постоянным до следующей коммутации. Эти вентили получили название отсекающих диодов. Благодаря этим диодам инвертор может работать устойчиво даже при относительно малых значениях коммутирующей емкости. В Институте проблем управления АН СССР была выполнена и исследована в 1960 г. опытная установка тиристорного электропривода с отсекающими диодами мощностью 7 кВт. Испытания показали надежную работу инвертора в диапазоне от 3 до 200 Гц при неизменных конденсаторах минимальной емкости. Схема обеспечивала рекуперативное торможение.

Система управления этих тиристорных автономных инверторов должна была обеспечивать выполнение трех основных задач:

- регулирование частоты в требуемом диапазоне (от нуля до номинальной частоты и выше);
- регулирование амплитуды напряжения независимо от частоты;
- формирование напряжения с возможно лучшим приближением к синусоидальной форме по всему диапазону регулирования.

Эти задачи были успешно решены, при этом главным признаком, разделяющим способы их решения, является способ питания автономного инвертора – от управляемого или неуправляемого выпрямителя. Регулирование частоты в обоих случаях осуществляется инвертором. Регулирование напряжения в первом случае выполняется выпрямителем, во втором – прерывателем (импульсным регулятором).

Регулирование напряжения управляемым выпрямителем в инверторах тока и напряжения применяется при сравнительно небольших диапазонах регулиро-

вания порядка от 10:1 до 20:1, так как с понижением напряжения увеличивается его пульсация, затрудняется фильтрация и ухудшаются условия коммутации инвертора, что вынуждает применять дополнительный источник напряжения специально для коммутации.

Значительное уменьшение пульсаций дает время-импульсное регулирование постоянного напряжения неуправляемого выпрямителя посредством вентильных прерывателей, работающих на повышенных частотах квантования (1000 Гц и выше).

Для регулирования амплитуды напряжения на выходе инвертора напряжения при питании его от неуправляемого выпрямителя основным методом стала широтная и широтно-импульсная модуляция (ШИМ).

Простейшим способом регулирования напряжения является формирование на каждом периоде выходной, рабочей частоты двух разнополярных импульсов и регулирование их длительности относительно периода (регулирование по «длительности»). Крупный недостаток такого регулирования выходного напряжения «по длительности» связан с изменением состава относительно низкочастотных гармоник в кривой напряжения, что затрудняет их фильтрацию.

Другой способ регулирования напряжения осуществляется за счет изменения длительности относительно высокочастотных импульсов, пропускаемых каждым вентилем в течение полупериода рабочей частоты («импульсное» регулирование). При таком регулировании третья, пятая и другие нечетные гармоники в кривой выходного напряжения, обусловленные прямоугольной формой огибающей «пакета», имеют во всем диапазоне регулирования неизменную величину, что облегчает их фильтрацию.

Большое практическое значение имеет широтно-импульсная модуляция однополярных и разнополярных импульсов по синусоидальному закону, обеспечивающему возможно лучшее подавление высших гармоник, т.е. возможно более чистое выделение полезной гармоники. Широтно-импульсная модуляция позволяет получить широкий диапазон регулирования скорости.

Хороший результат по регулированию напряжения дает каскадное соединение двух и более инверторов через вторичные обмотки их трансформаторов. Напряжение на нагрузке является в этом случае геометрической суммой напряжений отдельных инверторов и может плавно регулироваться от нуля до максимального значения смещением фаз открытия отдельных инверторов. Этот способ особенно эффективно используется в установках большой мощности вместо параллельного соединения тиристорных.

В большинстве практических применений желательнее иметь на выходе синусоидальную, а не прямоугольную форму напряжения. Здесь, однако, приходится сталкиваться с тем фактом, что при переключении с помощью тиристорных постоянного напряжения питания получается прямоугольное напряжение. Ниже приведены основные методы получения на выходе инверторов синусоидального напряжения [3]:

- ослабление гармоник при помощи LC-фильтров, например, при помощи фильтра Отта;
- применение LC-фильтров в сочетании с выбором оптимальной ширины импульсов напряжения;
- синтез кривой, близкой к синусоиде, посредством переключения выходного напряжения;
- применение широтно-импульсной модуляции.

Следует отметить, что наибольшее распространение получили инверторы напряжения. Они позволяют строить преобразователи частоты с практически неограниченным диапазоном регулирования частоты, нагрузочная зависимость выходного напряжения такого инвертора от тока нагрузки идет горизонтально, емкость конденсаторов у них меньше, чем у инвертора тока, но они требуют большего числа вентиля.

Первой в мире фирмой, освоившей промышленный выпуск комплектов тиристорных приводов с частотным управлением, была шведская фирма АСЕА. С 1960 по 1978 г. она изготовила около полутора тысяч таких приводов «Астат» [4]. Серия преобразователей частоты «Астат» модель YRQB (1975 г.) предназначена для двигателей мощностью от 100 до 525 кВт при напряжении сети 380 и 500 В и токах 325, 550 и 825 А. КПД привода — свыше 90 %. Преобразователи частоты построены по классической схеме «управляемый выпрямитель — автономный инвертор тока с отсекающими диодами». Система управления обеспечивает плавное регулирование скорости в диапазоне 10:1 и содержит задачник темпа нарастания частоты, цепь ограничения тока, блок задания требуемого отношения напряжения к частоте с использованием блока вычисления момента.

В нормальном исполнении преобразователь рассчитан на работу в одноквадрантном режиме, свойственном основным видам потребителей: приводам насосов, вентиляторов и роликов рольгангов. Специальные модификации выполняются для четырехквadrантной работы (в том числе и с рекуперативным торможением).

Такие и подобные комплекты тиристорных приводов с частотным управлением в эти же годы стали выпускать швейцарская фирма «Броун Бовери», немецкая фирма «АЕГ», японская фирма «Тошиба» и другие.

В США в этот же период времени около 20 фирм выпускали комплекты промышленного электропривода с частотным управлением, отличающиеся большим количеством моделей, габаритами и разнообразием параметров. Среди этих приводов преобладающее место занимали два вида частотных приводов:

- управляемые выпрямители с инверторами напряжения (преимущественно) или тока;
- неуправляемые выпрямители с широтно-импульсным модулятором напряжения, питающим инвертор.

Наибольшее число габаритов — 24 в диапазоне мощностей от 3 до 1000 кВт содержала модель фирмы «Контрол Продакт». Модель имела стандартный диапазон регулирования от 5 до 118 Гц, стабильность частоты $\pm 0,05$ % обеспечивалась аналоговыми средствами.

В Советском Союзе серийное производство тиристорных преобразователей частоты общепромышленного применения серии ТПЧ было освоено Запорожским производственным объединением «Преобразователь» в 1970 г. [5]. Серия состояла из четырех типоразмеров преобразователей мощностью 15, 40, 63 и 100 кВт. Серия ТПЧ была предназначена для неререверсивных приводов с короткозамкнутыми асинхронными двигателями и обеспечивала диапазон регулирования частоты от 5 до 60 Гц при напряжении от 20 до 360 В. Преобразователи частоты были построены по двухзвенной схеме с управляемым выпрямителем и автономным инвертором напряжения. Управление электроприводом обеспечивало частотный пуск до любой заданной скорости, плавное регулирование скорости, частотное и динамическое торможение с автоматическим ограничением темпа снижения частоты. Система управления была выполнена на дискретных полупроводниковых элементах (транзисторы, тиристоры). Основное применение электроприводов с преобразователем частоты серии ТПЧ нашли в металлургической, химической и текстильной отраслях промышленности.

Преобразователи частоты серии ЭКТ для комплектов электроприводов были разработаны в СССР на основе автономных инверторов напряжения [6]. Его главное отличие от

серии ТПЧ заключалось в том, что система управления, защиты и сигнализации была выполнена не на дискретных элементах, а на микросхемах серий К133 и К140, что позволило не только почти вдвое уменьшить габариты преобразователя, но и существенно улучшить их технические характеристики.

Преобразователи серии ЭКТ имеют следующие основные параметры: напряжение питания 380 В, номинальные выходные напряжения 220 и 380 В; ток: 20, 32, 63, 100, 160 и 250 А. Диапазоны регулирования частоты: от 50 до 70 и от 15 до 200 (250) Гц; точность стабилизации частоты $\pm 0,5$ %, торможение рекуперативное или частотное с поглощением энергии на внутренних элементах схемы.

Для установок мощностью от 100 до 500 кВт в СССР была разработана серия комплектов тиристорных электроприводов с автономными инверторами напряжения ПЧИ-К [7]. Питание преобразователей серии ПЧИ-К осуществлялось от сети 380 В частотой 50 или 60 Гц с изолированной или заземленной нейтралью. Выходное номинальное напряжение — 380 или 660 В, выходная номинальная частота — 50 Гц, диапазон регулирования частоты — от 2 до 70 Гц. Выходное напряжение поддерживается с точностью $\pm 2,5$ % по амплитуде и ± 1 % по частоте (от номинальных значений). Частотное торможение осуществляется с рекуперацией энергии в сеть.

Литература:

1. Шляпин В. Тиристорная техника. / Пер. с нем. С.Д. Авакьянца. - Л.: «Энергия», 1971.
2. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. - Изд. 3-е перераб. - М.: Энергоиздат, 1982.
3. Тиристоры (Технический справочник) / Пер. с англ., под ред. В.А. Лобунцова, С.Г. Обухова, А.Ф. Свиридова. Изд. 2-е. - М.: «Энергия», 1971.
4. Anders E. Variable-speed a.c. drives for severe environments. - ASLA Journal, 1978, vol. 51, № 2.
5. Яцук В.Г. Серия тиристорных преобразователей частоты общепромышленного назначения мощностью до 100 кВт. - В кн.: Материалы семинара МДНП им. Дзержинского «Автоматизированный электропривод». - М.: Изд-во МДНП, 1972.
6. Серия комплектов тиристорных электроприводов на базе автономных инверторов напряжения / В.Я. Таран, В.Н. Сухарева, Ю.И. Гричина и др. - Промышленная энергетика, 1979, № 4.
7. Алышкуллер И.А., Шевченко А.С. Асинхронный тиристорный привод рольгангов. - Промышленная энергетика, 1977, № 9.

(Окончание следует)