

МНОГОУРОВНЕВЫЕ И КАСКАДНЫЕ ИНВЕРТОРЫ

© 2013 г. М.А. Таранов, П.Т. Корчагин

Приведены схемотехнические решения, позволяющие в условиях ограниченного максимально допустимого напряжения силовых полупроводниковых элементов повысить выходное напряжение многоуровневых и каскадных инверторов.

Ключевые слова: пятиуровневый инвертор, H-мостовая ячейка, плавающий конденсатор, трехфазные мостовые выпрямители, питающий трансформатор, разделительные диоды.

Circuit engineering solutions for increase of output voltage of the multilevel and cascade inverters in the limited most allowable stress voltage conditions of the power semiconductor elements are provided.

Key words: five-level inverter, H-bridge structure, flying capacitor, three phase bridge straightening, supply transformer, diode-clamped.

В настоящее время решением многих проблем при передаче электроэнергии и высоковольтного частотно-регулируемого электропривода явилось бы широкое внедрение инверторов, однако, применение данных устройств осложнено из-за ограниченного максимально допустимого напряжения силовых ключей (не более 6,5 кВ) и их высокой стоимостью. В свете решения обозначенных проблем особый интерес представляют многоуровневые и каскадные типологии построения преобразователей – устройств для преобразования электроэнергии в широком диапазоне частот, изменения количества фаз, а также позволяющих осуществлять плавные пуски электроприводов большой мощности.

Каскадные преобразователи строятся на базе H-мостовых ячеек, благодаря чему на выходе формируется многоуровневое напряжение. У таких типов преобразователей каждая ячейка должна питаться от изолированного источника постоянного напряжения. Поэтому для каскадных преобразователей необходимо изготовление специальных трансформаторов, каждый из которых включает в себя несколько вторичных обмоток, имеющих трехфазные мостовые выпрямители.

Данный класс многоуровневых конверторов основан на последовательном соединении 1-фазных H-мостовых ячеек, как показано, на рисунке 1.

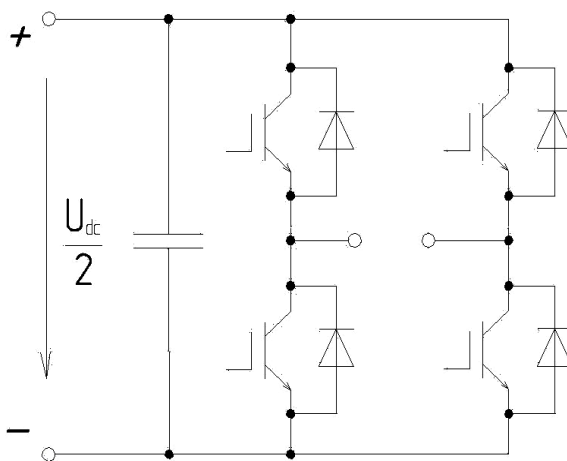


Рис. 1. Схема типовой H-мостовой ячейки

Первые схемы данного класса появились в 1975 г. [1], последние патенты опубликованы [2, 3]. В настоящее время высоковольтные каскадные преобразователи на H-ячейках находят широкое применение в электроприводах и электроэнергетике в целом. К ведущим корпорациям, работающим в данном направлении, можно отнести: General Electric, Mitsubishi Electric, Robicon. Одно из основных преимуществ многоуровневого преобразователя такого исполнения состоит в возможности масштабирования рабочего напряжения и мощности с помощью соединения определенного количества ячеек. К примеру, при трех ячейках в фазе возможно получение 7 уровней фазного напряжения, а при пяти

ячейках – 11. С другой стороны это влечет за собой и рост количества вторичных обмоток питающего трансформатора, изготовление которого является сложным и дорогостоящим, что, безусловно, является недостатком данной типологии.

Следующий вид преобразователей – это многоуровневые, реализованные на IGBT-транзисторах по схеме автономного инвертора напряжения. Разделяют два вида таких преобразователей:

- с «плавающими» конденсаторами;
- по так называемой «схеме с фиксацией нейтрали».

Схема трехуровневого преобразователя с «плавающими» конденсаторами представлена на рисунке 2.

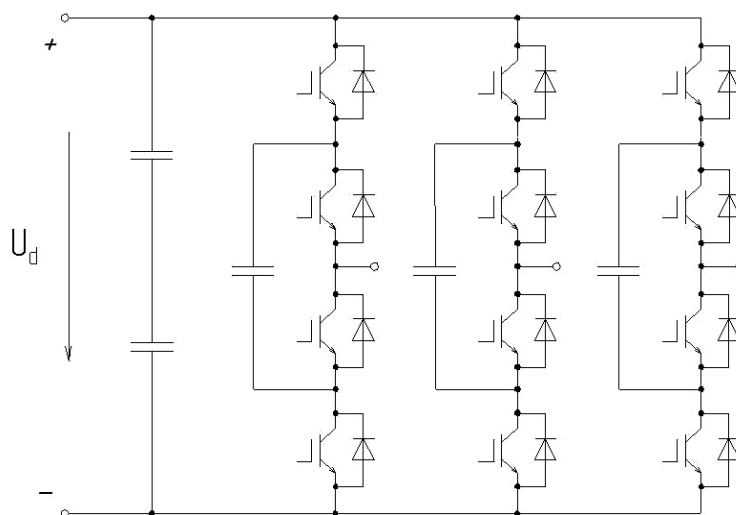


Рис. 2. Схема трехуровневого преобразователя с «плавающими» конденсаторами

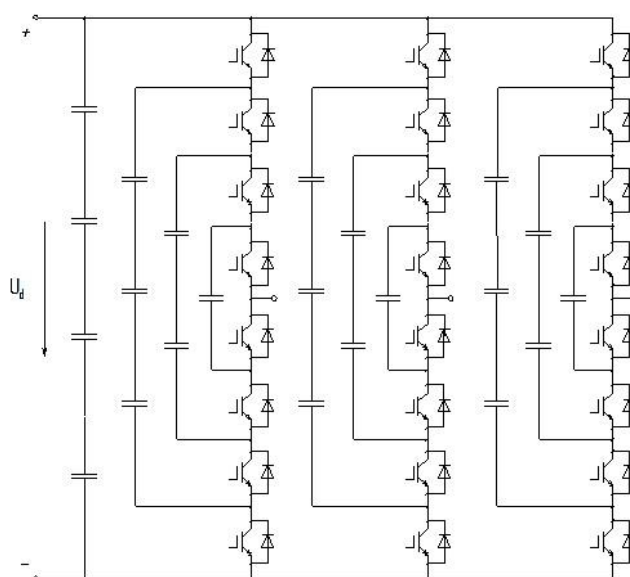


Рис. 3. Схема пятиуровневого преобразователя с «плавающими» конденсаторами

В основных состояниях, когда включен внешний транзистор, соединенный с отрицательным или положительным полюсом источника питания, конденсатор заряжается до напряжения $U_d/2$ (то есть напряжение источника питания делится пополам между конденсатором и закрытым транзистором, соединенным с противоположным полюсом источника питания). В дополнительных состояниях напряжение конденсатора либо непосредственно подается на выход фазы, либо вычитается из напряже-

ния источника питания. В обоих случаях на выход фазы подается напряжение равное $U_d/2$.

В пятиуровневом инверторе рисунка 3, такого же типа исполнения, появляются дополнительные ступени в кривой выходного напряжения $3U_d/4$, $U_d/2$, $U_d/4$, что повышает коэффициент синусоидальности выходного напряжения.

Схема силовой части пятиуровневого преобразователя «с фиксацией нейтрали» показана на рисунке 4.

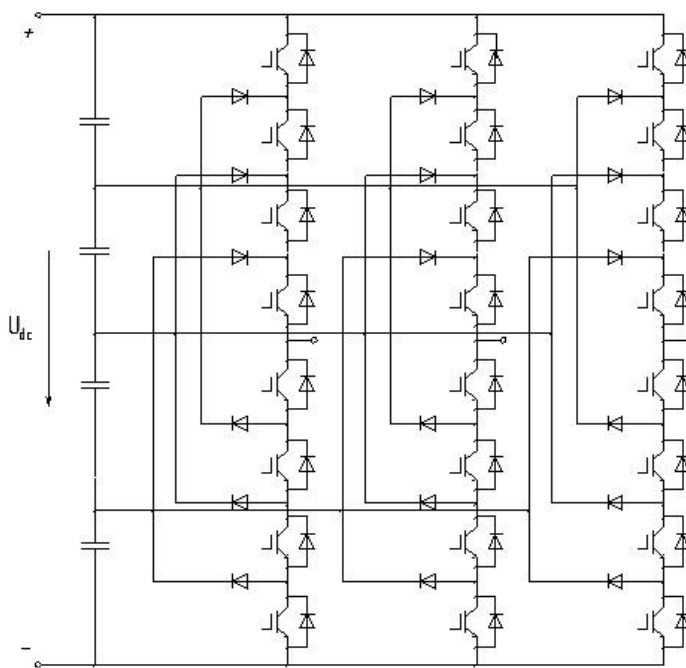


Рис. 4. Схема пятиуровневого преобразователя «с фиксацией нейтрали»

За счет последовательно соединенных конденсаторов на входе инверторного моста на средней точке этих конденсаторов формируется постоянное напряжение, равное $U_d/4$. Это напряжение через разделительные диоды подается на средние точки плеч инвертора, образованного последовательно включенными транзисторами. За счет соответствующего управления транзисторами инвертора на его выходе формируется напряжение пяти уровней: U_d , $3/4U_d$, $U_d/2$, $U_d/4$, 0. За счет появления дополнительных ступеней в кривой выходного напряжения $3U_d/4$, $U_d/2$, $U_d/4$ (для трехуровневого $U_d/2$, для четырехуровневого $2/3U_d$, $1/3U_d$) существенно повышается коэффициент синусоидальности выходного

напряжения, определяемый как отношение действующего значения первой гармоники выходного напряжения к действующему значению выходного напряжения $v = U_{(1)}/U$. С увеличением числа ступеней коэффициент синусоидальности растет, стремясь к единице.

Для подавления высших гармоник в преобразователях обоих типов используется многоуровневая широтно-импульсная модуляция. Законы модуляции реализуются на базе микроконтроллеров. Они должны учитывать, в том числе, и изменение напряжения на конденсаторах при протекании через них тока нагрузки.

В области применения электроприводов современная силовая электроника

предоставила новые возможности в передаче и потреблении электроэнергии за счет способности произвольно выбирать, а также непрерывно изменять частоту и амплитуду выходного напряжения инвертора, что позволяет существенно увеличить эффективность использования электроэнергии и возможности ею управлять.

Напряжение переменного тока формируется инверторами, при переключении полупроводников с высокой частотой различных уровней напряжения постоянного тока, при этом форма выходного сигнала представляет собой кривые в виде прямоугольных импульсов, которые значительно отличаются от классической синусоидальной формы, что в некоторых случаях может сделать невозможным использование регулируемого электропривода, требующего более качественной электроэнергии. Поэтому с целью устранения данной проблемы при необходимости используются инверторы с увеличенным количеством уров-

ней напряжения постоянного тока (многоуровневые инверторы).

Описанные выше устройства значительно расширяют возможности силовой электроэнергетики, дают новые пути для решения многих ранее неразрешимых задач в вопросах пуска и управления электроприводами различной мощности и ряд других.

Литература

1. Shakweh, Y. and Lewis, E.A. Assessment of medium voltage PWM VSI topologies for multi-megawatt variable speed applications, in Proc. IEEE PESC' 99, 1999.
2. Baker, R. H. Electric Power Converter. U.S. Patent 3.867.643, February 1975.
3. Duba, G.A., Thaxton, E.S., Walter, J. Modular Static Power Converter Connected in a Multi-Level, Multi-Phase, Multi-Circuit Configuration. U.S. Patent 5.933.339, assigned to Electric Boat Corporation, August 1999.

Сведения об авторах

Таранов Михаил Алексеевич – член-корреспондент РАСХН, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации энергетического оборудования и электрических машин Азово-Черноморской государственной агроинженерной академии (г. Зерноград).

Корчагин Павел Тимофеевич – аспирант кафедры эксплуатации энергетического оборудования и электрические машины Азово-Черноморской государственной агроинженерной академии (г. Зерноград). Тел. 8(86359) 34-8-85. E-mail: ya.korchaginpt@ya.ru.

Information about the authors

Taranov Mikhail Alexeevich – corresponding member of the Russian Academy of Agricultural Sciences, Doctor of Technical Sciences, head of the Operation of power installations and electrical machines department, Azov-Black Sea State Agroengineering Academy (г. Зерноград).

Korchagin Pavel Timofeevich – post-graduate student of the Operation of power installations and electrical machines department, Azov-Black Sea State Agroengineering Academy (Zernograd). Phone: 8(86359) 34-8-85. E-mail: ya.korchaginpt@ya.ru.