

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»



Кафедра философии

Реферат по дисциплине: «История и философия науки»

на тему: «История развития полупроводниковых преобразователей»

Выполнил:

Петров

асп. Петров И.С.

Научный руководитель:

Растворова

проф. Растворова И.И.

Проверил:

Микешин

проф. Микешин М.И.

Оглавление

Введение.....	2
Назначение и классификация устройств преобразовательной техники.....	7
Назначение, классификация, основные характеристики выпрямителей.....	11
Общие сведения об инверторах. Однофазный ведомый инвертор с нулевым выводом.....	15
Импульсные преобразователи напряжения.....	19
Преобразователи частоты.....	23
Заключение.....	27
Список литературы.....	28

Введение

В настоящее время из всех видов энергии наиболее широкое применение имеет электрическая энергия. По сравнению с другими видами энергии (механической, химической, тепловой и ядерной) электрическая энергия обладает многими важными преимуществами: ее можно передавать на большие расстояния, распределять без особых трудностей, регулировать и преобразовывать. Благодаря этим преимуществам большая часть производимой энергии в процессе передачи различным и многочисленным электроприемникам преобразуется в электрическую.

Известны различные виды получения и потребления электроэнергии. Преобладающая часть электрической энергии производится вращающимися электрическими машинами, генерирующими переменное синусоидальное напряжение с периодом T продолжительностью 20 или $1/60$ мсек. Такая периодичность тока соответствует промышленной частоте 50 гц или 60 гц. Ток частотой 50 гц имеет наибольшее применение в Европе, а частотой 60 гц — в США. Однако переменный ток промышленной частоты не единственный вид электрического тока.

Электроэнергию получают также от различных источников постоянного тока (например, химических батарей, топливных элементов и магнетогидродинамических плазменных генераторов). Эти источники тока дают постоянную по направлению и величине электродвижущую силу (э. д. с.). В настоящее время удельный вес источников постоянного тока в общем объеме применяемых источников весьма мал, но стремительное развитие топливных элементов, а также магнетогидродинамических плазменных генераторов (МГД) в будущем может изменить это соотношение.

Если в области генерирования электроэнергии огромный перевес пока на стороне переменного тока, то в отношении ее потребления картина несколько иная: установки постоянного тока потребляют сейчас около 20—25% всей электроэнергии.

К основным электроприемникам постоянного тока относятся электрохимические устройства (например, устройства для выплавки алюминия, рафинирования меди, выделения хлора и водорода, зарядки аккумуляторов, создания покрытий электрохимическим путем и т. п.), а также двигатели постоянного тока в промышленности и на транспорте. В последнее время постоянный ток все шире используется для передачи энергии по линиям электропередачи на большие расстояния при очень высоком напряжении.

В Западной Европе на железнодорожном транспорте, помимо постоянного тока и тока промышленной частоты, используются токи с частотой 162/3 и 25 гц. За последнее время все более широкое применение получает переменный ток частотой 400 — 1000 гц на различных транспортных средствах. Это связано с тем, что повышение частоты позволяет значительно снизить вес электромагнитных устройств (генераторов, трансформаторов, дросселей, двигателей и т. п.).

Перечисленные факторы обуславливают необходимость в различного рода преобразователях, которые переменный ток преобразуют в постоянный и наоборот, а также изменяют частоту тока. Краткое рассмотрение истории развития преобразователей тока и частоты позволит более полно оценить место новых полупроводниковых преобразователей среди известных ранее преобразователей других видов. На заре развития электротехники в качестве преобразователей тока и частоты использовались преимущественно двигатели-генераторы, в которых требуемый род тока получался с помощью генератора, приводимого во вращение двигателем на имеющемся токе. Однако и такая, казалось бы, простая схема имеет существенные недостатки: во-первых двигатели-генераторы тяжелы и громоздки, так как предполагают необходимость двух электрических машин, рассчитанных каждая на полную мощность преобразователя; во-вторых, к. п. д. подобных двигателей-генераторов низок, да и сам принцип действия — преобразование

электрической энергии в механическую с последующим обратным преобразованием в электрическую — нельзя считать рациональным.

Важным шагом вперед в развитии преобразователей явилось создание ионных вентилях (тиратронов, экситронов, игнитронов и т. п.). Благодаря этим приборам впервые появилась возможность создавать статические преобразователи тока и частоты, которые работают без посредства механической энергии. Однако и ионные приборы не лишены недостатков. Хотя вес их меньше веса двигателей-генераторов, по размерам они все же сопоставимы. Кроме того, для ионных приборов необходимы сложное устройство зажигания и охлаждение, а потери энергии в электрической дуге значительно снижают их к. п. д.

Поворотным пунктом в развитии силовых преобразователей явилось создание монокристаллических полупроводниковых выпрямительных элементов (германиевых и кремниевых). Технология изготовления полупроводниковых приборов совершенствовалась очень быстро, и это привело к созданию выпрямительных элементов, превосходящих мощностью в сотни раз первые приборы этого рода.

Однако обычные полупроводниковые выпрямительные элементы не лишены известного недостатка — они не управляемы и поэтому в устройствах, где необходимо сочетать функции преобразования тока с регулированием, приходится устанавливать дополнительные регулировочные аппараты. Для регулирования небольших полупроводниковых преобразователей (мощностью до 10—15 кет) часто используются бесконтактные магнитные элементы (дроссели насыщения, магнитные усилители и т. п.), а в агрегатах большой и средней мощности — электромеханические коммутационные аппараты (различного рода переключатели, контакторы, контроллеры, коммутаторы и т. п.).

Наиболее крупным достижением в развитии преобразовательной техники явилось создание управляемых полупроводниковых вентилях — тиристоров. Тиристор можно представить в виде неуправляемого диода с

последовательно включенным выключателем, который дает возможность включать ток в нужный момент. Прохождение тока через тиристор прекращается, когда величина тока достигает нуля, т. е. для переменного тока — в конце полупериода.

В настоящее время тиристоры все шире применяются не только в различных выпрямителях, инверторах и преобразователях частоты, но зачастую и для непосредственного регулирования эффективного значения переменного и постоянного тока, т. е. используются как трансформаторы переменного и постоянного тока. При этом особенно важна и экономически выгодна возможность импульсного регулирования постоянного тока; до сих пор это осуществлялось почти исключительно при помощи реостатов, в результате чего часть электроэнергии терялась, превращаясь в ненужное или даже вредное тепло. Подобные полупроводниковые преобразователи постоянного тока особенно необходимы в различного рода нестационарных и транспортных устройствах, где единственным источником энергии являются аккумуляторные батареи.

Не менее важное значение имеет возможность замены электромеханических коммутационных аппаратов полупроводниковыми. Такого рода замена особенно важна в устройствах, работающих в химически активной среде, в среде с повышенной либо пониженной температурой или давлением, а также в местах, где электрические устройства подвержены сильным механическим перегрузкам и вибрации. Кроме того, условия применения их на многих транспортных средствах (в частности, на летательных аппаратах) требуют, чтобы электрические преобразователи и регуляторы были по возможности более компактными и легкими. Эти требования в большинстве случаев можно выполнить только применением полупроводниковых элементов.

В 1904 г. англичанин Джон Флеминг изобрел электронный диод. Его создание было основано на предшествующих работах Томаса Эдисона,

открывшего термоэлектронную эмиссию, и Лодыгина, создавшего лампу накаливания.

В начале 1900-х годов в США Купером Юитом были разработаны стеклянные ртутные выпрямители, ставшие по существу родоначальниками силовых приборов для энергетической электроники. Стеклянные ртутные выпрямители разрабатывались в СССР сразу после октябрьской революции под руководством академика В.П. Вологодина. Первый металлический ртутный выпрямитель появился в Германии в 1911 г. Его создатель – инженер Б. Шеффер. Выпуск металлических ртутных выпрямителей в СССР был начат в 1924 г. под руководством В.К. Крапивина.

В середине 20-х годов начался выпуск первых полупроводниковых выпрямителей – купроксных, выполненных в виде последовательно соединенных медных пластин, покрытых окисью меди. Развитие полупроводниковой техники сдерживалось из-за отставания теории, а также отсутствия технологий.

Год рождения транзистора – 1948. За это изобретение его создатели Уолтер Браттейн, Джон Бардин и Вильям Шокли были удостоены Нобелевской премии. Этот транзистор был биполярным. Работы по созданию полевого транзистора велись длительное время, но только в 1958 г. Польскому ученому Станиславу Тешнеру, работавшему во Франции, удалось создать прибор, пригодный для практического применения.

В 1958 г. фирмой *Westinghouse* были разработаны тиристоры – мощные полупроводниковые приборы, пришедшие на смену управляемым ртутным выпрямителям и совершившие подлинную революцию в управляемом электроприводе и электротехнологии. Достаточно сказать, что ртутный вентиль на 1000 А имел массу 300 кг, а тиристор на тот же ток вместе с охладителем – всего 5 кг. В СССР тиристоры начали выпускаться уже в 1961 г. Симметричные тиристоры появились в СССР на несколько месяцев раньше, чем за рубежом. Под руководством И.В. Грехова в РФ разработаны полупроводниковые генераторы мощных наносекундных импульсов. В СССР

появились первые работы по применению тиристорov на ультразвуковых частотах.

90-е годы ознаменовались изобретением Ниидзавой (фирма «Тошиба», Япония) *IGBT*-транзистора. Появление этого прибора привело к настоящей революции в электроприводе переменного тока и вызвало его бурное развитие.

Назначение и классификация устройств преобразовательной техники

Вентильные преобразователи классифицируются по ряду признаков. Классификация вентильных преобразователей представлена на рис. 1.

1. По связи с сетью вентильные преобразователи делятся на преобразователи:

а) ведомые сетью, в которых процессы происходят синхронно с частотой сети;

б) автономные, которые либо не связаны с сетью, либо не зависят от частоты сети.

2. По назначению вентильные преобразователи делятся:

а) на выпрямители, которые преобразуют переменный ток в постоянный ток;

б) на инверторы, которые преобразуют постоянный ток в переменный ток;

в) на преобразователи частоты, которые преобразуют переменный ток одной частоты в переменный ток другой частоты;

г) на преобразователи переменного напряжения, изменяющие величину переменного напряжения. При этом частота и число фаз остаются неизменными;

д) на преобразователи числа фаз, изменяющие число фаз при неизменной частоте;

е) на компенсаторы и активные фильтры, которые повышают качество напряжения в сети;

ж) на преобразователи постоянного напряжения, изменяющие величину постоянного напряжения;

з) на генераторы импульсов, формирующие импульсы произвольной формы и частоты.

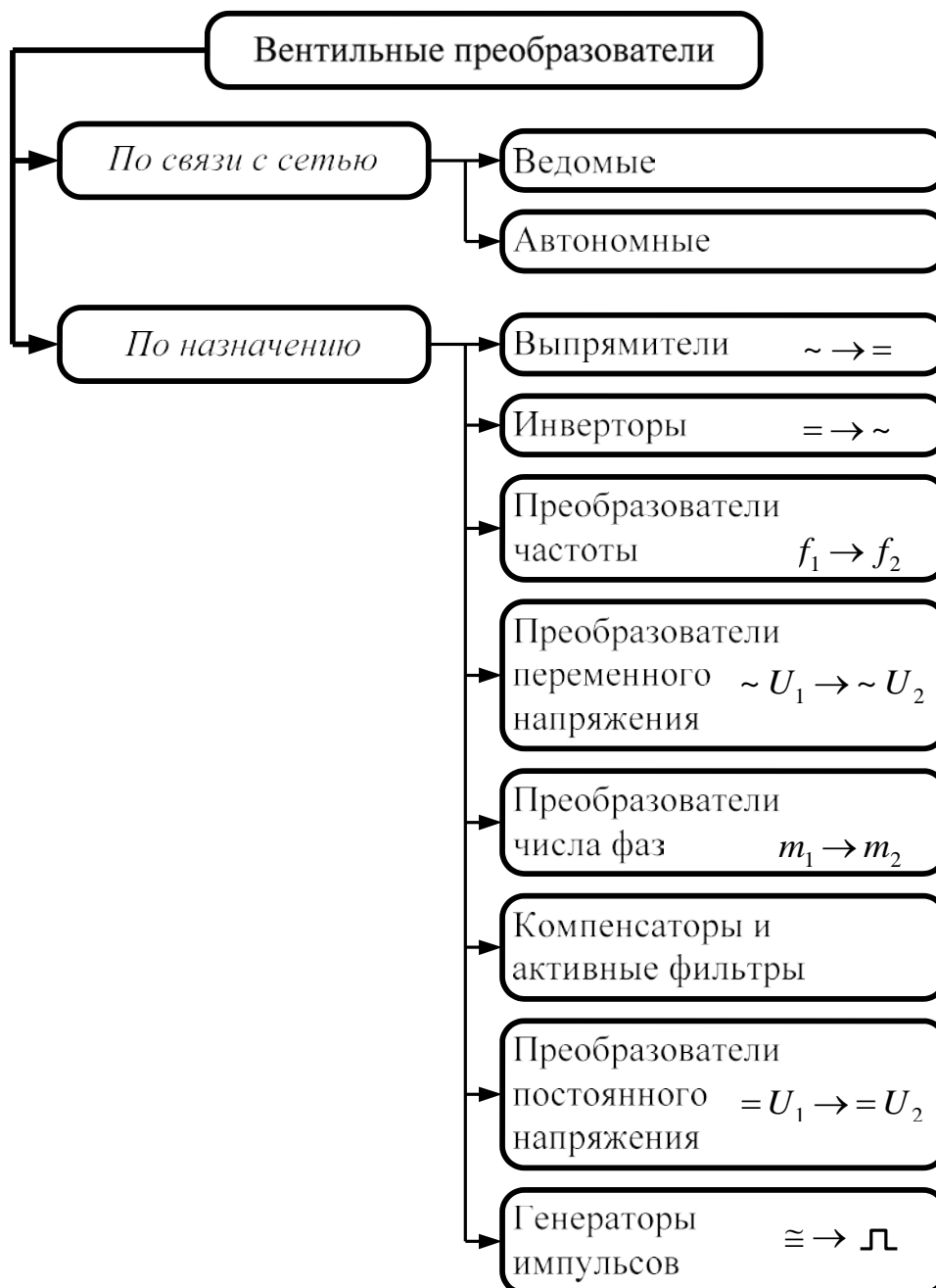


Рис. 1. Классификация вентильных преобразователей

Параметры преобразовательных устройств весьма различны. Различны и предъявляемые к ним требования, а также режимы и условия их работы. Выпрямленный ток установок изменяется в широком диапазоне от единиц ампер до сотен тысяч ампер, а выпрямленное напряжение от десятков до сотен тысяч вольт.

Разнообразны требования и к режиму регулирования. Так большая группа установок работает при нерегулируемом выпрямленном напряжении. Наряду с этим на других установках требуется не только регулирование напряжения, но и преобразование постоянного тока в переменный ток. Существенен для работы преобразовательных устройств также и характер графика нагрузки – от совершенно ровного (электролиз) до резкого неравномерного (тяга).

Диапазон параметров устройств зависимого инвертирования также как и выпрямительных устройств очень обширен: от нескольких ампер до десятков тысяч ампер, от десятков вольт до сотен тысяч вольт.

Диапазон параметров автономных инверторов более скромн. Максимальные токи и напряжения редко превосходят нескольких тысяч ампер и несколько сотен вольт.

При проектировании преобразовательных устройств необходимо составить рациональную общую схему со стороны как переменного, так и постоянного тока, определить параметры и число рабочих и резервных преобразователей, выбрать коммутационную, защитную и контрольную аппаратуру, составить схему регулирования, схему вспомогательных устройств и собственных нужд. Все перечисленные вопросы должны решаться не изолированно друг от друга, а совместно, преследуя общую цель – создание установки определенного назначения, обеспечивающую максимальную экономичность и нужную для конкретных условий степень надежности при минимальных затратах. Для правильного решения

необходимо принять во внимание ряд факторов: особенности питающей сети переменного тока, график нагрузки, степень требуемой потребителем бесперебойности, особенности заданного режима работы преобразователей, условия эксплуатации и, наконец, условия размещения оборудования.

Разработка новых полупроводниковых преобразователей во многом определяется успехами в развитии полупроводниковых приборов. В современных условиях развитие полупроводниковых приборов складывается в основном из двух направлений:

а) совершенствование технологических способов изготовления приборов с целью улучшения их технико-экономических и эксплуатационных показателей;

б) разработка принципиально новых приборов.

Особое внимание уделяется разработке и совершенствованию мощных приборов, работающих как переключатели электрического тока (тиристоры, силовые транзисторы, запираемые тиристоры). Такие приборы при незначительных потерях могут управлять огромными мощностями, подводимыми к нагрузке, что открывает широкие перспективы для их применения в различных областях техники, где требуется высокоэффективное регулирование режимов работы потребителя.

Силовые полупроводниковые преобразовательные устройства выпускаются на малые, средние и большие мощности, поэтому они используются для электролиза на химических и алюминиевых предприятиях, для тяговых подстанций, для электрифицированного железнодорожного транспорта, для регулируемого электрического привода, для питания различного рода подъёмников, лифтов, в бортовых системах электропитания различного назначения и т.д.

Среди разнообразных требований, предъявляемых к преобразователям, общими являются обеспечение максимального коэффициента полезного действия и коэффициента мощности отдельных узлов и элементов, а также максимальной надёжности и устойчивости. Полупроводниковые

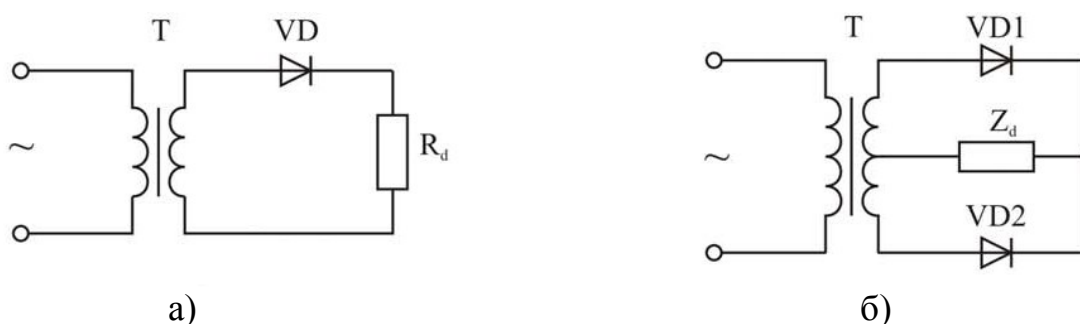
преобразующие устройства наиболее качественно удовлетворяют перечисленным требованиям. Они отличаются малыми габаритами и весом, потребляют очень малую мощность управления, их коэффициент усиления превышает 100000. Они почти безынерционны. Отсутствие подвижных частей, возможная универсальность создания отдельных блоков преобразователей открыли широкую возможность их применения.

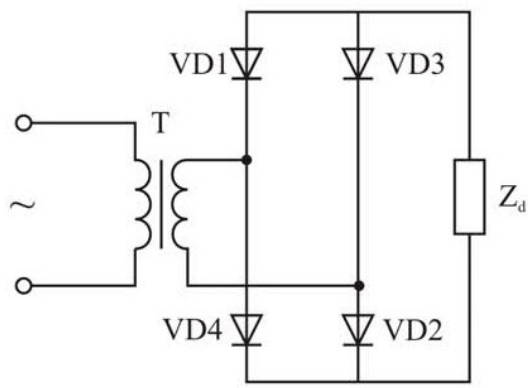
Назначение, классификация, основные характеристики выпрямителей

Выпрямитель – это электротехническое устройство, предназначенное для преобразования переменного напряжения в постоянное.

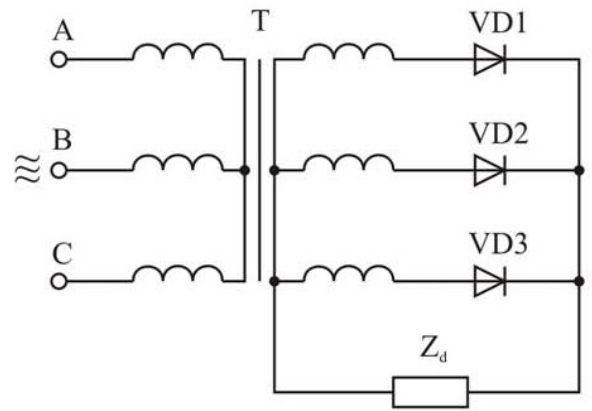
Основными элементами полупроводниковых выпрямителей являются трансформатор и вентили, с помощью которых обеспечивается одностороннее протекание тока в цепи нагрузки, в результате чего переменное напряжение преобразуется в пульсирующее. Для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения к выходным зажимам выпрямителя подключают электрический сглаживающий фильтр. Для регулирования или стабилизации выпрямленного напряжения и тока потребителя к выходным зажимам фильтра подключают регулятор или стабилизатор (стабилизатор может быть включён и на стороне переменного тока выпрямителя).

Классификация выпрямителей

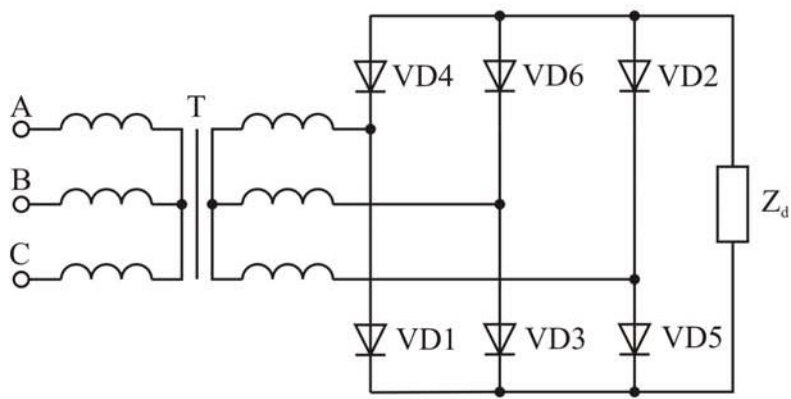




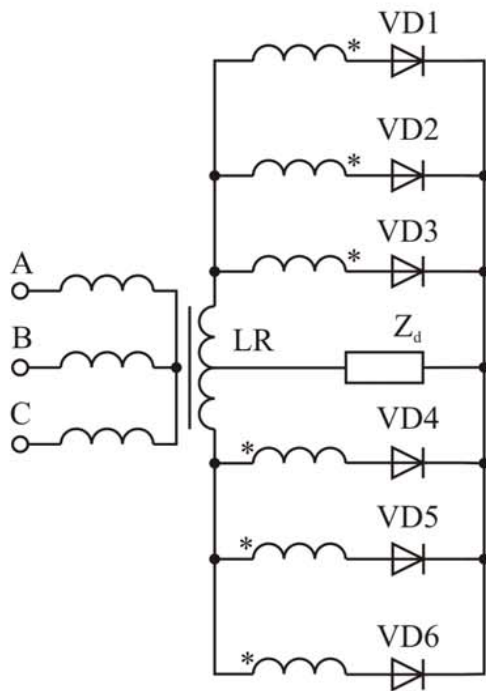
В)



Г)



Д)



Е)

Рис. 2. Основные схемы выпрямителей

- а) однофазный однополупериодный.
- б) однофазный с нулевым выводом.
- в) однофазный мостовой.
- г) трехфазный с нулевым выводом.
- д) трехфазный мостовой.
- е) двойной трехфазный с уравнительным реактором.

Схемы выпрямителей классифицируют по ряду признаков (рис. 2).

1. В зависимости от числа фаз питающего источника переменного напряжения различают схемы однофазного (рис. 2 а, б, в) и трёхфазного (рис. 2 г, д, е) питания.

2. В зависимости от количества импульсов тока, протекающего за полный период по вторичным обмоткам трансформатора:

а) Однотактные – ток протекает один раз за полный период. Отношение частоты пульсаций выпрямленного напряжения (m_p) к частоте сети в однотактных схемах равно числу фаз вторичной обмотки трансформатора. В таких схемах, кроме простейшего однофазного однополупериодного выпрямителя, обязательно выводится нулевая точка трансформатора (рис. 2 а, б, г).

б) Двухтактные – в каждой фазе вторичной обмотки трансформатора ток протекает дважды за один период, причём в противоположных направлениях. Кратность пульсаций выпрямленного напряжения в таких схемах в 2 раза больше, чем число фаз вторичной обмотки трансформатора. Эти схемы также называют мостовыми (рис. 2 в, д). В мостовых схемах ток во вторичной цепи всегда проходит последовательно по двум вентилям.

3. По степени сложности:

- а) простые (рис. 2 а – д);
- б) сложные – несколько простых схем выпрямителей соединяют последовательно или параллельно (рис. 2 е).

4. По числу пульсаций за период питающего напряжения:

- а) с однофазными пульсациями (рис. 2 а);

б) с двухфазными пульсациями (рис. 2 б, в);
 в) схема с трёхфазными пульсациями (рис. 2 г);
 г) схемы с четырёхфазными пульсациям;
 д) схемы с шестифазными пульсациями (рис. 2 д, е);
 е) схемы с двенадцатифазными и более пульсациями. Представляют собой последовательное и параллельное соединения предыдущих схем.

5. В зависимости от назначения выпрямители могут быть управляемыми и неуправляемыми.

Возможны различные модификации схем выпрямителей: с включением вторичной обмотки трансформатора в треугольник, в зигзаг, несимметричные схемы, схемы с нагрузкой шунтированной диодом и др.

Эксплуатационные характеристики выпрямителей

1. Среднее значение выпрямленного напряжения и тока U_d, I_d .
2. Коэффициент полезного действия (КПД) – η ;
3. Коэффициент мощности – $\cos \phi$;
4. Внешняя характеристика выпрямителя – зависимость $U_d=f(I_d)$;
5. Регулировочная характеристика для управляемых выпрямителей $U_d=f(\alpha)$, где α - угол управления (регулирования);
6. Коэффициент пульсаций:

$$K_{\text{п}} = \frac{U_{m(q)}}{U_d},$$

где q – номер гармоники,

U_m – амплитуда напряжения.

7. Коэффициент искажения:

$$\nu = \frac{I_{1(1)}}{\sqrt{I_{1(1)}^2 + I_{1(2)}^2 + \dots + I_{1(q)}^2 + \dots}},$$

где $I_{1(1)}$ – действующее значение основной гармоники первичной обмотки трансформатора,

$$\sqrt{I_{1(1)}^2 + I_{1(2)}^2 + \dots + I_{1(q)}^2 + \dots} \quad - \quad \text{полный ток первичной обмотки}$$

трансформатора.

8. Величина и длительность протекания допустимого прямого тока перегрузки.
9. Эксплуатационные и экономические характеристики вентиляей: срок службы, стоимость и надёжность.

Общие сведения об инверторах. Однофазный ведомый инвертор с нулевым выводом

Инвертированием называется процесс преобразования энергии постоянного тока в энергию переменного тока. Инверторы, ведомые сетью, осуществляют такое преобразование с передачей энергии в сеть переменного тока, то есть решают задачу, обратную выпрямлению.

Ведомые инверторы выполняются по тем же схемам, что и управляемые выпрямители. На рис. 3 приведена двухполупериодная схема с нулевым выводом трансформатора.

В качестве источника инвертируемой энергии применена машина постоянного тока М, работающая в режиме генератора. Индуктивность L_d осуществляет сглаживание входного тока инвертора, а реактивные сопротивления $x_{\gamma 1}$ и $x_{\gamma 2}$ учитывают индуктивности рассеяния обмоток трансформатора и индуктивность питающей сети. Укажем основные положения, отличающие режим инвертирования от режима выпрямления.

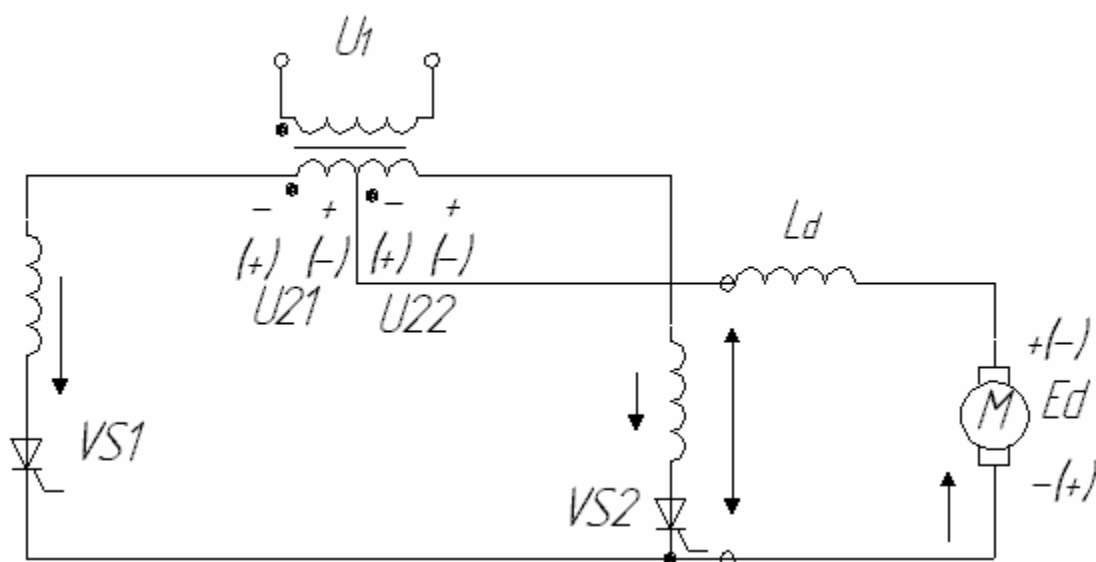


Рис. 3 схема однофазного ведомого инвертора с нулевым выводом

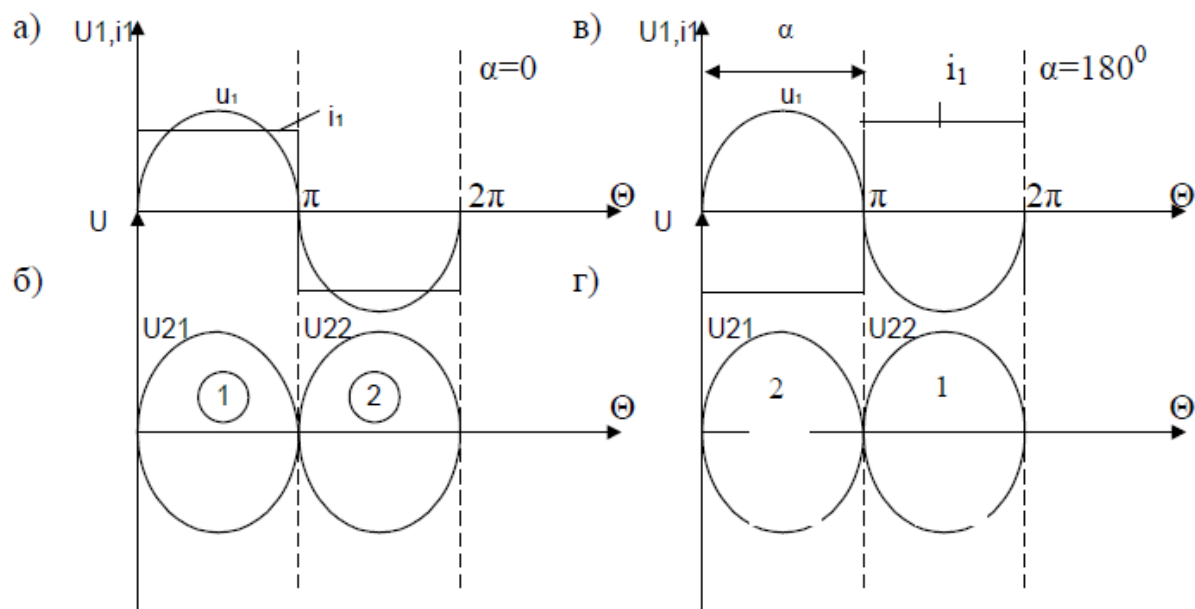


Рис. 4 кривые напряжения и тока питающей сети, а также последовательность работы тиристоров в управляемом выпрямителе (а, б) и ведомом инверторе (в, г)

При выпрямлении источником энергии является сеть переменного тока, поэтому при $\alpha=0$ кривая тока i_1 , потребляемого из сети, совпадает по фазе с напряжением питания u_1 . При $L_d \rightarrow \infty$ и $x_{\gamma 1} = x_{\gamma 2} = 0$, форма тока i_1 близка к прямоугольной (рис. 4 а). Тиристор $VS1$ открыт при положительной полярности напряжения U_{21} , а тиристор $VS2$ – при положительной

полярности напряжения U_{22} . Машина постоянного тока работает в режиме двигателя с потреблением энергии от сети. К машине приложено напряжение U_d с полярностью, указанной на рис. 3 в скобках.

При работе схемы в режиме инвертирования машина постоянного тока является источником электрической энергии, а сеть переменного тока – её потребителем. При условии сохранения в схеме тех же направлений токов i_{a1} , i_{a2} и i_d (что определяется наличием тиристорov), генераторному режиму работы машины будет отвечать полярность напряжения, указанная на рис. 3 без скобок. Изменение полярности подключения машины к цепи постоянного тока является одним из условий перевода данной схемы в режим инвертирования.

Показателем потребления энергии сетью служит фазовый сдвиг на 180° тока i_1 относительно напряжения u_1 (рис. 4 в.) Это означает, что тиристоры схемы в режиме инвертирования должны находиться в открытом состоянии при отрицательной полярности напряжений вторичной обмотки трансформатора: тиристор VS2 при отрицательной полярности напряжения U_{22} , а тиристор VS1 при отрицательной полярности напряжения U_{21} . При таком режиме отпирание тиристорov осуществляется поочередным подключением вторичных обмоток трансформатора через дроссель L_d к источнику постоянного тока. Благодаря чему достигается, во-первых, преобразование постоянного тока I_d в переменный ток i_1 и во-вторых, передача энергии в сеть. Указанному режиму отпирания тиристорov, при инвертировании, соответствует на (рис.4 в) значение угла управления $\alpha=\pi$, отсчитываемого в направлении запаздывания относительно точки естественного отпирания вентилей $(0, \pi, 2\pi \dots)$.

Запирание ранее проводившего тиристора, при отпирании очередного тиристора в ведомом инверторе осуществляется под действием обратного напряжения, создаваемого напряжением сети со стороны вторичной обмотки трансформатора (чем главным образом и обусловлено название инвертора “ведомый” или “ведомый сетью”).

Очевидно, что к ранее проводившему тиристор, при открывании очередного тиристора будет приложено обратное напряжение, равное сумме напряжений двух вторичных обмоток, только в том случае, если очередной тиристор отпирается в момент, когда на подключенной к нему обмотке, действует напряжение положительной полярности.

Иными словами, реальное значение угла α при работе инвертора, исходя из условий запираания тиристора должно быть меньше π на некоторый угол β , т.е. $\alpha = \pi - \beta$. Если же очередной тиристор отпираться при $\alpha = \pi$, то условие запираания ранее проводившего тиристора не будет выполнено, этот тиристор останется в открытом состоянии, создавая короткое замыкание цепи с последовательно включенной вторичной обмоткой трансформатора и источником постоянного тока. Такое явление называют срывом инвертирования или опрокидыванием инвертора. Угол β , отсчитываемый влево от точки естественного отпираания $\pi, 2\pi, \dots$ называют углом опережения отпираания тиристор. С углом задержки отпираания α он связан соотношением:

$$\beta = \pi - \alpha \text{ или } \alpha + \beta = \pi.$$

Таким образом, для перевода схемы из режима выпрямления в режим инвертирования необходимо:

1. Подключить источник постоянного тока с полярностью обратной режиму выпрямления.
2. Обеспечить протекание тока через тиристоры преимущественно при отрицательной полярности вторичных напряжений, проводя их отпираание с углом опережения β .

Следует отметить, что рассмотренный способ перевода выпрямителя в режим инвертирования не является единственно возможным. Для него характерно сохранение прежнего направления i_d , и изменение полярности постоянного напряжения U_d . Если представить себе, что к зажимам источника постоянного тока подключен второй преобразователь, аналогичный первому, но с обратным направлением включения тиристор, то в такой системе

можно перейти к режиму инвертирования при изменении направления i_d в генераторе и с прежней полярностью U_d . При этом, когда первый преобразователь работает в качестве выпрямителя, а машина в качестве двигателя, второй преобразователь может быть закрыт. При переводе машины в режим генератора, второй преобразователь начинает работать как инвертор с соответствующим углом β , а первый преобразователь запирается. Оба указанных способа перевода из режима выпрямителя в режим инвертирования и обратно используют в реверсивных преобразователях.

Импульсные преобразователи напряжения

Преобразователи постоянного напряжения предназначены для изменения значения постоянного напряжения. Они служат для питания нагрузки постоянным напряжением U_H , отличающимся по величине от напряжения E источника питания, при этом иногда необходимо стабилизировать напряжение U_H при изменении напряжения источника питания и тока нагрузки, либо изменять напряжение U_H по определённому закону независимо от напряжения E .

Рассматриваемые преобразователи основаны на использовании импульсных методов преобразования и регулирования постоянного напряжения, поэтому их называют импульсными преобразователями постоянного напряжения. Выходное напряжение таких преобразователей характеризуется последовательностью импульсов прямоугольной формы с длительностью t_i и паузой t_p , амплитуда которых близка к напряжению питания E .

Выходное напряжение преобразователя характеризуется средним значением U_H . Требуемого качества выходного напряжения с точки зрения пульсаций здесь добиваются также, как и в выпрямителях, включением между выходом преобразователя и нагрузкой сглаживающего фильтра.

В основе принципа ИППН лежит ключевой режим работы, регулирующего полупроводникового прибора, осуществляющего периодическое

подключение напряжения питания E к выходной цепи преобразователя. Малые падения напряжения на регулирующем приборе в открытом состоянии и протекающий ток в закрытом обуславливают высокий КПД рассматриваемых преобразователей. Их способность регулировать выходное напряжение используют при построении регуляторов и стабилизаторов постоянного напряжения. ИППН широко применяют также и в электроприводе для управления частотой вращения двигателей постоянного тока.

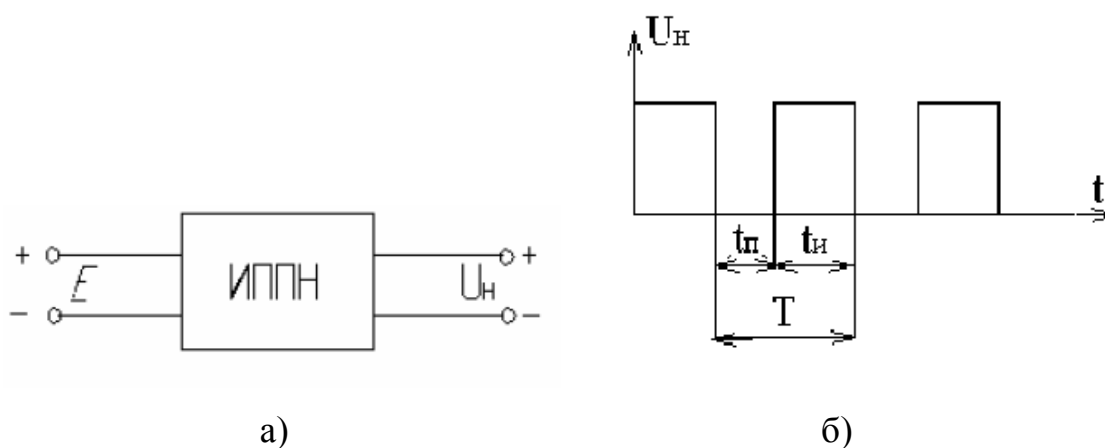


Рис. 5 Импульсный преобразователь постоянного напряжения (а) и его кривая выходного напряжения (б)

Регулирование выходного напряжения ИППН осуществляется импульсными методами путём изменения параметров выходных импульсов. Наибольшее применение получили широтно-импульсный и частотно-импульсный методы регулирования, а также их комбинация.

Широтно-импульсный метод регулирования осуществляется изменением длительности (ширины) выходных импульсов $t_{и}$ (рис.6) при неизменном периоде их следования ($T = \text{const}$, $f = 1/T = \text{const}$).

Среднее значение выходного напряжения преобразователя при широтно-импульсном регулировании связано с напряжением питания соотношением:

$$U_{н} = \frac{t_{и}}{T} \cdot E = \gamma E,$$

где $\gamma = t_{и}/T$ – коэффициент регулирования (преобразования).

Следовательно, диапазон регулирования выходного напряжения ИППН с широтно-импульсным регулированием составляет от 0 ($t_u=0$, $\gamma=0$) до E ($t_u=T$, $\gamma=1$).

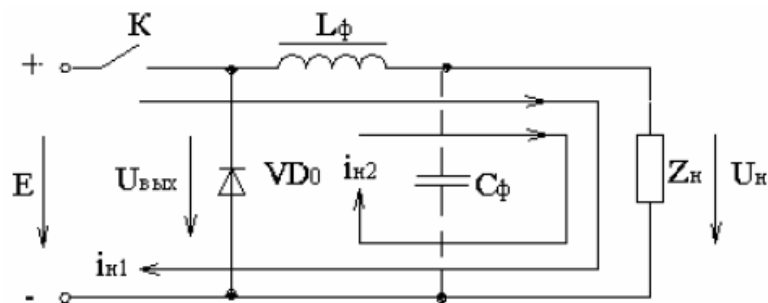
При частотно-импульсном методе регулирования изменение выходного напряжения производится за счёт изменения частоты следования выходных импульсов при неизменной их длительности ($f=1/T=\text{var}$, $t_u=\text{const}$).

Регулировочные возможности преобразователя характеризуются соотношением:

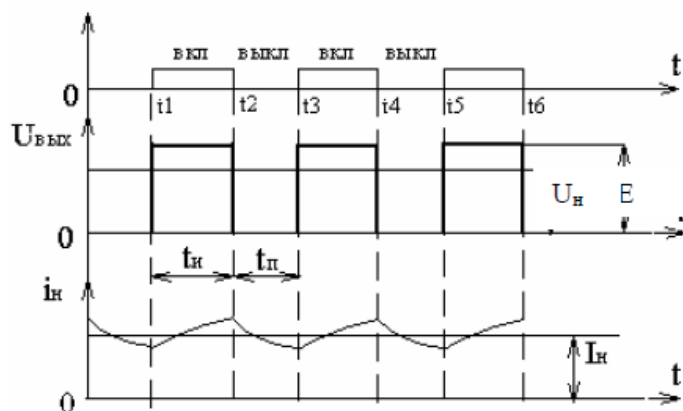
$$U_H = \frac{t_u}{T} E = t_u f \cdot E$$

Выходному напряжению, равному E , здесь соответствует предельная частота следования импульсов равная $1/t_u$, а нулевому выходному напряжению соответствует нулевая частота.

Совместное использование широтно-импульсного регулирования и частотно-импульсного регулирования (комбинированное регулирование) заключается в изменении двух параметров выходных импульсов: t_u и f .



а)



б)

Рис. 6 Схема основных цепей ИППН (а) и его временные диаграммы (б)

Один из наиболее широко распространённых принципов построения ИППН иллюстрирует схема, приведённая на рис. 6. Регулирующий элемент условно показан в виде ключа К, функцию которого обычно выполняет тиристор (или силовой транзистор). В выходную цепь преобразователя входит нагрузка Z_n активно-индуктивного характера и при необходимости сглаживающий L-фильтр (дроссель L_f). Применение дросселя в ИППН обычно является достаточным для сглаживания выходного напряжения (тока), хотя в общем случае не исключены и более сложные сглаживающие фильтры, например, Г-образный LC-фильтр. Диод VD0 является необходимым элементом схемы и предназначен для создания в ней контура протекания тока нагрузки при разомкнутом ключе К.

На интервалах включенного состояния ключа ($t_1 \dots t_2$, $t_3 \dots t_4$, $t_5 \dots t_6$) напряжение E подключается ко входу сглаживающего фильтра $U_{\text{вых}}=E$, диод VD0 закрыт. Через нагрузку протекает ток i_{n1} от источника питания. На интервалах отключенного состояния ключа ($t_2 \dots t_3$, $t_4 \dots t_5$) связь выходной цепи с источником питания отсутствует, однако ток через нагрузку продолжает протекать. Он поддерживается энергией, накопленной реактивными элементами – дросселем L_f и индуктивностью нагрузки L_n . Ток i_{n2} замыкается через проводящий обратный диод VD0, вследствие чего $U_{\text{вых}}=0$.

При переходе к большим мощностям нагрузки (свыше 100 кВт) возникают трудности построения преобразователей по схеме, приведённой на рис. 6. Они вызваны большими токами нагрузки, а значит необходимостью применения большого числа параллельно включенных тиристоров, используемых в качестве ключа. Кроме того при больших токах нагрузки трудно осуществима конструкция дросселя L_f с большой индуктивностью.

Преобразователи частоты

Преобразователь частоты – это устройство, предназначенное для преобразования переменного тока (напряжения) одной частоты в переменный ток (напряжение) другой частоты.

Выходная частота в современных преобразователях может изменяться в широком диапазоне и быть как выше, так и ниже частоты питающей сети.

Схема любого преобразователя частоты состоит из силовой и управляющей частей. Силовая часть преобразователей обычно выполнена на тиристорах или транзисторах, которые работают в режиме электронных ключей. Управляющая часть выполняется на цифровых микропроцессорах и обеспечивает управление силовыми электронными ключами, а также решение большого количества вспомогательных задач (контроль, диагностика, защита). Преобразователи частоты, применяемые в регулируемом электроприводе, в зависимости от структуры и принципа работы силовой части разделяются на два класса: 1. Преобразователи частоты с явно выраженным промежуточным звеном постоянного тока. 2. Преобразователи частоты с непосредственной связью (без промежуточного звена постоянного тока). Каждый из существующих классов преобразователей имеет свои достоинства и недостатки, которые определяют область рационального применения каждого из них.

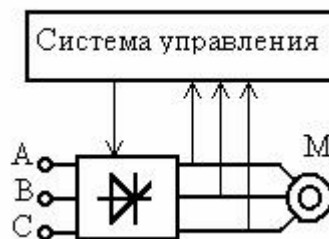


Рис. 7

Исторически первыми появились преобразователи с непосредственной связью (рис. 7.), в которых силовая часть представляет собой управляемый выпрямитель и выполнена на не запираемых тиристорах. Система

управления поочередно отпирает группы тиристортов и подключает статорные обмотки двигателя к питающей сети.

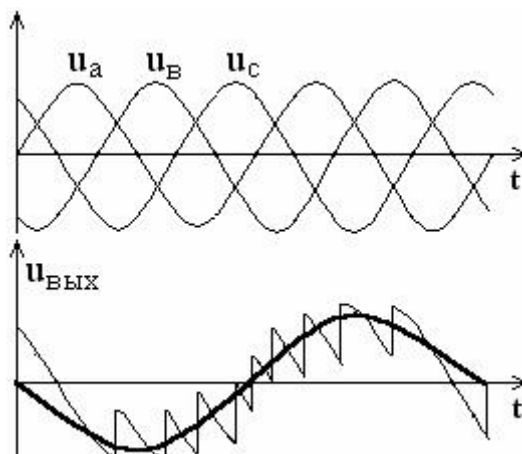


Рис. 8

Таким образом, выходное напряжение преобразователя формируется из «вырезанных» участков синусоид входного напряжения. На рис.8. показан пример формирования выходного напряжения для одной из фаз нагрузки. На входе преобразователя действует трехфазное синусоидальное напряжение u_a , u_b , u_c . Выходное напряжение $u_{\text{ВЫХ}}$ имеет несинусоидальную «пилообразную» форму, которую условно можно аппроксимировать синусоидой (утолщенная линия). Из рисунка видно, что частота выходного напряжения не может быть равна или выше частоты питающей сети. Она находится в диапазоне от 0 до 30 Гц. Как следствие малый диапазон управления частоты вращения двигателя (не более 1 : 10). Это ограничение не позволяет применять такие преобразователи в современных частотно регулируемых приводах с широким диапазоном регулирования технологических параметров. Использование не запираемых тиристортов требует относительно сложных систем управления, которые увеличивают стоимость преобразователя. «Резаная» синусоида на выходе преобразователя является источником высших гармоник, которые вызывают дополнительные потери в электрическом двигателе, перегрев электрической машины, снижение момента, очень сильные помехи в питающей сети. Применение компенсирующих устройств приводит к повышению стоимости, массы, габаритов, понижению к.п.д. системы в целом. Наряду с перечисленными недостатками преобразователей с

непосредственной связью, они имеют определенные достоинства. К ним относятся: – практически самый высокий КПД относительно других преобразователей (98,5% и выше), – способность работать с большими напряжениями и токами, что делает возможным их использование в мощных высоковольтных приводах, – относительная дешевизна, несмотря на увеличение абсолютной стоимости за счет схем управления и дополнительного оборудования.

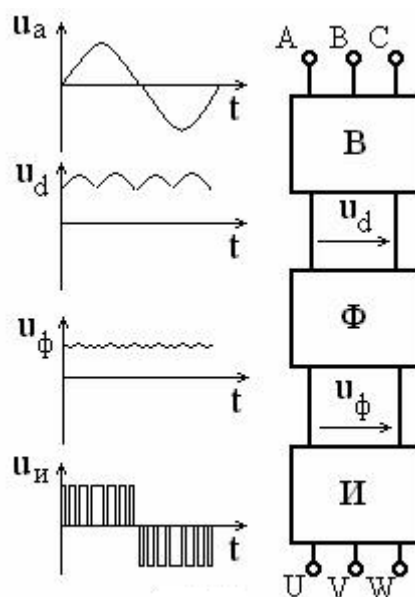


Рис. 9

Подобные схемы преобразователей используются в старых приводах и новые конструкции их практически не разрабатываются. Наиболее широкое применение в современных частотно регулируемых приводах находят преобразователи с явно выраженным звеном постоянного тока (рис. 9.) В преобразователях этого класса используется двойное преобразование электрической энергии: входное синусоидальное напряжение с постоянной амплитудой и частотой выпрямляется в выпрямителе (В), фильтруется фильтром (Ф), сглаживается, а затем вновь преобразуется инвертором (И) в переменное напряжение изменяемой частоты и амплитуды. Двойное преобразование энергии приводит к снижению к.п.д. и к некоторому ухудшению массогабаритных показателей по отношению к преобразователям с непосредственной связью. Для формирования синусоидального

переменного напряжения используются автономные инверторы напряжения и автономные инверторы тока. В качестве электронных ключей в инверторах применяются запираемые тиристоры GTO и их усовершенствованные модификации GCT, IGCT, SGCT, и биполярные транзисторы с изолированным затвором IGBT. Главным достоинством тиристорных преобразователей частоты, как и в схеме с непосредственной связью, является способность работать с большими токами и напряжениями, выдерживая при этом продолжительную нагрузку и импульсные воздействия. Они имеют более высокий КПД (до 98%) по отношению к преобразователям на IGBT транзисторах (95 – 98%).

Заключение

История развития преобразовательной техники насчитывает десятки лет. Существенный скачок в развитии преобразовательной техники произошёл в шестидесятых годах, когда были созданы первые неуправляемые (диоды) и управляемые (тиристоры) силовые полупроводниковые элементы. Преобразовательные устройства имеют различное назначение и классификацию. Они могут быть использованы в различных отраслях. Использование силовых полупроводниковых преобразователей в электроэнергетике, на транспорте, в металлургии и других отраслях даёт громадный экономический эффект.

Список литературы

1. Бирзник Л., Полупроводниковые преобразователи. — М., «Энергия», 1967
2. Бар В.И., Основы преобразовательной техники, курс лекций, Тольятти, 2005
3. Коновалов Б.И., Основы преобразовательной техники, учебное пособие, 2007
4. Бурков А.Т., Электронная техника и преобразователи, учебник для вузов, 1999
5. Зиновьев Г.С., Основы силовой электроники, учебное пособие, 2003

