**ЛЕКЦИЯ № 15**

**Выпрямители, инверторы и преобразователи частоты**

В системах электроснабжения промышленных предприятий преобразование и регулирование электроэнергии в соответствии с нуждами потребителя осуществляется устройствами силовой электроники.

Силовая электроника непосредственно используется при регулировании напряжения, частоты, числа фаз и порядка их чередования. Силовая электроника предназначена для преобразования электрической энергии большой мощности, поэтому основное внимание уделяется получению наибольшего КПД преобразователей.

Силовая электроника сделала большой скачок в своем развитии с появлением полупроводниковых приборов большой мощности, обладающих хорошими рабочими и эксплуатационными характеристиками. Эти приборы позволили внедрить силовое электронное оборудование в различные области народного хозяйства.

Нет такого потребителя электроэнергии, такого промышленного предприятия, которого не интересуют проблемы энергосбережения. Внедрение новых технологий, развитие промышленности, повышение уровня жизни требуют все больших и больших количеств электроэнергии. Расходы на электроэнергию одна из затратных статей в любой отрасли промышленности, поэтому потребность в устройствах, позволяющих экономить электроэнергию, постоянно растет, а соответствующие устройства активно совершенствуются.

На промышленных предприятиях и объектах жилищно-коммунального хозяйства миллионы электродвигателей круглосуточно приводят в движение насосы, вентиляторы, компрессоры, конвейеры, металлообрабатывающие станки и т.п. Энергосбережение в этой области актуально и решение можно найти применением регулируемых электроприводов. Это позволит ночью, когда потребление воды низкое, уменьшить подачу воды в трубы. Электродвигатель должен работать на малых оборотах, лишь поддерживая заданное давление.

Именно для этого и предназначены преобразователи частоты. Регулируя обороты двигателя так, чтобы в трубе поддерживалось требуемое давление жидкости, преобразователь экономит от 20 до 50 % электроэнергии, в зависимости от условий работы двигателя.

Использования частотного преобразователя для регулирования частоты вращения электродвигателя существенно уменьшает средние частоты вращения, увеличивая ресурс электродвигателя, а также позволяет снять избыточный напор в трубопроводе, отказавшись от дроссельного регулирования сечений трубопроводов, снизив при этом потери на преодоление противодавления. Частотным преобразователем обеспечивается «мягкий» пуск электродвигателя, так как пусковые токи не превышают рабочих, повышения эффективности защиты электродвигателя от перегрузки, обрыва фазы, от пониженного (повышенного) напряжения, от работы при неисправном насосе и запорной арматуре, уменьшение износа коммутационной аппаратуры из-за меньшего числа переключений, малых токов коммутаций.

Следует отметить, что силовая полупроводниковая техника производится и разрабатывается в России. Завод ОАО «Электровыпрямитель» г. Саранска, Ижевский радиозавод разрабатывают и производят полупроводниковую продукцию для транспорта, водоканала, электроэнергетики, добывающей и многих других отраслей промышленности, выпускает свыше 500 типов полупроводниковых приборов на токи от 10 до 6000 ампер, напряжение от 100 до 8000 вольт.

Использование тиристорной аппаратуры обусловило появление новых систем электроснабжения управляемого типа.

Важной областью применения бесконтактной коммутационно-регулирующей аппаратуры (БКРА) класса 6 – 10кВ являются синхронные устройства для автоматического ввода резерва (АВР), прежде всего в сетях с мощными синхронными электродвигателями. Ответственные электроприемники с мощными синхронными электродвигателями 6 – 10кВ имеются сегодня в подавляющем большинстве отраслей народного хозяйства (черной и цветной металлургии, газовой, нефтедобывающей, химической промышленности и др.). Проблема АВР мощных синхронных машин сегодня в промышленности является актуальной.

Использование бесконтактных выключателей в цепях межсекционных связей в сетях 6-10кВ переменного напряжения позволяет качественно по-новому организовать самозапуск и перевод синхронной нагрузки на резервный источник, в том числе перевод мощных синхронных электродвигателей на резервное питание без предварительного гашения их поля.

Применение тиристорных секционных выключателей позволяет сокращать время перерыва питания, включать в заданную фазу и регулировать мощность во время аварий.

Силовую электронику часто называют преобразовательной техникой, а термин “преобразователь” используют безотносительно к назначению силовых электронных устройств. Необходимо, однако, иметь в виду, что для разных целей были разработаны различные типы преобразователей. Все они обладают одним общим признаком - управляют потоком энергии посредством включения и выключения полупроводниковых приборов, введенных в силовые электрические схемы, или благодаря циклической передаче тока от одного полупроводникового прибора к другому (процесс, называемый коммутацией).

Наиболее часто преобразователи классифицируют в зависимости от вида коммутации [1]. Обычно различают преобразователи с естественной и принудительной коммутацией. В преобразователях с естественной коммутацией циклическая коммутация вентилей происходит под действием переменного напряжения источника питания или сети. Коммутация в преобразователях с принудительной коммутацией осуществляется с помощью дополнительных коммутирующих контуров.

По своему назначению преобразователи могут быть подразделены на следующие основные группы:

- преобразователи с естественной коммутацией, связывающие цепь переменного тока с цепью постоянного тока или наоборот. Эти преобразователи обеспечивают передачу энергии в обоих направлениях. В зависимости от направления потока энергии различают выпрямительный и инверторный режимы их работы;

- преобразователи с принудительной коммутацией, связывающие цепь постоянного тока с цепью переменного тока. Эти преобразователи также обеспечивают передачу энергии в обоих направлениях, но, как правило, они используются в инверторном режиме;

- преобразователи с принудительной коммутацией, разделяющие две цепи постоянного тока, называемые также прерывателями постоянного тока;

- преобразователи с естественной или принудительной коммутацией, разделяющие две цепи переменного тока одной и той же частоты, называемые также прерывателями переменного тока;

- преобразователи с естественной или принудительной коммутацией, связывающие цепи переменного тока разных частот, называемые обычно преобразователями частоты;

- специальные преобразователи, представляющие собой комбинации преобразователей, перечисленных выше (преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока и т. п.).

Неотъемлемой частью преобразовательных устройств являются различные схемы управления, регулирования и защиты.

Для управления полупроводниковыми преобразователями требуется незначительная мощность, поэтому обработка и передача управляющей информации (формирование управляющих сигналов, сигналов датчиков, их усиление, формирование опорных сигналов) обычно производятся с помощью слаботочных электрических схем, таких, как усилители, триггеры и т. п.

Силовые полупроводниковые приборы изготавливаются на основе монокристаллического кремния, имеющего очень высокую степень чистоты, поэтому малейшие примеси (менее 0,001 %) существенным образом изменяют его электрофизические свойства. При производстве силовых полупроводниковых приборов широко применяются две группы примесей: фосфор, сурьма, мышьяк (донорные примеси) и алюминий, бор (акцепторные примеси).

Примесный атом фосфора обычно замещает основной атом в узлах кристаллической решетки. При этом четыре валентных электрона атома фосфора вступают в связь с четырьмя валентными электронами соседних четырех атомов кремния, образуя устойчивую оболочку из восьми электронов. Пятый валентный электрон атома фосфора оказывается слабо связанным со своим атомом и под действием внешних сил (тепловые колебания решетки, внешнее электрическое поле) легко становится свободным. Кристалл приобретает электронную проводимость, или проводимость *n*-типа . При этом атом фосфора, лишенный электрона, жестко связан с кристаллической решеткой кремния положительным зарядом, а электрон является подвижным отрицательным зарядом.

Атом алюминия, имеющий только три валентных электрона, не может самостоятельно создать устойчивую восьмиэлектронную оболочку с соседними атомами кремния, так как для этого ему необходим еще один электрон, который он отбирает у одного из атомов кремния, находящегося поблизости. На положительно заряженный атом кремния может перейти электрон с соседнего атома кремния, при этом создается впечатление движения положительного заряда (дырки) по кристаллу. Атом алюминия, захвативший электрон, становится отрицательно заряженным центром, жестко связанным с кристаллической решеткой. Электропроводность такого полупроводника обусловлена движением дырок, поэтому он называется дырочным полупроводником *р*-типа. Концентрация дырок соответствует количеству введенных атомов акцепторной примеси.

**ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ**.

При контакте слоев с различными типами проводимости (*р*- и *n*-слоев) часть электронов проводимости переходит из *n*-слоя в *р*-слой и происходит их рекомбинация с дырками. Часть атомов акцепторной примеси (алюминия, бора), имеющих отрицательный заряд, не компенсируется положительным зарядом дырок, и в этой области *р*-слоя возникает отрицательный объемный заряд. Электроны, ушедшие из *n*-слоя, перестают компенсировать положительный заряд атомов донорной примеси (фосфор, сурьма, мышьяк), и в *n*-слое образуется положительный объемный заряд. Таким образом, вблизи границы *р-* и *n*-слоев возникает двойной электрический слой (рис. 1.1, а). Область двойного слоя электрических объемных зарядов называется электронно-дырочным переходом, или *р-n*-переходом. Объемные заряды препятствуют дальнейшему диффузионному движению электронов из *n*-слоя в *р*-слой и дырок из *p*-слоя в *n*-слой. В результате возникновения объемных зарядов образуется потенциальный барьер, высота ϕ0 которого определяется соотношением концентраций примесных атомов в *р-n*-переходе и обычно составляет 0,6-0,9 В.

Если подключить положительный полюс внешнего источника ЭДС к *р*-слою, а отрицательный - к *n*-слою (рис. 1.1, г), то потенциальный барьер снижается на величину приложенного напряжения (рис. 1.1, д). При этом большая часть электронов проводимости и дырок обладает энергией, достаточной для преодоления потенциального барьера *р-п-*перехода, и ток через переход резко возрастает. Поступление электронов из внешней цепи в *n*-слой и удаление их из *р*-слоя обеспечивают электрическую нейтральность

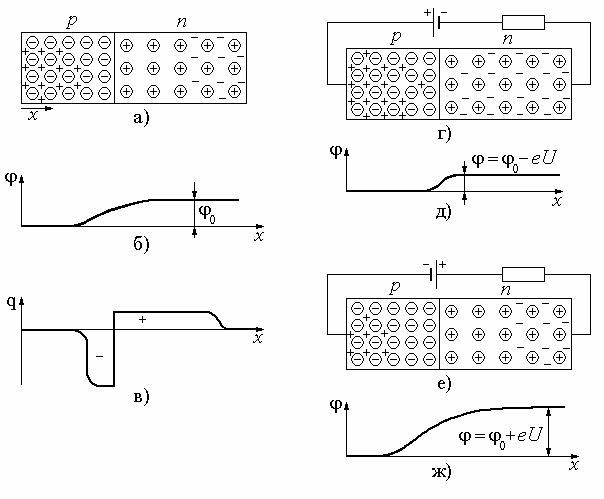


Рис. 1.1. Полупроводник с областями электронной и дырочной проводимости в нейтральном (а), прямосмещенном (г), обратно-смещенном (е) состоянии; б), д), ж) - распределение потенциала (ϕ) для каждого состояния соответственно; в)- распределение носителей заряда.

этих слоев. Такое приложенное напряжение называется прямым, а состояние полупроводниковой структуры - прямым проводящим состоянием. Электрод, подключенный к *р*-слою, называется анодным выводом (анодом), а к *n*-слою - катодным (катодом).

Если изменить полярность источника ЭДС так, что положительный полюс окажется соединен с *n*-слоем, а отрицательный - с *р*-слоем (рис. 1.1, е), то переход дырок из *р*-слоя в *n*-слой и электронов из *n*-слоя в *р*-слой сокращается. Более того, дырки, ранее перешедшие из *р*-слоя в *n*-слой и не успевшие прорекомбинировать с электронами, будут оттягиваться полем *р-n*-перехода в *р*-слой. Аналогичным образом электроны проводимости, перешедшие из *n*-слоя в *р*-слой, будут оттягиваться полем *p-n*-перехода в *n*-слой. При этом через полупроводниковую структуру протекает значительный ток (единицы - сотни ампер в зависимости от режима нагрузки), ограниченный только сопротивлением внешней цепи и противоположный по направлению ранее протекавшему прямому току.