

Лекция 1

1. Назначение, область применения и классификация преобразователей.

2. Особенности условий работы и требования, предъявляемые к преобразователям.

3. Краткая характеристика элементной базы преобразователей

1

Преобразователи, в которых при передаче энергии форма кривой напряжения на нагрузке не претерпевает изменения по сравнению с формой кривой питающего напряжения, называются регуляторами.

Преобразователи предназначены для согласования входных параметров потребителей с выходными параметрами источника питания, как по уровню напряжения, так и по роду тока.

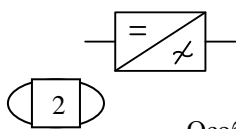
Область применения преобразователей - питание основного и вспомогательного электрооборудования потребителей.

Классификация преобразователей

1. По характеру согласования источника и потребителя: - постоянно-постоянного тока;
- постоянно-переменного тока;
- переменного постоянного тока;
- переменного-переменного тока.
2. По уровню напряжения: высоковольтные и низковольтные;
3. По величине мощности: маломощные (до 5 кВт) и мощные (свыше 5 кВт);
4. По элементной базе: диодные, тиристорные, транзисторные, симисторные и т.д.
5. По способу коммутации: с естественной (выключаются при уменьшении питающего напряжения до 0); с искусственной (за счет применения принудительного запирающего узла на базе конденсатора, дросселя, трансформатора и т.д.);
6. По способу охлаждения: с естественным (за счет конвекции и теплового излучения); с принудительным (за счет обдува воздухом либо циркуляции в охладителе какой-либо жидкости).
7. По исполнению защиты от воздействия окружающей среды (обозначение IP – см. ГОСТ 14254 – 80):
IP00 – открытое исполнение, защита персонала от соприкосновения с токоведущими или подвижными частями отсутствует, инородные тела могут попадать внутрь аппарата;
·
·
IP20 – защищенное исполнение, оболочка предохраняет от случайного прикосновения к токоведущим или подвижным частям и от проникновения внутрь посторонних предметов (металлический щуп диаметром более 12 мм и длиной 80 мм или шарик того же диаметра);
·
·
IP23 – в дополнение к свойствам исполнения IP20 оболочка защищает от дождя, падающего под углом 60^0 к вертикали;
·
·
IP60 – пылезащитное исполнение, оболочка полностью препятствует попаданию пыли;
·
·
IP67 – герметичное исполнение, в дополнение к свойствам исполнения IP60 оболочка обеспечивает полную герметичность аппарата.
8. По особенностям исполнения и категории размещения:
с умеренным климатом – У (N или 0);
с умеренным и холодным климатом – УХЛ (NF или 1);
с влажным тропическим климатом – ТВ (TH или 2);
с сухим тропическим климатом – ТС (TA или 3);
с сухим и влажным тропическим климатом – Т (T или 4);
для всех макроклиматических районов на суше, кроме района с очень холодным климатом (общеклиматическое исполнение) – О (U или 5).

Условно-графическое обозначение преобразователей в структурных схемах:

UZ



- преобразователь постоянно-переменного (однофазного) тока переменной частоты.

Особенности условий работы преобразователей подвижного состава predeterminedены спецификой эксплуатации транспортного средства. По сравнению с электрооборудованием стационарных установок преобразователи подвижного состава работают в более тяжелых условиях, которые характеризуются в основном следующим:

1. Вследствие неровностей дороги или на стыках рельсов, а также колебаний и вибраций механической части подвижного состава преобразователи работают при частых ударных воздействиях и тряске.

2. При движении электроподвижного состава неизбежно проникновение в блок преобразователя загрязненного и влажного воздуха, а иногда грязи, воды, снега.

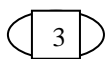
3. Напряжение, применяемое на электротранспорте, значительно выше применяемого в промышленных установках, нестабильно и имеет свойство часто и скачкообразно изменяться по величине.

4. Электроподвижной состав работает с переменной нагрузкой на меняющемся профиле пути; параметры воздуха (влажность и температура), охлаждающего преобразователя, могут значительно меняться, что приводит к изменению диапазона температуры токопроводящих элементов в широких пределах.

5. Пространство для размещения и монтажа преобразователей на подвижном составе весьма ограничено.

Требования, предъявляемые к преобразователям:

1. Технические – стабильность выходных параметров и характеристик при изменении температуры в диапазоне от -50 до $+40^{\circ}\text{C}$, влажности воздуха до 100% на высотах до 1200 метров над уровнем моря;
 - повышенная механическая прочность деталей и узлов и высокая надежность их крепления, обеспечивающая восприятие вертикальных колебаний с частотой 3 Гц при амплитуде до 6 мм и с частотой до 0,5 Гц при амплитуде до 25 мм;
 - повышенная электрическая прочность за счет применения двух ступеней изоляции;
 - изоляционные и изолированные детали должны иметь влагостойкую изоляцию, а все металлические детали — надежно защищены антикоррозионными покрытиями;
 - рассчитаны также на работу в условиях частых и резких изменениях напряжения в контактной сети;
 - иметь малые массогабаритные показатели.
2. Экологические – отсутствие электромагнитного излучения или снижение его до допустимых норм;
 - отсутствие шума и вибраций (или минимизация их до допустимых уровней по нормам).
3. Эксплуатационные – к преобразователям должен быть обеспечен хороший доступ для осмотров и ремонтов обслуживающим персоналом;
 - их окраска должна быть отличной от окраски остального оборудования;
 - крышки и люки для доступа к высоковольтным цепям преобразователей должны иметь предупредительные знаки и надписи;
 - блок преобразователя не должен иметь выступающих частей и деталей и снабжен ручками для снятия и установки на подвижной состав (или другими приспособлениями для механизированного монтажа и демонтажа).



Краткая характеристика элементной базы преобразователей.

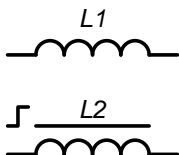
В состав элементной базы преобразователей входят пассивные и активные элементы. К первым относятся резисторы, конденсаторы и дроссели. Ко вторым – полупроводниковые элементы. Все они имеют условно-графические обозначения (УГО) и основные параметры, по которым производится их выбор для преобразователя.

1. Резистор: УГО

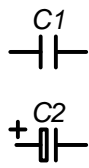
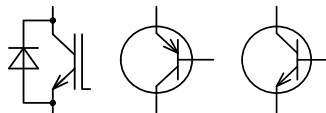

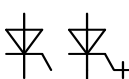

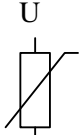


. Параметры – величина сопротивления (номинал) и величина мощности.

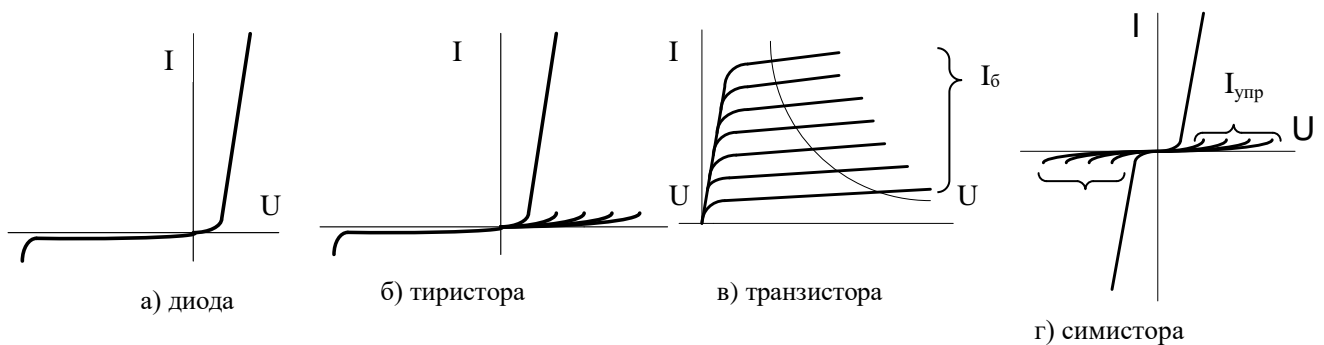
2. Дроссель: УГО



. Параметры – величина индуктивности и номинальный ток.

3. Конденсатор: УГО  . Параметры – величина емкости и рабочее напряжение (дополнительно – допустимая пульсация напряжения или тангенс угла потерь).
4. Транзистор: УГО – VT  . Параметры – величины напряжения и тока (дополнительно – ток управления, напряжение насыщения, рабочая частота, коэффициент усиления).
5. Диод: УГО  . Параметры – величины напряжения и тока (дополнительно – прямое падение напряжения, рабочая частота).
6. Тиристор: УГО  . Параметры – величины напряжения и тока (дополнительно – ток управления, напряжение насыщения, рабочая частота).
7. Симистор: УГО -  VS Параметры – величины напряжения и тока (дополнительно – ток управления, напряжение насыщения, рабочая частота).
8. Варистор: УГО -  U Параметры – величина напряжения и допустимая энергия.

Вольтамперные характеристики полупроводниковых приборов



Быстрое развитие в начале 90-х годов технологии силовых транзисторов привело к появлению нового класса приборов — биполярные транзисторы с изолированным затвором (*Insulated Gate Bipolar Transistors, IGBT*). Основными преимуществами *IGBT* являются высокие значения рабочей частоты, КПД, простота и компактность схем управления (вследствие малости тока управления). Появление в последние годы *IGBT* с рабочим напряжением до 4500 В и способностью коммутировать токи до 1800 А привело к вытеснению запираемых тиристоров (*GTO*) в устройствах мощностью до 1 МВт и напряжением до 3,5 кВ.

Современные силовые запираемые тиристоры существенно отличаются по своим характеристикам от ранее разработанных тиристоров *SCR*. Усовершенствование их коснулось прежде всего способа запираания – с целью исключения коммутирующих цепей, увеличивающих массогабаритные и другие показатели, были разработаны тиристоры типа *GTO*, запираемые по управляющему электроду. Основной их недостаток заключается в больших потерях энергии в защитных цепях прибора при его коммутации. Повышение частоты увеличивает потери, поэтому на практике тиристоры *GTO* коммутируются с частотой не более 250–300 Гц. Основные потери возникают в резисторе *R* момент разряда конденсатора *C* (рис. 1) при выключении тиристора *VS*. Конденсатор *C* предназначен для ограничения скорости нарастания прямого

напряжения du/dt при выключении прибора. Сделав тиристор нечувствительным к скорости du/dt , производители получили бы возможность отказаться от снабберной цепи (цепи формирования траектории переключения). Именно это и было реализовано в конструкции *GCT*. Основной особенностью тиристорov *GCT*, по сравнению с приборами *GTO*, является быстрое выключение, которое достигается как изменением принципа управления, так и совершенствованием конструкции прибора, что делает прибор нечувствительным к скорости du/dt .

На рис. 2 показано распределение токов в структуре тиристора *GCT* при выключении прибора. Как указывалось, процесс включения подобен включению тиристорov *GTO*. Процесс выключения отличен. После подачи отрицательного импульса управления ($-I_g$), равного по амплитуде величине анодного (I_a), быстрое выключение реализуется превращением тиристорной структуры в транзисторную за счёт того что, весь прямой ток, проходящий через прибор, отклоняется в систему управления и достигает катода, минуя переход $j3$ (между областями p и n). Переход $j3$ смещается в обратном направлении, и катодный транзистор $n-p-n$ закрывается. Дальнейшее выключение *GCT* аналогично выключению любого биполярного транзистора, что не требует внешнего ограничения скорости нарастания прямого напряжения du/dt и, следовательно, допускает отсутствие снабберной цепочки. Изменение конструкции *GCT* связано с тем, что динамические процессы, возникающие в приборе при выключении, протекают на один-два порядка быстрее, чем в *GTO*. Так, если минимальное время выключения и блокирующего состояния для *GTO* составляет 100 мкс, для *GCT* эта величина не превышает 10 мкс. Скорость нарастания тока управления при выключении

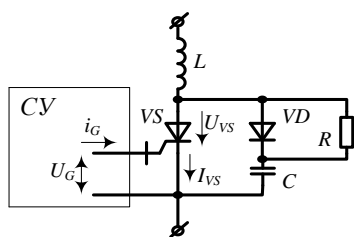


Рис. 1

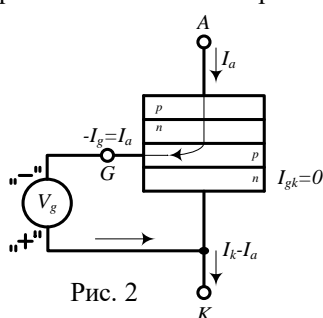


Рис. 2

GCT составляет 3000 А/мкс, *GTO* — не превышает 40 А/мкс.

Сейчас тиристоры *GTO* производят несколько крупных фирм Японии и Европы: Toshiba, Hitachi, Mitsubishi, ABB, Еврес. Параметры приборов по напряжению *UDRM*: 2500 В, 4500 В, 6000 В; по току *ITGQM* (максимальный повторяющийся запираемый ток): 1000 А, 2000 А, 2500 А, 3000 А, 4000 А, 6000 А.

Тиристоры *GCT* выпускают фирмы Mitsubishi и ABB. Приборы рассчитаны на напряжение *UDRM* до 4500 В и ток *ITGQM* до 4000 А. В настоящее время тиристоры *GCT* и *GTO* освоены на российском предприятии ОАО «Электровыпрямитель» (г. Саранск). Выпускаются тиристоры серий ТЗ-243, ТЗ-253, ТЗ-273, ЗТА-173, ЗТА-193, ЗТФ-193 (подобен *GCT*) и др. с диаметром кремниевой пластины до 125 мм и диапазоном напряжений *UDRM* 1200–6000 В и токов *ITGQM* 630–4000 А.

Следующим крупным достижением в технологии жестко управляемых *GTO* (*HD GTO*), с точки зрения прибора, управления и применения стала идея управляемых приборов, базирующихся на новом «запираемом тиристоре с интегрированным блоком управления (драйвером)» (англ. *Integrated Gate-Commutated Thyristor* (*IGCT*)). Благодаря технологии жесткого управления равномерное переключение увеличивает область безопасной работы *IGCT* до пределов, ограниченных лавинным пробоем, то есть до физических возможностей кремния. Не требуется никаких защитных цепей от превышения du/dt . Сочетание с улучшенными показателями потерь мощности позволило найти новые области применения в килогерцовом диапазоне. Мощность, необходимая для управления, снижена в 5 раз по сравнению со стандартными *GTO*, в основном за счет прозрачной конструкции анода. Новое семейство приборов *IGCT* с монолитными интегрированными высокоомощными диодами было разработано для применения в диапазоне 0,5–6 МВ·А. При существующей технической возможности последовательного и параллельного соединения приборы *IGCT* позволяют наращивать уровень мощности до нескольких сотен мегавольт-ампер. Основной производитель *IGCT* — фирма ABB. Параметры тиристорov по напряжению *UDRM*: 4500 В, 6000 В; по току *ITGQM*: 3000 А, 4000 А.

Новые приборы *IGCT*, способные работать с частотами переключения от 500 Гц до 2 кГц и имеющие более высокие параметры по сравнению с *IGBT*-транзисторами, сочетают в себе оптимальную комбинацию доказанных технологий тиристорov с присущими им низкими потерями и бесснабберной, высокоэффективной технологией выключения путем воздействия на управляющий электрод. Прибор *IGCT* сегодня — идеальное решение для применения в области силовой электроники среднего и высокого напряжений. Характеристики современных мощных силовых ключей с двусторонним теплоотводом приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики современных мощных силовых ключей с двусторонним теплоотводом

Тип прибора	Преимущества	Недостатки	Области применения
Традиционный тиристор (SCR)	Самые низкие потери во включенном состоянии. Самая высокая перегрузочная способность.	Не способен к принудительному запираению по управляющему электроду. Низкая рабочая частота.	Привод постоянного тока; мощные источники питания; сварка; плавление и нагрев; статические компенсаторы;

	Высокая на-дежность. Легко соединяются параллельно и последовательно.		ключи переменного тока
GTO	Способность к управляемому запира-нию. Сравнительно высокая перегру-зочная способность. Возможность последовательного соединения. Рабочие частоты до 250 Гц при напряже-нии до 4 кВ	Высокие потери во включен-ном состоянии. Очень боль-шие потери в системе управ-ления. Сложные системы управления и подачи энергии на потенциал. Большие потери на переключение.	Электропривод; статические компенсаторы; реактивные мощности; системы беспере-бойного питания; индукцион-ный нагрев
IGCT	Способность к управляемому запи-ранию. Перегрузочная способно-сть та же, что и у GTO. Низкие потери во включенном состоянии на переключе-ние. Рабочая частота - до единиц кГц. Встроенный блок управления (драйвер). Возможность последова-тельного соединения.	Не выявлены из-за отсутствия опыта эксплуатации	Мощные источники питания (инверторная и выпрямитель-ная подстанции линий передач постоянного тока); электро-привод (инверторы напряже-ния для преобразователей ча-стоты и электроприводов раз-личного назначения)
IGBT	Способность к управляемому запира-нию. Самая высокая рабочая частота (до 10 кГц). Простая неэнергоемкая система управления. Встроенный драйвер.	Очень высокие потери во включенном состоянии	Электропривод (чоперы); си-стемы бесперебойного пита-ния; статические компенсато-ры и активные фильтры; клю-чевые источники питания