

Курс: «Электрические аппараты»

Лекция № 11

Магнитные усилители. Полупроводниковые электрические аппараты.

Преподаватель: Сарсенбаев Е.А., ассоц.проф. кафедры
«Энергетика»

y.sarsenbayev@satbayev.university

Алматы 2025

Содержание

- 1. Магнитный усилитель.*
- 2. Принцип действия МУ.*
- 3. Магнитные усилители в металлообрабатывающих станках*
- 4. Основное назначение.*
- 5. Характеристики.*
- 6. Магнитные усилители с насыщающимися реакторами*
- 7. Магнитные усилители с самонасыщением*
- 8. Полупроводниковые электрические аппараты*
- 9. Классификация и области применения ПЭА.*
- 10. Транзисторы и тиристоры.*

По завершению урока Вы будете знать:

- 1. Принцип действия МУ.*
- 2. Основное назначение и характеристики МУ.*
- 3. Магнитные усилители с насыщающимися реакторами*
- 4. Магнитные усилители с самонасыщением*
- 5. Полупроводниковые электрические аппараты*
- 6. Классификация и области применения ПЭА.*
- 7. GTO– тиристоры*
- 8. IGBT - биполярный транзистор с изолированным затвором*
- 9. Высокие динамические характеристики прибора*

Общие сведения

Магнитный усилитель – это электрический аппарат, предназначенный для усиления электрического сигнала по току, напряжению или мощности. МУ–это так же электромагнитное устройство, работа которого основана на использовании нелинейных магнитных свойств ферромагнитных материалов и предназначенное для усиления или преобразования электрических сигналов.

Магнитным усилителем называют электромагнитный аппарат, служащий для плавного регулирования переменного тока, поступающего к нагрузке, путем изменения индуктивного сопротивления X_L катушки с ферромагнитным сердечником, включенной последовательно с нагрузкой. Применяется в системах автоматического регулирования, управления и контроля.

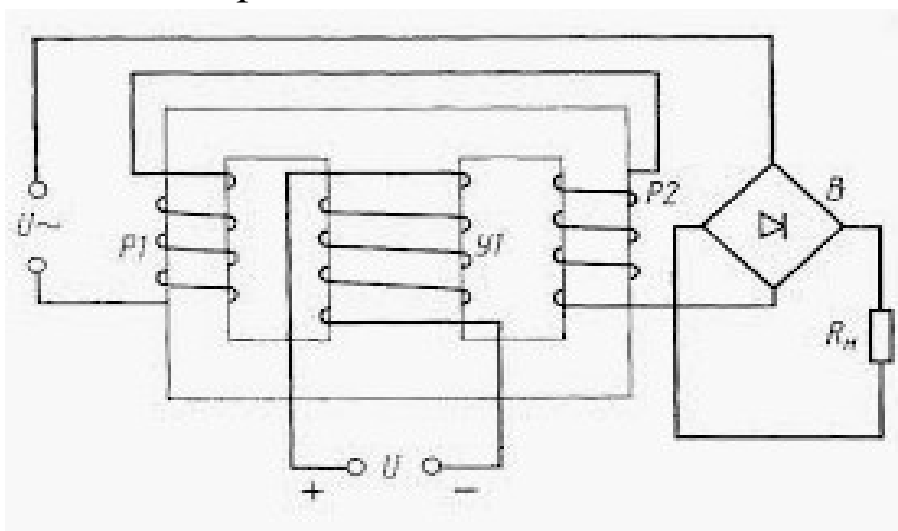


Рисунок 1. Магнитный усилитель

Принцип действия

Принцип действия. Принцип действия магнитного усилителя основан на изменении индуктивности катушки с ферромагнитным сердечником при подмагничивании ее постоянным током. С помощью такого аппарата можно регулировать большие токи посредством сравнительно слабых электрических сигналов. Магнитные усилители широко применяют на тепловозах для автоматического регулирования возбуждения главного генератора и на э. п. с. для регулирования напряжения источника служебного тока при зарядке аккумуляторных батарей, в стабилизаторах напряжения и для других целей. Существуют магнитные усилители с насыщающимися реакторами и с самонасыщением (с самоподмагничиванием).

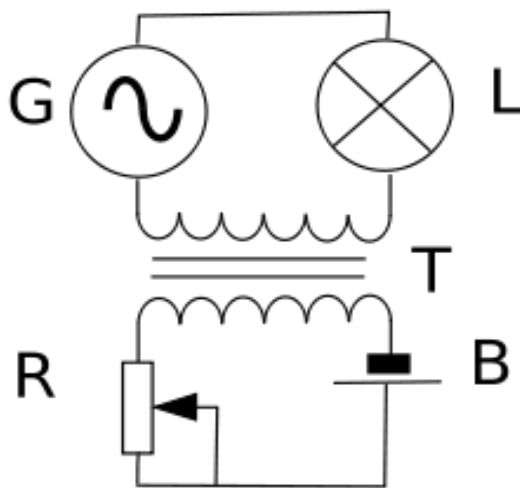


Рисунок 2. Упрощённая схема включения магнитного усилителя.

Магнитные усилители в металлообрабатывающих станках

В металлорежущих (и не только металлорежущих) станках можно встретить очень большое разнообразие конструкций магнитных усилителей: однофазные серии УМ-1П, трехфазные серии УМ-3П, собранные на шести П-образных сердечниках из стали марки Э310, однофазные серии ТУМ на тороидальном сердечнике, блоки магнитных усилителей серии БД, содержащие, кроме магнитных усилителей, понижающие трансформаторы, диоды и резисторы, собранные на одной панели. Системы электропривода могут быть построены на любых усилителях из этих серий.



Рисунок 3. Магнитные усилители в металлообрабатывающих станках

Магнитные усилители в металлообрабатывающих станках

Кроме этого часто на различных станках применяются комплекты приводы с магнитными усилителями и двигателями постоянного тока, например очень распространенный привод с магнитными усилителями ПМУ. Но об этом мы обязательно поговорим следующий раз. Кроме этого, в следующем посте остановимся на методах наладки магнитных усилителей, затронем и ряд других вопросов, интересных всем кто постоянно сталкивается или собирается в будущем столкнуться в работе с магнитными усилителями.

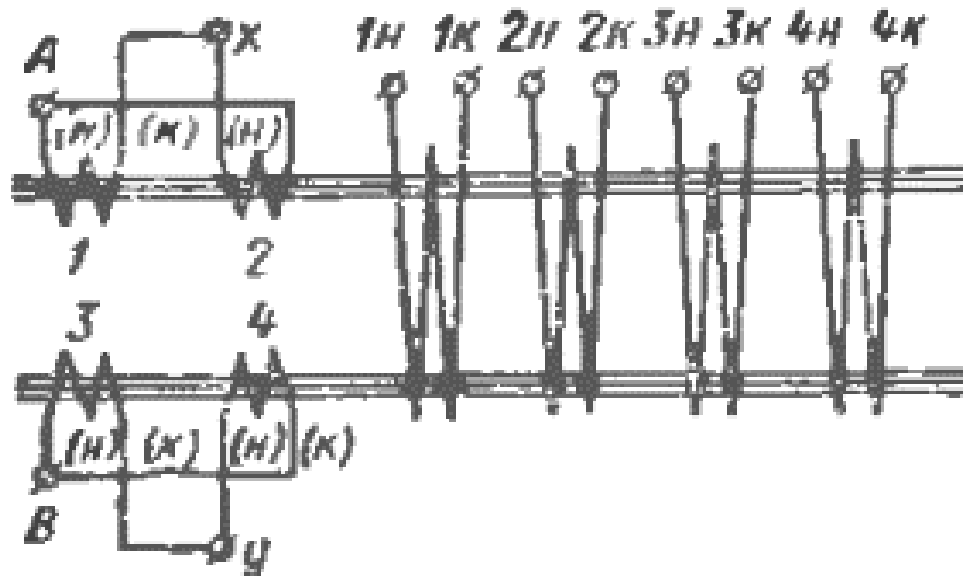


Рисунок 4. Обмоточная схема магнитного усилителя УМ-1П

Магнитные усилители

ПМУ - привод с магнитными усилителями и селеновыми выпрямителями. Диапазон регулирования скорости двигателя 10:1. Регулирование производится изменением напряжения на якоре вниз от номинальной частоты вращения двигателя. Система регулирования автоматическая с обратной связью по э. д. с. двигателя, без тахогенератора и промежуточного усилителя. Мощность привода от 0,1 до 2 кВт. Привод предназначен для выпрямленного напряжения на выходе моста составляет от 340 до 380 В. Для получения достаточно жестких характеристик привода в схему введены отрицательные обратные связи по току и напряжению.

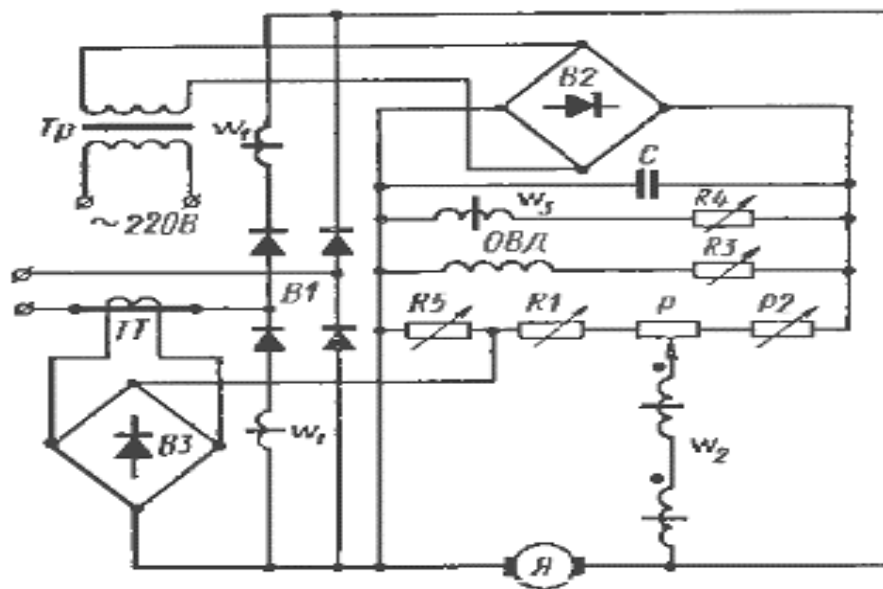


Рисунок 5. Привод ПМУ.

Характеристики

Характеристика	Магнитный усилитель
Управляемый ток	переменный
Управляющий ток	постоянный или медленно изменяющийся
Чувствительность	10^{-19} Вт
Выходная мощность	до 500 МВА
Коэффициент усиления одного каскада	до 10^6
Рабочая температура	от 0 К до 500 °С
Рабочее напряжение	не ограничено

Применение

Основное назначение — управление силовым электроприводом (распространены в строительной технике), также применялись в бытовых стабилизаторах переменного напряжения, бесконтактных реле, для модуляции сигналов, для удвоения частоты, в регуляторах яркости осветительных приборов киноконцертных залов, в двоичной ЭВМ ЛЭМ-1, управлении мощными электродвигателями, например в прокатных станах, в цепях управления тепловоза. Магнитные усилители во многих областях электротехники и электроники были вытеснены активными полупроводниковыми приборами, но и сейчас они применяются в ряде областей.

По-прежнему магнитные усилители используются в системах усиления постоянных токов от тензодатчиков. Гибридные устройства, включающие миниатюрный магнитный усилитель и полупроводниковый усилитель, обладают малым дрейфом нуля и высокой точностью.

Магнитный усилитель позволяет бесконтактно измерять постоянные токи в линиях электропередач. В последнее время для этого всё чаще применяют более компактные датчики Холла.

Магнитные усилители

Магнитные усилители с насыщающимися реакторами. В таком магнитном усилителе используют два насыщающихся реактора $L1$ и $L2$ (рисунок 2, а). Каждый из них выполнен в виде катушки 1 (рабочей обмотки) с ферромагнитным сердечником 3 и подмагничивающей обмоткой 2, по которой проходит постоянный ток (ток управления I_y). Рабочие обмотки 1 реакторов $L1$ и $L2$ включают согласованно, чтобы переменные э. д. с. e_{L1} и e_{L2} , индуцированные в них, складывались, а обмотки управления 2 включают встречно, чтобы э. д. с. e_{y1} и e_{y2} , индуцированные в них, были направлены навстречу друг другу и взаимно уничтожались.

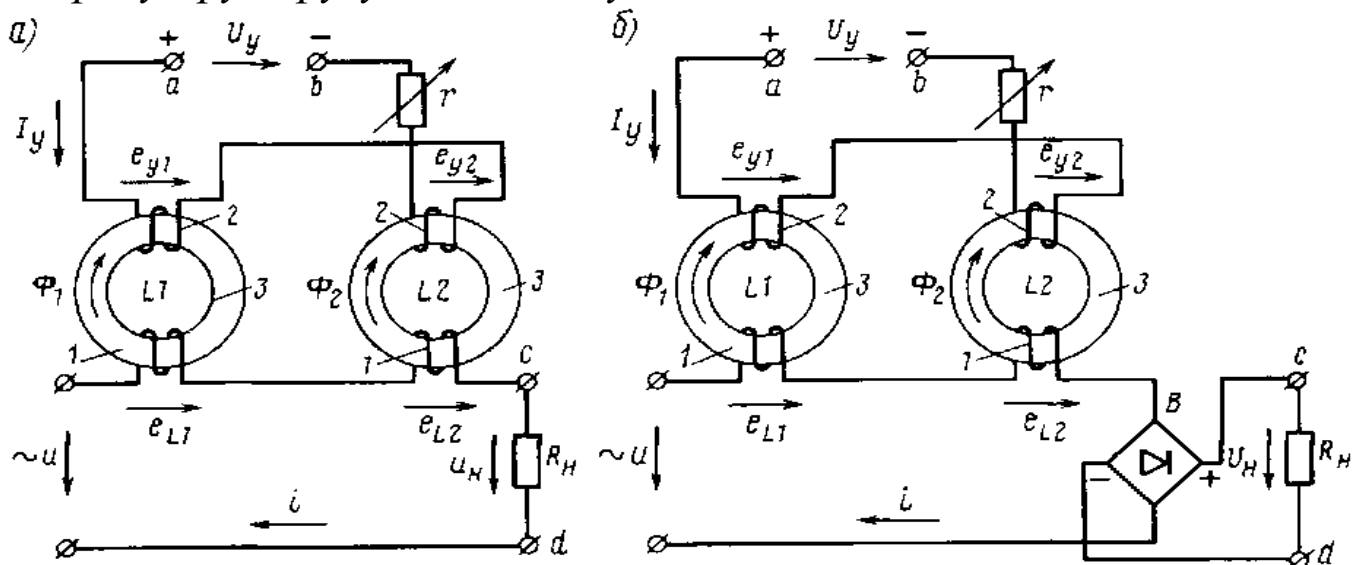


Рисунок 6. Схемы магнитных усилителей с насыщающимися реакторами с выходом на переменном (а) и постоянном (б) токе

Магнитные усилители с самонасыщением

Магнитные усилители с самонасыщением. Положительную обратную связь можно обеспечить и без специальной обмотки обратной связи. Для этого последовательно с каждой рабочей обмоткой 2 реактора включают полупроводниковые вентили 4 (рисунок 4). При таком включении по рабочим обмоткам реакторов $L1$ и $L2$ протекает выпрямленный пульсирующий ток (в один полупериод — ток i_2 в другой полупериод — ток i_2), постоянная составляющая которого обеспечивает дополнительное подмагничивание их сердечников 3. Следовательно в этом усилителе рабочие обмотки являются одновременно и подмагничивающими, т. е. имеет место внутренняя положительная обратная связь, при которой роль тока I_{oc} обратной связи выполняет постоянная составляющая тока нагрузки. Коэффициент усиления по мощности такого усилителя весьма высок, так как большая часть мощности, необходимой для подмагничивания сердечников, забирается из цепи переменного тока и ток I_y в обмотках управления 1 может быть существенно уменьшен.

Магнитные усилители с самонасыщением

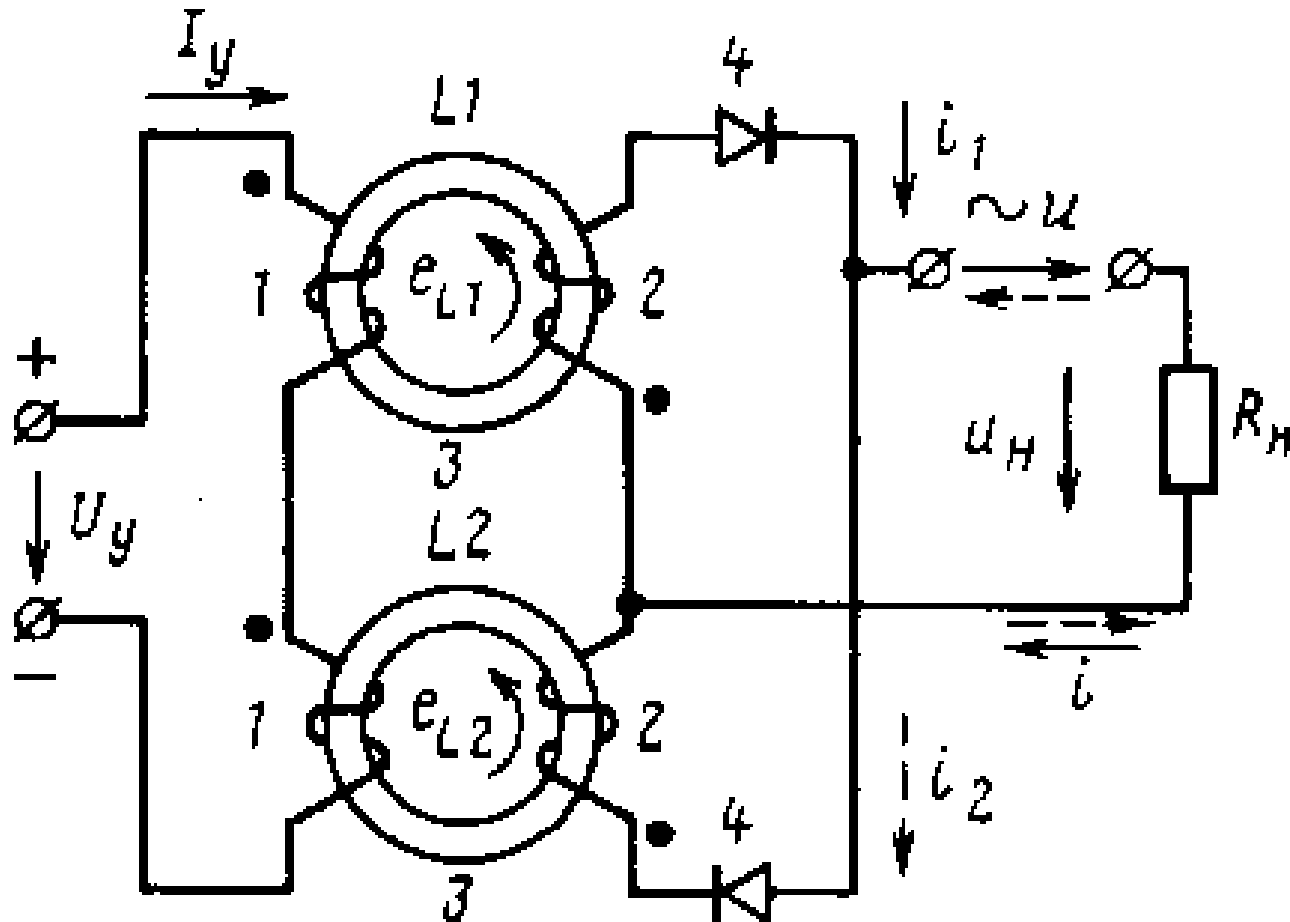


Рисунок 7. Схема магнитного усилителя с самонасыщением

Полупроводниковые электрические аппараты

Полупроводниковые электрические аппараты (ПЭА) представляют собой одно из развивающихся направлений в электроаппаратостроении, которое базируется на современных достижениях в области силовых полупроводниковых приборов (СПП), радиоэлектронной аппаратуры и систем автоматики. Принцип действия этих аппаратов основан на использовании ключевых характеристик СПП, т. е. способности их находиться в двух устойчивых состояниях (проводящем и непроводящем) и быстро переходить из одного состояния в другое по команде или параметрически. В последнем случае изменение состояния происходит при равенстве токов или напряжений на СПП пороговым для них значениям.

Присущие ПЭА особенности и функциональные возможности обусловлены характеристиками СПП, которые составляют основу главных и вспомогательных цепей аппаратов. К наиболее важным характеристикам СПП следует отнести способность осуществления бездуговой коммутации электрических цепей, высокие быстродействие и надежность, повышенный срок службы. Именно эти свойства и достигнутый высокий уровень параметров СПП по току и напряжению определили целесообразность создания не только слаботочных, но и силовых ПЭА различного назначения.

Полупроводниковые электрические аппараты

Время срабатывания контактных аппаратов — десятые, сотые доли секунды; частота срабатываний ограничивается инерционностью подвижных систем, разогревом размыкаемых контактов и временем деионизации межконтактных промежутков. Максимальное время включения полупроводниковых аппаратов не превышает 50 мкс. Время отключения ПЭА переменного тока без применения специальных схем принудительной (искусственной) коммутации не более длительности полупериода тока, т. е. 10 мс при частоте $f = 50$ Гц. Снабженные блоком искусственной коммутации или выполненные на запираемых тиристорах ПЭА обеспечивают отключение цепей за время 0,5...2 мс при $f = 50$ Гц. Возможности ПЭА по частоте срабатывания (десятки и даже сотни тысяч в час) можно считать неограниченными, так как они намного превышают потребности в этом.

Полупроводниковые электрические аппараты

Преимущества ПА:

- 1. Два устойчивых состояния: проводящее и непроводящее.*
- 2. Быстрый переход из одного состояния в другой по команде.*
- 3. Бездуговая коммутация электрических цепей.*
- 4. Повышенной срок службы аппаратов с коммутацией номинального тока более 10 раз.*
- 5. Отсутствие подвижных частей (контактов) привлдных устройств и механизмов.*
- 6. Отсутствие эрозии, шума, выбросов газа.*
- 7. Многофункциональность.*

Недостатки ПА:

- 1. Выдерживают меньшие перегрузки по току.*
- 2. Чувствительны к перенапряжениям.*
- 3. Значительные потери полупроводниковых приборов во включенном состоянии.*
- 4. Значительный рост стоимости с увеличением номинальных значений тока и напряжения.*

Классификация ПА



Полупроводниковые электрические аппараты

Области применения ПА:

1-4 – области применения полупроводниковых и комбинированных аппаратов.

5 – области применения вакуумных выключателей.

6 – области применения элегазовых выключателей.

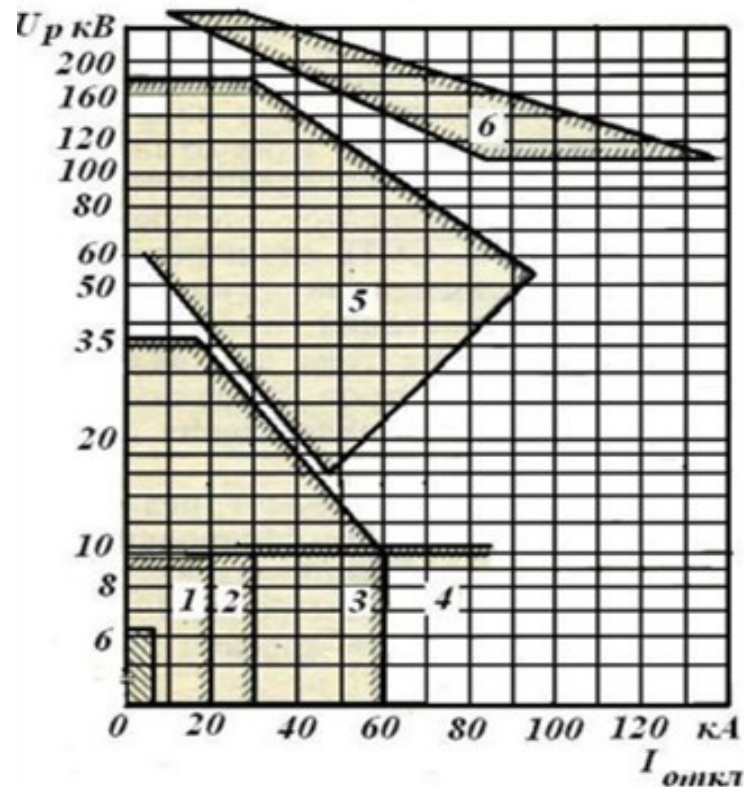


Рисунок 8. Области применения ПА

Полупроводниковые электрические аппараты

Области применения полупроводниковой элементной базы в зависимости от частоты:

GTO— запираемые тиристоры (Gate Commutated Thyristor)

BPT— биполярные транзисторы.

MOSFET— транзистор с изолированным затвором (Metall Oxide Semiconductor Field Effect Thyristor)

IGBT— биполярный транзистор с изолированным затвором (Isolate Gate Bipolar Thyristor), полевой+ биполярный транзисторы.

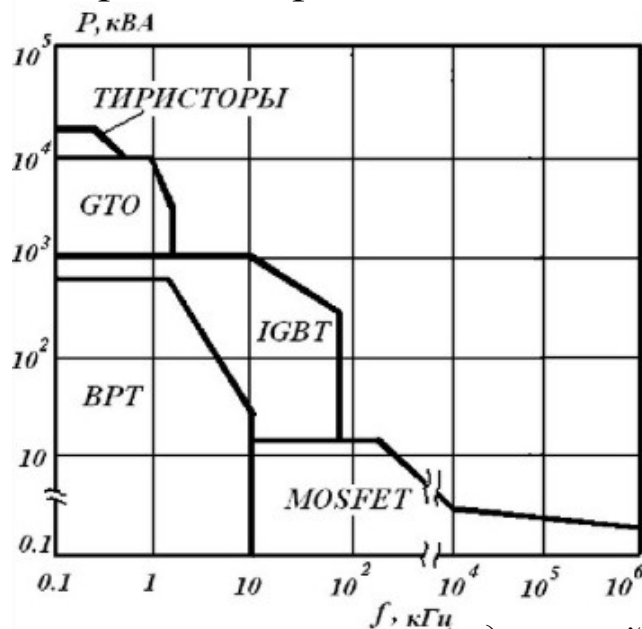


Рисунок 9. Области применения полупроводниковой элементной базы в зависимости от частоты.

Полупроводниковые электрические аппараты

Биполярные транзисторы. Принципиальным отличием является то, что для них необходимо наличие сигнала управления в течение всего времени прохождения через транзистор тока. Предельные электрические параметры транзистора зависят от его типа. Проводимость электронная и дырочная. Ток – сотни ампер, Напряжение – сотни вольт, Частота – единицы кГц. Б – рабочая точка, при этом ток базы не меньше I''' . А – транзистор выключен.

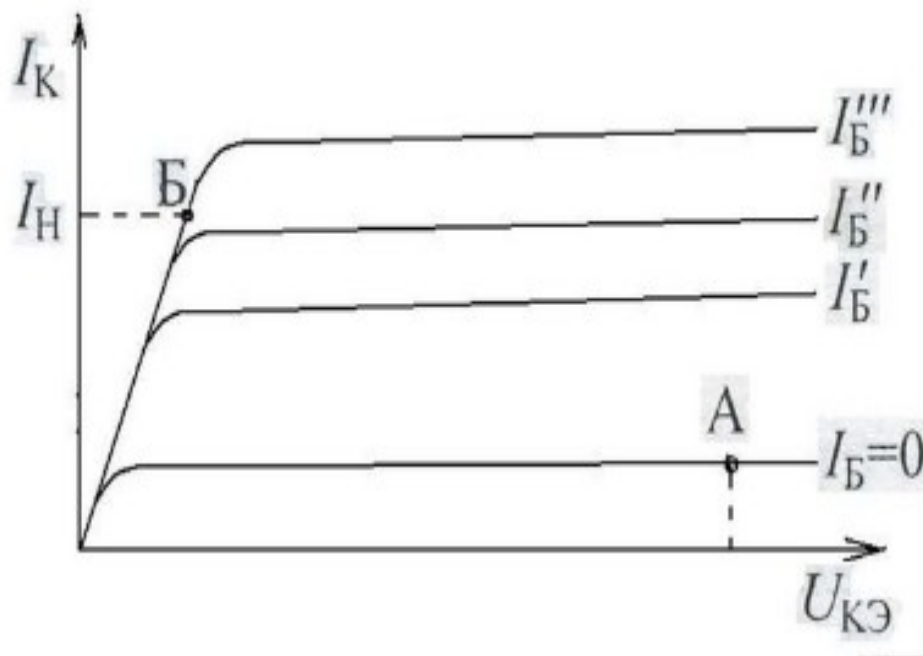
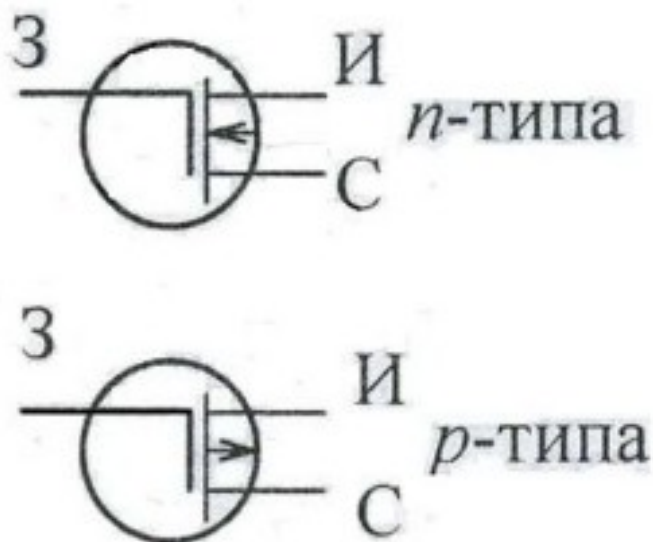


Рисунок 10. Биполярные транзисторы. Характеристики и параметры ПА

Полупроводниковые электрические аппараты

Полевые транзисторы с изолированным затвором (MOSFET). Принципиальным Отличием является один тип носителя тока. Проводимость модулируется с помощью электрического поля, прикладываемого к каналу в поперечном направлении посредством электрода - затвора.

Со встроенным каналом



С индуцированным каналом

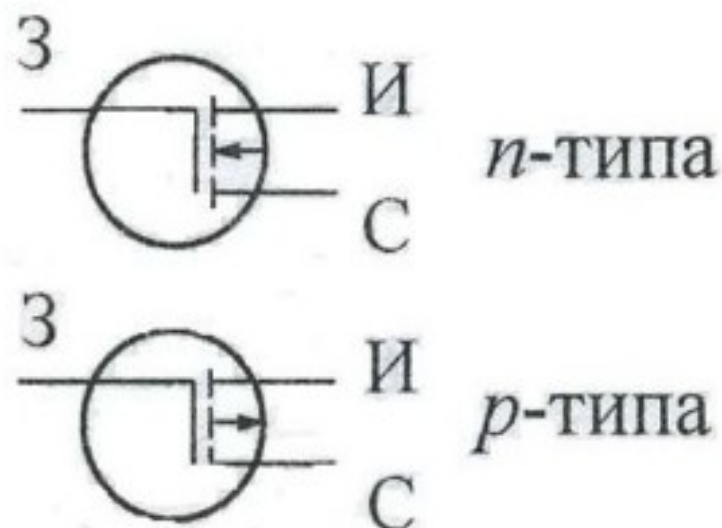


Рисунок 11. Полевые транзисторы с изолированным затвором (MOSFET)

Полупроводниковые электрические аппараты

Достоинством полевых транзисторов является отсутствие затрат мощности на управление и высокое быстродействие в результате переноса тока носителями одного знака, что позволяет их использовать на большие Частоты.

Недостатком является низкое напряжение и соответственно мощность приборов.

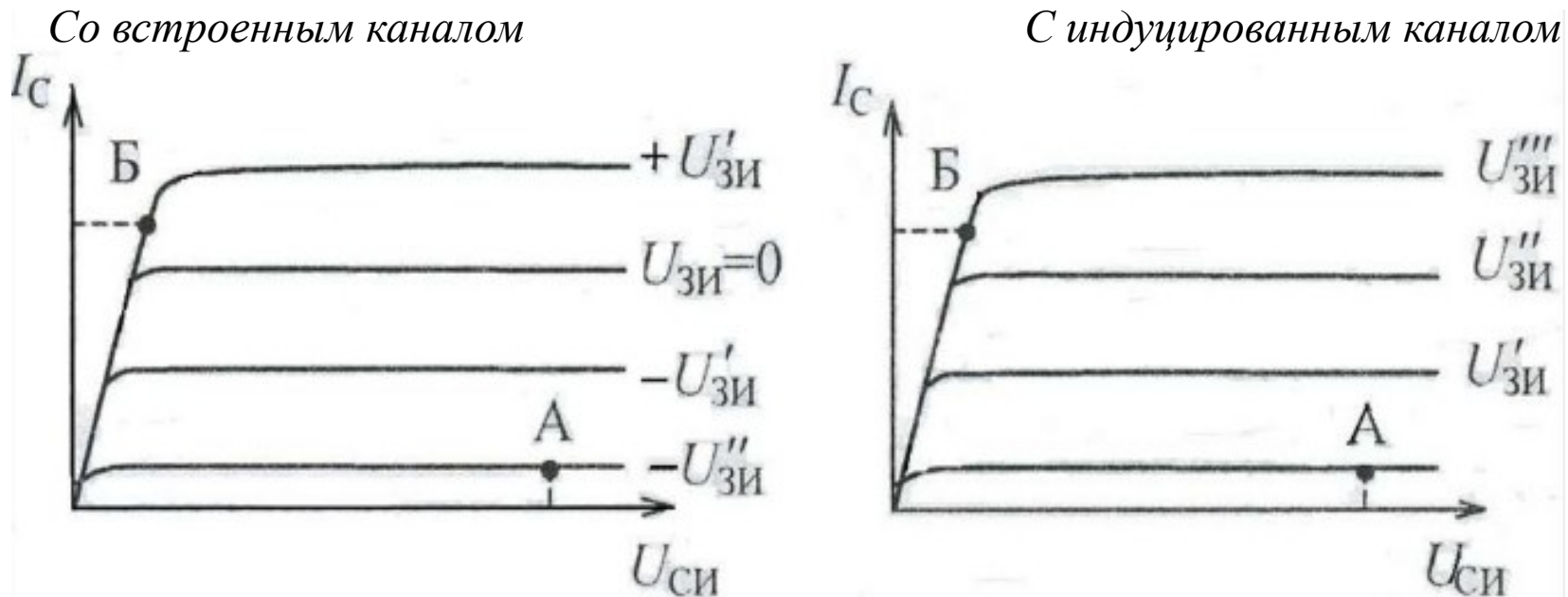


Рисунок 12. Внешние характеристики MOSFET.

Полупроводниковые электрические аппараты

Комбинированный транзистор – конструктивно объединяющий полевой транзистор на входе и биполярный транзистор на выходе. Называется биполярный транзистор с изолированным затвором **IGBT (Isolated Gate Bipolar Transistor)**. Преимуществом полностью управляемых транзисторов является легкость управления и низкие потери при работе транзистора.

Включение и выключение осуществляется подачей и снятием положительного напряжения между затвором и истоком.

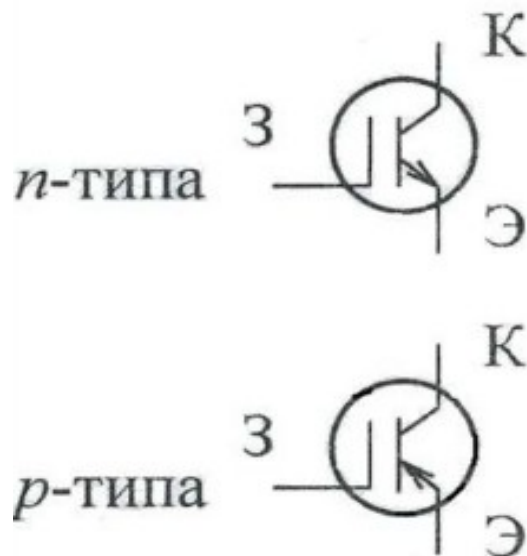


Рисунок 13. Комбинированный транзистор

Полупроводниковые электрические аппараты

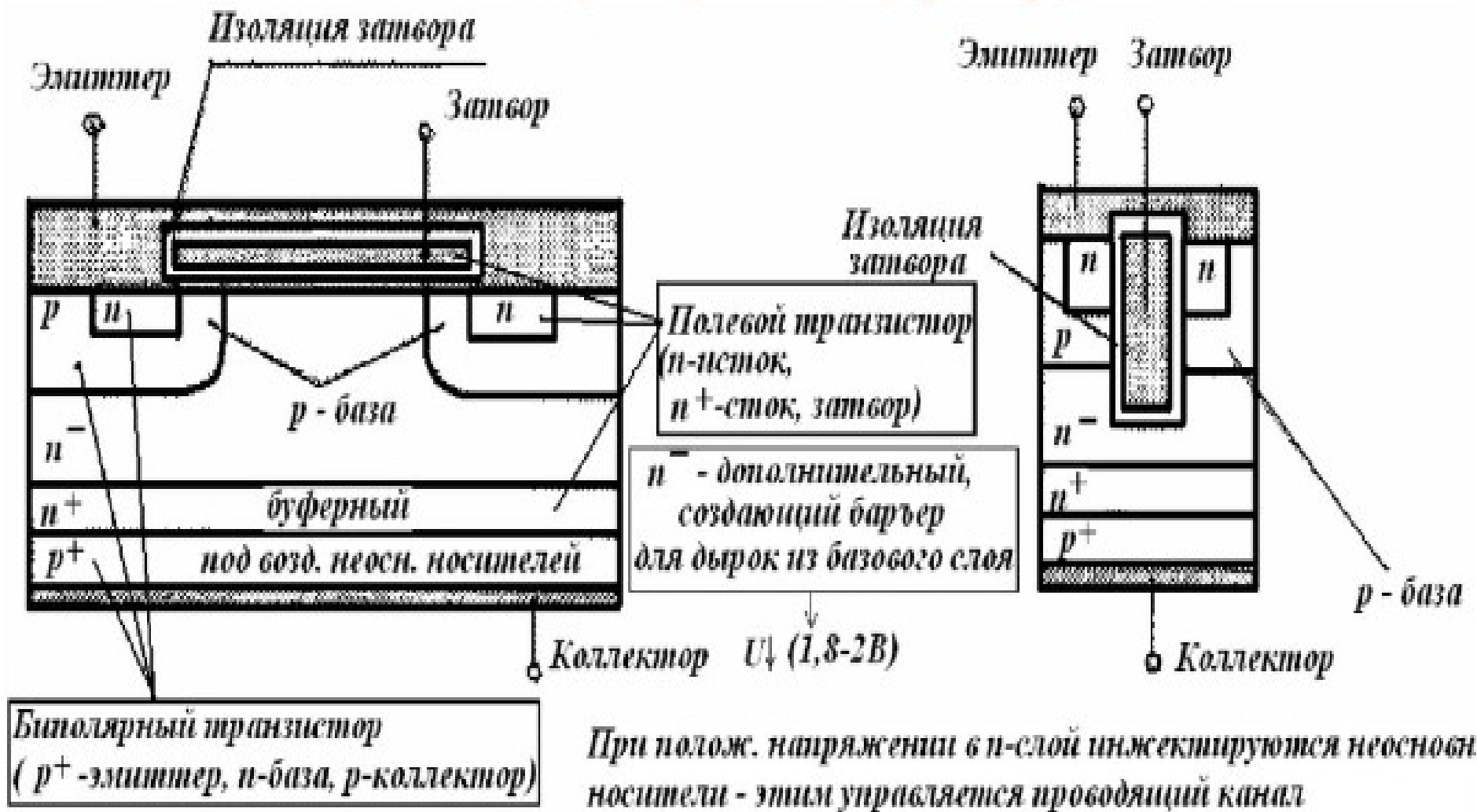


Рисунок 14. Схематический разрез структуры IGBT

Полупроводниковые электрические аппараты

Процесс включения состоит из двух этапов:

1. При подаче положительного напряжения между затвором и истоком происходит открытие полевого транзистора (формируется канал n);
2. Движение зарядов из области n в область p приводит к открытию биполярного транзистора. Выключение – обратное напряжение на затвор.

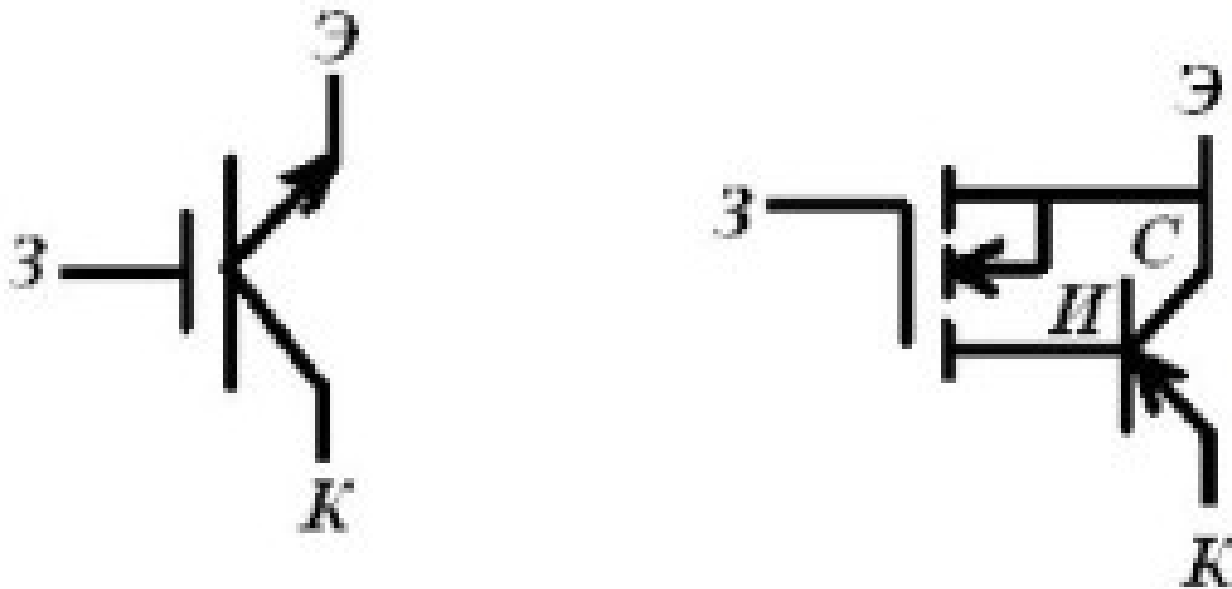


Рисунок 15. Процесс включения транзисторов.

Полупроводниковые электрические аппараты

Тиристор – четырехслойный полупроводниковый прибор, находящийся в двух устойчивых состояниях: закрытом и открытом. К переходам Π_1 и Π_3 подведено прямое напряжение, к переходу - Π_2 - обратное. Через переход Π_2 проходит ток коллекторов двух транзисторов (ток дырок и электронов).

В результате суммарный ток :

$$i = I_0 + I_{k1} + I_{k2}, \quad (\alpha_1 I_{\varepsilon 1} + \alpha_2 I_{\varepsilon 2})$$

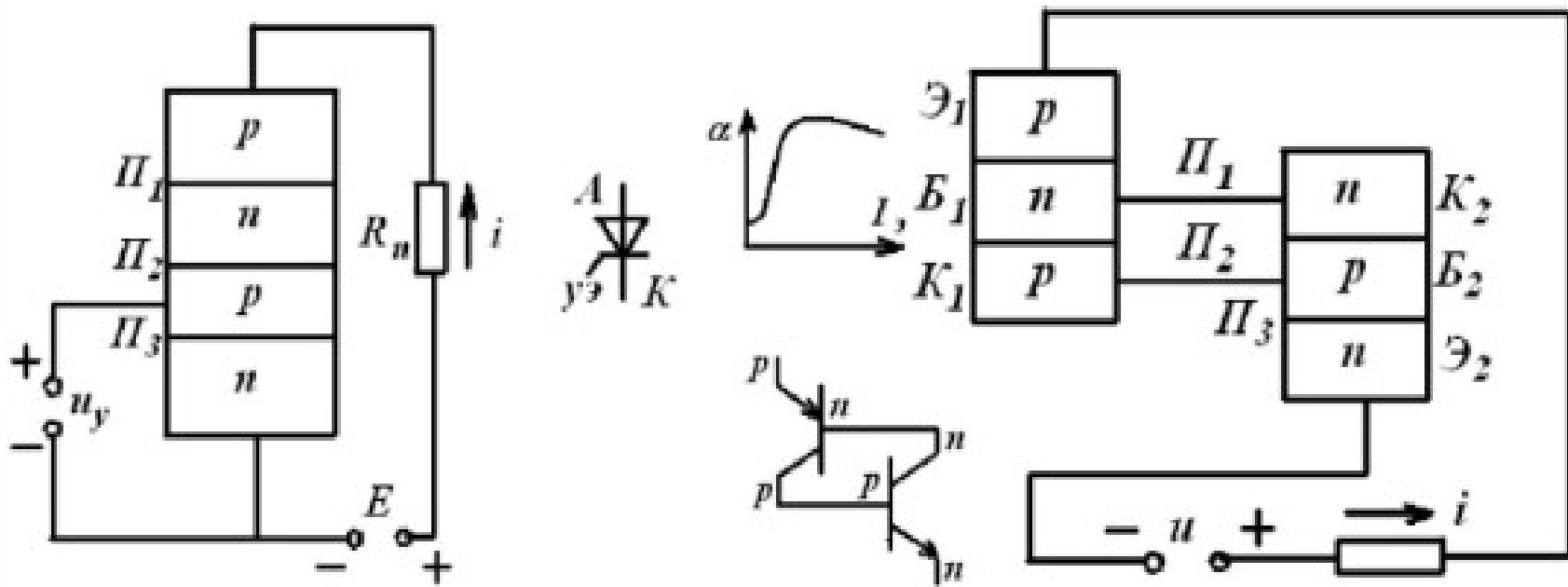


Рисунок 16. Структурная схема тиристора

Полупроводниковые электрические аппараты

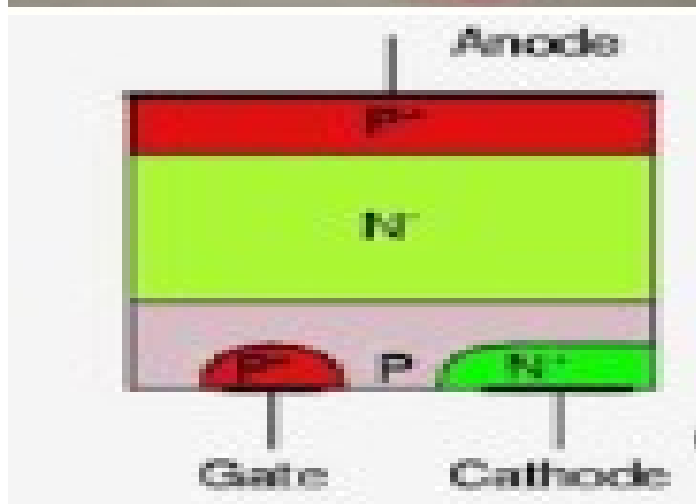


Рисунок 17. Современные модули GTO и структура.

Полупроводниковые электрические аппараты

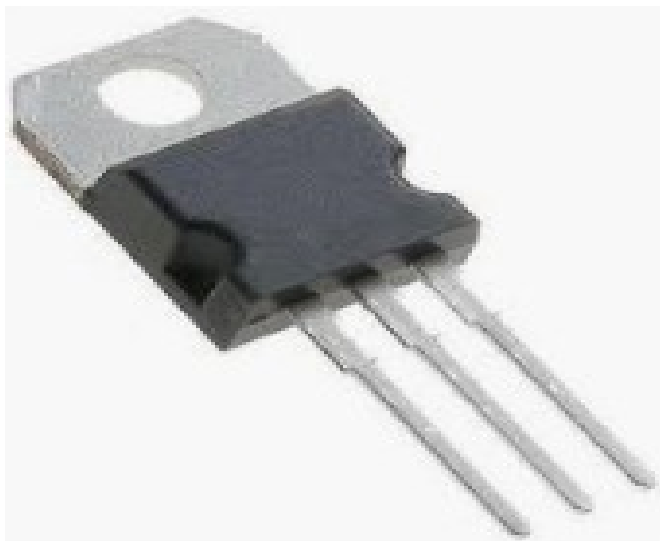


Рисунок 18. Современные модули IGBT

Полупроводниковые электрические аппараты

Высокие динамические характеристики прибора ведут к росту потерь проводимости:

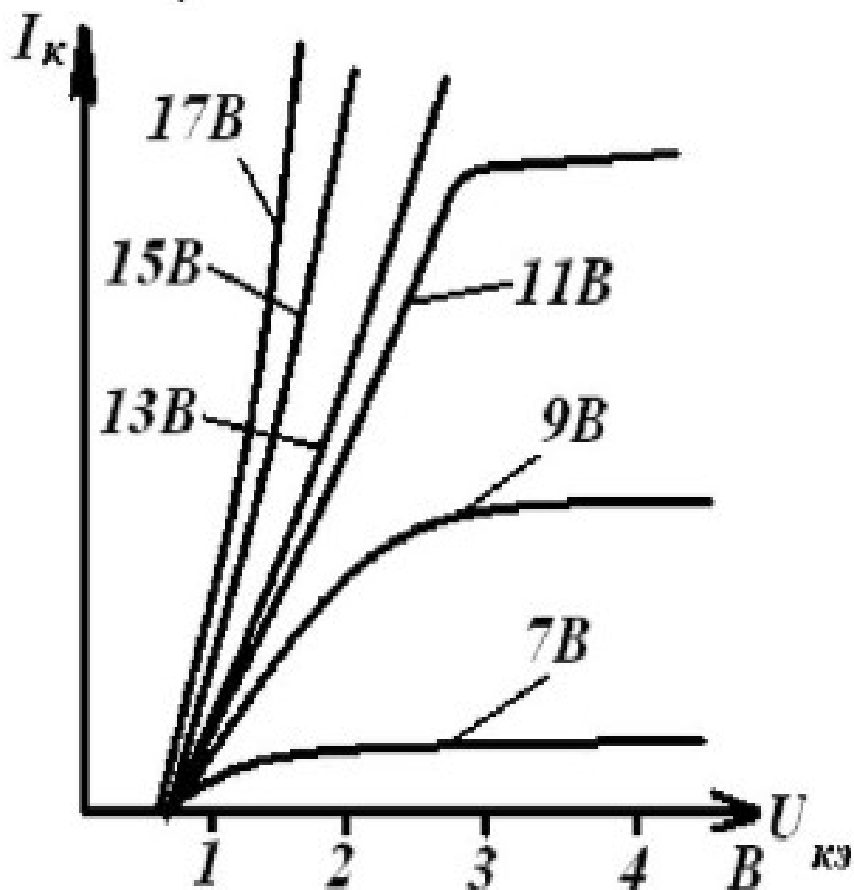
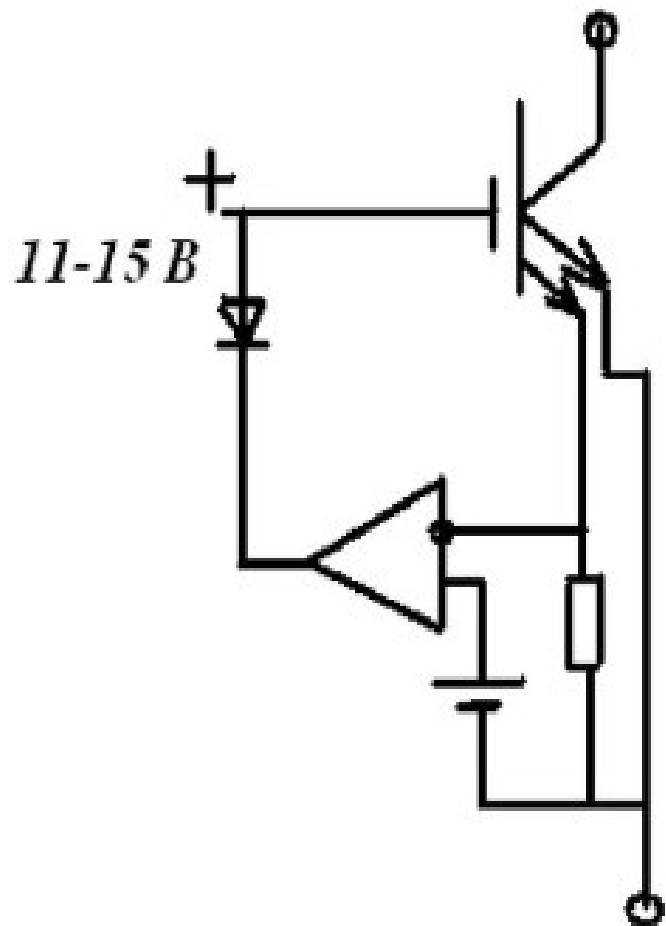


Рисунок 19. Принципиальная схема драйвера для управления IGBT

Полупроводниковые электрические аппараты

Модули IGBT.

1. Коммутируемые токи до 2000А.
2. Напряжение – 5-7кВ.
3. Легкость управления.
4. Критичны к перенапряжениям.

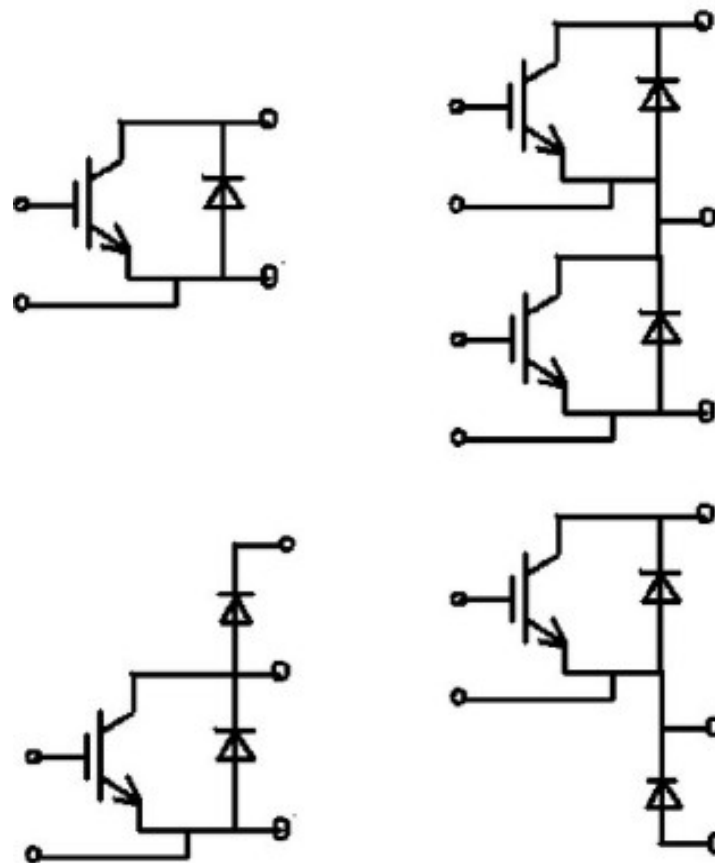


Рисунок 20. Модули IGBT



Спасибо за внимание!!!