Силовые полупроводниковые приборы

- Силовые п/п приборы – управляемые приборы, используемые в различных силовых устройствах: электроприводе, источниках питания, мощных преобразовательных установках. Для снижения потерь эти приборы в основном работают в ключевом режиме.

Основные требования:

- Малые потери при коммутации;
- Большая скорость переключения из одного состояния в другое;
- Малое потребление по цепи управления;
- Большой коммутируемый ток и высокое рабочее напряжение.

Разработаны приборы на токи до 1000 А и рабочее напряжение свыше 6 кВ, работают на частотах до 1 МГц. Значительно снижена мощность управления силовыми ключами.

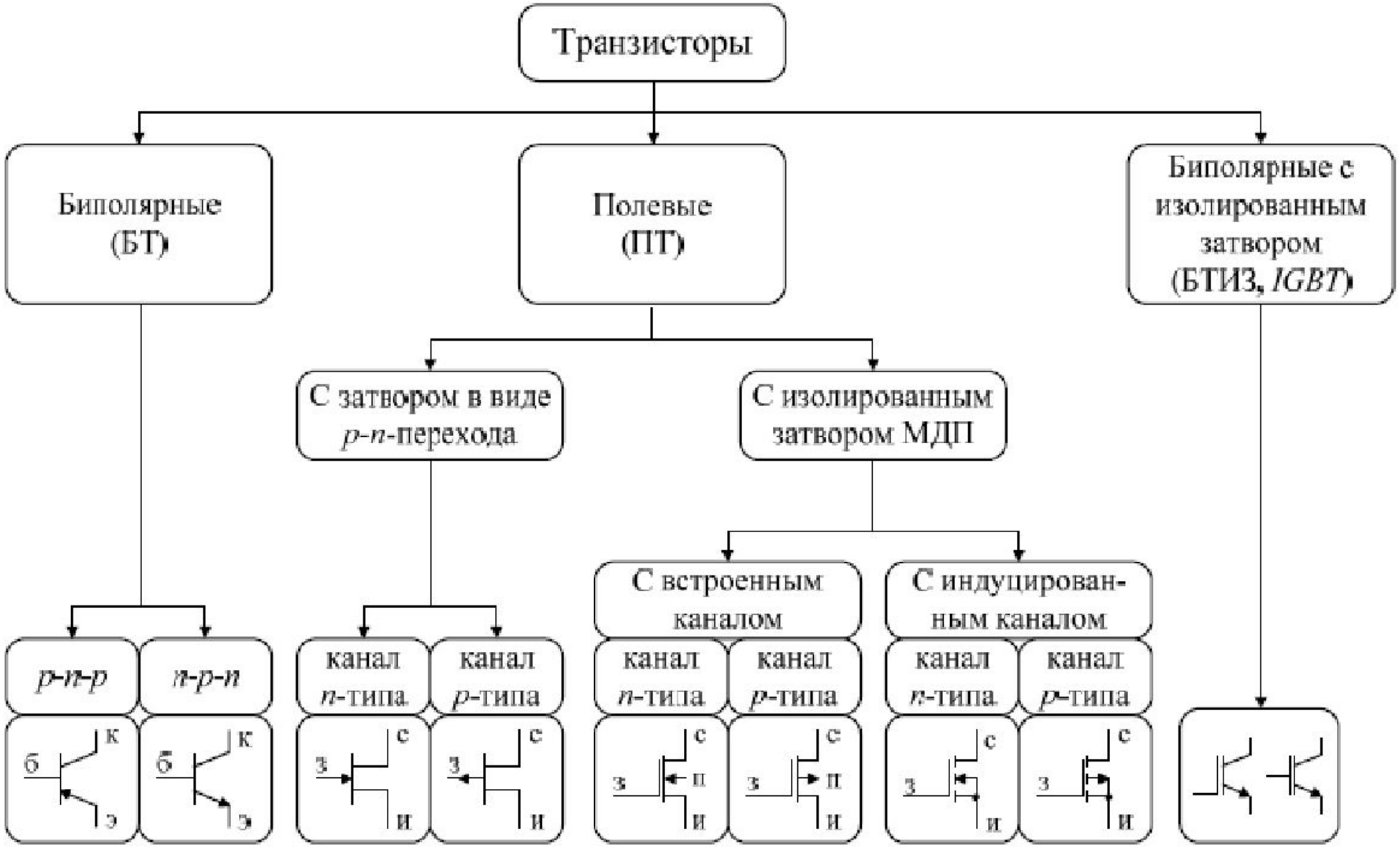


Рис. 2.16. Классификация основных типов транзисторов
(к – коллектор; э – эмиттер; б – база; с – сток; и – исток; з – затвор; п – подложка)

IGBT–транзисторы

Транзисторы по принципу действия делятся на **биполярные** (управляемые током), униполярные (управляемые электрическим полем или **полевые**) и ***IGBT*–транзисторы**. Аббревиатура *IGBT* – это сокращение названия *Insulated gate bipolar transistor*. В переводе это значит **биполярный транзистор с изолированным затвором (БТИЗ).**

В биполярных транзисторах ток определяется движением носителей зарядов обоих знаков: электронов и дырок, поэтому они называются биполярными.

В полевых транзисторах ток определяется шириной проводящего канала, по которому движутся носители зарядов одного знака, отсюда их другое название – униполярные.

IGBT–транзисторы являются гибридными, в них сочетаются положительные свойства биполярных и полевых транзисторов.

- **Биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ**) или, как они сокращенно называются по-английски ***IGBT*,** представляют собой гибрид биполярного транзистора и ПТИЗ, сочетающий их лучшие свойства. БТИЗ – это сложная многослойная структура и процессы в ней весьма сложны. Поэтому на рис. 2.17 приведена очень упрощенная схема замещения. При подаче на затвор З напряжения, положительного относительно точки Э, ПТИЗ открывается и начинает проходить ток от точки К через эмиттерно-базовый переход биполярного транзистора и открытый ПТИЗ к точке Э. При этом открывается биполярный транзистор, через который проходит ток от точки К к точке Э. Буквами Э, К, З обозначены эмиттер, коллектор и затвор БТИЗ. БТИЗ могут работать только в ключевом режиме.
- **БТИЗ в настоящее время получили наибольшее распространение в устройствах силовой электроники** при мощностях от сотен Вт до тысячи кВт.

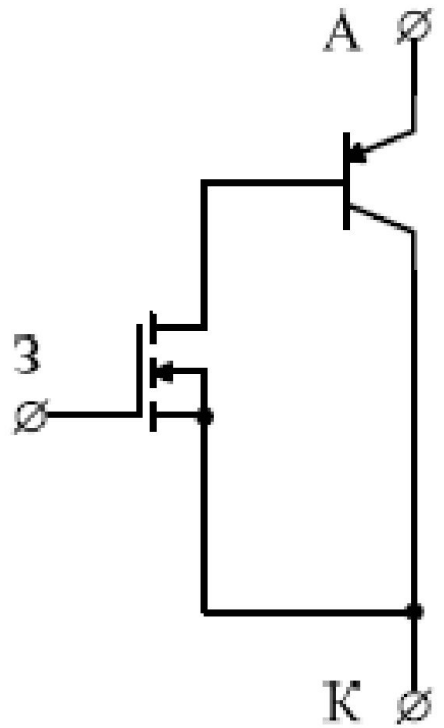
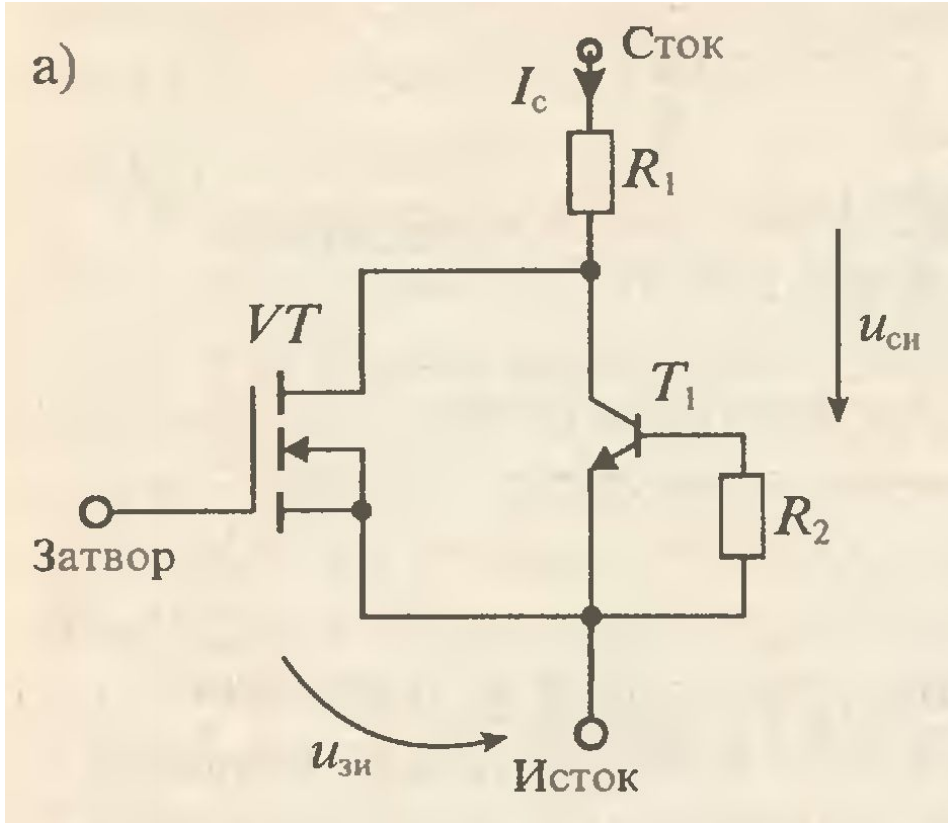


Рис. 2.17. Упрощенная схема замещения БТИЗ

При изготовлении ПТИЗ, имеющих вертикальный канал, образуется паразитный БТ, который не находил практического применения. На рис VT - ПТИЗ, Т1 – паразитный БТ, R1 – последовательное сопротивление канала ПТ, R2 – сопротивление, шунтирующее переход база-эмиттер БТ Т1. благодаря сопротивлению R2 БТ заперт и не оказывает влияния на VT.



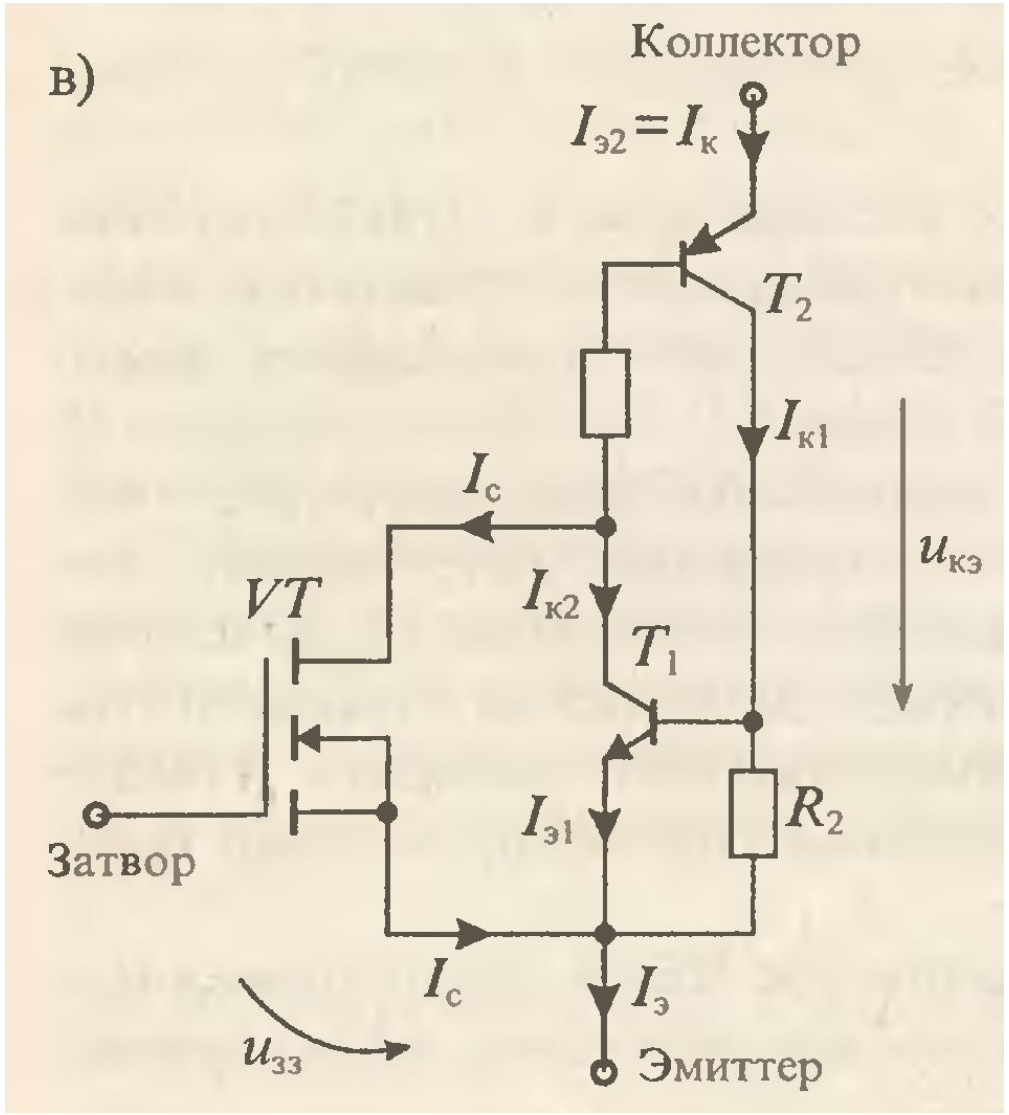
- Структура IGBT аналогична структуре ПТИЗ, но дополнена еще одним p-n-переходом, благодаря которому в схеме замещения появляется еще один p-n-p-транзистор Т2.
- Образовавшаяся структура из двух транзисторов Т1 и Т2 имеет глубоко внутреннюю положительную обратную связь, так как ток коллектора транзистора Т2 влияет на ток базы транзистора Т1, а ток коллектора транзистора Т1 определяет ток базы транзистора Т2.

$$I_{к2}=I_{э2}\alpha_2,\ I_{к1}=I_{э1}\alpha_2 \text{ и } I_э=I_{к1}+I_{к2}+I_с.$$

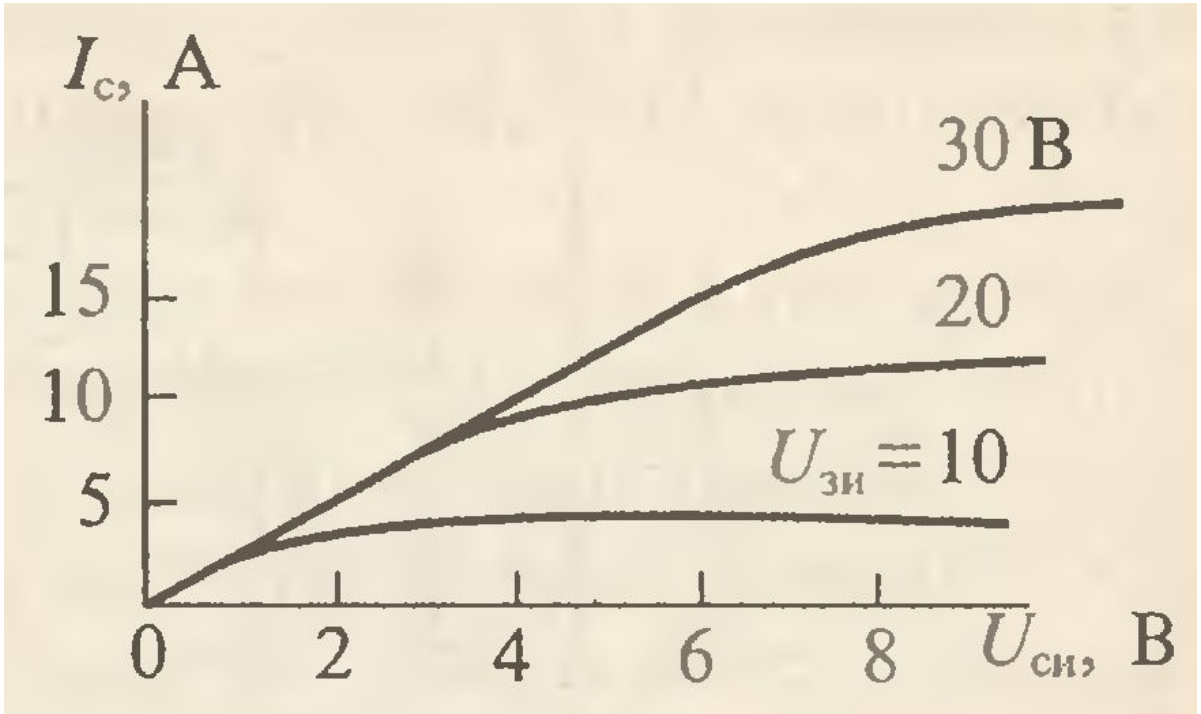
- Ток стока $I_с=I_э(1-\alpha_1-\alpha_2).$ или $I_с=SU_з$
- Ток IGBT транзистора $I_к=I_э=\frac{SU_з}{1-(\alpha_1+\alpha_2)}=S_э U_з,$
- Эквивалентная крутизна

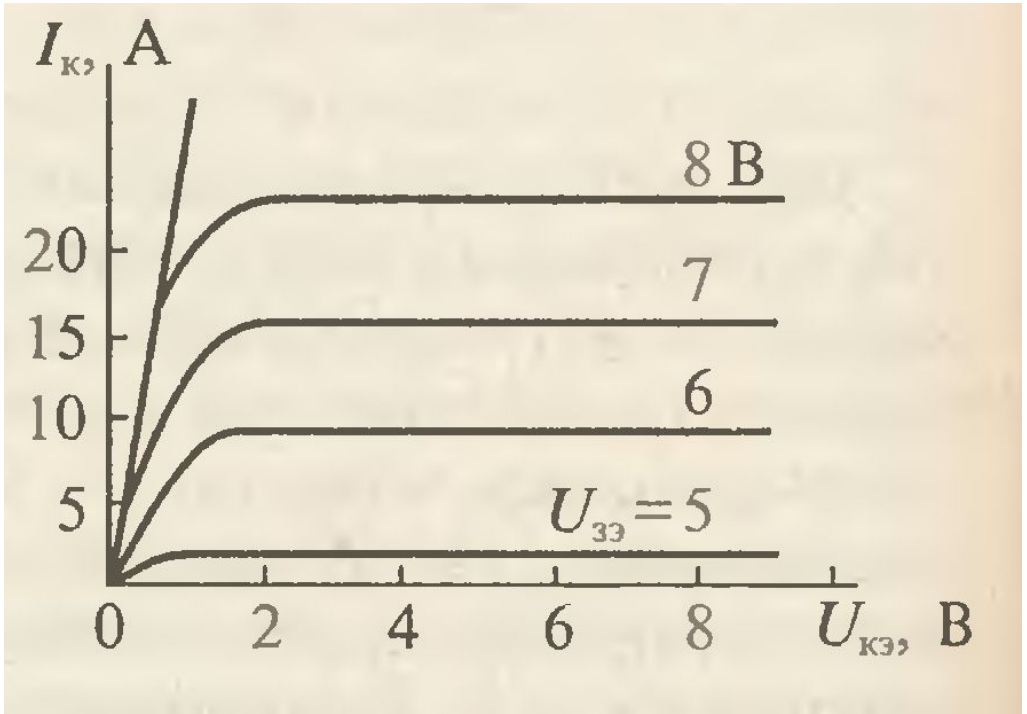
$$S_э=S/[1-(\alpha_1+\alpha_2)]$$

при $\alpha_1+\alpha_2\approx 1$ эквивалентная крутизна превышает крутизну ПТИЗ, регулировать их значения можно за счет R1 и R2.

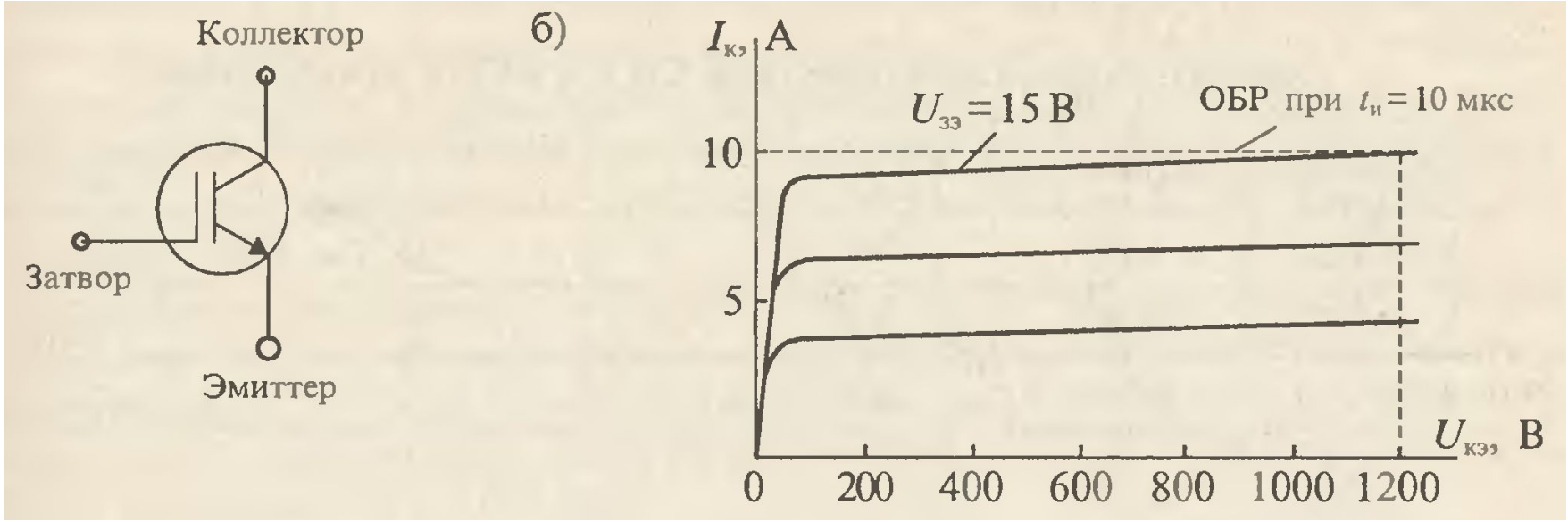


ВАХ схем замещения IGBT транзистора





Область безотказной работы БТИЗ



- На ОБР отсутствует участок вторичного пробоя, характерный для БТ.
- Поскольку в основу транзисторов типа IGBT положены ПТИЗ с индуцированным каналом, то напряжение, подаваемое на затвор должно быть больше порового напряжения, которое имеет значение 5-6 В.
- Быстродействие БТИЗ несколько ниже быстродействия ПТ, но значительно выше быстродействия БТ. Время вкл и выкл не превышает 0,5 -1,0 мкс.

Характеристики БТИЗ

- Выходные характеристики БТИЗ похожи на характеристики ПТИЗ, но на участке насыщения они идут значительно круче. Это обуславливает значительно меньшее падение напряжения в клю-чевом режиме. Передаточные характеристики аналогичны

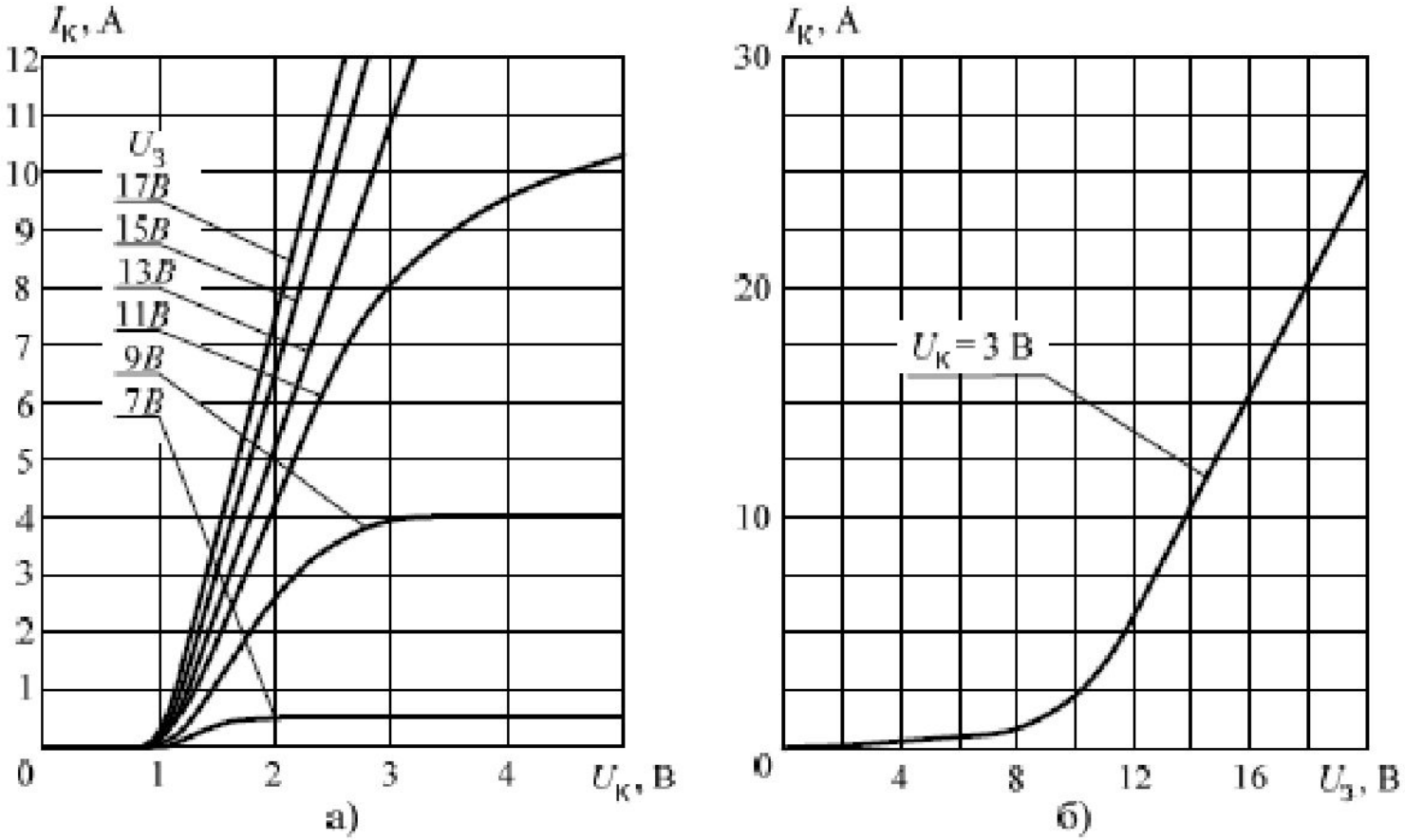


Рис. 2.20. Выходные (а) и передаточные (б) характеристики БТИЗ (выходные характеристики приведены для области насыщения)

схемы, обеспечивающие работу транзисторов разных типов в ключевом режиме

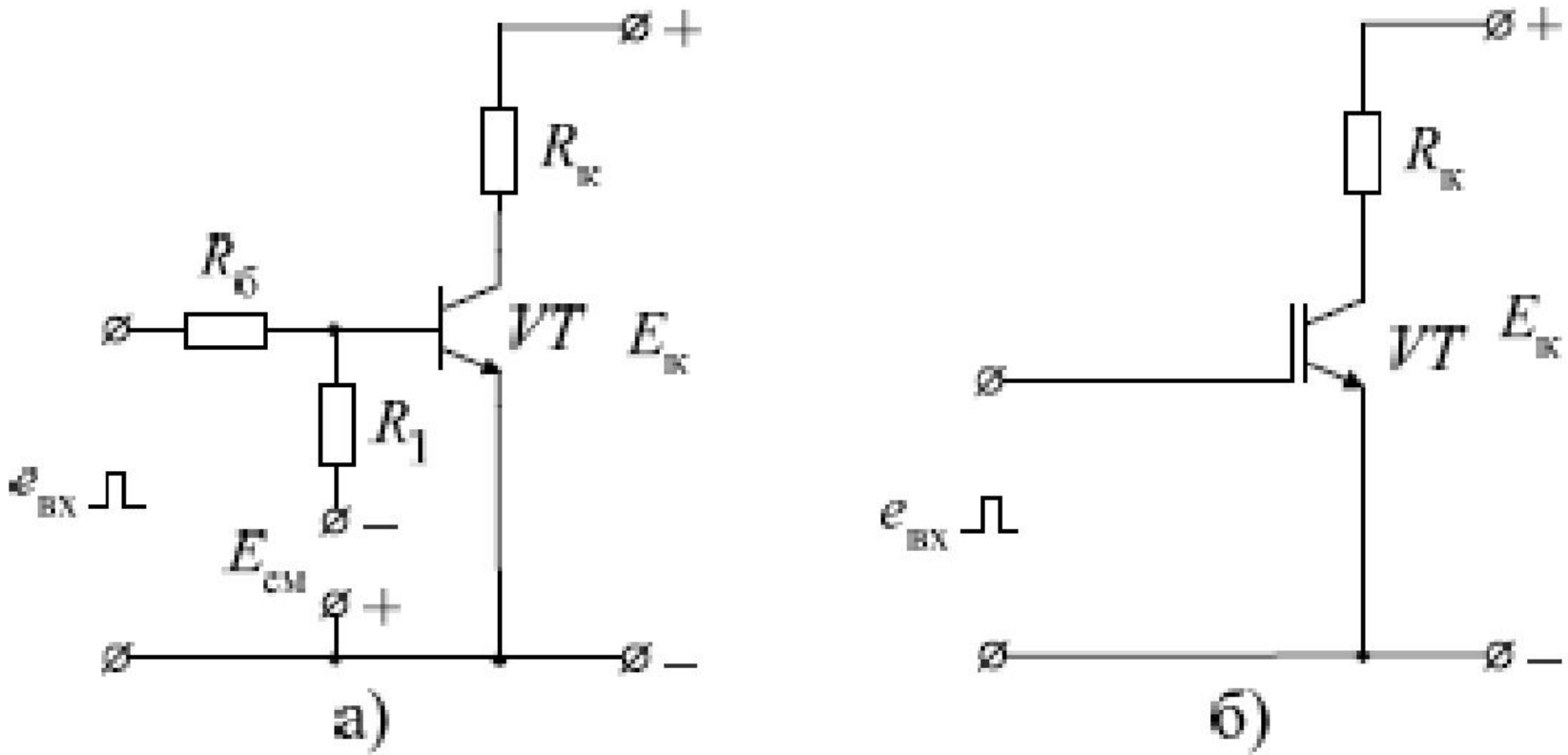
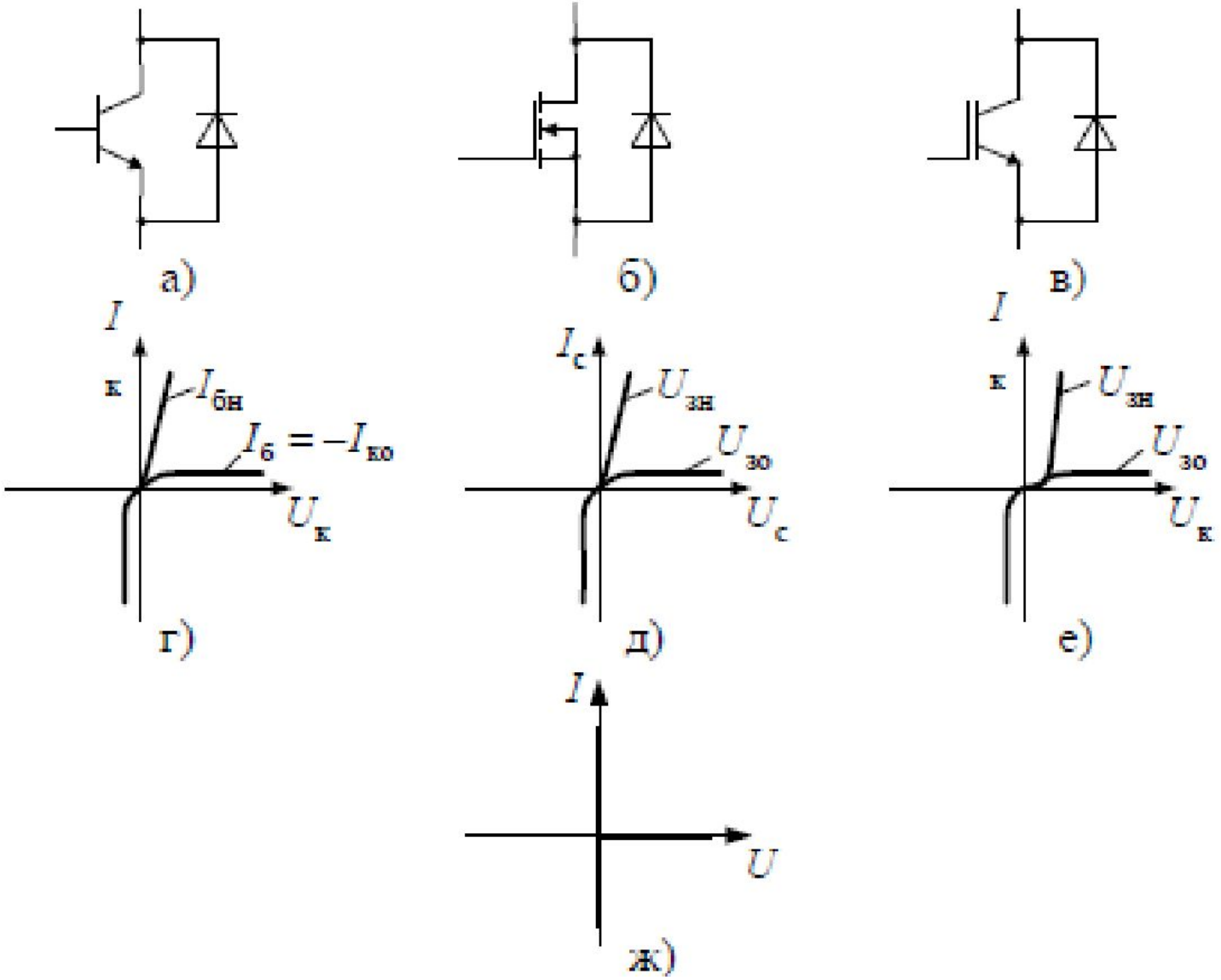


Рис. 2.22. Схемы включения транзисторов в ключевом режиме:
(а) биполярного; (б) БТИЗ

Схемы транзисторных ключей (а, б, в), их выходные ВАХ (г, д, е)
и ВАХ идеального транзисторного ключа (ж)



В ключевом режиме все транзисторы в открытом состоянии работают на вертикальной части выходной ВАХ (малое падение напряжения), а в закрытом – на нижней горизонтальной ВАХ (малый ток). Все транзисторные ключи не допускают приложения обратного напряжения и, поэтому, как правило, шунтируются обратными диодами (рис. 2.23 а – в).

Основные параметры ПТИЗ и БТИЗ

- Основные параметры ПТИЗ и БТИЗ практически одинаковы, только взамен названий электродов сток и исток употребляются термины коллектор и эмиттер.

По току стока:

- - максимально допустимый ток стока *I*с.max при заданной температуре корпуса (достигает 100 А у ПТИЗ и 2000 А у БТИЗ);
- - ток стока отсечки (через запертый транзистор) *I*отс.

По напряжению на стоке:

- - максимально допустимое напряжение сток-исток *U*си.max при токе базы равном нулю (достигает 900 В у ПТИЗ и 4500 В у БТИЗ);
- *I*с.max и *U*си.max не могут достигать одновременно максимальных значений.

По сопротивлению: сопротивление сток-исток в открытом состоянии при заданном токе стока и напряжении затвор-исток *R*си (от десятков мОм до единиц Ом).

По мощности: максимальная мощность рассеяния на стоке *P*с.max при заданной температуре корпуса.

По управлению:

$$S = \left(dI_c / dU_з\right)_{U_з = \text{const}};$$

- - крутизна передаточной характеристики
- - максимально допустимое напряжение затвор-исток *U*зи.max (до 20 В);
- - пороговое напряжение затвор-исток *U*З0 (2 – 5 В).

Тепловые параметры:

- - тепловое сопротивление переход-корпус (при применении охладителя) *R*Т(П-К);
- - тепловое сопротивление переход-окружающая среда (при отсутствии охладителя) *R*Т(П-С).

Параметры для БТИЗ практически те же, но вместо параметра сопротивление сток-исток *R*си в открытом состоянии используется напряжение насыщения коллектор-эмиттер *U*кэ.нас, которое определяется при заданном токе коллектора и напряжении затвор-эмиттер (1,5 – 3,5 В).