

# Силовые полупроводниковые приборы (СПП)

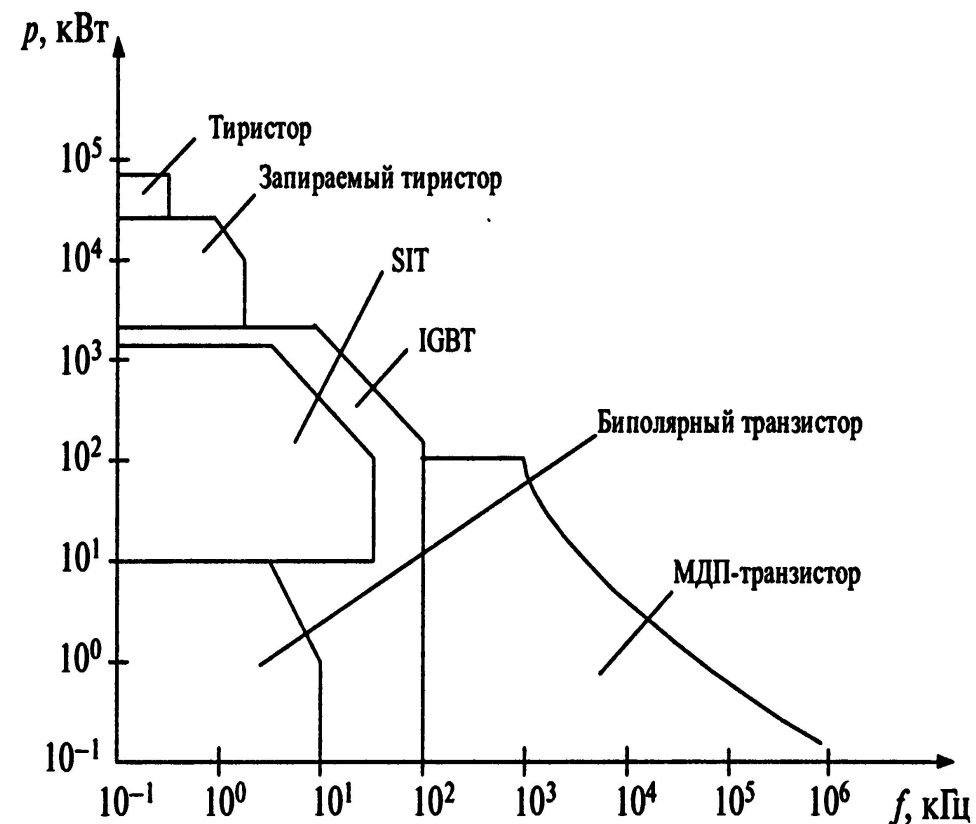
Наиболее широко используемые в настоящее время СПП:

- IGBT;
- МДП-транзистор;
- биполярный транзистор;
- SIT;
- тиристор;
- симистор;
- запираемый тиристор.

Выпускаемые промышленностью отдельные конкретные типы всех перечисленных выше транзисторов и тиристоров имеют высокие значения максимально допустимых напряжений (сотни вольт) и максимально допустимых токов (сотни ампер).

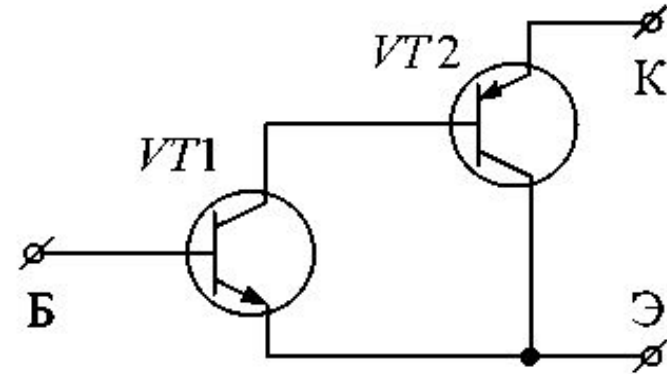
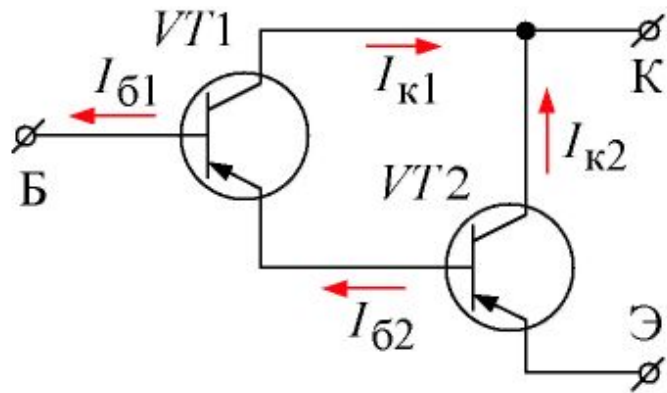
Из анализа сравнительной оценки СПП видно:

1. Некоторые типы тиристоров и IGBT модулей имеют  $U_{обр. доп.} > 1000В$  и  $I_a > 1000А$
2. Максимальную частоту коммутации  $f_k$  имеют МДП- транзисторы более 1-го МГц;
3. В настоящее время IGBT и МДП- транзисторы вытесняют БТ и SIT транзисторы.



# Силовые биполярные транзисторы

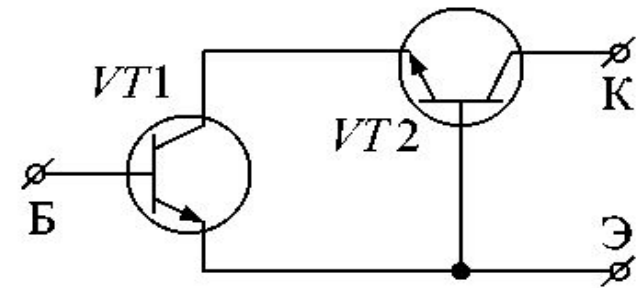
1. **Составной транзистор** это соединение двух и более транзисторов, эквивалентных одному транзистору, но с большим коэффициентом усиления.



$$\beta_{\text{ЭКВ}} = \frac{I_{\text{К}}}{I_{\text{Б1}}} = \frac{I_{\text{К1}} + I_{\text{К2}}}{I_{\text{Б1}}} = \beta_1 + \beta_2 + \beta_1\beta_2;$$

$$I_{\text{К1}} = \beta_1 I_{\text{Б1}} \quad I_{\text{К2}} = \beta_2 (I_{\text{Б1}} + \beta_1 I_{\text{Б1}})$$

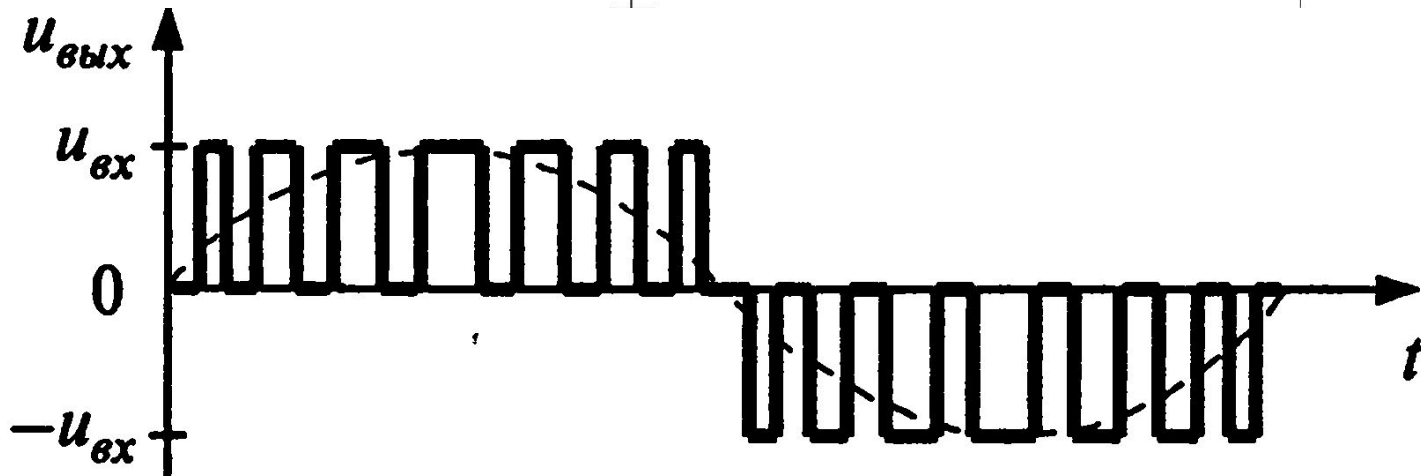
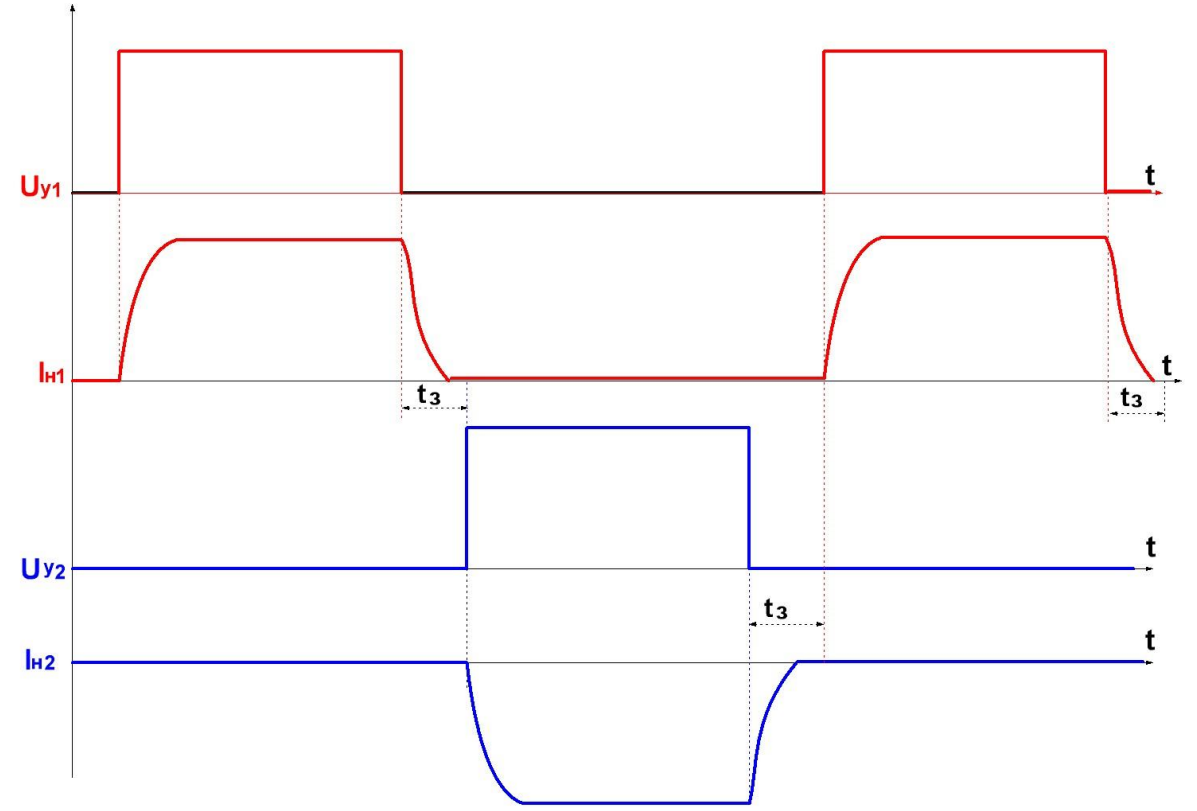
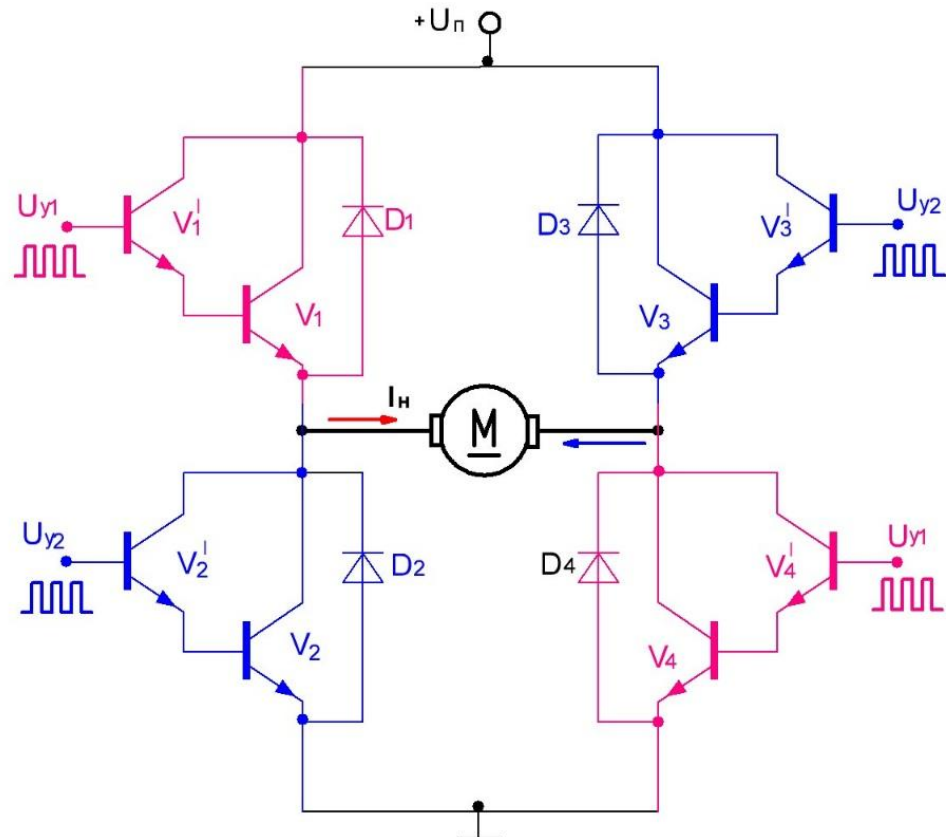
$$R_{\text{ВХ}} = R_{\text{ВХ1}} + R_{\text{ВХ2}} (\beta_1 + 1) \quad R_{\text{ВЫХ}} = R_{\text{ВЫХ1}} \parallel R_{\text{ВЫХ2}}$$



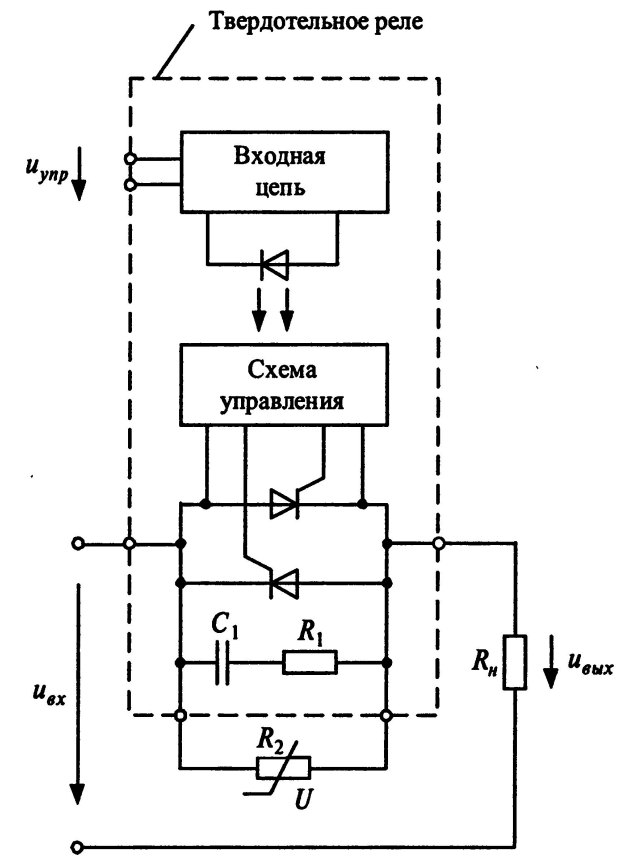
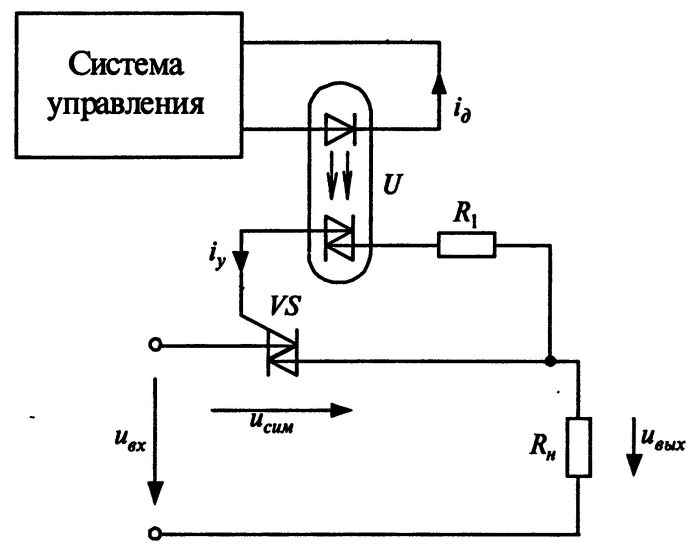
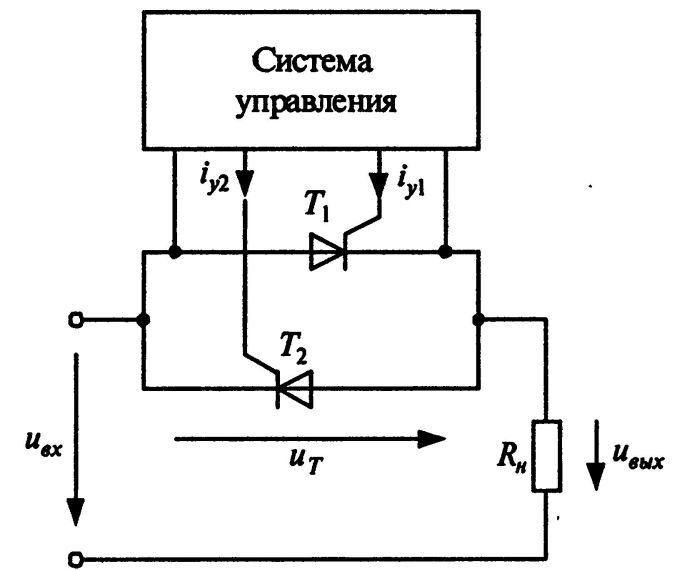
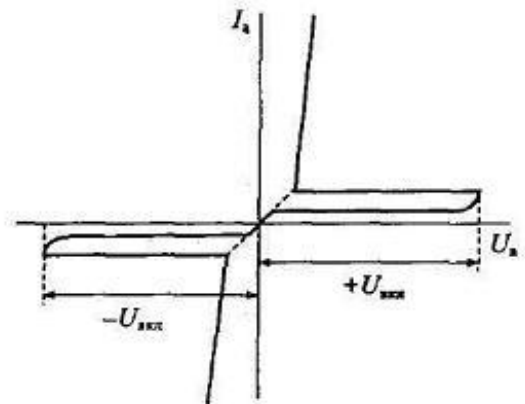
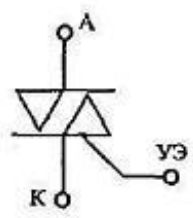
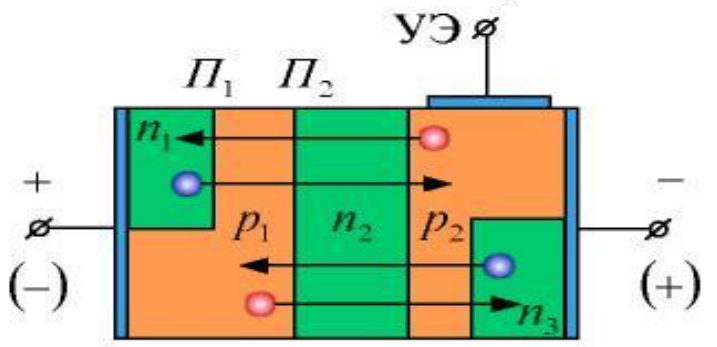
$$\beta_{\text{ЭКВ.}} \approx \beta_1 \beta_2; \quad \text{При } \beta_1 = 100, \beta_2 = 10; \quad \beta_{\text{ЭКВ.}} = 1000$$

$$I_{\text{ВХ}} = I_{\text{Б1}} = I_{\text{Н}} / \beta_{\text{ЭКВ}} \quad \text{При } I_{\text{К2}} = 100\text{А}; \quad I_{\text{Б1}} = 100 / 1000 = 0,1\text{А}$$

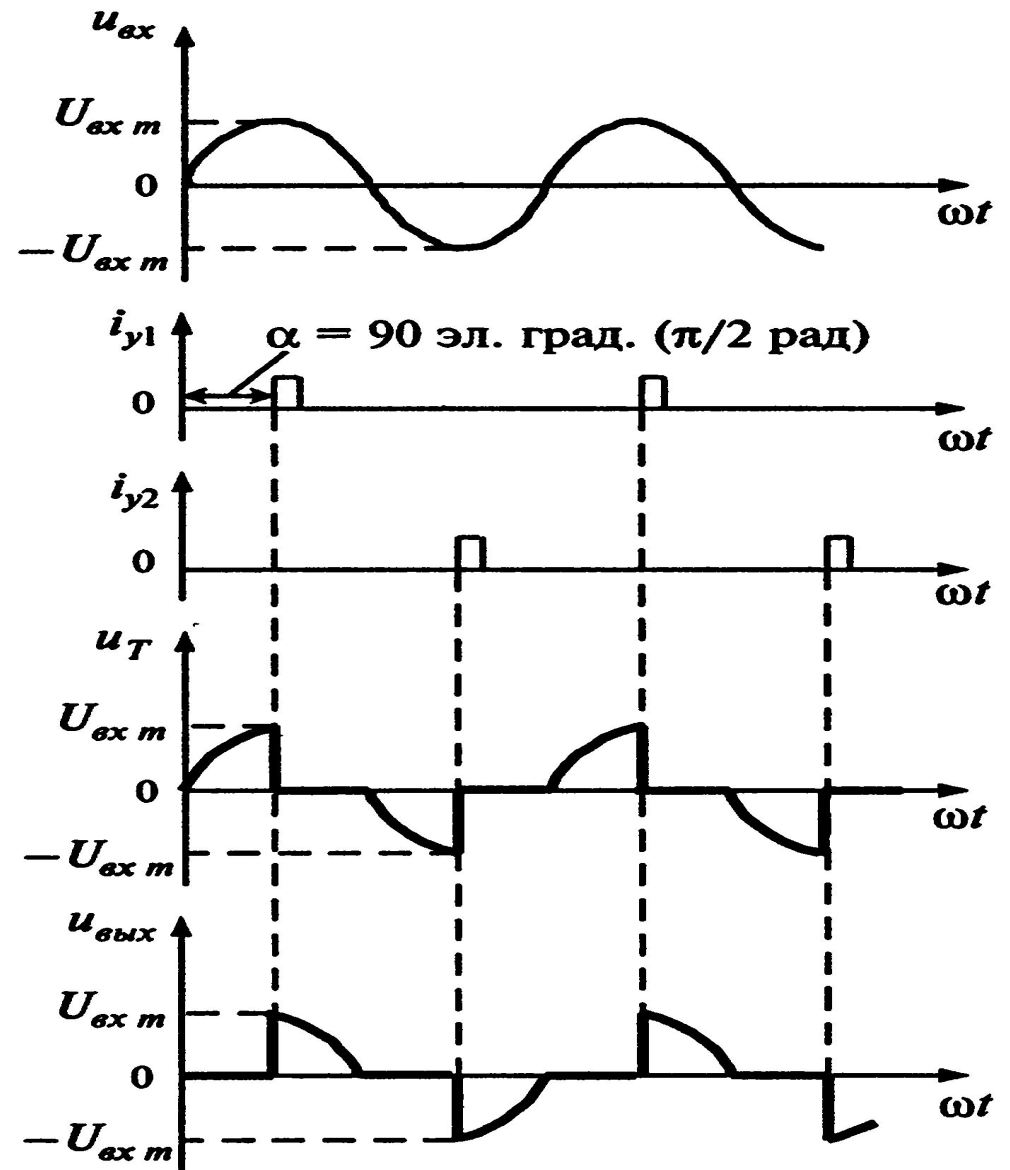
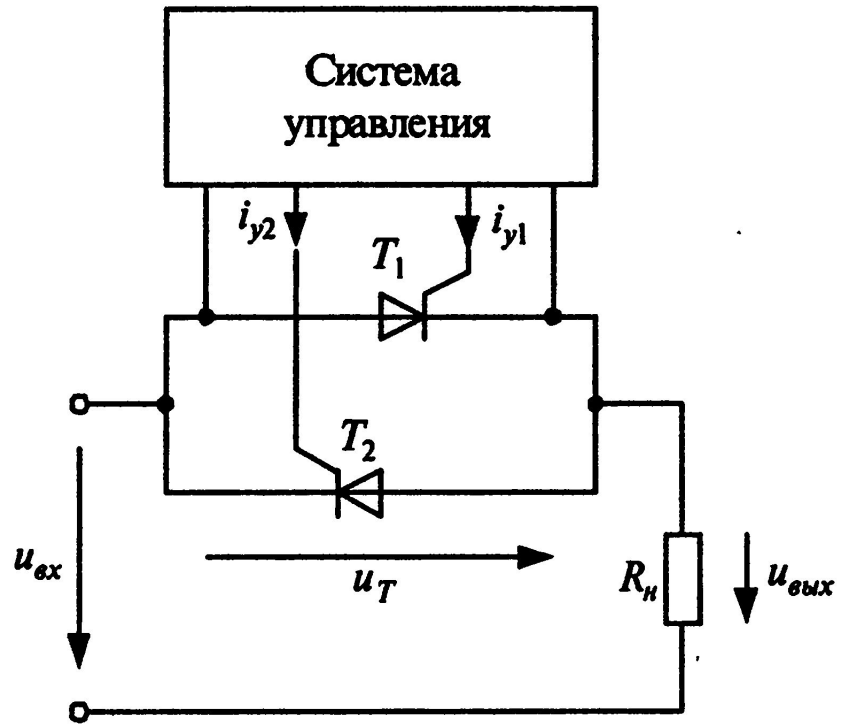
# Примеры использования силовых транзисторов



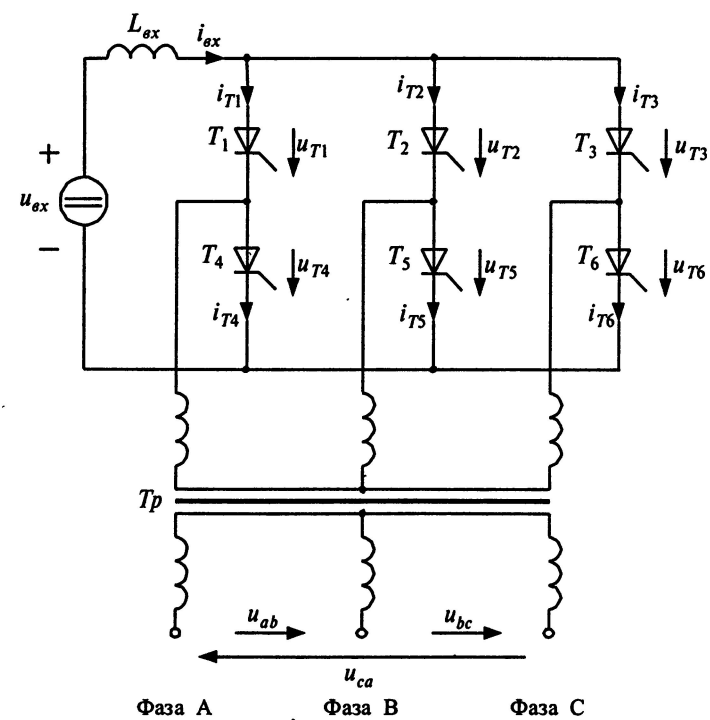
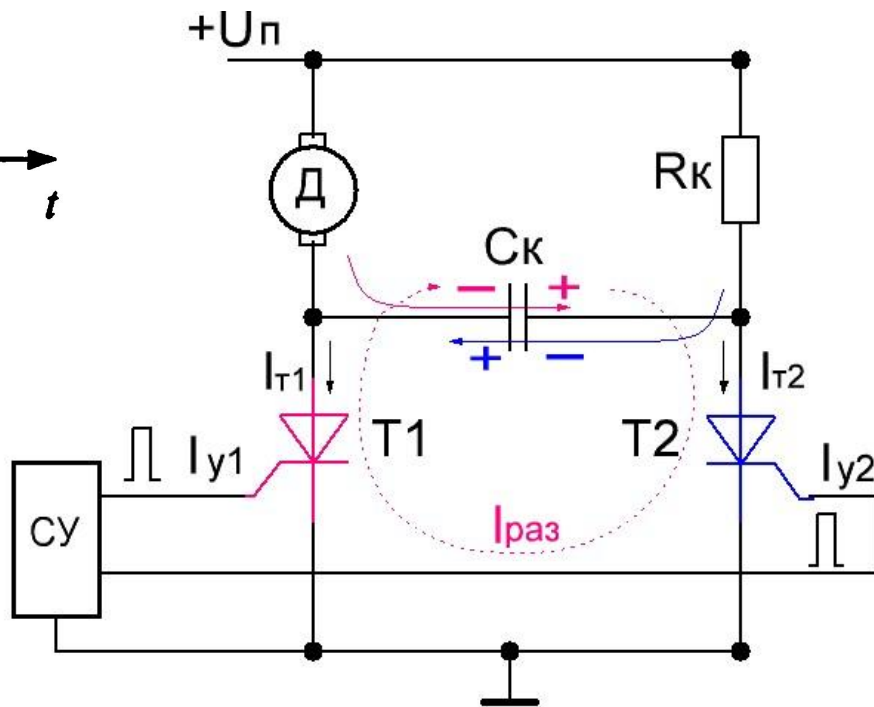
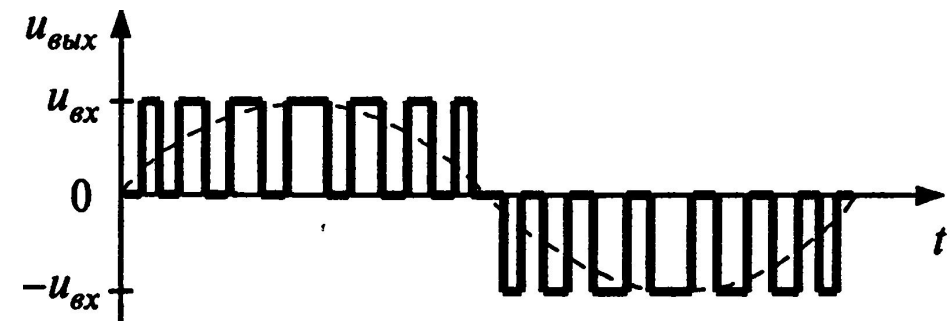
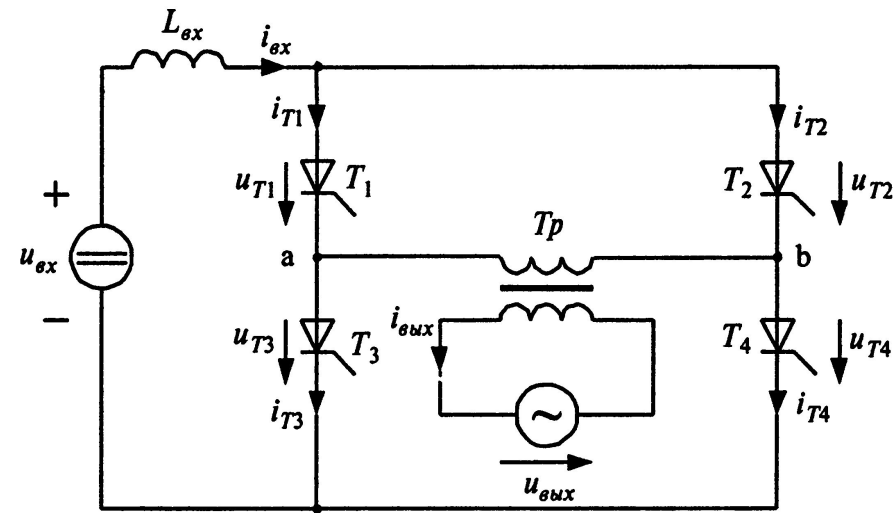
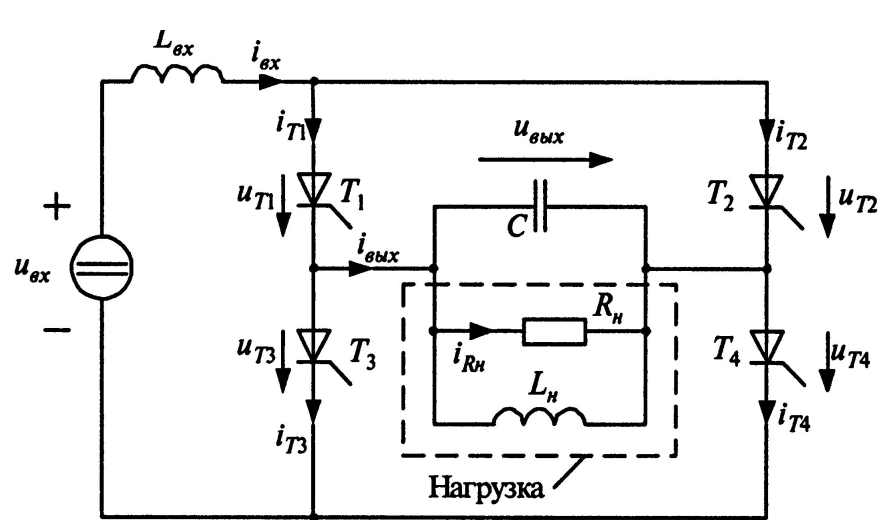
# Силовые тиристоры



# Примеры использования силовых тиристоров



# Мостовые схемы тиристорных преобразователей



# БТ с изолированным затвором (БТИЗ ) или (IJBТ транзисторы)

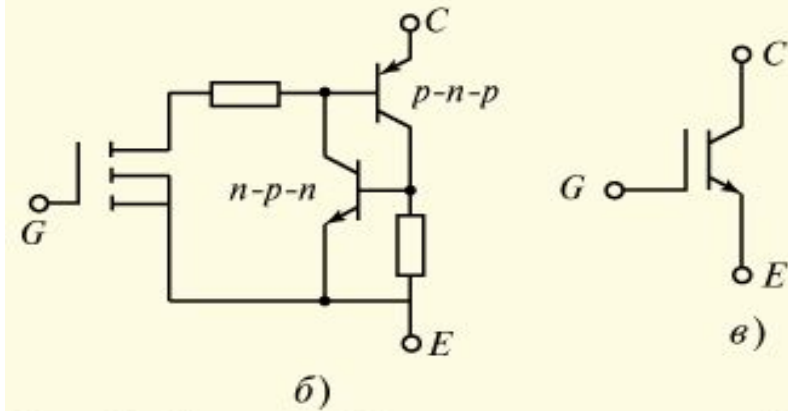
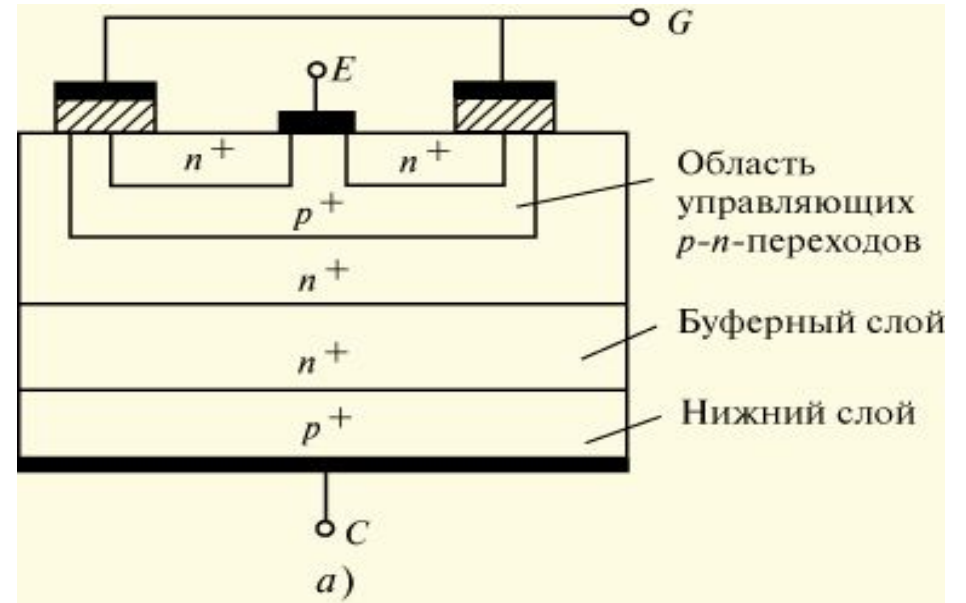
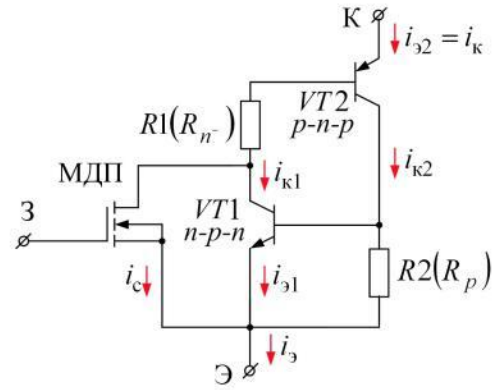
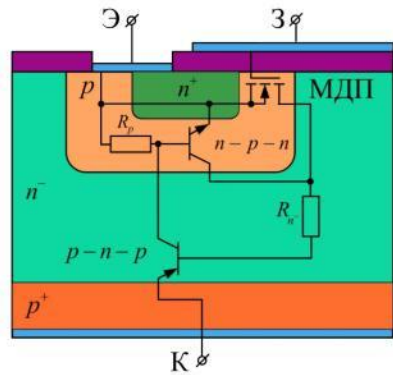


Рис. 6.7. Структура (а), эквивалентная схема (б) и символ (в) биполярного транзистора с изолированным затвором

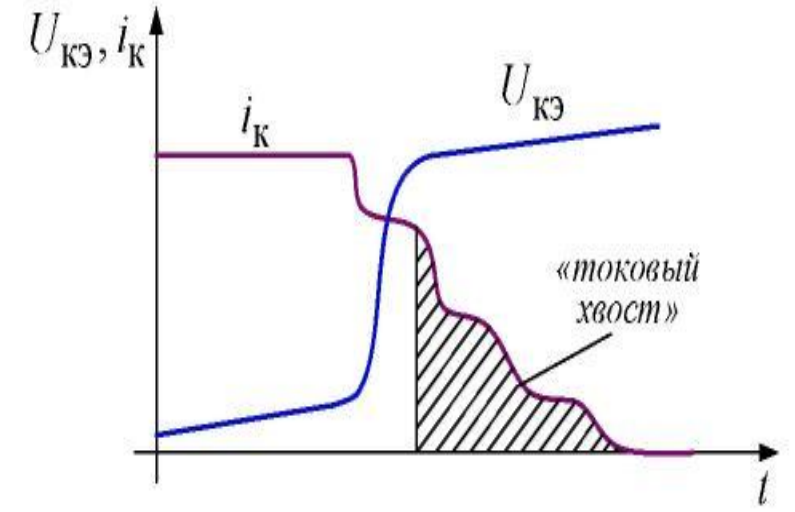
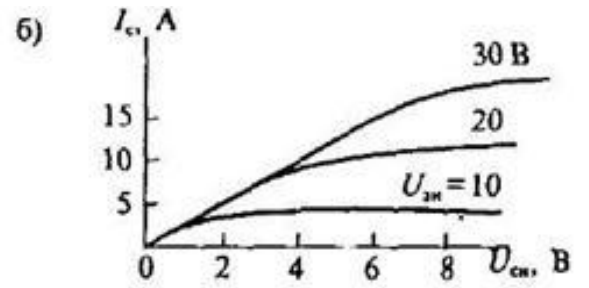
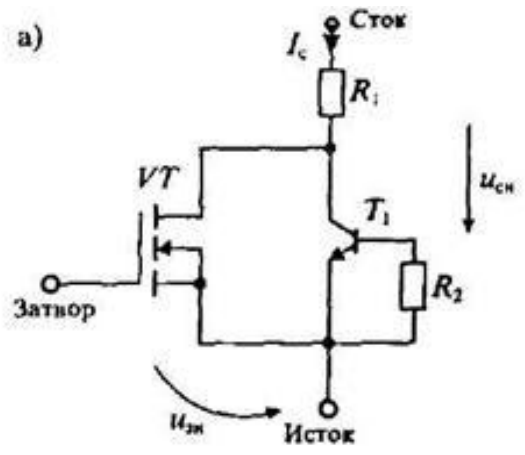
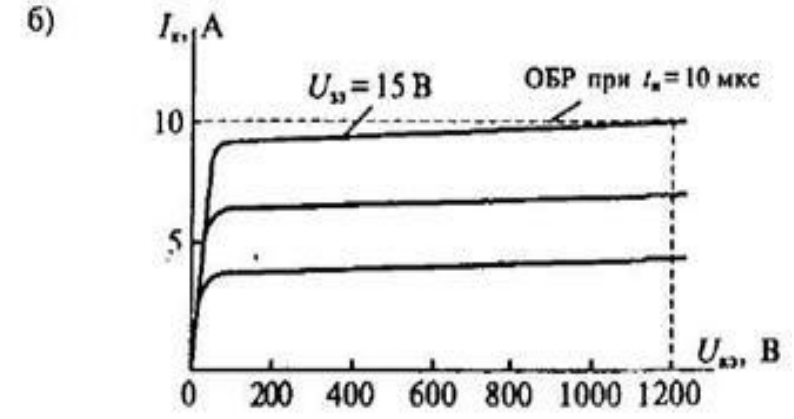
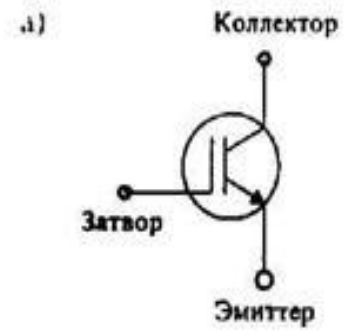
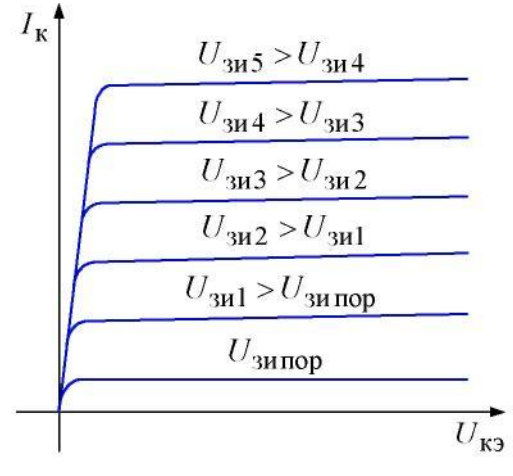
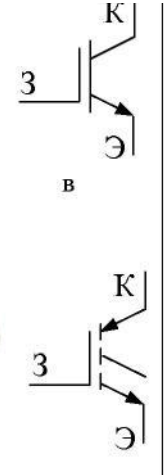
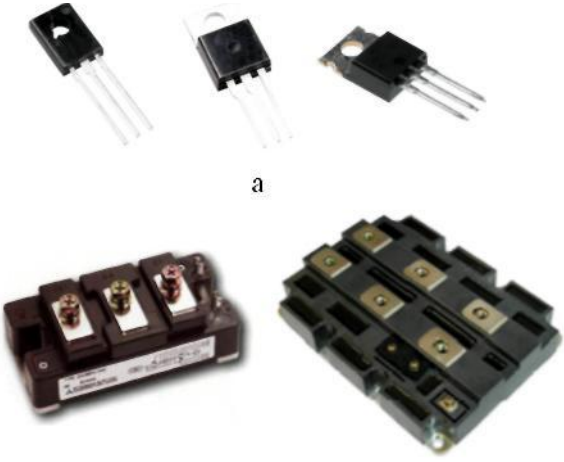
$$I_{\text{э}} = I_{\text{к1}} + I_{\text{к2}} + I_{\text{с}}$$

$$I_{\text{к1}} = I_{\text{э1}}\alpha_1; \quad I_{\text{к2}} = I_{\text{э2}}\alpha_2$$

$$I_{\text{с}} = I_{\text{э}}(1 - \alpha_1 - \alpha_2) \approx SU_3$$

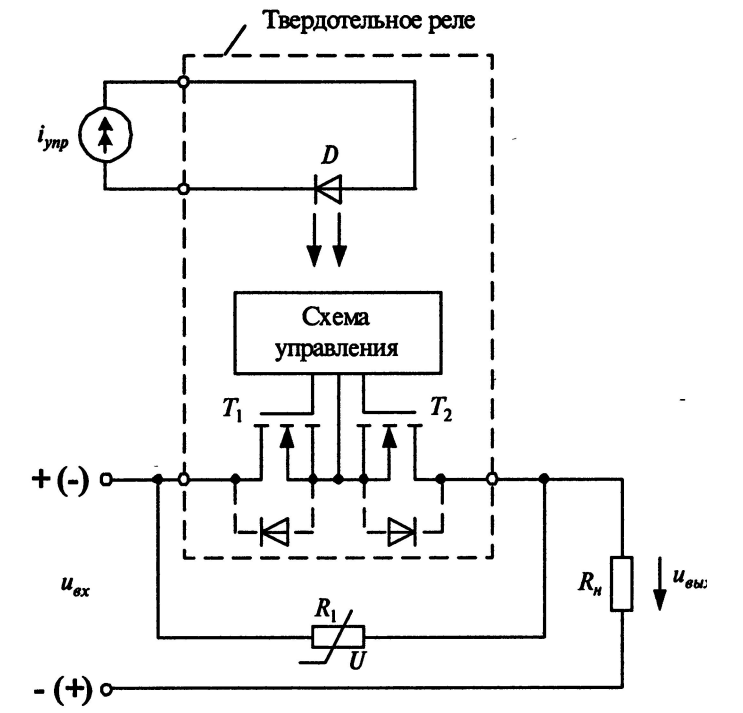
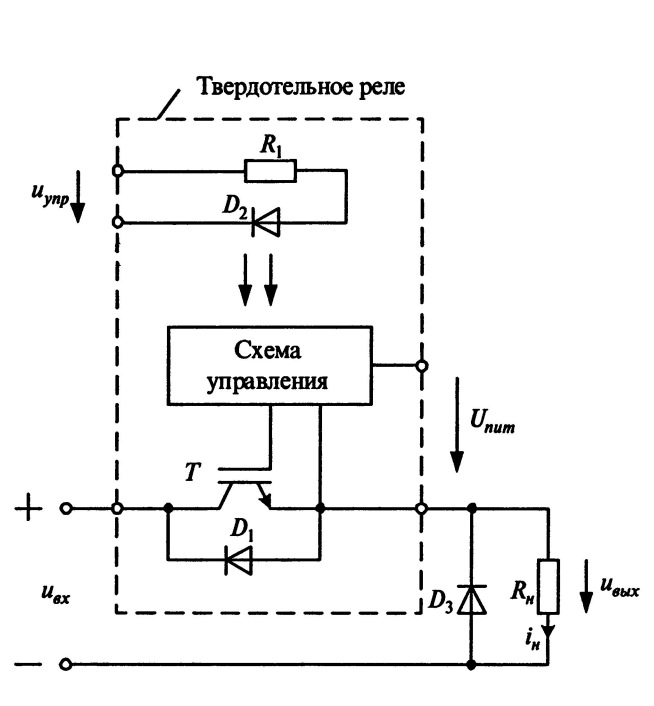
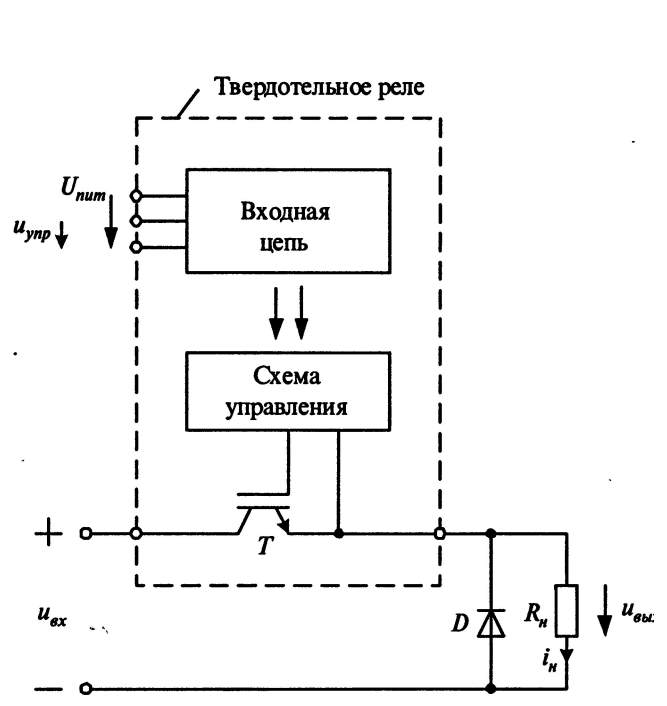
$$I_{\text{к}} \approx I_{\text{э}} = \frac{SU_3}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} = S_{\text{э}}U_3 \quad S_{\text{э}} = S / (1 - (\alpha_1 + \alpha_2))$$

# IJT транзисторы и основные их характеристики





# Примеры схем на IJBT транзисторах (твёрдотельные реле)



# Примеры использования IGBT модулей

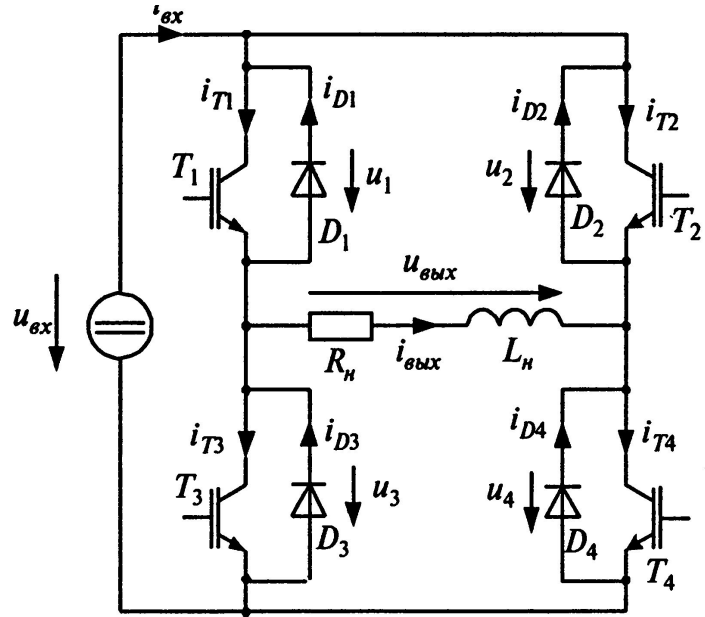
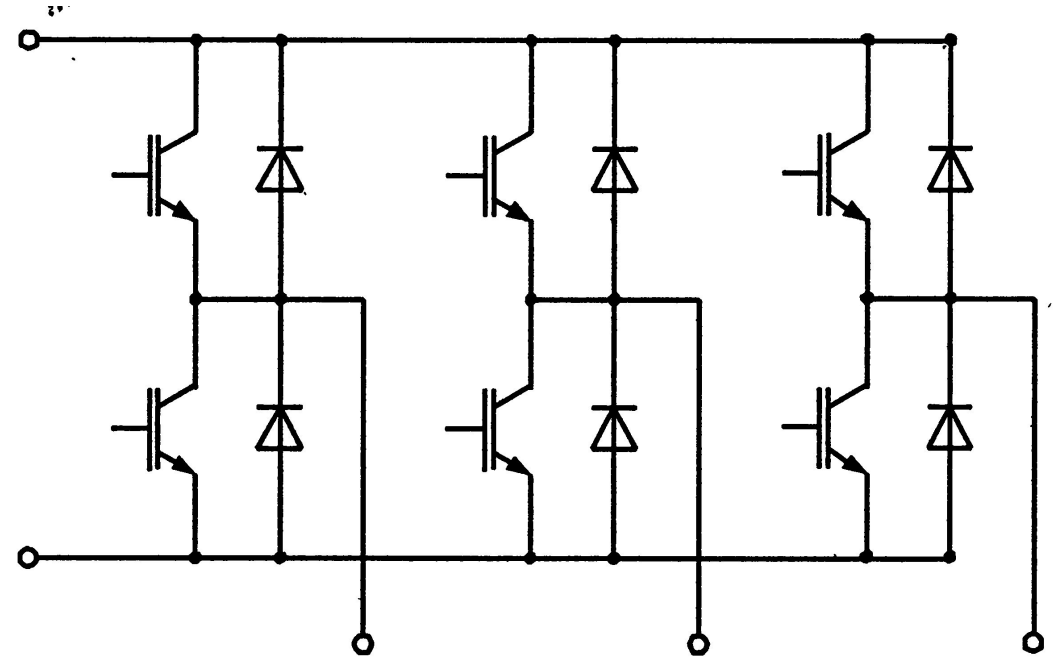


Рис. 4.35



# SIT- транзистор со статической индукцией

Аббревиатура SIT соответствует английскому названию транзистора – Static Induction Transistor.

Это многоканальный ПТ с управляющим р-п переходом ( $N > 1000$ ) с вертикальной структурой

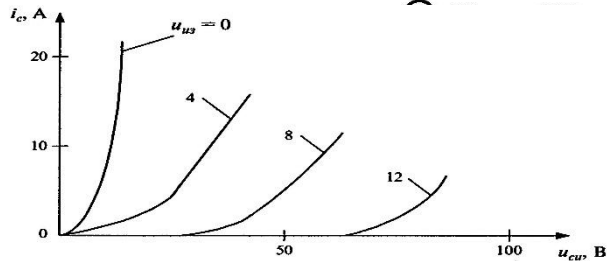
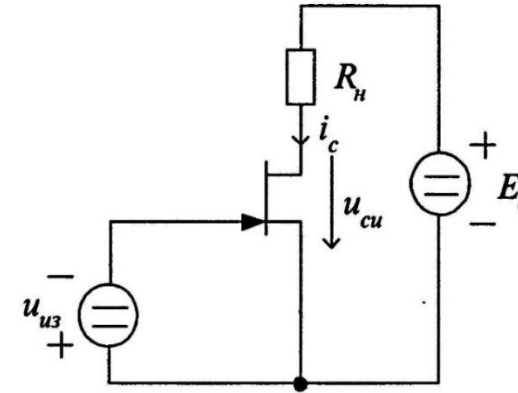
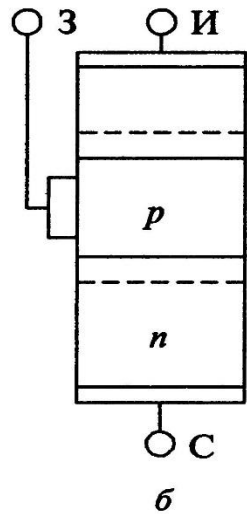
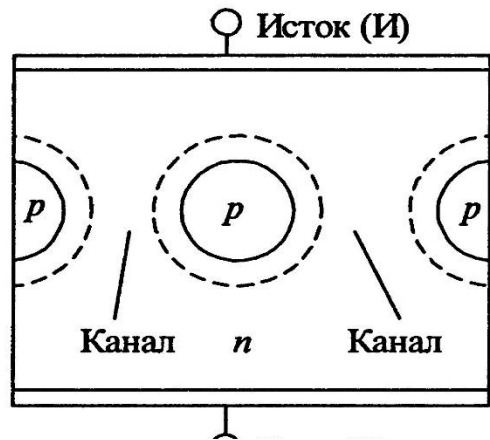
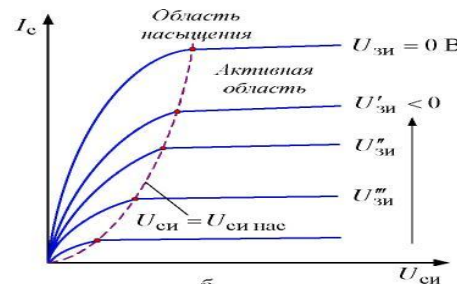
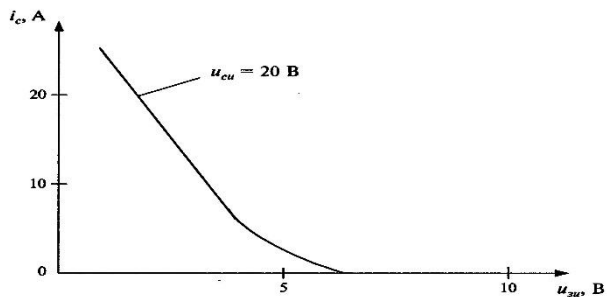


Рис. 1.174



## Особенности работы SIT:

1.  $U_{си}$  – мало, т.к. мала длина канала, поэтому оно не влияет на характер изменения  $I_c$ ;
2. При увеличении  $U_{си}$  ток  $I_c$  возрастает ( $U_{зи} = \text{const}$ );
3. Стокозатворная ВАХ отличается протяжёнными линейными участками, поэтому SIT хорошо работают в УЗЧ большой мощности и в ключевом режиме.
4. SIT могут использоваться и в биполярном режиме, когда  $U_{зи} < 0$ , при этом р-п переход открывается и SIT переходит в режим БТ. В этом режиме при открытом SIT  $U_{си}$  – мало при больших токах  $I_c$ , но быстродействие снижается.

## Заключение

На сегодняшний день IGBT как класс приборов силовой электроники занимает и будет занимать доминирующее положение для диапазона мощностей от единиц киловатт до единиц мегаватт. Дальнейшее развитие IGBT связано с требованиями рынка и будет идти по пути:

- повышения диапазона предельных коммутируемых токов и напряжений (единицы килоампер, 5-7 кВ);
- повышения быстродействия;
- повышения стойкости к перегрузкам и аварийным режимам;
- снижения прямого падения напряжения;
- разработка новых структур с плотностями токов, приближающихся к тиристорным;
- развития "интеллектуальных" IGBTмодулей (с встроенными функциями диагностики и защит) ;
- создания новых высоконадёжных корпусов, в том числе с использованием MMC (AlSiC) ;
- повышения частоты и снижение потерь SiC быстро восстанавливающихся обратных диодов;
- применения прямого водяного охлаждения для исключения соединения основание - охладитель.

