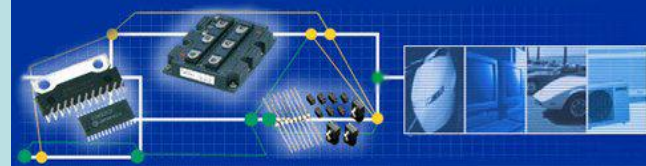


# Твердотельная электроника

## Лекция 7



## 7.1 Биполярный транзистор с изолированным затвором – БТИЗ (IGBT)

БТИЗ называется полупроводниковый прибор, выполненный как сочетание входного полевого транзистора и выходного биполярного n-p-n транзистора.

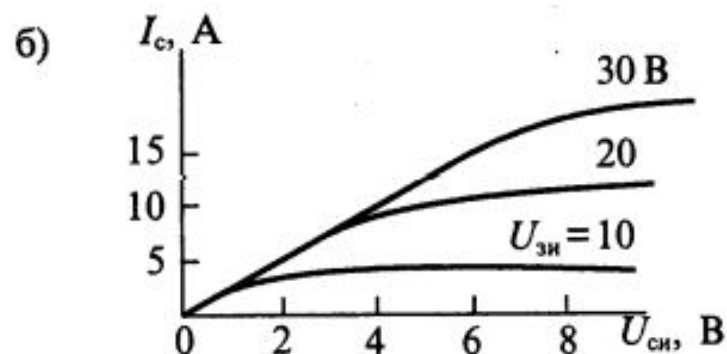
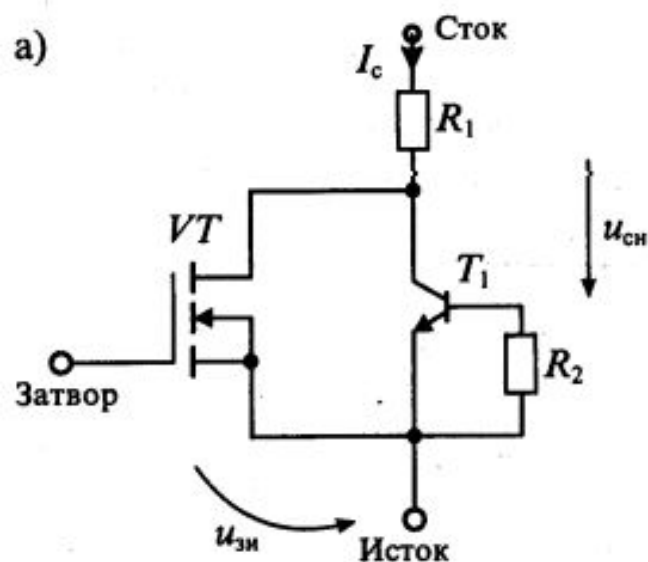


Рис.1 Схема замещения полевого транзистора с индуцированным каналом по технологии вертикального канала (а) и его выходные вольт-амперные характеристики

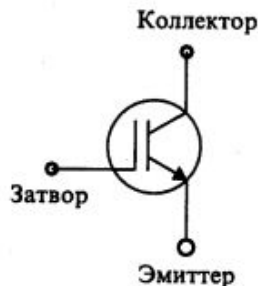
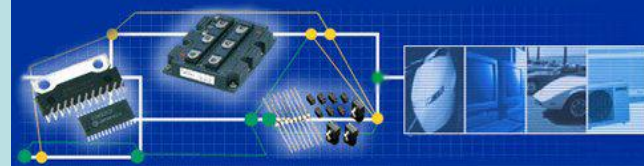


Рис.2 УГО IGBT

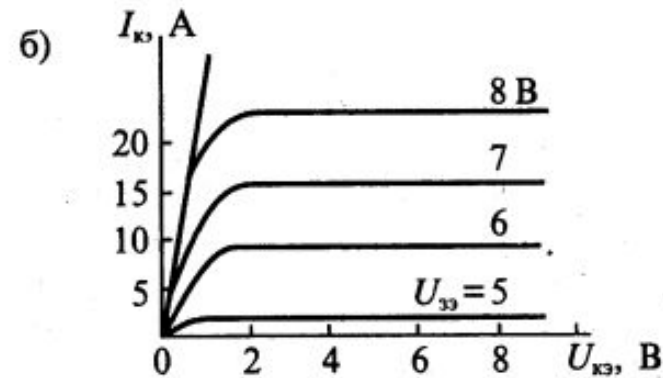
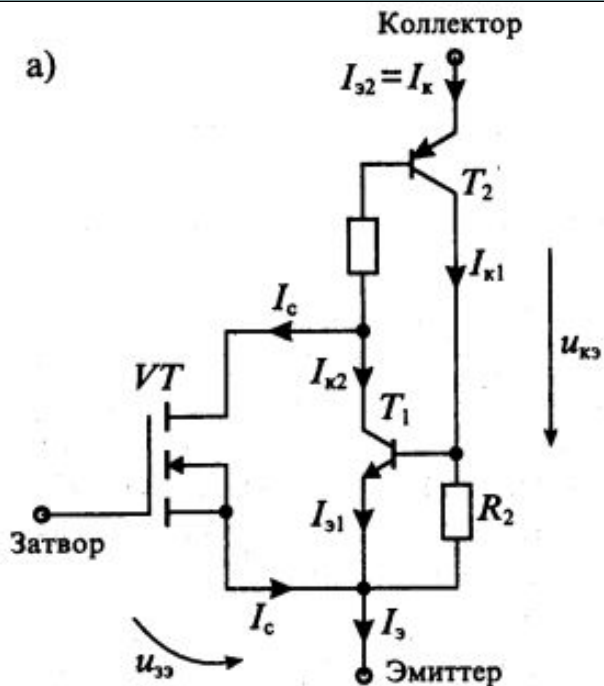


Рис.3 Схема замещения IGBT (а) и его выходные вольт-амперные характеристики (б)

$$I_{к2} = I_{32} \alpha_2, \quad I_{к1} = I_{31} \alpha_2$$

$$I_3 = I_{к1} + I_{к2} + I_c$$

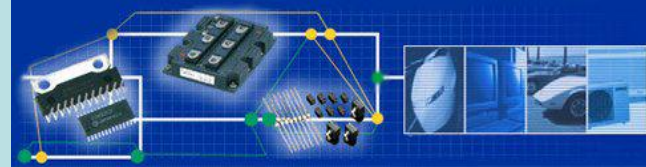
$$I_c = I_3 (1 - \alpha_1 - \alpha_2)$$

$$I_c = S U_3$$

$$I_k = I_3 = \frac{S U_3}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)} = S_3 U_3,$$

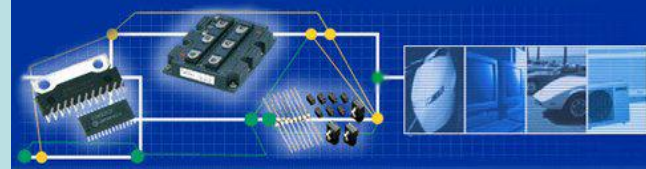
$$S_3 = S / [1 - (\alpha_1 + \alpha_2)]$$

$S_3$  – эквивалентная крутизна БТИЗ



# РАЗВИТИЕ IGBT

- ✘ **I поколение IGBT (1985 г.):** предельные коммутируемые напряжения 1000 В и токи 200 А в модульном и 25 А в дискретном исполнении, прямые падения напряжения в открытом состоянии 3,0-3,5 В, частоты коммутации до 5 кГц (время включения/выключения около 1 мкс).
- ✘ **II поколение (1991 г.):** коммутируемые напряжения до 1600 В, токи до 500 А в модульном и 50 А в дискретном исполнении; прямое падение напряжения 2,5-3,0 В, частота коммутации до 20 кГц ( время включения/выключения около 0,5 мкс).
- ✘ **III поколение (1994 г.):** коммутируемое напряжение до 3500 В, токи 1200 А в модульном исполнении. Для приборов с напряжением до 1800 В и токов до 600 А прямое падение напряжения составляет 1,5-2,2 В, частоты коммутации до 50 кГц (времена около 200 нс).
- ✘ **IV поколение (1998 г.):** коммутируемое напряжение до 4500 В, токи до 1800 А в модульном исполнении; прямое падение напряжения 1,0-1,5 В, частота коммутации до 50 кГц (времена около 200 нс).



## 7.2 Питание цепи базы биполярного транзистора и температурная стабилизация рабочей точки

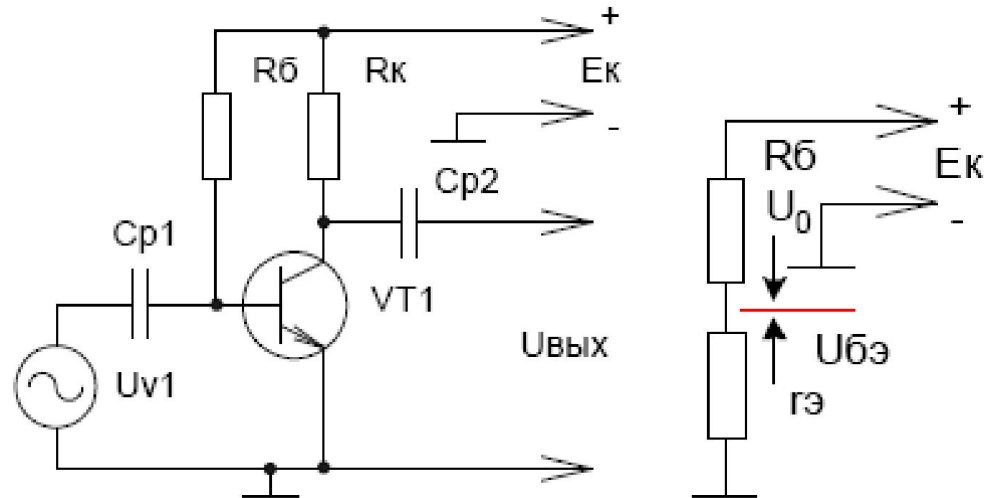


Рис.4 Схема питания цепи базы с фиксированным током базы

$$E_{\text{б}} = U_{\text{бэ}} + U$$

$$E_{\text{б}} = R_{\text{б0}} \cdot I_{\text{б0}} + U$$

$$R_{\text{б}} = \frac{E_{\text{к}} - U_{\text{бэ}}}{I_{\text{б0}}};$$

$$E_{\text{к}} \gg U_{\text{бэ}};$$

$$R_{\text{б}} \approx \frac{E_{\text{к}}}{I_{\text{б0}}}$$

**Недостаток данной схемы:** не может работать в широком диапазоне температур, т. к. сопротивление эмиттерного перехода  $r_{\text{э}}$  очень сильно зависит от температуры.

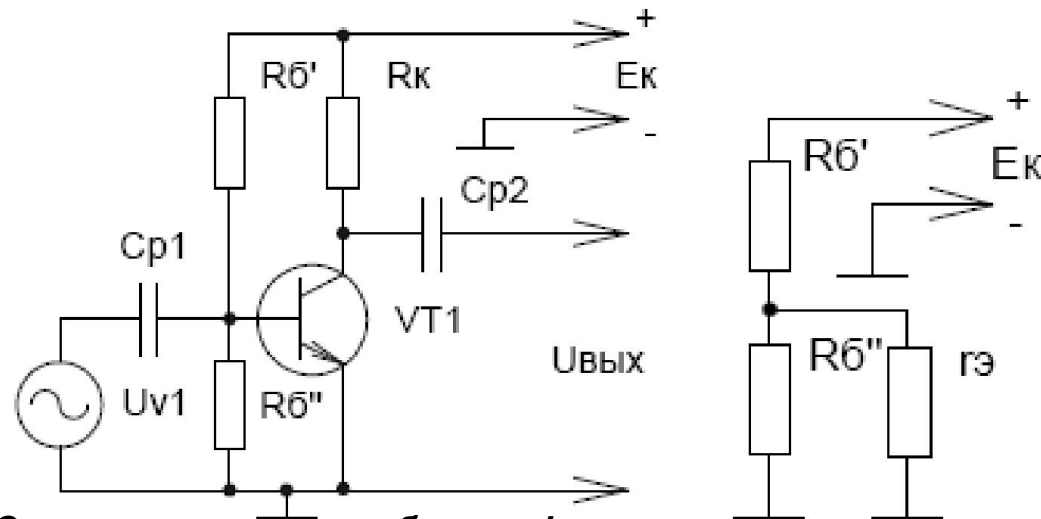
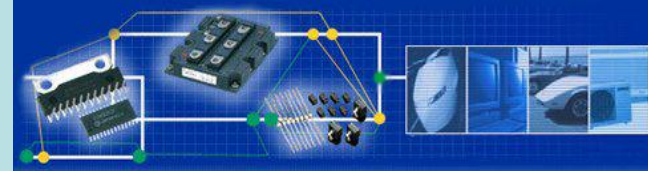


Рис.5 Схема питания цепи базы с фиксированным напряжением базы

$$E_{\text{б}} = U_{R_{\text{б}'}} + U_{\text{бэ}}$$

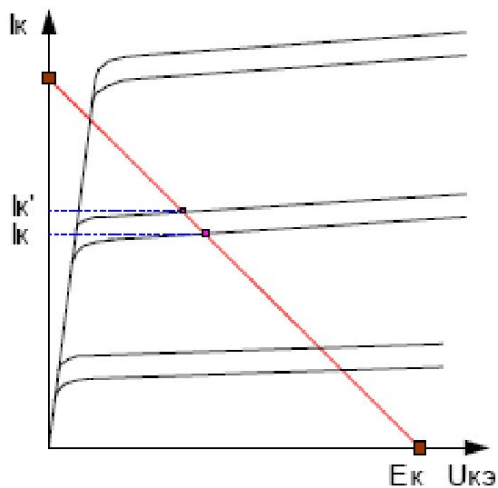
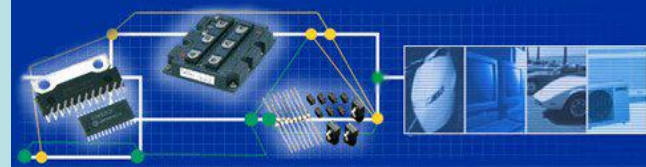
$$E_{\text{б}} = R_{\text{б}'0}' \cdot (I_{\text{д}} + I_{\text{бэ}})$$

$$U_{R_{\text{б}'0}} = U_{\text{бэ}}$$

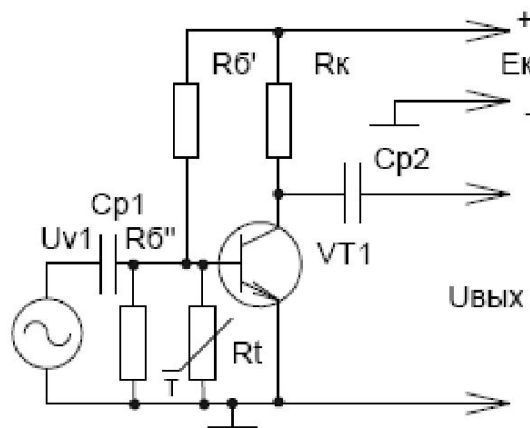
$$E_{\text{б}} = R_{\text{б}'0}' \cdot (I_{\text{д}} + I_{\text{бэ}}) + U_{\text{бэ}}$$

$$R_{\text{б}'0}' = \frac{E_{\text{к}} - U_{\text{бэ}}}{I_{\text{бэ}} + I_{\text{д}}}$$

Данная схема в диапазоне температур работает лучше, чем схема с фиксированным током базы, однако для нормальной её работы необходима температурная стабилизация.

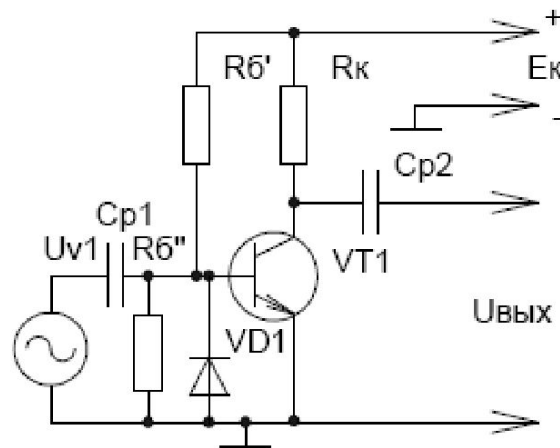


а)



б)

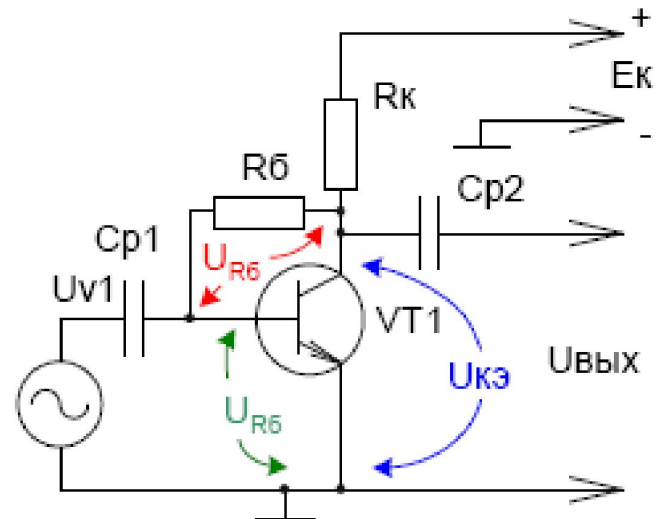
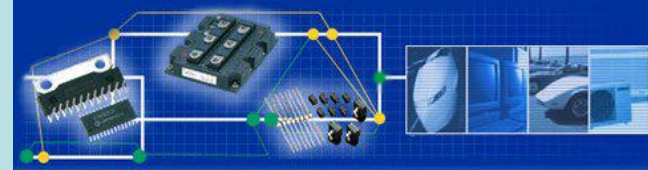
в)



**Рис.6 Термостабилизация рабочей точки при помощи терморезистора (б) и полупроводникового диода (в)**

При нагревании сопротивление терморезистора уменьшается, что приводит к общему уменьшению сопротивления включённых в параллель резисторов  $R_{б''}$  и  $R_t$ . За счёт этого напряжение  $U_{бэ}$  будет уменьшаться, эмиттерный переход призапирается, и рабочая точка сохраняет своё положение на нагрузочной прямой.

При увеличении температуры сопротивление диодов в обратном включении будет уменьшаться за счёт термогенерации носителей заряда в полупроводнике. Общее сопротивление включённых параллельно резистора  $R_{б''}$  и диода  $VD1$  будет уменьшаться, что приведёт к уменьшению напряжения  $U_{бэ}$ , транзистор призапирается и рабочая точка сохраняет своё положение.



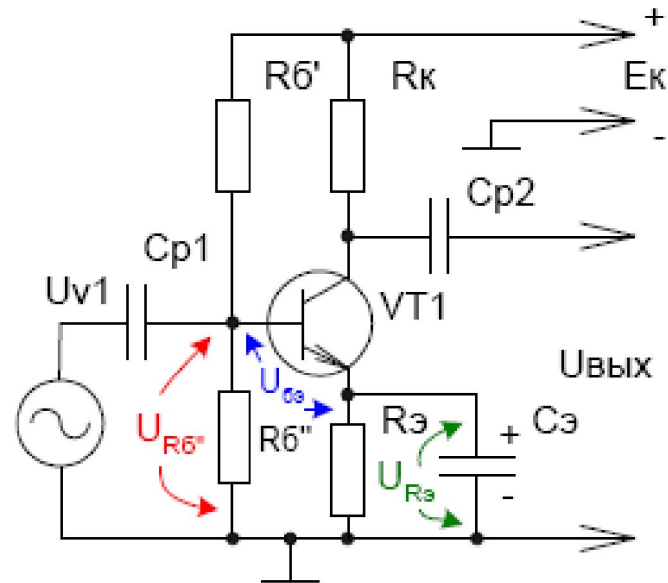
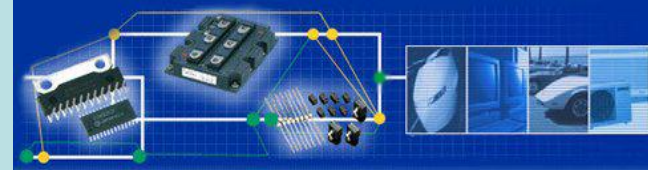
**Рис.7** Термостабилизация рабочей точки при помощи ООС по постоянному напряжению

$$U_{кэ} = U_{Rб} + U_{бэ}$$

$$U_{бэ} \downarrow = U_{кэ} \downarrow - U_{Rб}, U_{Rб} = const$$

При увеличении температуры напряжение  $U_{кэ}$  уменьшается. Это уменьшение напряжения через цепь обратной связи (ОС), состоящую из  $Rб$ , передаётся на базу транзистора. Напряжение  $U_{бэ}$  уменьшается. Эмиттерный переход подзапирается, и рабочая точка сохраняет своё положение.

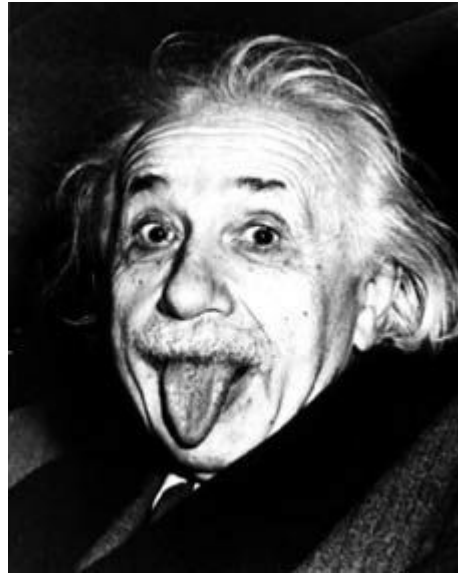
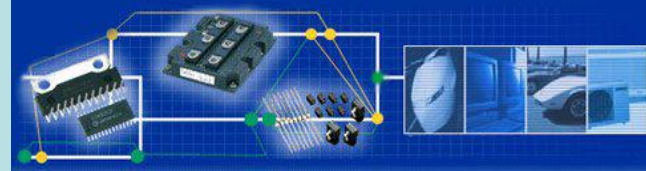




**Рис.8 Термостабилизация рабочей точки при помощи ООС по постоянному току**

При возрастании температуры увеличивается ток коллектора транзистора  $I_k$ , следовательно, и ток эмиттера  $I_э$ . За счёт этого  $U_{Rбэ}$  будет уменьшаться.  $U_{бэ} \uparrow = U_{Rб''} - U_{Rэ} \uparrow$ , так как  $U_{Rб''} = Const$ . Эмиттерный переход призапирается, и рабочая точка сохраняет своё положение. Так как изменение напряжения на  $R_э$  должно зависеть только от изменения температуры и не изменяться по закону переменной составляющей усиливаемого сигнала, резистор  $R_э$  шунтируется конденсатором большой ёмкости, через который будет протекать переменная составляющая, а через  $R_э$  будет протекать постоянная составляющая тока.

$$\frac{1}{\omega_n \cdot C_э} \ll R_э$$



*That's all  
folks...*