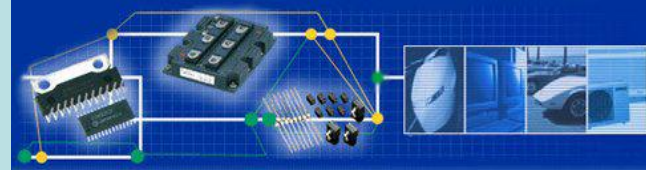


Твердотельная электроника

Лекция 4



4. Эквивалентная схема биполярного транзистора. h и Y -параметры.

4.1 Эквивалентная схема БТ с ОБ

Эквивалентная схема транзистора может быть построена на основании того, что сопротивление открытого эмиттерного перехода составляет десятки Ом.

$$r_{э} = n \cdot 10 \text{ Ом}$$

$$r_{б} = n \cdot 100 \text{ Ом}$$

$$r_{к} = n \cdot (10 \div 100) \text{ кОм}$$

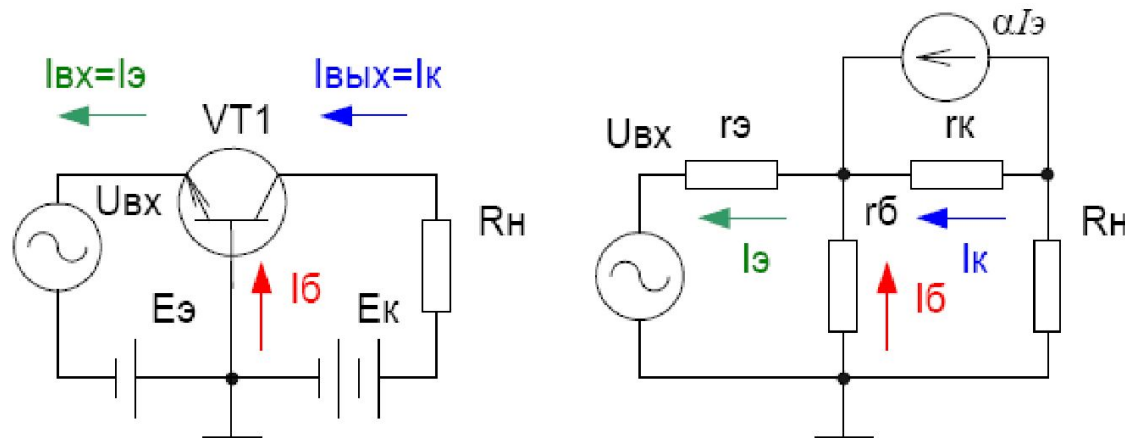
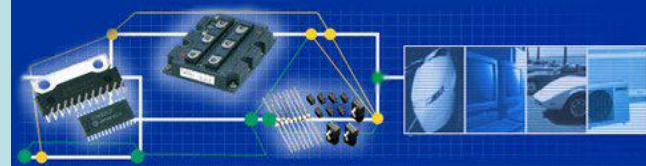


Рис.1 Включение транзистора по схеме с ОБ и его эквивалентная схема

$$R_{вх} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}} = \frac{U_{бэ} + U_{rб}}{I_{э}} = \frac{U_{бэ}}{I_{э}} + \frac{U_{rб}}{I_{э}} = r_{э} + \frac{r_{б}}{\beta} = r_{э} + \frac{r_{б}}{\beta} = r_{э} + (1 - \alpha) \cdot r_{к}$$

$$R_{вх} = r_{э} = n \cdot 10 \text{ Ом}$$



4.2 Эквивалентная схема БТ с ОЭ

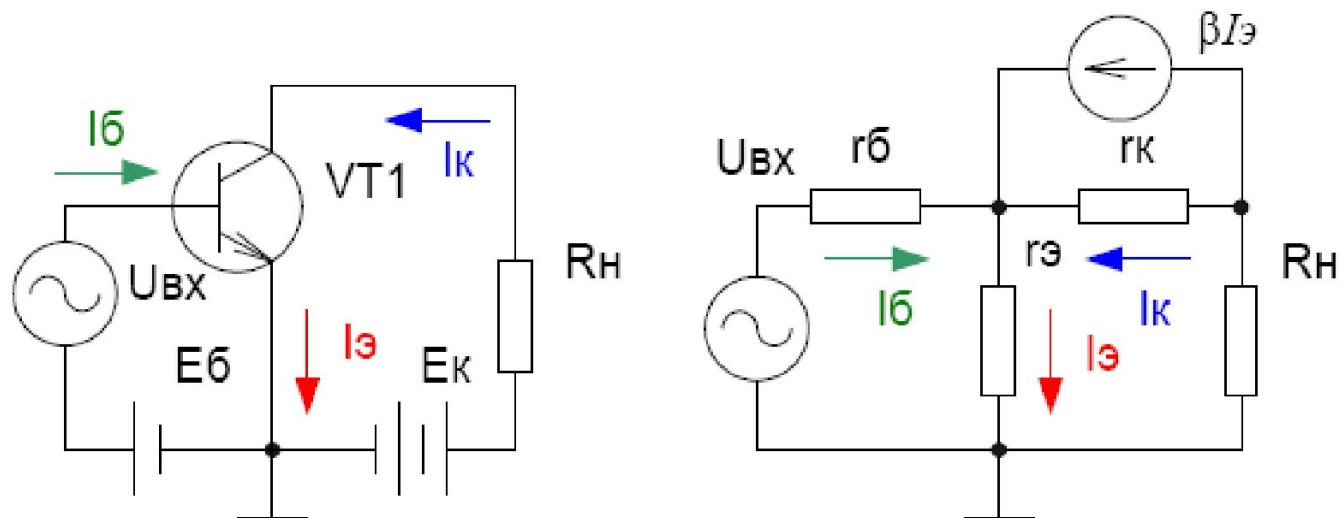
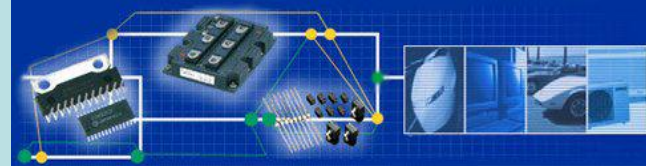


Рис.2 Включение транзистора по схеме с ОЭ и его эквивалентная схема

$$R_{вх} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}} = \frac{U_{rб} + U_{rэ}}{I_{б}} = \frac{I_{б} \cdot r_{б} + I_{э} \cdot r_{э}}{I_{б}} = r_{б} + \frac{I_{б} + I_{к}}{I_{б}} \cdot r_{э} = r_{б} + (1 + \beta) \cdot r_{э}$$

$$R_{вх} \approx n \cdot (100 \div 1000) \text{ Ом}$$



4.3 Эквивалентная схема БТ с ОК

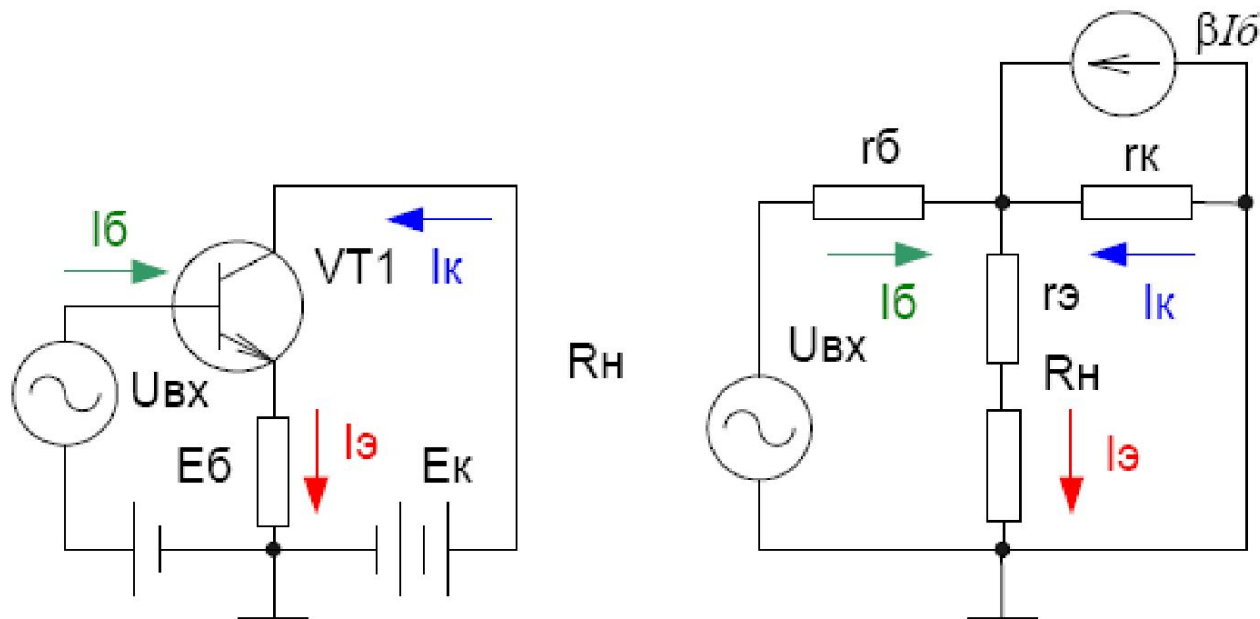
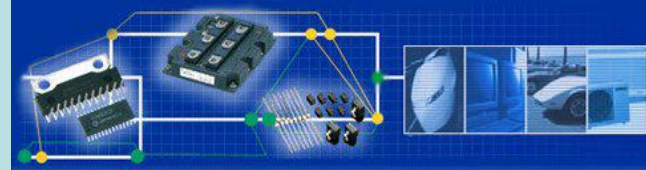


Рис.3 Включение транзистора по схеме с ОК и его эквивалентная схема

$$R_{ВХ} = \frac{U_{ВХ}}{I_{ВХ}} = \frac{U_{rб} + U_{rэ}}{I_б} = \frac{I_б \cdot r_б + I_э \cdot (r_э + R_н)}{I_б} = r_б + \frac{I_э \cdot (r_э + R_н)}{I_б} = r_б + \frac{(I_к + I_б) \cdot (r_э + R_н)}{I_б} = r_б + (1 + \beta) \cdot (r_э + R_н)$$



4.4. Транзистор как активный четырёхполюсник

Любой транзистор независимо от схемы включения обладает рядом параметров, которые возможно разбить на две группы:

- Предельные параметры – все максимальные значения
- Параметры транзистора в режиме малого сигнала.

Данные параметры объединяются в несколько систем параметров, которые можно определить, представив транзистор в виде активного четырёхполюсника.

Четырёхполюсником называется любое электрическое устройство, имеющее 2 входных и 2 выходных зажима.

Активным четырёхполюсником называется четырёхполюсник, способный усиливать мощность.

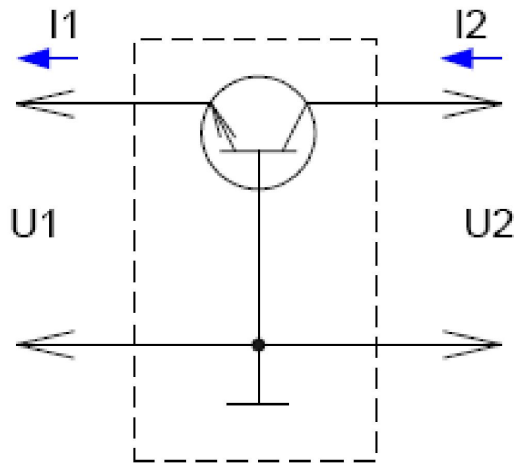
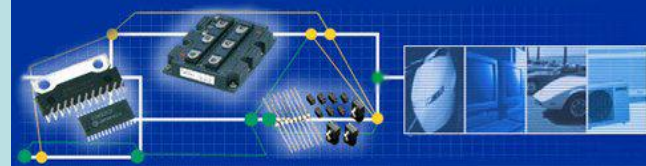


Рис.4 Транзистор в виде активного четырёхполюсника

Таблица 1

Независимая переменная	$I_1 I_2$	$U_1 U_2$	$I_1 U_2$
Зависимая переменная	$U_1 U_2$	$I_1 I_2$	$I_2 U_1$
Система	z	y	h



4.5 h -параметры и Y -параметры транзистора

4.5.1 h -параметры и их физический смысл

В системе h -параметров в виде независимых переменных приняты входной ток и выходное напряжение. В этом случае зависимые переменные U_1 и I_2 . Полный дифференциал функций U_1 и I_2 равен:

$$dU_1 = \frac{\partial U_1}{\partial I_1} \cdot dI_1 + \frac{\partial U_1}{\partial U_2} \cdot dU_2$$

$$dI_2 = \frac{\partial I_2}{\partial I_1} \cdot dI_1 + \frac{\partial I_2}{\partial U_2} \cdot dU_2$$

$$\frac{\partial U_1}{\partial I_1} = h_{11}$$

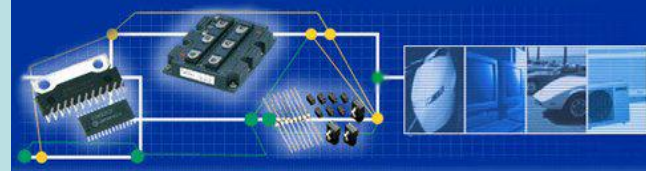
$$\frac{\partial I_2}{\partial I_1} = h_{21}$$

$$\frac{\partial I_2}{\partial U_2} = h_{22}$$

$$\frac{\partial U_1}{\partial U_2} = h_{12}$$

$$\left. \begin{aligned} dU_1 &= h_{11} \cdot dI_1 + h_{12} \cdot dU_2 \\ dI_2 &= h_{21} \cdot dI_1 + h_{22} \cdot dU_2 \end{aligned} \right\} \text{Перейдём от бесконечно малых приращений } dU_1, dI_1, dU_2, dI_2 \text{ к конечным приращениям. Получим:}$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_1 &= h_{11} \cdot \Delta I_1 + h_{12} \cdot \Delta U_2 \\ \Delta I_2 &= h_{21} \cdot \Delta I_1 + h_{22} \cdot \Delta U_2 \end{aligned} \right\}$$



В режиме малого сигнала приращение постоянных составляющих ΔU_1 , ΔI_1 , ΔU_2 и ΔI_2 можно заменить амплитудными значениями переменных составляющих этих же токов и напряжений. Получим:

$$\left. \begin{aligned} U_{m1} &= h_{11} \cdot I_{m1} + h_{12} \cdot \Delta U_{m2} \\ I_{m2} &= h_{21} \cdot I_{m1} + h_{22} \cdot \Delta U_{m2}^{(*)} \end{aligned} \right\}$$

В первом уравнении системы (*) приравняем U_{m2} к 0. Получим:

$$U_{m1} = h_{11} \cdot I_{m1} \Rightarrow h_{11} = \frac{U_{m1}}{I_{m1}}$$

h_{11} – это входное сопротивление транзистора при $U_{m2} = 0$, то есть при коротком замыкании в выходной цепи по переменному току (конденсатором). В первом уравнении системы (*) приравняем I_{m1} к 0. Получим:

$$I_{m1} = 0$$

$$U_{m1} = h_{12} \cdot U_{m2} \Rightarrow h_{12} = \frac{U_{m1}}{U_{m2}}$$

h_{12} – представляет собой коэффициент обратной связи на холостом ходу во входной цепи по переменному току. Коэффициент обратной связи показывает степень влияния выходного напряжения на входное (катушкой индуктивности).

Во втором уравнении системы (*) приравняем U_{m2} к 0. Получим:

$$U_{m2} = 0$$

$$I_{m2} = h_{21} \cdot I_{m1}$$

$$h_{21} = \frac{I_{m2}}{I_{m1}}$$

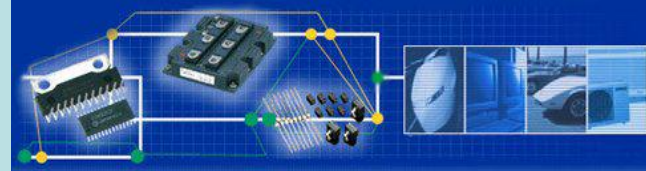
h_{21} – коэффициент усиления по току транзистора или коэффициент передачи тока при коротком замыкании выходной цепи по переменному току.

Приравняем во втором уравнении системы (*) I_{m1} к 0. Получим:

$$I_{m2} = h_{22} \cdot U_{m2}$$

$$h_{22} = \frac{I_{m2}}{U_{m2}}$$

h_{22} – выходная проводимость на холостом ходу во входной цепи.



4.5.2 Определение h -параметров по статическим характеристикам

Так как статические характеристики транзисторов измеряются только на постоянном токе, то при определении амплитудных параметров токов и напряжений представим в виде приращения постоянных составляющих.

$$h_{11} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1}, U_2 = const$$

$$h_{12} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2}, I_1 = const$$

$$h_{21} = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1}, U_2 = const$$

$$h_{22} = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2}, I_1 = const$$

Величины h_{11} и h_{12} определяются по входным характеристикам транзистора.

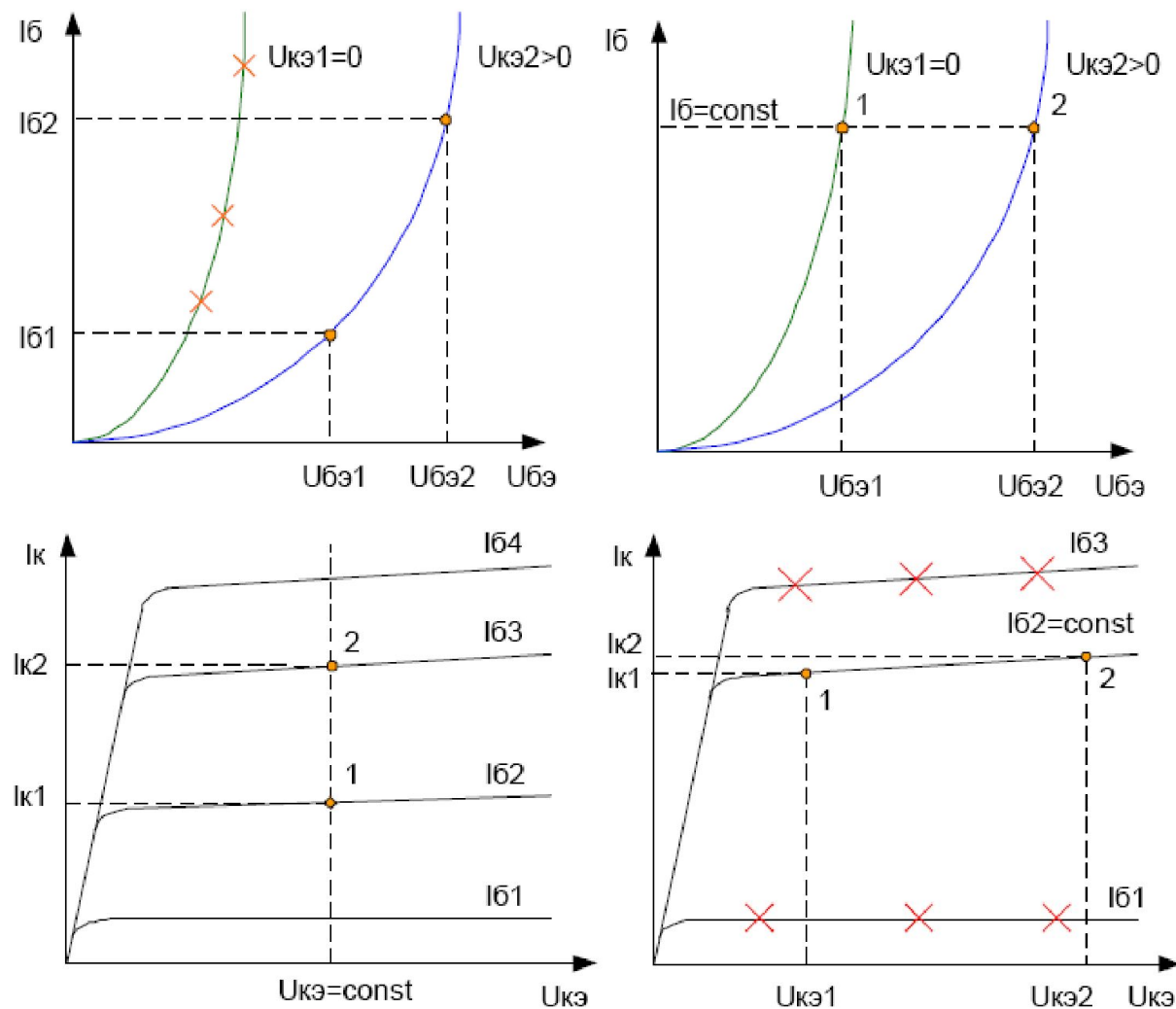
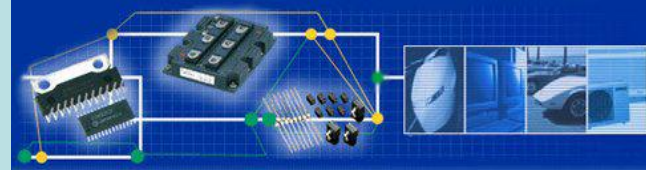


Рис.5 Входные и выходные характеристики БТ по схеме с ОЭ

$$h_{11э} = \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta I_{бэ}}, U_{кэ} = const$$

$$h_{11э} = \frac{U_{бэ2} - U_{бэ1}}{I_{бэ2} - I_{бэ1}}$$

$$h_{12э} = \frac{\Delta U_{бэ}}{\Delta U_{кэ}}, I_{бэ} = const$$

$$h_{12э} = \frac{U_{бэ2} - U_{бэ1}}{U_{кэ2} - U_{кэ1}}$$

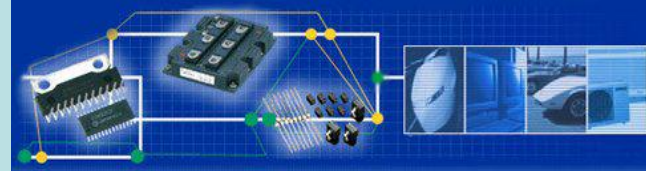
Параметры h_{21} и h_{22} определяются по выходным характеристикам:

$$h_{21э} = \frac{I_{к2} - I_{к1}}{I_{б3} - I_{б2}}$$

$$h_{21э} = \frac{I_{к2} - I_{к1}}{\Delta I_{бэ}}$$

$$h_{22э} = \frac{\Delta I_{кэ}}{\Delta U_{кэ}}, I_{бэ} = const$$

$$h_{22э} = \frac{I_{к2} - I_{к1}}{U_{кэ2} - U_{кэ1}}$$



4.5.3 Y-параметры транзисторов

Все параметры делятся на собственные (или первичные) и вторичные. Собственные характеризуют свойства самого транзистора, независимо от схемы его включения, а вторичные параметры для различных схем включения различны. Основные первичные параметры: коэффициент усиления по току α , сопротивления r_b , $r_э$, r_k . Y-параметры относятся ко вторичным параметрам. Они имеют смысл проводимостей.

Все системы вторичных параметров основаны на том, что транзистор рассматривается как четырёхполюсник (2 входа и 2 выхода). Вторичные параметры связывают входные и выходные переменные токи и напряжения и справедливы только для малых амплитуд. Поэтому их ещё называют **низкочастотными малосигнальными параметрами**.

Входная проводимость:

$$y_{11} = \frac{\Delta I_1}{\Delta U_1}, U_2 = const$$

Проводимость обратной связи:

$$y_{12} = \frac{\Delta I_1}{\Delta U_2}, U_1 = const$$

Проводимость управления (крутизна):

$$y_{21} = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_1}, U_2 = const$$

Выходная проводимость:

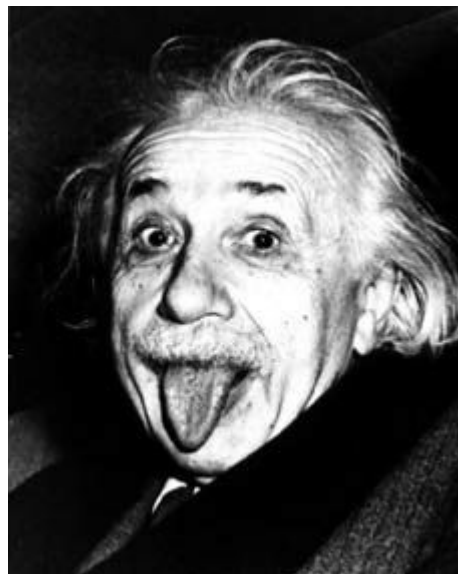
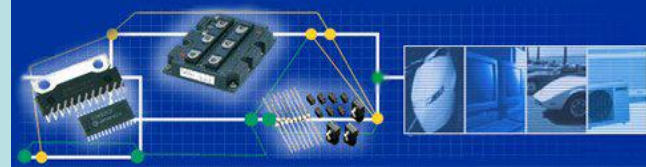
$$y_{22} = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2}, U_1 = const$$

Статический коэффициент усиления по напряжению:

$$\mu = \frac{\Delta U_2}{\Delta U_1}, I_2 = const, \mu = \frac{y_{21}}{y_{22}}$$

Параметр **y12** показывает, какое изменение тока I_1 получается за счёт обратной связи при изменении выходного напряжения U_2 на $1B$.

Величина **y21** характеризует управляющее действие входного напряжения U_1 на выходной ток I_2 и показывает изменение I_2 при изменении U_1 на $1B$.



*That's all
folks...*