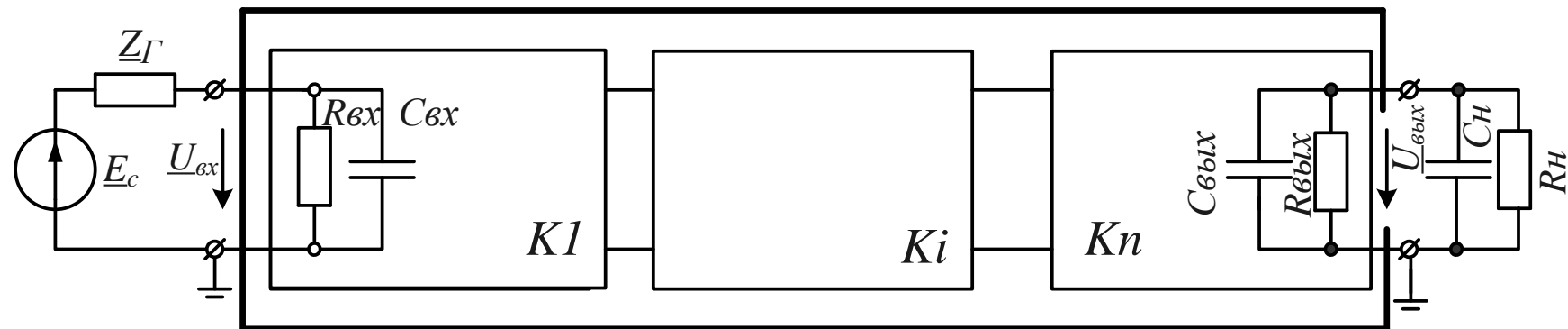


Лекция 4

Расчет транзисторных усилителей в режиме малого сигнала

Определение, классификация, основные характеристики и параметры усилителей

Усилителем называется устройство, предназначенное для усиления входного электрического сигнала по напряжению, по току или по мощности за счёт преобразования энергии источника питания в энергию выходного сигнала.



Генератор сигнала \underline{E}_c , \underline{Z}_Γ . Нагрузка R_H , C_H .

Каждый каскад характеризуется:

Входное сопротивление: $R_{вх}$, $C_{вх}$; выходное сопротивление $R_{вых}$, $C_{вых}$; коэффициент усиления каскада K_i , АЧХ, ФЧХ и т.д..

Классификация усилителей

По роду усиливаемого сигнала:

- усилители гармонических сигналов (непрерывных колебаний);
- усилители импульсных сигналов.
- усилители постоянного тока (УПТ);

По функциональному назначению:

- усилители напряжения;
- усилители тока;
- усилители мощности.

По диапазону усиливаемых частот:

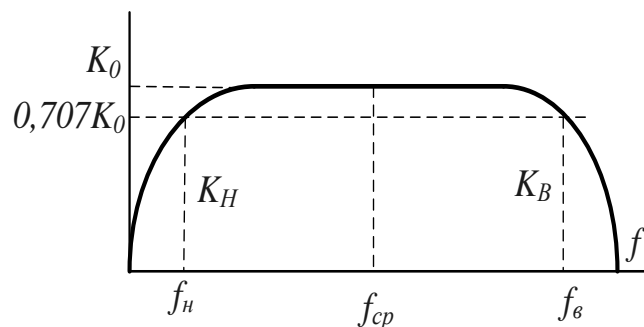
- усилители напряжения звуковой частоты — **УЗЧ** (прежнее название — усилители напряжения низкой частоты (УНЧ)).
Диапазон частот таких усилителей — от десятков Гц до десятков или сотен кГц;

- усилители напряжения радиочастот **УРЧ** (прежнее название — усилители напряжения высокой частоты (УВЧ));
- избирательные (резонансные) усилители (узкополосные);
- широкополосные усилители (от сотен кГц до сотен МГц).

Считаем, что в каждом отдельном каскаде для транзистора выбрана оптимальная рабочая точка и установлено нужное значение тока базы в режиме покоя.

Основные характеристики усилителя

Основными характеристиками усилителей являются следующие.



АЧХ

Амплитудночастотная характеристика усилителя (АЧХ) — зависимость коэффициента усиления от частоты ;

Фазочастотная характеристика (ФЧХ) — зависимость угла сдвига фаз между входным и выходным напряжениями от частоты.

Если сигнал сложной формы, с «большим набором» гармоник, то на выходе усилителя с

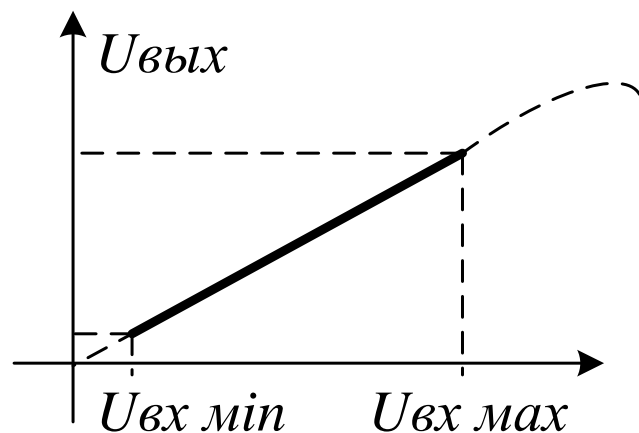
неравномерной АЧХ возникнут большие частотные искажения.

Коэффициентом частотных искажений:

$$M_n = \frac{K_0}{K_n} \text{ и } M_v = \frac{K_0}{K_v},$$

M_n , и M_v — коэффициенты частотных искажений на нижних и верхних граничных частотах;

K_n и K_v — коэффициенты усиления на нижних и верхних частотах соответственно; K_0 — коэффициент усиления на средних частотах.



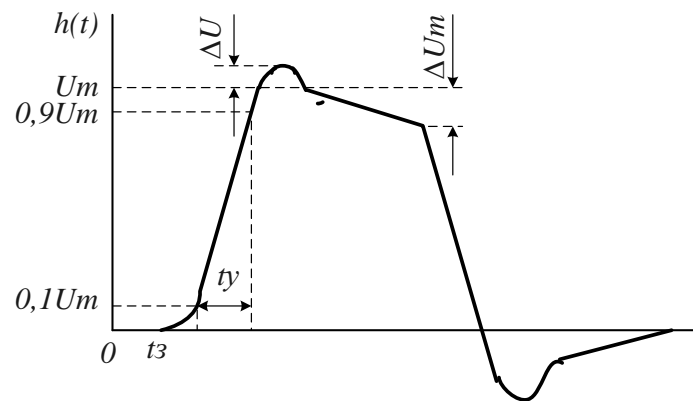
Передаточная характеристика — это зависимость амплитуды выходного напряжения от амплитуды входного. Идеальная передаточная характеристика должна быть линейной в динамическом диапазоне входных сигналов (от $U_{вх min}$ до $U_{вх max}$).

Уровень нелинейных искажений оценивают при включении на вход гармонического сигнала коэффициентом нелинейных искажений:

$$K_{ни} = \frac{\sqrt{U_{m2}^2 + U_{m3}^2 + \dots U_{mn}^2}}{U_{m1}},$$

где: U_{m1} - амплитуда первой гармоники выходного сигнала, $U_{m2} \dots U_{mn}$ - амплитуды всех остальных гармоник выходного сигнала.

Переходные искажения в импульсных усилителях измеряют при подаче на вход идеального прямоугольного импульса.



Искажения фронта характеризуются:

- временем установления t_y , т.е. временем нарастания амплитуды импульса от $0,1U_m$ до $0,9U_m$;
- выбросом фронта импульса δ , определяемым отношением амплитуды выброса ΔU к

амплитуде установившегося режима U_m ;

-временем запаздывания t_3 относительно входного сигнала по уровню $0,1U_m$.

Искажения плоской вершины импульса Δ характеризуется величиной спада напряжения ΔU_m за время длительности импульса:

$$\Delta, \% = \frac{\Delta U_m}{U_m} \cdot 100\%.$$

Искажения фронта обусловлены ограничением АЧХ в области высоких частот, а искажения плоской вершины обусловлены ограничением АЧХ на низких частотах.

Собственные помехи усилителя: фон, наводки и шумы.

Тепловой шум резистора по формуле Найквиста:

$$\bar{E}_{ш}^2 = 4kTR\Delta f$$

Коэффициент шума усилителя:

$$F = (P_c / P_{и})_{вх} / (P_c / P_{\Sigma и})_{вых};$$

$$F, dB = 10 \lg F.$$

Параметры усилителя

- коэффициент усиления по напряжению:

$$\underline{K}_U = \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = |\underline{K}| \exp(j\varphi),$$

где φ - фазовый сдвиг между выходным и входным сигналом.

Значение $|\underline{K}|$ на средних частотах рабочего диапазона, обозначают как K_0 , называют коэффициентом усиления.

В логарифмических единицах: $K_0, dB = 20 \lg K_0$.

Для n-каскадных усилителей, когда каскады включены последовательно, коэффициенты усиления по напряжению перемножаются:

$$K_{\Sigma} = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n,$$

а в логарифмических единицах складываются:

$$K_{\Sigma}, dB = K_1, dB + K_2, dB + \dots + K_n, dB.$$

- коэффициент передачи по току:

$$\underline{K}_I = \underline{I}_{\text{вых}} / \underline{I}_{\text{вх}} = | \underline{K}_I | \exp(j\varphi).$$

- коэффициент усиления по мощности K_P :

$$K_P = P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}}.$$

Для n-каскадных усилителей $K_{P\Sigma}$ в относительных и логарифмических единицах определяются аналогично K_Σ , только

$$K_P, dB = 10 \lg K_P.$$

- сквозные коэффициенты, например, сквозной коэффициент передачи по напряжению \underline{K}_E :

$$\underline{K}_E = \underline{U}_{\text{вых}} / \underline{E}_c,$$

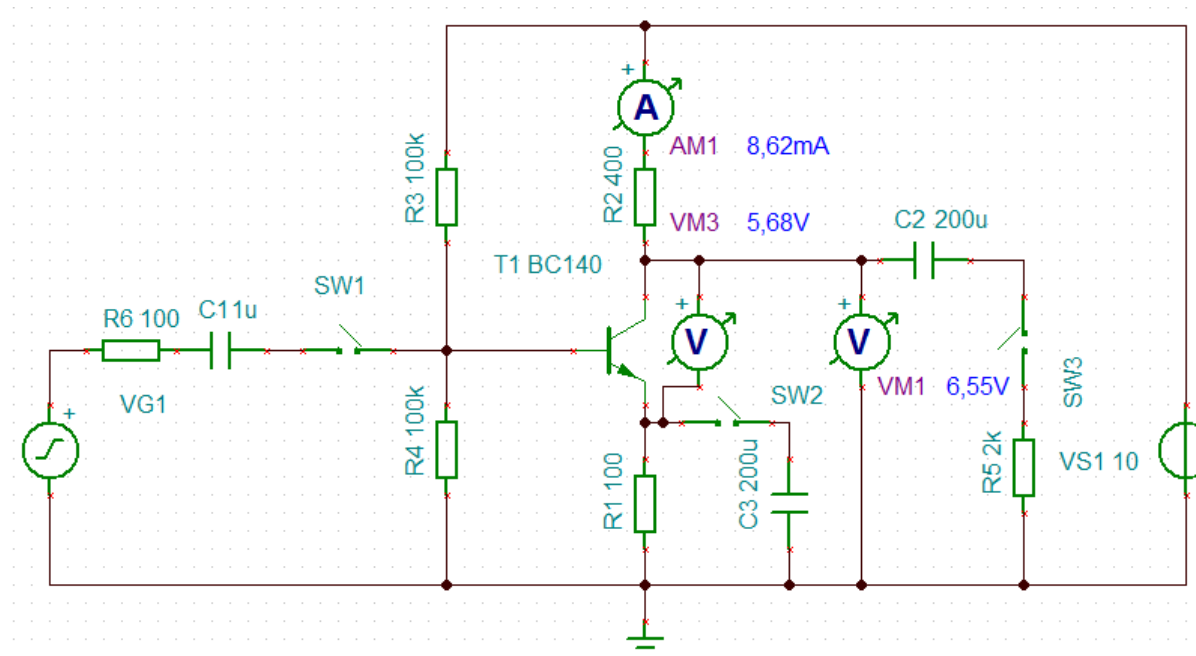
где E_c - ЭДС источника сигнала.

- коэффициент полезного действия:

$$\text{КПД} = P_{\text{ном}} / P_0,$$

где $P_{\text{ном}}$ - максимальная выходная мощность усилителя; P_0 - мощность, потребляемая от источника питания.

Расчет транзисторного каскада с общим эмиттером в режиме малого сигнала

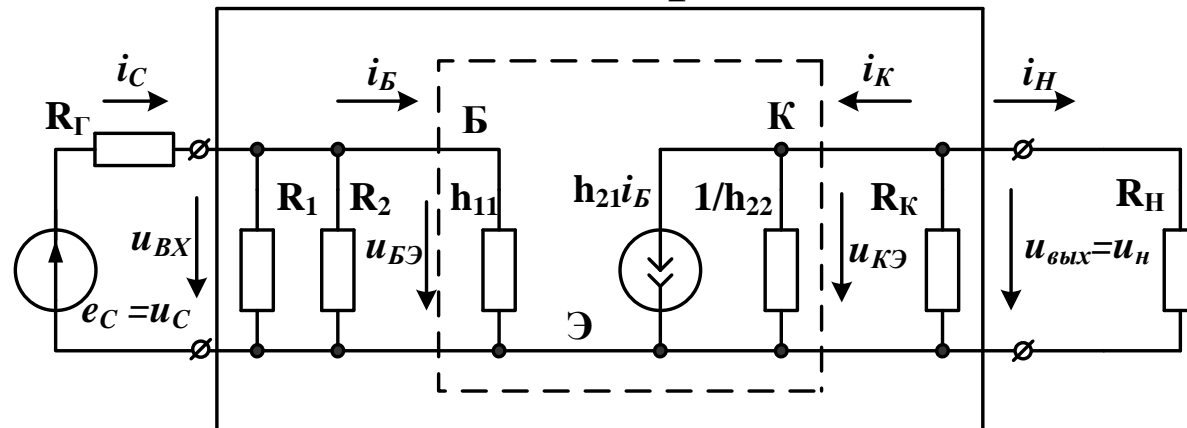


В схеме с общим эмиттером были получены следующие результаты:

$$h_{11} = 529 \text{ Ом} \quad h_{12} \approx 0$$

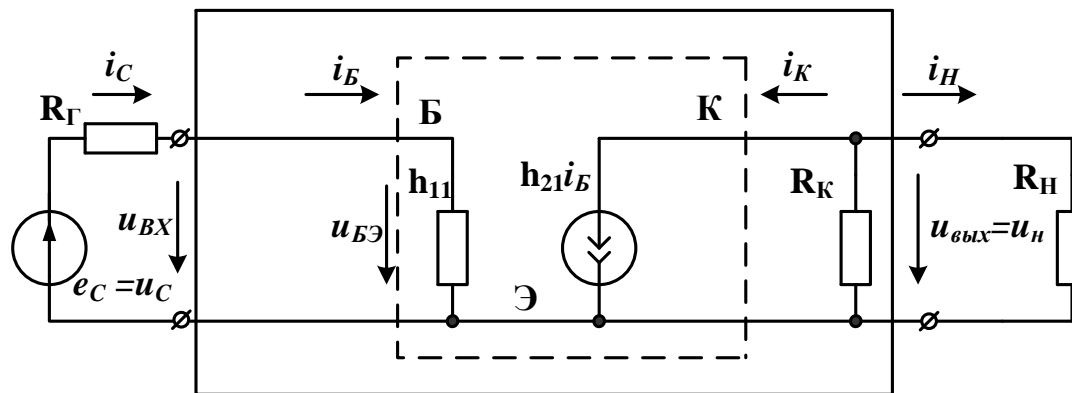
$$h_{21} = 136 \quad h_{22} = 90,13 \cdot 10^{-6} \text{ См}$$

Расчет на низких и средних частотах



Напомним, что $R_1=R_2=100\text{кОм} \gg h_{11} = 529\text{Ом}$, $R_K=400\text{Ом}$,

$$R_H=2\text{кОм}, R_\Gamma=100\text{Ом}, R_{\text{вых}} = \frac{1}{h_{22}} = \frac{10^6}{90,13} = 11,095\text{кОм} \gg R_K.$$



Упрощенная схема

Коэффициент усиления по напряжению:

$$\underline{K}_U = \underline{U}_{вых} / \underline{U}_{вх} = \frac{-h_{21} \cdot \beta_B \cdot R_K \cdot R_H}{\beta_B \cdot h_{11} (R_K + R_H)} = \frac{-136 \cdot 400 \cdot 2000}{529 \cdot 2400} = -85,69.$$

Сквозной коэффициент усиления:

$$\underline{K}_E = \underline{U}_{вых} / \underline{E}_c = \frac{-h_{21} \cdot \beta_B \cdot R_K \cdot R_H}{\beta_B \cdot (h_{11} + R_{Г}) (R_K + R_H)} = \frac{-136 \cdot 400 \cdot 2000}{629 \cdot 2400} = -72,07.$$

$$\text{Было: } \underline{K}_{E_{\text{мод}}} = -62.$$

Коэффициент усиления по току:

$$\underline{K}_I = \underline{I}_н / \underline{I}_c = \frac{-h_{21} \cdot \beta_B \cdot R_K}{\beta_B \cdot (R_K + R_H)} = \frac{-h_{21} \cdot R_K}{(R_K + R_H)} = \frac{-136 \cdot 400}{2400} = -22,66.$$

Коэффициент усиления по мощности:

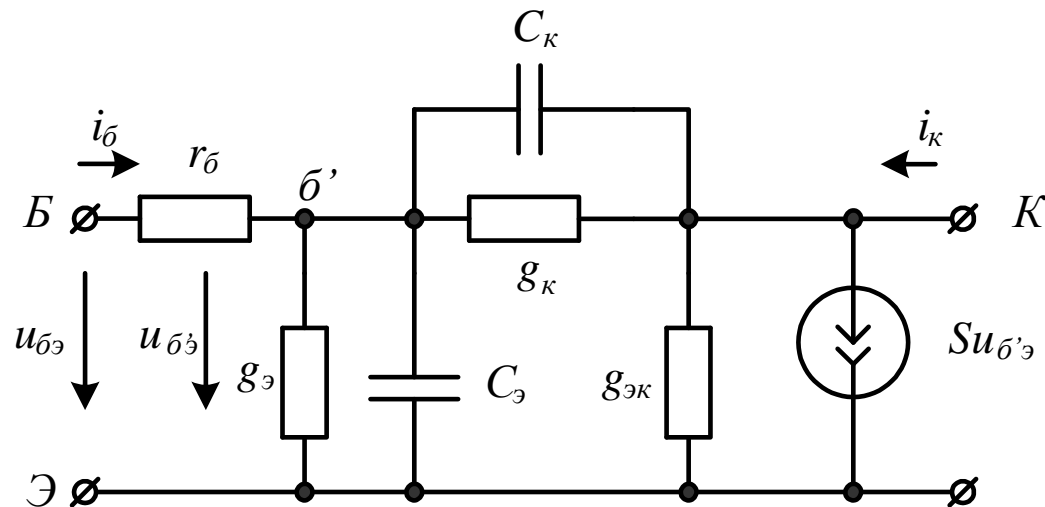
$$K_P = K_E K_I = (-72,07) \cdot (-22,66) = 1633.$$

Входное сопротивление: $R_{вх} = \frac{U_{вх}}{I_c} \approx h_{11э} = 529 \text{ Ом} ;$

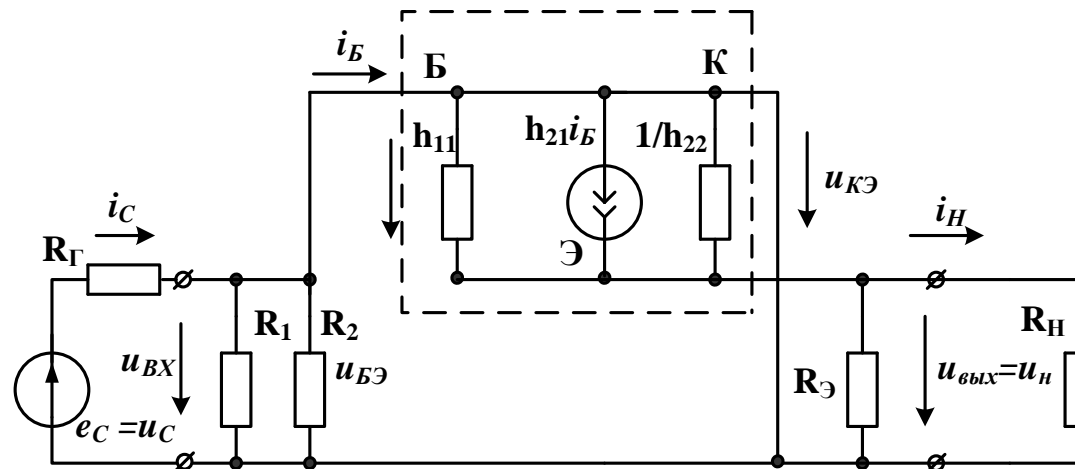
Выходное сопротивление (без учета R_H): $R_{вых} = \left| \frac{U_{вых}}{I_k} \right| \approx R_K .$

Расчет на высоких частотах

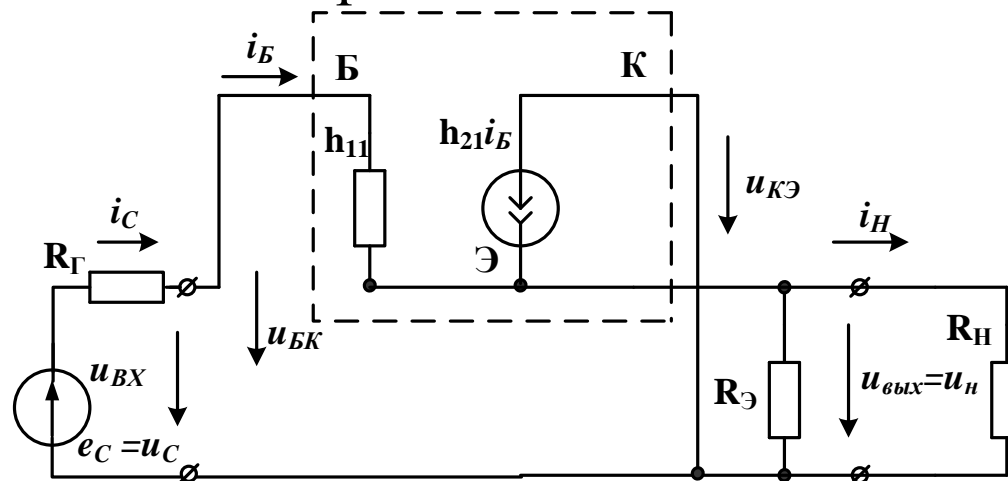
На высоких частотах расчет транзисторного усилителя ведут с использованием физической схемы замещения или схемы Джиаколетто (рис.2.10), в которых учтены инерционные свойства транзисторов.



Расчет транзисторного каскада с общим коллектором в режиме малого сигнала



Упрощенная схема



$$\underline{U}_{BK} = \underline{E}_c - \underline{I}_B R_\Gamma = h_{11} \underline{I}_B + \underline{U}_H;$$

$$\underline{U}_H = (1 + h_{21}) \underline{I}_B \frac{R_\mathfrak{Z} R_H}{R_\mathfrak{Z} + R_H};$$

$$R_{BX} = \frac{\underline{U}_{BK}}{\underline{I}_B} = h_{11} + (1 + h_{21}) \frac{R_\mathfrak{Z} R_H}{R_\mathfrak{Z} + R_H};$$

$$\underline{K}_U = K_U e^{j\phi_U} = \frac{\underline{U}_H}{\underline{E}_c} = \frac{(1 + h_{21}) \frac{R_\mathfrak{Z} R_H}{R_\mathfrak{Z} + R_H}}{R_\Gamma + h_{11} + (1 + h_{21}) \frac{R_\mathfrak{Z} R_H}{R_\mathfrak{Z} + R_H}} \approx 0,8 - 0,92$$

$$R_{\text{вых}} = \frac{(R_\Gamma + h_{11}) R_\mathfrak{Z}}{R_\Gamma + h_{11} + (1 + h_{21}) R_\mathfrak{Z}} \approx 10 - 50 \text{ Ом}.$$

Эмиттерный повторитель применяют для работы с низкоомными приемниками, например, с кабелями, имеющими волновое сопротивление 50-75 Ом.