

ЛЕКЦИЯ 6. УСИЛИТЕЛЬНЫЕ КАСКАДЫ

6.1. Многокаскадные усилители с конденсаторной связью

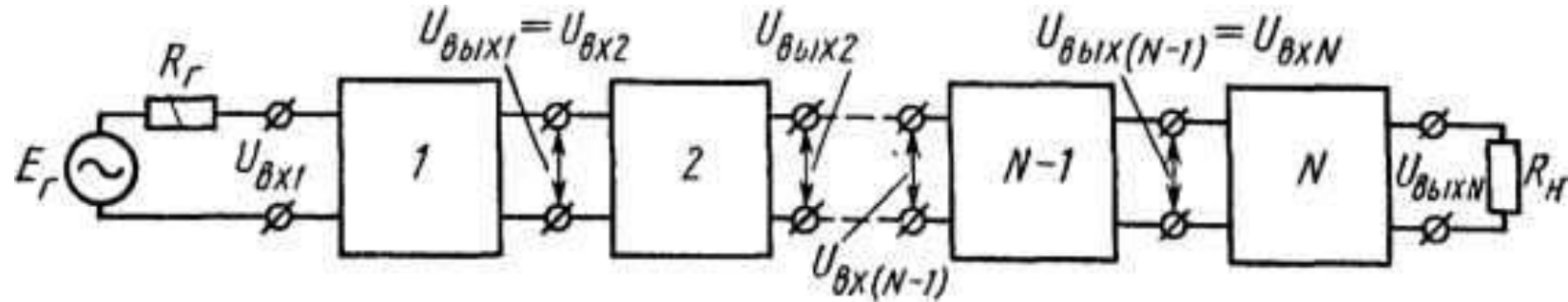


Рис. 6.1. Структурная схема многокаскадного усилителя.

$$K_U = \frac{U_H}{E_\Gamma} = \frac{U_{\text{ВЫХ}1}}{E_\Gamma} \cdot \frac{U_{\text{ВЫХ}2}}{U_{\text{ВЫХ}1}} \dots \frac{U_{\text{ВЫХ}N}}{U_{\text{ВЫХ}N-1}} = K_{U1} \cdot K_{U2} \dots K_{UN}. \quad (6.1)$$

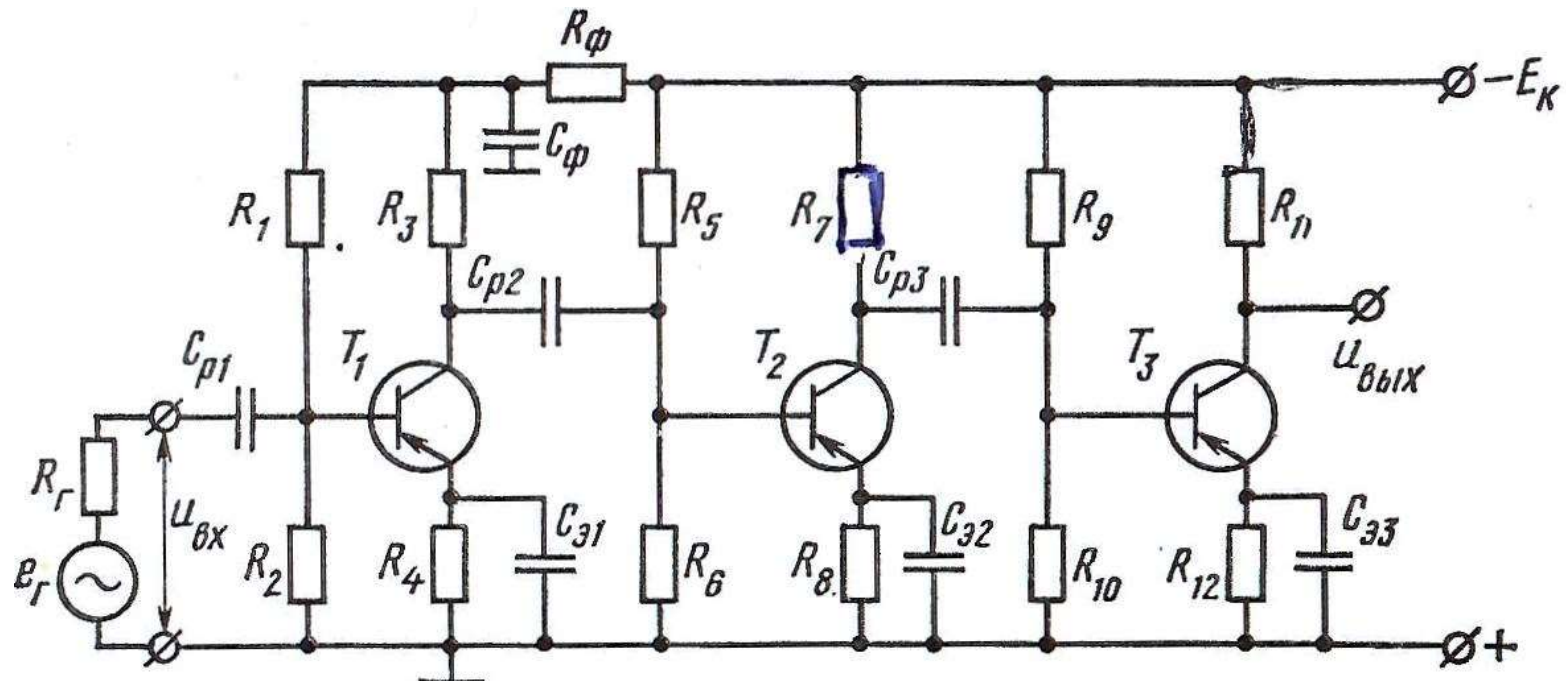


Рис. 6.2. Схема многокаскадного усилителя с конденсаторной связью.

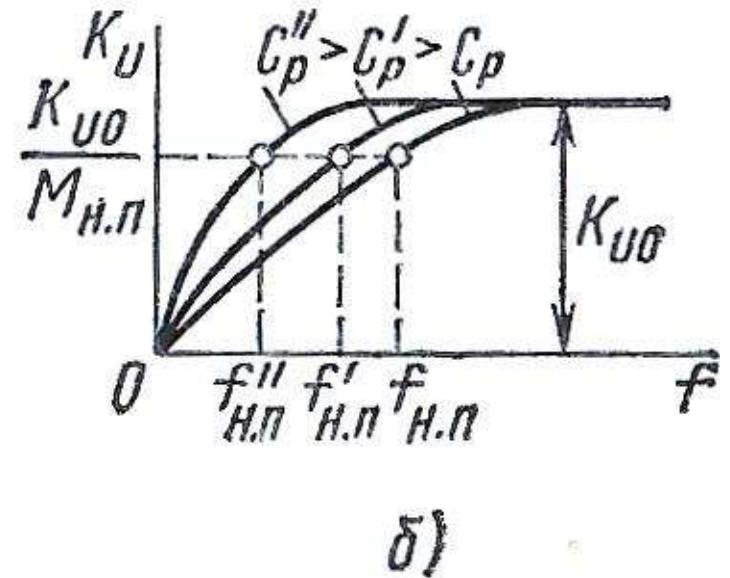
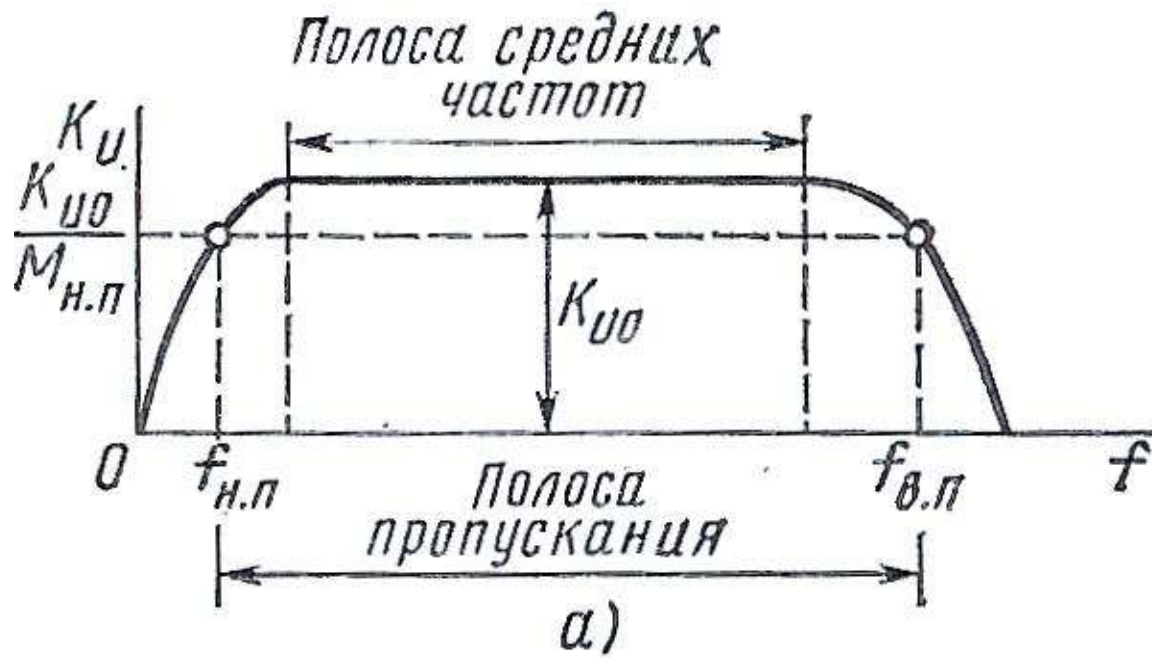


Рис. 6. 3. Общий вид амплитудно-частотной характеристики многокаскадного усилителя с конденсаторной связью (а), влияние емкости конденсаторов связи на амплитудночастотную характеристику усилителя в области низких частот (б).

$$M_H = \frac{K_{U0}}{K_{UH}}, \quad (6.2)$$

$$M_H = M_{HC1} \cdot M_{HC2} \cdots M_{HCN} \quad (6.3)$$

$$M_{HC} = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{\omega_H \cdot \tau_{HC}} \right)^2} \quad (6.4)$$

$$\tau_{HCp1} = C_{p1}(R_{\Gamma} + R_{BX1}) \quad \tau_{HC\epsilon1} = C_{\epsilon1}(R_4 \parallel R_{T1\epsilon}) \quad R_{T1\epsilon} \approx r_{\epsilon} \quad \tau_{HCp2} = C_{p2}(R_{BX2} + R_{ВЫХ1})$$

$$\varphi_H = \varphi_{HP1} + \varphi_{HP2} + \varphi_{H\epsilon1} + \varphi_{HP3} + \varphi_{H\epsilon2} + \dots \quad (6.5)$$

$$\varphi_{HC} = \arctg \frac{1}{\omega_H \tau_{HC}}. \quad (6.6)$$

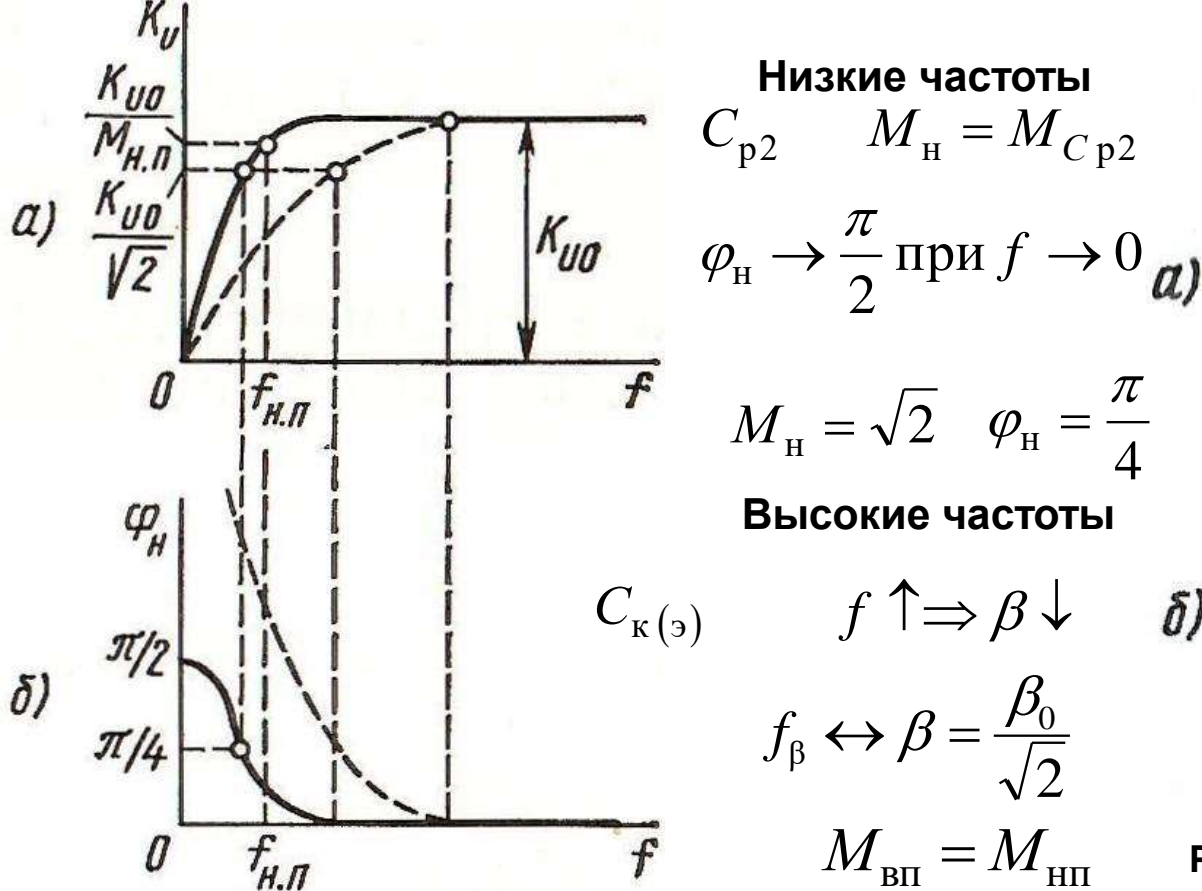


Рис. 6.4. К объяснению влияния конденсаторов на амплитудно-частотную (а) и фазо-частотную (б) характеристики усилителя.

$$\beta = \frac{\beta_0}{1 + j \frac{f}{f_\beta}}, \quad (6.7)$$

$$M_{\text{вк}} = \sqrt{1 + (\omega \cdot \tau_{\text{в}})^2} \quad (6.8)$$

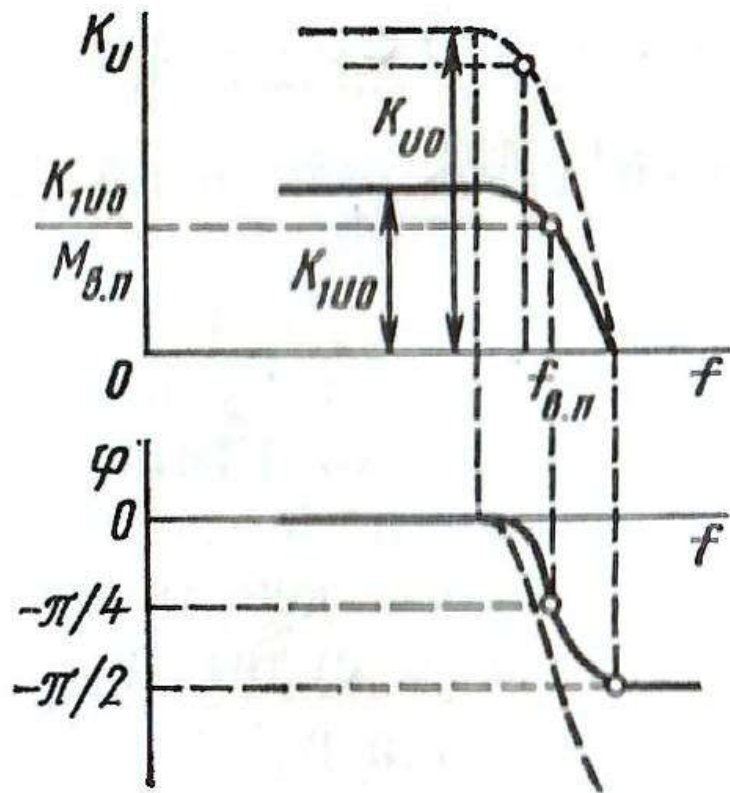
$$\tau_{\text{в}} = \tau_\beta + \tau_{\text{к}} \quad \tau_\beta = \frac{1}{2\pi f_\beta}, \quad (6.9)$$

$$\tau_{\text{к}} = C_{\text{к}(\text{э})} \cdot (r_{\text{к}(\text{э})} \| R_{\text{к}} \| R_{\text{н}}) \quad (6.10) \quad \varphi_{\text{вк}} = -\arctg(\omega \tau_{\text{в}}) \quad (6.11)$$

$$M_{\text{в}} = M_{\text{в1}} \cdot M_{\text{в2}} \cdots M_{\text{вN}}, \quad (6.12)$$

$$\varphi_{\text{в}} = \varphi_{\text{в1}} + \varphi_{\text{в2}} + \dots \varphi_{\text{вN}} \quad (6.13)$$

Рис. 6.5. К объяснению влияния частотных свойств транзисторов на амплитудно-частотную (а) фазо-частотную характеристики усилителя (б).



6.2. Каскады усиления мощности

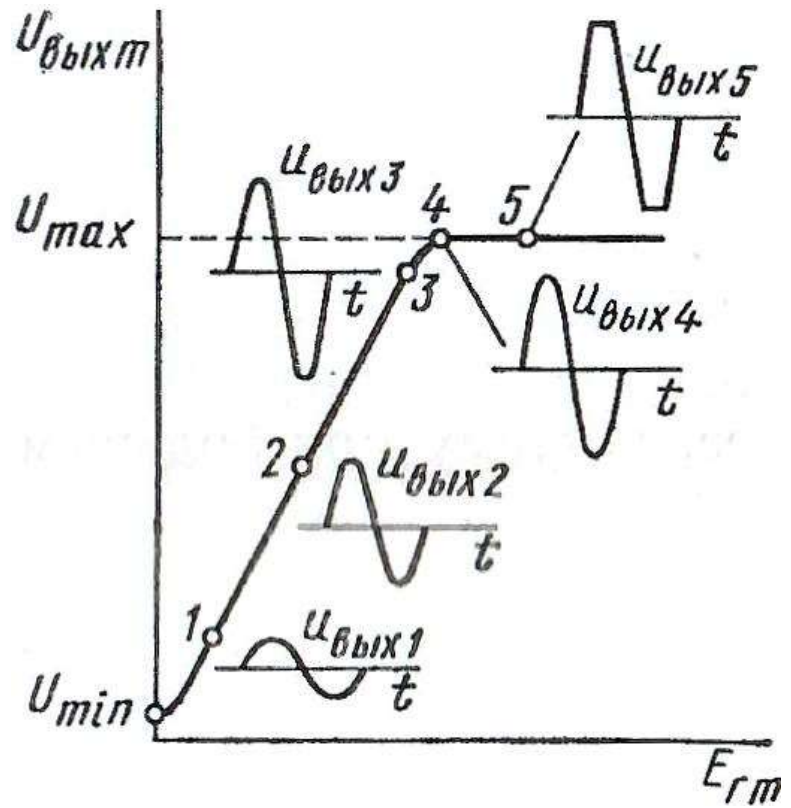


Рис. 6.6. Амплитудная характеристика усилителя.

$$U_{\min} / K_{U0}$$

$$D = U_{\max} / U_{\min}$$

$$k = \frac{\sqrt{P_2 + P_3 + P_4 + \dots}}{\sqrt{P_1}} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots}}{U_1} \cdot 100\%, \quad (6.14)$$

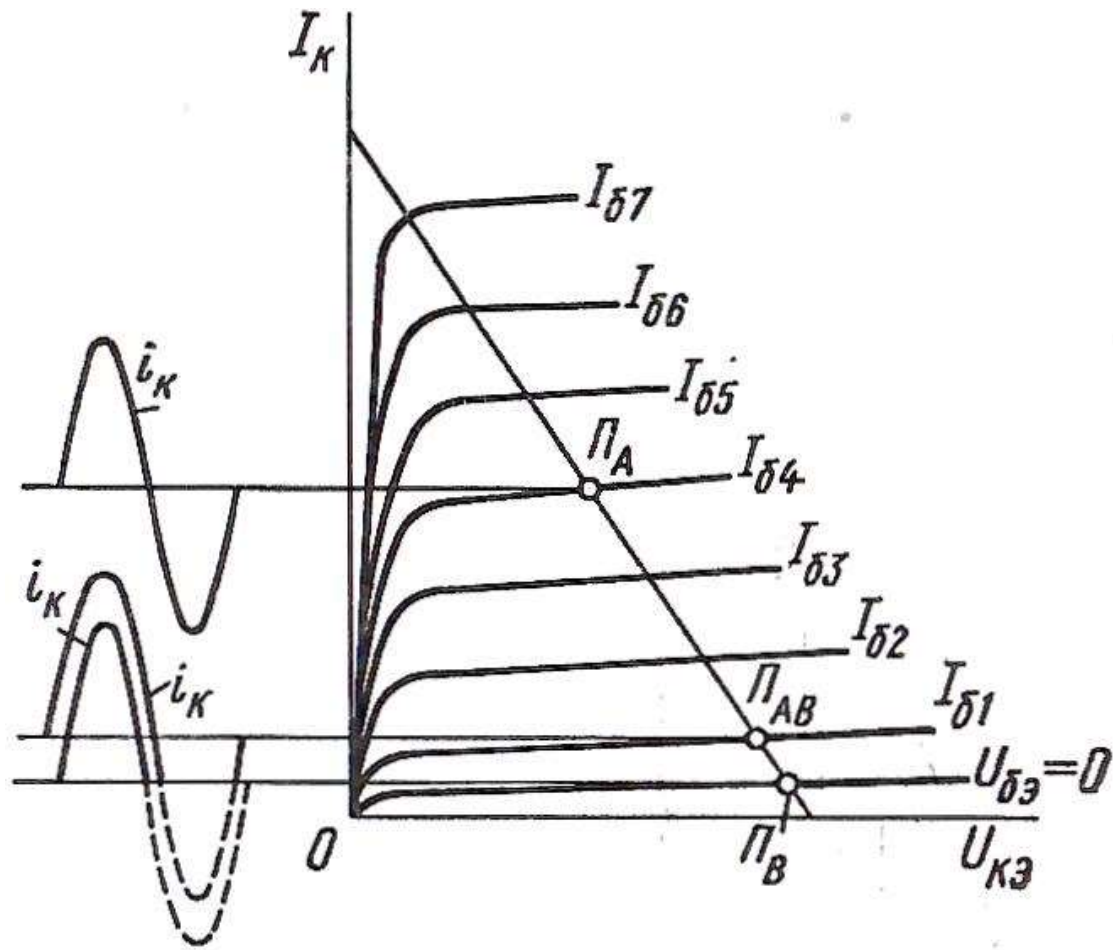


Рис. 6.7. Расположение точек покоя на коллекторных характеристиках транзистора в режимах классов А, В и АВ.

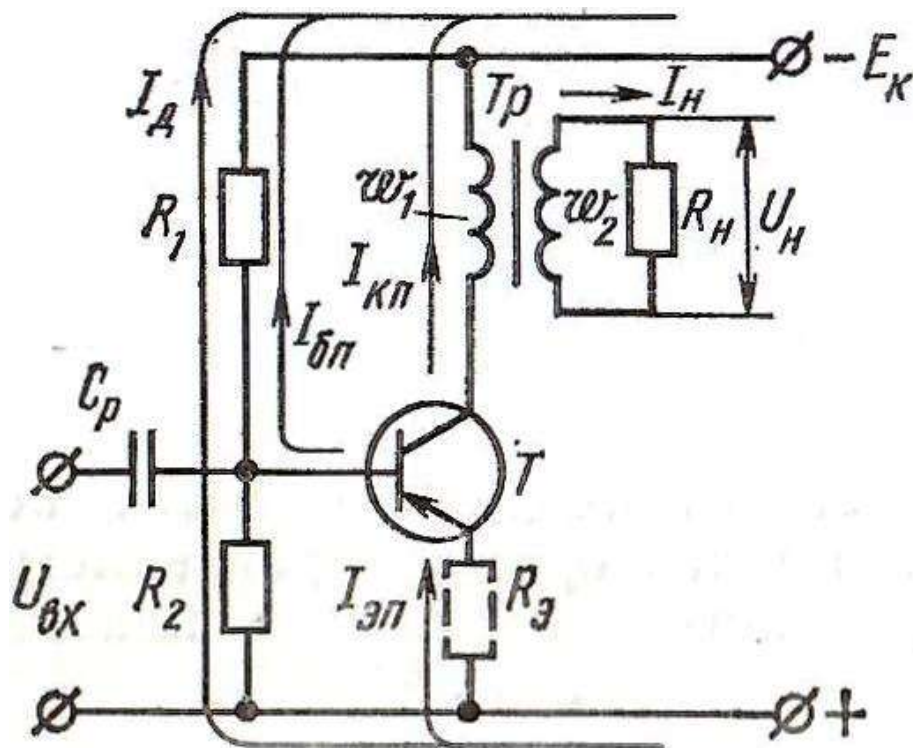


Рис. 6.8. Схема усилителя мощности класса А с трансформаторным включением нагрузки.

$$U_{\text{кЭП}}, I_{\text{кП}} \quad U_{\text{км}} (U_{\text{выхм}}), I_{\text{км}}$$

$$R_{\text{н~}} = n^2 (R_{\text{н}} + r_2) \approx n^2 \cdot R_{\text{н}}. \quad (6.15)$$

$$n = \frac{w_1}{w_2} \quad P_{\text{вых.к}} = \frac{P_{\text{н}}}{\eta_{\text{тр}}}, \quad (6.16)$$

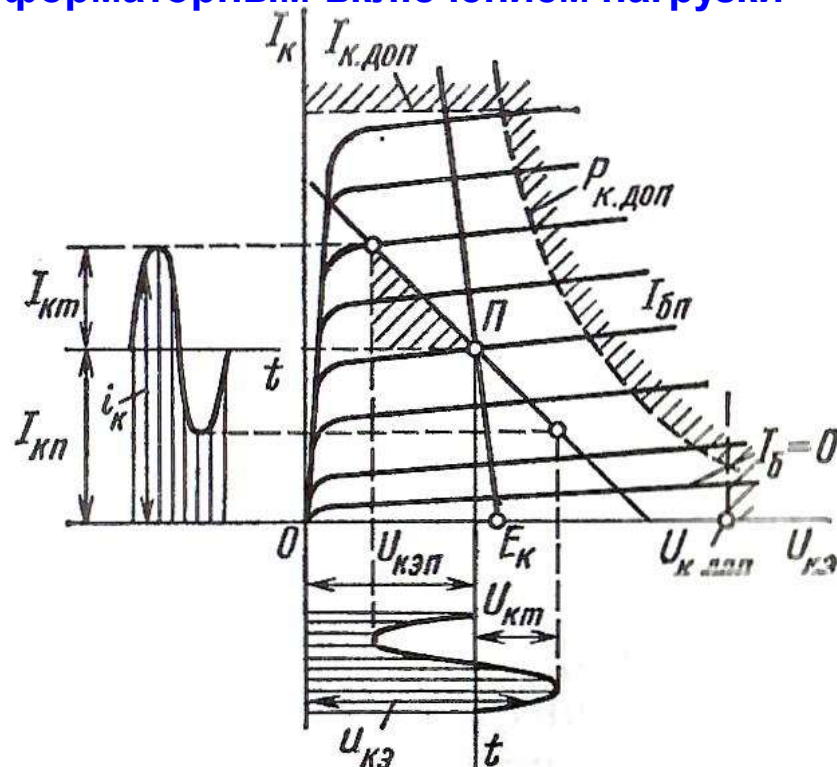


Рис. 6.9. Графические построения для расчета каскада класса А с трансформаторным включением нагрузки.

$$P_{\text{вых.к}} = \frac{U_{\text{км}} \cdot I_{\text{км}}}{2} = \frac{U_{\text{км}}^2}{2R_{\text{н~}}} = \frac{U_{\text{км}}^2}{2n^2 R_{\text{н}}}, \quad (6.17)$$

$$n = \sqrt{\frac{U_{\text{км}}^2}{2P_{\text{вых.к}} R_{\text{н}}}} = \sqrt{\frac{U_{\text{км}}^2 \eta_{\text{тр}}}{2P_{\text{н}} R_{\text{н}}}}. \quad (6.18)$$

$$U_{\text{кэп}} > U_{\text{км}} + \Delta U_{\text{кэ}}, \quad (6.19) \quad I_{\text{кп}} > I_{\text{км}} + I_{\text{к0 max}}, \quad (6.20) \quad I_{\text{км}} = \frac{U_{\text{км}}}{n^2 R_{\text{н}}}. \quad (6.21) \quad (\Delta U_{\text{кэ}} / \Delta I_{\text{к}}) = R_{\text{н} \sim}$$

$$I_{\text{к.доп}} > I_{\text{км}} + I_{\text{кп}} \quad (6.22) \quad U_{\text{кэ.доп}} > U_{\text{км}} + U_{\text{кп}} \approx 2E_{\text{к}} \quad (6.23)$$

$$P_{\text{к.доп}} > P_{\text{к}} = U_{\text{кп}} \cdot I_{\text{кп}}. \quad (6.24) \quad \eta = \eta_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{тр}}. \quad (6.25)$$

$$P_{\text{вых.к}} = \frac{U_{\text{км}} \cdot I_{\text{км}}}{2} \quad (6.26) \quad P_{\text{и}} = E_{\text{к}} \cdot I_{\text{кп}} \approx U_{\text{кэп}} \cdot I_{\text{кп}}. \quad (6.27) \quad \eta_{\text{к}} = \frac{P_{\text{вых.к}}}{P_{\text{и}}} = \frac{U_{\text{км}} \cdot I_{\text{км}}}{2U_{\text{кэп}} \cdot I_{\text{кп}}} \quad (6.28)$$

$$\eta_{\text{к}} \rightarrow 0,5 \text{ при } I_{\text{км}} = I_{\text{кп}} \text{ и } U_{\text{км}} = U_{\text{кэп}} \eta_{\text{тр}} \neq 1 \quad \eta \approx 0,35 \div 0,45$$

$$P_{\text{к}} = P_{\text{и}} - P_{\text{вых.к}} = U_{\text{кэп}} \cdot I_{\text{кп}} - \frac{U_{\text{км}} \cdot I_{\text{км}}}{2} \quad (6.29) \quad \text{При } I_{\text{км}} = I_{\text{кп}} \text{ и } U_{\text{км}} = U_{\text{кэп}} \quad P_{\text{к}} \rightarrow 0,5P_{\text{и}} \\ \text{При } I_{\text{км}} = 0 \text{ и } U_{\text{км}} = 0 \quad P_{\text{к}} \rightarrow P_{\text{и}}$$

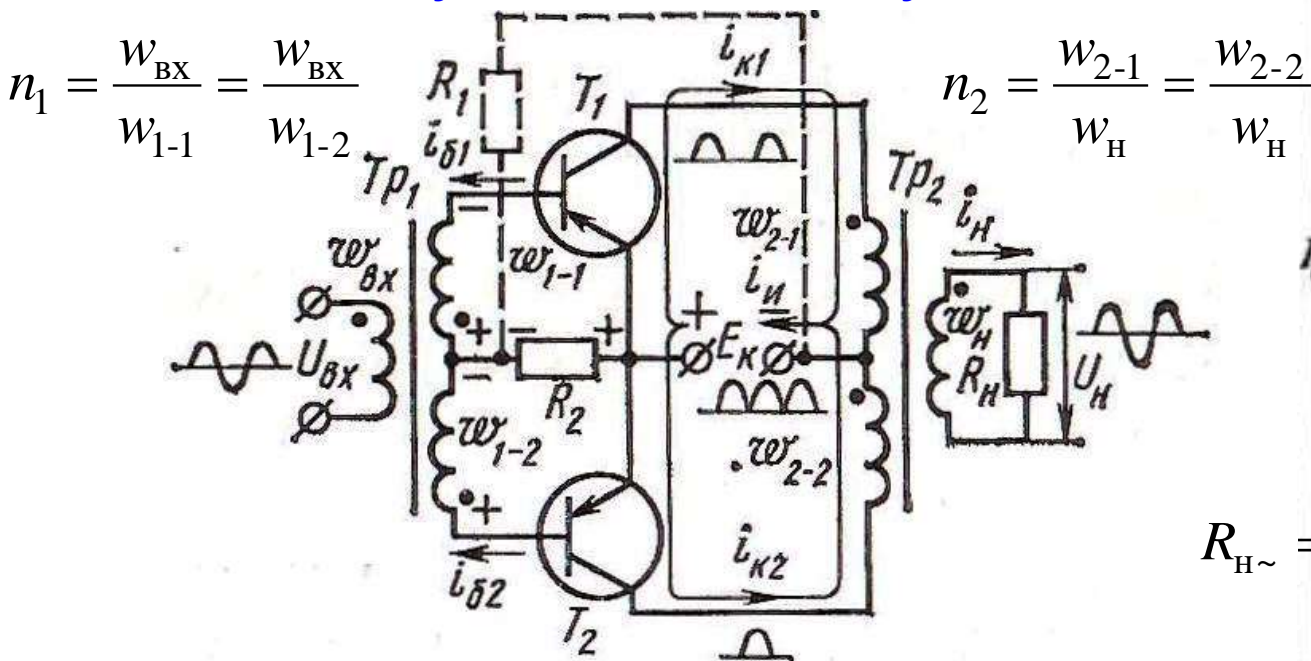


Рис. 6.10. Схема двухтактного усилителя мощности с трансформаторной связью.

Положительная полуволна входного напряжения

$$i_{K1} = \beta \cdot i_{B1} \quad u_{2-1} = i_{K1} \cdot R_{H\sim} = i_{K1} \cdot n_2^2 \cdot R_H \quad u_H = \frac{u_{2-1}}{n_2}$$

Отрицательная полуволна входного напряжения

$$i_{K2} = \beta \cdot i_{B2} \quad u_{2-2} = i_{K2} \cdot R_{H\sim} = i_{K2} \cdot n_2^2 \cdot R_H \quad u_H = \frac{u_{2-2}}{n_2}$$

$$P_{\text{ВЫХ.К}} = \frac{U_{km} \cdot I_{km}}{2} \quad (6.30) \quad P_H = \eta_{\text{тр2}} \cdot P_{\text{ВЫХ.К}} \quad (6.31)$$

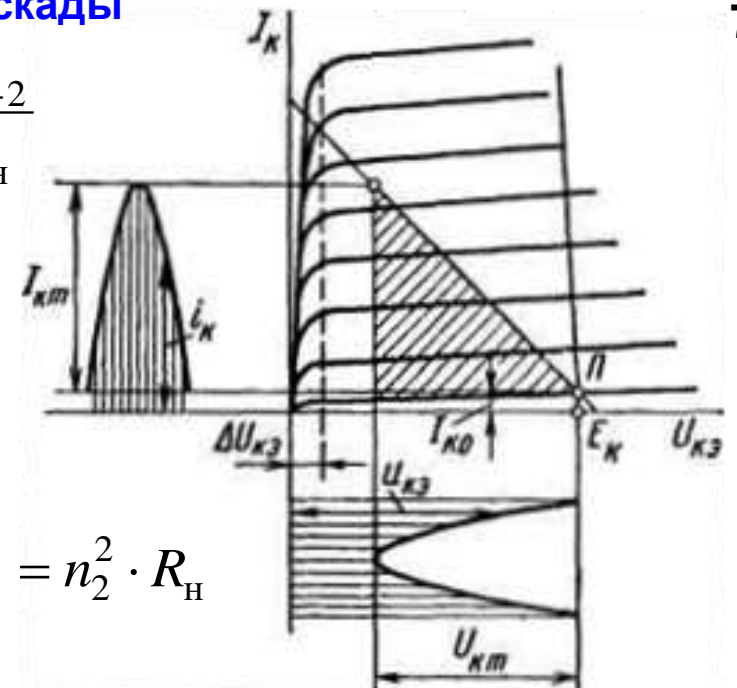


Рис. 6.11. Графический расчет двухтактного усилителя мощности.

$$I_H = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi I_{km} \sin \vartheta d\vartheta = \frac{2I_{km}}{\pi} \quad (6.32)$$

$$P_H = \frac{2E_K \cdot I_{km}}{\pi} \quad (6.33)$$

$$\eta_K = \frac{P_{\text{ВЫХ.К}}}{P_H} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{U_{km}}{E_K} \quad (6.34)$$

$$\eta = \eta_{\text{тр}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{U_{km}}{E_K} \quad (6.35)$$

При $U_{км} = E_k$ и $\eta_{мр} = 1$ $\eta_{предельн.} = 0,785$

Так как $U_{км} < E_k - \Delta U_{кэ}$ и $\eta_{мр} = 0,8 \div 0,9$, тт $\eta_{реальн.} \approx 0,6 \div 0,7$

$$P_k = P_{и} - P_{вых.к} = \frac{2E_k \cdot I_{км}}{\pi} - \frac{U_{км} \cdot I_{км}}{2} = \frac{2E_k}{\pi} \cdot \frac{U_{км}}{R_{н\sim}} - \frac{U_{км}^2}{2R_{н\sim}}. \quad (6.36)$$

$$\frac{dP_k}{dU_{км}} = \frac{2E_k}{\pi R_{н\sim}} - \frac{U_{км}}{R_{н\sim}} = 0 \Rightarrow U_{км} = \frac{2E_k}{\pi} = 0,64E_k \quad (6.37) \quad P_{кmax} = \frac{2}{\pi^2 n_2^2} \cdot \frac{E_k^2}{R_{н\sim}}. \quad (6.38)$$

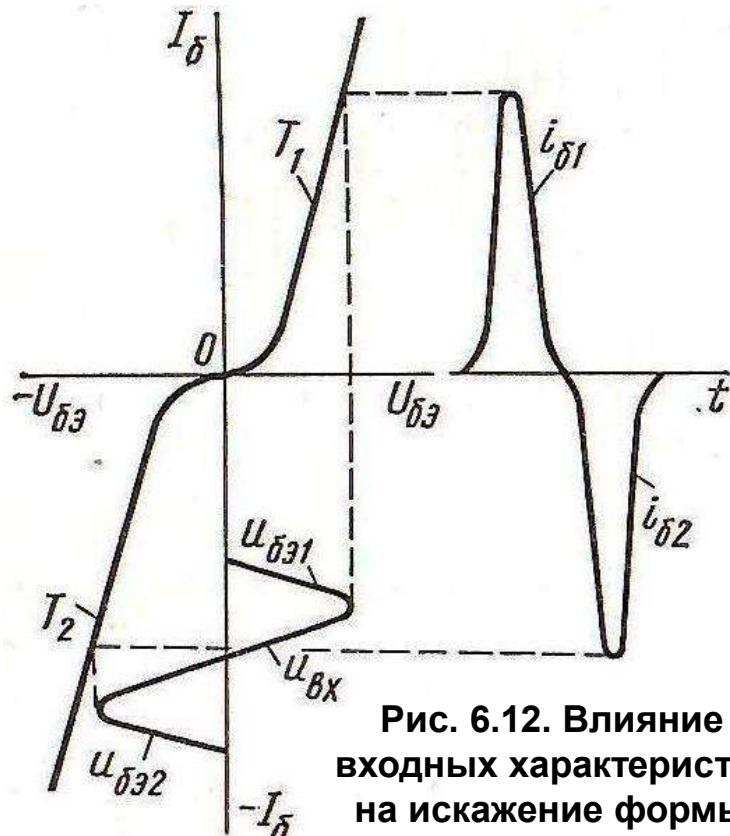


Рис. 6.12. Влияние нелинейности входных характеристик транзисторов на искажение формы усиливаемого сигнала в режиме класса В.

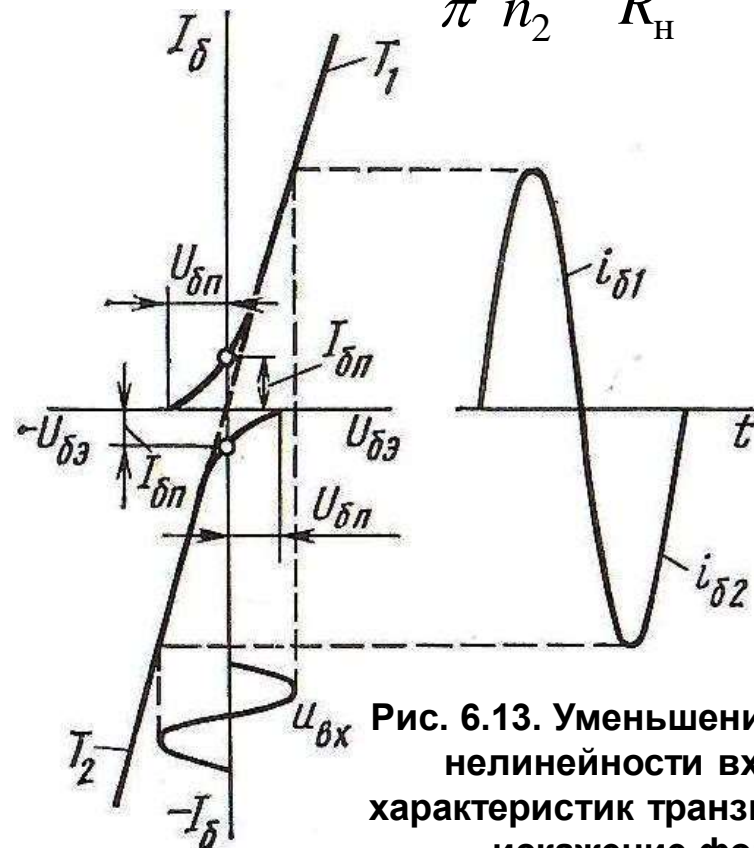


Рис. 6.13. Уменьшение влияния нелинейности входных характеристик транзисторов на искажение формы усиливаемого сигнала в режиме класса АВ.

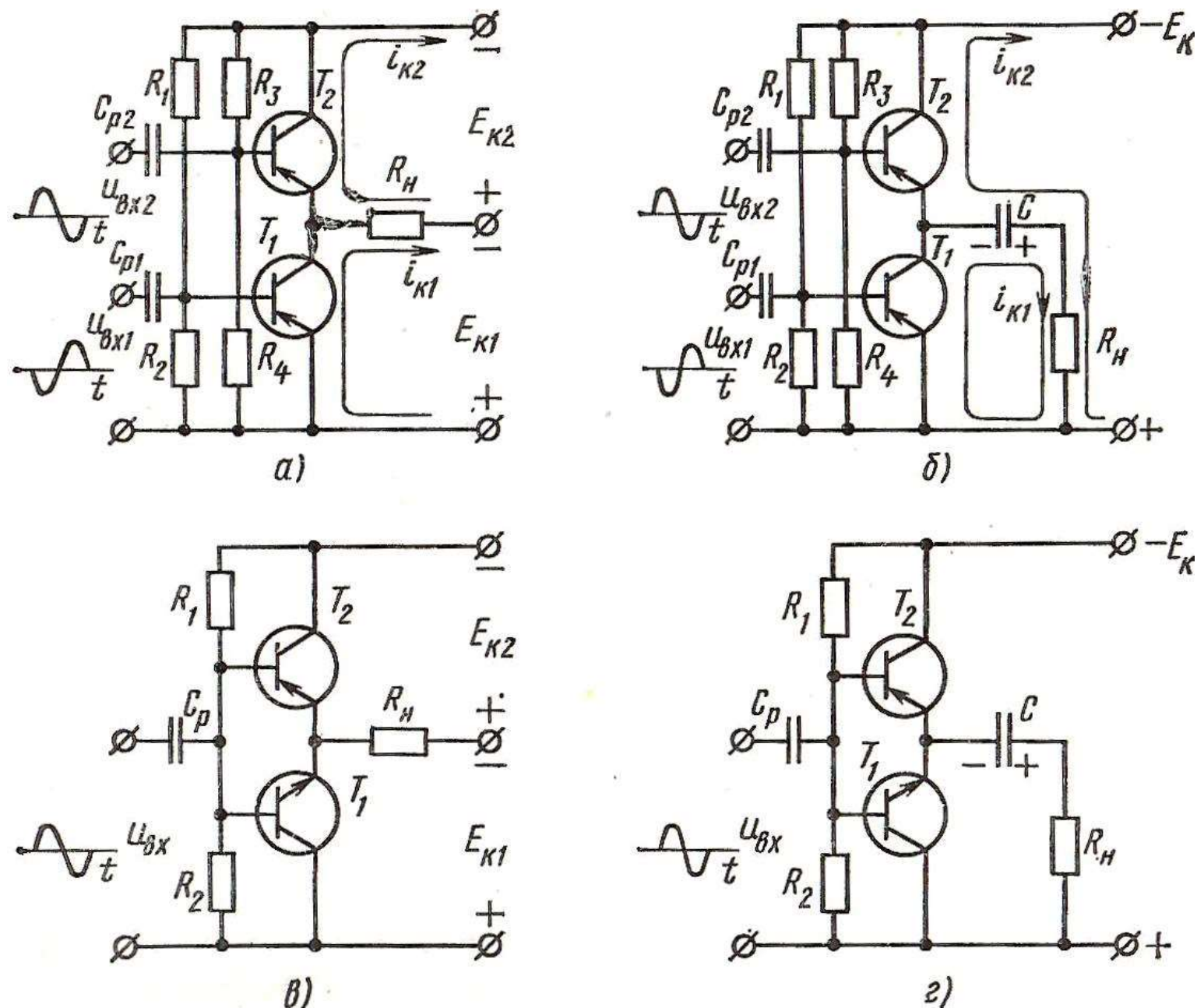


Рис. 6.14. Схемы бестрансформерных двухтактных усилителей мощности: с питанием от двух источников (а, в) и одного источника (б, г).