Лекція 5. ПІДСИЛЮВАЧІ ПОТУЖНОСТІ

5.1. Вихідні каскади підсилювачів (загальна характеристика)

Вихідний каскад багатокаскадних підсилювачів призначений для одержання необхідної (заданої) потужності сигналу в навантаженні. Тому часто вихідний каскад називають підсилювачем *потужності*.

Отже основними вихідними даними при розрахунку каскаду є:

- потужність сигналу $P_н$, що віддається у навантаження;
- рівень частотних та нелінійних спотворень;
- коефіцієнт корисної дії каскаду.

Коефіцієнт корисної дії визначається як відношення потужності вихідного сигналу до потужності, що споживається від джерела живлення. Під *ККД підсилювача* прийнято розуміти *значення*, що відповідає максимальній вихідній потужності, тобто максимальним значенням напруги та струму вихідного сигналу:

$$\eta = \frac{0{,}5 U_{\text{вих мак}} I_{\text{вих мак}}}{E_{\text{ж}} I_{\text{ср}}},$$

де $U_{\text{вих мак}}$, $I_{\text{вих мак}}$ – максимальні значення амплітуд вихідного сигналу в навантаженні;

$E_{\text{ж}}$, $I_{\text{ср}}$ – напруга і середній струм джерела живлення при максимальній потужності сигналу.

Величина максимальної неспотвореної потужності та ККД кінцевого каскаду залежить від типу транзистора, режиму його роботи та схеми каскаду.

В вихідних каскадах, так само як і в попередніх, найчастіше використовується схема зі спільним емітером.

5.2. Поняття про класи підсилювальних каскадів

Клас підсилювача визначається за проходженням сигналу в навантаження. Підсилювачі класу *A* в навантаження проходить увесь сигнал, який практично не спотворюється. В підсилювачах класів *B*, *AB* і *C* сигнал обмежується за значеннями.

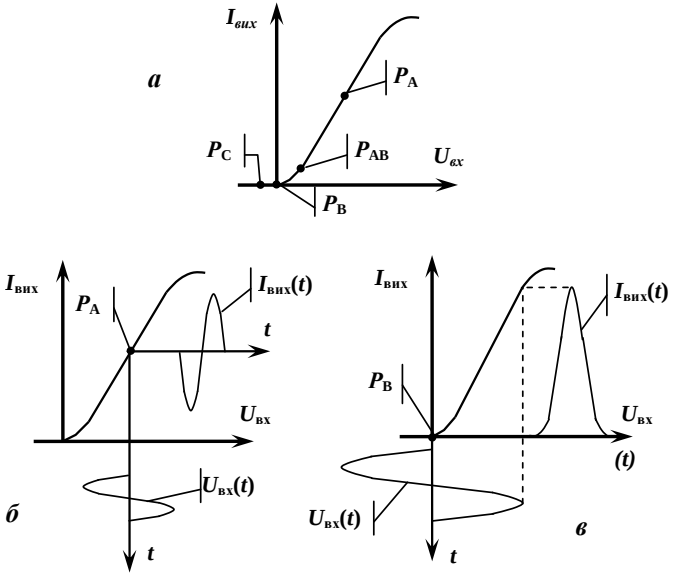


Рис. 5.1. Наскрізна характеристика підсилювального каскаду

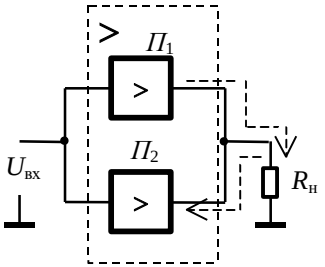


Рис. 5.2. Структурна схема двотактного підсилювача

5.3. Енергетичні показники. Порівняльний аналіз класів підсилювачів за потужністю

Підсилювач потужності класу А.

$i_{\text{н мак}} = I_{\text{к}P}$; $u_{\text{н мак}} = U_{\text{к}P} = E_{\text{ж}} / 2$,

де $I_{\text{к}P}$, $U_{\text{к}P}$ – струм і напруга спокою транзистора, що задають режим роботи каскаду (див. розділ 4).

Потужність сигналу в навантаженні, у припущенні синусоїдального сигналу,

$$P_{\text{н}} = \frac{i_{\text{н мак}} \cdot u_{\text{н мак}}}{2}. \qquad (5.1)$$

Без врахування витрат в допоміжних ланцюгах, каскад споживає від джерела живлення середню потужність

$P_0 = I_{\text{к}P}\ U_{\text{к}P}$,

Максимальний ККД каскаду:

$$\eta_m = \frac{P_{\text{і}}}{P_0} = 0{,}25.$$

Реальний ККД буде менше в результаті необхідного зменшення амплітуди сигналу:

$$\eta = 0{,}25 \cdot \xi_i \cdot \xi_u , \qquad (5.2)$$

де ξ_i , ξ_u – коефіцієнти “використання” по струму і напрузі:

$$\xi_i = i_{\text{н мак}} \Big/ I_{\text{к}P}\ ; \quad \xi_u = u_{\text{н мак}} \Big/ (0{,}5\ E_{\text{ж}}) .$$

При роботі транзисторного каскаду в режимі посилення *класу В*,

$I_{\text{к}P} \approx 0$ та $U_{\text{ке }P} = E_{\text{ж}} - I_{\text{К мін}}\ R_K \approx E_{\text{ж}}$, де $E_{\text{ж}}$ – напруга живлення,

Середній струм, що протікає в одному плечі

$$I_{\text{ср}} = \frac{i_{\text{н мак}}}{\pi} \qquad (5.3)$$

Потужність, споживана кожним плечем від джерела живлення, складає $P_{\text{пл}} = I_{\text{ср}}\ E_{\text{ж}}$.

ККД

$$\eta_m = \frac{P_н}{P_0} = \frac{(i_{нмак} \cdot u_{нмак}/2)}{2 \cdot E_ж I_{ср}} = \frac{(i_{нмак} \cdot u_{нмак}/2)}{(2 \cdot E_ж i_{нмак} \cdot/\pi)} = \frac{\pi}{4}\frac{u_{нмак}}{E_ж} = \frac{\pi}{4} \cdot \xi_u, \quad (5.4)$$

де ξ_u – коефіцієнт використання напруги джерела живлення:

$$\xi_u = u_{нмак} / E_ж .$$

При повному використанні напруги колекторного живлення (ξ_u = 1) ККД наближається до величини η_m= π/4 ≈ 0,786 (78,6%).

5.4. Однотактний підсилювач потужності з трансформаторним виходом

Введення трансформатора дозволяє погодити опір навантаження з параметрами підсилювача та забезпечити їх гальванічну розв'язку.

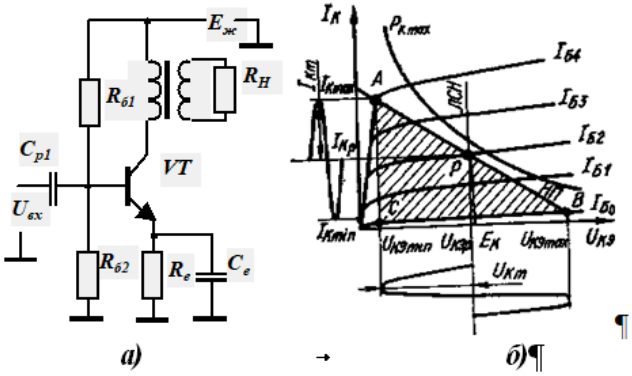


Рис. 5.3. Однотактний підсилювач потужності

з трансформаторним зв'язком

Можна вважати, що потужність сигналу в первинній і вторинній обмотках рівні: $P_1 = P_2$.

Тоді

$$\frac{U_1^2}{R_1} = \frac{U_2^2}{R_2} \qquad (5.5)$$

де U_1, U_2 – напруга змінного сигналу на первинній та вторинній обмотках трансформатора;

R_1 і R_2 – опори ланцюгів первинної і вторинної обмоток трансформатора по змінному струму.

Приймемо $R_1 = R_{н.опт.}$, тоді $R_2 = R_н$. Тому

$$\frac{U_1^2}{R_{н\ опт}} = \frac{U_2^2}{R_н} \qquad (5.6)$$

Відношення U_2 / U_1 є коефіцієнтом трансформації (n) вихідного трансформатора:

$$n = \sqrt{\frac{R_н}{R_{н\ опт}}} \qquad (5.7)$$

В точках перетинання навантажувальної прямої з крайніми статичними характеристиками транзистора визначаємо мінімальні і максимальні значення струму і напруги колекторного кола $I_{К\ мін}$, $U_{КЕ\ мін}$, $I_{К\ мах}$, $U_{КЕ\ мах}$). Величина оптимального опору навантаження $R_{н\ опт}$ визначають по формулі

$$R_{Нопт} = \frac{U_{Кm}}{I_{Кm}}, \qquad (5.8)$$

де $$U_{Кm} = \frac{U_{КЕмах} - U_{КЕмін}}{2}, \qquad (5.9)$$

$$I_{Кm} = \frac{I_{Кмах} - I_{Кмін}}{2}. \qquad (5.10)$$

$$P_{вихмак} = \eta_{тр} \frac{I_{Кm} \cdot U_{Кm}}{2}.$$

Отже,

$$P_{вих max} = \eta_{тр} \frac{(I_{К max} - I_{К min})(U_{КЕ max} - U_{КЕ min})}{8}. \qquad (5.11)$$

$P_0 = I_{кР} \cdot E_ж$, та $I_{кР} \approx 0{,}5\ (I_{К max} - I_{К min})$, $E_ж \approx 0{,}5\ (U_{КЕ max} - U_{КЕ min})$,

$$P_К = P_0 \frac{1 - \eta_{тр}}{\eta_{тр}}. \qquad (5.12)$$

5.5. Двотактні підсилювачі потужності

Двотактний підсилювач потужності складається з двох симетричних пліч, що працюють на загальне навантаження.

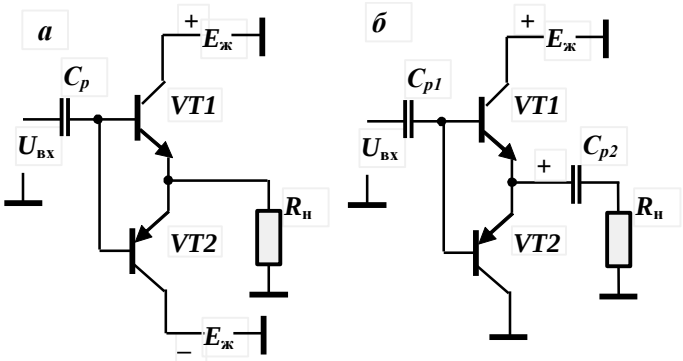


Рис. 5.4. Двотактні безтрансформаторні підсилювачі потужності на комплементарних транзисторах

Для неспотвореної передачі сигналу в навантаження транзистори в плечах повинні характеризуватися максимально близькими параметрами при роботі в однаковому режимі. Транзистори з максимально близькими параметрами але протилежним типом провідності називаються *комплементарними*.

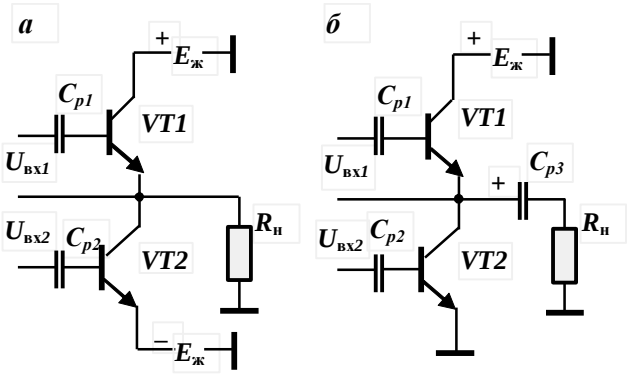


Рис. 5.5. Двотактні безтрансформаторні підсилювачі потужності на транзисторах одного типу провідності

Фазоінверсний каскад повинний формувати на виході дві напруги, рівні по величині і зсунуті між собою по фазі на 180^0.

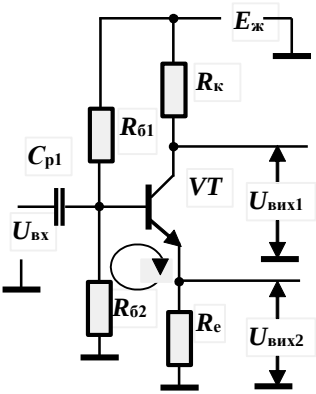


Рис. 5.6. Фазоінверсний каскад з розділеним навантаженням

Напруги $U_{вих1}$ і $U_{вих2}$ відповідно рівні:

$U_{вих1} = E_ж - I_К R_К$, $\quad U_{вих2} = I_е R_е$.

Достоїнство схеми – відсутність трансформатора у вхідному колі двотактного каскаду. Недолік – малий коефіцієнт підсилення за напругою.