

Лекція ПІДСИЛЮВАЧИ. ОСНОВНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ

3.1. Класифікація підсилювачів

Електронним підсилювачем називається пристрій, що дозволяє перетворювати вхідні електричні сигнали в сигнали більшої потужності на виході без істотного спотворення їх форми.

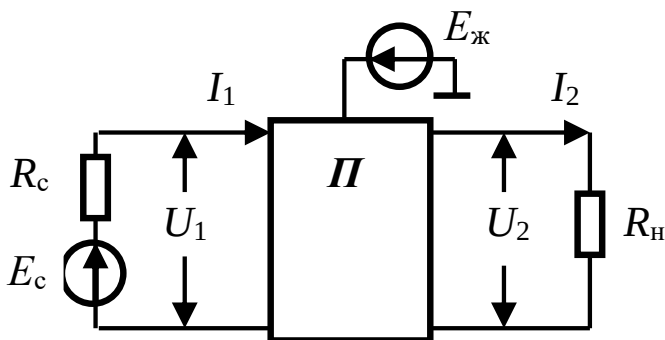


Рис. 3.1. Узагальнена структурна схема підсилювального пристрою

За призначенням підсилювачі умовно поділяються на

- підсилювачі напруги,
- підсилювачі струму
- підсилювачі потужності.

Підсилювачі постійного струму ППС призначені для підсилення електричних коливань у межах від нижчої частоти $f_n=0$ до верхньої робочої частоти f_v (МГц).

Підсилювачі змінного струму призначені для підсилення лише змінних складових сигналу. В залежності від граничних значень робочого діапазону частот підсилювачі змінного струму можуть бути підсилювачами низької чи високої частоти.

Підсилювач низької частоти (ПНЧ) $f_v - f_n > f_n$.

Підсилювач високої частоти (ПВЧ) $f_v - f_n \ll f_v$.

За шириною смуги підсилювальних частот ($\Delta F = f_{\text{в}} - f_{\text{н}}$)

Вибірні підсилювачі $f_{\text{в}} / f_{\text{н}} < 1,1$.

Широкосмугові підсилювачі $f_{\text{в}} / f_{\text{н}} > 1000$.

3.2. Основні технічні показники підсилювачів

Найважливішими технічними показниками підсилювача є:

- коефіцієнт передачі, коефіцієнти підсилення (напруги, струму і потужності)
- амплітудно-частотна та фазо-частотна характеристики,
- вхідний і вихідний опори,
- вихідна потужність,
- коефіцієнт корисної дії,
- діапазон підсилювальних частот,
- динамічний діапазон амплітуд і рівень власних завад,
- показники, що характеризують спотворення сигналу.

Коефіцієнт підсилення – відношення сталих значень параметрів вихідного і вхідного сигналів підсилювача. Розрізняють коефіцієнти підсилення

– напруги $K_u = \Delta U_2 / \Delta U_1$;

– струму $K_i = \Delta I_2 / \Delta I_1$;

– потужності $K_p = P_2 / P_1$,

де U_1, U_2, I_1, I_2 – діючі (або амплітудні) значення напруги чи струму; P_1, P_2 – потужності вхідного та вихідного сигналів.

За умов діючих значень напруг та струмів $P_1 = U_1 I_1$ і $P_2 = U_2 I_2$, тому коефіцієнт підсилення потужності $K_p = K_u K_i$.

$$K_{\Sigma} = K_1 K_2 \dots K_n. \quad (3.1)$$

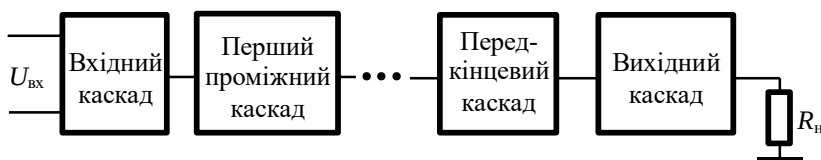


Рис. 3.2. Структурна схема багатокаскадного підсилювача

В електроніці та радіотехніці поширений спосіб вираження підсилювальних властивостей в логарифмічних одиницях – децибелах (дБ).

$$K_P [\text{дБ}] = 10 \lg (P_2 / P_1) = 10 \lg K_P. \quad (3.2)$$

$$K_I [\text{дБ}] = 20 \lg (I_2 / I_1) = 20 \lg K_I,$$

$$K_U [\text{дБ}] = 20 \lg (U_2 / U_1) = 20 \lg K_U. \quad (3.2^*)$$

$$K_k = 10^{\frac{K_{\text{дБ}}}{N}},$$

де $N = 10$ при розрахунку коефіцієнта підсилення потужності та $N = 20$ – коефіцієнта підсилення напруги і струму.

$$\text{Якщо } K_{\text{дБ}} = 1 \text{ дБ, то } K_u = 10^{\frac{K_{\text{дБ}}}{20}} = 10^{\frac{1}{20}} \approx 1,12.$$

$$K_{\text{с}} [\text{дБ}] = K_1 [\text{дБ}] + K_2 [\text{дБ}] + \dots + K_n [\text{дБ}].$$

$$\bar{K} = \frac{U_{\text{вих}} \cdot e^{j\varphi_{\text{вих}}}}{U_{\text{вх}} \cdot e^{j\varphi_{\text{вх}}}} = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} \cdot e^{j(\varphi_{\text{вих}} - \varphi_{\text{вх}})}, \text{ або } \bar{K} = K_{\text{м}} e^{j\varphi},$$

де $K_{\text{м}} = (U_{\text{вих}} / U_{\text{вх}})$ – модуль коефіцієнта підсилення;

$\varphi = (\varphi_{\text{вих}} - \varphi_{\text{вх}})$ – кут зсуву фази вихідного сигналу відносно вхідного.

Амплітудно-частотною характеристикою (АЧХ) називається залежність модуля коефіцієнта передачі K підсилювача від частоти вхідного сигналу f (або від кругової частоти $\omega = 2\pi f$).

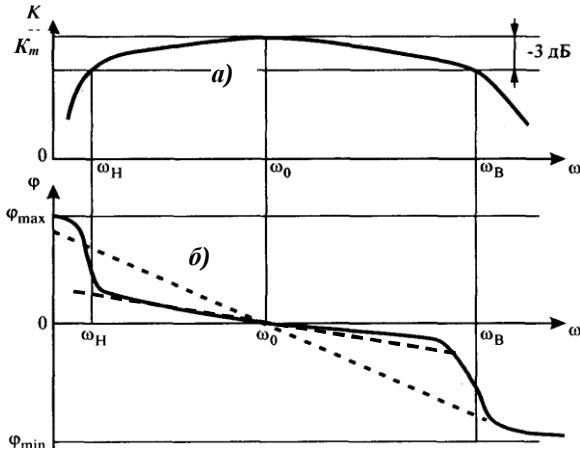


Рис. 3.3. Амплітудно- та фазочастотна характеристики підсилювача

Коефіцієнт підсилення на графіках АЧХ найчастіше нормують:

$$K(\omega) = K(\omega) / K_{\max}$$

де $K(\omega)$ і $K_{\max}$ – коефіцієнт підсилення на частоті ω та максимальне значення коефіцієнта підсилення.

Фазочастотною характеристикою (ФЧХ) називають залежність фазового зсуву вихідного сигналу щодо вхідного від частоти сигналу.

Вхідний і вихідний опори.

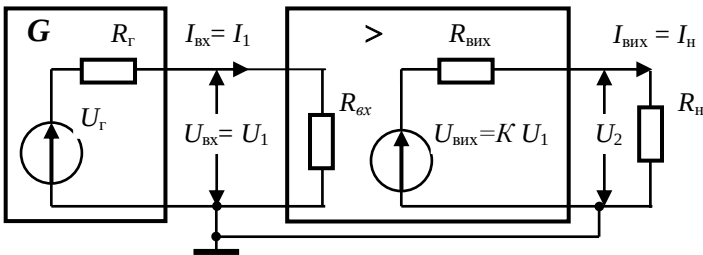


Рис. 3.4. Підсилювач як чотириполусник

$$R_{\text{BX}} = R_1 = (U_1 / I_1) \text{ при } R_{\text{H}} - \text{const}; R_{\text{ВНХ}} = U_{2\text{x}} / I_{2\text{к}},$$

де $U_{2\text{x}}$ – напруга холостого ходу на виході підсилювача ($R_{\text{H}} = \infty$);
 $I_{2\text{к}}$ – вихідний струм короткого замкнення ($R_{\text{H}} = 0$).

При практичному використанні підсилювачів велике значення має співвідношення величин R_{Γ} і R_{BX} .

Якщо $R_{\Gamma} \ll R_{\text{BX}}$ то $U_{\text{BX}} \approx U_{\Gamma}$. Якщо $R_{\Gamma} \gg R_{\text{BX}}$, то $I_{\text{BX}} = I_{\Gamma} \approx U_{\Gamma} / R_{\Gamma}$.

Напруга $U_{\text{BX}} = I_{\text{BX}} R_{\text{BX}}$,

$$U_{\text{BX}} = U_{\Gamma} \frac{R_{\text{BX}}}{R_{\Gamma} + R_{\text{BX}}}. \quad (3.3)$$

Оскільки $I_{\text{BX}} = U_{\Gamma} / (R_{\Gamma} + R_{\text{BX}})$, то враховуючи (3.3), отримаємо:

$$P_{\text{BX}} = \frac{U_{\Gamma}^2 R_{\text{BX}}}{(R_{\Gamma} + R_{\text{BX}})^2}. \quad (3.4)$$

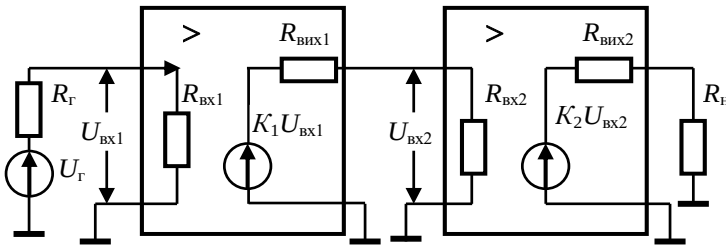


Рис. 3.5. Еквівалентна схема двокаскадного підсилювача

Спотворення в підсилювачах: частотні, фазові і нелінійні.

Частотними називаються спотворення, що обумовлені неоднаковістю величини коефіцієнта підсилення на різних частотах.

$$U_{\text{вх}}(t) = U_1 \sin(2\pi f_1 t + \gamma_1) + U_2 \sin(2\pi f_2 t + \gamma_2) + U_3 \sin(2\pi f_3 t + \gamma_3). \quad (3.5)$$

$$U_{\text{вих}}(t) = K_1 U_1 \sin(2\pi f_1 t + \gamma_1 + \theta_1) + K_2 U_2 \sin(2\pi f_2 t + \gamma_2 + \theta_2) + K_3 U_3 \sin(2\pi f_3 t + \gamma_3 + \theta_3), \quad (3.6)$$

де K_1, K_2, K_3 – коефіцієнти підсилення на частотах f_1, f_2, f_3 , відповідно;

$\theta_1, \theta_2, \theta_3$ – зсуви фаз на цих же частотах.

$$M(f) = K_{\text{ср}} / K(f). \quad (3.7)$$

$$M(f) = M_1(f) M_2(f) M_3(f) \dots M_n(f). \quad (3.8)$$

$$M_{\text{дБ}} = 20 \lg M.$$

У випадку багатокаскадного підсилювача

$$M_{\text{дБ}} = M_{1\text{дБ}} + M_{2\text{дБ}} + \dots + M_{n\text{дБ}}.$$

Смуга частот у межах від $\omega_{\text{н}}$ до $\omega_{\text{в}}$ називається *робочою смугою частот*, або *смугою пропускання* підсилювача, а різниця $\Delta\omega$ (або ΔF) – шириною цієї смуги:

$$\Delta\omega = \omega_{\text{в}} - \omega_{\text{н}} \quad \text{або} \quad \Delta F = f_{\text{в}} - f_{\text{н}}.$$

$$f_{\text{в. каск}} = \sqrt{N} f_{\text{в. підс}}; \quad f_{\text{н. каск}} = \frac{f_{\text{н. підс}}}{\sqrt{N}}.$$

Фазові спотворення, внесені підсилювачем, оцінюються по його фазочастотній характеристиці, яка представляє собою графік залежності від частоти кута зсуву фази між вхідною і вихідною напругою підсилювача.

$$\theta_i = -\tau \omega_i = -\tau 2\pi f_i. \quad (3.9)$$

$$U_{\text{вих}}(t) = K U_1 \sin[2\pi f_1(t - \tau) + \gamma_1] + K U_2 \sin[2\pi f_2(t - \tau) + \gamma_2] + \\ + K U_3 \sin[2\pi f_3(t - \tau) + \gamma_3],$$

Нелінійні спотворення являють собою зміну форми кривої посилованих коливань, яка обумовлена нелінійними властивостями кіл, через які ці коливання проходять.

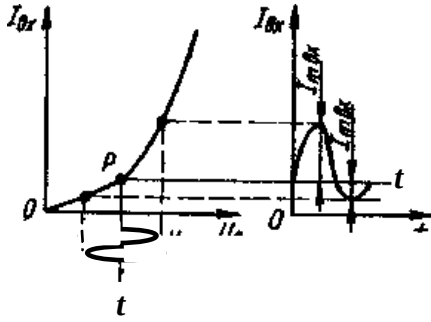


Рис. 3.6. Виникнення нелінійних спотворень

$$K_{\Gamma} = \sqrt{\frac{P_2 + P_3 + \dots + P_n}{P_1}}, \quad (3.10)$$

де P_i – потужність i -тої гармоніки.

$$K_{\Gamma} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}, \quad (3.11)$$

де I_i та U_i – діючі (або амплітудні) значення i -тої гармоніки струму на виході чи вихідної напруги.

$$K_{\Gamma} = K_{\Gamma 1} + K_{\Gamma 2} + \dots + K_{\Gamma n}, \quad (3.12)$$

де $K_{\Gamma i}$ – коефіцієнт нелінійних спотворень i -того каскаду.

Вихідна потужність. Вихідна потужність – це корисна потужність, що забезпечується підсилювачем в навантаженні.

$$P_{\text{вих}} = 0,5 U_{m \text{ вих}} I_{m \text{ вих}} = \frac{0,5 U_{m \text{ вих}}^2}{R_{\text{н}}} = 0,5 I_{m \text{ вих}}^2 R_{\text{н}}, \quad (3.13)$$

де $U_{m \text{ вих}}$, $I_{m \text{ вих}}$ – амплітуди напруги і струму вихідного гармонійного коливання.

Коефіцієнт корисної дії (ККД).

$$\eta = \frac{P_{\text{вих}}}{P_0} = \frac{0,5 U_{m \text{ вих}} I_{m \text{ вих}}}{P_0}, \quad (3.14)$$

де P_0 – потужність, що споживається підсилювачем від усіх джерел живлення.

Амплітудна характеристика. Графічна залежність амплітуди вихідної напруги підсилювача від амплітуди його вхідної напруги на деякій незмінній частоті сигналу одержала назву *амплітудної характеристики* (рис. 3.7).

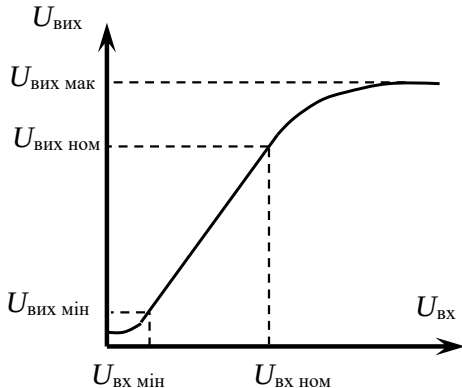


Рис. 3.7. Амплітудна характеристика підсилювача

$$U_{\text{ш}} \approx 0,13 \sqrt{(f_{\text{с}} - f_{\text{н}}) R}, \quad (3.15)$$

Відношення амплітуд найсильнішого і найслабкішого сигналів на вході підсилювача називають *динамічним діапазоном амплітуд* D . Динамічний діапазон зазвичай виражають у децибелах:

$$D = 20 \lg \frac{U_{\text{вх макс}}}{U_{\text{вх мин}}} . \quad (3.15)$$