

Лекція 16

ШИРОКОСМУГОВІ ПІДСИЛЮВАЧІ ПОТУЖНОСТІ

1. Загальні відомості про широкосмугові підсилювачі

Ділення підсилювачів на широкосмугові і вузькосмугові визначається співвідношенням смуги підсилення $\Delta\omega_{\text{п}}$, в якій підсилювач забезпечує задане підсилення без його перестройки, в смугі частот яку займає сигнал $\Delta\omega_{\text{с}}$.

У вузькосмугових підсилювачах це співвідношення близьке до одиниці

$$\frac{\Delta\omega_{\text{п}}}{\Delta\omega_{\text{с}}} \geq 1.$$

Це, як правило, резонансні підсилювачі, які перестроюються при кожній зміні робочої частоти збудувача. Вони забезпечують високий ККД і добре придушення неосновних випромінювань, але не задовольняють сучасні вимоги до швидкості перестройки при використанні в частотно-адаптивних системах радіозв'язку.

Широкасмугові підсилювачі забезпечують перекриття деякого діапазону частот без їх перестройки. Ця смуга частот значно більше смуги, яку займає сигнал, тобто

$$\frac{\Delta\omega_{\text{п}}}{\Delta\omega_{\text{с}}} \gg 1.$$

Такі підсилювачі, практично, не вносять лінійних перетворень в сигнали, що передаються, але мають більш низькі енергетичні показники і частково ускладнюють рішення проблеми електромагнітної сумісності. Тим не менше, застосування широкосмугових ПП має перспективу, внаслідок спрощення задачі автоматизації процесу зміни частот і суттєвого підвищення технічної надійності передавача.

В якості широкосмугових можуть використовуватися різні типи лампових і транзисторних підсилювачів:

- резисторні з елементами корекції;
- резонансні зі зниженою добротністю контурів;
- підсилювачі на фільтрах, що комутуються;
- підсилювачі з розподіленим підсиленням.

Основне обмеження на смугу підсилення накладають паразитні параметри електронних приладів: вхідні і вихідні ємності радіоламп, індуктивність електродів транзисторів.

2. Обмеження смуги підсилення в лампових ПП

Найпростішим способом отримання широкої смуги підсилення підсилювача є використання в ньому резистора в якості навантаження.

При цьому, в ідеальному випадку, коефіцієнт підсилення можна записати

$$K = S_{\text{СЕР}} \cdot R_{\text{Н}}, \quad (1)$$

де $S_{\text{СЕР}}$ – середня крутизна прохідної характеристики електронного приладу;

$R_{\text{Н}}$ – опір резистора навантаження.

З виразу (1) витікає, що коефіцієнт підсилення не залежить від частоти коливань, що підсилюються. Але в реальних схемах підсилювачів електронні прилади завжди мають реактивні вхідні і вихідні параметри, які підключені до опору навантаження. Опір цих елементів залежить від частоти і з її зміною змінює і коефіцієнт підсилення підсилювача.

В лампових каскадах найбільше впливають вхідна і вихідна ємності лампи (рис. 1).

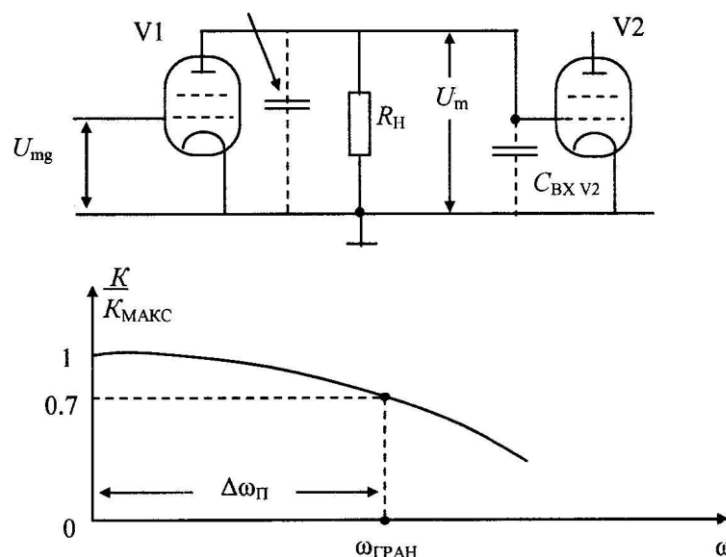


Рис. 1

Коефіцієнт підсилення по напрузі в такій схемі має вираз

$$K = \frac{U_m}{U_{mg}} = S_{сеп} \cdot |Z_e| = \frac{S_{сеп}}{|Y_e|} = \frac{S_{сеп}}{\sqrt{\frac{1}{R_H^2} + \omega^2 C^2}} = \frac{S_{сеп} R_H}{\sqrt{1 + R_H^2 C^2 \omega^2}}. \quad (2)$$

У виразі (2) – $|Z_e| = \frac{1}{|Y_e|}$ – модуль еквівалентного навантаження радіолампи $V1$;

– C – сумарна ємність, що підключена до навантаження R_H .

З виразу (2) випливає, що зі збільшенням частоти коливань, що підсилюються, коефіцієнт підсилення зменшується. Це пояснюється шунтуючою дією ємності, опір якої зменшується зі збільшенням частоти.

Вираз (2) можна записати у вигляді

$$K = \frac{K_{\text{макс}}}{\sqrt{1 + R_H^2 C^2 \omega^2}}, \quad (3)$$

де $K_{\text{макс}} = S_{сеп} R_H$.

Якщо задана величина мінімального коефіцієнта підсилення в смузі підсилення то з виразу (3) можна визначити граничну частоту смуги підсилення, наприклад (рис. 1)

$$K_{\text{мін}} = 0,7 K_{\text{макс}} = \frac{K_{\text{макс}}}{\sqrt{2}}.$$

Слідовно:

$$\sqrt{2} = \sqrt{1 + R_H^2 C^2 \omega_{\text{гран}}^2}, \quad \text{тобто} \quad \omega_{\text{гран}} = \frac{1}{R_H C}. \quad (4)$$

Таким чином, в підсилувачі з резисторним навантаженням при заданій нерівномірності частотної характеристики смуга підсилення $\Delta\omega_{\text{п}}$ визначається ємністю $C = C_{\text{вих}} + C_{\text{вх}}$ і потрібним опором навантаження. Відмітимо, що на граничній частоті коефіцієнт підсилення потужності зменшується в два рази. Це пояснюється тим, що внаслідок шунтуючої дії ємності активний опір в анодному ланцюзі зменшується вдвічі.

Дійсно, з виразу (4) випливає

$$R_H = \frac{1}{\omega_{\text{ГРАН}} C};$$

$$R_e = \frac{R_H}{1 + \omega_{\text{ГРАН}}^2 C^2 R_H^2} = \frac{R_H}{2}.$$

Розглянутий підсилювач з резисторним навантаженням забезпечує підсилення з заданою нерівномірністю $K/K_{\text{МАКС}} = 0,7$ в смузі $\Delta\omega_{\text{П}} = \omega_{\text{ГРАН}}$. Для підсилення коливань на більш високих частотах здійснюється корекція АЧХ підсилювача шляхом підключення індуктивності паралельно до опору навантаження (рис. 2). При цьому утворюється коливальний LC контур, зашунтований опором навантаження R_H . Резонансна частота контуру визначається величинами ємності та індуктивності, тобто

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

а його еквівалентний опір на резонансній частоті дорівнює опору навантаження $R_e = R_H$.

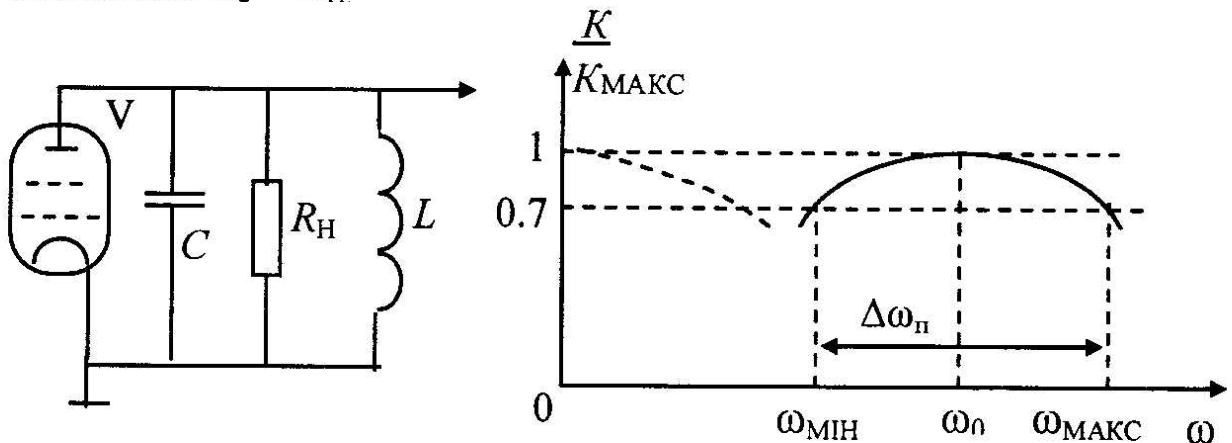


Рис. 2

Нерівномірність коефіцієнта підсилення $K/K_{\text{МАКС}} = 0,7$ визначається смугою пропускання контуру, яка фактично є смугою підсилення $\Delta\omega_{\text{П}}$. Тому з відомого співвідношення може бути отримано

$$\Delta\omega_{\text{П}} = \frac{\omega_0}{Q_e} = \frac{\omega_0 \rho}{R_e} = \frac{1}{CR_H} \quad (5)$$

Вираз (5) співпадає з виразом (4), що свідчить про те, що в підсилювачі з резисторним навантаженням

- смуга підсилення не залежить від частоти;
- ширина смуги підсилення визначається лише величиною потрібного опору навантаження R_H і величиною ємності, що його шунтує. В лампових підсилювачах це, в основному, вихідна (анодна) ємність.

Крім розглянутої, можливі більш складні схеми корекції АЧХ підсилювача. Наприклад, включення індуктивності послідовно з R_H дозволяє отримати підйом підсилення на високих частотах. Але при будь-яких ланцюгах корекції максимальна смуга підсилення, яка може бути досягнена, не перебільшує

$$\Delta\omega_B = \frac{\pi}{2CR_H}.$$

Це співвідношення має назву граничного співвідношення Боде.

3. Широкопasmові транзисторні ПП

Відмінною особливістю потужних транзисторів, в порівнянні з електронними лампами, є малі входні опори (частини і одиниці Ом), а також низькі опори навантаження (одиниці, десятки Ом). Останнє призводить до того, що вихідна ємність транзистора (ємність колекторного переходу), не накладає обмеження на отримання максимальної потужності при роботі у діапазоні частот. Обмеження смуги підсилення пов'язані, в основному, з його входним ланцюгом і граничною частотою коефіцієнта передачі струму.

Транзисторні підсилювачі потужності виконуються за двома схемами включення транзисторів: з загальною базою і з загальним емітером (рис. 3).

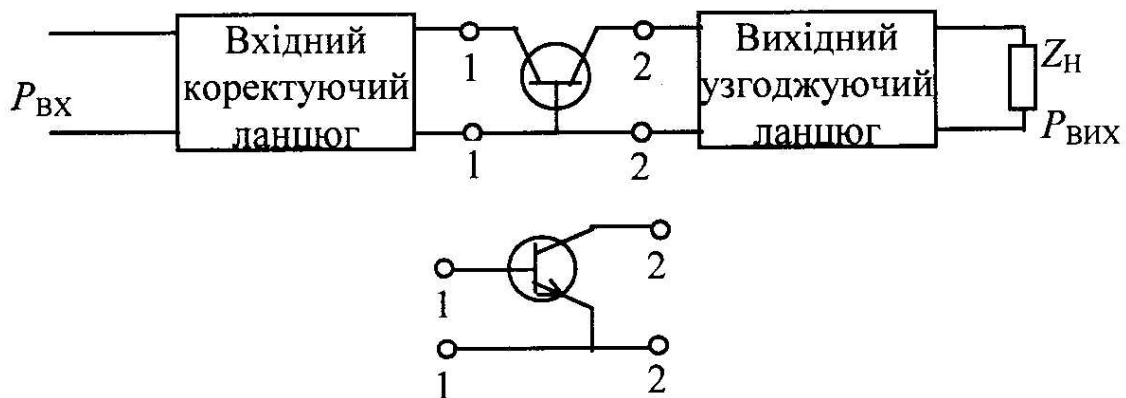


Рис. 3

Вхідний коректуючий ланцюг призначений для корекції частотної характеристики підсилювача і розширення смуги підсилення.

Вихідний узгоджуючий ланцюг забезпечує трансформацію опору навантаження Z_H до активного опору, що дорівнює граничному опору навантаження.

В схемах включення транзисторів з загальною базою, гранична частота коефіцієнта передачі по струму ω_a , як правило, значно вище ділянки робочих частот. Тому на смугу підсилення, в основному, впливає вхідна індуктивність емітерного вводу.

На рис. 4 зображена схема заміщення вхідного ланцюга в транзисторному підсилювачі з ЗБ.

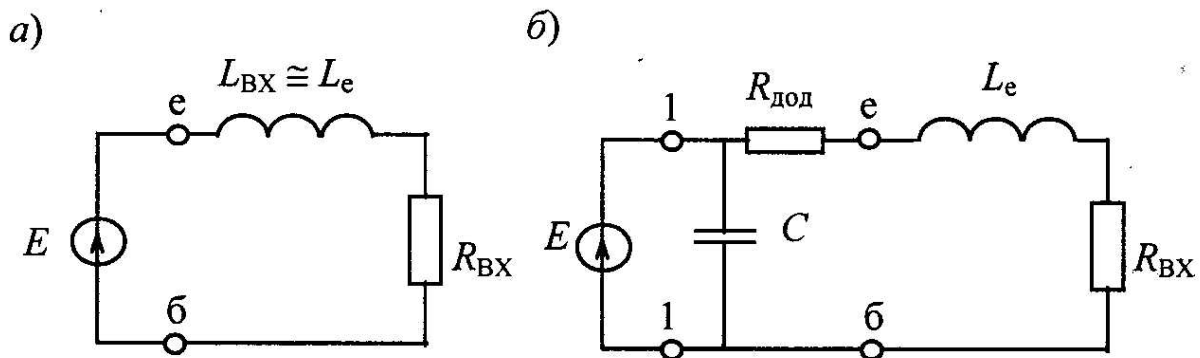


Рис. 4

Вхідний ланцюг являє собою послідовне включення індуктивності емітерного вводу L_e і опору $R_{ВХ} = r_e + r_b(1 - \alpha_0)$. Оскільки величина $R_{ВХ}$ мала, то при збільшенні частоти збуджуючої напруги вхідний струм емітера зменшується, в основному, за рахунок зростання опору індуктивності. При цьому зменшується і вихідна потужність підсилювача. Можна довести, що зменшення вихідної потужності у два рази має місце при граничній частоті

$$\omega_{ГР} = \frac{R_{ВХ}}{L_e}.$$

При цьому нерівномірність частотної характеристики буде як і в ламповому резисторному підсилювачі (рис. 1).

Розширення смуги підсилення можливе лише шляхом включення у вхідний ланцюг додаткового резистора, який зменшує вплив L_e .

Тоді:

$$\Delta\omega_{\Pi} = \frac{R_{ВХ} + R_{\text{дод}}}{L_e}$$

Але при цьому зменшується коефіцієнт підсилення каскаду за потужністю

$$K_P = \frac{P_{\text{ВИХ}}}{P_{\text{ВХ}}} \cong \alpha^2 \frac{R_H}{R_{\text{ВХ}} + R_H},$$

де α – коефіцієнт передачі по струму в схемі з загальною базою.

В схемі з загальним емітером додаткове обмеження смуги підсилення пов'язане з частотною залежністю коефіцієнта передачі по струму в цій схемі. Це пояснюється впливом ємності емітерного переходу C_e , яка шунтує його активний опір (рис. 5, а).

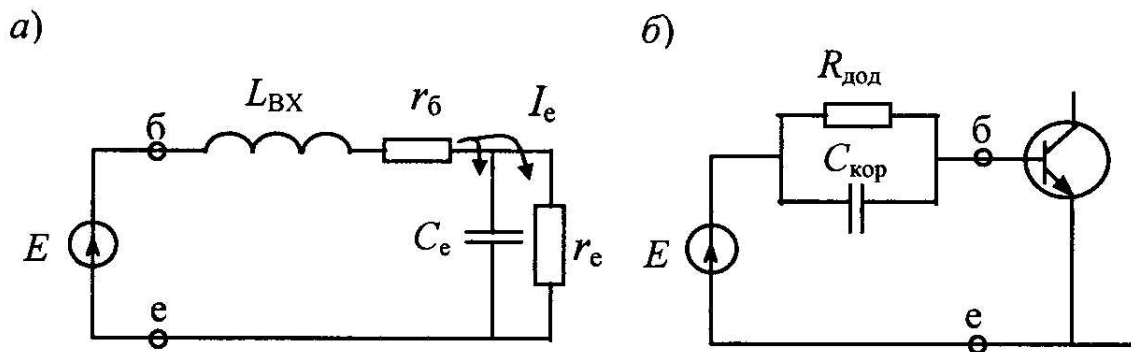


Рис.5

При збільшенні частоти коливань, які підсилюються, опір ємності C_e зменшується, зменшується і складова струму, що протікає через $r_е$. При цьому коефіцієнт передачі по струму транзистора також зменшується.

Для підтримання коефіцієнта передачі постійним необхідно зі збільшенням частоти збільшувати вхідний струм транзистора. Це досягається шунтуванням додаткового резистора в базовому ланцюгу коректуючою ємністю $C_{\text{кор}}$, опір якої зі зростанням частоти зменшується.

Висновки:

1. Для зменшення часу перестройки радіопередавачів при роботі у діапазоні частот використовуються широкосмугові підсилювачі потужності.

2. В лампових ПП смуга підсилення обмежується, в основному, вихідною ємністю каскаду. $\Delta\omega_{\text{П}} = \frac{1}{CR_{\text{Н}}}$. Розширення смуги

підсилення досягається включенням коректуючих елементів у вихідний ланцюг підсилувача.

3. В транзисторних ПП смуга підсилення обмежується, в основному, вхідними реактивними параметрами транзистора. Тому коректуючі елементи складають вхідний ланцюг підсилувача.

4. Як в лампових так і в транзисторних ПП розширення смуги підсилення поза граничну супроводжується зменшенням коефіцієнта підсилення потужності.

Питання для власного контролю та повторення

1. За яким критерієм поділяються підсилувачі на вузькосмуговій та широкосмуговій?

2. Що обмежує смугу підсилення в лампових підсилюючих каскадах?

3. Чим визначається нерівномірність коефіцієнта підсилення в смузі підсилення резонансного ПП?

4. Чому вихідна ємність в транзисторному ПП не впливає на його смугу підсилення?

5. Яким чином розширюється смуга підсилення в транзисторному підсилувачі, виконаного за схемою з загальним емітером і загальною базою?