

## ЛЕКЦІЯ 15 ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ПІДСИЛЮЮЧИХ КАСКАДІВ ПЕРЕДАВАЧА

### 1. Особливості вихідних каскадів

Вихідним каскадом передавача називається його останній каскад, який забезпечує задану коливальну потужність в антені або в антенному фідері. Отже навантаженням вихідного каскаду є антена.

В загальному випадку вхідний опір антени має комплексний характер

$$Z_A = R_A + jX_A.$$

При роботі в діапазоні частот як активна ( $R_A$ ) так і реактивна ( $X_A$ ) складові опору антени можуть змінюватися у вельми широких границях. При цьому потужність, яка передається в антену, повинна бути не менше заданої. Для отримання в антені максимальної потужності необхідно виконати дві умови:

- забезпечити такий режим роботи ПП, при якому генеруєма потужність була б максимальною;
- забезпечити умови передачі в антену максимальної потужності.

Перша вимога забезпечується роботою ПП в граничному режимі. При цьому еквівалентний опір його навантаження повинний бути

$$R_e = R_{Гр}. \quad (1)$$

Еквівалентний опір  $R_e$  містить в собі і опір антени. При виконанні умови (1) має місце і максимальний ККД підсилювача. Тому в антену буде віддаватися максимальна потужність. Якщо в якості навантаження ПП є коливальний контур, то антена може бути підключена до нього двома способами:

- за простою схемою – коли антена підключена послідовно з елементами контуру і складає його частину (рис. 1, а);
- за складною схемою – коли антена підключається через додатковий контур, який називається антенним (рис. 1, б).

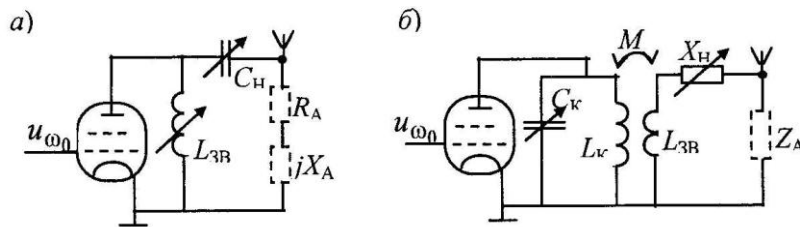


Рис.1

Контур, який включено в анодний ланцюг називається проміжним або анодним.

**Примітка.** На рис. 1, а, б не показано ланцюги живлення радіолампи від джерела постійного струму.

В схемі рис. 1, а, комплексний опір контуру буде

$$Z_K = R_A + r_{L_{3B}} + j\omega L_{3B} - j\frac{1}{\omega C_H} + jX_A. \quad (2)$$

Настройка контуру в резонанс здійснюється конденсатором  $C_H$ . Зв'язок контуру з лампою регулюється котушкою індуктивності  $L_{3B}$ .

При резонансі реактивна складова опору  $Z_K$  дорівнює

$$\omega L_{3B} - \frac{1}{\omega C_H} + X_A = 0. \quad (3)$$

Еквівалентний опір, який підключений до лампи через індуктивність зв'язку буде

$$R_e = \frac{X_{3B}^2}{R_A + r_{L_{3B}}} = \frac{(\omega L_{3B})^2}{R_A + r_{L_{3B}}} \quad (4)$$

і має активний характер.

Регулюванням  $X_{ЗВ}$  можна добитися виконання умови (1).

Проста схема підключення антени використовується в малопотужних передавачах з малим коефіцієнтом перекриття робочого діапазону частот.

Це пояснюється тим, що режим роботи ПП в значній мірі залежить від величини і характеру опору антени  $Z_A$ , які в широкому діапазоні частот змінюються в значних границях. Крім того, простий контур слабо придушує побічні випромінювання.

Складна схема вихідного каскаду менш чутлива до зміни параметрів антени і має більш високу вибірковість відносно побічних випромінювань. Тому вона використовується в широкодіапазонних передавачах як малої, так середньої і великої потужності.

Розглянемо деякі енергетичні співвідношення в каскадах складної схеми, для чого представимо схему рис. 1, а в спрощеному вигляді (рис. 2).

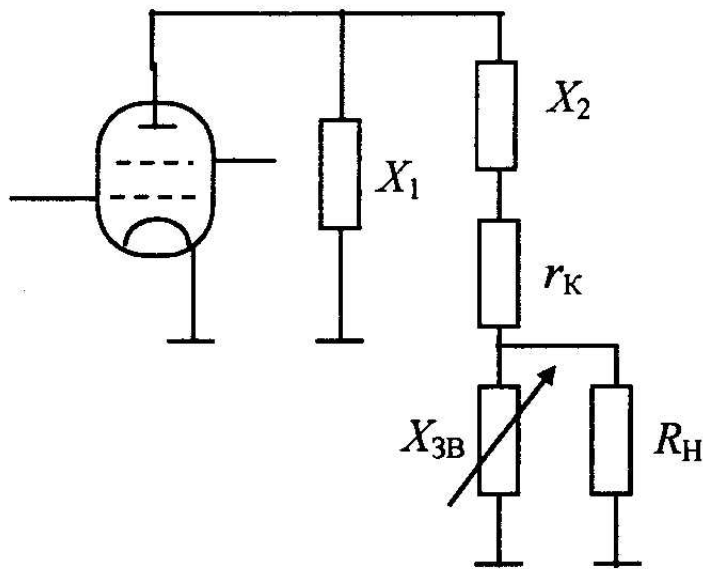


Рис. 2

На рис. 2 позначено:

–  $X_1$  – реактивний опір ємнісної гілки анодного контуру;

–  $X_2, r_K$  – реактивний та активний опір котушки індуктивності анодного контуру;

–  $X_{зв}$  – реактивний опір зв'язку між контурами;

–  $R_H$  – активний опір антенного контуру, який навантажує анодний контур.

**Примітка.** Вважаємо, що антенний контур настроєно в резонанс з частотою збудження каскаду.

Передача енергії з проміжного контуру в антенний еквівалентна внесенню із останнього в перший деякого опору  $r_{BH}$ . Тому загальний опір втрат проміжного контуру дорівнює  $r_K + r_{BH}$ .

При настройці обох контурів в резонанс на частоту  $\omega_0$  еквівалентний опір навантаження лампи буде

$$R_e = Q_e \rho = \frac{\rho^2}{r_K + r_{BH}} = \frac{R_{e0}}{1 + \frac{r_{BH}}{r_K}}, \quad (5)$$

де  $R_{e0} = \frac{\rho}{r_K}$  – еквівалентний опір ненавантаженого проміжного контуру при резонансі;

$r_{BH} = \frac{X_{зв}}{R_H}$  – опір, який внесено із антенного контуру в проміжний.

Величина  $\frac{r_{BH}}{r_K}$  характеризує міру зв'язку між контурами, тобто

міру передачі потужності з проміжного контуру в антенний і ККД проміжного контуру.

ККД проміжного контуру можливо записати у вигляді

$$\eta_K = \frac{P_{AK}}{P} \frac{r_{BH}}{r_K + r_{BH}} = \frac{1}{1 + \frac{r_K}{r_{BH}}}. \quad (6)$$

З аналізу виразів (5) і (6) можна зробити наступні висновки:

1. При збільшенні зв'язку антенного і проміжного контурів збільшується вносимий опір  $r_{\text{вн}}$  і поступово зростає ККД проміжного контура.

2. При малому зв'язку контурів  $R_e$ , тобто навантаження електронного приладу – максимальне. Якщо  $R_e > R_{\text{ГР}}$ , то підсилювач працює у перенапруженому режимі. По мірі збільшення зв'язку підсилювач переходить в граничний ( $R_e = R_{\text{ГР}}$ ), а потім – в недонапружений режим ( $R_e < R_{\text{ГР}}$ ). Ця закономірність використовується при настройці вихідного каскаду – регулювання величини зв'язку контурів добиваються максимального струму в антені.

3. Збільшення  $r_{\text{вн}}$  супроводжується зниженням еквівалентної добротності проміжного контуру (вираз 5). Це призводить, у свою чергу, до погіршення вибірковості коливальної системи підсилювача по відношенню до побічних коливань. Поліпшення вибірковості, а також ККД проміжного контуру можливо лише зменшенням втрат в контурі та елементах зв'язку, тобто збільшенням їх добротності.

## **2. Особливості побудови і режими роботи проміжних каскадів радіопередавача**

Проміжні каскади тракту підсилення передавача розташовані поміж збуджувачем і вихідним каскадом і призначені для забезпечення потужності, необхідної для збудження вихідного каскаду. Вони зменшують також вплив вихідного каскаду на збуджувач.

Крім заданої потужності до проміжних каскадів пред'являються дві основні вимоги:

– постійність амплітуди вихідної напруги в діапазоні робочих частот передавача;

– лінійність підсилення.

Для забезпечення постійної амплітуди напруги збудження на вході наступного каскаду доцільна робота проміжного каскаду в перенапруженому режимі. При цьому амплітуда коливальної напруги на виході каскада практично не залежить від опору навантаження. Однак перенапружений режим можна застосовувати лише при підсиленні сигналів, в яких амплітуда не є інформативним параметром (сигнали F1B, F7B, G1B, A1A).

При підсиленні односмугових сигналів і сигналів виду АЗЕ підсилення має бути лінійним, що забезпечується в межах недонапруженого режиму роботи.

Постійність напруги збудження на виході каскаду, який працює в недонапруженому режимі, може бути отримане лише при постійності опору навантаження каскаду в діапазоні частот його перестройки. Для цього в практичних, схемах резонансних проміжних каскадів застосовуються спеціальні заходи по підтримці опору навантаження постійним.

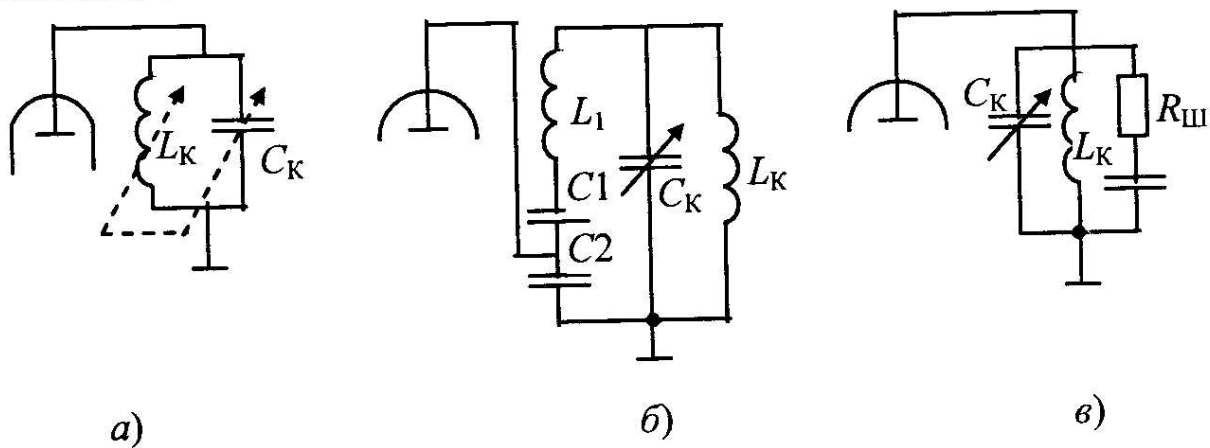


Рис. 3

При використанні в навантаженні каскаду одиночного коливального контуру постійність його опору можна забезпечити, якщо здійснювати його перестройку одночасною зміною індуктивності і ємності так, щоб їх відношення  $\frac{L_K}{C_K}$  залишалось постійним (рис. 3, а). При цьому, в межах малої зміни добротності контура  $Q_0$ , можна вважати

$$R_{e0} = \rho Q_e = \sqrt{\frac{L_K}{C_K}} Q_e = \text{const.}$$

Недоліком такого методу є складність системи спряженої перестройки елементів контуру.

Постійність опору навантаження електронного приладу можна забезпечити застосуванням частотно-залежних ланцюгів зв'язку контуру з електронним приладом. При цьому ланцюг зв'язку виконується у вигляді подільовача, коефіцієнт ділення якого змінюється у діапазоні частот за законом зворотнім закону зміни опору контура. Так (рис. 3, б) еквівалентний опір, який підключено до електронного приладу визначається коефіцієнтом включення  $p = \frac{U_{C2}}{U_K}$

$$R_e = \rho^2 R_{e0}.$$

При перестройці контура в бік високих частот  $C_K$  зменшується, а  $R_{e0}$  зростає. Зараз з тим напруга на конденсаторі  $C2$  зменшується, а на ланцюзі  $C1, L1$  зростає, тобто зменшується коефіцієнт включення. Таким чином, опір навантаження змінюється в менших межах.

У деяких схемах зменшення діапазону зміни опору навантаження здійснюється шляхом шунтування контуру активним опором (резистором). Але активний шунт призводить до зменшення коефіцієнта підсилення каскаду та його вибірковості відносно побічних коливань. Тим не менше такі каскади знайшли свій розвиток в широкосмугових підсилювачах які не перестроюються в деякому діапазоні частот.

Крім розглянутих способів забезпечення постійності напруги збудження вихідного каскаду в тракці попереднього підсилення застосовується система АРП.

### **3. Резонансні підсилювачі потужності на транзисторах**

Застосування транзисторів в підсилюючих каскадах дозволяє поліпшити експлуатаційні показники радіопередавачів: підвищити надійність, зменшити габарити й масу, забезпечити, практично, миттєву готовність передавача до роботи, підвищити безпеку обслуговуючого персоналу.

При використанні транзисторів в радіопередавачах необхідно враховувати наступне:

- складну залежність параметрів транзисторів від частоти і режиму роботи;
- низькі вхідні і навантажувальні опори транзисторів;
- критичність транзисторів до перевантаження по струму і напрузі;

– залежність параметрів транзисторів від температури.

В підсилювачах потужності використовується дві схеми включення транзисторів: з загальним емітером (ЗЕ) і з загальною базою (ЗБ). Такі схеми подібні ламповим схемам з загальним катодом і загальною сіткою. Схема з ЗЕ забезпечує більший коефіцієнт підсилення потужності, добре узгодження каскадів між собою і меншу реакцію вихідного ланцюга на вхідний, чим схема з ЗБ. За цією схемою будуються каскади ПП в передавачах декаметрового і частково метрового діапазонів. Схема з ЗБ використовується у метровому діапазоні хвиль.

Режими роботи транзисторних ПП такі ж як і лампових ПП. Для забезпечення малих нелінійних спотворень транзистори, як і лампи, повинні працювати у недонапруженому режимі. Високі енергетичні показники також можуть бути отримані тільки в режимі з відсічкою колекторного струму з кутом відсічки близько  $90^\circ$ .

Найважчою особливістю потужних транзисторних підсилювачів є те, що потрібний опір навантаження для роботи в граничному режимі дорівнює одиницям Ом. Мала величина опору граничного режиму при достатньо великому еквівалентному опорі коливального контура (декілька кОм) вимагає сильного зв'язку між контуром і навантаженням. При цьому шпарко знижується еквівалентна добротність контуру

$$Q_e = \frac{\rho^2}{r_k + r_{вн}} = \frac{R_{e0}}{1 + \frac{r_{вн}}{r_k}},$$

яка визначає фільтрацію побічних коливань.

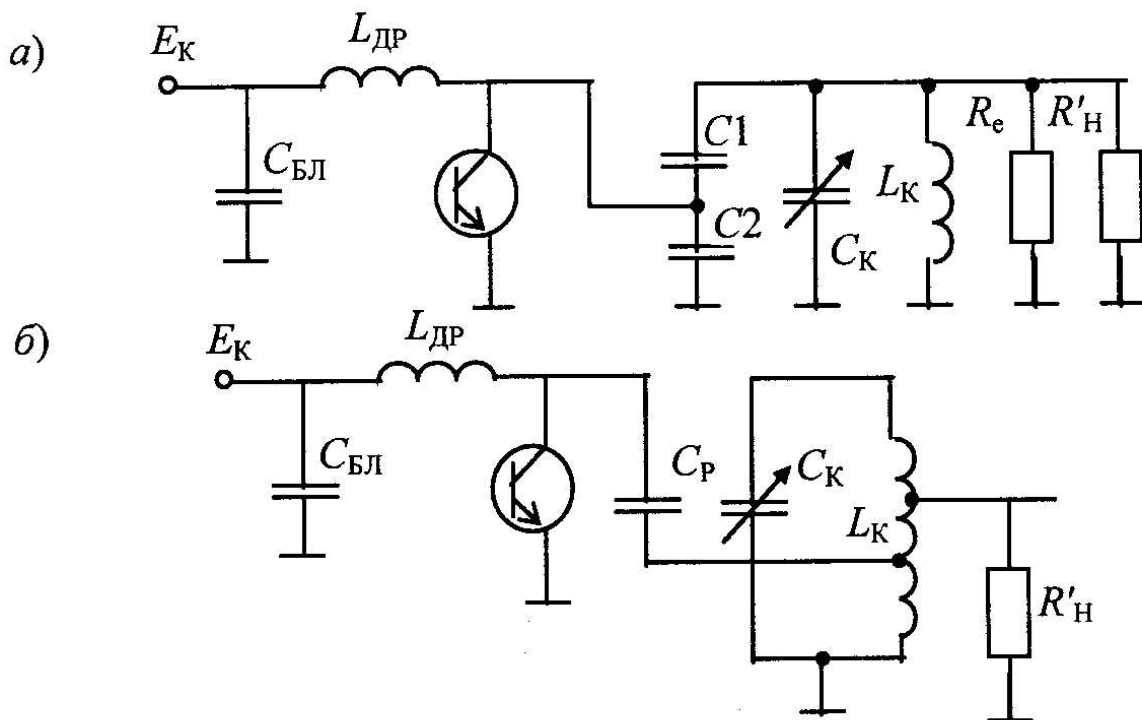


Рис. 4



Еквівалентний опір навантаженого контура можна довести до граничного шляхом зменшення зв'язку контура з транзистором (неповне включення) рис. 4.

Ці схеми можна реалізувати на високих частотах при невеликих рівнях потужності (одиниці Вт). Тому резонансні схеми транзисторних підсилювачів потужності знаходять обмежене використання. Зараз з тим мале значення  $R_{ГР}$  дозволяє легко виконати транзисторні підсилювачі широкосмуговими.

### **Питання для власного контролю та повторення**

1. Що таке проста схема включення антени в вихідному каскаді передавача?
2. Чому складна схема вихідного каскада має менший ККД чим проста схема?
3. Які переваги має складна схема вихідного каскада?
4. Які вимоги пред'являються до проміжних каскадів тракту підсилення передавача і чому?
5. Якими шляхами забезпечується постійність напруги збудження вихідного каскаду передавача?
6. Чому транзисторні резонансні підсилювачі потужності знаходять обмежене використання?