

## Лекція 14

# ПІДИЛЮВАЧІ ПОТУЖНОСТІ РАДІОПЕРЕДАВАЧІВ

(Продовження)

### 1. Режими роботи підсилювача потужності

Розглянутий режим роботи ПП відноситься до класу «А». Він є невігідний з точки зору енергетичних співвідношень: велика  $P_a$  ( $I_{a0}$ ), малий  $\xi$ . Для усунення цих недоліків у ПП застосовується робота з відсічкою анодного струму. Розглянемо рис. 3.

Якщо зсунути робочу точку в початок анодно-сіткової характеристики (шляхом збільшення напруги зсуву  $|E'_{g1}| > |E_{g1}|$ ), то анодний струм буде протікати лише в напівперіоді напруги  $u_{ВХ}$  і має імпульсний характер. Половина довжини імпульсу (по основі), яка визначена у кутовій мірі, називається кутом відсічки  $\psi$ . У розглянутому випадку коли  $u_{g1} = -E'_{g1}$ ,  $\psi = 90^\circ$  і такий режим називається класом «В».

При подальшому збільшенні напруги зсуву ( $E''_{g1}$ ) кут відсічки  $\psi < 90^\circ$  і ПП працює в режимі класу «С». При цьому імпульс анодного струму придбає гострокінцеву форму.

В режимах «В» і «С» напруга на коливальному контурі залишається синусоїдальною так як гармоніки 2-го та інших порядків фільтруються контуром.

В залежності від співвідношення напруг зсуву і збудження розрізняють:

1. Недонапружений режим  $U_{m ВХ} < |E_{g1}|$ : імпульс анодного струму має  $\cos$  форму, сіткові струми відсутні (у режимі «А»  $I_{a1}$  повторює форму  $u_{ВХ}$ ).

2. Граничний режим  $U_{m ВХ} \approx |E_{g1}|$ : імпульс анодного струму злегка обмежений, сіткові струми малі.

3. Перенапружений режим  $U_{m ВХ} > |E_{g1}|$ : імпульс анодного струму має провал у вершині внаслідок збільшення сіткових струмів.

Найбільш енергетично вигідним є режим близький до граничного при кутах відсічки  $60^\circ \dots 90^\circ$  (слабо недонапружений). При цьому анодний струм і всі його складові визначаються амплітудою імпульсу  $I_m$  та кутом відсічки  $\psi$

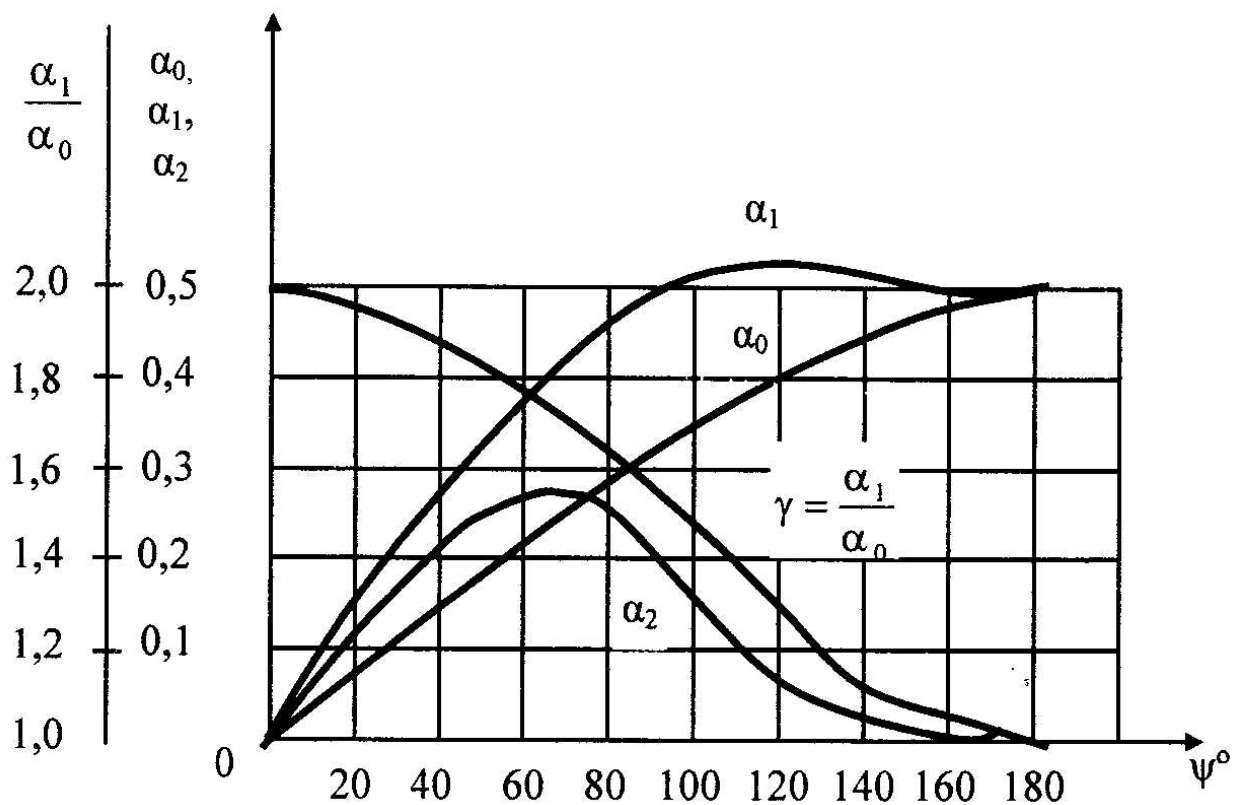
$$I_{a0} = \alpha_0 I_m; \quad I_{a1} = \alpha_1 I_m; \quad I_{a2} = \alpha_2 I_m \quad \text{і т.д.},$$

де  $\alpha_0, \alpha_1 \dots \alpha_S$  – коефіцієнти розкладання імпульсу анодного струму (коефіцієнти А.І.Берга). Значення цих коефіцієнтів визначаються тільки кутом відсічки  $\psi$ .

На рис. 4 приведені графіки  $\alpha_i(\psi)$ , а також крива  $\gamma = \frac{\alpha_1}{\alpha_0}$ , яка визначає зміну ККД ПП по анодному ланцюгу в залежності від кута відсічки анодного струму.

$$\text{Дійсно } \eta_a = \frac{P_{\sim}}{P_0} = \frac{1}{2} \frac{I_{a1}}{I_{a0}} \xi, \text{ де відношення } \frac{I_{a1}}{I_{a0}} \text{ залежить від } \frac{\alpha_1}{\alpha_0},$$

яке називають коефіцієнтом форми cos імпульсу  $\gamma$ .



З рис. 4 випливають висновки.

1. З ростом кута відсічки стала складова анодного струму ( $\alpha_0$ ) монотонно зростає, зростає і потужність, що розсіюється на аноді  $P_{a0}$ .

2. Перша гармоніка анодного струму ( $\alpha_1$ ) має максимум при кутах відсічки  $100^\circ - 120^\circ$ .

3. ККД ПП зростає зі зменшенням кута відсічки. Але при цьому зменшується амплітуда  $I_{a1}$ , а слідовно, і коливальна потужність. Оптимальним є режим роботи з кутом відсічки  $\psi = 60^\circ - 90^\circ$ .

#### 4. Залежність енергетичних показників підсилювача потужності від режиму роботи

##### 4.1. Поняття динамічної характеристики ПП

Попередні міркування відносно залежності енергетичних показників ПП від режиму роботи були отримані на основі розглядання анодно-сіткових статичних характеристик. Більш детальний аналіз цих залежностей звичайно проводиться за допомогою динамічних характеристик в анодних координатах  $f(u_a, u_{g1})$ . Перехід від анодно-сіткових координат до анодних приведено на рис. 5. При цьому реальні характеристики апроксимуються кусковолінійними.

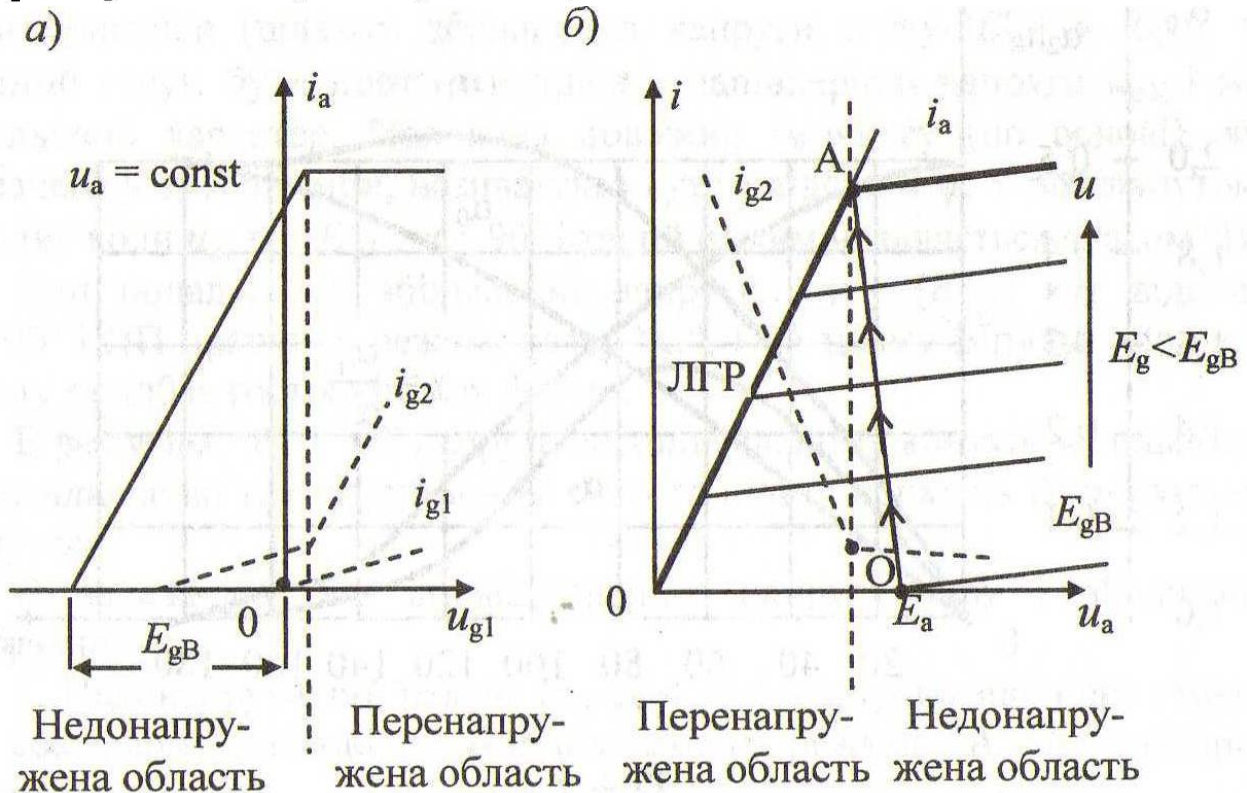


Рис.5

На рис. 5, б зображені статичні характеристики тетрода в анодних координатах при різних напругах зсуву на першій сітці і відсутності збуджуючого коливання. При наявності збуджуючого коливання і постійної напруги на аноді  $u_a = E_a$  анодний струм змінює свою величину відповідно зі зміною напруги на першій сітці, проходячи відповідні точки статичних характеристик (лінія OA).

Також як на реальних, так і на ідеалізованих характеристиках можна виділити дві характерні області: недонапружену і перенапружену.

У недонапруженій області анодний струм залежить в основному від напруги на управляючій сітці, сіткові струми  $i_{g1}$  та  $i_{g2}$  малі.

У перенапруженій області анодний струм в більшій ступені залежить від напруги на аноді і зростають сіткові струми. Межею поміж

недонапруженою і перенапруженою областями є геометричне місце точок злому статичних характеристик  $i_a = \varphi(u_a)$ . Ці точки лежать на лінії, яка називається лінією граничного режиму (ЛГР).

Для енергетичних розрахунків ПП необхідно знати форму імпульсів анодного струму (для визначення величин  $I_{a0}$   $I_{a1}$  ...). Для цього необхідно звернутися до динамічного режиму роботи підсилювача. Динамічний режим характеризує залежність анодного струму лампи від змінних складових напруг на управляючій сітці ( $u_{g1} = -E_{g1} + U_{mg} \cos \omega t$ ) і на аноді ( $u_a = E_a - U_{ma} \cos \omega t$ ) при певному режимі роботи лампи по постійному струму, тобто при заданих значеннях  $E_a$ ,  $E_{g2}$ ,  $E_{g1}$ .

Розглянемо побудову динамічної характеристики в граничному режимі класу "В" (рис. 6).

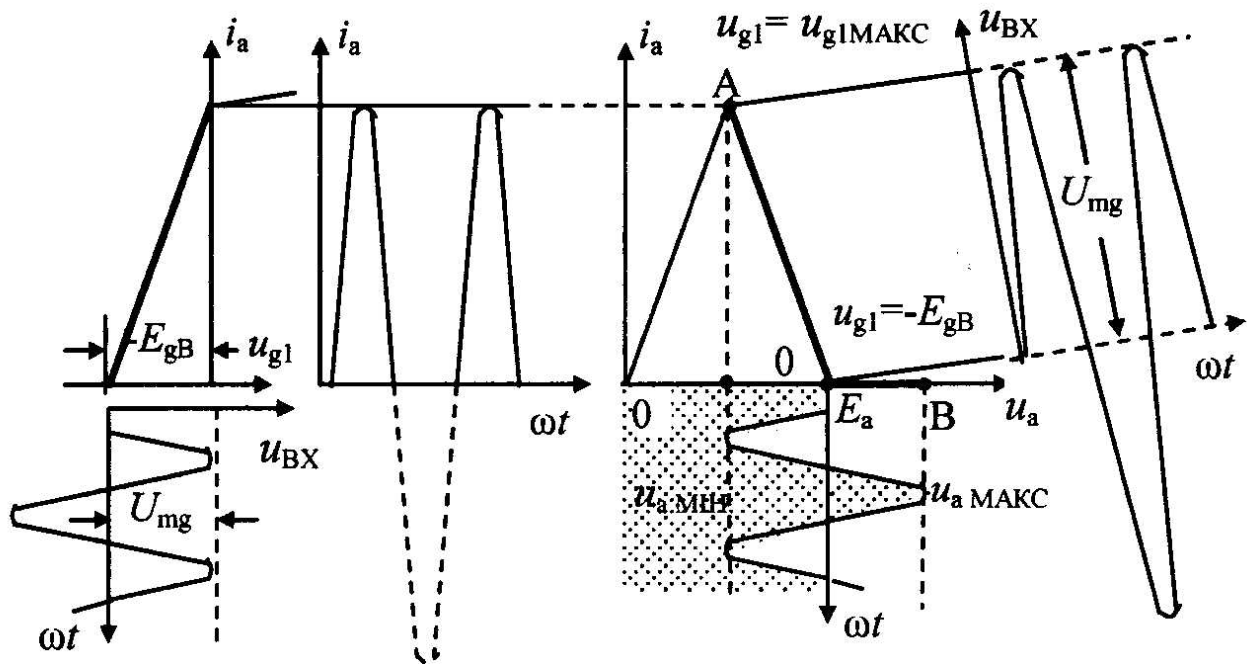


Рис. 6

Цей режим характеризується наступним:

1. Робоча точка вибирається на початку анодно-сіткової характеристики. При цьому напруга на першій сітці в статичному режимі дорівнює напрузі зсуву режиму "В", тобто  $u_{g1} = -E_{gB}$ . На анодній характеристиці цій точці відповідає точка "О", яка є початком анодної статичної характеристики при  $u_a = E_a$ ;  $u_{g1} = -E_{gB}$  в якій  $i_a = 0$ .

2. Амплітуда змінної напруги на вході підсилювача  $U_{mg} = |E_{gB}|$ . При цьому імпульс анодного струму  $i_a$  має максимальну величину і косинусоїдальну форму. В анодних координатах максимальна величина анодного струму визначається точкою "А" на статичній анодній характеристиці, яка відповідає граничному режиму.

3. Напруга на аноді лампи змінюється від  $u_a$  МІН до  $u_a$  МАКС внаслідок дії напруги на коливальному контурі. При цьому в результаті відсічки анодний струм в інтервалі від  $u_a = E_a$  до  $u_a = u_a$  МАКС не протікає, тобто на ділянці ОВ  $i_a = 0$ .

Таким чином, при наявності збуджуючого коливання анодний струм підсилювача змінюється по лінії АОВ, яка називається його динамічною характеристикою.

Динамічні характеристики підсилювача, що працює в інших режимах приведені в [1] с. 132...141.

#### 4.2. Вплив опору навантаження на режим роботи ПП

При попередньому розгляданні режимів роботи ПП вважалося, що коливальний контур, який є навантаженням лампи, настроєний у резонанс на частоту вхідних коливань. Також вважалося, що в граничному режимі еквівалентний опір контуру дорівнює граничному значенню опору навантаження. Але в процесі настройки підсилювача еквівалентний опір коливального контуру змінюється в широких межах, що призводить до зміни режимів роботи і енергетичних показників ПП.

Розглянемо динамічні характеристики ПП, який працює в режимі "В" (рис. 7).

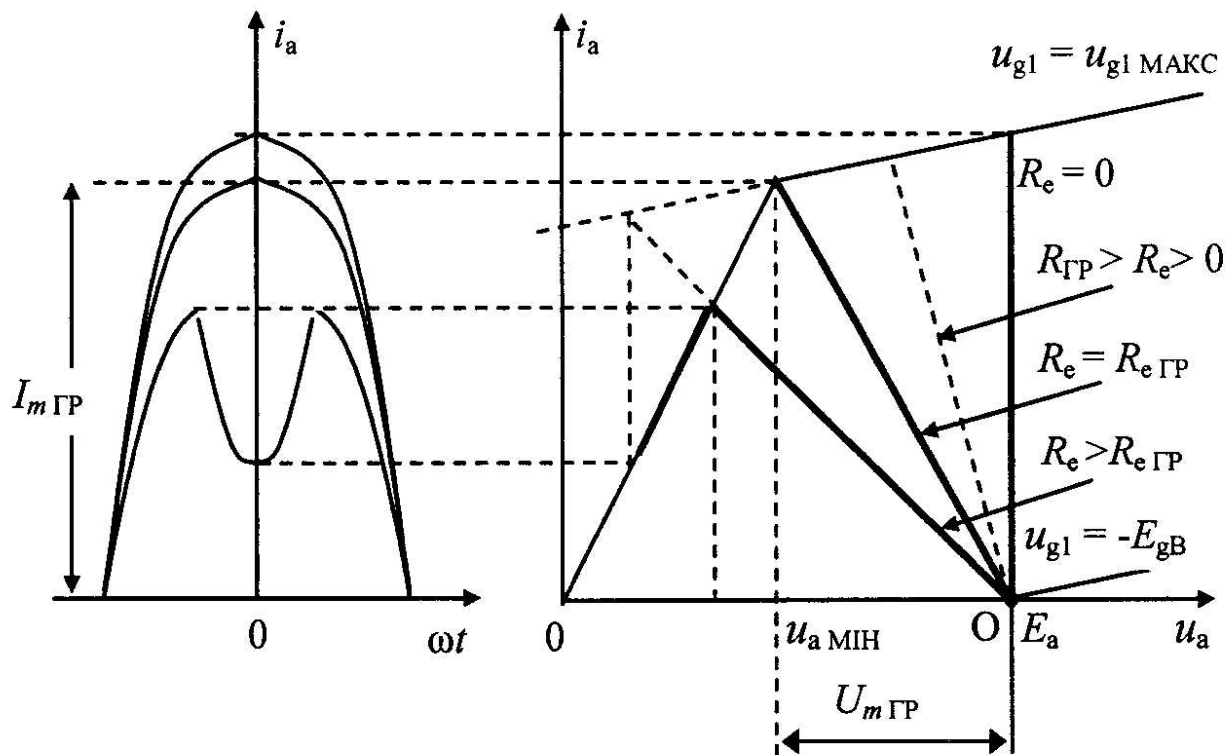


Рис. 7

Напруги живлення і збудження вважаємо незмінними.

Динамічні характеристики підсилювача при різних опорах навантаження будуть проходити через точку "О" в якій  $u_{g1} = -E_{gb}$  і  $u_a = E_a$  і закінчуватися на статичній характеристиці (або її продовженні) з максимальною напругою на сітці  $u_{g1 \text{ макс}} = -E_{gb} + U_{mg}$ .

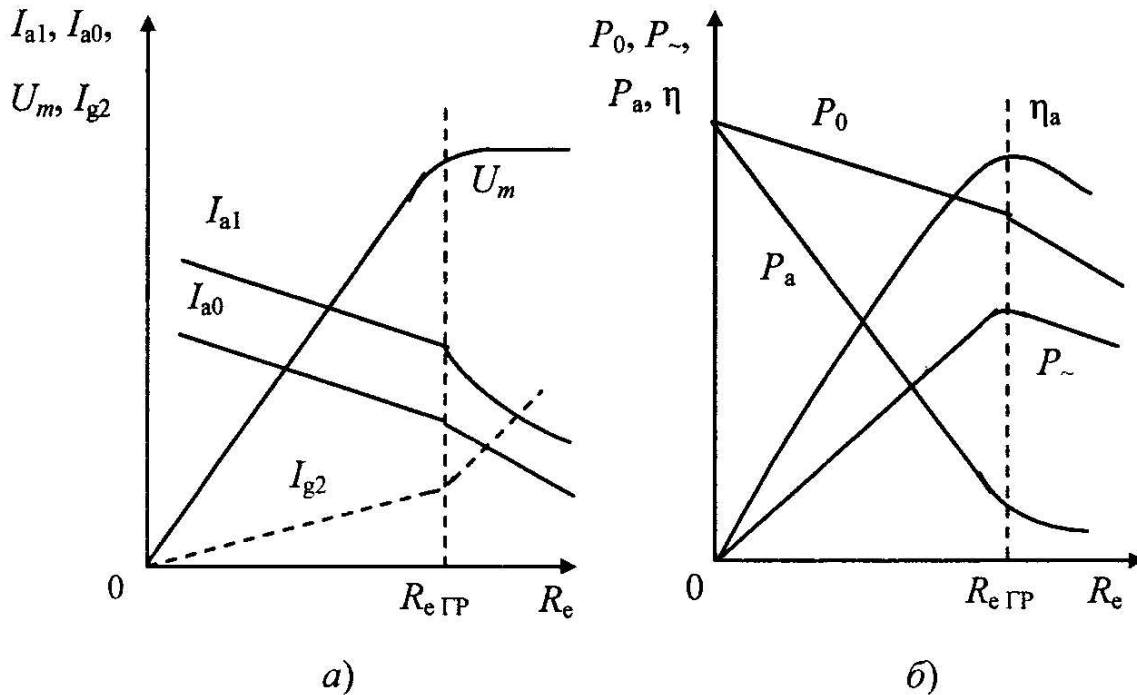


Рис. 8

При  $R_e = 0$  (що має місце коли контур розстроений) напруга на аноді не змінюється і динамічна характеристика йде паралельно з віссю ординат. При цьому імпульс анодного струму має максимальну величину. При збільшенні опору навантаження до  $R_e = R_e \text{ ГР}$  імпульс струму залишається гострокінцевим, а його амплітуда зменшується. Поступово зменшується амплітуда першої гармоніки і постійної складової анодного струму (див. рис. 8, а). Амплітуда напруги на контурі  $U_m = I_{a1} \cdot R_e$  при цьому зростає майже лінійно.

Потужність, що споживається від джерела живлення  $P_0 = E_a \cdot I_{a0}$  незначно зменшується, а коливальна потужність  $P_{\sim} = \frac{1}{2} I_{a1} \cdot R_e$  зростає (рис. 8, б). Отже потужність, що розсіюється на аноді лампи ( $P_a = P_0 - P_{\sim}$ ), швидко спадає, а ККД підсилювача зростає майже лінійно. Таким чином, у недонапруженому режимі при збільшенні еквівалентного опору навантаження лампи, енергетичні показники ПП поліпшуються.

При переході у перенапружений режим ( $R_e > R_{e \text{ гр}}$ ) в імпульсі анодного струму з'являється провал, що призводить до шпаркового зменшення першої гармоніки і постійної складової анодного струму. Але напруга першої гармоніки на контурі  $U_m$  змінюється мало і коливальна потужність  $P_{\sim} = \frac{1}{2} \frac{U_m^2}{R_e}$  зменшується приблизно пропорційно

$R_e$ . Максимальний ККД має місце в слабо перенапруженому режимі.

Проведений аналіз показує, що найбільш вигідним режимом, з точки зору енергетичних співвідношень, є режим близький до граничного, коли еквівалентний опір контуру дорівнює граничному значенню. При цьому максимальні коливальна потужність і ККД підсилювача при достатньо малій потужності, що розсіюється на аноді (наприклад, при  $\psi = 90^\circ$  і  $\xi = 0,8 \div 0,9$ ;  $\eta_a = 0,6 \div 0,7$ ).

Залежність струмів  $I_{a0}$  та  $I_{g2}$  від  $R_e$  використовується для настройки у резонанс анодного контуру ПП.

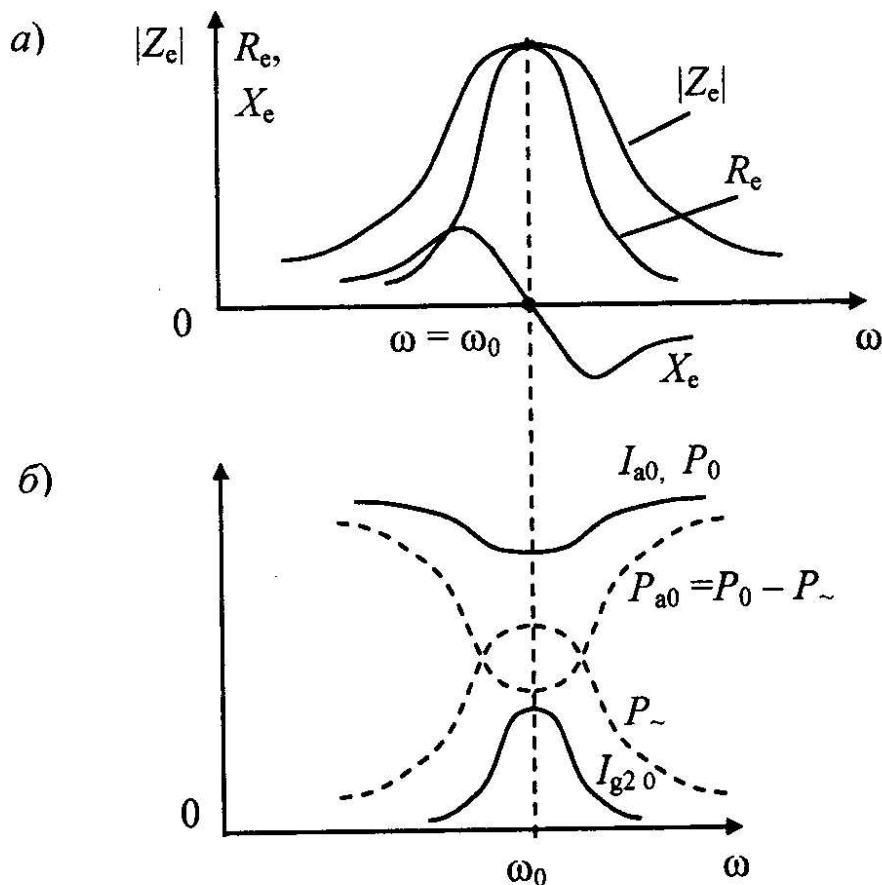


Рис. 9

Опір коливального контуру різко змінюється поблизу від резонансної частоти (рис. 9, а) – при розстроєному контурі він малий, а при резонансі – максимальний. При наявності збуджуючого коливання, якщо контур розстроєний, режим підсилювача буде недонапружений,

струм  $I_{a0}$  буде великий, а  $I_{g20}$  – малий. При наближенні настройки контуру до частоти збуджуючих коливань опір контуру  $|Z_e|$  зростає, режим роботи наближується до перенапруженого, струм  $I_{a0}$  зменшується, а  $I_{g20}$  – зростає. При настройці контуру у резонанс з частотою збуджуючих коливань анодний струм  $I_{a0}$  буде мінімальний, а струм екрануючої сітки  $I_{g20}$  – максимальний (рис. 9, б) На рис. 9, б зображено також як при настройці контура змінюються потужність, що споживається підсилювачем  $P_0$ , потужність, що розсіюється на аноді  $P_a$  і коливальна потужність  $P_{\omega}$ .

Для індикації процесу настройки ПП в ланцюги постійного струму електродів лампи включаються вимірювальні прилади (рис. 10).

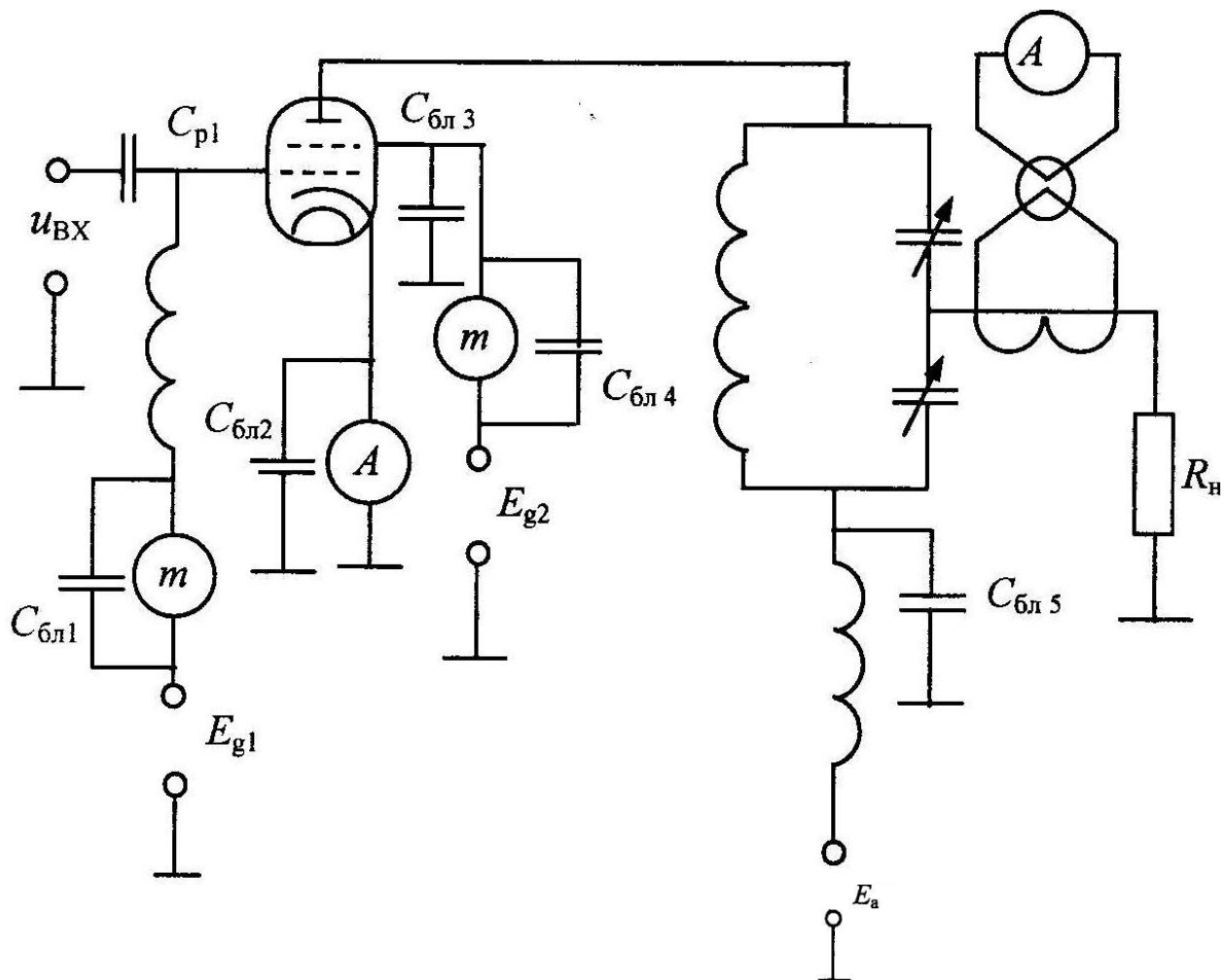


Рис. 10

Настройка ПП здійснюється наступним чином. При малому зв'язку з навантаженням  $R_H$  (ємність  $C_{ЗВ}$  мінімальна) анодний контур настроюється в резонанс по мінімуму анодного струму  $I_{a0}$  або по максимуму струму екрануючої сітки  $I_{g20}$ . Вибір оптимального зв'язку з навантаженням здійснюється зміною ємності  $C_{ЗВ}$  і контролюється по



максимуму струму  $I_H$ , який протікає в  $R_H$ . Регулювання зв'язку призводить до розстройкі анодного контуру, тому одночасно зі зміною зв'язку необхідно його підстроювати.

## 5. Вибір режиму роботи підсилювача потужності при різних видах радіосигналів

Радіосигнали, які використовуються для радіозв'язку, можна умовно поділити на дві групи.

До першої групи відносяться сигнали, амплітуда коливань котрих не змінюється в часі. Це радіосигнали з частотною модуляцією і з частотною і фазовою маніпуляцією. До другої групи відносяться сигнали з амплітудною модуляцією і односмугові сигнали, амплітуда коливань котрих непостійна.

При підсиленні радіосигналів першої групи режим роботи ПП вибирають із міркувань використання максимальної потужності електронного приладу і забезпечення високого ККД. Цим вимогам відповідає робота підсилювача у злегка перенапруженому режимі з кутами відсічки  $\psi = 70^\circ \dots 80^\circ$ . Цей режим має також малу чутливість до невеликих змін напруги збудження і опору навантаження. При підсиленні сигналів амплітудної телеграфії, амплітуда яких скачком змінюється від нуля до  $U_{ВХ \text{ МАКС}}$ , в ПП використовується такий же режим.

При підсиленні односмугових радіосигналів, в яких інформаційними параметрами є частота і амплітуда коливань, необхідно забезпечити режим лінійного підсилення. Це можливо при роботі підсилювача у недонапруженому режимі без відсічки анодного струму. Але при цьому ККД підсилювача буде низьким і такий режим використовується лише в малопотужних проміжних каскадах.

Розглядаючи ідеалізовані анодно-сіткові характеристики (рис. 5, а) можна прийти до висновку, що лінійний режим підсилення з високим ККД може бути забезпечений при роботі підсилювача в недонапруженому режимі з відсічкою анодного струму  $\psi = 90^\circ$ , тобто в режимі класу "В". Однак, якщо урахувати, що в реальних характеристиках нижня ділянка має нелінійний характер, а середнє значення огибаючої односмугового сигналу значно менше максимального, то нелінійних спотворень сигналу не уникнути. Тому мова може йти про мінімальні нелінійні спотворення, що забезпечуються вибором оптимального положення початкової робочої точки з допомогою напруги зсуву  $E_{g1}$ .

В динамічному режимі максимальна амплітуда вхідного сигналу має бути такою, щоб підсилувач не переходив в перенапружений режим. Це контролюється по відсутності струму управляючої сітки ( $I_{g10}$ ), або за співвідношенням струмів  $I_{a0}$  та  $I_{g20}$ .

Якщо вхідний сигнал ПП є багатоканальний, то амплітуда збуджуючого коливання (групового сигналу) дорівнює

$$U_{mBX} = \sum_{k=1}^n U_{mBXk},$$

або при однакових напругах в кожному каналі

$$U_{mBX} = n U_{mBXk}.$$

Для усунення нелінійних спотворень амплітуда групового сигналу не повинна перебільшувати максимальну амплітуду напруги збудження, а напруга в кожному каналі повинна бути не більше

$$U_{mBXk} \leq \frac{U_{mBX \text{ МАКС}}}{n}.$$

Потужність багатоканального сигналу у навантаженні підсилувача буде

$$P = \frac{1}{2} \frac{U_m^2}{R_e} = n^2 \frac{U_{mk}^2}{R_e} = n^2 P_k.$$

Тому потужність, яка припадає на один канал буде в  $n^2$  разів менше повної потужності підсилувача.

### Питання для власного контролю та повторення

1. Які вимоги пред'являються до підсилувача потужності?
2. Склад та призначення елементів ПП.
3. Що таке ККД коливального контура і від чого він залежить?
4. Що таке коефіцієнт використання анодної напруги?
5. Шляхи збільшення ККД ПП.

6. Що таке режими роботи ПП “А”, “В”, “С” і як вони встановлюються?

7. Що таке недонапружений граничний та перенапружений режим роботи ПП?

8. В якому режимі роботи ПП має максимальний ККД?

9. Який режим роботи ПП встановлюється при підсиленні сигналу ІЗЕ і чому?