

AMPLIFICATORUL CU CIRCUIT ACORDAT DERIVAȚIE

1) Obiectul lucrării

Se studiază un amplificator realizat cu un tranzistor având ca sarcină un circuit acordat derivație cu prize. Se evidențiază proprietățile de selectivitate ale amplificatorului și efectul prizei.

2) Aspecte teoretice

Amplificatorul studiat are schema de principiu din figura 1.

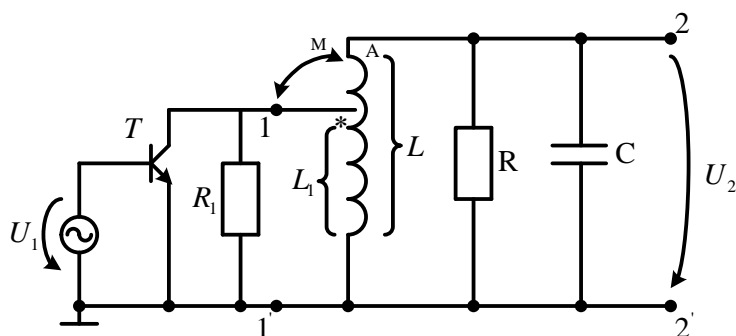


Figura 1

Rezistența R reprezintă rezistența de pierderi a circuitului acordat derivație considerată în paralel pe circuit; rezistența R_1 a fost introdusă în montaj pentru a controla impedența de ieșire din tranzistor. Bobina cu care se realizează acordul circuitului are inductanța L , iar partea de jos, începând de la priză, inductanța L_1 . Între aceste părți ale bobinei există inductanța de cuplaj M .

Factorul de priză este prin definiție

$$p = \frac{M}{L} = k \frac{\sqrt{LL_1}}{L} = k \sqrt{\frac{L_1}{L}} \approx k \frac{n_1}{n} \quad (1)$$

unde k este coeficientul de cuplaj, n_1 numărul de spire al bobinei de la priză în jos, n numărul total de spire al bobinei L .

Înlocuind tranzistorul printr-un generator echivalent, se obține schema din figura 2.

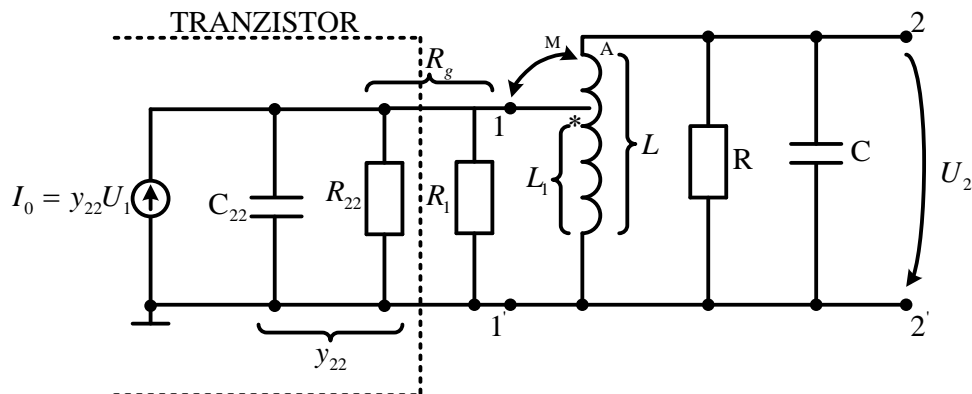


Figura 2

În realizarea practică $R_{22} \gg R_1$ astfel încât se poate aprecia $R_g \cong R_1$.

O altă de schemă echivalentă obținută prin eliminarea prizei este prezentată în figura 3.

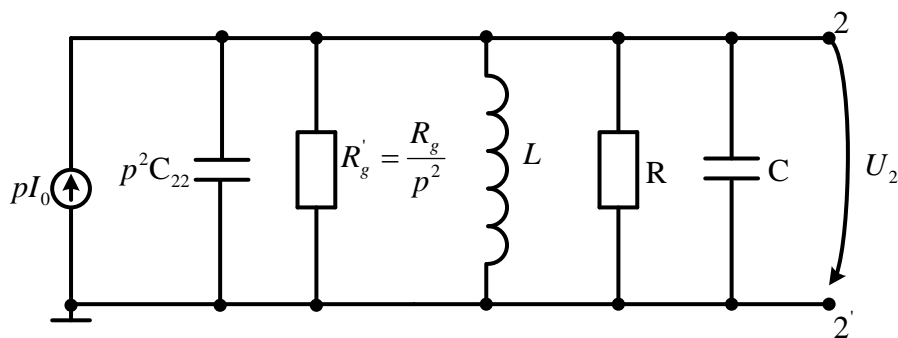


Figura 3

Acordul circuitului la frecvența f_0 ($\omega_0 = 2\pi f_0$) este realizat dacă susceptanța circuitului pasivizat este nulă:

$$\omega_0(C + p^2C_{22}) - \frac{1}{\omega_0L} = 0 \quad (2)$$

Schimbarea prizei (deci coeficientul de priză p) necesită reajustarea capacității condensatorului C pentru acord. În situația în care amplificatorul este acordat se poate scrie:

$$U_2 = pI_0 \frac{R \cdot \frac{R_g}{p^2}}{R + \frac{R_g}{p^2}} = I_0 \frac{RR_g}{pR + \frac{R_g}{p}} \quad (3)$$

Cea mai mare valoare a tensiunii U_2 se va realiza la prize pentru care:

$$\frac{R_g}{p^2} = R \quad (4)$$

Comportarea amplificatorului cu frecvența se poate analiza pornind de la schema echivalentă din figura 3, introducând notațiile:

$$I_e = pI_0$$

$$C_e = p^2C_{22} + C$$

$$R_e = \frac{R \cdot \frac{R_g}{p^2}}{R + \frac{R_g}{p^2}} \quad (5)$$

se poate scrie:

$$U_2 = I_e Z(\omega) \quad (6)$$

unde impedanța circuitului derivație echivalent este

$$Z(\omega) = \frac{R_e}{1 + jx} \quad (7)$$

Variabila universală x are expresia:

$$x = \beta Q \quad (8)$$

în care:

$$\beta = \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \quad (9)$$

ω_0 fiind frecvența (unghiulară) de acord, iar

$$Q = \omega_0 C_e R_e = \frac{R_e}{\omega_0 L} \quad (10)$$

este factorul de calitate (în sarcină).

Se observă că tensiunea la ieșire U_2 ia valoarea maximă U_{20} dacă $x = 0$, adică $\beta = 0$ ceea ce înseamnă că circuitul este acordat.

Caracteristicile de frecvență ale amplificatorului sunt compuse din caracteristica de amplitudine normalată:

$$\left| \frac{U_2}{U_{20}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1 + x^2}} \quad (11)$$

și caracteristica de fază:

$$\arg \frac{U_2}{U_{20}} = -\arctg x \quad (12)$$

Cele două caracteristici, reprezentate în funcție de frecvență sunt prezentate în figura 4.

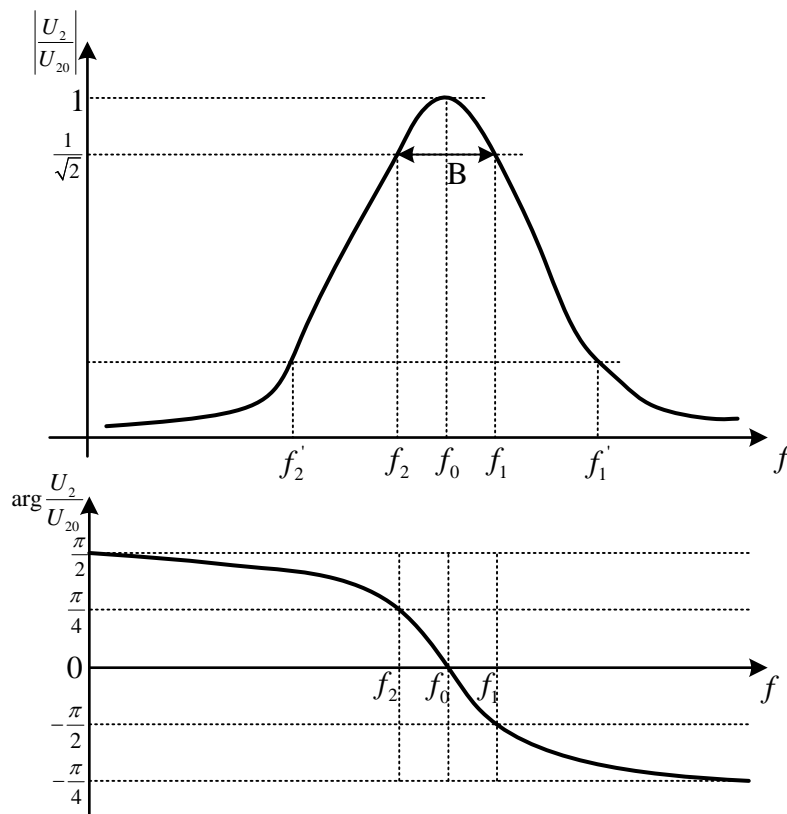


Figura 4

Este de remarcă faptul că cele două frecvențe f_1' și f_2' pentru care se obține aceeași valoare a caracteristicii de amplitudine sunt legate prin relația:

$$f_1' \cdot f_2' = f_0^2 \quad (13)$$

și nu sunt egal depărtate de frecvența de acord f_0 . Dacă f_1 și f_2 sunt frecvențe pentru care $\left|\frac{\Delta f}{f_0}\right| = \frac{1}{\sqrt{2}}$ lărgimea benzii de trecere la o atenuare de 3dB este:

$$B_{3dB} = f_2 - f_1 = \frac{f_0}{Q} \quad (14)$$

Relația (14) pune în evidență legătura dintre banda la 3dB, B_{3dB} , și factorul de calitate, Q .

În general, caracteristica de amplitudine nu se reprezintă ca în figura 4, ci în funcție de dezacordul:

$$\Delta f = f - f_0 \quad (15)$$

Această caracteristică nu este perfect simetrică (vezi relația (13) și comentariile). Dacă măsurătorile se rezumă în domeniul în care

$$\left|\frac{\Delta f}{f_0}\right| \ll 1 \quad (16)$$

atunci se poate scrie :

$$\beta \cong \frac{2\Delta f}{f_0} \quad (17)$$

ceea ce are drept consecință simetria caracteristicii de amplitudine în raport cu Δf .

3) Desfășurarea lucrării

Macheta, a cărei schemă de principiu este dată de figura 5, are o serie de facilități pe care le prezentăm în continuare:

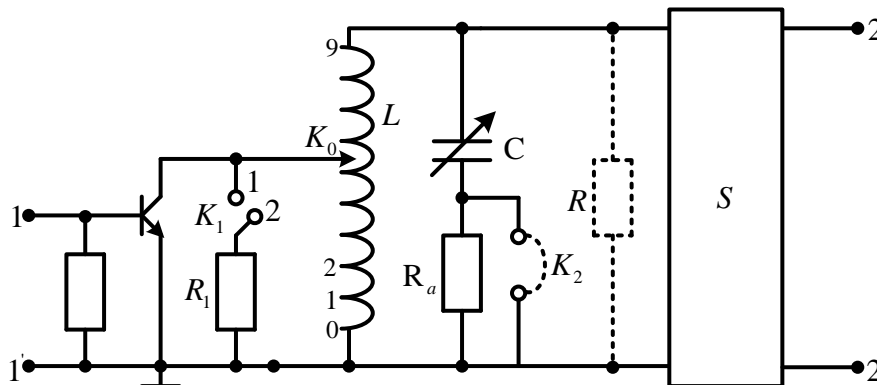


Figura 5

Comutatorul K_1 introduce sau nu rezistența R_1 . Dacă acest comutator este închis se poate aprecia $R_g \cong R_1$; dacă este deschis rezistența R_g este mare (într-o bună aproximare infinită). Comutatorul K_0 schimbă poziția prin care se conectează tranzistorul la circuitul acordat. Călărețul K_2 scurtcircuitază, în condiții normale de lucru rezistența adițională R_a . Separatorul S permite eliminarea influenței aparatului de măsură asupra amplificatorului.

A) Se realizează sau se verifică dacă sunt făcute conexiunile din schema bloc de măsură din figura 6.

Cunoscând valoarea $L = 34,13 \mu\text{H}$ a inductanței bobinei se calculează capacitatea de acord $C_0 = p^2 C_{22} + C$, folosind relația (2).

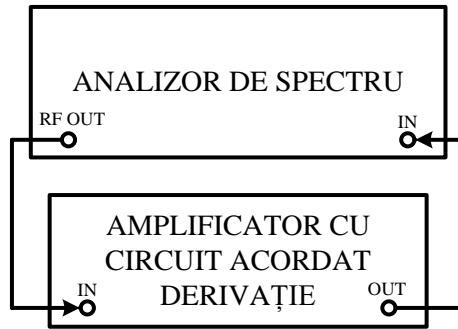



Figura 6

Modul de lucru cu analizorul de spectru

- 1) Fixarea frecvenței centrale (de acord)
 - se apasă tasta CENTER;
 - se introduce valoarea frecvenței centrale și se apasă butonul MHz (1,8 MHz);
 - se validează cu ENTER.
- 2) Se fixează valoarea intervalului de frecvențe cuprins într-o diviziune (SPAN)
 - se apasă tasta SPAN;
 - se folosește reglajul "SPINNER" (roata de reglaj) pentru a selecta valoarea de 100 kHz/div.
- 3) Afișarea caracteristicii amplitudine – frecvență:
 - Se apasă tasta SHIFT, apoi tasta deasupra căreia scrie cu albastru TRK GEN;
 - Se activează opțiunea TRK GEN prin apăsarea tastei  până când mesajul "OFF" trece în "ON". Pe ecran se va putea observa în acest moment modulul funcției de transfer a amplificatorului cu circuit acordat derivație.
- 4) Reglarea nivelului de referință (nivelul maxim care va putea fi măsurat):
 - Se apasă tasta REF LVL;
 - Se folosește reglajul "SPINNER" pentru alegerea valorii 10 dB (nu se alege 0 dB, deoarece pentru o amplificare supra unitară, respectiv atenuare subunitară caracteristica nu se mai poate vizualiza în întregime pe ecran, ar depăși marginea superioară, deci nu se va putea măsura corect. Aparatul poate măsura numai ceea ce este cuprins pe ecran).
- 5) Afișarea cursorilor (markers):
 - se apasă tasta MKR pentru a se afișa cei doi cursori pe ecran. Cu ajutorul acestora se poate măsura valoarea modulului caracteristicii de transfer la frecvențele de interes;
 - se tastează frecvența dorită și se apasă butonul MHz (de exemplu 1,8 MHz);
 - pentru deplasarea pe ecran a unui cursor se selectează cu săgețile de lângă spinner cifra din valoarea frecvenței ce urmează a fi modificată (cifra unităților, zecilor, sutelor etc.). Cifra selectată se modifică rotind reglajul "SPINNER";
 - trecerea de la un cursor la altul se face prin apăsarea tastei ENTER când unul din cursori este selectat;
 - Atenție: aparatul poate măsura numai la frecvențele care se găsesc cuprinse în ecran conform reglajelor curente (CENTER, SPAN). Dacă un cursor este reglat la o valoare a frecvenței prea joasă, analizorul va indica acest lucru afișând (LOW) în locul valorii amplitudinii. În cazul în care cursorul se află la frecvență prea mare, mesajul va fi (HIGH). Pentru a măsura la frecvențele respective se va muta centrul ecranului în sensul necesar (către valori mai mici pentru LOW sau mai mari pentru HIGH) sau se va mări SPAN-ul astfel încât frecvența la care este plasat cursorul să fie cuprinsă în ecran. Se preferă mutarea centrului deoarece lucrul cu un SPAN prea mare poate duce la pierderea rezoluției de măsură a amplitudinii.

B) Se parcurg pe rând următoarele etape, selecționând pe rând pentru comutatorul K_0 pozițiile 1, 3, 5. Comutatorul K_2 scurtcircuitează rezistența adițională R_a (introdus – închis).

Comutatorul K_1 este pe poziția R_g mare (deschis). Acest comutator introduce sau nu rezistența R_1 în gruparea RLC derivație. Așadar, cu K_1 deschis rezistența echivalentă a grupării RLC la frecvența de rezonanță va fi $R_g || R \cong R$ pe când în cazul K_1 închis rezistența echivalentă în aceleași condiții devine $R_1 || R < R$. Pentru a determina poziția de închis sau deschis se selectează o priză diferită de priza marcată cu zero și se pune comutatorul K_1 pe fiecare din cele două poziții, măsurându-se amplitudinea caracteristicii la frecvența de rezonanță cu ajutorul unui cursor. Comutatorul deschis corespunde variantei în care se obține o valoare mai mare. Pentru explicație se studiază formulele (6) și (7).

a. Se acordează circuitul pe frecvența de 1,8 MHz prin modificarea capacității condensatorului variabil C . Se urmărește ca maximul caracteristici să fie în dreptul cursorului fixat pe 1,8 MHz. Se citește tensiunea de acord U_{20} [dBm] și se trece în tabelul 1.

b. Se măsoară rezistențele de pierderi prin metoda rezistenței adiționale. În acest scop se deconectează călărețul (comutatorul) K_2 și se citește U'_{20} [dBm]. Se calculează:

$$R_s = \frac{R_a}{\frac{U_{20}}{U'_{20}} - 1} \quad \bar{R} = \frac{\omega_0^2 L^2}{R_s} \quad \text{unde,} \quad \frac{U_{20}}{U'_{20}} = 10^{\frac{U_{20}[\text{dBm}] - U'_{20}[\text{dBm}]}{20}} \quad L = 34,13 \mu\text{H}$$

Pentru cele 4 machete, de la cele 4 mese, de lucru rezistențele adiționale folosite au valorile $R_{a1} = 10 \Omega$, $R_{a2} = 9,9 \Omega$, $R_{a3} = 9,9 \Omega$, $R_{a4} = 9,99 \Omega$.

Rezistența R_s reprezintă practic rezistența de pierderi în serie cu bobina pentru circuitul acordat derivație, iar \bar{R} aceeași rezistență considerată în paralel (de fapt este rezistența R din figura 5, notată cu \bar{R} pentru a distinge metoda de măsurare).

Tabelul 1

priza	U_{20} [dBm]	U'_{20} [dBm]	R_s []	\bar{R} []	f_1 []	f_2 []	B []	Q_0	R []
1									
3									
5									

c. Se măsoară rezistența de pierderi prin metoda "dezacordului". În acest scop se măsoară frecvențele f_1 și f_2 pentru care scade tensiunea la ieșire cu 3dB ($1/\sqrt{2}$), față de cea de la acord. Se completează tabelul 1, calculându-se:

$$B = f_2 - f_1 \quad Q_0 = \frac{f_0}{B} \quad R = \omega_0 L Q_0$$

d. Se completează unitățile de măsură în tabelul 1 conform rezultatelor. Se compară rezultatele pentru R și \bar{R} la aceeași priză. Dacă există diferențe mai mari de 10%, s-a comis o eroare de măsură și se caută cauza acestei erori.

C) Se compară rezultatele obținute pentru R sau \bar{R} la prize diferite; se interpretează variația acestor rezistențe. Ce concluzii rezultă cu privire la rezistența de ieșire a tranzistorului?

D) Se măsoară caracteristica de amplitudine (caracteristica de selectivitate) pentru priza 3, în condițiile de la punctul B. Se completează tabelul 2.

Observație: Atunci când se măsoară frecvența unui maxim (sau a unui minim) datorită definiției reduse a analizorului de spectru, se obține aceeași valoare a tensiunii nu la o frecvență, ci

Amplificatorul cu circuit acordat derivație

pentru o bandă de frecvențe (0,5-1 kHz). Pentru a elimina nesimetria artificială a caracteristicii care rezultă din această cauză, se recomandă să se folosească pentru f_0 nu valoarea măsurată, ci valoarea medie a frecvențelor la care amplificarea scade cu 1dB:

$$f_0 = \frac{f_{1dB}^{(1)} + f_{1dB}^{(2)}}{2}$$

Tabelul 2

U_2 [dBm]	$U_{20} - 20$	$U_{20} - 10,46$	$U_{20} - 6$	$U_{20} - 3,1$	$U_{20} - 0,91$	U_{20}	$U_{20} - 0,91$	$U_{20} - 3,1$	$U_{20} - 6$	$U_{20} - 10,46$	$U_{20} - 20$
$\frac{U_2}{U_{20}}$ [dB]	-20	-10,46	-6	-3,1	-0,91	0	-0,91	-3,1	-6	10,46	-20
$\frac{U_2}{U_{20}}$	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9	1	0,9	0,7	0,5	0,3	0,1
f [kHz]						f_0					
Δf [kHz] ($f - f_0$)						0					

Se reprezintă grafic caracteristica de amplitudine $\frac{U_2}{U_{20}}$ funcție de Δf . Se precizează pe diagramă $R'_g \cong \infty$. Se va folosi mai mult de trei sferturi din suprafața destinată reprezentării grafice.

E) Se determină priza optimă în condițiile K_1 închis, deci $R_g = R_1 = 3 \text{ k}\Omega$. Se măsoară valoarea maximului caracteristicii de transfer pentru toate prizele, priza la care s-a obținut cea mai mare valoare reprezentând priza optimă, numărul prizei optime fiind notat pentru punctul următor cu p_0 . Se completează tabelul 3 și se interpretează rezultatele obținute. Pentru calculul factorului de priză $p = M/L$ se folosesc datele obținute prin măsurători din tabelul 4 și faptul că $L = 34,13 \text{ }\mu\text{H}$.

Tabelul 3

Priza nr.	U_{20} [dBm]	p	$R'_g = \frac{R_g}{p^2}$ [k Ω]
0			
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			

Tabelul 4

Nr. priză	1	2	3	4	5	6	7	8	9
M [μH]	3,065	6,845	10,905	15,015	19,115	23,255	27,285	31,065	34,13

F) Se măsoară caracteristica de amplitudine la priza optimă, completându-se un tabel de forma tabelului 2. Condițiile de lucru sunt cele de la punctul E. Se reprezintă caracteristica de amplitudine în funcție de Δf pe același grafic de la punctul D.

G) Se determină lărgimea benzii de trecere la o atenuare cu 3dB pentru priza optimă p_0 , pentru a doua priză peste priza optimă (priza cu numărul $p_0 + 2$) și pentru a doua priză sub priza optimă (priza cu numărul $p_0 - 2$). Se determină factorii de calitate în cele trei situații:

$$Q_0 = \frac{f_0}{B}$$

Ținând seama de relațiile:

$$R_c = \frac{R \frac{R_g}{p^2}}{R + \frac{R_g}{p^2}} \qquad Q_c = \frac{R_c}{\omega_0 L}$$

se compară valorile măsurate Q cu cele calculate Q_c .

H) Se acordă circuitul pe frecvența de 1,8 MHz cand se lucrează la priza optimă; se măsoară tensiunea maximă U_{20} , apoi se scoate călărețul K_2 determinându-se noua tensiune maximă U'_{20} . În aceste condiții există altă priză la care tensiunea la acord este maximă? Explicați.

4) Întrebări

A) Care este impedanța unui circuit RLC derivație (paralel) la frecvența de rezonanță? Dar a unui circuit RLC serie? Dar a unui circuit LC derivație? Dar a unui circuit LC serie?

B) Ținând cont de natura impedanței unui circuit RLC serie sau derivație la frecvența de rezonanță, care este defazajul introdus de un astfel de circuit la frecvența de rezonanță?

C) Ce tip de filtru este cel studiat în această lucrare? Precizați câteva aplicații.

D) Cum este impedanța echivalentă a unei grupări derivație față de fiecare din impedanțele care o alcătuiesc? Calculați rezistența echivalentă a unei grupări paralel de 3 rezistențe care au următoarele valori: 100 Ω , 10 Ω respectiv 1 Ω .

E) Conform punctului C, care este impedanța dominantă (cea care determină impedanța grupării) a unei grupări RLC derivație la frecvențe mai mici decât frecvența de rezonanță? Dar la frecvențe mai mari? Motivați răspunsurile.

F) Explicați rezultatele obținute la punctul B în sensul dependenței de priză.

G) Se va considera exactă măsurătoarea realizată prin metoda dezacordului în raport cu cea prin metoda rezistenței adiționale. Explicați motivul.

H) Ce avantaj prezintă funcționarea amplificatorului la priza optimă? Dar sub sau peste priza optimă?

I) Dacă $U_{20}(m)$ este tensiunea la priza "m" din tabelul 3, să se determine $\frac{U_{20}(4)}{U_{20}(2)}$ și apoi să se verifice prin calcul rezultatul obținut.

J) La punctul H s-a determinat U'_{20}/U_{20} la priza optimă, să se verifice prin calcul rezultatul obținut.

5) Aplicații

- A) Pentru un amplificator cu circuit acordat derivație se știe că priza optimă este priza 3. Păstrând rezistența R_g , cum trebuie modificată rezistența R astfel încât priza optimă să fie priza 6? Se cunoaște raportul coeficienților de priză $\frac{p_3}{p_6} = \frac{1}{\sqrt{2}}$.
- B) Se modifică amplificatorul dublând capacitatea condensatorului C și micșorând la jumătate valoarea inductanței bobinei; se mențin neschimbate : factorul de calitate în gol, coeficienții de priză, rezistența generatorului R_g . În ce sens se modifică priza optimă spre o priză superioară sau inferioară? Care este noul coeficient de priză optim p'_0 cunoscând pe cel vechi p_0 ?
- C) Pentru un amplificator cu circuit acordat la care $R_g = 3 \text{ k}\Omega$ se cunosc:
- la priza 1 $p_1 = 0,2$; tensiunea la acord $U_{201} = 0,5V$;
 - la priza 2 $p_2 = 0,4$; tensiunea la acord $U_{202} = 1V$.
 - să se determine rezistența R de pierderi a circuitului.
- D) Se consideră montajul folosit în lucrare și presupunem că au fost determinate prin măsurători: $R_\infty = 8 \Omega$, $f_0 = 1,8 \text{ MHz}$. Se cere să se determine:
- banda la 3 dB;
 - factorul de priză "p" pentru care se obține transferul maxim de putere ($R_g = 3 \text{ k}\Omega$, $L = 34,13 \mu\text{H}$);
 - rezistența derivație;
 - frecvența la care tensiunea la ieșire scade cu 6dB față de tensiunea de rezonanță.
- E) Să se realizeze acordul montajului folosit în lucrare cu comutatorul K_0 pe poziția 3, pe $f_0 = 1,9 \text{ MHz}$. În aceste condiții se cere:
- să se măsoare rezistența serie și derivație a circuitului;
 - să se determine cu cât scade tensiunea U_k dacă se introduce rezistența $R_g = 3 \text{ k}\Omega$, ($K_1 = 1$);
 - să se verifice teoretic rezultatele de la punctul precedent.
- F) Să se realizeze acordul montajului folosit în lucrare cu comutatorul $K_0 = 4$, pe $f_0 = 2 \text{ MHz}$. În noile condiții se cere:
- să se măsoare factorul de calitate al circuitului;
 - să se calculeze frecvența la care tensiunea scade cu 10dB față de tensiunea de rezonanță;
 - să se verifice experimental.