

11. AMPLIFICATOARE DE FRECVENȚĂ INTERMEDIARĂ

11.1 NOȚIUNI GENERALE

- După cum s-a menționat la structura receptoarelor superheterodină, caracteristica principală a acestora este transformarea frecvenței semnalului recepționat f_s într-una constantă, numită frecvență intermediară, $f_i \ll f_s$, deci amplificatoarele de frecvență intermediară (AFI) sunt specifice receptoarelor superheterodină;
- Lucrând pe o frecvență constantă, f_i , rezultă că în esență AFI sunt amplificatoare acordate (selective sau de bandă);
- Realizează cea mai mare parte din amplificarea receptorului și caracteristica sa de frecvență (forma curbei de rezonanță);
- Circuitele selective din structura AFI au caracteristici de tipul celor specifice circuitelor acordate (deci selectivitatea nu este tocmai constantă în bandă, ea variind teoretic între $\frac{1}{\sqrt{2}}$ și 1). Cum un Filtru Trece Bandă ideal este caracterizat de o amplificare constantă în banda de trecere și nulă în banda de atenuare (caracteristica ideală se (mai) spune că este „dreptunghiulară”), abaterea curbei de selectivitate reală față de cea ideală este descrisă (calitativ și cantitativ) de un „coeficient de dreptunghiularitate” (figura 11.1).
- Determină banda receptorului, $B_{\sqrt{2}}$ și coeficientul ei de dreptunghiularitate (număr mare de circuite oscilante);
- Un AFI are $2 \div 10$ etaje de amplificare, de unde rezultă o valoare mare a amplificării: $A = 10^2 \div 10^5$.

Există mai multe tipuri de AFI:

- a) AFI cu circuit oscilant singular acordat (fiecare etaj are un singur circuit oscilant, acordat pe frecvența f_i), caracterizate de o amplificare foarte bună și o bandă de trecere îngustă; în schimb, coeficientul de dreptunghiularitate este mic (amplificarea în bandă are variație mare);
- b) AFI cu dubleți: câte două etaje vecine sunt acordate decalat, simetric față de f_i , prezentând astfel avantajul unei benzi de trecere mai mare, o (mai) bună dreptunghiularitate în bandă (figura 11.1a) și o amplificare acceptabilă, deoarece se pot utiliza două curbe de rezonanță înguste, deci cu amplificare mare;
- c) AFI cu tripleți (figura 11.1b), adică grupe de trei etaje, două acordate ca la dubleți, iar cel din mijloc acordat pe f_i , care prezintă avantajele celor cu dubleți, dar sporite;

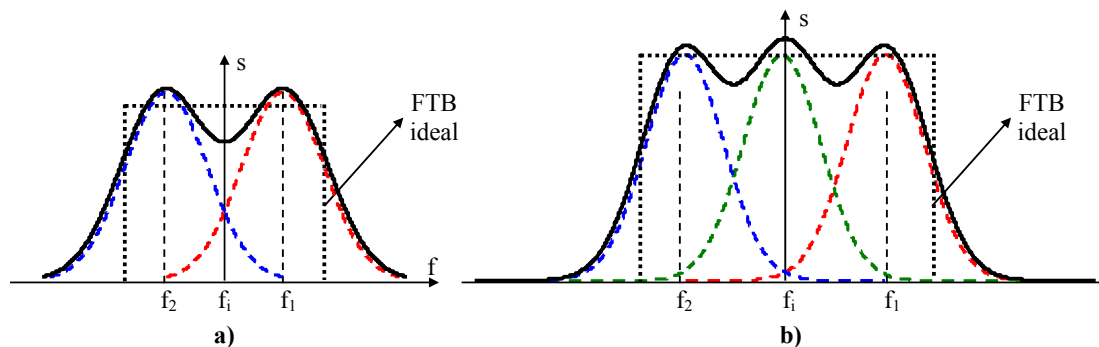


Fig. 11.1: Caracteristici de selectivitate

- a) AFI cu dubleți;
- b) AFI cu tripleți.

- d) AFI cu filtru de bandă: fiecare etaj are două circuite oscilante cuplate (deci filtru de bandă), acordate pe f_i ;

- e) AFI cu etaje de diferite tipuri – combinații între cele de la a) ÷ c) ;
 f) AFI cu reacție: dacă reacția este pe un singur etaj, atunci schema este echivalentă cu una cu dubleți, iar dacă este pe trei etaje, schema este echivalentă cu una cu tripleți.

11.2 AFI CU CIRCUIT SINGULAR ACORDAT

Ca element activ al etajului se poate utiliza un tub electronic, tranzistor sau circuit integrat. În cazul tuburilor, cele mai utilizate sunt tetrodele sau pentodele, deoarece capacitatea lor parazită între anod și catod este mult inferioară celei a triodei: $C_{ga} \ll C_{ga_{triode}}$, ceea ce îmbunătățește mult stabilitatea schemei, deoarece capacitatea parazită intervine ca o reacție (nedorită) în circuit. Schemele sunt cu catodul la masă și alimentate serie sau paralel. În figura 11.2 se prezintă o schemă de AFI cu pentodă, alimentată serie.

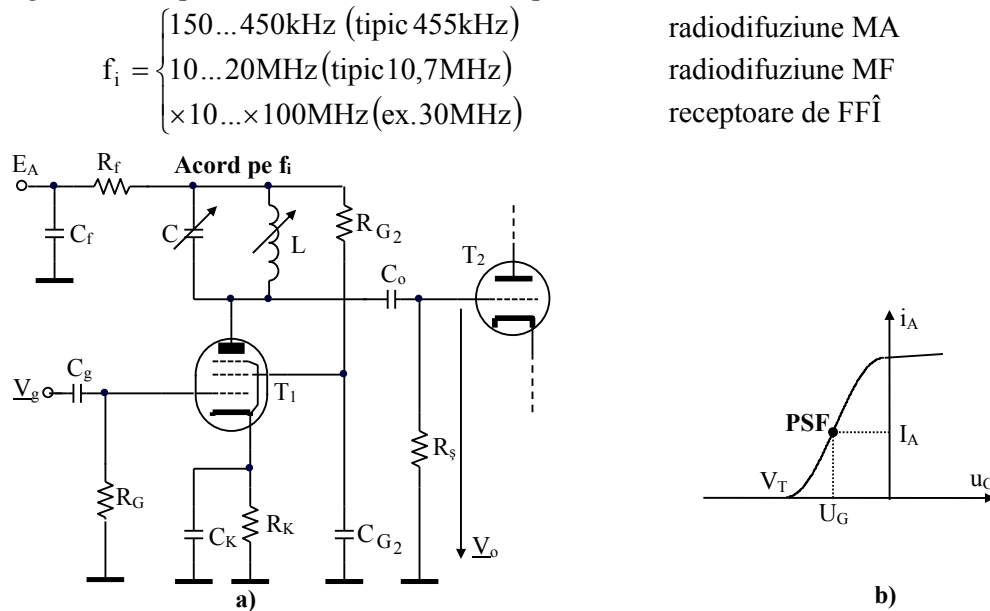


Fig. 11.2: AFI

- a) AFI cu pentodă cu C.O. simplu acordat
 b) Polarizarea pentodei

Acordul pe f_i se poate face fie prin reglajul capacității C , fie prin reglajul inductanței L , modificând poziția miezului în interiorul bobinei.

Pentru $f_i = \times 100 \text{MHz}$, C poate lipsi, capacitatea fiind formată din capacitățile parazite ale tubului ($C = C_{ie\bar{s}_1} + C_p \rightarrow C_{int\bar{r}_2}$).

Grupul $R_K C_K$ asigură negativarea automată a grilei pentodei: $U_G = -R_K \cdot I_A$, astfel încât PSF-ul să fie în zona liniară a caracteristicilor statice de transfer, iar C_K decuplează catodul în c.a., evitând astfel reacția de curent în regimul dinamic (de c.a.).

Grupul $R_{G_2} C_{G_2}$ asigură polarizarea grilei ecran, respectiv decuplarea acesteia în c.a. (micșorarea reacției anod-grilă₁).

Grupul $R_f C_f$ micșorează reacția între etaje prin sursa (comună) de alimentare, E_A .

În figura 11.3 se prezintă schema unui AFI cu circuit singular acordat, elementul activ fiind un TB funcționând în conexiunea EC. În general, la schemele de AFI indicii de calitate sunt amplificarea și banda.

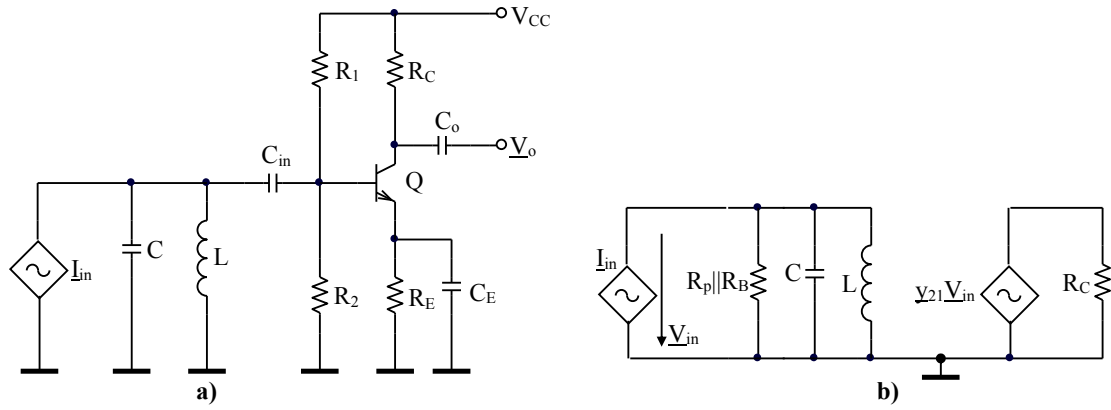


Fig. 11.3: AFI în conexiune EC cu COD singular acordat

- a) Schema circuitului;
b) Schema echivalentă în regim dinamic.

Considerând TB ideal (toți parametrii $\underline{y}$ nuli, cu excepția lui $\underline{y}_{21} \cong g_m = \frac{I_C}{V_T}$), se obține

circuitul din figura 11.4b, a cărui admitanță este:

$$\underline{I}_{in} = \underline{V}_{in} \underline{Y} = \underline{V}_{in} \cdot \left(\frac{1}{R_p \parallel R_B} + j \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) \right), \text{ unde} \quad (11.1)$$

- R_p este rezistența de pierderi a circuitului oscilant (nereprezentată pe circuitul din figura 11.3a);
- $R_B = R_1 \parallel R_2$ este rezistența din bază datorată circuitului de polarizare.

Se observă că efectul acesteia este de a micșora R_p , deci de a micșora factorul de calitate al circuitului oscilant. O soluție de a minimiza aceste efecte negative ar fi includerea unor bobine de șoc în circuitul de polarizare a bazei (în serie cu R_1 și R_2).

Cu notația $R := R_p \parallel R_B$, se obține:

$$\underline{I}_{in} = \underline{V}_{in} \left(\frac{1}{R} + j \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right) \right) \Rightarrow \underline{A}_1(\omega) = \frac{\underline{I}_o}{\underline{I}_{in}} = \frac{\underline{y}_{21}}{\underline{Y}} = \frac{g_m}{\underline{Y}}; \underline{A}_1(\omega) = \frac{g_m}{\underline{Y}} \quad (11.2)$$

$$\underline{I}_o = \underline{y}_{21} \underline{V}_{in}$$

Dacă se consideră că există un dezacord $\beta \approx \frac{2\Delta f}{f_i}$ al COD de la intrarea etajului

(aproximație corespunzătoare lucrului în intervalul de rezonanță) valoarea maximă a acestuia este evident $\beta_{max} = \frac{B_{3dB}}{f_i}$, adică f este într-unul din capetele benzii, unde B_{3dB} este

banda circuitului acordat), atunci se obține:

$$\underline{Y} = G \sqrt{1 + (\beta Q_D)^2} = \frac{\sqrt{1 + \left(\beta \frac{f_i}{B_{3dB}} \right)^2}}{R} = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{2\Delta f}{f_i} \cdot \frac{f_i}{B_{3dB}} \right)^2}}{R} = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{2\Delta f}{B_{3dB}} \right)^2}}{R}, \quad (11.3)$$

$$\underline{V}_{in} = \frac{\underline{I}_{in}}{\underline{Y}} = \frac{\underline{I}_{in} R}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\Delta f}{B_{3dB}} \right)^2}} \quad (11.4)$$

$$\underline{I}_o = \underline{y}_{21} \underline{V}_{in} = g_m \frac{\underline{I}_{in} R}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\Delta f}{B_{3dB}} \right)^2}} \quad (11.5)$$

$$A_I = \frac{I_o}{I_{in}} = g_m \frac{R}{\sqrt{1 + \left(\frac{2\Delta f}{B_{3dB}}\right)^2}} = \frac{g_m}{G \sqrt{1 + \left(\frac{2\Delta f}{B_{3dB}}\right)^2}} \quad (11.6)$$

La rezonanță $\left(f = f_i = \frac{1}{\sqrt{LC}} \Leftrightarrow \Delta f = 0\right)$ se obține, evident, valoarea maximă a amplificării în curent:

$$\underline{A}_{I_{max}} = A_{I_{max}} = A_I(f_i) = g_m R \quad (11.7)$$

Notând $B_{\sqrt{2}}$ banda AFI-lui, aceasta se determină (ca la orice circuit selectiv) din condiția:

$$\frac{A_{I_{min}}}{A_{I_{max}}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (11.8)$$

$$\text{Rezultă că } \sqrt{1 + \left(\frac{2\Delta f}{B_{3dB}}\right)^2} = \sqrt{2} \Leftrightarrow \Delta f = \pm \frac{B_{3dB}}{2}$$

Banda etajului este:

$$B_{\sqrt{2}} = 2|\Delta f| = B_{3dB}, \quad (11.9)$$

așa cum era de așteptat: faptul că un COD lucrează pe frecvența de rezonanță sau dezacordat nu este de natură să-i modifice banda, iar selectivitatea AFI-lui este dată de selectivitatea circuitului acordat din structura sa. $B_{\sqrt{2}}$ se poate scrie (și) sub forma:

$$B_{\sqrt{2}} = B_{3dB} = \frac{f_i}{Q} = \frac{f_i}{2\pi f_i RC} = \frac{1}{2\pi RC}. \quad (11.10)$$

Dacă în structura AFI-lui există n astfel de etaje în cascadă, atunci amplificarea devine:

$$A_{I,n} = (A_I)^n = \frac{(g_m R)^n}{\left(\sqrt{1 + \left(\frac{2\Delta f}{B_{3dB}}\right)^2}\right)^n} \quad (11.11)$$

În capetele benzii acestui AFI:

$$\sqrt{\left(1 + \left(\frac{2\Delta f}{B_{3dB}}\right)^2\right)^n} = \sqrt{2} \Rightarrow 1 + \left(\frac{2\Delta f}{B_{3dB}}\right)^2 = 2^{\frac{1}{n}} \Rightarrow \Delta f = \pm \frac{B_{3dB}}{2} \sqrt{2^{\frac{1}{n}} - 1}$$

Rezultă că banda unui AFI obținut prin cascada a n etaje identice singular acordate este:

$$B_{\sqrt{2},n} = 2\Delta\omega = B_{3dB} \sqrt{2^{\frac{1}{n}} - 1} \quad (11.12)$$

Este evident că banda AFI obținut astfel este mai mică decât banda fiecărui etaj component. De exemplu, $B_{\sqrt{2},2} \approx 0,64 \cdot B_{3dB}$, $B_{\sqrt{2},3} \approx 0,51 \cdot B_{3dB}$, $B_{\sqrt{2},4} \approx 0,43 \cdot B_{3dB}$.

Aplicație numerică:

Dacă $g_m = 40 \frac{\text{mA}}{\text{V}}$, $R = 500\Omega$, $f_i = 1\text{MHz}$, $B_{\sqrt{2}} = 10\text{kHz}$ și AFI lucrează acordat ($\Delta\omega = 0$), să se determine valorile L, C, amplificarea la rezonanță și factorul de calitate.

Rezolvare

$$\bullet \quad B_{\sqrt{2}} = \frac{1}{2\pi RC} \Rightarrow C = \frac{1}{B_{\sqrt{2}} R} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^4 \cdot 500} = \frac{10^{-7}}{\pi} = \frac{100}{\pi} \text{nF}$$

- $\omega_i^2 = \frac{1}{LC} \Rightarrow L = \frac{1}{4f_i^2 C} = \frac{1}{4\pi^2 \cdot 10^{12} \cdot \frac{100}{\pi} \cdot 10^{-9}} = \frac{10^{-6}}{4} \pi = \frac{\pi}{4} \mu\text{H}$
- $A_{I_{\max}} = g_m R = 40 \cdot 10^{-3} \cdot 500 = 20$
- $Q = \omega_i RC = 2\pi \cdot 10^6 \cdot 500 \cdot \frac{100}{\pi} \cdot 10^{-9} = 100$

Observații:

Valoarea foarte mică a rezistenței $R = 500\Omega$ face necesară o valoare relativ mare a capacității $\left(C = \frac{100}{\pi} \cong 32\text{nF}\right)$ și un factor de calitate destul de pretențios ($Q = 100$) pentru a obține un AFI cu banda relativ îngustă ($B_{\sqrt{2}} = 1\% \cdot \omega_i$).

Mai mult decât atât, cum o valoare mare a capacității atrage după sine o valoare mică a inductanței, astfel că la rezonanță reactanța inductivă a circuitului este mică:

$$X_{L_0} = \omega_i L = 2\pi \cdot 10^6 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 10^{-6} \cong 5\Omega.$$

11.3 AFI CU DUBLEȚI

În figura 11.4a se prezintă un AFI (realizat în jurul unui TECJ cu canal n), caracterizat de prezența a două circuite acordate, unul la intrare ($L_1 C_1$) și unul la ieșire ($L_2 C_2$), iar în figura 11.b este prezentată schema echivalentă în regim dinamic. Caracteristicile de selectivitate ale celor două circuite oscilante sunt reprezentate în figura 11.5. Se poate observa că dezacordurile (frecvențelor de rezonanță ale) celor două circuite oscilante față de frecvența intermediară f_i sunt Δf_1 și Δf_2 , iar semnalul de intrare are frecvența $f = f_i + \Delta f$ (Δf este dezacordul curent). Se vor determina caracteristicile acestui AFI: amplificarea și banda.

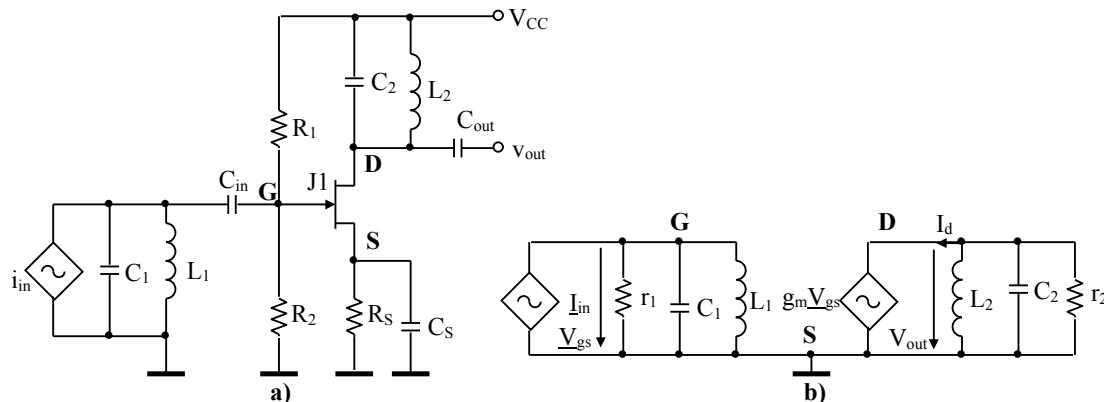


Fig. 11.4: Etaj AFI în conexiune EC organizat ca dublet:

- schema electrică;
- schema echivalentă în regim dinamic.

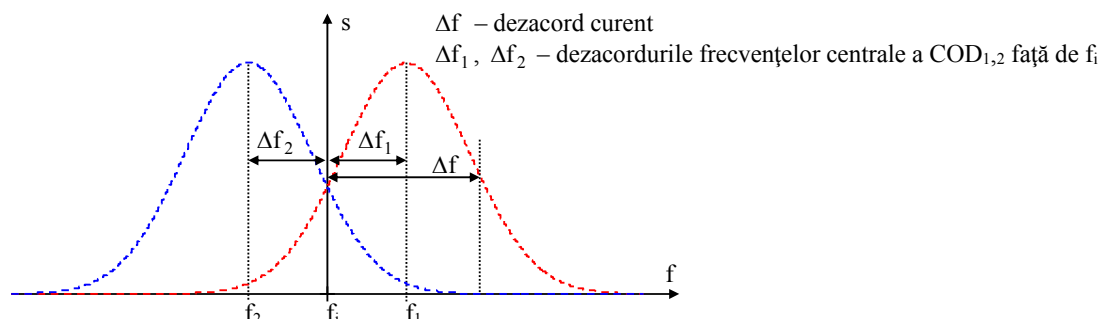


Fig. 11.5: Caracteristicile de selectivitate ale dubleților

Pentru circuitul de intrare se scriu relațiile:

$$Y_1 = G_1 \sqrt{1 + (\beta_1 Q_{D1})^2} = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{2(\Delta f - \Delta f_1)}{f_i} \cdot \frac{f_i}{B_{3dB1}} \right)^2}}{r_1} = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{2(\Delta f - \Delta f_1)}{B_{3dB1}} \right)^2}}{r_1},$$

$$V_{gs} = \frac{I_{in}}{Y_1} = \frac{I_{in} r_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2(\Delta f - \Delta f_1)}{B_{3dB1}} \right)^2}}$$

$$I_d = g_m V_{gs} = g_m \frac{I_{in} r_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2(\Delta f - \Delta f_1)}{B_{3dB1}} \right)^2}}$$

Pentru circuitul de ieșire se scriu relațiile:

$$Y_2 = G_2 \sqrt{1 + (\beta_2 Q_{D2})^2} = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{2(\Delta f + \Delta f_2)}{f_i} \cdot \frac{f_i}{B_{3dB2}} \right)^2}}{r_2} = \frac{\sqrt{1 + \left(\frac{2(\Delta f + \Delta f_2)}{B_{3dB2}} \right)^2}}{r_2}$$

Modulul tensiunii de ieșire este (argumentul fiind evident π – etajul EC este inversor):

$$V_{out} = \frac{I_d}{Y_2} = \frac{\frac{g_m I_{in} r_1}{\sqrt{1 + \left(\frac{2(\Delta f - \Delta f_1)}{B_{3dB1}} \right)^2}}}{\frac{\sqrt{1 + \left(\frac{2(\Delta f + \Delta f_2)}{B_{3dB2}} \right)^2}}{r_2}} = \frac{g_m I_{in} r_1 r_2}{\sqrt{1 + \left(\frac{2(\Delta f - \Delta f_1)}{B_{3dB1}} \right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{2(\Delta f + \Delta f_2)}{B_{3dB2}} \right)^2}} \quad (11.13)$$

În continuare se vor considera cele două COD identice din punctul de vedere al factorului de calitate și al benzii ($B_{3dB1} = B_{3dB1} := B_{3dB}$) și dezacordate simetric față de f_i : $\Delta f_1 = \Delta f_2$. Din (11.13) rezultă că expresia (modulului) tensiunii de ieșire devine:

$$V_{out} = \frac{g_m I_{in} r_1 r_2}{\sqrt{1 + \left(\frac{2(\Delta f - \Delta f_1)}{B_{3dB}} \right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{2(\Delta f + \Delta f_1)}{B_{3dB}} \right)^2}} \quad (11.14)$$

Observație: În această situație amplificarea (raportul între mărimea de ieșire și cea de intrare: $A = \frac{V_{out}}{I_{in}}$) are semnificația fizică a unei rezistențe. Un astfel de circuit se numește amplificator transimpedanță.

Cu notațiile $x := \frac{2\Delta f}{B_{3dB}}$, $x_1 := \frac{2\Delta f_1}{B_{3dB}}$, tensiunea de ieșire devine:

$$V_{out} = V_{out}(x) = g_m \frac{I_{in} r_1 r_2}{\sqrt{1 + (x - x_1)^2} \sqrt{1 + (x + x_1)^2}} \quad (11.15)$$

Cum caracteristica de selectivitate este $s(x) = \frac{A_{max}}{A(x)}$, unde $A(x) = \frac{V_{out}(x)}{I_{in}}$, și ținând cont de faptul că $I_{in} = ct.$, rezultă că se obține:

$$s(x) = \frac{V_{\text{out}_{\text{max}}}}{V_{\text{out}}(x)} = \frac{\sqrt{1+(x-x_1)^2} \sqrt{1+(x+x_1)^2}}{\left(\sqrt{1+(x-x_1)^2} \sqrt{1+(x+x_1)^2} \right)_{\text{min}}}$$

Altfel spus, caracteristica de selectivitate se poate considera sub forma:

$$s(x) = \frac{1}{\sqrt{1+(x-x_1)^2} \sqrt{1+(x+x_1)^2}} \quad (11.16)$$

Maximul acesteia se obține atunci când numitorul (inversa caracteristicii de selectivitate) are valoarea minimă:

$$\sigma(x) = (1+(x-x_1)^2)(1+(x+x_1)^2) = x^4 + 2(1-x_1^2)x^2 + (1+x_1^2)^2, \quad (11.17)$$

se obține funcția derivată:

$$\sigma'(x) = 4x^3 + 2(1-x_1^2)x = 2x(x - \sqrt{x_1^2 - 1})(x + \sqrt{x_1^2 - 1})$$

Anulând derivata se obțin 3 extreme:

$x = 0$ (adică $f = f_i$ sau $\Delta f = 0$) – punct corespunzător selectivității minime;

$x = \pm \sqrt{x_1^2 - 1}$ – puncte corespunzătoare selectivității maxime.

Valoarea maximă a selectivității este:

$$s_{\text{max}} = s(\pm \sqrt{x_1^2 - 1}) = \frac{1}{\sqrt{(x_1^2 - 1)^2 + 2(1-x_1^2)(x_1^2 - 1) + (1+x_1^2)^2}} = \frac{1}{2x_1} \quad (11.18)$$

În capetele benzii, $\frac{s}{s_{\text{max}}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$:

$$\frac{s_{\text{max}}}{s} = \frac{\sqrt{x^4 + 2x^2(1-x_1^2) + (1+x_1^2)^2}}{2x_1} = \sqrt{2} \quad (11.19)$$

Pentru determinarea benzii, trebuie ținut cont de o particularitate a AFI cu dubleți: pe frecvența intermediară ($x = 0$ sau $\Delta f = 0$), tensiunea de ieșire este minimă, după cum se poate observa și în figura 11.6.

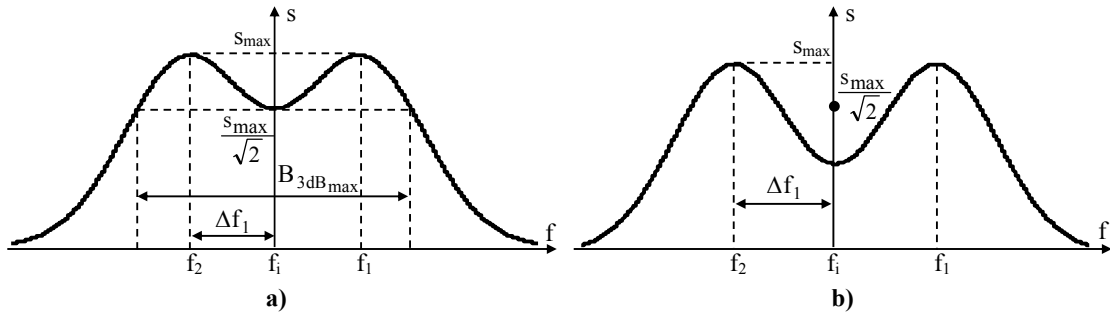


Fig. 11.6: Caracteristici de selectivitate ale dubleților

a) Dezacordul dubleților $\Delta f_1 = \Delta f_2$ la limită;

b) Dezacordul dubleților $\Delta f_1 = \Delta f_2$ prea mare.

În consecință, dezacordurile Δf_1 și Δf_2 nu pot fi alese oricum, deoarece trebuie asigurată îndeplinirea cerinței ca pe frecvența intermediară selectivitatea să fie cel puțin egală cu cea de la capetele benzii:

$$s|_{f=f_i} \geq \frac{s_{\text{max}}}{\sqrt{2}} \quad (11.20)$$

(f_i să fie atenuată cu cel mult 3dB, în figura 11.6a fiind reprezentat cazul limită – condiția (11.20) îndeplinită cu egalitate). De asemenea, tot din figura 11.6a rezultă că banda AFI cu dubleți este maximă în aceeași situație în care (11.20) este verificată cu egalitate.

În figura 11.6b s-a reprezentat situația în care dezacordurile sunt prea mari, astfel că frecvența intermediară de fapt este rejectată de amplificatorul care ar trebui s-o amplifice! Se va determina valoarea maximă a benzii (adică se va lucra în ipoteza de mai sus: pe fi ($x = 0$) selectivitatea este la nivelul $\frac{1}{\sqrt{2}} s_{\max}$):

$$\sqrt{2} = \frac{1 + x_1^2}{2x_1}. \quad (11.21)$$

Se obține: $x_1^2 - 2\sqrt{2} \cdot x_1 + 1 = 0$.

Cum în general $x_1 = \frac{2\Delta f_1}{B_{3dB}} > 1$, rezultă că soluția acceptabilă a ecuației (11.21) este.

$$x_1 = 1 + \sqrt{2} \cong 2,41 \quad (11.22)$$

Relația (11.22) poate fi interpretată și ca expresia maxim posibilă a dezacordurilor celor două COD față de fi:

$$x_{1\max} := \frac{2\Delta f_1}{B_{3dB}} = 1 + \sqrt{2} \Leftrightarrow \Delta f_{1\max} = \frac{1 + \sqrt{2}}{2} B_{3dB} \cong 1,2 \cdot B_{3dB} \quad (11.23)$$

Pentru calculul benzii maxime se înlocuiește în (11.19) valoarea x_1 dată de (11.22):

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sqrt{x^4 + 2x^2(1 - x_1^2) + (1 + x_1^2)^2}}{2x_1} &= \sqrt{2} \\ x_1 &= 1 + \sqrt{2} \end{aligned} \right\} \Rightarrow x = \pm 2\sqrt{1 + \sqrt{2}} \cong \pm 3,1 \quad (11.24)$$

Cum $x = \frac{2\Delta f}{B_{3dB}}$, rezultă dezacordul Δf la capetele benzii (exprimat față de fi, după cum se poate observa și din figura 11.5):

$$\frac{2\Delta f}{B_{3dB}} = 2\sqrt{1 + \sqrt{2}} \Leftrightarrow \Delta f = B_{3dB} \sqrt{1 + \sqrt{2}}$$

$$\text{Rezultă că } B_{\sqrt{2}d_{\max}} = 2\Delta f = B_{3dB} \sqrt{1 + \sqrt{2}} \cong 3,1 \cdot B_{3dB}. \quad (11.25)$$

În concluzie, pentru dezacord maxim – relația (11.23), $B_{\sqrt{2}d}$ a unui AFI organizat ca un dublet este de 3x mai mare față de $B_{\sqrt{2}}$ a unui etaj singular acordat – relația (11.25).

Cu alte cuvinte, dubleții cu $B_{\sqrt{2}d}$ îngustă sunt formați din etaje cu $B_{\sqrt{2}}$ foarte îngustă.

Observație:

Expresia (11.17) sugerează încă un caz remarcabil: $x_1 = 1$ (adică $\Delta f_1 = \frac{B_{3dB}}{2}$, situație care mai este denumită și dezacord critic). Se poate constata cu ușurință că în această situație cele două puncte de maxim și cel de minim ale caracteristicii de selectivitate se obțin suprapuse (un singur “clopot”).

În acest caz ($x_1 = 1$) inversa curbei de selectivitate devine:

$$\sigma(x) = \frac{\sqrt{x^4 + 2x^2(1 - x_1^2) + (1 + x_1^2)^2}}{2x_1} \xrightarrow{x_1=1} 4\sigma_d^2 = x^4 + 4 \quad (11.26)$$

Evident, σ_d are un minim în $x = 0$, deci selectivitatea maximă este $s_{d\max} = \frac{1}{\sigma_{d\min}} = 1$.

În capetele benzii rezultă:

$$\frac{s_{d_{\max}}}{s_d} = \sqrt{2} \Leftrightarrow \frac{\sigma_d}{\sigma_{d_{\min}}} = \sqrt{2} \Leftrightarrow \sqrt{1 + \frac{x^4}{4}} = \sqrt{2} \Leftrightarrow x = \pm\sqrt{2} \quad (11.27)$$

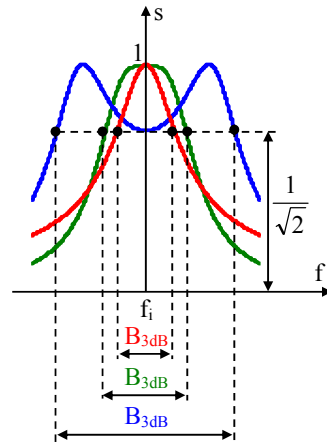


Fig. 11.7: Caracteristici de selectivitate

- **AFI simplu acordat;**
- **Dublet cu dezacord critic** ($x_1 = 1$);
- **Dublet cu banda maximă** ($x_1 = 1 + \sqrt{2}$).

Cum $x = \frac{2\Delta f}{B_{3dB}}$, din (11.27) rezultă că în cazul dezacordului critic (pentru $x_1 = 1$, adică un singur “clop” al curbei de selectivitate), banda dubletului devine:

$$B_{\sqrt{2}d} = 2\Delta f = \sqrt{2}B_{3dB} \quad (11.28)$$

În figura 11.7 sunt prezentate comparativ caracteristicile de selectivitate ale AFI cu COD simplu acordat, și AFI cu dubleți în cele două cazuri prezentate: cu dezacord critic, respectiv cu bandă maximă. Se poate remarca aspectul mult mai “aplatizat” în bandă (mai precis în jurul frecvenței de rezonanță f_i) al curbei de selectivitate în cazul dezacordului critic în comparație cu cea a circuitului simplu acordat.