



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Instrumente Structurale
2007-2013



Platformă de e-learning și curriculum e-content pentru învățământul superior tehnic

Elemente de Electronică Analogică

39. Oscilatoare RC

OSCILATOARE RC

În domeniul frecvențelor joase și medii de obicei se utilizează oscilatoare RC, cu ajutorul cărora se pot genera semnale armonice fără a se utiliza bobine și condensatoare de dimensiuni mari. Oscilatoarele RC prezintă avantajul că permit un reglaj de frecvență în limite largi, în domeniul de utilizare. O rețea de reacție RC este mai puțin selectivă decât o rețea LC, în condiții de lucru identice. Din acest motiv, forma de undă generată va fi mai puțin sinusoidală decât cea generată cu un oscilator LC.

În acest capitol vor fi prezentate principalele tipuri de oscilatoare armonice cu rețea de reacție de tip RC. Schemele prezentate sunt realizate cu amplificatoare operaționale, pentru care vom considera că, în domeniul de lucru al oscilatorului, amplificarea este constantă și se neglijează efectul capacităților parazite de intrare și ieșire ale amplificatorului. În ipoteza realizării oscilatoarelor cu TBIP, frecvența de oscilație, condiția de amorsare și de întreținere a oscilațiilor vor fi influențate de performanțele amplificatorului.

Din analiza generală a condițiilor de oscilație a unui oscilator armonic a rezultat că trebuie să îndeplinească condițiile exprimate de relațiile:

$$|\underline{A}\underline{\beta}_r| = 1; \quad \varphi_A + \varphi_{\beta_r} = 0 \text{ sau } 2\pi. \quad (2.95)$$

Deoarece, în general, amplificatoarele operaționale performante asigură un defazaj pentru $\varphi_A = 0$ sau $\varphi_A = \pi$, din condiția de fază rezultă că oscilatoarele RC pot fi clasificate după defazajul introdus de blocul de reacție în:

- *oscilatoare cu rețele de defazare* în care: $\varphi_A = \pi$ și $\varphi_{\beta_r} = \pi$ (figura 2.24 - a);
- *oscilatoare cu rețele de fază minimă* în care: $\varphi_A = 0$ și $\varphi_{\beta_r} = 0$ (figura 2.24 - b).

Pentru întreținerea oscilațiilor trebuie satisfăcută prima formulă din relațiile (2.95). După amorsarea oscilațiilor amplitudinea acestora crește până când se intră

În zonele neliniare ale amplificatorului ceea ce conduce la o scădere a amplificării. Aceste neliniarități sunt introduse de dispozitivele active și, ca urmare, vor depinde de condițiile reale de funcționare. Presupunând că semnalul (inițial pur sinusoidal) este deformat, în spectrul lui de frecvențe apar pe lângă fundamentală și armonici care sunt apoi transmise de rețeaua de reacție la intrarea amplificatorului (rețeaua de reacție RC nefiind prea selectivă). Aceste semnale nu pot fi neglijate, ele fiind amplificate, iar datorită neliniarităților amplificatorului apar semnale ale căror frecvențe sunt combinații liniare ale frecvențelor semnalelor de la intrare, printre acestea și frecvența fundamentală care va avea o componentă întâmplătoare față de faza fundamentalei și care va determina o deplasare a frecvenței de oscilație.

Pentru a micșora acest efect se pot folosi mai multe criterii:

- îndeplinirea la limită a condiției $|\underline{A}\beta_r| = 1$;
- utilizarea amplificatorului la semnale mici;
- separarea circuitelor de amplificare de circuitele de limitare a amplitudinii semnalelor;
- folosirea, pentru limitarea amplitudinii oscilațiilor, a unor elemente neliniare cu caracteristică dependentă de tensiune sau a unor circuite de reglaj automat al amplificării.

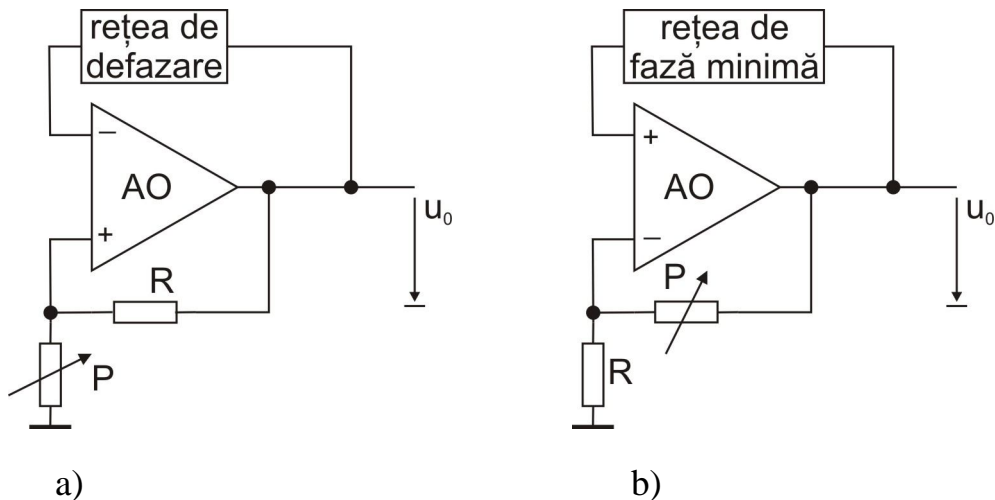


Fig. 2.24. Structura oscilatoarelor RC: a – cu rețea de defazare; b – cu rețea de fază minimă

OSCILATOARE CU REȚEA DE DEFAZARE

Oscilatoarele cu rețea de defazare folosesc rețele care să realizeze un defazaj de 180 grade la frecvența de rezonanță iar amplificatorul va fi de tip inversor. Rețelele de defazare pot fi de tipul *trece sus* sau de tipul *trece jos*, după cum amplifică semnalele de frecvență ridicată, respectiv de joasă frecvență.

Schema de principiu (cu rețea de tipul “trece sus”) a unui oscilator cu rețea de defazare este prezentată în figura (2.25).

Se va determina frecvența oscilațiilor și rezistența R_r necesară pentru amorsarea oscilațiilor. Metoda de calcul se bazează pe două echivalări succesive ale schemei, cu teorema lui Thevenin (figurile 2.26 -2.27), în urma carora se obțin relațiile (2.96) și (2.97).

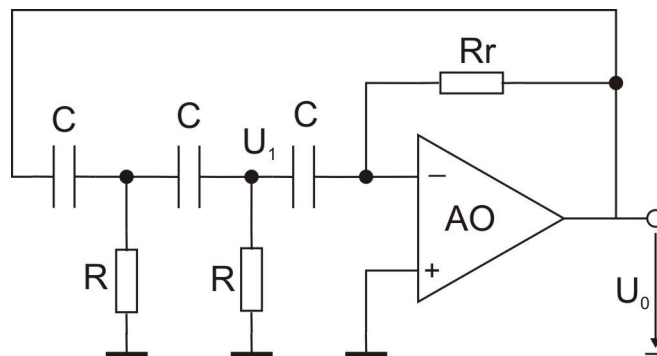


Fig. 2.25. Schema de principiu a oscilatoarului RC cu rețea de defazare de tip trece sus

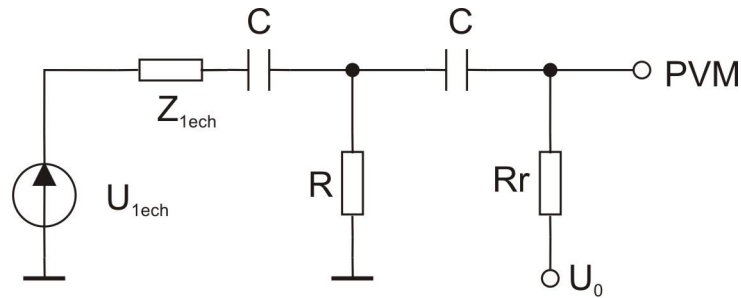


Fig. 2.26. Schema echivalentă a rețelei de defazare – prima echivalare Thevenin

$$U_{1ech} = \frac{sCR}{1+sCR} U_0(s); \quad R_{1ech} = \frac{R}{1+sCR} \quad (2.96)$$

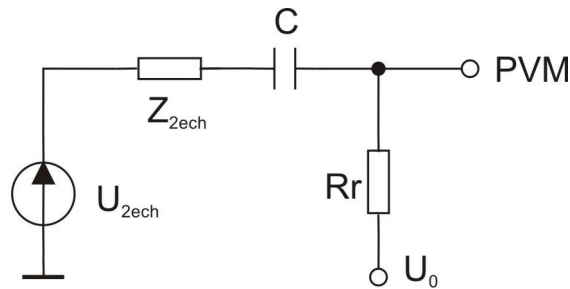


Fig. 2.27. Schema echivalentă a rețelei de defazare – a doua echivalare Thevenin

$$U_{2ech} = \frac{R}{R + \frac{1}{sC} + R_{1ech}} U_{1ech}; \quad R_{2ech} = R \parallel \left(R_{1ech} + \frac{1}{sC} \right) \quad (2.97)$$

Ținând cont că intrarea inversoare a amplificatorului operațional este un punct vidual de masă (PVM = 0), se obține:

$$\frac{U_0(s)}{R_r} + \frac{U_{2ech}}{R_{2ech} + \frac{1}{sC}} = 0 \quad (2.98)$$

$$\frac{U_0(s)}{R_r} + \frac{s^3 C^3 R^2}{(1+sCR)^2 + RsC + sCR(1+2sCR)} U_0(s) = 0; \quad (2.99)$$

Deoarece: $U_0(s) \neq 0$, este necesar să fie îndeplinită condiția:

$$\frac{1}{R_r} + \frac{s^3 C^3 R^2}{1+4sCR+3s^2 C^2 R^2} = 0; \quad (2.100)$$

sau:

$$s^3 C^3 R_r R^2 + 3s^2 C^2 R^2 + 4sCR + 1 = 0 \quad (2.101)$$

Formula (2.101) reprezintă *relația lui Barkhausen* pentru oscilatorul prezentat. Pentru un regim sinusoidal permanent, $s = j\omega_0$, rezultă expresia frecvenței de oscilație (relațiile 2.102) și condiția de întreținere a oscilațiilor (relațiile 2.103 și 2.104).

$$1 - 3\omega_0^2 C^2 R^2 = 0 \Rightarrow \omega_0^2 = \frac{1}{3C^2 R^2} \quad (2.102)$$

$$\omega_0^3 C^3 R_r R^2 - 4\omega_0 CR = 0 \quad (2.103)$$

$$R_r = \frac{4\omega_0 CR}{\omega_0^3 C^3 R^2} = \frac{4}{C^2 R} 3C^2 R^2 = 12R \quad (2.104)$$

Pentru amorsarea oscilațiilor este necesar ca:

$$R_r > 12R \quad (2.105)$$

Din analiza figurii (2.25), se mai constată că tensiunea de ieșire poate fi exprimată în funcție de tensiunea U_1 (relația 2.106).

$$U_0(j\omega) = -\frac{R_r}{1} U_1(j\omega) = -j\omega_0 CR_r U_1(j\omega) \quad (2.106)$$

sau:

$$U_1(j\omega) = -\frac{1}{j\omega_0 CR_r} U_0(j\omega) = j\frac{1}{\omega_0 CR_r} U_0(j\omega) \quad (2.107)$$

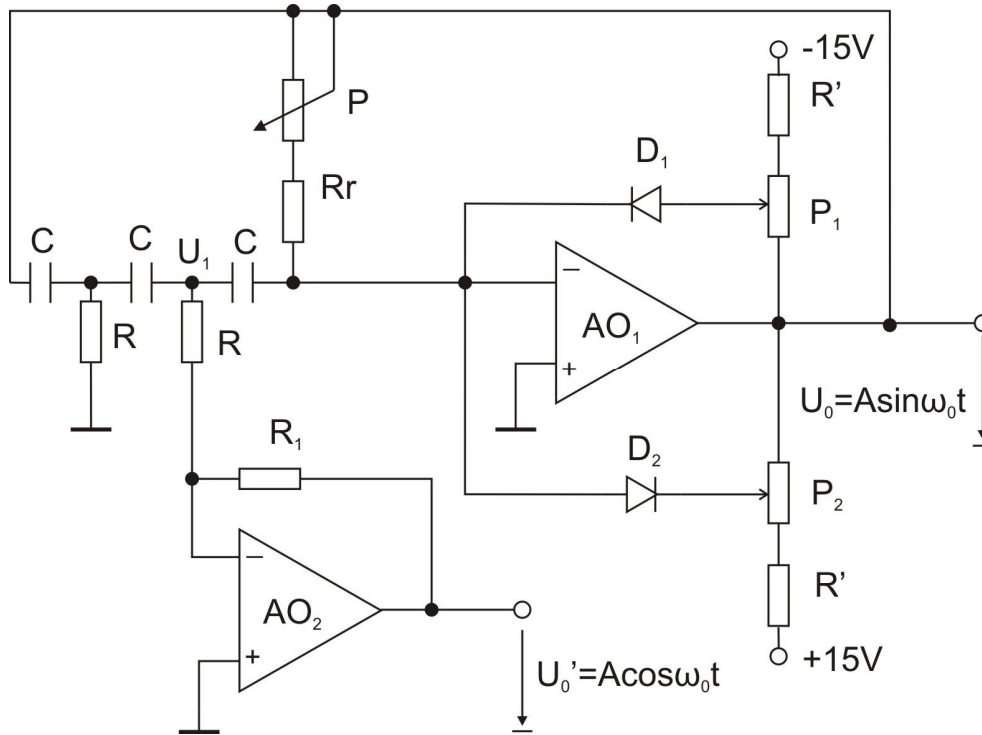


Fig. 2.28. Schema electrică a unui oscilator RC cu rețea de defazare care furnizează semnale în cuadratură

Relația (2.107) pune în evidență că din semnale U_0 și U_1 se poate obține două semnale în cuadratură (sin și cos) (relația 2.108).

$$U_0'(j\omega) = -\frac{R_1}{R} U_1(j\omega) = -j\frac{1}{\omega_0 CR_r} \frac{R_1}{R} U_0(j\omega) \quad (2.108)$$

Tensiunea U_0' se obține prin introducerea unui amplificator operațional în conexiune de amplificator inversor (figura 2.28).

Pentru ca semnalele de ieșire să poată fi exprimate de relațiile (2.109) este necesar ca rezistența R_1 să prezinte valoarea descrisă de relația (2.110).

$$U_0(t) = A \sin \omega_0 t; \quad U_0'(t) = A \cos \omega_0 t \quad (2.109)$$

$$R_1 = \omega_0 C R R_r = \frac{1}{\sqrt{3} C R} C R \cdot 12 R = 4\sqrt{3} R \quad (2.110)$$

Schema electrică a oscilatorului prezentată în figura (2.28) conține și circuitul de limitare a amplitudinii oscilațiilor, realizat cu diodele D_1, D_2 , plasate ca o buclă de reacție negativă.

OSCILATOARE CU REȚEA WIEN

Puntea Wien este una dintre rețele pasive cele mai utilizate pentru generarea unor tensiuni sinusoidale cu distorsiuni reduse. Schema unui oscilator cu rețea Wien, realizat cu amplificator operațional este prezentată în figura (2.29).

Transferul rețelei Wien este maxim când faza tensiunii pe R_2, C_2 este aceeași cu faza tensiunii aplicate pe R_1, C_1 . Amplificatorul operațional (în conexiune neinversoare) considerat ideal este caracterizat de parametrii exprimați de relațiile (2.111). În această situație, schema echivalentă a oscilatorului cu rețea Wien are structura prezentată în figura (2.30).

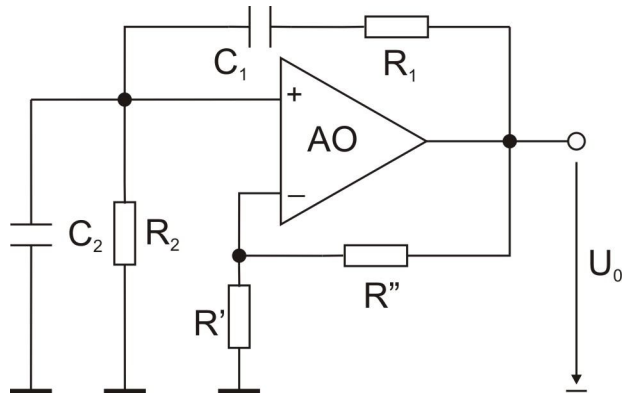


Fig. 2.29. Schema de principiu a unui oscilator cu rețea Wien

$$A = 1 + \frac{R''}{R'}; Z_{\text{int}} \rightarrow \infty; Z_{\text{ies}} \rightarrow 0 \quad (2.111)$$

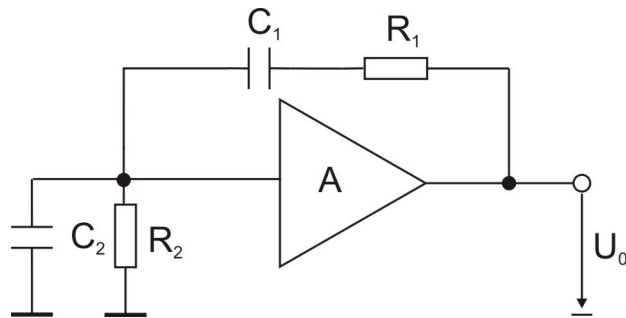


Fig. 2.30 Schema de principiu, echivalentă, a unui oscilator cu rețea Wien

Relația lui Barkhausen: $\underline{A}\underline{\beta}_f = 1$, după calculul impedanțelor echivalente (relațiile 2.112 și 2.113), are expresia dată de relația (2.114).

$$Z_2 = R_2 \parallel \frac{1}{sC_2} = \frac{R_2}{1 + sC_2R_2} \quad (2.112)$$

$$Z_1 = R_1 + \frac{1}{sC_1} = \frac{1 + sC_1R_1}{sC_1} \quad (2.113)$$

$$\begin{aligned} \underline{A\beta_r} &= A \frac{Z_2}{Z_2 + Z_1} = A \frac{\frac{R_2}{1 + j\omega C_2 R_2}}{\frac{R_2}{1 + j\omega C_2 R_2} + \frac{1 + j\omega C_1 R_1}{j\omega C_1}} = \\ &= \frac{AR_2}{R_2 + \frac{C_2 R_2}{C_1} + R_1 + \frac{1 - \omega^2 C_1 C_2 R_1 R_2}{j\omega C_1}} = 1 \end{aligned} \quad (2.114)$$

Pentru $s = j\omega$, rezultă condiția de amplitudine (relațiile 2.116) și condiția de fază (relațiile 2.115), pentru întreținerea oscilațiilor.

$$1 - \omega_0^2 C_1 C_2 R_1 R_2 = 0 \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C_1 C_2 R_1 R_2}} \quad (2.115)$$

$$\frac{AR_2}{R_2 + \frac{C_2 R_2}{R_1} + R_1} = 1 \Rightarrow A = 1 + \frac{C_2}{C_1} + \frac{R_1}{R_2} \quad (2.116)$$

Dacă se consideră: $C_1 = C_2 = C$ și $R_1 = R_2 = R$, condițiile exprimate de relațiile (2.115) și (2.116) devin:

$$\omega_0 = \frac{1}{CR}; \quad A = 3 \quad (2.117)$$