

Stabilitatea Circuitelor Selective pe Baza Convertoarelor de Impedanță

Avram I.

Universitatea Tehnică a Moldovei

Chișinău, Moldova

ion_avram@hotmail.com

Abstract — In this paper we study the stability of frequency selective circuits based on impedance converters. We calculated the critical amount of the setting element and the critical frequency that can be generated by selective circuit, when circuit losses its stability.

Termeni cheie — Stabilitate, convertor de impedanță, circuite selective, funcție de transfer, zonă de stabilitate, valoarea frecvenței critice, valoarea rezistenței critice.

I. CIRCUITE SELECTIVE ȘI CONVERTOARE DE ÎMPEDANȚĂ

În telecomunicații și inclusiv în radiocomunicații, pentru selectarea semnalelor utile dintr-un spectru mai larg de semnale se utilizează pe larg circuitele selective (CS) în frecvență (filtrele), construite, în multe cazuri, pe baza prototipelor filtrelor pasive RLC. În electronica modernă pentru microminiaturizarea modulelor nu se mai utilizează inductanțe reale din cauza gabaritelor mari ale lor, ci se utilizează convertoare de impedanță (CI), care simulează și modelează acțiunea inductanței, rezistenței negative D și altor tipuri de elemente. CI moderne reprezintă un circuit electronic, construit pe baza unui sau câtorva elemente active (de obicei - amplificator operațional (AO)) cu diverse reacții pozitive și negative.

II. SCOPUL LUCRĂRII

Având în vedere faptul, că în calitate de elemente active ale CI se utilizează unul sau câteva AO cu reacții negative și pozitive în mod normal apare întrebarea despre stabilitatea filtrelor active realizate pe baza CI. Evaluarea calitativă a stabilității CI se poate efectua stabilind relațiile dintre valorile impedanțelor pozitive și negative simulate de către CI. Din acest punct de vedere, cu cât valorile impedanțelor negative simulate sunt mai aproape de valorile impedanțelor pozitive simulate, cu atât CI este mai aproape de starea de instabilitate. Însă asemenea evaluare nu permite de a stabili limitele de schimbare a valorilor parametrilor componentelor CI, la care nu se încalcă încă funcționarea stabilă a CI.

III. ANALIZA STABILITĂȚII FUNCȚIONĂRII CS CU CI

O metodă efectivă de găsire a zonelor de stabilitate a CI se poate realiza prin utilizarea metodei hodografului rădăcinilor [1].

În rezultatul utilizării acestei metode se pot obține expresii analitice ale valorilor critice ale nominalului elementului, față

de valoarea căruia se cercetează stabilitatea CI și frecvența, pe care o va genera CI la pierderea stabilității funcționării lui.

Vom efectua analiza stabilității CI, care are conectat la intrare elementul y_0 (figura 1).

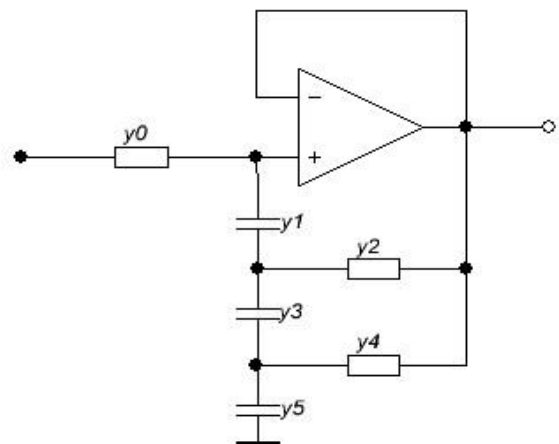


Fig. 1. CS analizat.

Funcția de transfer a CS analizat se descrie cu expresia

$$T(p) = \frac{y_0[(y_1 + y_2)(y_3 + y_4 + y_5) + y_3(y_4 + y_5)]}{y_0[(y_1 + y_2)(y_3 + y_4 + y_5) + y_3(y_4 + y_5)] + y_1 y_3 y_5}, \quad (1)$$

unde y_i - reprezintă conductibilitățile elementelor corespunzătoare ale circuitului analizat.

Înlocuind în formula (1) tipurile conductibilităților tuturor elementelor putem scrie numitorul funcției de transfer $T(p)$ în modul următor:

$$B(p) = p^3 C_1 C_3 C_5 R_0 R_2 R_4 + p^2 R_2 R_4 (C_1 C_3 + C_1 C_5 + C_3 C_5) + p(C_1 R_2 + C_3 R_4 + C_1 R_2 + C_5 R_4) + 1, \quad (2)$$

sau într-o formă mai simplificată

$$B(p) = a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + 1. \quad (2^1)$$

De obicei acordarea caracteristicilor circuitelor selective se efectuează cu ajutorul rezistoarelor reglabile la valori neschimbate ale altor componente. Pentru circuitele selective pe bază de CI realizarea polilor funcției de transfer cu factor

de calitate mai mare de 5...8 unități la o schimbare nesemnificativă a valorii rezistenței elementului de acordare poate duce la pierderea stabilității funcționării. Din acest punct de vedere este necesar de știut din timp banda limitelor schimbării posibile a valorilor elementului de acordare, la care CI nu pierde încă stabilitatea de funcționare.

Să considerăm ca în calitate de element de acordare a valorilor impedanțelor simulate de CI se utilizează rezistorul R_4 . Atunci pentru calcularea valorii critice R_{4cr} , la care în circuitul analizat vor apărea pulsații cu frecvența w_{cr} . Se va transcrie ecuația (2) în felul următor:

$$B(p) = pb_1 + b_0 + R_4(p^3 a_3 + p^2 a_2 + pa_1) = \Phi_1(p) + R_4 \Psi_3(p), \quad (3)$$

unde:

$$b_0 = 1, \quad b_1 = R_2(C_1 + C_3), \quad a_1 = C_3 + C_5 \\ a_2 = R_2(C_1 C_3 + C_1 C_5 + C_3 C_5), \quad a_3 = C_1 C_3 C_5 R_0 R_2.$$

Atunci valoarea frecvenței critice w_{cr} , pe care o va genera circuitul la pierderea stabilității lui poate fi găsită, rezolvînd ecuația [1]

$$\left[\Phi_n(0) - \frac{w_{cr}^2}{2!} \Phi_0'' + \dots \right] * \left[\Psi_m'(0) - \frac{w_{cr}^2}{3!} \Psi_m'''(0) + \dots \right] - \\ \left[\Phi_n'(0) - \frac{w_{cr}^2}{3!} \Phi_0''' + \dots \right] * \left[\Psi_m(0) - \frac{w_{cr}^2}{2!} \Psi_m''(0) + \dots \right] = 0. \quad (4)$$

Valoarea critică a rezistenței rezistorului de acordare R_{4cr} . Se calculează după una din expresiile [1]

$$R_{4cr} = \frac{\Phi_n(0) - \frac{w_{cr}^2}{2!} \Phi_0'' + \dots}{\Psi_m(0) - \frac{w_{cr}^2}{2!} \Psi_m''(0) + \dots} = \frac{\Phi_n'(0) - \frac{w_{cr}^2}{3!} \Phi_0''' + \dots}{\Psi_m'(0) - \frac{w_{cr}^2}{3!} \Psi_m'''(0) + \dots}. \quad (5)$$

Rezolvînd ecuațiile (4) și (5) în corespundere cu notările din ecuația (3), se găsește expresia frecvenței critice, generată de CI analizat la pierderea stabilității lui

$$w_{cr} = \sqrt{\frac{b_0 * a_1}{b_0 * a_3 - b_1 * a_2}}, \quad (6)$$

iar valoarea critică a rezistenței rezistorului R_{4cr} , la care circuitul analizat pierde stabilitatea de funcționare, se găsește după formula

$$R_{4cr} = \frac{b_1}{w_{cr}^2 * a_1 * a_3}. \quad (7)$$

Prin urmare, pentru ca CI analizat să funcționeze stabil este necesar de îndeplinit condiția:

$$R_4 > R_{4cr}. \quad (8)$$

Pentru parametrii calculați și neschimbați ai tuturor celorlalte elemente ale circuitului analizat. În caz contrar circuitul analizat devine instabil și generează semnale cu frecvența $w \geq w_{cr}$.

Dacă în circuitul analizat conductibilitatea y_0 are caracter capacitativ, adică dacă $y_0 = pC_0$, atunci la cercetarea stabilității circuitului analizat față de valorile elementului R_2

ecuația caracteristică a circuitului, adusă la forma ecuației (3), este următoarea

$$B_1(p) = \Phi_2(p) + R_2 * \Psi_3(p) = \\ = p^2 b_3 + pb_2 + R_2(p^3 a_5 + p^2 a_4) = 0, \quad (9)$$

unde:

$$b_2 = 1, \quad b_3 = R_4(C_3 + C_5), \\ a_4 = C_1 + C_3, \quad a_5 = R_4[C_1(C_3 + C_5) + C_3 C_5(1+n)], \quad n = C_1/C_0.$$

Dacă valorile $\Phi_2(p), \Psi_3(p)$ și derivatele lor din ecuația (9) se înlocuiesc în formulele (4) și (5) și se rezolvă ultimele 2 ecuații, atunci pentru acest caz, valoarea frecvenței critice este:

$$w_{cr1}^2 = 0; \quad (10)$$

$$w_{cr2}^2 = \frac{b_2 a_4}{b_3 a_5}. \quad (11)$$

Iar valoarea critică a rezistenței rezistorului R_{2cr} se exprimă astfel

$$R_{2cr} = \frac{b_2}{w_{cr}^2 a_5} = \frac{b_3}{a_4}. \quad (12)$$

Ecuația (10) indică faptul, că în cazul cînd $y_0 = pC_0$, indiferent de caracterul și valorile conductibilităților altor elemente ale circuitului analizat, acest circuit va fi instabil la frecvența egală cu zero, adică în curent continuu. Acest fapt are loc din cauză, că în circuitul din figura 1 intrarea directă a amplificatorului operațional nu are legătură galvanică cu nodul comun, din care cauză nu se asigură curentul de stabilizare a etajului de intrare. Pentru excluderea acestui efect parazit este necesar de conectat între intrarea directă a amplificatorului operațional și nodul comun al circuitului un rezistor cu rezistența de 1...3 Mom, care nu schimbă parametrii circuitului, dar stabilizează funcționarea lui.

CONCLUZII

În rezultatul analizei efectuate se poate concluziona că, stabilitatea circuitelor selective construite pe baza CI depind atât de valorile elementelor CI, cât și de parametrii elementelor externe, conectate la CI. Valorile critice calculate ale elementelor de acordare R_{4cr} (R_{2cr}) permit de a stabili o valoare minimă a elementului de acordare în așa mod, ca nici la oricare alte valori ale elementului de acordare, circuitul sa nu-și piardă stabilitatea.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Sigorskii V. P., Petrenko A. I. Osnovy teorii elektronnyh shem.- Kiev: Tehnica, 1982, 610 s.
- [2] Mehrotra, S. R. "The Synthetic floating negative inductor using only two op-amps". *Electronics World* **111** (1827): 2005.