

# PARTICULARITĂȚILE ANALIZEI CIRCUITELOR ELECTRONICE CE CONȚIN ELEMENTE CU PARAMETRI DISTRIBUIȚI

Silvia CATARAGA, Ion BACUNOV, Ion AVRAM

Universitatea Tehnică a Moldovei

**Abstract:** Circuitele electronice (CE), ce conțin elemente cu parametri distribuiți asigură caracteristici și parametri mai performanți față de CE clasice. Dar aceste circuite posedă unele neajunsuri, legate de descrierea lor prin funcții transcendente cu variabila sub semnul funcțiilor hiperbolice. Se indică particularitățile de analiză ale CE, ce conțin elemente cu parametri distribuiți.

**Cuvinte cheie:** circuit electronic, element cu parametri distribuiți, domeniul frecvență, impedanță de intrare, schemă echivalentă.

## 1. Introducere

În calitate de date inițiale pentru analiza caracteristicilor în domeniul frecvență se da un circuit electronic, format din elemente active (amplificator operațional) și elemente passive (rezistor, condensator, element RC cu parametri distribuiți). În baza acestui circuit este formată matricea  $|Y|$ , calculată impendata de intrare  $Z_{in}$ , construită schema echivalentă și construit în prima aproximare graficul funcției  $Z_{in}=f(\omega)$ .

Inițial se construiește matricea  $|Y|$  a CE dat, se găsește formula de calcul a funcției de transfer  $T(p)$  a CE din matricea  $|Y|$  formată și se calculează caracteristica amplitudine-frecvență (CAF) și caracteristica fază-frecvență (CFF) a CE dat.

## 2. Noțiuni generale despre element RC cu parametri distribuiți

În CE se utilizează un element RC cu parametri distribuiți, (figura 1), care are concomitent proprietati de rezistor și condensator. Între contactul 3 și contactul 1 și 2 (luate separat sau conectate între ele) există o capacitate  $C$  distribuită. Rezistorul și condensatorul se consideră distribuiți în spațiu. Elementul RC de acest tip are proprietati specifice din cauza că componentele  $R$  și  $C$  au dimensiuni geometrice comparabile cu lungimea de undă a semnalului. Asemenea elemente RC au proprietati, care se descriu prin funcții hiperbolice și ecuații transcendente. Aceste RC elemente au caracteristici tehnice mai performante în comparație cu CE cu elemente RC clasice.

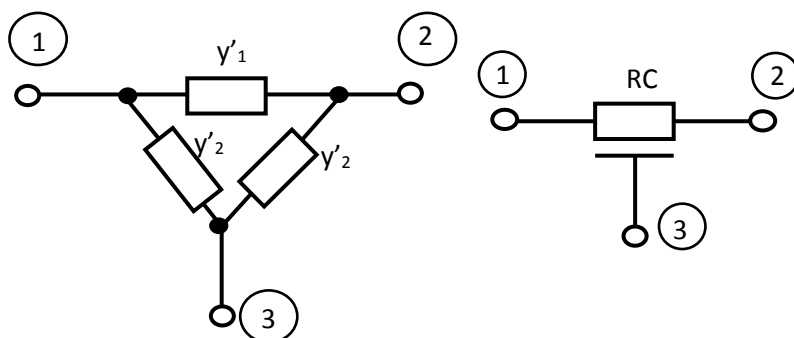


Figura 1 Elementul RC cu parametri distribuiți și schema echivalentă a lui

## 3. Calcularea impedanței de intrare a circuitului electronic dat

Se va analiza partea CE, prezentat figura 2, ce se află în dreptunghiul cu linie întreruptă. În circuitul dat se consideră:

$$y_0 = y_1 + y_2, y_4 = pC_4, y_1 = pC_1, y_5 = \frac{1}{R_5}, y_2 = \frac{1}{R_2}, y_6 = pC_6, y_3 = \frac{1}{R_3}, p = j\omega$$

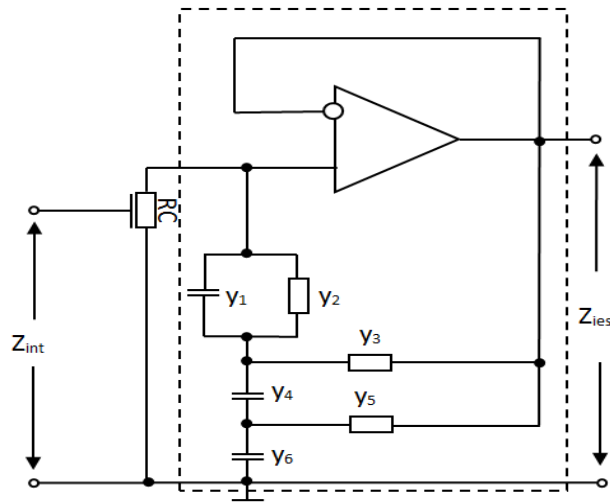


Figura 2 Circuitul electronic analizat

Matricea  $[Y]$  a CE analizat are următoarea formă

$$[Y] = \begin{bmatrix} y_0 & y_0 & 0 & 0 \\ -y_0 & y_0 + y_3 + y_4 & -y_4 & -y_3 \\ 0 & -y_4 & y_4 + y_5 + y_6 & -y_5 \\ -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Din matricea dată impedanța de intrare a CE poate fi calculată după formula

$$Z_{int} = \frac{\Delta_{11}}{\Delta} \quad (1)$$

unde  $\Delta_{11} = (y_0 + y_3)(y_4 + y_5 + y_6) + y_4(y_5 + y_6)$ , și  $\Delta = y_0 y_4 y_6$  și înlocuind în (1) se obține:

$$Z_{int} = \frac{1}{pC_6} + \frac{1}{p^2 C_4 C_6 R_5} + \frac{1}{pC_4} + \frac{1}{p^2 C_1 C_6 R_3 + \frac{pR_3 C_6}{R_2}} + \frac{1}{p^3 C_1 C_4 C_6 R_3 R_5 + \left(\frac{p^2 C_4 C_6 R_3 R_5}{R_2}\right)} + \frac{1}{p^2 C_1 C_4 R_3 + \frac{pC_4 R_3}{R_2}} + \frac{1}{p^2 C_1 C_6 R_5 + \frac{pR_5 C_6}{R_2}} + \frac{1}{pC_1 + \frac{1}{R_2}} \quad (2)$$

Din formula 2 se găsește schema echivalentă a impedanței de intrare a CE, prezentată în figura 3.

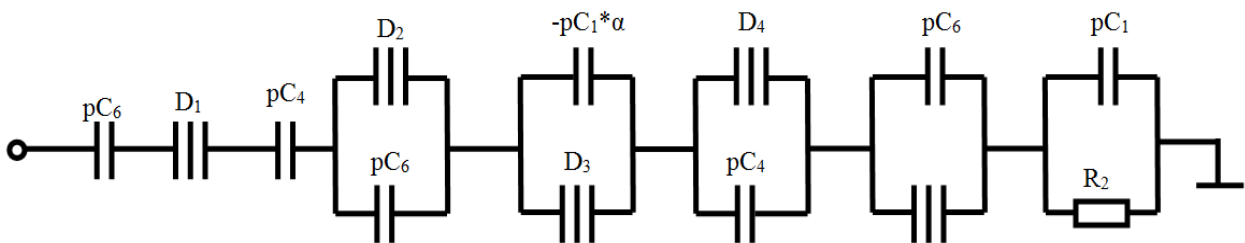


Figura 3 Schema echivalentă a impedanței de intrare a CE analizat

Din formula (2) se poate construi graficul funcției  $Z_{int}=f(\omega)$ , care este prezentat în figura 4.

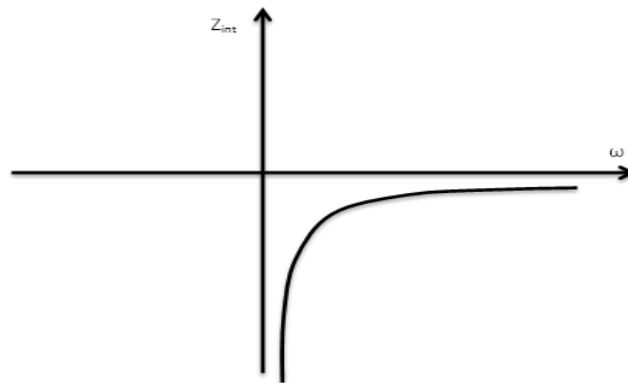


Figura 4 Graficul funcției  $Z_{int}=f(\omega)$

#### 4. Calcularea CAF și CFF a CE ce conține element RC cu parametri distribuiți

Se va analiza CE indicat pe figura 5.

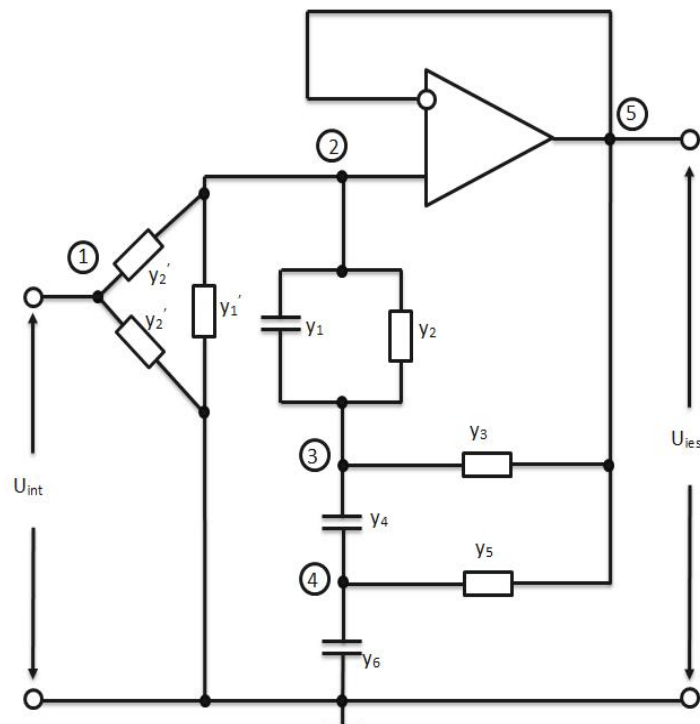


Figura 5 Circuitul electronic cu element RC cu parametri distribuiti

Matricea  $[Y]$  a CE analizat va avea următoarea formă

$$[Y] = \begin{bmatrix} 2y_0 & -y_2' & 0 & 0 & 0 \\ -y_2' & (y_1' + y_2' + y_0) & -y_0 & 0 & 0 \\ 0 & -y_0 & y_0 + y_3 + y_4 & -y_4 & -y_3 \\ 0 & 0 & -y_4 & y_4 + y_5 + y_6 & -y_5 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Funcția de transfer  $T(p)$  a CE din figura 5 se poate calcula după formula

$$T(p) = \frac{\Delta_{15}}{\Delta_{11}} \quad (4)$$

unde:  $\Delta_{15} = (y_2'[(y_0 + y_3)(y_4 + y_5 + y_6) + y_4(y_5 + y_6)])$ , iar  $\Delta_{11} = (y_1' + y_2')[(y_0 + y_3)(y_4 + y_5 + y_6) + y_4(y_5 + y_6)] + y_0 y_6 y_4$ .

Notăm:

$$A=0,5 RC \frac{R_2+R_3}{R_5}; B = 0,5RC \left[ \frac{R_2R_3(C_1+C_4)}{R_5} + (C_4+C_6)(R_2+R_3) \right];$$

$$C=0,5RCR_2R_3(C_1C_4+C_1C_6+C_4C_6);$$

$$D=\frac{R_2+R_3}{R_5}; E=\frac{R_2R_3(C_1+C_4)}{R_5} + (R_2+R_3)(C_4+C_6) + 0,5RC \frac{R_2+R_3}{R_5};$$

$$F=R_2R_3(C_1C_4+C_1C_6+C_4C_6) + 0,5RC \left[ \frac{R_2R_3(C_1+C_4)}{R_5} + (R_2+R_3)(C_4+C_6) \right];$$

$$G = 0,5RR_2R_3C(C_1C_4 + C_1C_6 + C_4C_6 + 0,166R^2R_3CC_4C_6);$$

$$H=0,166R^2R_2R_3CC_1C_4C_6.$$

Atunci funcția de transfer  $T(p)$  ia forma:

$$T(p) = \{pA + p^2B + 0,5p^3C\} / \{D + pE + p^2F + p^3G + p^4H\};$$

$$\operatorname{Re} A(p) = 0,5 \left\{ (j\omega)^2 RC \left[ \frac{R_2R_3(C_1+C_4)}{R_5} + (R_2+R_3)(C_4+C_6) \right] \right\};$$

$$\operatorname{Im} A(p) = 0,5RC \frac{R_2+R_3\omega}{R_5} - 0,5\omega^3 RCR_2R_3(C_1C_4+C_1C_6+C_4C_6)$$

$$\operatorname{Re} B(p) = \frac{R_2+R_3}{R_5} - \omega^2 R_2R_3 \left\{ C_1C_4 + C_1C_6 + C_4C_6 + 0,5RC \left[ \frac{R_2R_3(C_1+C_4)}{R_5} + (R_2+R_3)(C_4+C_6) \right] \right\} +$$

$$+ \omega^4 0,166R^2R_2R_3CC_1C_4C_6;$$

$$\operatorname{Im} B(p) = \omega \left[ \frac{R_2R_3(C_1+C_4)}{R_5} + (R_2+R_3)(C_4+C_6) + 0,5RC \frac{R_2+R_3}{R_5} \right] -$$

$$- \omega^3 \left[ 0,5RCR_2R_3(C_1C_4+C_1C_6+C_4C_6) - 0,166R^2R_3CC_4C_6 \right]$$

CAF reprezintă modulul funcției de transfer  $T(p)$  și poate fi calculată conform formulei:

$$CAF = \sqrt{\frac{\operatorname{Re}^2 A(j\omega) + \operatorname{Im}^2 A(j\omega)}{\operatorname{Re}^2 B(j\omega) + \operatorname{Im}^2 B(j\omega)}} \quad (5)$$

Dacă se notează  $X = \operatorname{Re}^2 A(j\omega) + \operatorname{Im}^2 A(j\omega)$  și  $Y = \operatorname{Re}^2 B(j\omega) + \operatorname{Im}^2 B(j\omega)$ , atunci

$$X = \left\langle 0,5(j\omega)^2 RC \left[ \frac{R_2R_3(C_1+C_4)}{R_5} + (R_2+R_3)(C_4+C_6) \right] \right\rangle^2 + \left[ 0,5RC \frac{R_2+R_3\omega}{R_5} - 0,5\omega^3 RCR_2R_3(C_1C_4+C_1C_6+C_4C_6) \right]^2$$

$$Y = \left\{ \frac{(R_2+R_3)}{R_5} \omega^2 R_2R_3C \left[ C_1C_4 + C_1C_6 + C_4C_6 + 0,5RC \frac{R_2R_3(C_1+C_4)}{R_5} + (R_2+R_3)(C_4+C_6) \right] - \omega^4 0,166R^2R_2R_3CC_1C_4C_6 \right\}^2 +$$

$$+ \omega \left[ \frac{R_2R_3(C_1+C_4)}{R_5} + (R_2+R_3)(C_4+C_6) \right] + 0,5RC \frac{(R_2+R_3)}{R_5} \omega^3 \left[ 0,5RCR_2R_3(C_1C_4+C_1C_6+C_4C_6) \right]$$

## 5. Concluzii:

Ca rezultat al analizei CE dat putem concluziona faptul ca orice element inclus in circuit influenteaza caracteristicile acestuia.

Pentru analiza caracteristicilor unui CE e necesar de efectuat anumite calcule pe baza carora se fac anumite observatii. Una din sarcinile principale este cea de a calcula impedența de intrare a unui CE ce nu contine elementul RC, pentru aceasta are loc formarea matricei  $[Y]$ , calcularea impedenței de intrare  $Z_{in}$  a CE dat după metoda cunoscuta, construirea schemei echivalente a CE dat și graficul funcției  $Z_{in}=f(\omega)$  în prima aproximare.

O alta sarcina importanta o reprezinta și calcularea funcției de transfer  $T(p)$  a CE ce contine elementul RC cu parametri distribuiți, pe baza careia a fost calculata CAF. Anume prezenta acestui element face diferența dintre caracteristicile finale ale CE. E necesar de subliniat faptul ca elementul RC are parametri mult mai buni comparativ cu elementele RC clasice, singurul sau neajuns fiind faptul ca parametrii sai sunt caracterizati prin functii hiperbolice si ecuații transcendente. Acestea din urma pot fi simplificate dar duc la aparitia unor erori de cca 10%.

Metodele și calculele prezentate pot fi utilizate pentru sinteza anumitor elemente a CE, cum ar fi inductanțe, folosind condensatoare, rezistoare și amplificatoare operaționale.

### **Bibliografie**

*1 AVRAM I. Analiza circuitelor electronice. Ciclu de prelegeri, UTM, 2015, 43 pag.*

*2 GABRIEL VASILESCU, ȘERBAN LUNGU, „Electronica”. Ed. DIDACTICA SI PEDAGOGICA, 1991, PAG. 428*

*3 Analiza circuitelor electronice. PROF.ING. CARMEN LILIANA GHEAȚĂ, GRUPUL ȘCOLAR INDUSTRIAL „UNIREA”, BUCUREȘTI 2008, 214 pag.*

*4 <http://eprof.ro/tehnica/analiza-circuitelor-electronice/>*