



UNIUNEA EUROPEANĂ



GUVERNUL ROMÂNIEI



Instrumente Structurale
2007-2013



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

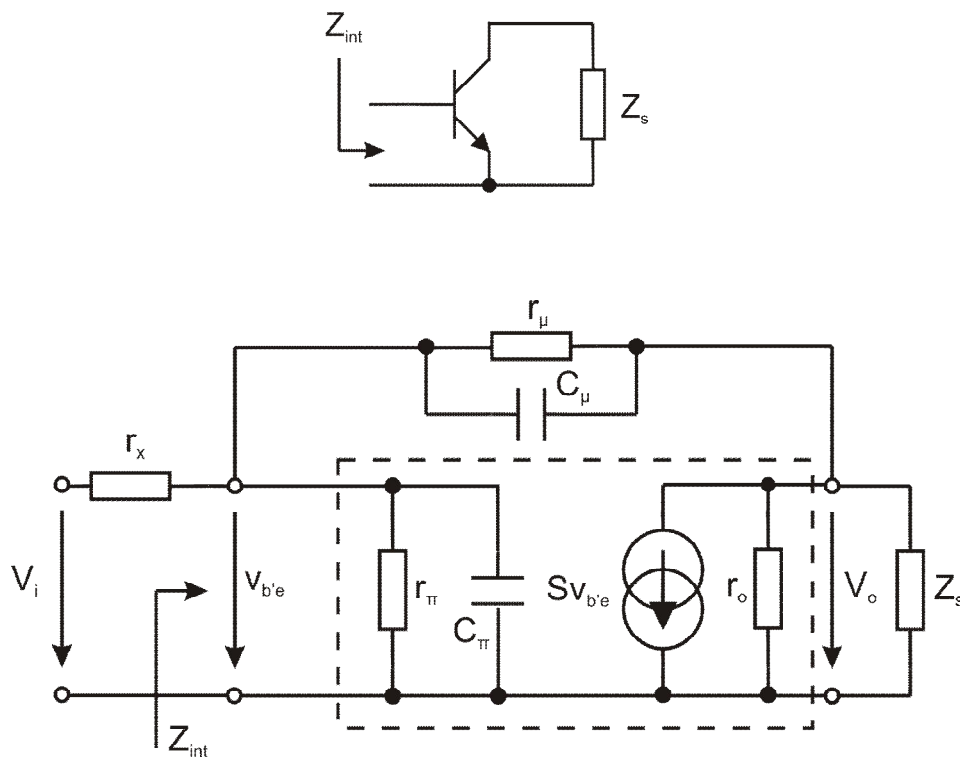
Elemente de Electronică Analogică

21. Aplicații

Circuite de intrare în amplificatoarele elementare

Circuitul de intrare al amplificatorului EM

- la frecvențe înalte apar capacități parazite care afectează funcționarea amplificatorului;
- frecvențe medii: domeniul de frecvențe în care amplificarea de tensiune nu depinde de frecvența semnalului (amplificator aperiodic);
- se folosește schema echivalentă Giacoletto:



- se pune în evidență un amplificator cu reacție paralel de tensiune (prin Z_{μ});

➤ amplificatorul este caracterizat la intrare prin $Z_{ia} = Z_{\pi}$ iar circuitul de reacție prin $Z_2 = Z_{\mu}$.

➤ **impedanța de intrare:**

$$\frac{1}{Z_{\text{int}}} = \frac{1}{Z_{ia}} + \frac{1-A}{Z_2}$$

➤ **amplificarea de tensiune:** $A = -SZ_s$

și rezultă:

$$\frac{1}{Z_{\text{int}}} = \frac{1}{Z_{\pi}} + \frac{1+SZ_s}{Z_{\mu}}$$

➤ **cazul $Z_s = R_s$ (sarcină pur rezistivă):**

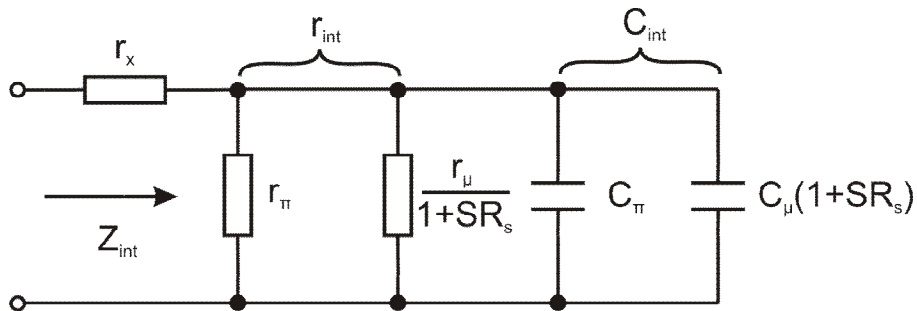
$$\frac{1}{Z_{\text{int}}} = \frac{1}{Z_{\pi}} + \frac{1+SR_s}{Z_{\mu}} = \frac{1}{r_{\pi}} + \frac{1+SR_s}{r_{\mu}} + j\omega[C_{\pi} + (1+SR_s)C_{\mu}]$$

$$\frac{1}{Z_{\text{int}}} = \frac{1}{R_{\text{int}}} + j\omega C_{\text{int}}$$

$$R_{\text{int}} = r_{\pi} \parallel \frac{r_{\mu}}{1 + SR_s}$$

$$C_{\text{int}} = C_{\pi} + (1 + SR_s)C_{\mu}$$

➤ **schema echivalentă:**



Observații:

- la frecvențe mari, capacitatea de intrare șuntează rezistența de intrare a etajului EM;
- nu se poate conecta etaj EM după circuit cu sarcină dinamică;
- soluție: se folosește schemă BM sau cascodă pentru etaj de intrare;
- se folosește repetor pe emitor ca etaj intermediar.

➤ **cazul unei amplificări complexe:**

$$A = -A_0 e^{j\omega} = -A_0 (\cos \theta + j \sin \theta)$$

$$\frac{1}{Z_{\text{int}}} = \frac{1}{r_{\pi}} + j\omega C_{\pi} + (1 + A_0 e^{j\theta}) \left(\frac{1}{r_{\mu}} + j\omega C_{\mu} \right)$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{Z_{\text{int}}} &= \frac{1}{r_{\pi}} + j\omega C_{\pi} + \frac{1 + A_0 \cos \theta}{r_{\mu}} - A_0 \omega C_{\mu} \sin \theta + \\ &+ j\omega C_{\mu} (1 + A_0 \cos \theta) + \frac{jA_0 \sin \theta}{r_{\mu}} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{Z_{\text{int}}} = \frac{1}{r_{\pi}} + \frac{1}{\frac{r_{\mu}}{1 + A_0 \cos \theta}} - \frac{1}{\frac{1}{A_0 \omega C_{\mu} \sin \theta}} + j\omega(\dots\dots\dots)$$

$$\frac{1}{Z_{\text{int}}} = \frac{1}{R_{\text{int}}} + j\omega C_{\text{int}}$$

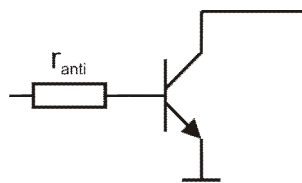
$$R_{\text{int}} = R_{\text{int}} (+) \parallel R_{\text{int}} (-)$$

$$R_{\text{int}} (-) = -\frac{1}{A_0 \omega C_{\mu} \sin \theta}$$

Observație: pe intrare apare o componentă de rezistență negativă în paralel cu componenta pozitivă; la o anumită frecvență, rezistența de intrare poate deveni negativă ceea ce presupune o instabilitate a circuitului; această comportare poate să apară numai dacă $\theta > 0$, deci pentru sarcină inductivă:

$$Z_s = R_s + j\omega L_s; \quad \theta = \arctg \frac{\omega L_s}{R_s} > 0;$$

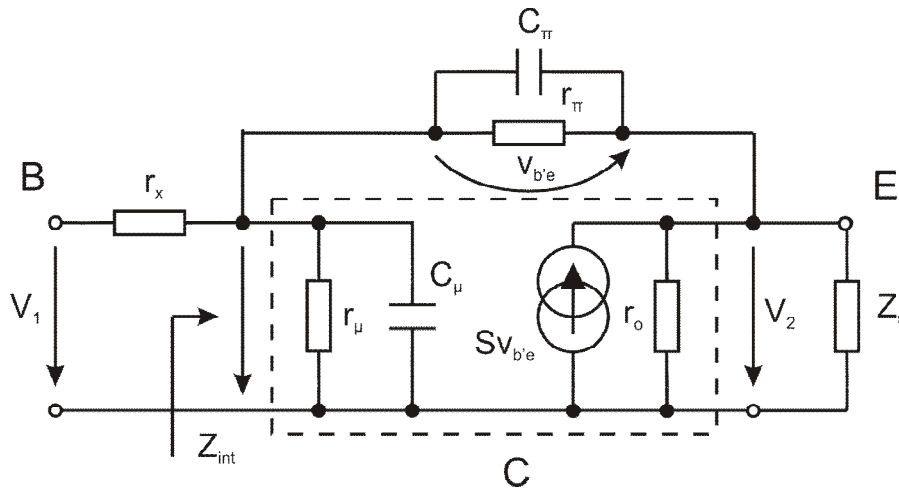
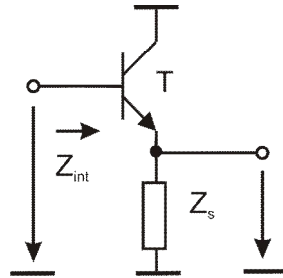
- **cazuri reale:**
 - circuite cu relee;
 - circuite cu transformatoare;
- **remediu:**
 - neutrodinarea (pentru circuite de înaltă frecvență);
 - rezistență antioscilantă:



- alte variante.

Circuitul de intrare al amplificatorului cu CM

➤ schema amplificatorului CM:



$$\frac{1}{Z_{\text{int}}} = \frac{1}{Z_{ia}} + \frac{1-A}{Z_2} = \frac{1}{Z_{\mu}} + \frac{1-A}{Z_{\pi}} = \frac{1}{r_{\mu}} + j\omega C_{\mu} + (1-A) \left(\frac{1}{r_{\pi}} + j\omega C_{\pi} \right)$$

$$A = \frac{SZ_s}{1 + SZ_s};$$

$$1 - A = \frac{1}{1 + SZ_s}$$

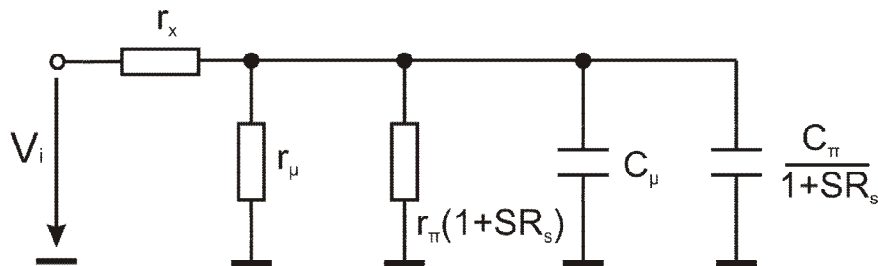
$$\frac{1}{Z_{\text{int}}} = \frac{1}{Z_{\mu}} + \frac{1}{Z_{\pi}(1 + SZ_s)}$$

➤ cazul unei sarcini rezistive, $Z_s = R_s$:

$$\frac{1}{Z_{\text{int}}} = \frac{1}{r_{\mu}} + \frac{1}{(1 + SR_s)r_{\pi}} + j\omega \left(C_{\mu} + \frac{C_{\pi}}{1 + SR_s} \right)$$

$$R_{\text{int}} = r_{\mu} \parallel (1 + SR_s)r_{\pi} = r_{\mu} \parallel (r_{\pi} + h_f R_s)$$

$$C_{\text{int}} = C_{\mu} + \frac{C_{\pi}}{1 + SR_s}$$



- capacitatea de intrare este redusă foarte mult iar rezistența de intrare crește

➤ cazul unei sarcini capacitive: $\frac{1}{Z_s} = \frac{1}{R_s} + j\omega C_s$

Se presupune că: $|SZ_s| \gg 1$;

$$\frac{1}{Z_{\text{int}}} = \frac{1}{r_{\mu}} + j\omega C_{\mu} + \frac{1}{S} \left(\frac{1}{R_s} + j\omega C_s \right) \left(\frac{1}{r_{\pi}} + j\omega C_{\pi} \right)$$

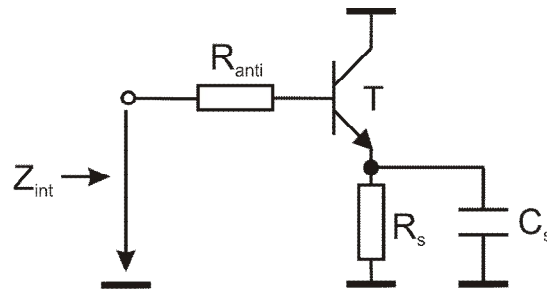
$$\frac{1}{Z_{\text{int}}} = \frac{1}{r_{\mu}} + \frac{1}{Sr_{\pi}R_s} - \frac{\omega^2 C_{\pi}C_s}{S} + j\omega \left(C_{\mu} + \frac{C_{\pi}}{SR_s} + \frac{C_s}{Sr_{\pi}} \right)$$

$$C_{\text{int}} = C_{\mu} + \frac{C_{\pi}}{SR_s} + \frac{C_s}{Sr_{\pi}}$$

- capacitatea de intrare este mică (etaj de c uplare); și capacitatea de sarcină se reflectă micșorată la intrare;

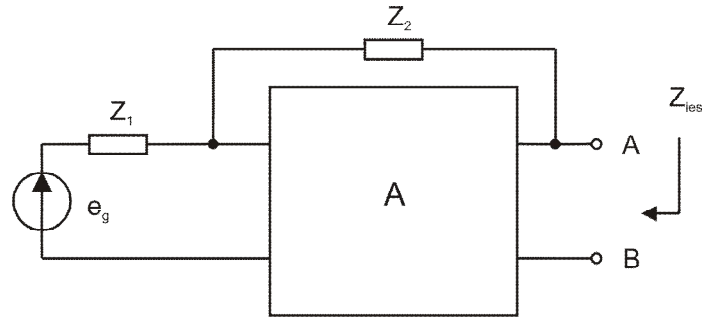
$$R_{\text{int}} = r_{\mu} \parallel S r_{\pi} R_s \parallel \frac{S}{\omega^2 C_s C_{\pi}}$$

- rezistență de intrare mare;
- componentă negativă dependentă de pătratul frecvenței semnalului devine importantă la frecvențe relativ mici;
- compensarea se poate face cu rezistență antioscilentă în serie cu baza:



Impedanțe simulate

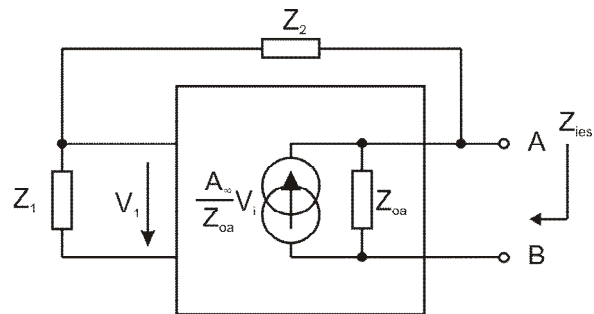
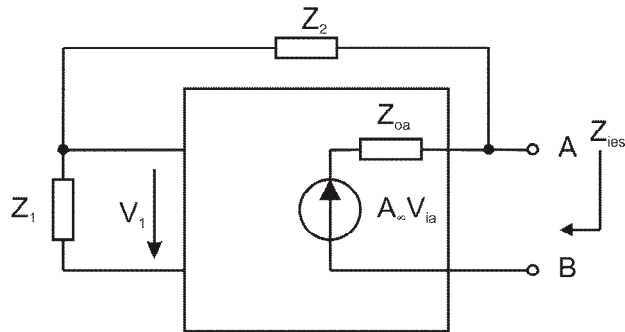
- se simulează electronic impedanțe controlabile (efecte capacitive sau inductive);
- amplificatorul cu reacție paralel de tensiune fără tensiune aplicată la intrare:



➤ impedanța de ieșire (la bornele AB):

$$Z_{AB} = Z'_{ies} \cong \frac{Z_{oa}}{1 - \beta_r A_{\infty}} \quad (\text{se neglijează efectul circuitului de reacție})$$

➤ se transformă la ieșire în schemă echivalentă Norton:



➤ dacă: $|\beta_r A_\infty| \gg 1$:

$$Z_{AB} \cong \frac{Z_{oa}}{-\beta_r A_\infty} = -\frac{Z_{oa}}{A_\infty} \frac{1}{\beta_r} = \frac{1}{S_A} \frac{1}{\beta_r}$$

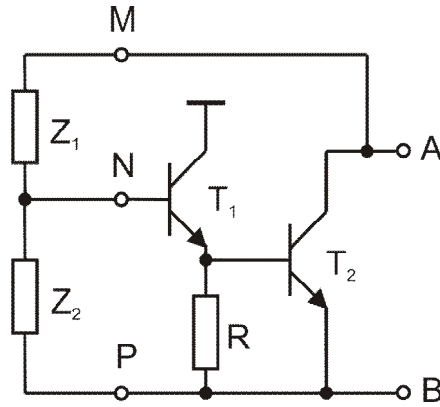
$$S_A = -\frac{A_\infty}{Z_{oa}}, \text{ panta echivalentă a amplificatorului;}$$

➤ dacă: $Z_{ia} \gg Z_1$:

$$\beta_r = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \text{ și } Z_{AB} = \frac{1}{S_A} \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1} = \frac{1}{S_A} + \frac{Z_2}{S_A Z_1}$$

Exemple:

a) circuitul cu amplificator cu tranzistoare:



- T_1 este repetor pe emitor (pentru impedanță de intrare mare);
- T_2 amplificator cu EM pentru amplificare mare (și negativă), cu panta echivalentă S_2 ;
- între punctele M, N și P se aplică circuitul de reacție.

b) $Z_2 = R_2$; $Z_1 = j\omega L_1$ (convertoare inductanță – capacitate):

$$Z_{AB} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_2} \frac{R_2}{j\omega L_1} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{j\omega \frac{S_2 L_1}{R_2}} = R_{AB} + \frac{1}{j\omega C_{AB}}$$

cu: $R_{AB} = \frac{1}{S_2}$ și $C_{AB} = \frac{S_2 L_1}{R_2}$ (reglabilă prin S_2);

c) $Z_2 = R_2$; $Z_1 = \frac{1}{j\omega C_1}$ (convertor capacitate – inductanță):

$$Z_{AB} = \frac{1}{S_2} + j\omega \frac{C_1 R_2}{S_2} = R_{AB} + j\omega L_{AB}$$

cu: $R_{AB} = \frac{1}{S_2}$ și $L_{AB} = \frac{C_1 R_2}{S_2}$ (reglabilă prin S_2);

- pentru factor de calitate bun ($R_{AB} \ll \omega L_{AB}$):

$$\frac{1}{S_2} \ll \left| \frac{1}{S_2} \frac{Z_2}{Z_1} \right| \rightarrow \left| \frac{Z_2}{Z_1} \right| \gg 1 \rightarrow \beta_r = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \ll 1$$

- pentru a realiza condiția inițială $|\beta_r A_\infty| \gg 1$, este necesar un amplificator cu mai multe etaje.

d) $Z_2 = j\omega L_2$; $Z_1 = R_1$ (multiplicator de inductanță):

$$Z_{AB} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_2} \frac{j\omega L_2}{R_1} = R_{AB} + j\omega L_{AB}$$

cu: $R_{AB} = \frac{1}{S_2}$ și $L_{AB} = \frac{L_2}{S_2 R_1}$ (greu de realizat $S_2 R_1 < 1$).

e) $Z_2 = \frac{1}{j\omega C_2}$; $Z_1 = R_1$ (multiplicator de capacitate)

$$Z_{AB} = \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_2} \frac{1}{j\omega C_2 R_1} = R_{AB} + \frac{1}{j\omega C_{AB}}$$

cu: $R_{AB} = \frac{1}{S_2}$ și $C_{AB} = C_2 S_2 R_1$ (ușor de realizat $S_2 R_1 > 1$)

- exemplu: C_2 capacitatea de barieră a unei diode (varicap) iar R_1 rezistența de polarizare în c.c. – multiplicare de capacitate variabilă prin tensiunea continuă de polarizare.

