

LUCRARE DE LABORATOR LAB-04

AMPLIFICATOARE LOGARITMICE ȘI EXPONENȚIALE

Autor: Conf.dr.ing. Constantin Harja

1. SCOPUL LUCRĂRII

Scopul prezentei lucrări de laborator este studierea și testarea amplificatoarelor logaritmice și exponențiale. În lucrare se prezintă utilizările și principiul de funcționare al amplificatoarelor logaritmice și exponențiale, cu precizarea principalelor surse de erori și a metodelor de compensare a acestora.

2. GENERALITĂȚI

Amplificatoarele logaritmice se utilizează pentru compresia semnalelor, atunci când mărimea de măsurat are o gamă largă de variație și este necesară sau posibilă afișarea pe o singură gamă. Prin urmare, scara logaritmică permite afișarea unui interval larg de valori ale măsurandului fără comutarea gamei și prezintă avantajul că eroarea relativă de măsurare este constantă în orice punct al scării, aceasta fiind o caracteristică proprie numai scării logaritmice.

O altă utilizare a amplificatoarelor logaritmice este la calculul analogic al unor expresii de forma $\sqrt{x}$, x^2 , x^3 , $1/x$, $x \cdot y$, x/y , etc., situație în care pe lângă amplificatorul logaritmice se mai utilizează și amplificatoare exponențiale. În acest scop se fabrică circuite integrate de calcul analogic care pot realiza una sau mai multe din operațiile matematice menționate, cu o precizie de 0,1...1%.

Funcționarea amplificatoarelor logaritmice și exponențiale se bazează pe caracterul exponențial al relației curent-tensiune la o joncțiune semiconductoare. Aceeași relație exponențială se păstrează și în cazul unui tranzistor, între curentul de colector și tensiunea bază-emitor, având expresia simplificată:

$$i_C = I_{CS} \exp \frac{v_{BE}}{V_T} \quad \text{sau} \quad v_{BE} = V_T \ln \frac{i_C}{I_S}, \quad (1)$$

unde i_C este curentul de colector, I_S – curentul de colector de saturație, v_{BE} – tensiunea bază-emitor, iar $V_T = kT/q$ – tensiunea termică ($k = 8,26 \cdot 10^{-5} \text{ eV/K}$, T – temperatura absolută, q – sarcina electronului; la temperatura camerei $V_T \approx 26 \text{ mV}$). O problemă critică reflectată de (43) o constituie dependența de temperatură a termenilor V_T și I_S .

Pentru realizarea schemelor practice de amplificatoare logaritmice și exponențiale se utilizează de regulă tranzistoare asociate cu amplificatoare operaționale. Schemele de bază pentru proiectarea celor două tipuri de amplificatoare sunt reprezentate în Fig.1.

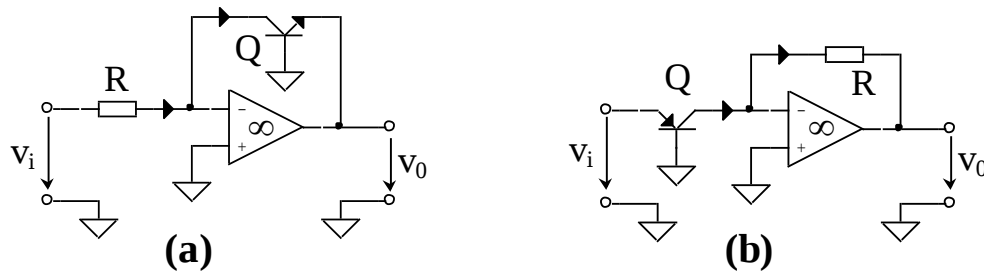


Fig.1. Schema de principiu a amplificatorului logaritmice – (a) și exponențial – (b).

Având în vedere (43), tensiunea de ieșire – v_0 capătă expresia:

$$(a): v_0 = -v_{BE} = -V_T \ln \frac{v_i}{RI_S}; \quad (b): v_0 = -Ri_C = -RI_{CS} \exp\left(\frac{v_i}{V_T}\right); \quad (2)$$

unde pentru schema (a) s-a utilizat substituția: $i_C = v_i/R$.

Schemele de principiu din Fig.7, prezintă deficiențe inacceptabile în practică, din cauza termenilor V_T și I_S , puternic dependenți de temperatură. Din acest motiv, se impune compensarea lor cu temperatura. În cazul în care s-ar utiliza împreună un amplificator logaritmice și unul exponențial nu ar mai fi necesară compensarea variației cu temperatura aceasta realizându-se implicit, dacă tranzistoarele care intervin în funcțiile *log* și *antilog* sunt împerecheate și se află situate pe același substrat. Însă această situație nu este luată în considerare și ca urmare, amplificatoarele logaritmice și exponențiale se realizează ca circuite de sine stătătoare, compensate termic individual.

3. SCHEMA ELECTRICĂ A AMPLIFICATOARELOR LOGARITMIC ȘI EXPONENȚIAL

3.1. SCHEMA ELECTRICĂ A AMPLIFICATORULUI LOGARITMIC

Schema electrică a amplificatorului logaritmice este reprezentată în Fig.2.

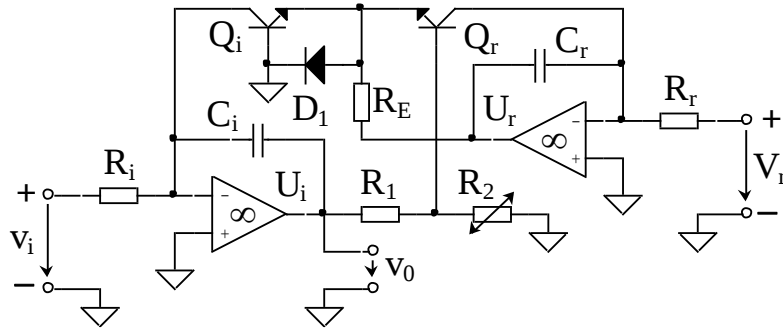


Fig.2. Schema electrică a amplificatorului logaritm.

Pentru compensarea erorilor introduse de V_T și I_S , față de schema de principiu, Fig.1.a, se utilizează încă o pereche tranzistor-amplificator operațional.

Valorile componentelor electronice din structura schemei sunt următoarele:

- $R_i = 10 \text{ k}\Omega \pm 1\%$; $R_r = 47 \text{ k}\Omega \pm 1\%$; $V_r = 4,7 \text{ V} \pm 5\%$;
- $R_1 = 15,7 \text{ k}\Omega \pm 1\%$; $R_2 = 1 \text{ k}\Omega \pm 1\%$; $R_E = 2 \text{ k}\Omega \pm 5\%$; $C_i, C_r = 470 \text{ pF} \pm 5\%$.

Condensatoarele C_i, C_r au rolul de a limita banda amplificatoarelor operaționale pentru a evita apariția oscilațiilor parazite datorită câștigului supraunitar introdus de tranzistoare în bucla de reacția a acestora, dioda D_1 protejează joncțiunile bază-emitor ale tranzistoarelor la tensiuni inverse, iar rezistența R_E evită supraîncărcarea ieșirii U_r de către rezistența foarte mică pe care o prezintă tranzistoarele în emitor.

Pentru schema din Fig.8 se pot scrie următoarele relații:

$$v_{BEi} = V_T \ln \frac{v_i}{R_1 I_{Si}}; \quad v_{BEr} = V_T \ln \frac{V_r}{R_r I_{Sr}}; \quad v_0 = \frac{R_1 + R_2}{R_2} (v_{BEr} - v_{BEi}); \quad (3)$$

a căror prelucrare conduce la expresia finală a tensiunii de ieșire:

$$v_0 = -\frac{R_1 + R_2}{R_2} V_T \left[\ln \left(\frac{v_i}{V_r} \frac{R_r}{R_i} \right) - \ln \frac{I_{Si}}{I_{Sr}} \right]. \quad (4)$$

Relația (4) reflectă următoarele:

- R_2 trebuie să fie dependentă de temperatură, cu un coeficient de variație pozitiv, astfel ca prin alegerea convenabilă a valorilor R_1 și R_2 , termenul $[(R_1 + R_2)/R_2]V_T$ să rezulte independent de temperatură; pentru aceasta este necesar ca $R_1 \gg R_2$ și R_2 să aibă coeficientul de variație cu temperatura egal cu cel al V_T (aprox. +3300 ppm/°C);
- spre deosebire de termenul I_S puternic dependent de temperatură, raportul I_{Si}/I_{Sr} este practic independent de temperatură și diferă de unitate funcție de gradul de împerechere a celor două tranzistoare; abaterea acestui raport de la unitate poate fi compensată reglând curentului prin tranzistorul Q_r ;

- pentru a fi posibilă trecerea la logaritmul natural la cel zecimal este necesară asigurarea egalității $[(R_1 + R_2)/R_2]V_T = \lg(e) \approx 0,4343$, unde “ e ” reprezintă baza logaritmului natural.

Cu observațiile de mai sus, având în vedere valorile componentelor exprimate în *SISTEMUL INTERNAȚIONAL DE UNITĂȚI*, (4) devine:

$$v_0 = -\lg\left(\frac{v_i}{V_r} \frac{R_r}{R_i}\right) = -\lg v_i. \quad (5)$$

3.2. SCHEMA ELECTRICĂ A AMPLIFICATORULUI EXPONENȚIAL

Schema electrică a amplificatorului exponențial este reprezentată în *Fig.3*.

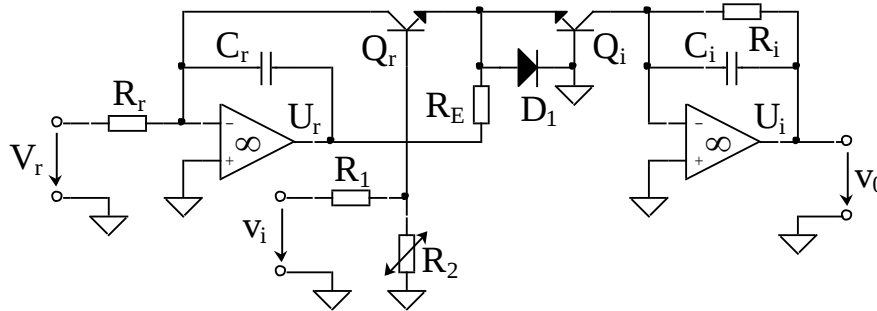


Fig.3. Schema electrică a amplificatorului exponențial.

Măsurile de compensare a erorilor sunt aceleași ca și în cazul amplificatorului logaritm. Pentru a se putea observa modificările necesare transformării unui amplificator logaritm într-unul exponențial s-a păstrat aceeași notație a componentelor electronice ca și în cazul amplificatorului logaritm, valorile componentelor electronice fiind cele menționate anterior.

Pentru schema din *Fig.3* se pot scrie relațiile:

$$v_i = \frac{R_1 + R_2}{R_2} (v_{BEr} - v_{BEi}) = V_T \frac{R_1 + R_2}{R_2} \ln \frac{i_{Cr}}{i_{Ci}} = \lg \frac{i_{Cr}}{i_{Ci}}, \quad (6)$$

unde i_{Cr} și i_{Ci} sunt curenții de colector ai tranzistoarelor Q_r respectiv Q_i , utilizându-se anticipat aceleași observații ca și în cazul stabilirii (5) ($I_{Si}/I_{Sr} = 1$; $[(R_1 + R_2)/R_2]V_T = \lg(e)$). Din (6) se poate deduce expresia tensiunii de ieșire:

$$v_0 = R_i i_i = R_i \frac{V_r}{R_r} 10^{-v_i} = 10^{-v_i}. \quad (7)$$

4. PROBLEME TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE

Observație:

Pe macheta de laborator cele două amplificatoare (logaritmice și exponențiale) sunt realizate cu aceleași componente, selectarea unuia sau altuia dintre ele realizându-se cu ajutorul a două comutatoare notate S_1 și S_2 .

4.1. Se analizează schemele electrice ale amplificatorului logaritmice și exponențial se calculează și se verifică valorile numerice ale termenilor din (5) și (7).

4.2. Verificarea funcției de transfer a amplificatorului logaritmice:

- se poziționează $S_1, S_2 = 1$;
- se aplică la intrare o tensiune continuă – v_i cu următoarele valori: 10, 20...90 mV; 0,1, 0,2...0,9 V; 1, 2...10 V și se măsoară cu un voltmetru numeric tensiunea de intrare – v_i și de ieșire – v_0 , în fiecare punct;
- se calculează în fiecare punct valoarea ideală a tensiunii de ieșire cu (5) – v_0° ;
- se calculează eroarea relativă în fiecare punct cu relația:

$$\varepsilon = \frac{\Delta v_0}{v_0^\circ} = \frac{v_0 - v_0^\circ}{v_0^\circ} 100[\%]; \quad (8)$$

- datele experimentale se trec într-un tabel, conform modelului următor:

Tabel 1/2. Date experimentale amplificator logaritmice/exponențial

v_i	v_0	v_0°	Δv_0	ε_n
v_{i1}	v_{01}	v_{01}°	Δv_{01}	ε_1
:	:	:	:	:
v_{in}	v_{0n}	v_{0n}°	Δv_{0n}	ε_n

- se selectează eroarea relativă maximă care reprezintă eroarea amplificatorului;
- se reprezintă grafic curbele: $v_0 = f(v_i)$ și $\varepsilon = f(v_i)$;

4.3. Verificarea funcției de transfer a amplificatorului exponențial:

- se poziționează $S_1, S_2 = 2$ și se repetă operațiile de la pct.4.2, utilizând pentru calculul valorii ideale a tensiunii de ieșire (7).
- datele experimentale se trec într-un tabel conform modelului de mai sus.

4.4. Se analizează rezultatele și căile de reducere a erorilor.

5. ÎNTREBĂRI

- 5.3.** Ce utilizări au amplificatoarele logaritmice și exponențiale?
- 5.1.** Ce fapt stă la baza funcționării amplificatoarelor logaritmice și exponențiale?
- 5.2.** Care sunt principalele surse de erori ce intervin în funcționarea amplificatoarelor logaritmice și exponențiale și care sunt metodele de compensare a acestora?