

# Laborator 6 - Integratorul cu pierderi și biquadul trece jos în domeniul logaritmic

## 1 Obiective

În cadrul laboratorului se vor analiza principalele blocuri de filtrare (integratorul cu pierderi și biquadul trece jos în domeniul logaritmic) utilizate pentru realizarea filtrelor în domeniul logaritmic de ordin superior folosind metoda cascădării. Pentru implementarea acestor etaje se vor folosi celulele de bază din domeniul logaritmic: celula logaritmică, celula exponențială de tip N ("sink") și celula exponențială de tip P ("source"), celule implementate cu tranzistoare MOS și bipolar. După dimensionare (se va alege valoarea curentului de polarizare și se va calcula valoarea condensatorului/condensatoarelor), funcționarea corectă a fiecărui bloc de filtrare va fi verificată folosind analiza de punct static (pentru verificarea funcționării corecte a fiecărui tranzistor - RAN pentru BJT și sub-prag pentru MOS), analiza de curent alternativ (pentru verificarea parametrilor etajului de filtrare - câștig, frecvența de tăiere, riplu, ...) și analiza în timp, "Transient" (pentru a vizualiza formele de undă de la intrare, nodurile interne și ieșire) și folosind comanda .FOUR se va calcula THD pentru fiecare semnal vizualizat.

## 2 Mersul lucrării

### 2.1 Integratorul cu pierderi în domeniul logaritmic - Etajul de ordin I

Proiectați un integrator cu pierderi în domeniul logaritmic (mod de lucru curent - intrare curent ieșire curent) realizat cu celule exponențiale și celulă logaritmică implementate cu 4 tranzistoare. Verificați funcționarea corectă a tranzistoarelor folosind o analiză de punct static și a filtrului de ordin I folosind o analiză de curent alternativ. De asemenea, folosind o analiză în timp, Transient, vizualizați semnalul de intrare ( $i_{in}$ ), semnalul de la ieșire ( $i_{out}$ ) și semnalul din nodul intern de tensiune ( $v_{out}$ ) pentru diferite frecvențe și amplitudini a semnalului de la intrare. Folosind comanda .FOUR măsurați THD-ul pentru fiecare semnal vizualizat. Pașii de urmat:

- creați un proiect nou în Ltspice și salvați proiectul cu numele `test_integrator.asc`;
- desenați schema de test din Figura 1;
- includeți biblioteca `bipolar.txt` în proiect;
- deduceți funcția de transfer a circuitului astfel încât să fie de forma generală a funcției de transfer pentru un integrator cu pierderi  $H(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{\omega_0}}$ ;
- găsiți expresiile câștigului de joasă frecvență  $A_0$  și a pulsației  $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_t$ ;

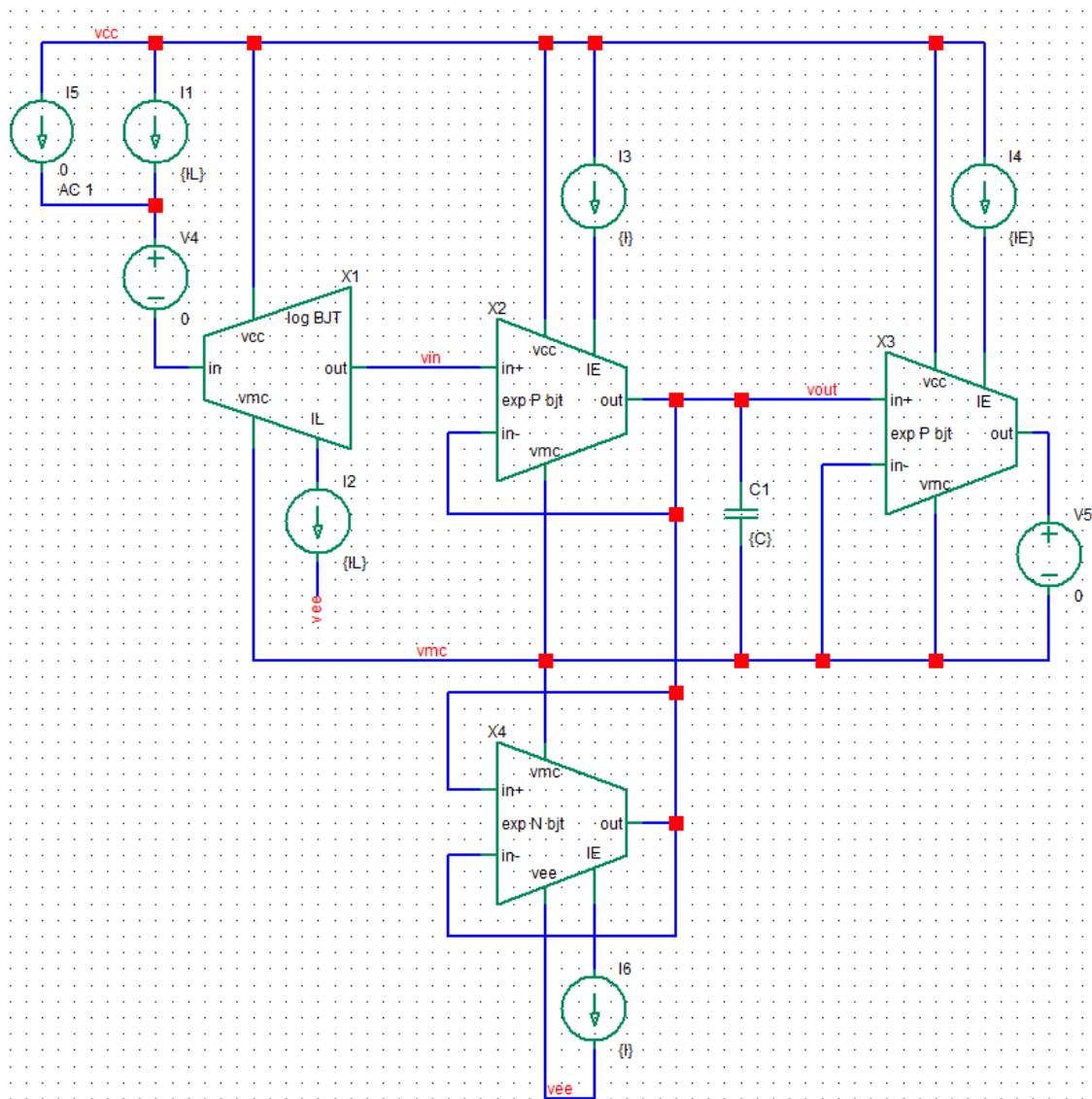


Figura 1: Schema electrică a integratorului cu pierderi ELIN implementat folosind blocul logaritmic și blocuri exponențiale

- proiectați filtrul de ordin I (integratorul cu pierderi) pentru un câștig unitar ( $A_0 = 1$ ) și frecvența de tăiere ( $f_t$ ) în intervalul ( 1kHz ... 100kHz );

#### Observație:

Valoarea tensiunii termice este  $V_T = 25.88mV$  iar valoarea pentru curenții de polarizare se alege astfel încât ambele modele de tranzistoare să lucreze în regiunea activă normală (curentul de colector pentru modelul npnver poate lua valori în intervalul ( $100pA...400uA$ ) iar curentul de colector pentru modelul pnplat poate lua valori în intervalul ( $10pA...300nA$ )).

- înlocuiți modele generice de tranzistoarele bipolare cu modelele **nnp\_ideal** & **pnnp\_ideal**;
- rulați o analiză de punct static (**DC op pnt**) și verificați dacă tranzistoarele lucrează în regiunea de funcționare corectă;
- rulați o analiză de curent alternativ (**AC sweep**) și măsurați parametrii de proiectare a filtrului (câștigul de joasă frecvență și frecvența de tăiere);

- comparați rezultatele cu cele de proiectare și dacă diferența dintre mărimea măsurată și cea de proiectare este mai mare de 1%, ajustați parametrii din circuit;
- înlocuiți modele `npn_ideal` & `pnp_ideal` cu modelele `npnver` & `pnplat`;
- rulați o analiză de punct static (`DC op pnt`) și verificați dacă tranzistoarele lucrează în regiunea de funcționare corectă;
- rulați o analiză de curent alternativ (`AC sweep`);
- măsurați parametrii de proiectare a filtrului (câștigul de joasă frecvență și frecvența de tăiere);
- comparați rezultatele cu cele obținute pentru modelele `npn_ideal` & `pnp_ideal` și dacă diferența este mai mare de 1%, ajustați parametrii din circuit;
- aplicați la intrare un semnal sinusoidal cu frecvența mai mică decât frecvența de tăiere și amplitudine mai mică decât  $I_L$ ;
- rulați o analiză în timp (`Transient`) și afișați pe același grafic curentul de intrare și de ieșire;
- măsurați câștigul și defazajul;
- măsurați THD-ul semnalului de la ieșire ( $i_{out}$ ) (`.FOUR «frecvența semnalului de la intrare» «semnalul pentru care se dorește determinarea THD»`);
- vizualizați tensiunea de pe condensatorul de integrare și măsurați TDH-ul acestuia;
- comparați cele două valori de THD;
- repetați analiza în timp pentru un semnal sinusoidal cu frecvența mai mare (dublă) decât frecvența de tăiere și amplitudinea mai mică decât  $I_L$ ; cum se modifică THD-ul semnalului de la ieșire ( $i_{out}$ )?
- repetați analiza în timp pentru un semnal sinusoidal cu frecvența de tăiere în banda de trecere dar cu amplitudinea mai mare ( $i_{in} = 1.1 * I_L$ ); cum se modifică THD-ul semnalului de la ieșire ( $i_{out}$ )?

## 2.2 Biquadul trece jos în domeniul logaritmic - Etajul de ordin II

Proiectați un biquad trece jos în domeniul logaritmic (mod de lucru curent - intrare curent ieșire curent) realizat cu celule exponențiale și celulă logaritmică implementate cu 4 tranzistoare. Verificați funcționarea corectă a tranzistoarelor folosind o analiză de punct static și a filtrului de ordin II folosind o analiză de curent alternativ. De asemenea, folosind o analiză în timp, `Transient` și comanda `.FOUR` măsurați THD (ieșirea de curent și nodul intern de ieșire de tensiune) pentru diferite frecvențe și amplitudini a semnalului de la intrare. Pașii de urmat:

- creați un proiect nou în Ltspice și salvați proiectul cu numele `test_biquad.asc`;
- desenați schema de test din Figura 2;

- deduceți funcția de transfer a circuitului astfel încât să fie de forma generală a funcției de transfer pentru un biquad trece jos  $H(s) = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{\omega_0 \cdot Q} + \frac{s^2}{\omega_0^2}}$ ;
- găsiți expresiile câștigului de joasă frecvență  $A_0$ , a pulsației  $\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_t$  și a factorului de calitate  $Q$ ;

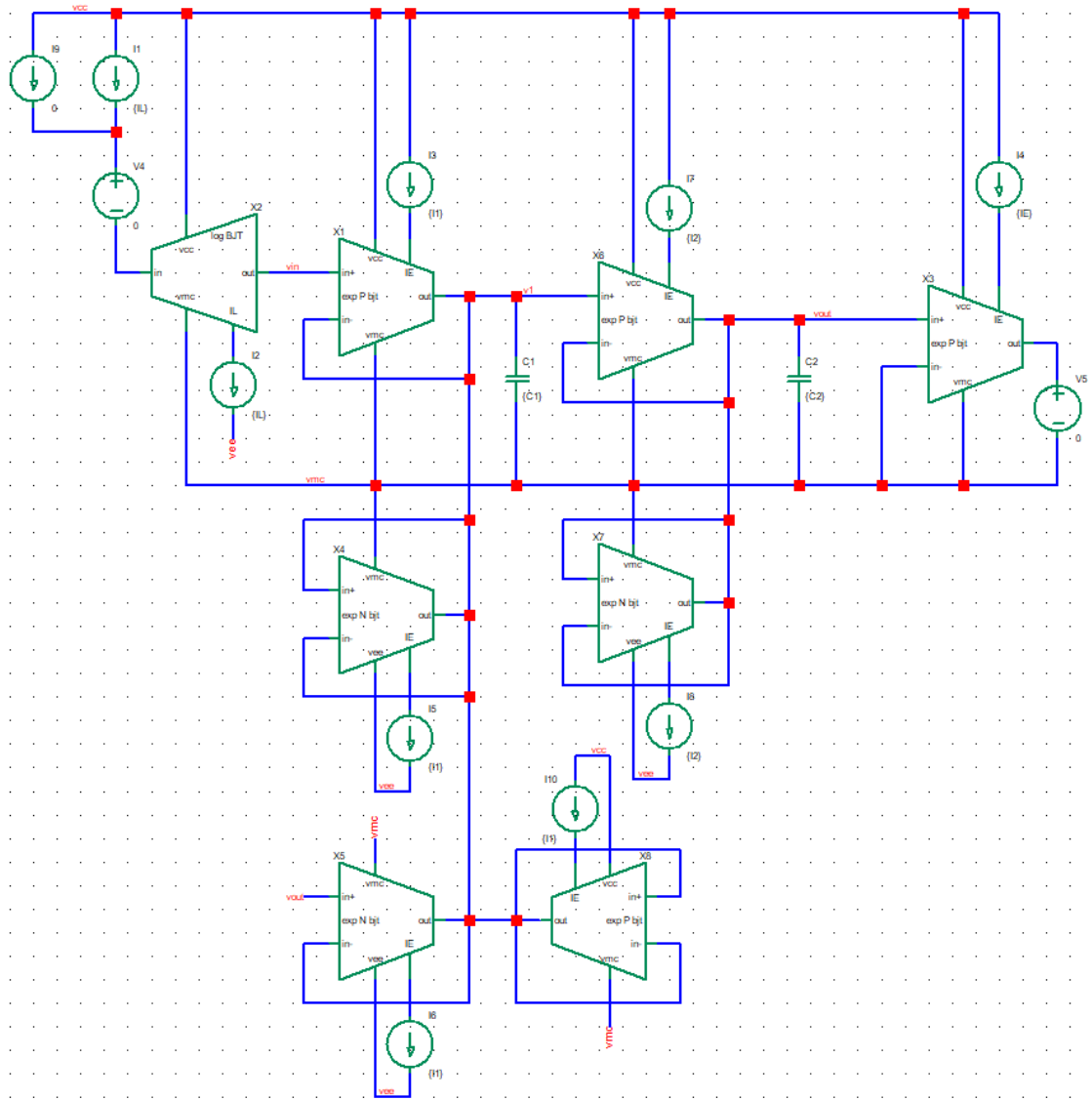


Figura 2: Schema electrică a biquad-ului trece jos ELIN implementat folosind blocul logaritmic și blocuri exponențiale

- proiectați filtrul de ordin II (biquadul trece jos) pentru un câștig unitar ( $A_0 = 1$ ), frecvență de tăiere ( $f_t$ ) în intervalul ( 1kHz ... 100kHz ) și factorul de calitate ( $Q$ ) una din valorile standard (0.58, 0.71, 0.86, 0.96, 1.13, 1.30);

#### Observație:

Valoarea tensiunii termice este  $V_T = 25.88mV$  iar valoarea pentru curenții de polarizare se alege astfel încât ambele modele de tranzistoare să lucreze în regiunea activă normală (curentul de colector pentru modelul npnver poate lua valori în intervalul (100pA...400uA) iar curentul de colector pentru modelul pnplat poate lua valori în intervalul (10pA...300nA)).

- înlocuiți modele generice de tranzistoarele bipolare cu modelele **nnp\_ideal & pnp\_ideal**;
- rulați o analiză de punct static (**DC op pnt**) și verificați dacă tranzistoarele lucrează în regiunea de funcționare corectă;
- rulați o analiză de curent alternativ (**AC sweep**) și măsurați parametrii de proiectare a filtrului (câștigul de joasă frecvență, frecvența de tăiere și riplul);
- comparați rezultatele cu cele de proiectare și dacă diferența dintre mărimea măsurată și cea de proiectare este mai mare de 1%, ajustați parametrii din circuit;
- înlocuiți modele **nnp\_ideal & pnp\_ideal** cu modelele **nnpver & pnplat**;
- rulați o analiză de punct static (**DC op pnt**) și verificați dacă tranzistoarele lucrează în regiunea de funcționare corectă;
- rulați o analiză de curent alternativ (**AC sweep**);
- măsurați parametrii de proiectare a filtrului (câștigul de joasă frecvență, frecvența de tăiere și riplul);
- comparați rezultatele cu cele obținute pentru modelele **nnp\_ideal & pnp\_ideal** și dacă diferența este mai mare de 1%, ajustați parametrii din circuit;
- aplicați la intrare un semnal sinusoidal cu frecvența mai mică decât frecvența de tăiere și amplitudine mai mică decât  $I_L$ ;
- rulați o analiză în timp (**Transient**) și afișați pe același grafic curentul de intrare și de ieșire;
- măsurați câștigul și defazajul;
- măsurați THD-ul semnalului de la ieșire ( $i_{out}$ ) (**.FOUR «frecvența semnalului de la intrare» «semnalul pentru care se dorește determinarea THD»**);
- vizualizați tensiunea de pe condensatoarele de integrare și măsurați TDH-ul acestora;
- comparați cele trei valori de THD;
- repetați analiza în timp pentru un semnal sinusoidal cu frecvența mai mare (dublă) decât frecvența de tăiere și amplitudinea mai mică decât  $I_L$ ; cum se modifică THD-ul semnalului de la ieșire ( $i_{out}$ )?
- repetați analiza în timp pentru un semnal sinusoidal cu frecvența de tăiere în banda de trecere dar cu amplitudinea mai mare ( $i_{in} = 1.1 * I_L$ ); cum se modifică THD-ul semnalului de la ieșire ( $i_{out}$ )?