
Lucrarea 20

FILTRE DE TIP *K*-constant

20.A. OBIECTIVE

1. Proiectarea celulelor elementare de filtre de tip *K-constant*.
2. Studiul comportării în frecvență a acestor celule.
3. Studiul unui filtru format din mai multe celule elementare.

20.B. CONSIDERAȚII TEORETICE

► CELULA FTJ DE TIP *K*

Celula FTJ de tip *K* poate avea structurile din *Figura 20.1, a* sau *b*, iar caracteristicile de frecvență ca în *Figura 20.1.c*.

Frecvența de tăiere se exprimă, în funcție de elementele celulelor, prin relația:

$$\omega_t = \frac{2}{\sqrt{LC}} \quad (20.1)$$

În general, filtrul lucrează pe o rezistență (constantă) de sarcină (R_s). Pentru dimensionarea filtrului, se consideră date: rezistența de sarcină (R_s) și frecvența de tăiere (ω_t).

Cum dezideratul adaptării nu poate fi atins la orice frecvență, trebuie să alegem frecvența la care filtrul va lucra adaptat .

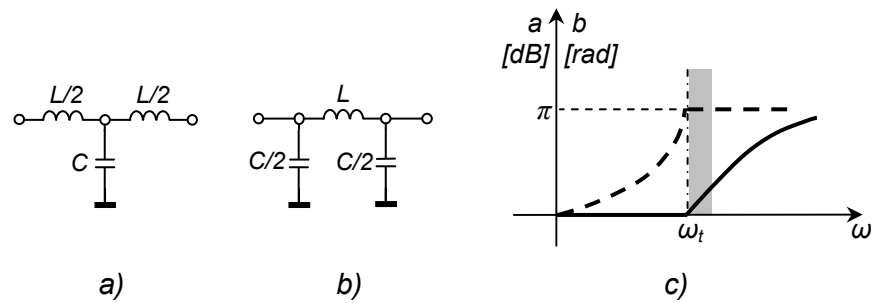


Figura 20.1

De cele mai multe ori, *FTJ* se adaptează în curent continuu ($\omega = 0$). Considerând parametrul $R = R_{CT}(0) = R_{CI}(0)$ al filtrului egal cu rezistența de sarcină, rezultă următoarele relații de dimensionare:

$$\begin{cases} L = \frac{2R_s}{\omega_t} \\ C = \frac{2}{\omega_t R_s} \end{cases} \quad (20.2)$$

Dacă spectrul semnalului de filtrat este grupat în jurul unei frecvențe $0 < \omega_0 < \omega_t$, filtrul poate fi adaptat la această frecvență. În acest caz, *FTJ* se dimensionează prin relațiile:

$$\begin{cases} L_T = \frac{2}{\omega_t} \cdot \frac{R_s}{\sqrt{1 - (\omega_0 / \omega_t)^2}} \\ C_T = \frac{2}{\omega_t} \cdot \frac{\sqrt{1 - (\omega_0 / \omega_t)^2}}{R_s} \end{cases} \quad (20.3)$$

pentru structura în *T*, respectiv:

$$\begin{cases} L_{II} = \frac{2}{\omega_t} \cdot R_s \sqrt{1 - (\omega_0 / \omega_t)^2} \\ C_{II} = \frac{2}{\omega_t} \cdot \frac{1}{R_s \sqrt{1 - (\omega_0 / \omega_t)^2}} \end{cases} \quad (20.4)$$

pentru structura în *II*.

► **CELULA FTS DE TIP K**

Celulele elementare de tip *FTS* sunt prezentate în *Figurile 20.2.a și b*, iar caracteristicile lor de frecvență – în *Figura 20.c*.

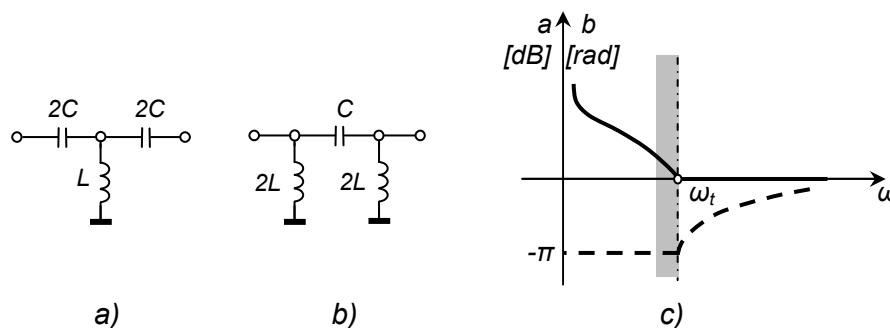


Figura 20.2

Frecvența de tăiere se exprimă, în funcție de parametrii celulelor, prin relația:

$$\omega_t = \frac{1}{2\sqrt{LC}} \quad (20.5)$$

La fel ca și în cazul *FTJ*, pentru *FTS* dimensionarea se face considerând date: rezistența de sarcină (R_s) și frecvența de tăiere (ω_t).

Dacă adaptarea se realizează la frecvențe foarte mari ($\omega \rightarrow \infty$), relațiile de dimensionare sunt:

$$\begin{cases} L = \frac{R_s}{2\omega_t} \\ C = \frac{1}{2R_s\omega_t} \end{cases} \quad (20.6)$$

relații valabile pentru ambele structuri elementare (în T și în II).

Dacă se dorește adaptarea celulei la o frecvență $\omega_t < \omega_0 < \infty$, vom avea soluții diferite în funcție de structura elementară abordată:

$$\begin{cases} L_T = \frac{1}{2\omega_t} \cdot \frac{R_s}{\sqrt{1 - (\omega_0 / \omega_t)^2}} \\ C_T = \frac{1}{2\omega_t} \cdot \frac{\sqrt{1 - (\omega_0 / \omega_t)^2}}{R_s} \end{cases} \quad (20.7)$$

pentru structura în T și respectiv:

$$\begin{cases} L_{II} = \frac{1}{2\omega_t} \cdot R_s \sqrt{1 - (\omega_0 / \omega_t)^2} \\ C_{II} = \frac{1}{2\omega_t} \cdot \frac{1}{R_s \sqrt{1 - (\omega_0 / \omega_t)^2}} \end{cases} \quad (20.8)$$

pentru structura în II .

► CELULA FTB DE TIP K

Celulele elementare de tip *FTB* sunt prezentate în *Figurile 20.3.a și b*, iar caracteristicile lor de frecvență – în *Figura 20.3.c*.

Pentru dimensionarea *FTB* se consideră date: frecvențele de tăiere inferioară (ω_i) și superioară (ω_s) și rezistența de sarcină (R). Filtrul se consideră adaptat la frecvența centrală (ω_0).

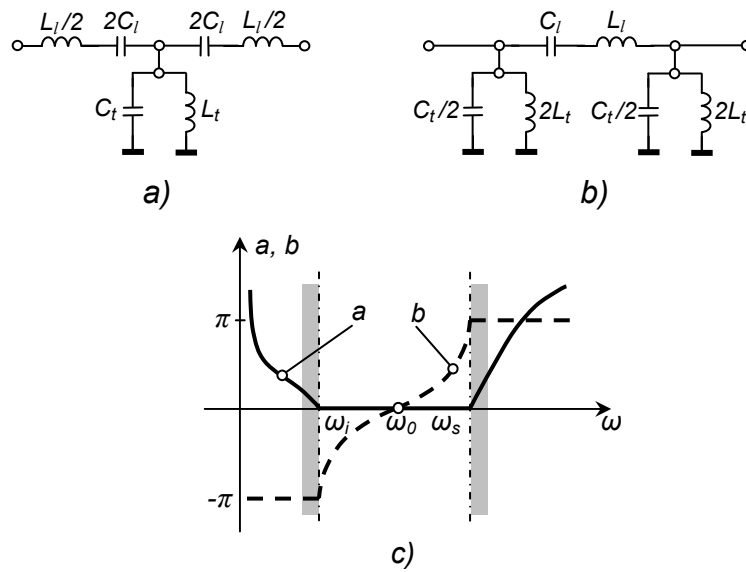


Figura 20.3

Elementele longitudinale se dimensionează prin relațiile:

$$\begin{cases} L_l = \frac{2R}{\omega_s - \omega_i} \\ C_l = \frac{\omega_s - \omega_i}{2R\omega_0^2} \end{cases} \quad (20.9)$$

iar cele transversale – prin relațiile:

$$\begin{cases} L_t = \frac{(\omega_s - \omega_i)R}{2\omega_0^2} \\ C_t = \frac{2}{(\omega_s - \omega_i)R} \end{cases} \quad (20.10)$$

► **CELULA FOB DE TIP K**

Celulele elementare de tip *FOB* sunt prezentate în *Figurile 20.4.a și b*, iar caracteristicile de frecvență – în *Figura 20.4.c*.

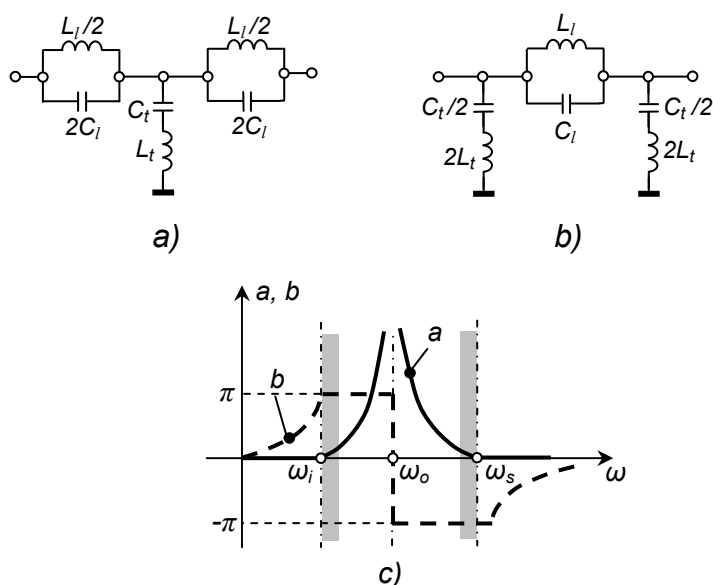


Figura 20.4

Datele de proiectare sunt ca și în cazul *FTB*: frecvențele de tăiere inferioară (ω_i) și superioară (ω_s) și rezistența de sarcină (R). Filtrul se consideră adaptat în curent continuu și la frecvență infinită.

Elementele longitudinale se dimensionează prin relațiile:

$$\begin{cases} L_l = \frac{2R(\omega_s - \omega_i)}{\omega_0^2} \\ C_l = \frac{1}{2R(\omega_s - \omega_i)} \end{cases} \quad (20.11)$$

iar cele transversale prin relațiile:

$$\begin{cases} L_t = \frac{R}{2(\omega_s - \omega_i)} \\ C_t = \frac{2(\omega_s - \omega_i)}{R\omega_0^2} \end{cases} \quad (20.12)$$

► **CONECTAREA ÎN LANȚ A CELULELOR DE FILTRARE**

Celulele de filtrare de tip K -constant prezintă calități și defecte:

Calități:

- simplitatea structurilor și a relațiilor de proiectare (dimensionare);
- atenuarea în banda de oprire (BO) tinde la infinit la frecvențe depărtate de frecvențele de tăiere.

Defecte:

- creșterea relativ lentă a atenuării în BO , în apropierea benzii de trecere (BT); de aici rezultă o insuficient de netă demarcare a BO față de BT ;
- impedanța (rezistența) caracteristică variază foarte mult cu frecvența, în BT , astfel că filtrul este departe de a fi adaptat; ca urmare a acestui fapt, atenuarea nu va fi, de fapt, nulă în BT .

Pentru corectarea acestor defecte se poate acționa pe mai multe căi. O cale ar fi înlocuirea acestor filtre cu altele ceva mai elaborate (de exemplu, filtrele derivate, care vor fi analizate în lucrarea următoare).

O altă cale constă în utilizarea mai multor celule de filtru conectate în lanț. Pe de-o parte, pentru reducerea atenuărilor de neadaptare, celulele trebuie să aibă aceeași impedanță caracteristică. Pe de altă parte, dacă celulele au aceeași impedanță caracteristică, ele vor avea și aceleași frecvențe de tăiere. Ca urmare, la o proiectare corectă a filtrelor formate din mai multe celule de tip K , caracteristicile de frecvență (benzile de trecere) vor fi *aliniat* (*acordate*) în frecvență.

Din păcate, utilizarea mai multor celule în lanț nu rezolvă problema adaptării corecte, iar creșterea atenuării în BO (efect dorit) este însoțită de creșterea atenuării și în BT (efect nedorit).

20.C. PROBLEME PREGĂTITOARE

NOTĂ : Recomandăm păstrarea soluțiilor problemelor de mai jos, deoarece vor fi utilizate la realizarea unor lucrări de laborator următoare.

20.C.1. Dimensionați o celulă în T cu o caracteristică FTJ , de tip K -constant, având frecvența de tăiere de $100kHz$ și lucrând pe o sarcină de 300Ω .

20.C.2. Dimensionați o celulă în T cu o caracteristică FTS , de tip K -constant, având frecvența de tăiere de $100kHz$ și lucrând pe o sarcină de 300Ω .

20.C.3. Dimensionați o celulă în T cu o caracteristică FTB , de tip K -constant, având frecvența de tăiere inferioară $100kHz$, frecvența de tăiere superioară $200kHz$ și lucrând pe o sarcină de 300Ω .

20.C.4. Dimensionați o celulă în T cu o caracteristică FOB , de tip K -constant, având frecvența de tăiere inferioară $100kHz$, frecvența de tăiere superioară $200kHz$ și lucrând pe o sarcină de 300Ω .

20.D. DESFĂȘURAREA LUCRĂRII

Pentru a putea compara caracteristicile obținute cu una, două, respectiv trei celule elementare, realizați schema de simulare din *Figura 20.5*.

Programați sursa $VPULSE$ astfel încât să genereze un semnal rectangular între $\pm 1V$, cu frecvența de $20kHz$ și factor de umplere de 50% .

Pentru ridicarea caracteristicii amplificării, setați parametrul AC al sursei la $2V$. La frecvența la care filtrele lucrează adaptat, tensiunea pe sarcină devine $1V$. Prin urmare, tensiunea pe sursă va fi *numeric egală* cu

amplificarea filtrului, deci amplificarea va putea fi citită direct din rezultatele rulării, fără a fi necesare alte calcule.

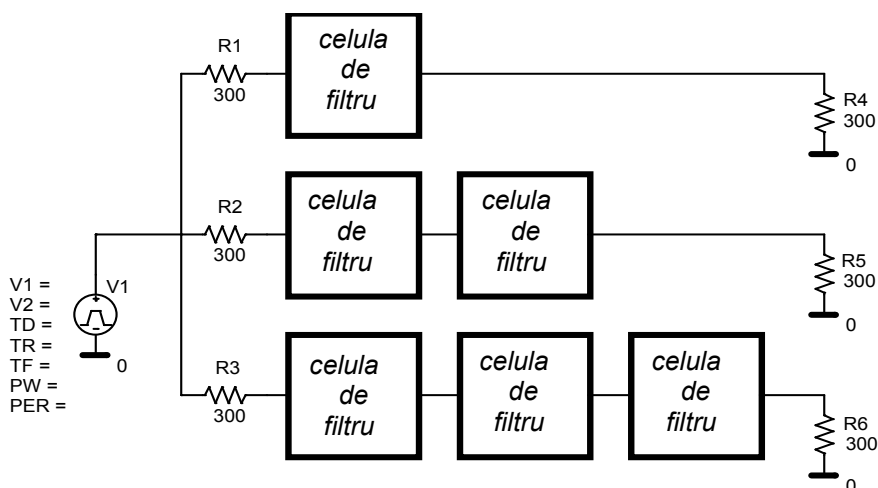


Figura 20.5

Creați un profil de simulare cu numele "timp", de tip *Time Domain* (durata simulării = 5ms, pasul maxim = 0.5μs și bifați opțiunea *SKIPBP*).

Mai creați încă un profil de simulare cu numele "frecv", de tip *AC Sweep/Noise* (frecvența minimă = 1kHz, cea maximă = 500kHz și cu 10000 de puncte în total, tipul de baleiaj al frecvenței fiind liniar).

20.D.1. Vom studia pentru început celulele *FTJ*. Fiecare celulă va avea structura din *Figura 20.1.a*, iar parametrii elementelor vor avea valorile obținute la problema 20.C.1.

Cu profilul de simulare "frecv" activat, apăsați **RUN**. Afișați tensiunea pe sarcina filtrului cu o singură celulă (primul circuit). Observați aspectul tipic de caracteristică de *FTJ*.

Schimbați pe abscisă afișarea în scară logaritmică cu cea în scară lineară (*Plot* → *Axis Settings* și alegeți pe abscisă afișajul *liniar*). Măsurați amplificarea la frecvența teoretică de tăiere (100kHz) și comparați cu valoarea teoretică (0.707107).

20.D.2. Afișați în aceeași fereastră tensiunile de pe sarcinile celorlalte două filtre (cu două, respectiv trei celule).

Comparați calitativ cele trei caracteristici. Observați că filtrele de ordin superior prezintă ondulații ale caracteristicilor (în partea de sus) și pante mai mari la separarea benzilor.

20.D.3. Activați profilul "timp" și apăsați **RUN**. Afișați tensiunea de la ieșirea sursei de semnal și cele de pe sarcinile celor trei filtre.

Observați efectele creșterii numărului de celule: crește întârzierea răspunsului și gradul de oscilație al acestuia.

Activați FFT și puneți cele 4 semnale pe grafice diferite, în următoarea ordine, de sus în jos: tensiunea de la intrare, tensiunea de pe sarcină de la primul circuit, cea de la al doilea și cea de la al treilea.

Observați efectul filtrului asupra spectrelor.

20.D.4. Înlocuiți celulele FTJ cu celule de tip FTB și repetați operațiunile de la punctele 20.D.1 – 20.D.3.

Observați simetria geometrică a caracteristicilor față de frecvența centrală:

$$f_0 = \sqrt{f_1 f_s} \quad (20.13)$$

Măsurati frecvențele f_1 și f_2 la care amplificarea are aceeași valoare (o valoare aleasă arbitrar) și verificați relația (20.13).

20.D.5. Determinați și comparați lărgimile benzii de trecere în cazul celulei simple, a filtrului cu două celule, respectiv a celui cu trei celule.

Observați că utilizarea mai multor celule are un efect mai pronunțat în banda de trecere, unde atenuarea crește sensibil.

20.D.6. Repetați operațiunile de la punctele 20.D.1 – 20.D.3 pentru FOB.

Observați, și aici, simetria geometrică a caracteristicilor față de aceeași frecvență centrală, frecvență care, acum, este în banda de oprire.

Comparați efectul mai multor celule identice în cazul FOB, față de cazul FTB.