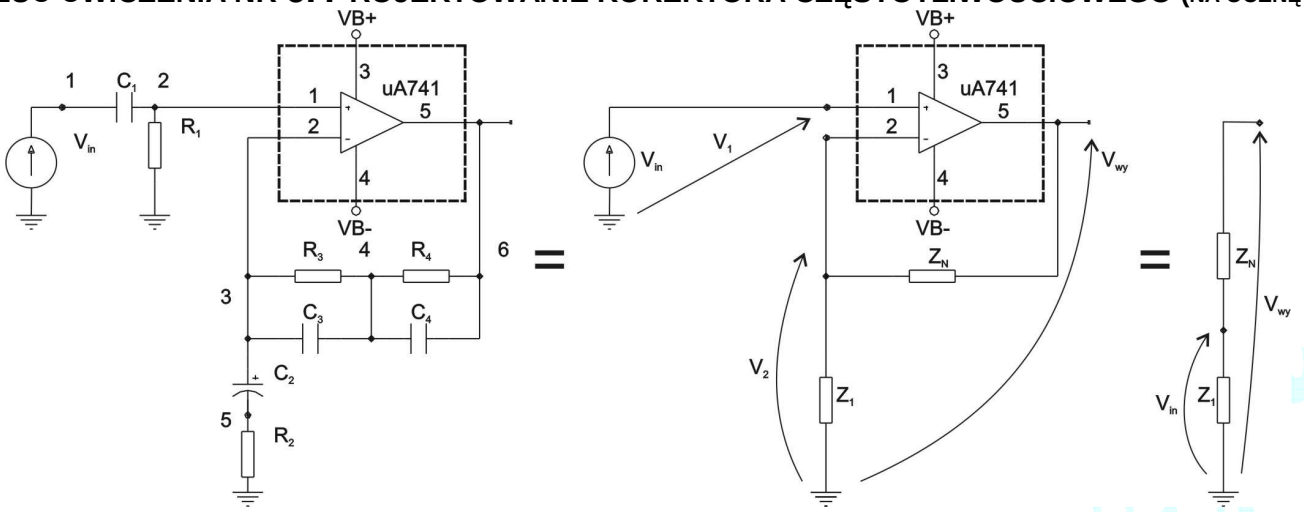
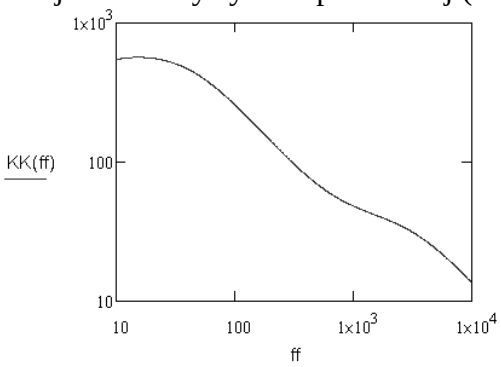
TREŚĆ ĆWICZENIA NR 6. PROJEKTOWANIE KOREKTORA CZĘSTOTLIWOŚCIOWEGO (NA OCENĘ DB)



Elementy zapewniające uzyskanie pożądanej charakterystyki amplitudowej (RIAA):

V_{in} = 1[mV]
R_1 = 180[kΩ]
R_2 = 0.3[kΩ]
R_3 = 180[kΩ]
R_4 = 10[kΩ]
C_1 = 0.47[μF]
C_2 = 1000[μF]
C_3 = 20[nF]
C_4 = 4.7[nF]



Przy pominięciu oddziaływania elementów C_1, R_1 oraz założeniu idealnych własności wzmacniacza operacyjnego transmitancja układu jest dana wzorem:

$$K(s)=\frac{V_{wy}(s)}{V_{in}(s)}=\frac{Z_N(s)+Z_1(s)}{Z_1(s)} \quad \text{gdzie: } Z_1(s)=R_2+\frac{1}{sC_2}\ ,\ Z_N(s)=\frac{R_3\frac{1}{sC_3}}{R_3+\frac{1}{sC_3}}+\frac{R_4\frac{1}{sC_4}}{R_4+\frac{1}{sC_4}}$$

$$\boxed{K(s)=\frac{\dfrac{R_3\frac{1}{sC_3}}{R_3+\frac{1}{sC_3}}+\dfrac{R_4\frac{1}{sC_4}}{R_4+\frac{1}{sC_4}}+R_2+\frac{1}{sC_2}}{R_2+\frac{1}{sC_2}}}$$

Skonstruować algorytm optymalizacji oparty na metodzie **Newtona-Raphsona** pozwalający na wyznaczenie elementów R_3, R_4, C_3 oraz C_4. Uzyskiwanie charakterystyki częstotliwościowej: $s=\mathrm{j}\omega$,

$$K(s)=K(\mathrm{j}\omega),\quad |K(\mathrm{j}\omega)| - \text{charakterystyka amplitudowa},$$

$$\arg\left(K(\mathrm{j}\omega)\right) - \text{ charakterystyka fazowa.}$$

Rozwiązanie nadokreślonego układu równań odbywa się metodą równań normalnych:

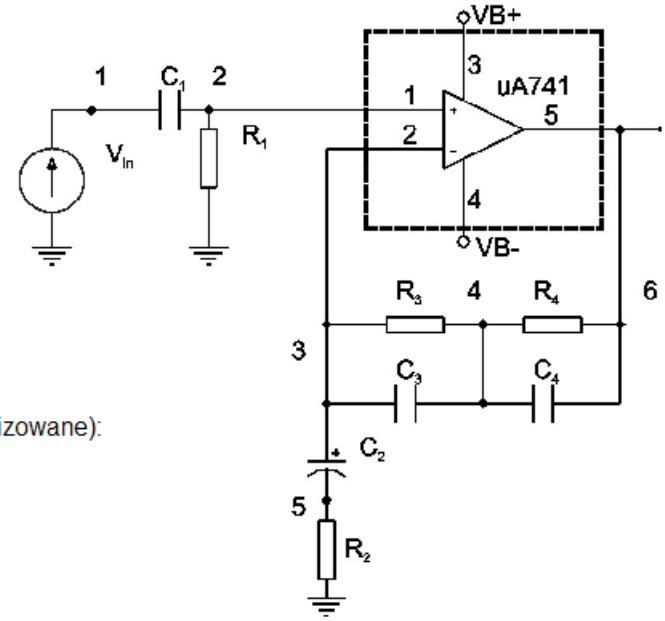
$$\boldsymbol{S}\cdot\Delta\boldsymbol{R}=\Delta\boldsymbol{U}\quad \begin{bmatrix} x & x & x & x\\ x & x & x & x\\ x & x & x & x\\ x & x & x & x\\ x & x & x & x\\ x & x & x & x \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} x\\ x\\ x\\ x \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} x\\ x\\ x\\ x\\ x\\ x \end{bmatrix};\quad \boldsymbol{S}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{S}\cdot\Delta\boldsymbol{R}=\boldsymbol{S}^{\mathrm{T}}\Delta\boldsymbol{U}\quad \begin{bmatrix} x & x & x & x & x & x\\ x & x & x & x & x & x\\ x & x & x & x & x & x\\ x & x & x & x & x & x\\ x & x & x & x & x & x\\ x & x & x & x & x & x \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x & x & x & x\\ x & x & x & x\\ x & x & x & x\\ x & x & x & x\\ x & x & x & x\\ x & x & x & x \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix} x\\ x\\ x\\ x \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} x & x & x & x & x & x\\ x & x & x & x & x & x\\ x & x & x & x & x & x\\ x & x & x & x & x & x \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x\\ x\\ x\\ x\\ x\\ x \end{bmatrix}$$

W ten sposób powstaje układ równań 4x4 z wektorem prawej strony o długości 4.

Origin := 1

Metoda Newtona-Raphsona

Układ korektora jest przedstawiony na rysunku:



Dane są (nie będą optymalizowane):

$R2 := 300$

$C2 := 100 \cdot 10^{-6}$

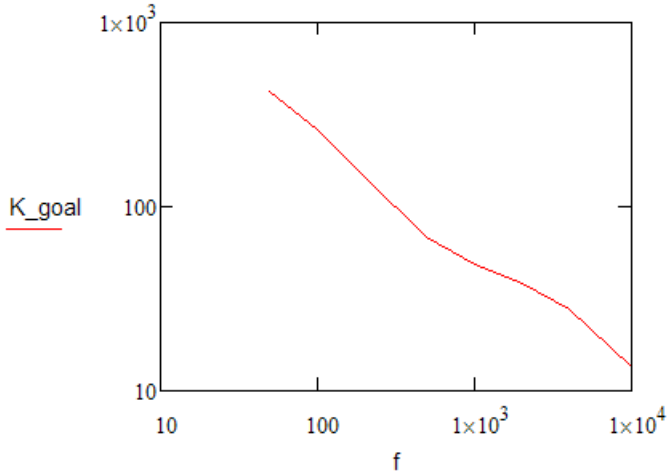
Zadanie ma na celu dopasowanie transmitancji korektora do kilku wartości podanych w pliku zewnętrznym "Goal_function.TXT". Plik ten zawiera częstotliwości oraz odpowiadające im moduły transmitancji. Ich ilość jest dowolna.
Optymalizowane będą: R3, R4, C3 oraz C4, w programie zapisane w wektorze R.
Czytanie danych z pliku:

$Kf := \mathrm{READPRN}(\text{"Goal_function.TXT"})$ $\quad Nk := \mathrm{rows}(Kf)$ $\quad nf := \frac{Nk}{2}$ $\quad i := 1..nf$

$f_i := Kf_i$ $\quad K_goal_i := Kf_{i+nf}$

$f^T = \begin{pmatrix} 50 & 100 & 200 & 500 & 1\times10^3 & 2\times10^3 & 4\times10^3 & 1\times10^4 \end{pmatrix}$

Tak wygląda charakterystyka oparta na podanych częstotliwościach:



Zmienne elementy projektowanego układu będą nazywane kolejnymi indeksami R, w kolejności: R3, R4, C3, C4. Wartości początkowe:

$R_1 := 30 \cdot 10^3$ $\quad R_2 := 8 \cdot 10^3$ $\quad R_3 := 10 \cdot 10^{-9}$ $\quad R_4 := 10 \cdot 10^{-9}$

Transmitancja projektowanego układu przy zapisaniu elementów jako R:

$$K_(R,s) := \frac{\left(\dfrac{R_1 \frac{1}{s\cdot R_3}}{R_1 + \frac{1}{s\cdot R_3}} + \dfrac{R_2 \frac{1}{s\cdot R_4}}{R_2 + \frac{1}{s\cdot R_4}} + R2 + \frac{1}{s\cdot C2}\right)}{R2 + \frac{1}{s\cdot C2}}$$

$N := \mathrm{rows}(R) = 4$

$If := \mathrm{rows}(f) = 8$

$K(R,f) := \left|K_(R, 2\pi\cdot f\cdot i)\right|$

Obliczanie pochodnej względem elementu wektora

$$dK(R,n,f) := \left|\begin{array}{l} R1 \leftarrow R \\ d \leftarrow 0.001 \\ R1_n \leftarrow R1_n + d\cdot R1_n \\ dK \leftarrow \dfrac{(K(R1,f) - K(R,f))}{d\cdot R1_n} \end{array}\right.$$

Parametry procesu iteracyjnego:

Współczynnik podrelaksacji $\varepsilon 0 := 0.01$

Krok początkowy: $d := 0.1\cdot R$

Liczba max iteracji: $ItMax := 100$

```
N_R := | for n ∈ 1..N                                  Procedura Newtona-Raphsona dla zadania
       |   N_R_{n,1} ← R_n                             optymalizacji N elementów dla If częstotliwości
       | for it ∈ 1..ItMax
       |   | ε ← ε0·it                                 Współczynnik podrelaksacji
       |   | for i ∈ 1..If
       |   |   | ΔU_i ← K(R,f_i) − K_goal_i            Odchyłki napięć dla częstotliwości f
       |   |   | for n ∈ 1..N                          Obliczanie wrażliwości przez różniczkowanie
       |   |   |   S_{i,n} ← R_n·dK(R,n,f_i)           względem elementu wektora Rn.
       |   |                                           Unormowanie przez pomnożenie razy Rn.
       |   | ΔR ← lsolve(S^T·S, S^T·ΔU)                Rozwiązanie nadokreślonego układu równań
       |   | for n ∈ 1..N                              metodą równań normalnych
       |   |   | R_n ← R_n − ε·ΔR_n·R_n                Wprowadzenie poprawek R z podrelaksacją
       |   |   | N_R_{n,it+1} ← R_n                    Zapamiętanie w macierzy N_R
       |   |   | N_R_{n+2,it+1} ← ΔR_n
       |   | Δ ← |ΔR|
       |   | break if Δ < 10^−4                        Koniec, jeśli ostatnie poprawki odpowiednio małe
       | N_R
```

Liczba wykonanych iteracji:

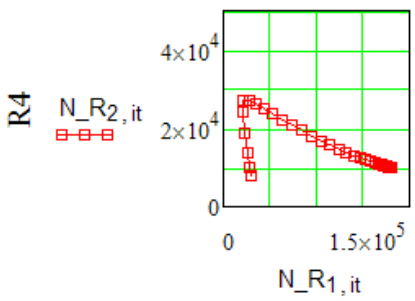
$It := \mathrm{cols}(N_R) \qquad It = 44$

Wartości elementów:

$R3 := N_R_{1,It} = 1.8\times 10^{5} \qquad R4 := N_R_{2,It} = 1\times 10^{4}$

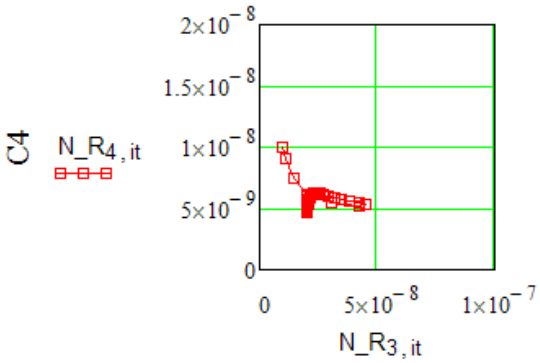
$C3 := N_R_{3,It} = 2\times 10^{-8} \qquad C4 := N_R_{4,It} = 4.7\times 10^{-9}$

Wartości R3 i R4 w kolejnych iteracjach



R3

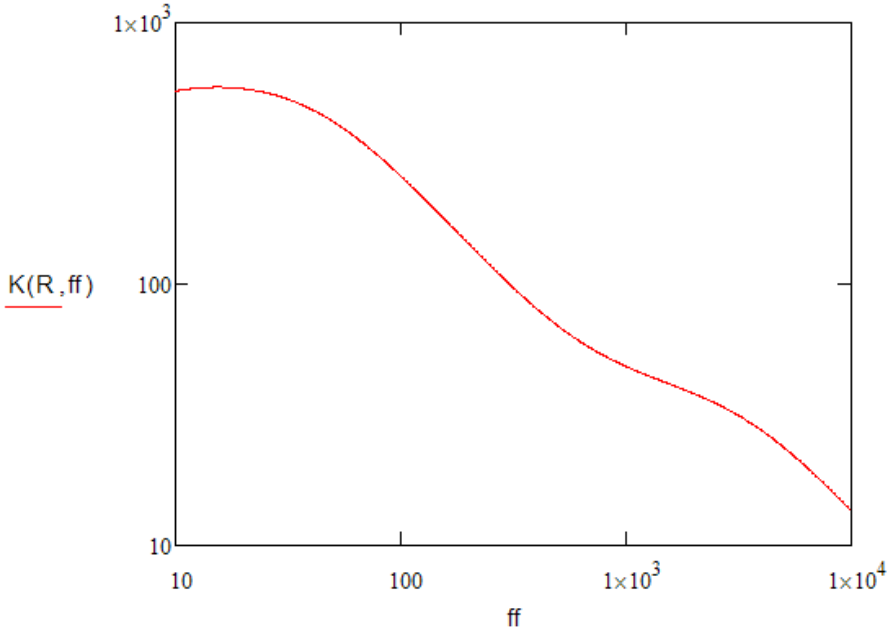
Wartości C3 i C4 w kolejnych iteracjach



C3

$R_1 := R3$ $R_2 := R4$ $R_3 := C3$ $R_4 := C4$

Otrzymana charakterystyka:



Zawartość pliku „Goal_function.TXT”:

```
    50
   100
   200
   500
  1000
  2000
  4000
 10000
 419.0
 258.9
 142.6
 69.04
 48.38
 38.11
 27.51
 13.53
```