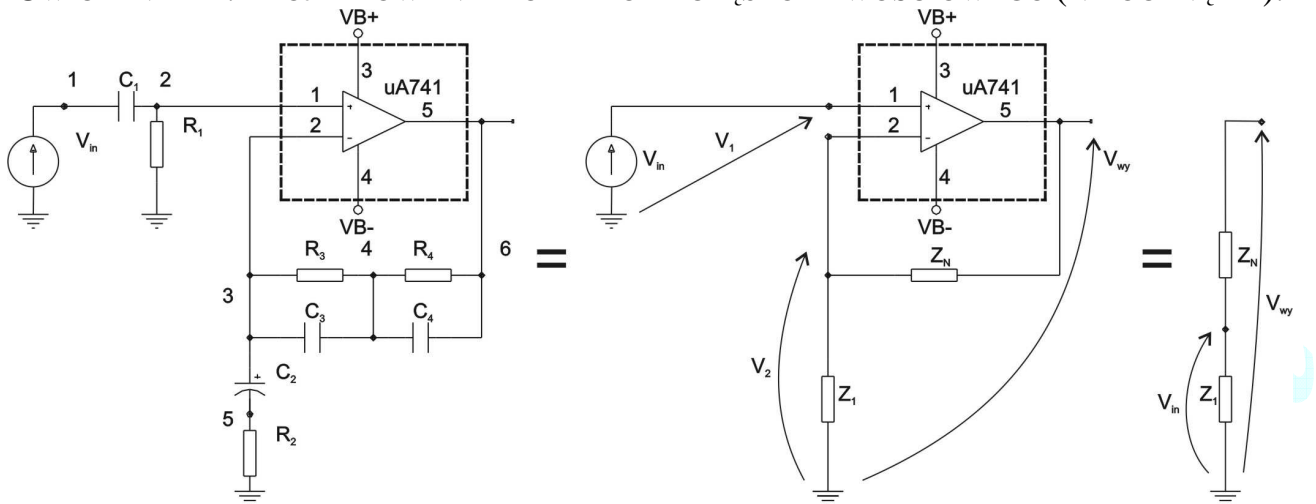
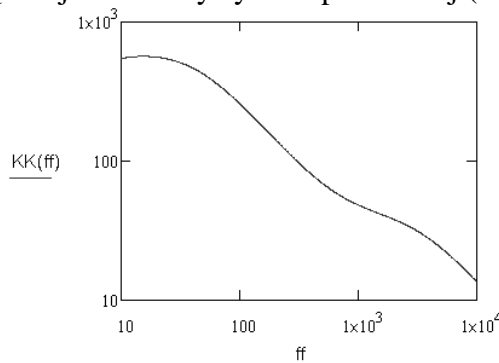


ĆWICZENIE 12. PROJEKTOWANIE KOREKTORA CZĘSTOTLIWOŚCIOWEGO (NA OCENĘ DB).



Elementy zapewniające uzyskanie pożądanej charakterystyki amplitudowej (RIAA):

- $V_{in} = 1[\text{mV}]$
- $R_1 = 180[\text{k}\Omega]$
- $R_2 = 0.3[\text{k}\Omega]$
- $R_3 = 180[\text{k}\Omega]$
- $R_4 = 10[\text{k}\Omega]$
- $C_1 = 0.47[\mu\text{F}]$
- $C_2 = 1000[\mu\text{F}]$
- $C_3 = 20[\text{nF}]$
- $C_4 = 4.7[\text{nF}]$



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

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

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

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

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

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

Rozwiązanie nadokreślonego układu równań odbywa się metodą równań normalnych:

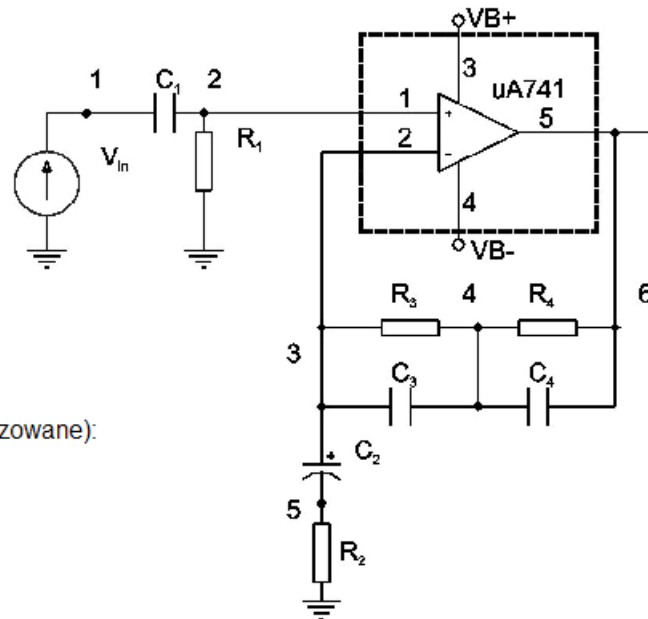
$$S \cdot \Delta R = \Delta U \quad \begin{bmatrix} x & x & x & x \\ x & x & x & x \\ x & x & x & x \\ x & x & x & x \\ x & x & x & x \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ x \\ x \\ x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ x \\ x \\ x \end{bmatrix}; \quad S^T S \cdot \Delta R = S^T \Delta U \quad \begin{bmatrix}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

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):

$$R_2 := 300$$

$$C_2 := 100 \cdot 10^{-6}$$

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:  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $C_3$  oraz  $C_4$ , w programie zapisane w wektorze  $R$ .

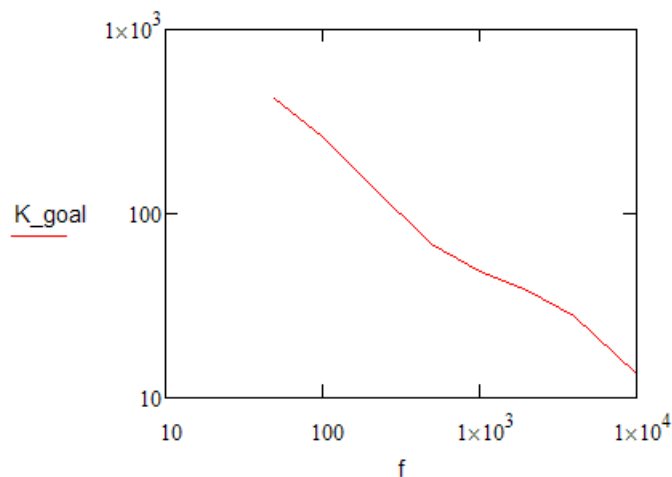
Czytanie danych z pliku:

$$K_f := \text{READPRN}(\text{"Goal\_function.TXT"}) \quad N_k := \text{rows}(K_f) \quad n_f := \frac{N_k}{2} \quad i := 1..n_f$$

$$f_i := K_{f_i} \quad K\_goal_i := K_{f_{i+n_f}}$$

$$f^T = (50 \quad 100 \quad 200 \quad 500 \quad 1 \times 10^3 \quad 2 \times 10^3 \quad 4 \times 10^3 \quad 1 \times 10^4)$$

Tak wygląda charakterystyka oparta na podanych częstotliwościach:



Zmienne elementu projektowanego układu będą nazywane kolejnymi indeksami  $R$ , w kolejności:  $R_3$ ,  $R_4$ ,  $C_3$ ,  $C_4$ . 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:

$$K_-(R, s) := \frac{\left( \frac{R_1 \frac{1}{s \cdot R_3} + R_2 \frac{1}{s \cdot R_4}}{R_1 + \frac{1}{s \cdot R_3}} + \frac{1}{s \cdot C_2} \right)}{R_2 + \frac{1}{s \cdot C_2}}$$

$N := \text{rows}(R) = 4$   
 $If := \text{rows}(f) = 8$   
 $K(R, f) := |K_-(R, 2\pi \cdot f \cdot i)|$

Obliczanie pochodnej względem elementu wektora

$$dK(R, n, f) := \begin{cases} R_1 \leftarrow R \\ d \leftarrow 0.001 \\ R_{1n} \leftarrow R_{1n} + d \cdot R_{1n} \\ dK \leftarrow \frac{K(R_{1n}, f) - K(R, f)}{d \cdot R_{1n}} \end{cases}$$

Parametry procesu iteracyjnego:

Współczynnik podrelaksacji  $\epsilon_0 := 0.01$

Krok początkowy:  $d := 0.1 \cdot R$

Liczba max iteracji:  $ItMax := 100$

```

N_R := for n ∈ 1..N
      N_Rn,1 ← Rn
      for it ∈ 1..ItMax
        ε ← ε0 · it
        for i ∈ 1..If
          ΔUi ← K(R, fi) - K_goali
          for n ∈ 1..N
            Si,n ← Rn · dK(R, n, fi)
          ΔR ← solve(S^T · S, S^T · ΔU)
          for n ∈ 1..N
            Rn ← Rn - ε · ΔRn · Rn
            N_Rn,it+1 ← Rn
            N_Rn+2,it+1 ← ΔRn
          Δ ← |ΔR|
          break if Δ < 10^-4
      N_R
  
```

Procedura Newtona-Raphsona dla zadania optymalizacji N elementów dla If częstotliwości  
 Współczynnik podrelaksacji  
 Odchyłki napięć dla częstotliwości f  
 Obliczanie wrażliwości przez różniczkowanie względem elementu wektora Rn.  
 Unormowanie przez pomnożenie razy Rn.  
 Rozwiązanie nadokreślonego układu równań metodą równań normalnych  
 Wprowadzenie poprawek R z podrelaksacją  
 Zapamiętanie w macierzy N\_R  
 Koniec, jeśli ostatnie poprawki odpowiednio małe

Liczba wykonanych iteracji:

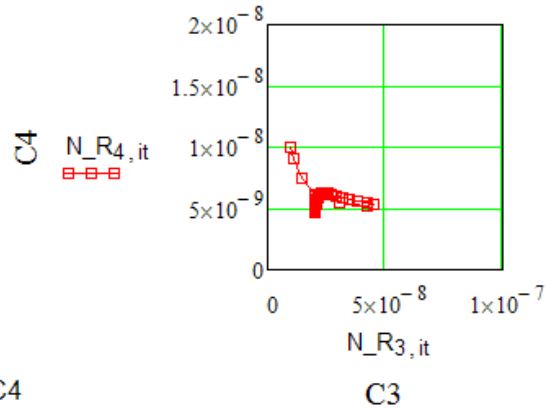
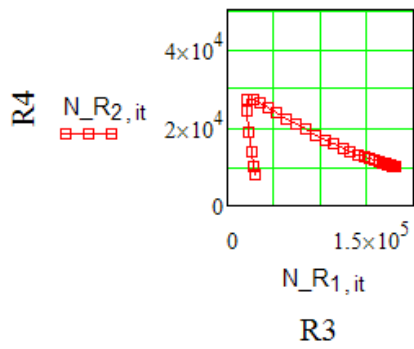
$It := \text{cols}(N\_R) \quad It = 44$

Wartości elementów:

$R3 := N\_R_{1,It} = 1.8 \times 10^5$        $R4 := N\_R_{2,It} = 1 \times 10^4$   
 $C3 := N\_R_{3,It} = 2 \times 10^{-8}$        $C4 := N\_R_{4,It} = 4.7 \times 10^{-9}$

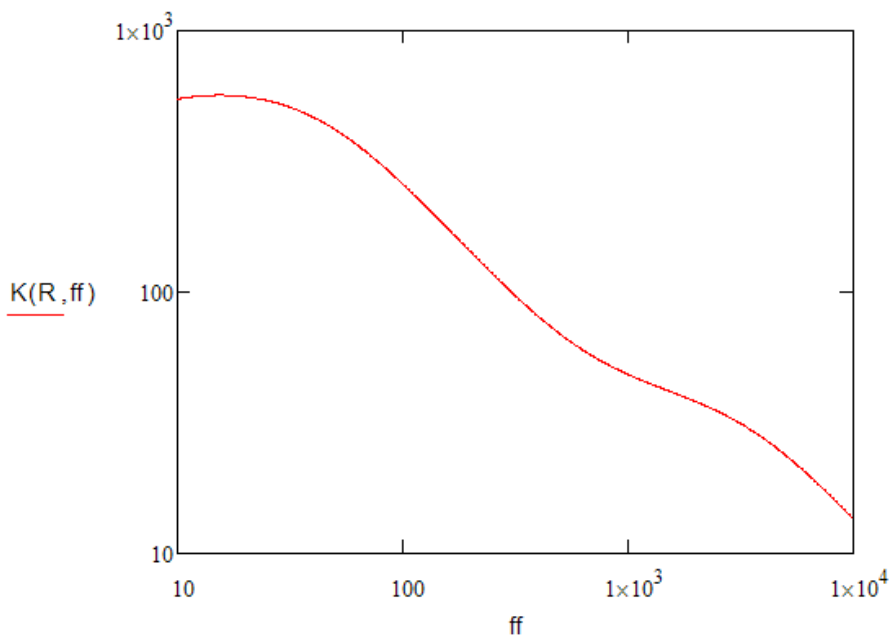
Wartości R3 i R4 w kolejnych iteracjach

Wartości C3 i C4 w kolejnych iteracjach



$R_1 := R_3$     $R_2 := R_4$     $R_3 := C_3$     $R_4 := C_4$

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
    
```