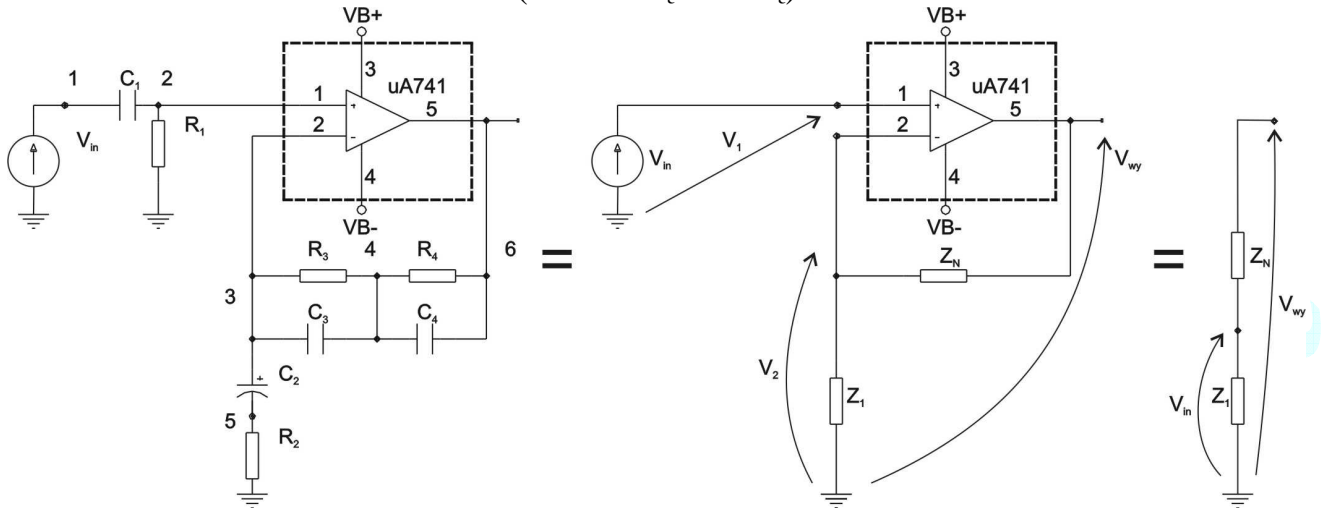
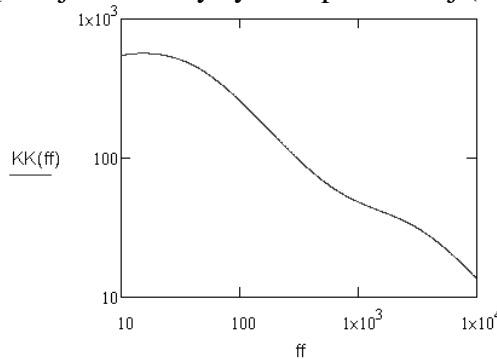


## ĆWICZENIE 11. PROJEKTOWANIE KOREKTORA CZĘSTOTLIWOŚCIOWEGO (NA OCENĘ DOBRĄ)



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:

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

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

Skonstruować algorytm optymalizacji oparty na metodzie **Newtona-Raphsona** z rozwiązaniem zadania nadokreślonego metodą **SVD** 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 metodą SVD (macierze  $U, V$  – ortonormalne,  $D$  – diagonalna).

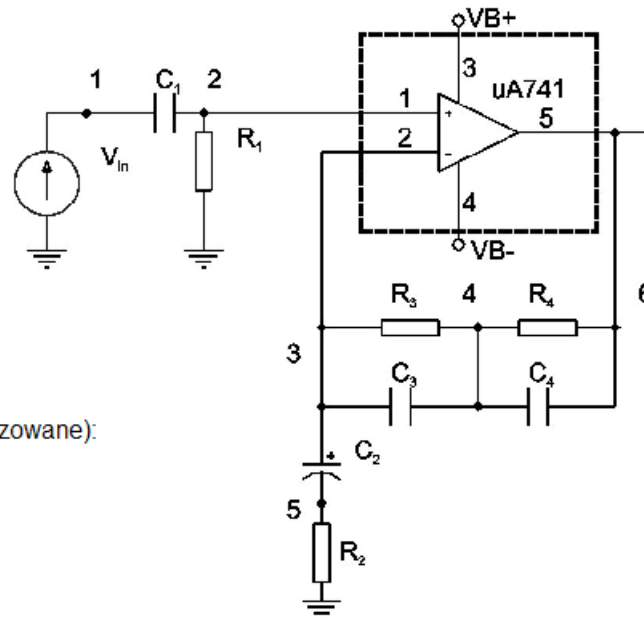
$$S \cdot \Delta R = \Delta U_0, \quad S = U \cdot D \cdot V^T, \quad U \cdot D \cdot V^T \cdot \Delta R = \Delta U_0, \quad D \cdot X = U^T \cdot \Delta U_0, \quad \Delta R = V \cdot X$$

Można regularyzować proces „obcinając” wektor pomocniczy  $X$ .

Origin := 1

## Metoda Newtona-Raphsona z regularyzacją SVD

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  $R$ .

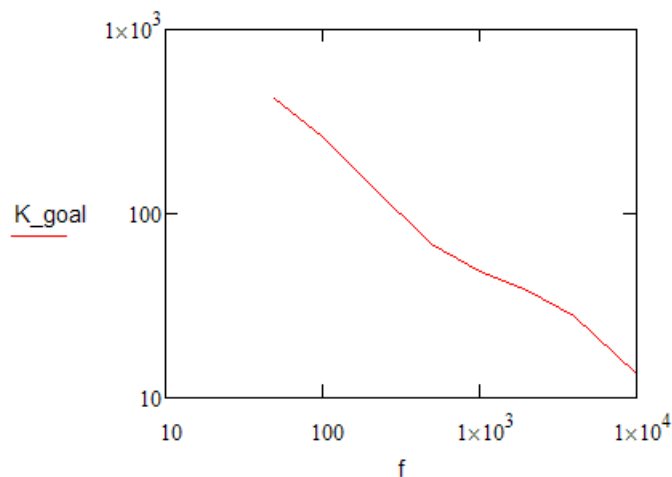
Czytanie danych z pliku:

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

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

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

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:

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

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

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:  
 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
        for i ∈ 1..lf
            ΔUi ← K(R, fi) - K_goali
            for n ∈ 1..N
                Si,n ← Rn · dK(R, n, fi)
            D ← diag(svds(S))
            U ← submatrix(svd(S), 1, lf, 1, N)
            V ← submatrix(svd(S), lf + 1, lf + N, 1, N)
            ΔX ← D-1 · UT · ΔU
            ΔXN ← 0 if it < 10
            ΔXN-1 ← 0 if (it < 6 ∧ N > 1)
            ΔXN-2 ← 0 if (it < 3 ∧ N > 2)
            ΔR ← V · ΔX
            for n ∈ 1..N
                Rn ← Rn - 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 lf częstotliwości  
 Odchyłki napięć dla częstotliwości f  
 Obliczanie wrażliwości przez różniczkowanie względem elementu wektora R<sub>n</sub>.  
 Unormowanie przez pomnożenie razy R<sub>n</sub>.  
 Rozwiązanie nadokreślonego układu równań metodą SVD  
 Rozwiązanie równania pomocniczego dla ΔX  
 Zmniejszenie rzędu macierzy dla początkowych iteracji  
 Wprowadzenie poprawek R bez podrelaksacji  
 Zapamiętanie w macierzy N\_R  
 Koniec, jeśli ostatnie poprawki odpowiednio małe

Liczba wykonanych iteracji:

Wartości elementów:

$lt := \text{cols}(N\_R)$      $lt = 15$

$R3 := N\_R1_{,lt} = 1.8 \times 10^5$

$R4 := N\_R2_{,lt} = 1 \times 10^4$

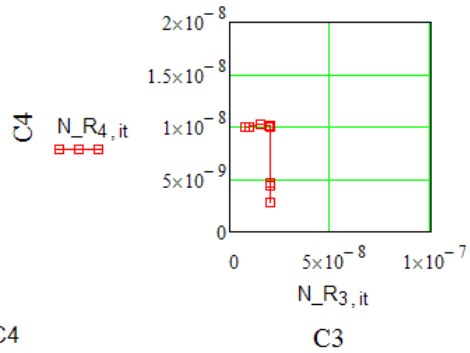
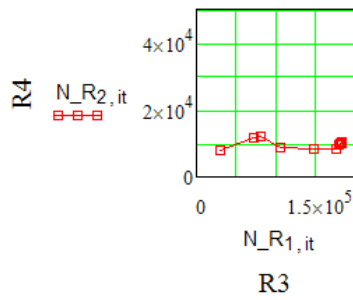
$C3 := N\_R3_{,lt} = 2 \times 10^{-8}$

$C4 := N\_R4_{,lt} = 4.7 \times 10^{-9}$

$it := 1..lt$

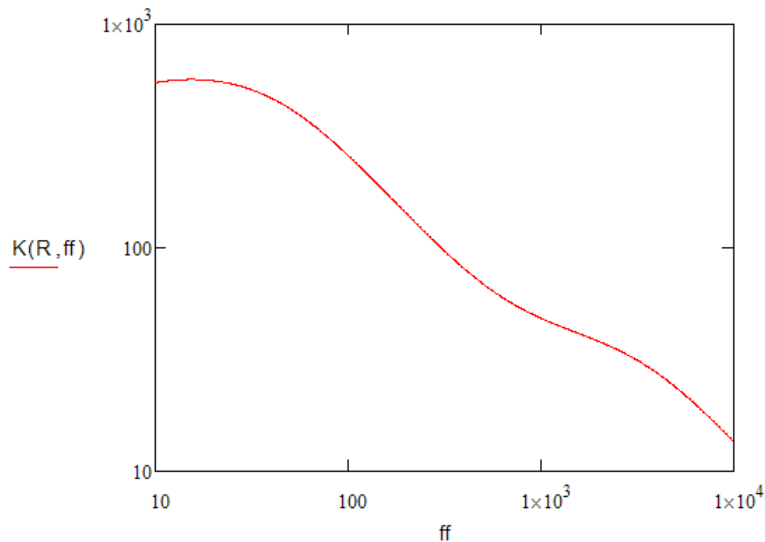
Wartości R3 i R4 w kolejnych iteracjach

Wartości C3 i C4 w kolejnych iteracjach



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

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