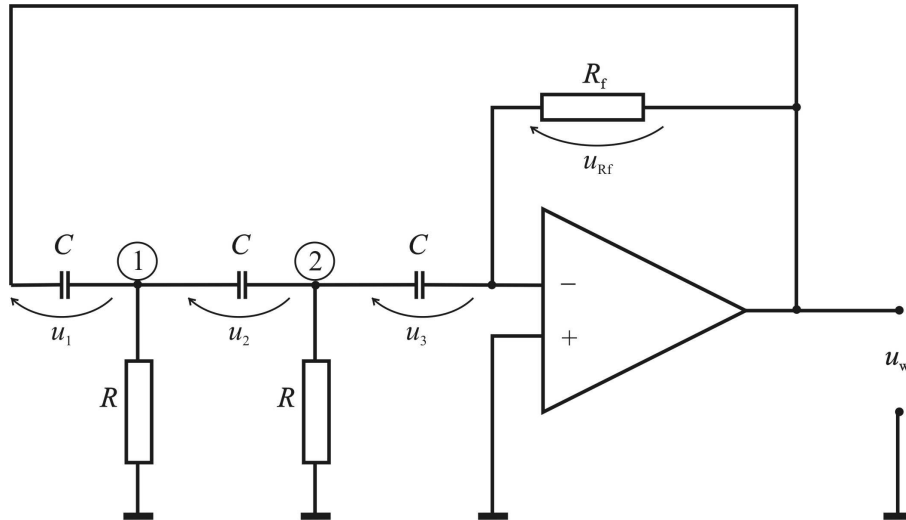


ĆWICZENIE 11. PROJEKTOWANIE GENERATORA RC ZE WZMACNIACZEM OPERACYJNYM

Układ generatora, bez napięć zasilających wzmacniacz operacyjny :



Równania opisujące pracę tego układu:

$$u_1 + u_2 + u_3 + R_f C \frac{du_3}{dt} = 0 \quad \leftarrow \text{II prawo Kirchhoffa}$$

$$\frac{u_3}{R} + C \frac{du_3}{dt} - C \frac{du_2}{dt} = 0 \quad \leftarrow \text{I prawo Kirchhoffa, węzeł 1}$$

$$\frac{u_2 + u_3}{R} + C \frac{du_2}{dt} - C \frac{du_1}{dt} = 0 \quad \leftarrow \text{I prawo Kirchhoffa, węzeł 2.}$$

Przekształcając otrzymujemy równania stanu:

$$\begin{bmatrix} \frac{du_1}{dt} \\ \frac{du_2}{dt} \\ \frac{du_3}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_f C} & \frac{1}{RC} - \frac{1}{R_f C} & \frac{1}{RC} - \frac{1}{R_f C} \\ -\frac{1}{R_f C} & -\frac{1}{R_f C} & \frac{1}{RC} - \frac{1}{R_f C} \\ -\frac{1}{R_f C} & -\frac{1}{R_f C} & -\frac{1}{R_f C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}, \quad \text{czyli: } \frac{d\mathbf{u}}{dt} = \mathbf{A}\mathbf{u}.$$

Dodatkowo, $u_{wy} = u_1 + u_2 + u_3$.

Jeżeli rozwiązaniem równań ma być funkcja harmoniczna o stałej amplitudzie, dwie wartości własne macierzy A powinny być czysto urojone. Trzecia wartość własna, rzeczywista, wprowadza jedynie czynnik tłumienia.

Wyznaczenie wartości własnych odbędzie się przy użyciu *Mathcada*.

Origin:= 1

$$R := 1000 \quad C := 0.1 \cdot 10^{-6}$$

Wartości elementów R, C

$$A(Rf) := \begin{pmatrix} \frac{-1}{Rf \cdot C} & \frac{1}{R \cdot C} - \frac{1}{Rf \cdot C} & \frac{1}{R \cdot C} - \frac{1}{Rf \cdot C} \\ \frac{-1}{Rf \cdot C} & \frac{-1}{Rf \cdot C} & \frac{1}{R \cdot C} - \frac{1}{Rf \cdot C} \\ \frac{-1}{Rf \cdot C} & \frac{-1}{Rf \cdot C} & \frac{-1}{Rf \cdot C} \end{pmatrix} \quad \text{Macierz } A$$

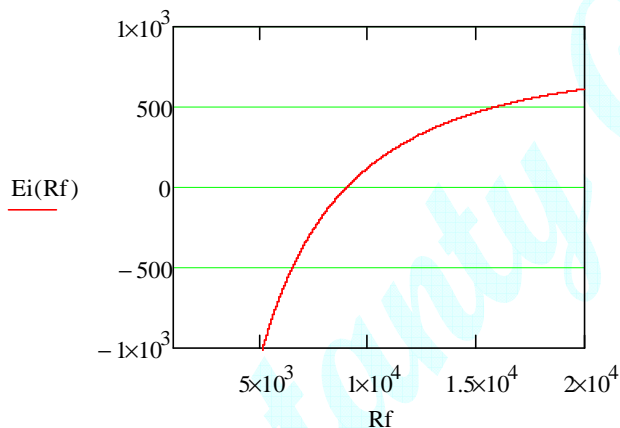
Wyznaczenie części rzeczywistej pierwszej wartości własnej i znalezienie zera

$$Ei(Rf) := \text{Re}(\text{eigenvals}(A(Rf)))_1$$

$$RR := \text{root}(Ei(Rf), Rf, 100, 10^6) = 9 \times 10^3$$

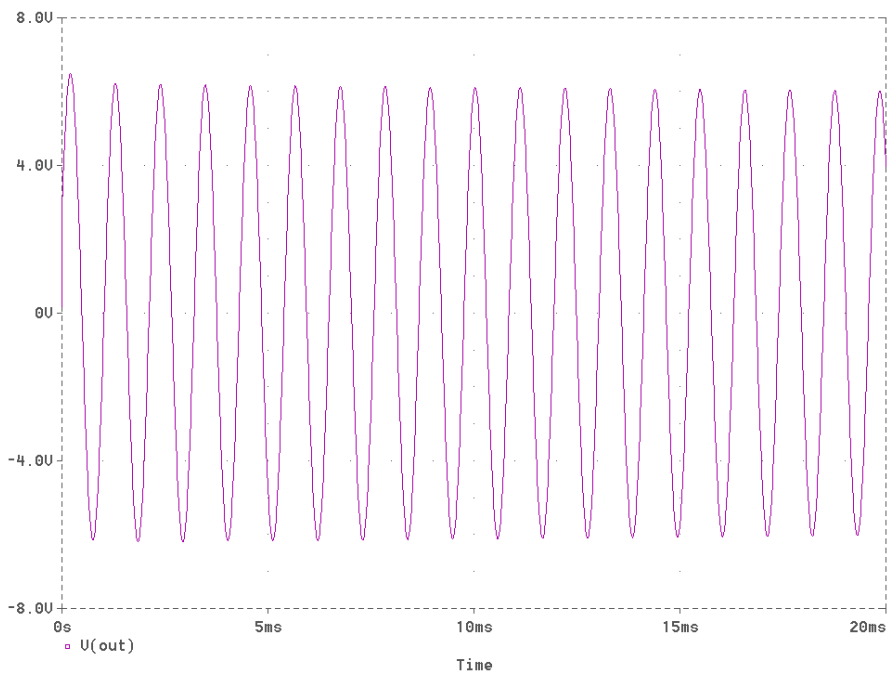
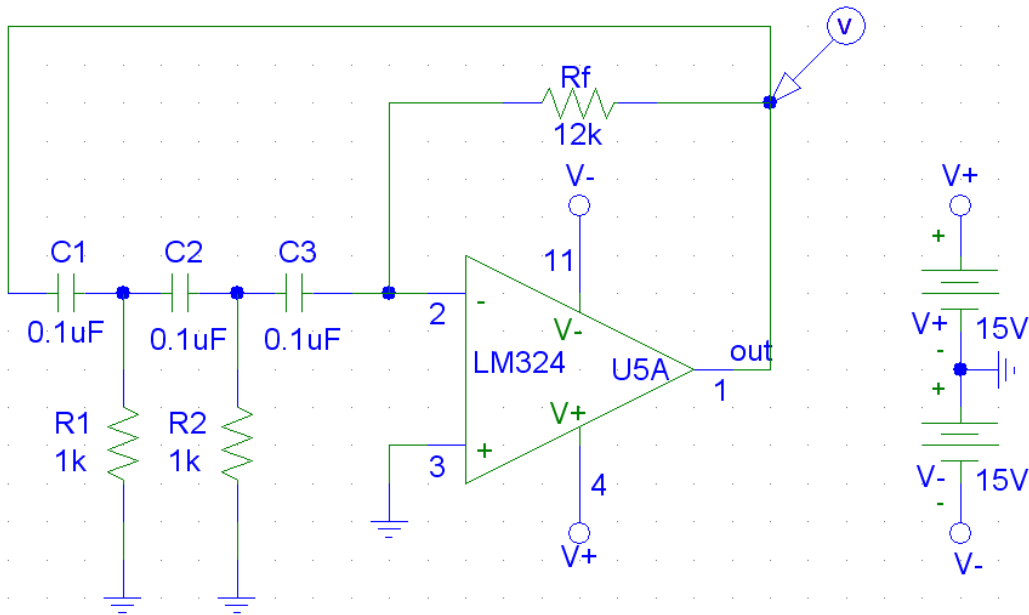
$$\text{eigenvals}(A(RR)) = \begin{pmatrix} 5.774i \times 10^3 \\ -5.774i \times 10^3 \\ -3.333 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$$Rf := 1000 .. 20000$$



Częstość drgań: $5774s^{-1}$
czyli: $f = 919.4[\text{Hz}]$

Symulacja układu za pomocą SPICE'a (rezystor $R_f=12k\Omega$):



TOTAL HARMONIC DISTORTION = 4.556154E-01 PERCENT

Innym sposobem wyznaczenia przebiegu jest użycie metody zmiennych stanu.
Rozwiązanie przy użyciu Mathcada.

$$\text{Origin} := 0 \quad \text{It} := 10000 \quad k := 0.. \text{It} \quad T := 0.01$$

$$R := 1000 \quad C := 0.1 \cdot 10^{-6} \quad R_f := 9 \times 10^3$$

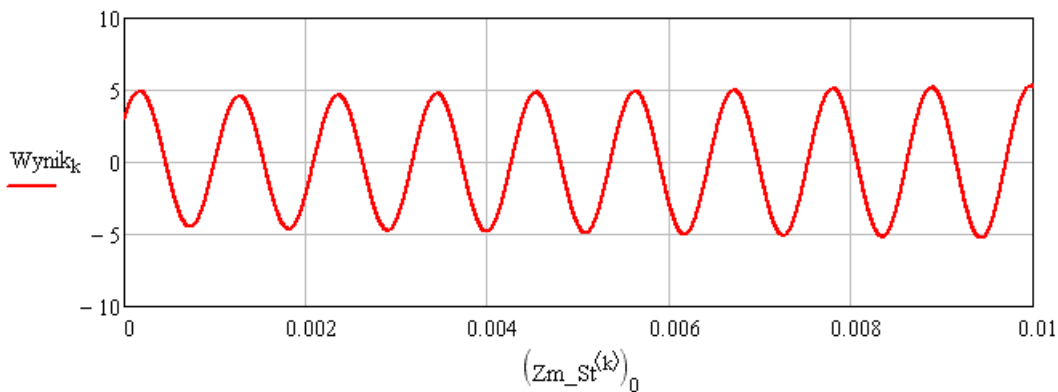
$$A := \begin{pmatrix} \frac{-1}{R_f \cdot C} & \frac{1}{R \cdot C} & \frac{1}{R_f \cdot C} & \frac{1}{R \cdot C} & \frac{1}{R_f \cdot C} \\ \frac{-1}{R_f \cdot C} & \frac{-1}{R_f \cdot C} & \frac{1}{R \cdot C} & \frac{1}{R_f \cdot C} & \\ \frac{-1}{R_f \cdot C} & \frac{-1}{R_f \cdot C} & \frac{-1}{R_f \cdot C} & & \end{pmatrix}$$

$$b^{(k)} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad x_{\text{init}} := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \Delta t := \frac{T}{\text{It}}$$

```
Zm_St := | N ← rank(A)
          | for n ∈ 0.. N - 1
          |   | xn,0 ← xinitn
          |   | Zm_Stn+1,0 ← xn,0
          | t0 ← 0
          | Zm_St0,0 ← 0
          | for it ∈ 0.. It
          |   | x<it+1> ← x<it> + (A · x<it> + b<it>) · Δt
          |   | tit+1 ← tit + Δt
          |   | Zm_St0,it+1 ← tit+1
          |   | for n ∈ 0.. N - 1
          |   |   | Zm_Stn+1,it+1 ← xn,it+1
          | Zm_St
```

$$\text{eigenvals}(A) = \begin{pmatrix} 5.774i \times 10^3 \\ -5.774i \times 10^3 \\ -3.333 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$$\text{Wynik}_k := (Zm_St^{(k)})_1 + (Zm_St^{(k)})_2 + (Zm_St^{(k)})_3$$



Napięcie wyjściowe generatora RC