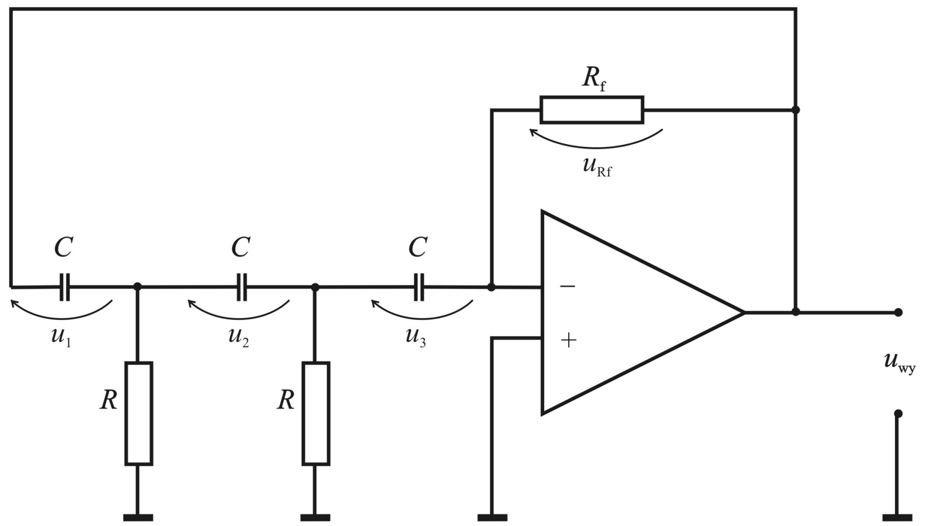
GENERATOR RC ZE WZMACNIACZEM OPERACYJNYM

Układ generatora, bez napięć zasilających wzmacniacz operacyjny :



Równania opisujące pracę tego układu:

$$u_1 + u_2 + u_3 + R_f C \frac{\mathrm{d}u_3}{\mathrm{d}t} = 0 \quad \leftarrow \text{ II prawo Kirchhoffa}$$

$$\frac{u_3}{R} + C\frac{\mathrm{d}u_3}{\mathrm{d}t} - C\frac{\mathrm{d}u_2}{\mathrm{d}t} = 0 \quad \leftarrow \text{ I prawo Kirchhoffa, węzeł 1}$$

$$\frac{u_2 + u_3}{R} + C\frac{\mathrm{d}u_2}{\mathrm{d}t} - C\frac{\mathrm{d}u_1}{\mathrm{d}t} = 0 \quad \leftarrow \text{ I prawo Kirchhoffa, węzeł 2.}$$

Przekształcając otrzymujemy równania stanu:

$$\begin{bmatrix} \frac{\mathrm{d}u_1}{\mathrm{d}t} \\ \frac{\mathrm{d}u_2}{\mathrm{d}t} \\ \frac{\mathrm{d}u_3}{\mathrm{d}t} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_f C} & \frac{1}{RC} - \frac{1}{R_f C} & \frac{1}{RC} - \frac{1}{R_f C} \\ -\frac{1}{R_f C} & -\frac{1}{R_f C} & \frac{1}{RC} - \frac{1}{R_f C} \\ -\frac{1}{R_f C} & -\frac{1}{R_f C} & -\frac{1}{R_f C} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{bmatrix}, \quad \text{czyli: } \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{u}}{\mathrm{d}t} = \boldsymbol{A}\boldsymbol{u}.$$

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.

$\text{Origin} := 1$

Wartości elementów *R*, *C*

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

Macierz ***A***

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

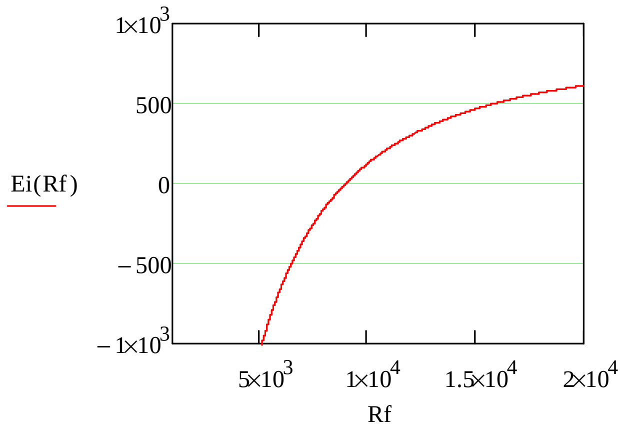
Wyznaczenie części rzeczywistej pierwszej wartości własnej i znalezienie zera

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

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

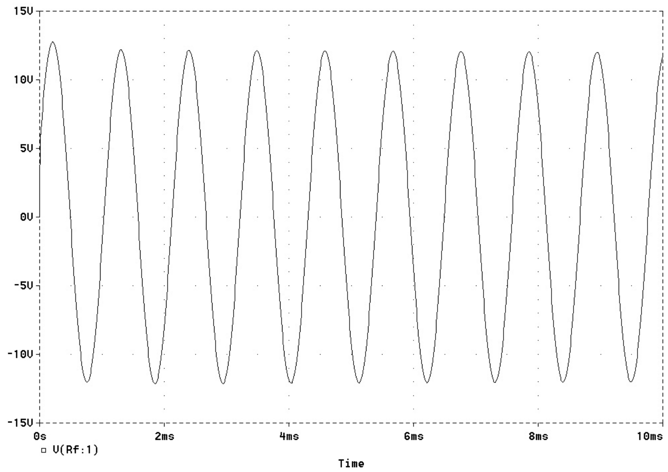
$$\text{eigenvals}(A(RR)) = \begin{pmatrix} 5.774i \times 10^3 \\ -5.774i \times 10^3 \\ -3.333 \times 10^3 \end{pmatrix}$$

$Rf := 1000 .. 20000$



Częstość drgań: $5774 s^{-1}$

Napięcie wyjściowe można otrzymać ze SPICEa:



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

$\text{Origin} := 0 \qquad It := 20000 \qquad k := 0 .. It \qquad T := 0.01$

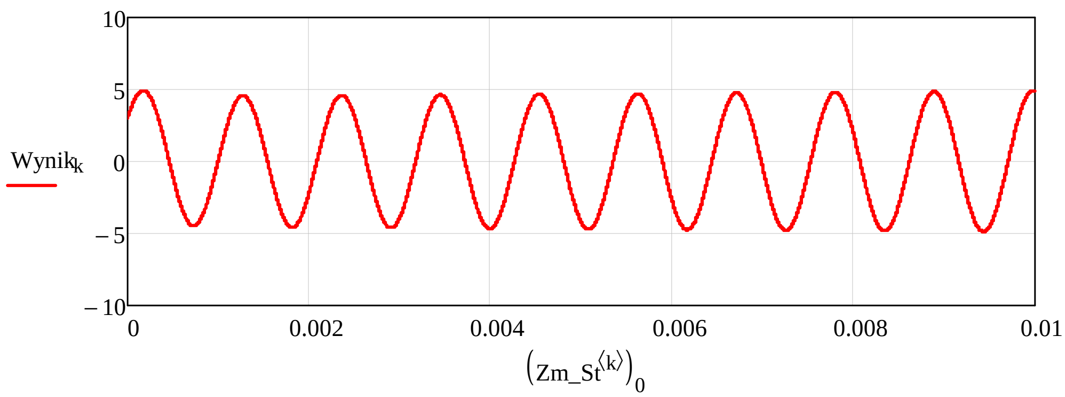
$R := 1000 \qquad C := 0.1 \cdot 10^{-6} \qquad Rf := 9 \times 10^{3}$

$$A := \begin{pmatrix} \frac{-1}{Rf \cdot C} & \frac{1}{R \cdot C} - \frac{1}{Rf \cdot C} & \frac{1}{R \cdot C} - \frac{1}{Rf \cdot C} \\ \frac{-1}{Rf \cdot C} & \frac{-1}{Rf \cdot C} & \frac{1}{R \cdot C} - \frac{1}{Rf \cdot C} \\ \frac{-1}{Rf \cdot C} & \frac{-1}{Rf \cdot C} & \frac{-1}{Rf \cdot C} \end{pmatrix} \qquad b^{\langle k \rangle} := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \qquad x\_init := \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \qquad \Delta t := \frac{T}{It}$$

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

```
Zm_St := | N ← rank(A)
         | for n ∈ 0..N − 1
         |   | x[n,0] ← x_init[n]
         |   | Zm_St[n+1,0] ← x[n,0]
         | t[0] ← 0
         | Zm_St[0,0] ← 0
         | for it ∈ 0..It
         |   | x<it+1> ← x<it> + (A·x<it> + b<it>)·Δt
         |   | t[it+1] ← t[it] + Δt
         |   | Zm_St[0,it+1] ← t[it+1]
         |   | for n ∈ 0..N − 1
         |   |   Zm_St[n+1,it+1] ← x[n,it+1]
         | Zm_St
```

$$Wynik_k := \left(Zm\_St^{\langle k \rangle}\right)_1 + \left(Zm\_St^{\langle k \rangle}\right)_2 + \left(Zm\_St^{\langle k \rangle}\right)_3$$



Napiêcie wyjœciowe generatora RC