

Klasa: 1eb **poniedziałek, lekcja 7,8**

Temat 1: Filtry elektryczne

Temat 2: Filtr dolnoprzepustowy

Dzień dobry

Tematy ostatnich lekcji dotyczyły generatorów sygnałów elektrycznych. Celem dzisiejszej lekcji jest poznanie filtrów, których zadaniem jest tłumienie poszczególnych często niepożądanych sygnałów elektrycznych.



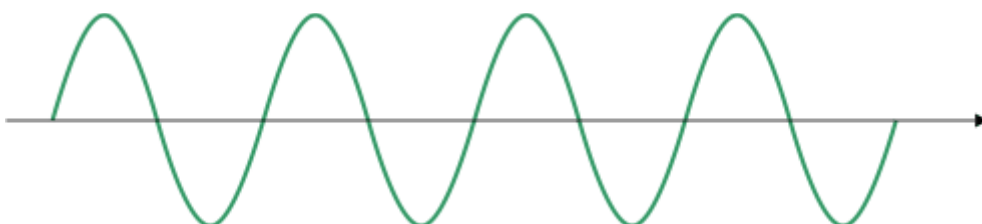
Filtr przeciwzakłóceńowy 230V

I. Filtr jest obwodem, który przepuszcza jedne częstotliwości sygnału, a tłumii inne:

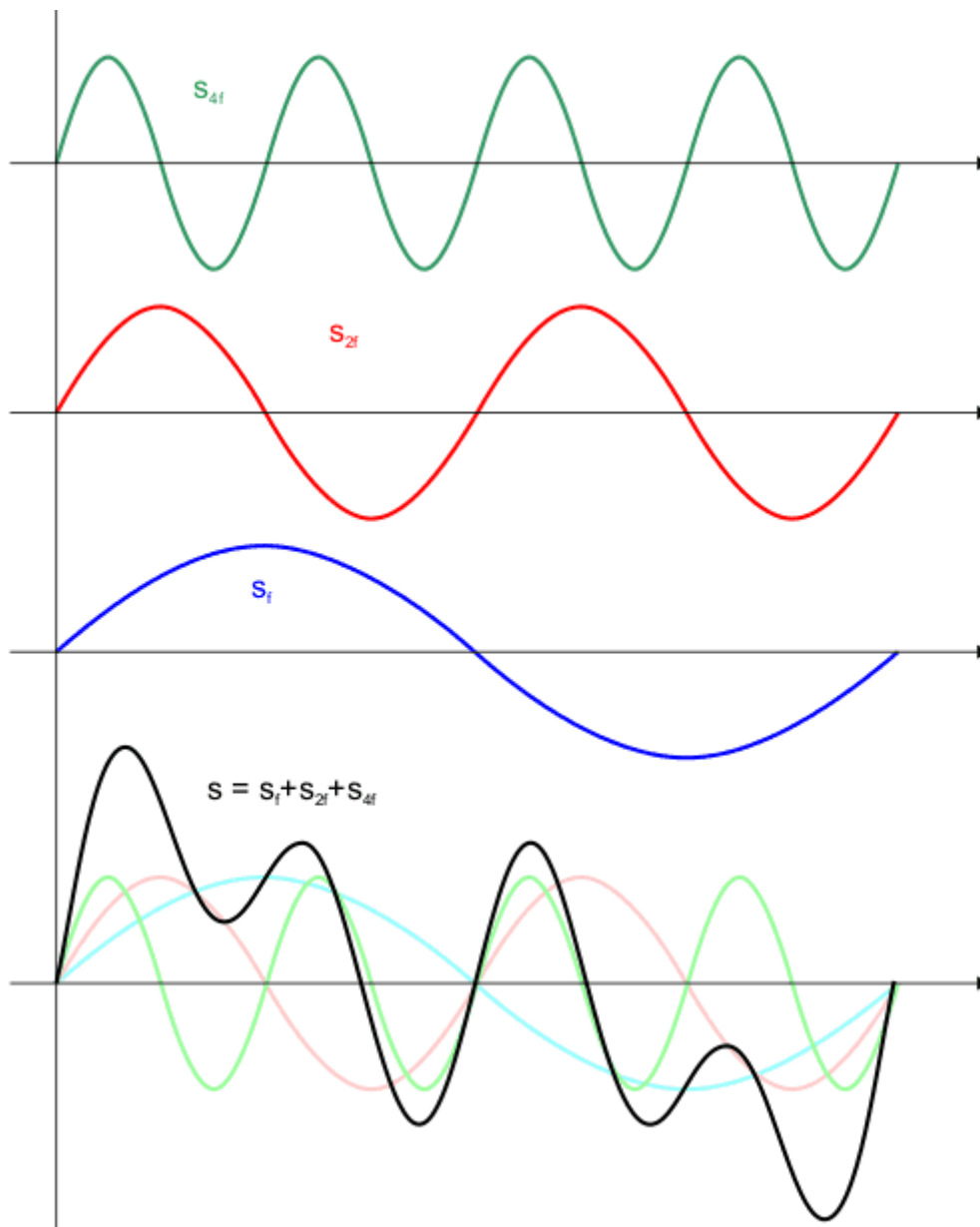


W ten sposób filtr może wydobyć z sygnału pożądane częstotliwości, a usunąć inne, których nie chcemy.

Sygnał sinusoidalny będziemy nazywali sygnałem prostym:



Sygnał złożony jest sumą sygnałów prostych. Załóżmy im mamy trzy sygnały proste kolejno o częstotliwościach f , $2f$ i $4f$. Sygnał będący ich sumą posiada następujący przebieg:



Sygnały sinusoidalne s_f , s_{2f} i s_{4f} nazywamy sygnałami składowymi sygnału s . Jeśli częstotliwości sygnałów składowych są wielokrotnościami częstotliwości podstawowej, to nazywamy te sygnały harmonicznymi:

Sygnał s_f jest pierwszą harmoniczną o częstotliwości f .

Sygnał s_{2f} jest drugą harmoniczną o częstotliwości $2f$.

Sygnał s_{4f} jest czwartą harmoniczną o częstotliwości $4f$.

Harmoniczne parzyste posiadają parzyste wielokrotności częstotliwości podstawowej: $2f$, $4f$, $6f$, ...

Harmoniczne nieparzyste posiadają nieparzyste wielokrotności częstotliwości podstawowej: $1f$, $3f$, $5f$, ...

Filtry pozwalają wzmacniać lub tłumić określone harmoniczne sygnału złożonego. Z tego powodu filtry dzielimy na kilka podstawowych rodzajów.

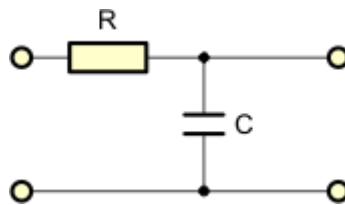
II. Filtr dolnoprzepustowy (ang. low-pass filter)



Filtr dolnoprzepustowy przepuszcza składowe o częstotliwościach niższych od częstotliwości granicznej (ang. cut-off frequency), a tłumi składowe o częstotliwościach powyżej częstotliwości granicznej.

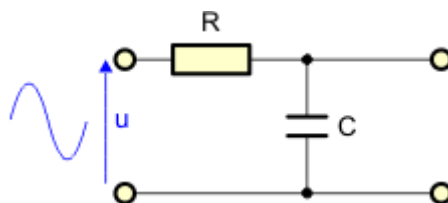
Dodatkowe materiały uzupełniające:

Rozważmy następujący obwód:



Składa się on z opornika R oraz z kondensatora C.

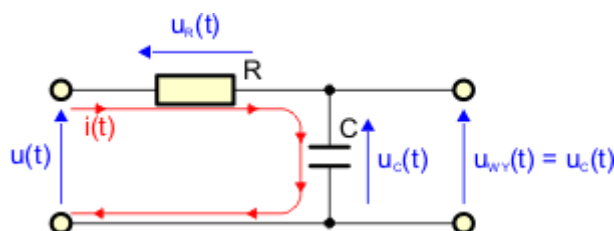
Przyłożmy do wejścia napięcie przemiennie, sinusoidalne (bez harmonicznych) o pewnej częstotliwości f:



Pod wpływem przyłożonego napięcia:

$$u(t) = U_{\max} \cdot \sin(2\pi ft)$$

w obwodzie popłynie prąd $i(t)$, który wywoła spadki napięć na oporniku $u_R(t)$ i na kondensatorze $u_C(t)$:



Napięcie wyjściowe jest równe napięciu na kondensatorze. Dla ułatwienia obliczeń założymy, iż z wyjścia nie jest pobierany żaden prąd.

W obwodzie prądu przemiennego kondensator posiada reaktancję pojemnościową, która jest odpowiednikiem oporności dla prądu stałego. Reaktancja kondensatora wyraża się wzorem:

$$X_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

X_c – reaktancja pojemnościowa kondensatora

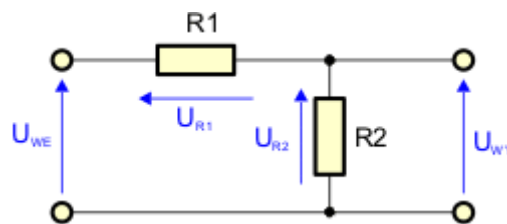
ω – pulsacja

C – pojemność kondensatora

f – częstotliwość napięcia/prądu

Zwróć uwagę, że reaktancja pojemnościowa zależy od częstotliwości napięcia zasilającego. Dla dużych częstotliwości reaktancja jest mała, przy małych częstotliwościach reaktancja jest duża. Kondensator wraz z opornikiem tworzą tutaj dzielnik napięcia. Przy dużej reaktancji (niska częstotliwość) napięcie na wyjściu jest wysokie, przy małej reaktancji (wysoka częstotliwość) napięcie wyjściowe jest niskie. Otrzymujemy **filtr dolnoprzepustowy** (ang. low-band filter).

Wykorzystując wzór dla oporowego dzielnika napięcia:



$$U_{R2} = U_{WY} = U_{WE} \cdot \frac{R2}{R}$$

$$R = R1 + R2$$

możemy przez analogię zapisać:

$$U_c = U_{WY} = U_{WE} \cdot \frac{X_c}{Z}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

$$U_{WY} = U_{WE} \cdot \frac{X_c}{\sqrt{R^2 + X_c^2}}$$

U_c – napięcie na kondensatorze

U_{WY} – napięcie na wyjściu filtra

U_{WE} – napięcie na wejściu filtra

- X_C – reaktancja pojemnościowa kondensatora
 Z – impedancja filtra
 R – oporność opornika

Przykład:

Obliczyć napięcie na wyjściu filtra dolnoprzepustowego w następujących warunkach:

$$R = 1\text{k}\Omega$$

$$C = 47\text{nF}$$

$U_{WE} = 5\text{V}$, sinusoidalne bez harmoniczných

$f = 100\text{Hz}; 1\text{kHz}, 1\text{MHz}$.

Obliczamy reaktancje pojemnościowe dla poszczególnych częstotliwości:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

$$X_{C100\text{Hz}} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 47 \cdot 10^{-9}} = 33862,75\Omega$$

$$X_{C1\text{kHz}} = \frac{1}{2\pi \cdot 1000 \cdot 47 \cdot 10^{-9}} = 3386,28\Omega$$

$$X_{C1\text{MHz}} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^6 \cdot 47 \cdot 10^{-9}} = 3,39\Omega$$

Obliczamy impedancje filtra dla poszczególnych częstotliwości:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

$$Z_{100\text{Hz}} = \sqrt{1000^2 + 33862,75^2} = 33877,52\Omega$$

$$Z_{1\text{kHz}} = \sqrt{1000^2 + 3386,28^2} = 3530,84\Omega$$

$$Z_{1\text{MHz}} = \sqrt{1000^2 + 3,39^2} = 1000,01\Omega$$

Obliczamy napięcia wyjściowe dla poszczególnych częstotliwości:

$$U_{WY} = U_{WE} \cdot \frac{X_C}{Z}$$

$$U_{WY100\text{Hz}} = 5 \cdot \frac{33862,75}{33877,52} = 4,998\text{V}$$

$$U_{WY1\text{kHz}} = 5 \cdot \frac{3386,28}{3530,84} = 4,795\text{V}$$

$$U_{WY1\text{MHz}} = 5 \cdot \frac{3,39}{1000,01} = 0,017\text{V}$$

Częstotliwość graniczna (ang. cut-off frequency)

Wzór:

$$U_{WY} = U_{WE} \cdot \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

Posłuży nam teraz do wykonania wykresu napięcia wyjściowego w funkcji częstotliwości. Parametry są następujące:

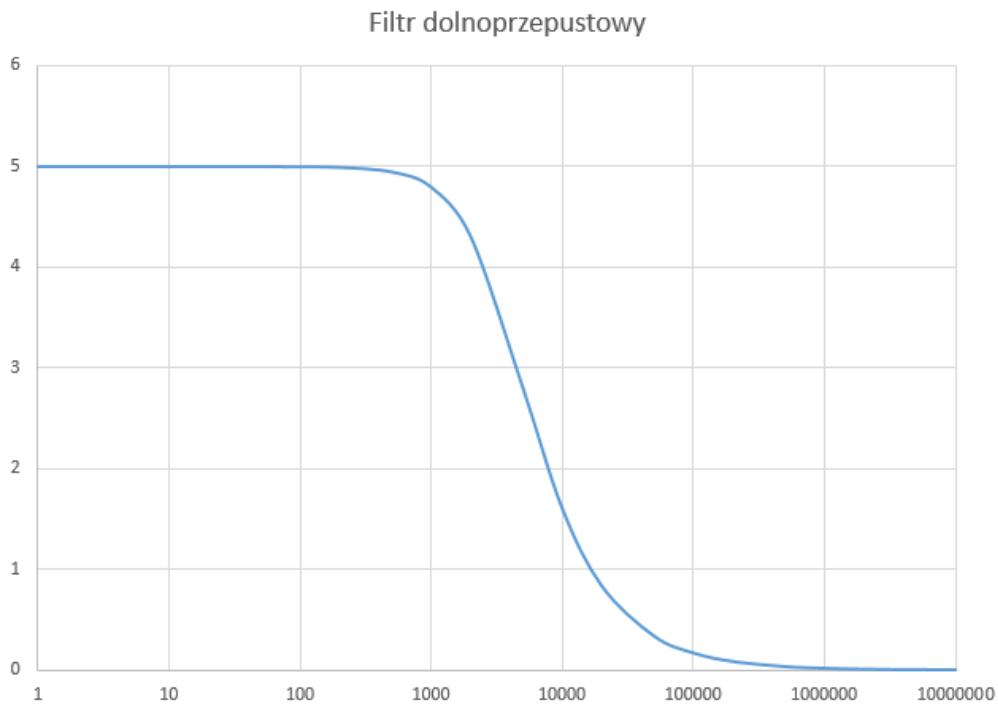
$$R = 1\text{k}\Omega$$

$$C = 47\text{nF}$$

$$U_{WE} = 5\text{V}$$

$$f = 1\text{Hz} \dots 10\text{MHz}$$

Wykres wykonamy w Excelu:



Za częstotliwość graniczną przyjmijmy częstotliwość, dla której wartość reaktancji pojemnościowej X_C jest równa oporności R :

$$f_g : X_C = R$$
$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$
$$\frac{1}{2\pi \cdot f_g \cdot C} = R$$
$$\frac{1}{f_g} = 2\pi \cdot R \cdot C$$
$$f_g = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$$

Dla powyższego przykładu częstotliwość graniczna wynosi:

$$f_g = \frac{1}{2\pi \cdot 1000 \cdot 47 \cdot 10^{-9}} = 3386,275\text{Hz}$$

Sygnaly o częstotliwościach niższych od f_g są przepuszczane przez filtr z niewielkim tłumieniem, sygnaly o częstotliwościach powyżej f_g są tłumione.

Źródło informacji: https://eduinf.waw.pl/inf/prg/009_kurs_avr/2013_c.php

Ciekawa strona: <https://meettechnik.info/additional/additive-synthesis.html>

Pozdrawiam

Zygfryd Kulig