Wstęp do ćwiczeń na pracowni elektronicznej

Katarzyna Grzelak

listopad 2018

Zajęcia na pracowni elektronicznej

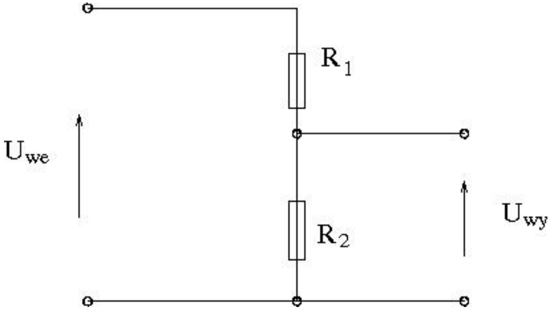
- Plan ostatniej części ćwiczeń:
  - wprowadzenie do LabView
  - wprowadzenie do obsługi generatora i oscyloskopu cyfrowego
  - zestawy do lutowania: płytka, kondensator i opornik
  - przeszkolenie BHP
  - samodzielne zlutowanie układu całkującego RC
  - połączenie układu z generatorem i oscyloskopem
  - wyznaczenie charakterystyki amplitudowej $U_{wy}(\omega)/U_{we}(\omega)$ i fazowej $\phi(\omega)$ obwodu
  - przygotowanie programu w LabView
  - pomiary sterowane komputerem dla układu zlutowanego na poprzednich zajęciach

OBWODY PRĄDÓW ZMIENNYCH

Podstawy teorii obwodów

- Pierwsze prawo Kirchhoffa: suma prądów wpływających do danego węzła obwodu jest równa sumie prądów wypływających z tego węzła
- Drugie prawo Kirchhoffa: suma napięć w zamkniętym obwodzie elektrycznym jest równa zeru

Dzielnik napięcia



$$U_{wy} = U_{we} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Obwód RLC

- $u(t)$ - Źródło sygnału sinusoidalnie zmiennego $u(t) = U_0 e^{i\omega t}$, gdzie U_0 to amplituda napięcia, a $\omega = 2\pi\nu$ to częstość kołowa
- $I(t) = I_0 e^{i\omega t}$
- Między U i I na ogół istnieje przesunięcie fazowe $\rightarrow U_0$ i I_0 mogą być liczbami zespolonymi

$$z = a + bi = |z| e^{i\phi} =$$

$$= |z|(\cos\phi + i \sin\phi)$$

$$|z| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\phi = arctg \frac{b}{a}$$

Obwód RLC

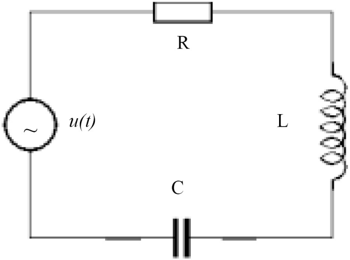
Napięcia na oporze R, indukcyjności L i pojemności C:

$$u_R(t) = RI(t)$$

$$u_L(t) = L\frac{dI(t)}{dt}$$

$$u_C(t) = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C}\int I(t)dt$$

Obwód RLC



- Z drugiego prawa Kirchhoffa:

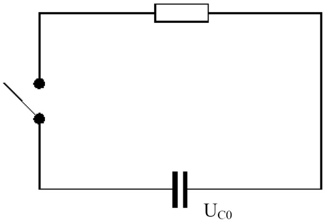
$$u(t) = RI(t) + L\frac{dI(t)}{dt} + \frac{1}{C}\int I(t)dt$$

- Dla sygnałów sinusoidalnie zmiennych:

$$\frac{U_0}{I_0} = Z = R + i\omega L + \frac{1}{i\omega C}$$

- Impedancja obwodu Z jest wielkością zespoloną
- Łączenia impedancji w sposób szeregowy i równoległy są analogiczne jak dla rezystancji R

Obwód RC



- Kondensator naładowany wstępnie do napięcia U_{C0}
- Z drugiego prawa Kirchhoffa:

$$I(t)R + \frac{Q(t)}{C} = 0$$

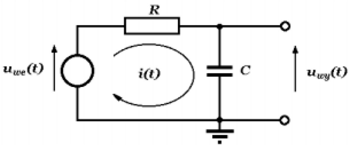
$$\frac{dQ}{dt}R + \frac{Q(t)}{C} = 0$$

$$\frac{dQ}{Q} = -\frac{dt}{RC}$$

$$\ln(Q) = -\frac{1}{RC}(t + t_0)$$

$$Q(t) = Ae^{-\frac{t}{RC}}$$

Obwód RC $\rightarrow$ obwód całkujący



- $U_C(0)$ - początkowe napięcie na kondensatorze
- $u_{wy}(t)$ - napięcie na pojemności

$$u_{wy}(t) = \frac{1}{C}\int I(t)dt + U_C(0)$$

$$I(t) = \frac{u_{we}(t) - u_{wy}(t)}{R}$$

$$u_{wy}(t) = \frac{1}{RC}\int (u_{we}(t) - u_{wy}(t))dt + U_C(0)$$

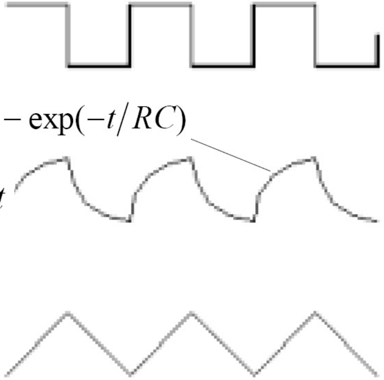
Obwód RC $\rightarrow$ obwód całkujący

$u_{we}(t)$

$$u_{WY}(t) = \frac{1}{RC}\int (u_{WE}(t) - u_{WY}(t))dt$$

dla $u_{WY} << u_{WE}$,

$$u_{WY}(t) \approx \int u_{WE}(t)dt$$



Obwód RC $\rightarrow$ filtr dolnoprzepustowy

- Napięcie wejściowe

$$u_{we}(t) = U_{we} e^{i\omega t}$$

- Napięcie wyjściowe

$$u_{wy}(t) = U_{wy} e^{i\omega t+\phi}$$

- Stosunek napięć

$$\frac{u_{wy}(t)}{u_{we}(t)} = \frac{\frac{1}{i\omega C}}{\frac{1}{i\omega C} + R}$$

- Stosunek amplitud

$$\frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{1}{\sqrt{\omega^2 R^2 C^2 + 1}}$$

- Przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałem wyjściowym i wejściowym

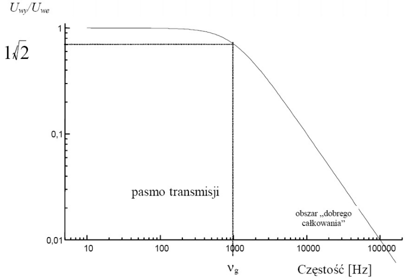
$$\phi = arctg(-\omega RC)$$

Obwód RC $\rightarrow$ filtr dolnoprzepustowy

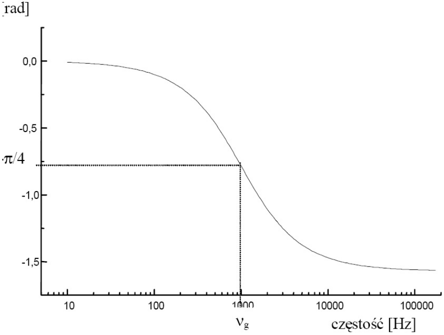
Częstość graniczna: ω_g

Dla ω_g $\frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ i $\phi = \frac{\pi}{4}$

$$2\pi\nu_g = \omega_g = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC}$$

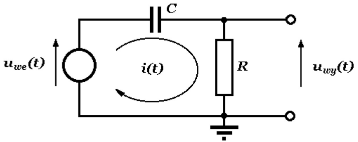


Charakterystyka amplitudowa



Charakterystyka fazowa

Obwód RC → obwód różniczkujący



- $u_{wy}(t) = RI(t)$ - napięcie na oporze
- Prąd płynący przez kondensator

$$I(t) = \frac{dQ}{dt} = C\frac{d}{dt}(u_{we}(t) - u_{wy}(t))$$

$$u_{wy}(t) = RC\frac{d}{dt}(u_{we}(t) - u_{wy}(t))$$

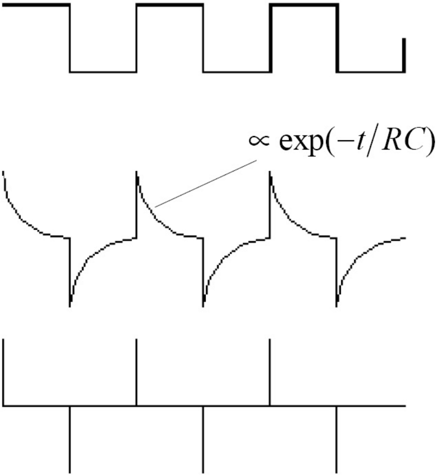
Obwód RC → obwód różniczkujący

$$u_{WE}(t)$$

$$u_{WY}(t) = RC\frac{d}{dt}(u_{WE}(t) - u_{WY}(t))$$

dla $u_{WY} << u_{WE}$

$$u_{WY}(t) \approx \frac{d}{dt} u_{WE}(t)$$



Obwód RC $\rightarrow$ filtr górnoprzepustowy

- Napięcie wejściowe

$$u_{we}(t) = U_{we}e^{i\omega t}$$

- Napięcie wyjściowe

$$u_{wy}(t) = U_{wy}e^{i\omega t+\phi}$$

- Stosunek napięć

$$\frac{u_{wy}(t)}{u_{we}(t)} = \frac{R}{\frac{1}{i\omega C} + R}$$

- Stosunek amplitud

$$\frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{\omega RC}{\sqrt{\omega^2 R^2 C^2 + 1}}$$

- Przesunięcie fazowe pomiędzy sygnałem wyjściowym i wejściowym

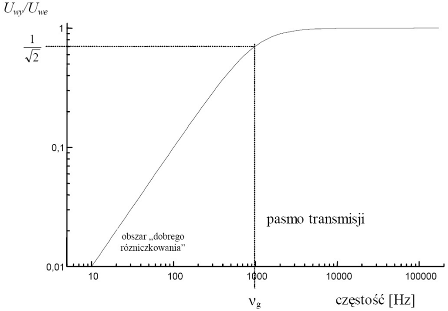
$$\phi = arctg(\frac{1}{\omega RC})$$

Obwód RC → filtr górnoprzepustowy

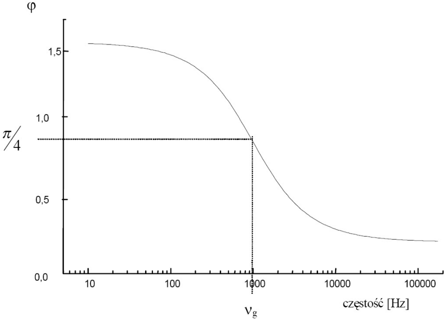
Częstość graniczna: ω_g

Dla ω_g $\frac{U_{wy}}{U_{we}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ i $\phi = \frac{\pi}{4}$

$$2\pi\nu_g = \omega_g = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{RC}$$



Charakterystyka amplitudowa



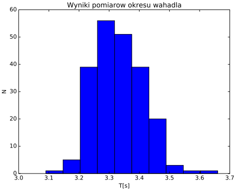
Charakterystyka fazowa

Rachunek błędu - elementarz

- Każdy wynik pomiaru jest obarczony niepewnością (błędem).
- Niepewności doświadczalne, które można ocenić przez wielokrotne powtarzanie pomiaru to błędy przypadkowe(losowe,statystyczne)
- Błędy systematyczne powodują systematyczne przesunięcie zmierzonej wartości w stosunku do wartości prawdziwej.

Błędy przypadkowe (statystyczne)

- X - wartość prawdziwa, $e = x - X$ to błąd, N - liczba pomiarów
- Powtarzając wiele razy pomiar tej samej wielkości i robiąc histogram z kolejnych wyników pomiarów, dostaniemy rozkład mierzonej wielkości: najczęściej będzie to krzywa dzwonowa (rozkład normalny, Gaussa)
- Przykład, dane z pracowni:



- Im większe niepewności pomiarowe tym rozkład będzie szerszy
- Im więcej pomiarów, tym bardziej rozkład powinien przypominać krzywą dzwonową

Błędy przypadkowe (statystyczne)

- Najlepsze przybliżenie wartości prawdziwej X to średnia ze wszystkich pomiarów: $\overline{x} = \frac{1}{N}\sum x_i$
  - Miara niepewności pomiarowej to dyspersja: Błąd pojedynczego pomiaru:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{x})^2}{N-1}}$$

  - Błąd wartości średniej:

$$\sigma_{\overline{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{x})^2}{N(N-1)}}$$

- Co oznacza zapis $g = 9,82 \pm 0,02 m/s^2$?

Rachunek błędu - elementarz

- Co oznacza zapis $g = 9,82 \pm 0,02 m/s^2$?
- Odp: Zmierzona wartość przyspieszenia ziemskiego wynosi $9,82 m/s^2$. Prawdziwa wartość z pewnym dużym prawdopodobieństwem znajduje się w przedziale (9,82 - 0.02, 9,82 + 0,02)
- Przyjęto zapisywać wynik pomiaru w postaci: (*wynik* $\pm \sigma$)

Rachunek błędu - elementarz

- Rozkład normalny - rozkład Gaussa:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sigma} e^{-(x-\overline{x})^2/2\sigma^2}$$

- Jaka część wyników leży w zakresie między $(-x, x)$:

$$\phi(x) = \int_{-x}^{x} f(y)dy$$

  - Dla $x = \sigma$, $\phi(y) = 0,683$
  - Dla $x = 2\sigma$, $\phi(y) = 0,954$
  - Dla $x = 3\sigma$, $\phi(y) = 0,9973$

Jak zapisujemy wyniki pomiaru cd

- Niepewności pomiarowe zapisuje się z dokładnością do 1-2 cyfr znaczących
  Przykład:
  $m_{e_1} = 0.5101 \pm 0.0002 \ \mathrm{MeV/c^2}$
  Wynik podany w postaci $m_{e_1} = 0.51013 \pm 0.0002456753 \ \mathrm{MeV/c^2}$ nie ma sensu
- Przy zapisywaniu wyniku z błedem, najpierw obliczamy niepewność pomiarową, a potem zapisujemy wynik z taką samą liczbą cyfr po przecinku jak błąd.
  Przykład:
  $m_{e_1} = 0.5101 \pm 0.0002 \ \mathrm{MeV/c^2}$

Rachunek błędu - elementarz

- Bez oceny niepewności pomiarowych nie można wyciągnąc z eksperymentu żadnego wniosku
  Przykład:
  masa elektronu (tablicowa) jest znana z następującą dokładnością:
  $m_e = 0.510998910 \pm 0.000000013\ \mathrm{MeV/c^2}$
  Mamy dwa pomiary masy elektronu: $m_{e_1} = 0.5101\ \mathrm{MeV/c^2}$ i $m_{e_2} = 0.5325\ \mathrm{MeV/c^2}$ Który jest zgodny z wynikiem tablicowym ?

Rachunek błędu - elementarz

- Bez oceny niepewności pomiarowych nie można wyciągnąc z eksperymentu żadnego wniosku
  Przykład:
  masa elektronu (tablicowa) jest znana z następującą dokładnością:
  $m_e = 0.510998910 \pm 0.000000013\ \mathrm{MeV/c^2}$
  Mamy dwa pomiary masy elektronu: $m_{e_1} = 0.5101\ \mathrm{MeV/c^2}$ i $m_{e_2} = 0.5325\ \mathrm{MeV/c^2}$ Który jest zgodny z wynikiem tablicowym ?

Rachunek błędu - elementarz

- Bez oceny niepewności pomiarowych nie można wyciągnąc z eksperymentu żadnego wniosku
  Przykład:
  masa elektronu (tablicowa) jest znana z następującą dokładnością:
  $m_e = 0.510998910 \pm 0.000000013 \ \mathrm{MeV/c^2}$
  Mamy dwa pomiary masy elektronu: $m_{e_1} = 0.5101 \ \mathrm{MeV/c^2}$ i $m_{e_2} = 0.5325 \ \mathrm{MeV/c^2}$ Który jest zgodny z wynikiem tablicowym ?
  Odp: Nie wiadomo, jeśli nie znamy niepewności pomiarowych .
  Jeśli $m_{e_1} = 0.5101 \pm 0.0002 \ \mathrm{MeV/c^2}$ i $m_{e_2} = 0.532 \pm 0.054 \ \mathrm{MeV/c^2}$ to m_{e_2} jest zgodny z m_e, a m_{e_1} nie !

- Bład złożonej wielkości:
  Wyniki pomiarów: $(y_i \pm \sigma_i)$, $i = 1, n$. Chcemy wyznaczyć błąd wielkości złożonej $Y(y_1, y_2 \ldots)$

  $$\sigma_Y^2 = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial Y}{\partial y_i} \right)^2 \sigma_{y_i}^2$$

  gdzie np. $\frac{\partial Y}{\partial y_1}$ to pochodna cząstkowa funkcji Y po zmiennej y_1 (przy założeniu, że pozostałe wielkości y_i są stałe.)

Ważne elementy pomiaru:

- w miarę możliwości sprawdzanie poprawności poszczególnych fragmentów układu
- zapisywanie na bieżąco wszystkiego co zostało zrobione, warunków w jakich pomiar jest przeprowadzany (np. temperatura, ustawienia skali na urządzeniu pomiarowym, typ urządzenia pomiarowego . . .)
- zrobienie szkicu (zdjęcia) układu
- zapisywanie od razu *na czysto*
- zapisywanie bezpośrednich pomiarów, a nie wielkości złożonych
- przewidywanie, jakie mogą być źródła systematycznych niepewności pomiarowych i ewentualne dodatkowe pomiary w celu ich wyznaczenia
- co najmniej podwójny pomiar każdej wielkości