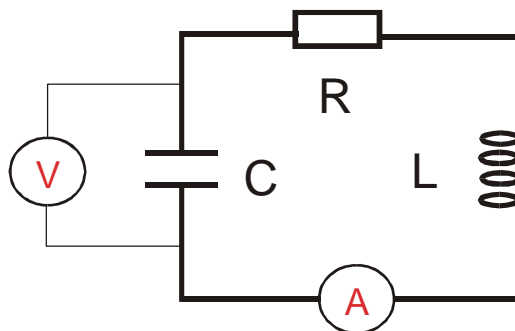


## Badanie układu RLC

Program: **Coach 6**  
 Projekt: **CMA Coach Projects\**  
**PTSN Coach 6\ Elektronika\RLC.cma**  
 Przykłady: RLC.cmr, RLC1.cmr,  
 Model RLC, Model RLC2,  
 Model RLC3



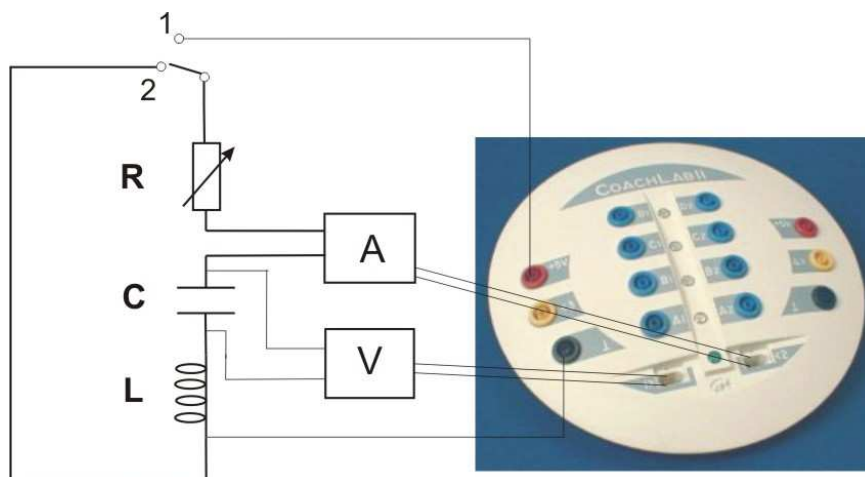
### Cel ćwiczenia:

- I. Obserwacja zmian napięcia na kondensatorze i natężenia prądu w układzie RLC.
- II. Porównanie opisu teoretycznego z wynikami eksperymentalnymi - Modelowanie.

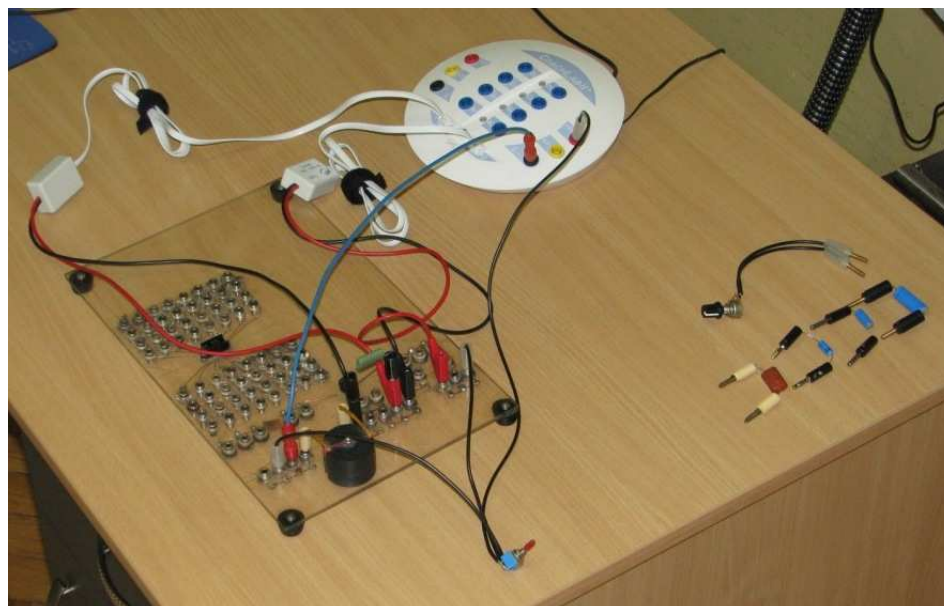
### Propozycje tematów:

- I.
  - układ LC - wprowadzenie,
  - obserwacja czasowej zależności napięcia na kondensatorze  $U(t)$ ,
  - obserwacja przesunięcia fazy zmian napięcia na kondensatorze i prądu płynącego w układzie ( $\Delta\Phi \approx \pi/2$ ).
  - zależność  $U(t)$  od pojemności kondensatora,
  - wprowadzenie wzoru  $T=2\pi \sqrt{LC}$
  - pomiar okresu drgań i wyznaczenie indukcyjności cewki  $L$ .
- II.
  - układ RLC - obserwacja tłumienia drgań, rola oporu omowego, wyznaczenie oporu omowego układu  $R$ ,
  - opis teoretyczny zachowania się układu RLC,
  - porównanie opisu teoretycznego z wynikami eksperymentalnymi - MODELOWANIE.

## Układ pomiarowy:



Układ elektroniczny zbudowany jest z kondensatora  $C=10\ \mu\text{F}$  ( $1\ \mu\text{F}$ ,  $2\ \mu\text{F}$ ,  $47\ \mu\text{F}$ ,  $470\ \mu\text{F}$ ), cewki indukcyjnej  $L=30\ \text{mH}$  i ewentualnie opornika (potencjometr  $R=500\ \Omega$ ). Do oporu omowego przyczynki, oprócz opornika, wnoszą również wszystkie pozostałe elementy układu, a zwłaszcza drut cewki indukcyjnej. Napięcie z kondensatora mierzone jest przez czujnik napięcia 0210i CMA i podawane na wejście 1 konsoli pomiarowej. Natężeniu prądu elektrycznego mierzone jest przez czujnik 0222i CMA i podawane na wejście 2 konsoli pomiarowej. Kondensator ładowany jest napięciem 5V z konsoli pomiarowej (pozycja 1 przełącznika). W pozycji 2 przełącznika źródło napięcia jest odłączone, a obwód zamknięty tak, że kondensator może się rozładowywać poprzez cewkę indukcyjną. Obserwujemy zmiany napięcia na kondensatorze i natężenia prądu elektrycznego płynącego w układzie.



### Ustawienia parametrów pomiaru:

czas pomiaru  $30\ \text{ms}$   
częstotliwość próbkowania  $20/\text{ms}$   
Trigger settings: wejście 3, Down, 4.5 V.

## Pomiary:

Pomiar zależności od czasu

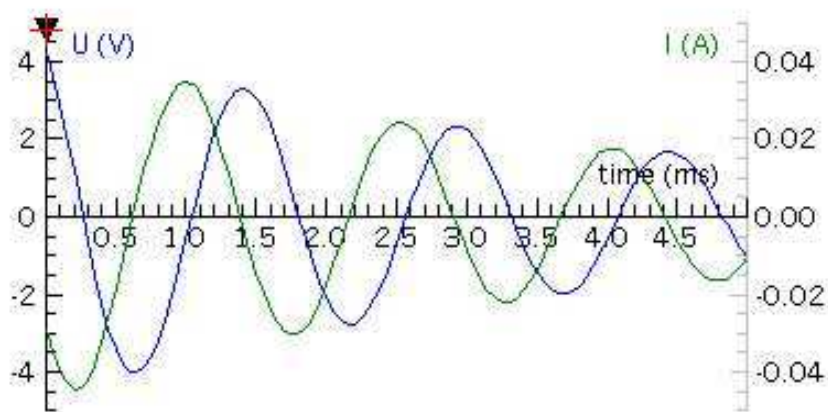
- napięcia na kondensatorze  $U(t)$ ,
  - natężenia prądu  $I(t)$
- dla różnych kondensatorów.

Ustawić przełącznik w pozycji ładowania kondensatora (pozycja 1). Rejestracja rozpoczyna się automatycznie, kiedy napięcie na kondensatorze spada poniżej 4.5 V. Wystarczy włączyć pomiar (zielony klawisz) i przełączyć przełącznik ładowania kondensatora do pozycji 2.

Wyniki można zapamiętać (w celu porównania z następnymi pomiarami) poprzez kopiowanie kolumn ("copy column").

## Wyniki:

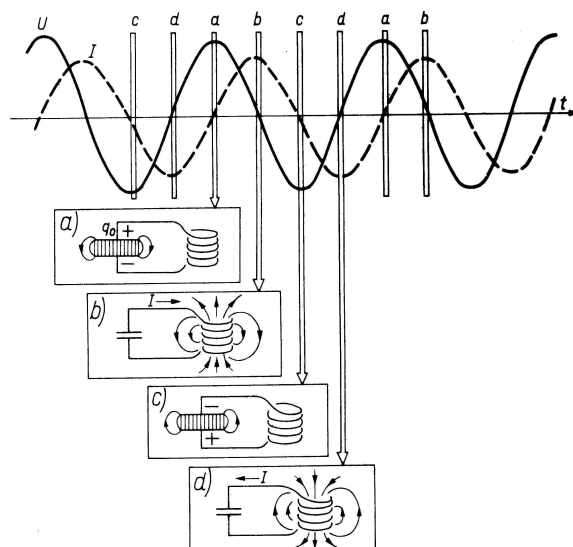
Porównanie zależności czasowych napięcia na kondensatorze i natężenia prądu elektrycznego dla  $C=2\ \mu\text{F}$  i  $L=30\ \text{mH}$

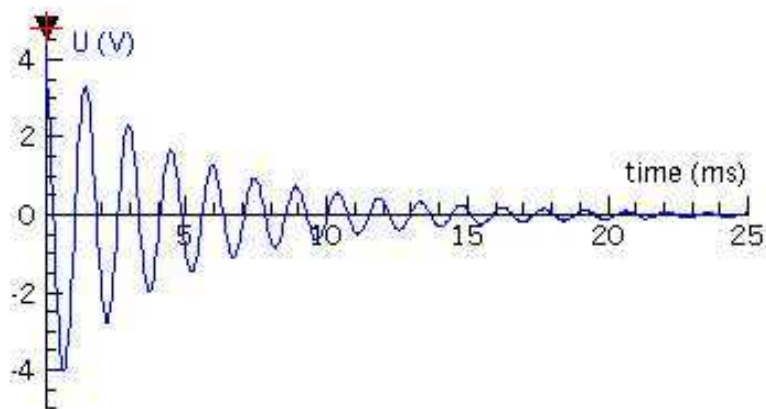


Spostrzeżenia:

- Kondensator rozładowuje się, a następnie ładuje w przeciwnym kierunku - napięcie na kondensatorze zmienia się sinusoidalnie. Mamy do czynienia ze zmianami harmonicznymi napięcia na kondensatorze.
- Natężenie prądu płynącego w układzie wykonuje również drgania harmoniczne.
- Maksimum napięcia na kondensatorze odpowiada zerowe natężenie prądu elektrycznego - zmiany napięcia na kondensatorze i natężenia prądu elektrycznego są względem siebie przesunięte w fazie o  $\pi/2$ .

Związek obserwowanych zmian  $U(t)$  i  $I(t)$  ze stanami układu LC wyjaśnia rysunek.

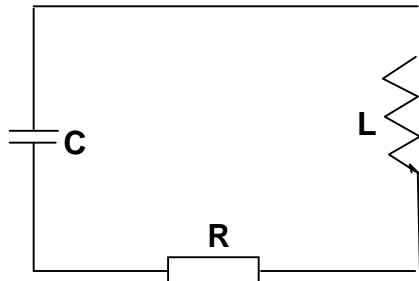




Obserwacja drgań w dłuższym przedziale czasu pokazuje, że są one tłumione - amplituda drgań maleje eksponencjalnie w funkcji czasu. Wykorzystując potencjometr można pokazać, że to opór omowy odpowiedzialny jest za tłumienie drgań i decyduje jak szybko drgania są tłumione. Dla dużych oporów oscylacje zanikają, obserwujemy tłumienie krytyczne, a następnie silne.

Analiza szybkości zmian amplitudy drgań pozwala wyznaczyć opór omowy układu.

### Matematyczny opis działania układu RLC



Zgodnie z II prawem Kirchhoffa  $\sum U_i = 0$  więc

$$\frac{Q}{C} + L \frac{dI}{dt} + IR = 0$$

Ponieważ  $I = \frac{dQ}{dt}$

$$\frac{Q}{C} + L \frac{d^2Q}{dt^2} + R \frac{dQ}{dt} = 0$$

To równanie jest analogiczne do równania

$$\frac{d^2Q}{dt^2} + 2 \frac{R}{2L} \frac{dQ}{dt} + \frac{Q}{LC} = 0$$

oscylatora harmonicznego

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2\beta \frac{dy}{dt} + \omega^2 y = 0$$

z rozwiązaniem (dla słabego tłumienia  $\beta < \omega$ )

$$y = A_0 e^{-\beta t} \cos(\omega_1 t + \varphi)$$

$$\omega_1 = \sqrt{\omega^2 - \beta^2}$$

Dla układu RLC  $\beta = \frac{R}{2L}$ , a  $\varpi = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

więc zależność napięcia na kondensatorze od czasu można opisać wzorem

$$U(t) = \frac{Q(t)}{C} = U_0 e^{-\beta t} \cos(\varpi_1 t + \varphi), \quad \text{gdzie } U_0 = \frac{Q_0}{C},$$

a zależność natężenia prądu elektrycznego od czasu wzorem

$$I(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = -U_0 C e^{-\beta t} [\beta \cos(\varpi_1 t + \varphi) + \varpi_1 \sin(\varpi_1 t + \varphi)]$$

### Modelowanie:

Opis teoretyczny można porównać z wynikami eksperymentalnymi korzystając z opcji **Modelowanie**.

*Modelowanie* jest dostępne jedynie, gdy podczas tworzenia ćwiczenia wybrano opcję *Bez konsoli*. Wyniki generowane przez modele można porównać z zapisanymi wcześniej wynikami pomiarów, zarejestrowanymi w ćwiczeniu z dostępną konsolą pomiarową. Zapamiętane wyniki można wczytać jako "tło" tworzonego wykresu (Import background graph). Można również importować całą tabelę wyników. W pustym oknie należy wybrać: Display Table/Import Table/Coach Result/\_\_\_\_.cmr (wybrać wyniki). Przy wykorzystaniu opcji "Create/Edit diagram" należy wybrać, które z wyliczanych przez model wielkości mają być prezentowane na wykresie i ustawić parametry wykresu. W aktywnym ćwiczeniu można otworzyć (zamknąć) okno modelu naciskając ikonę „Model Window”.

Model jest uruchamiany po naciśnięciu zielonego przycisku. Obliczenia są wykonywane zadaną liczbę razy (Options/Model settings). Opcja *Monitor* ułatwia znalezienie ewentualnych błędów w modelu. Opcja *Symulacja* ułatwia obserwację zmian wywołanych modyfikacją wartości początkowych parametrów modelu.

Przykłady modeli opisujących zmiany napięcia na kondensatorze i natężenia prądu elektrycznego w układzie RLC są przedstawione w ćwiczeniach Model RLC, Model RLC2, Model RLC3.

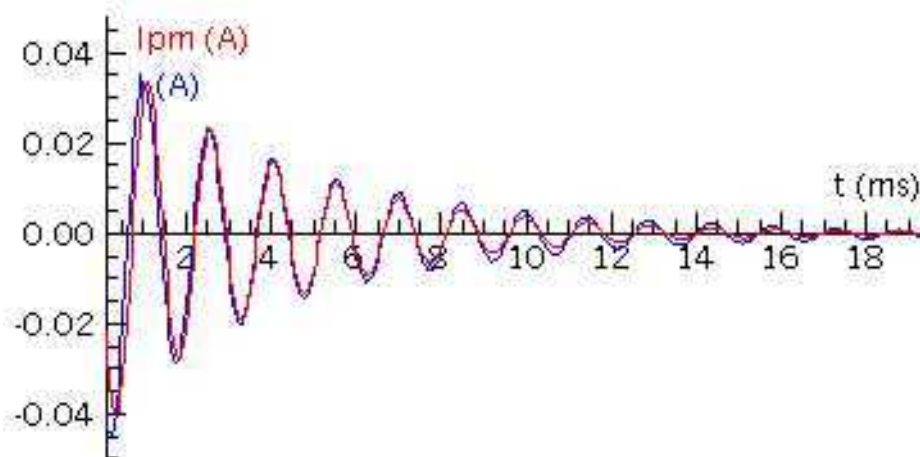
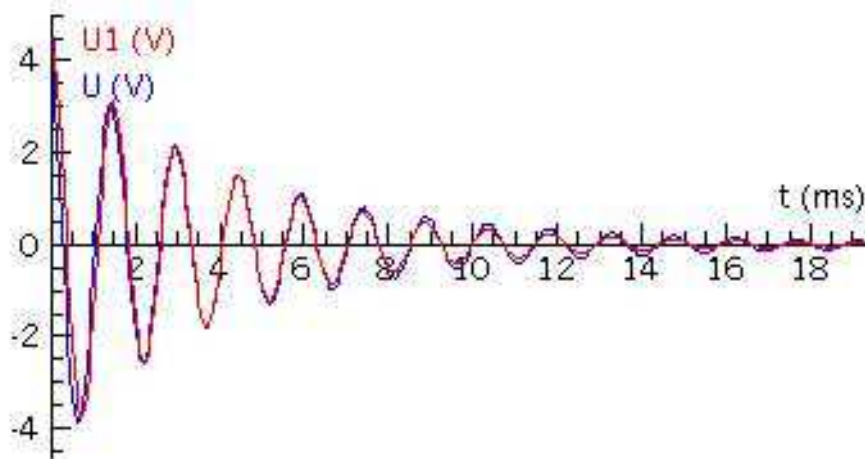
## Model RLC2

```

G M
'Obwod RLC model
t:=x*1000.0 'czas w [ms]
U1:=U0*exp(-b*x)*Cos(w1*x+fi)
Ipm:=-Q0*exp(-b*x)*(b*Cos(w1*x+fi)+w1*Sin(w1*x+fi))
x:=x+dx
t=0.0 'ms (początek czasu)
x:=t/1000 's
dx=0.00005's krok
U0=4.5'V napiecie poczatkowe
r=12.0'oma opor
l=24.0E-3'H indukcyjnosc
c=0.00230E-3'F pojemnosc
Q0=0.0'C
b:=r/(2*l)
w:=1/sqrt(l*c)
w1:=sqrt(w*w-b*b)
fi:=0.0

```

W zaprezentowanym modelu napięcie na kondensatorze oznaczono przez  $U_1$ , natężenie przez  $I_{pm}$ , czas wyrażony w sekundach przez  $x$ , a w ms przez  $t$ . Wygenerowane zależności napięcia  $U_1(t)$  oraz natężenia prądu  $I_{pm}(t)$  (kolor czerwony) przedstawiono na wykresach na tle wyników eksperymentalnych (kolor niebieski).



Zastosowany opis matematyczny dobrze odzwierciedla rzeczywiste zmiany czasowe napięcia i natężenia w układzie RLC.