

Uniwersytet Warszawski
Wydział Fizyki

Marysia Nazarczuk

Nr albumu: 417755

BIERNE ELEMENTY
ELEKTRONICZNE

Streszczenie

W ramach zajęć laboratoryjnych zbadano wybrane parametry biernych elementów elektronicznych – rezystorów i kondensatorów. Zbudowano układ do rozładowywania kondensatora przez woltomierz i oscyloskop oraz szeregowy filtr RLC. Na podstawie danych zebranych podczas pomiarów wyznaczone zostały kolejno: opór woltomierza $(10.24 \pm 0.11) \text{ M}\Omega$, opór oscyloskopu $(1.11 \pm 0.05) \text{ M}\Omega$ oraz indukcyjność $(12.51 \pm 0.21) \cdot 10^{-4} \text{ H}$ i opór pasożytniczy $(137.2 \pm 35.3) \Omega$ cewki. Przyjęty model w pełni przewidywał zachowanie układów i w dużym stopniu zgadzał się z wynikami obserwacji.

Warszawa, Listopad 2024

Spis treści

1. Wstęp teoretyczny	5
1.1 Rezystor	5
1.2 Kondensator	5
2. Bezpośrednie pomiary oporu i pojemności	7
2.1 Cel doświadczenia	7
2.2 Przygotowanie do pomiaru	7
2.3 Wyniki pomiarów	8
2.4 Omówienie wyników pomiarów	8
2.5 Wnioski	8
3. Rozładowanie kondensatora przez woltomierz i przez oscyloskop	9
3.1 Model teoretyczny	9
3.2 Doświadczenie z użyciem woltomierza	9
3.2.1 Układ doświadczalny	9
3.2.2 Przeprowadzenie doświadczenia	9
3.2.3 Analiza pomiarów	9
3.2.4 Wnioski	11
3.3 Doświadczenie z użyciem oscyloskopu	11
3.3.1 Układ doświadczalny	11
3.3.2 Przeprowadzenie doświadczenia	12
3.3.3 Analiza pomiarów	12
3.3.4 Wnioski	13
3.4 Podsumowanie	13
4. Filtr RLC	15
4.1 Model teoretyczny	15
4.2 Układ doświadczalny	15
4.3 Przeprowadzenie doświadczenia	16
4.4 Analiza pomiarów	16
4.5 Wnioski	17
5. Drgania w układzie RLC	19
5.1 Model teoretyczny	19
5.2 Układ doświadczalny	19
5.3 Przeprowadzenie doświadczenia	19
5.4 Analiza pomiarów	20
5.5 Wnioski	20
6. Podsumowanie	21
7. Dodatek	23
Bibliografia	25

1. Wstęp teoretyczny

W niniejszym raporcie omówiono bierne elementy elektroniczne, takie jak rezystory oraz kondensatory, które pełnią istotną rolę w projektowaniu i funkcjonowaniu różnorodnych układów elektronicznych.

1.1. Rezystor

Rezystor (lub opornik) to jeden z najczęściej stosowanych elementów elektronicznych, pełniący funkcję ograniczania przepływu prądu w obwodzie. Zgodnie z prawem Ohma, wartość prądu I przepływającego przez rezystor jest proporcjonalna do napięcia U między jego końcami:

$$R = \frac{U}{I}$$

Rezystancja to podstawowy parametr rezystora, określający jego opór elektryczny. Rezystory można także charakteryzować parametrami takimi jak: moc znamionowa, tolerancja rezystancji, współczynnik temperaturowy, poziom szumów, a także ich rozmiary i forma obudowy.

Rezystory produkowane są w szerokim zakresie rezystancji od $0,0002 \Omega$ do $10^{12} \Omega$, mocy od $1/8 \text{ W}$ do 250 W oraz dokładności od $0,005\%$ do 20% . Oporniki mogą być wykonane techniką warstwy węglowej, metalowej lub tlenkowej. Występują w dwóch podstawowych rodzajach obudów: cylindrycznych z wyprowadzeniami osiowymi oraz chipowych przeznaczonych do montażu powierzchniowego. Na rysunku 1.1 znajduje się symbol rezystora używany w schematach obwodów elektrycznych.



Rysunek 1.1: Symbol rezystora (według standardu europejskiego).

1.2. Kondensator

Kondensator to element elektroniczny przechowujący energię w postaci pola elektrycznego. W kondensatorze o pojemności C , naładowanym do napięcia U , zgromadzony ładunek Q wynosi:

$$Q = CU$$

gdzie C to pojemność, Q to ładunek na jednej okładce, a U to napięcie elektryczne między okładkami. Pojemność kondensatora zależy od jego kształtu (płaski, walcowy, kulisty) i wymiarów fizycznych.

Najprostszy kondensator można opisać jako układ dwóch metalowych okładek oddzielonych cienką warstwą materiału izolacyjnego, tzw. dielektryka. Pojemność takiego kondensatora, np. płaskiego, jest proporcjonalna do powierzchni okładek A i odwrotnie proporcjonalna do odległości między nimi d , co można wyrazić wzorem:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d}$$

gdzie ε to przenikalność elektryczna materiału dielektrycznego, A to powierzchnia okładki, a d to odległość między okładkami.

Ze względu na różnorodność konstrukcyjną, kondensatory dzieli się na kilka typów, w tym:

- elektrolityczne (aluminiowe, tantalowe),

- foliowe,
- ceramiczne,
- powietrzne,
- strojeniowe.

Każdy z tych typów kondensatorów wykazuje różne właściwości użytkowe, co pozwala na dobór odpowiedniego elementu w zależności od potrzeb aplikacyjnych. Pierwszymi kondensatorami w historii były tak zwane butelki lejdejskie. Na rysunku 1.2 znajduje się symbol kondensatora używany w schematach obwodów elektrycznych.



Rysunek 1.2: Symbol kondensatora.

2. Bezpośrednie pomiary oporu i pojemności

2.1. Cel doświadczenia

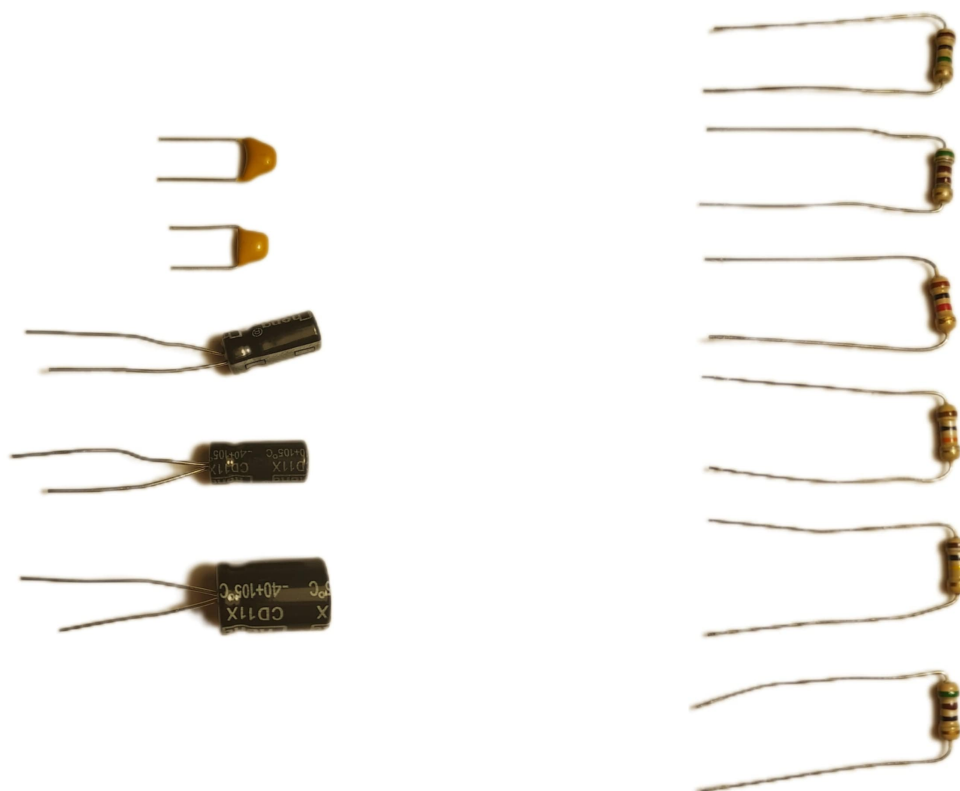
Celem pierwszej części zadania było zmierzenie wartości rezystancji rezystorów oraz pojemności kondensatorów znajdujących się w zestawie do ćwiczeń. Otrzymane wartości porównano z nominalnymi wartościami podanymi przez producenta, co pozwala ocenić ich zgodność oraz potencjalne różnice wynikające z tolerancji.

2.2. Przygotowanie do pomiaru

Do pomiarów użyto miernika uniwersalnego oraz elementów pasywnych takich jak rezystory i kondensatory. Wartości nominalne elementów wynosiły:

- **Rezystory:** 51 Ω , 510 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω , 100 k Ω oraz 1 M Ω ,
- **Kondensatory:** 1 nF, 100 nF, 1 μ F, 10 μ F oraz 100 μ F.

Rysunek 2.1 przedstawia zdjęcia użytych kondensatorów i rezystorów.



Rysunek 2.1: Zdjęcia kondensatorów (po lewej) i rezystorów (po prawej) użytych w doświadczeniu.

2.3. Wyniki pomiarów

Tabela 2.1 przedstawia wyniki pomiarów rezystancji, natomiast tabela 2.2 zawiera wyniki pomiarów pojemności kondensatorów, wraz z obliczonymi rozbieżnościami względem wartości nominalnych.

Element	Pomiar	Rozbieżność
51 Ω	51.5 Ω	0.98%
510 Ω	500.6 Ω	-1.84%
1 k Ω	0.990 k Ω	-1.00%
10 k Ω	9.96 k Ω	-0.40%
100 k Ω	99.7 k Ω	-0.30%
1 M Ω	0.999 M Ω	-0.10%

Tabela 2.1: Pomiary rezystancji rezystorów.

Element	Pomiar	Rozbieżność
1 nF	0.946 nF	-5.40%
100 nF	95.1 nF	-4.90%
1 μ F	0.963 μ F	-3.70%
10 μ F	10.004 μ F	+0.04%
100 μ F	85.7 μ F	-14.30%

Tabela 2.2: Pomiary pojemności kondensatorów.

2.4. Omówienie wyników pomiarów

Pomiary wykazują różnice między wartościami zmierzonymi a nominalnymi, co można zaobserwować w tabelach 2.1 oraz 2.2:

- **Rezystory:** Zmierzone wartości rezystancji są bardzo zbliżone do nominalnych, z odchyleniami od 0.1% do 1.8%. Odchylenia te mieszczą się w standardowych tolerancjach producenta dla rezystorów, które wynoszą zazwyczaj $\pm 1\%$ lub $\pm 5\%$.
- **Kondensatory:** W przypadku kondensatorów rozbieżności są wyraźnie większe, szczególnie dla kondensatora o pojemności 100 μ F, który wykazuje różnicę -14.3%. Takie odchylenia są często spotykane przy większych pojemnościach, gdzie tolerancja może wynosić nawet $\pm 10\%$. Kondensator o pojemności 1 nF również charakteryzuje się znaczącą rozbieżnością (-5.4%), co wynikać może z ograniczeń pomiarowych miernika, ponieważ niskie wartości pojemności mogą być trudne do dokładnego zmierzenia w standardowych warunkach.

2.5. Wnioski

Pomiary wykazały, że wartości zmierzone dla rezystorów są zgodne z przewidywaniami, mieszcząc się w granicach tolerancji. Większe rozbieżności wystąpiły w przypadku kondensatorów, szczególnie dla elementów o większych pojemnościach, co jest zgodne z ich większą tolerancją producenta oraz ograniczeniami miernika przy niższych wartościach pojemności.

3. Rozładowanie kondensatora przez woltomierz i przez oscyloskop

3.1. Model teoretyczny

Jeżeli okładki kondensatora o pojemności C , naładowanego do napięcia U_0 , zostaną połączone za pomocą opornika o rezystancji R , kondensator będzie się rozładowywać zgodnie z zależnością:

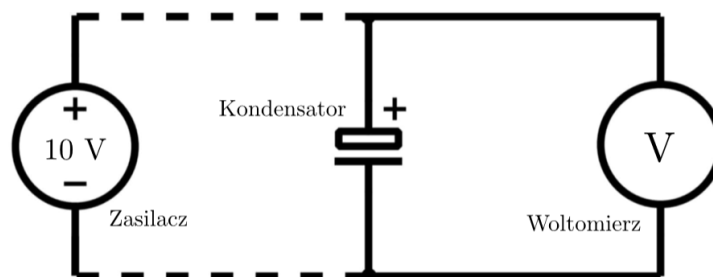
$$U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{RC}} \quad (3.1)$$

Wartość RC stanowi wówczas charakterystyczną stałą czasową dla tego obwodu.

3.2. Doświadczenie z użyciem woltomierza

3.2.1. Układ doświadczalny

Aby zarejestrować krzywą obrazującą spadek napięcia na rozładowującym się kondensatorze, zbudowano układ pomiarowy złożony z kondensatora, miernika uniwersalnego oraz zasilacza. Schemat układu znajduje się na rysunku 3.1



Rysunek 3.1: Schemat obwodu elektrycznego.

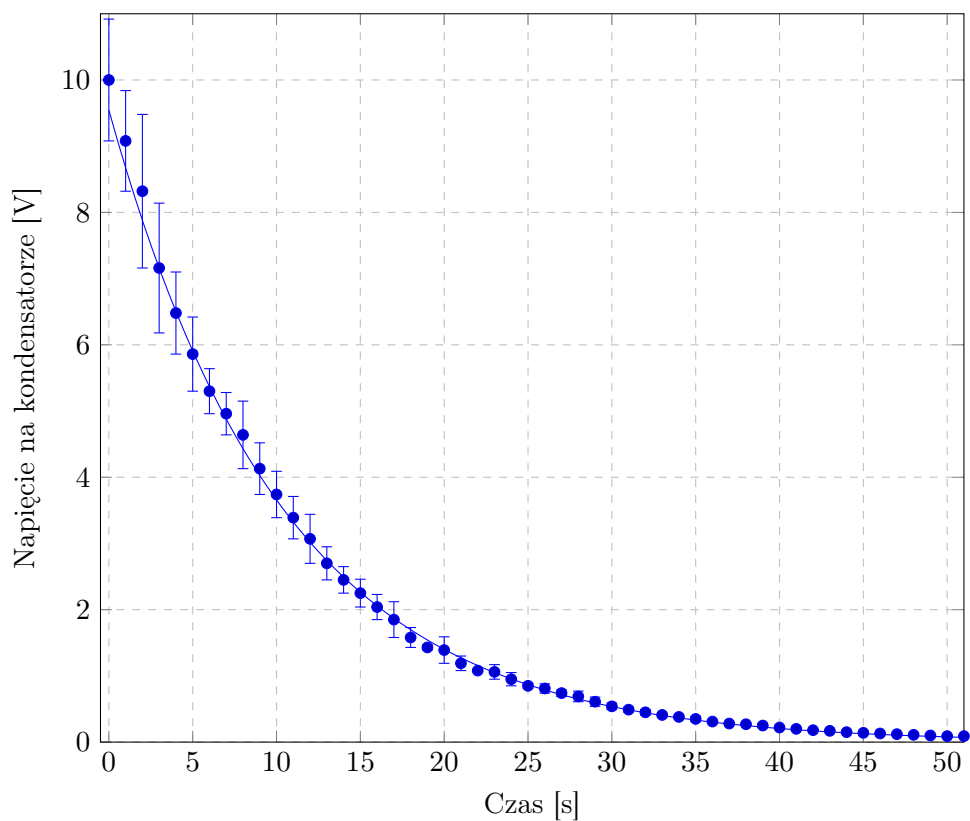
Użyto kondensatorów o nominalnej pojemności $1 \mu\text{F}$, $10 \mu\text{F}$ oraz $100 \mu\text{F}$, których to okładki podłączono do zasilacza ustawionego na napięciu około 10 V. Miernik uniwersalny, ustawiony w tryb pomiaru napięcia stałego, został podłączony równolegle do kondensatora, aby umożliwić monitorowanie napięcia na jego okładkach.

3.2.2. Przeprowadzenie doświadczenia

Po naładowaniu kondensatora do pełnego napięcia zasilacz został odłączony i włączono nagrywanie filmu. Pomiar zakończono wtedy, gdy spadek napięcia pomiędzy kolejnymi odczytami był bardzo mały. Dla kondensatorów $1 \mu\text{F}$, $10 \mu\text{F}$ oraz $100 \mu\text{F}$, czas trwania nagrywania wyniósł odpowiednio 1 min, 5 min oraz 20 min. Następnie z filmu (co odpowiednio 1 s, 10 s i 30 s), dokonywano odczytu napięcia z wyświetlacza miernika, synchronizując pomiary ze wskazaniami czasomierzu.

3.2.3. Analiza pomiarów

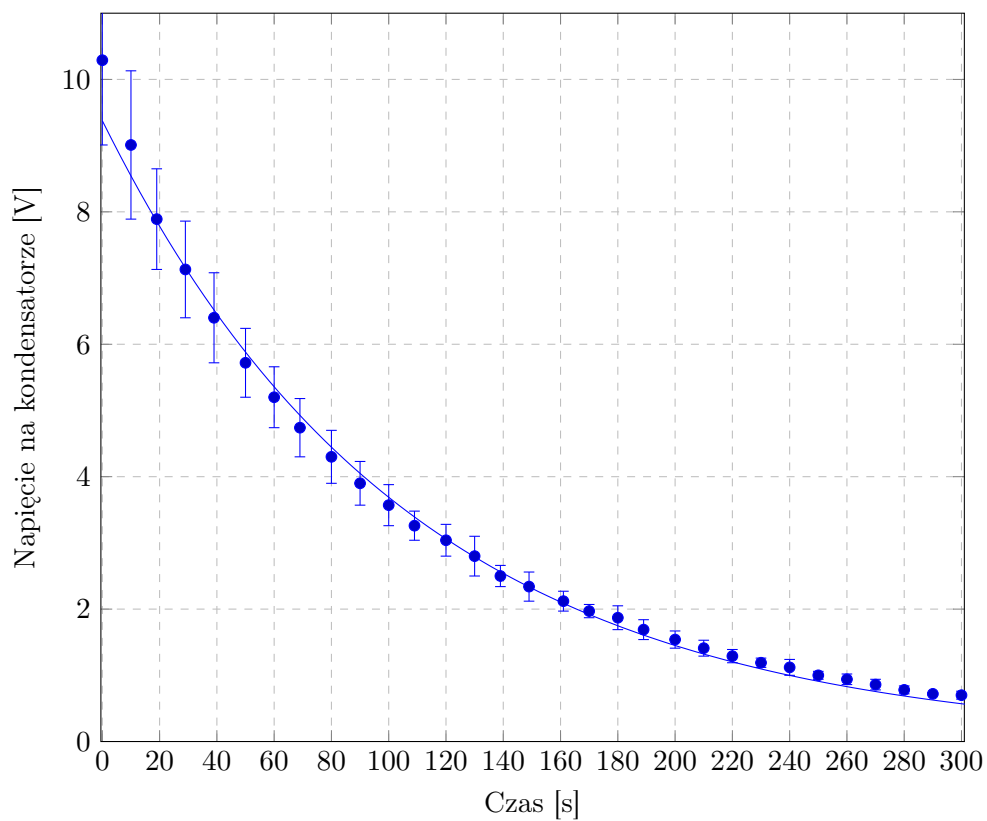
Na podstawie zebranych danych stworzono zależność spadku napięcia między okładkami kondensatora od czasu. Dopasowano prostą opisaną równaniem 3.1 do zebranych danych w celu wyznaczenia wartości oporu wewnętrznego multimetru R . Wykresy danych zależności wraz z dopasowanymi prostymi znajdują się na rysunkach 3.2, 3.3 oraz 3.4.



Rysunek 3.2: Wykres zależności napięcia na kondensatorze 1 μF od czasu.

Uzyskano następujący parametr dopasowania:

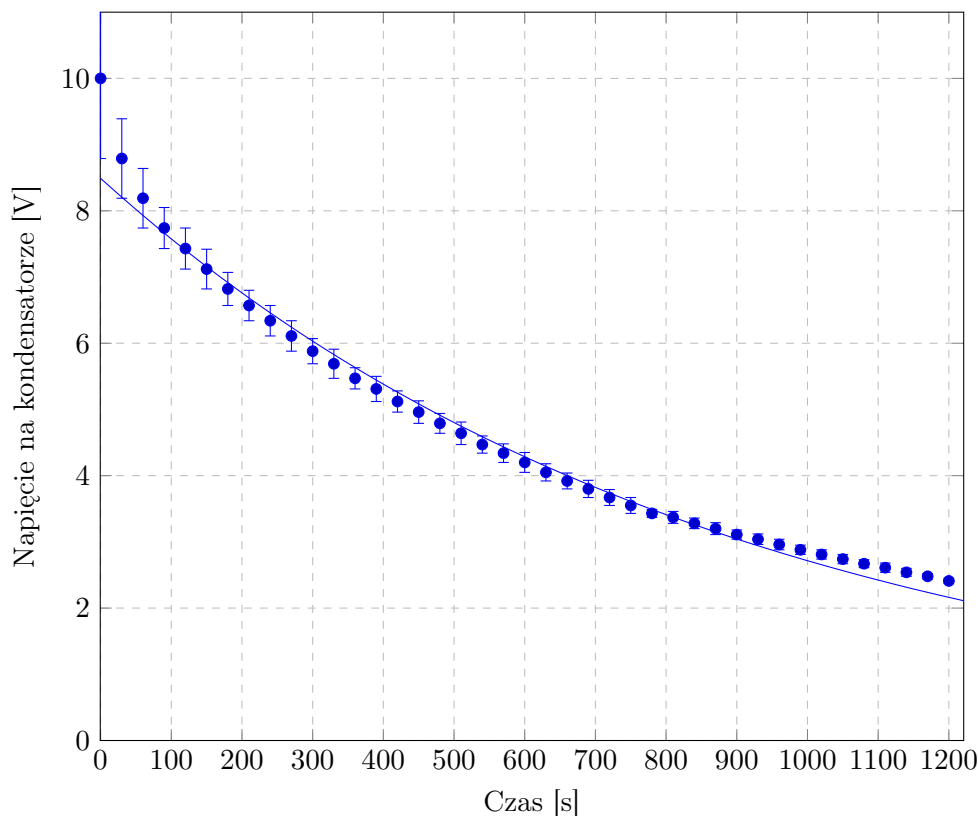
$$R = (11.15 \pm 0.09) \text{ M}\Omega \quad (3.2)$$



Rysunek 3.3: Wykres zależności napięcia na kondensatorze 1 μF od czasu.

Uzyskano następujący parametr dopasowania:

$$R = (10.71 \pm 0.16) \text{ M}\Omega \quad (3.3)$$



Rysunek 3.4: Wykres zależności napięcia na kondensatorze 1 μF od czasu.

Uzyskano następujący parametr dopasowania:

$$R = (8.77 \pm 0.07) \text{ M}\Omega \quad (3.4)$$

3.2.4. Wnioski

Wyznaczono wartość oporu wewnętrznego multimetru jako średnią arytmetyczną wyników 3.2, 3.3 i 3.4

$$R = (10.24 \pm 0.11) \text{ M}\Omega \quad (3.5)$$

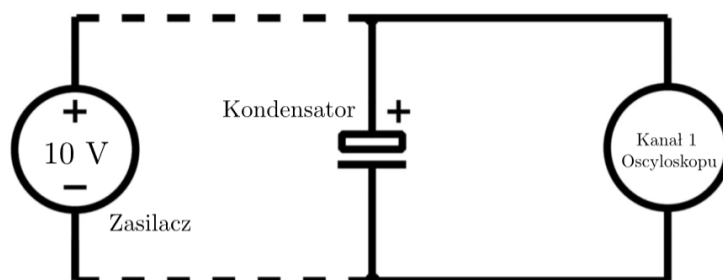
Deklarowana wartość oporu woltomierza to 10 $\text{M}\Omega$. Porównanie wyznaczonej wartości z wartością deklarowaną wskazuje na ich zgodność w granicach niepewności.

Im wyższa wartość pojemności kondensatora, tym wolniej się on rozładowuje, ponieważ większa pojemność oznacza w kontekście kondensatora to, że więcej elektronów jest osadzonych np. na płytkach, więc więcej czasu zajmie zmiana położenia tych elektronów. Aby sprawdzić ten efekt doświadczalnie, wykonano pomiary dla trzech różnych pojemności.

3.3. Doświadczenie z użyciem oscyloskopu

3.3.1. Układ doświadczalny

Aby zarejestrować krzywą obrazującą spadek napięcia na rozładowującym się kondensatorze, zbudowano układ pomiarowy złożony z kondensatora, oscyloskopu oraz zasilacza. Schemat układu znajduje się na rysunku 3.5

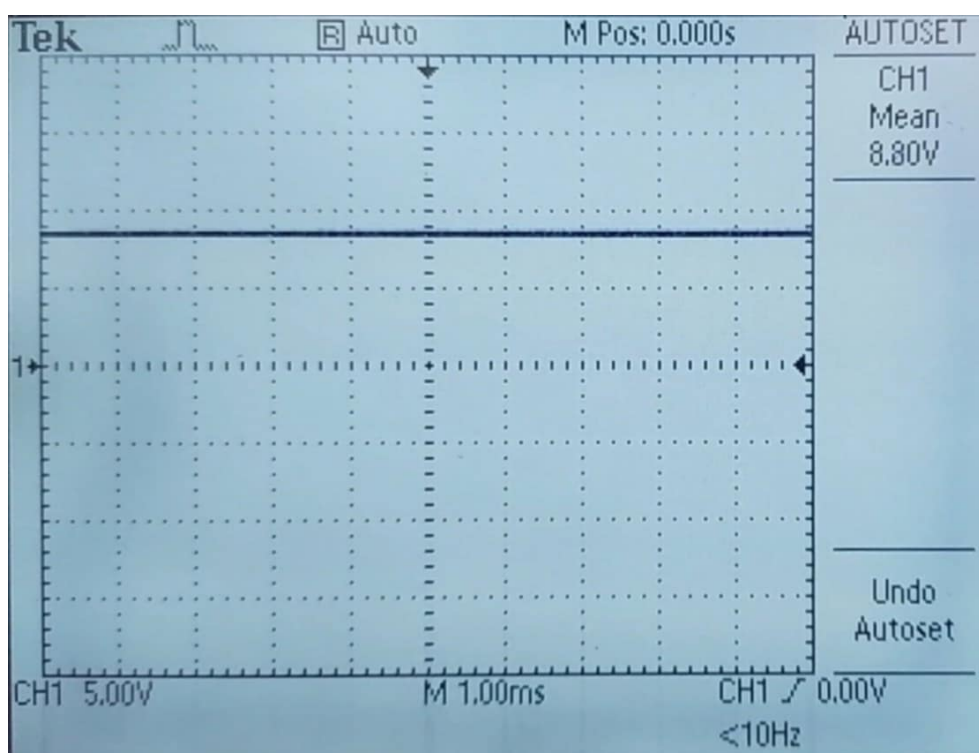


Rysunek 3.5: Schemat obwodu elektrycznego.

Użyto jedynie kondensatora o nominalnej pojemności $10\ \mu\text{F}$, którego to okładki podłączono do zasilacza ustawionego na napięcie około 10 V.

3.3.2. Przeprowadzenie doświadczenia

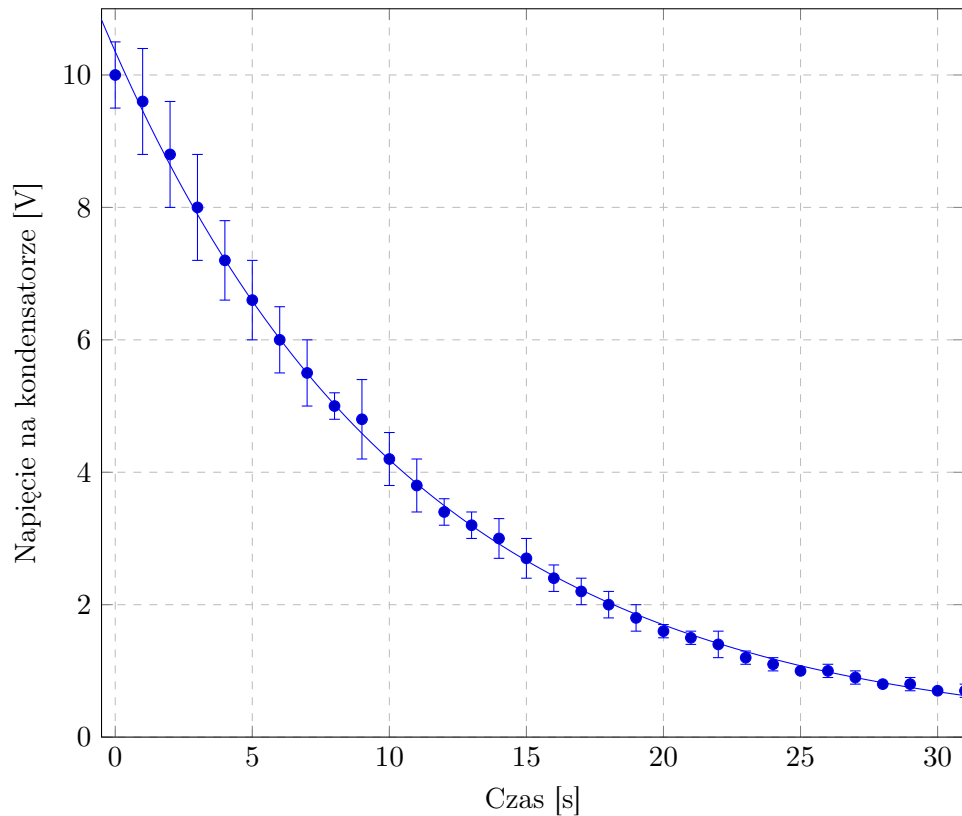
Po naładowaniu kondensatora do pełnego napięcia zasilacz został odłączony i włączono nagrywanie filmu. Pomiar zakończono wtedy, gdy spadek napięcia pomiędzy kolejnymi odczytami był bardzo mały. Czas trwania nagrywania wyniósł 30 s. Następnie z filmu (co 1 s), dokonywano odczytu napięcia.



Rysunek 3.6: Zdjęcie ekranu oscyloskopu podczas rozładowywania kondensatora.

3.3.3. Analiza pomiarów

Na podstawie zebranych danych stworzono zależność spadku napięcia między okładkami kondensatora od czasu. Dopasowano prostą opisaną równaniem 3.1 do zebranych danych w celu wyznaczenia wartości oporu wewnętrznego oscyloskopu R . Wykresy zależności znajduje się na rysunku 3.7.



Rysunek 3.7: Wykres zależności napięcia na kondensatorze od czasu.

3.3.4. Wnioski

Uzyskana wartość oporu wewnętrznego oscyloskopu wynosi

$$R = (1.11 \pm 0.05) \text{ M}\Omega \tag{3.6}$$

3.4. Podsumowanie

Im wyższa pojemność kondensatora, tym wolniej będzie się on rozładowywał – zostało to doświadczalnie pokazane używając trzech różnych kondensatorów, które zostały rozładowane na jednym mierniku.

Im mniejszy opór wewnętrzny miernika, tym szybszemu rozładowywaniu ulega kondensator w danym obwodzie – zostało to potwierdzone doświadczalnie. Dla kondensatora o pojemności $10 \mu\text{F}$ czas rozładowywania na multimetrze o oporze około $10 \text{ M}\Omega$ wynosi 5 min, zaś czas rozładowywania na oscyloskopie o oporze około $1 \text{ M}\Omega$ wynosi 30 s.

4. Filtr RLC

4.1. Model teoretyczny

Filtry częstotliwości są często stosowane w elektronice, ponieważ umieszczone pomiędzy źródłem sygnału a odbiornikiem powodują, że do odbiornika dostaje się sygnał o pożądanym widmie częstotliwości, co oznacza, że z sygnału dostarczanego przez źródło został wyeliminowany sygnał o częstotliwości mieszczącej się w paśmie tłumieniowym. Częstotliwość, która stanowi granicę pomiędzy pasmem przepustowym a pasmem tłumienia, nazywana jest częstotliwością graniczną. Filtr może mieć kilka częstotliwości granicznych. Częstotliwość graniczna f_g wyrażana w Hz może być również opisana za pomocą pulsacji granicznej ω_g , której jednostką jest rad/s.

Układ RLC składa się z rezystora o oporze R , cewki o indukcyjności L oraz kondensatora o pojemności C . Odpowiednie łączenie tych elementów umożliwia budowanie różnych typów filtrów. Najprostszym przykładem filtra pasywnego jest filtr dolnoprzepustowy w postaci kondensatora o dużej pojemności połączonego równolegle do filtrowanego napięcia (z ewentualnym szeregowym opornikiem).

W przeprowadzonym doświadczeniu wykorzystano układ RLC w konfiguracji szeregowej, gdzie elementy są połączone w szereg. W takim układzie, podłączonym do napięcia sinusoidalnego $U_0(t)$, napięcie $U_{wy}(t)$ odkłada się na rezystorze. Stosunek amplitud tych napięć określa się jako transmitancję i wyraża wzorem:

$$T(\omega) = \frac{R}{\sqrt{(R + R_p)^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} \quad (4.1)$$

Zmienne ω oznacza częstotliwość napięcia U_0 , zaś R_p oznacza opór pasożytniczy.

Napięcie na rezystorze jest przesunięte w fazie względem napięcia U_0 . Przesunięcie fazowe ϕ również zależy od częstości napięcia wejściowego i można je obliczyć za pomocą wzoru:

$$\phi(\omega) = \arctan\left(\frac{1 - \omega^2 LC}{\omega(R + R_p)C}\right) \quad (4.2)$$

Zależności transmitancji oraz przesunięcia fazowego napięcia od częstości napięcia wejściowego są nazywane odpowiednio charakterystyką amplitudową i charakterystyką fazową układu.

Opór pasożytniczy R_p można wyznaczyć na dwa sposoby: jako parametr dopasowania funkcji 4.1 oraz 4.2, a także korzystając z przekształcenia wzoru:

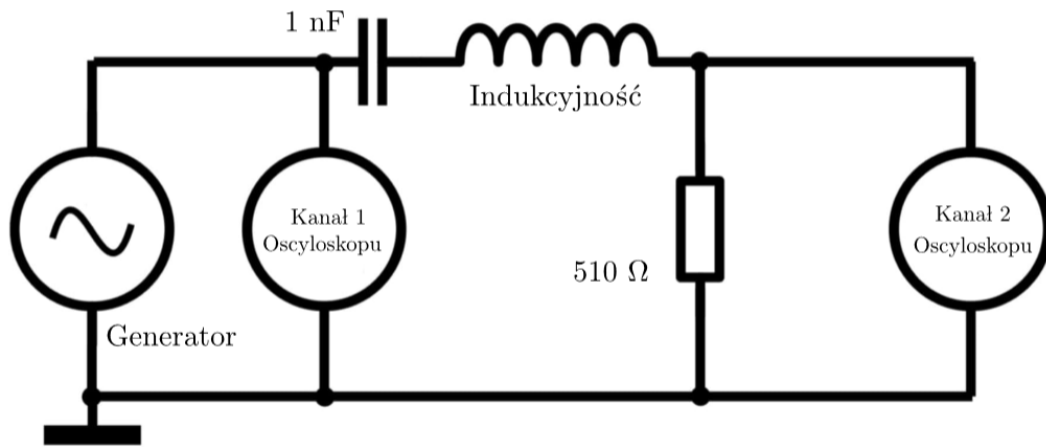
$$T_{\text{rezonansu}} = \frac{R}{R + R_p} \quad (4.3)$$

gdzie $T_{\text{rezonansu}}$ oznacza transmitancję dla częstości rezonansowej. Ostatecznie, opór pasożytniczy wyraża się wzorem:

$$R_p = R \left(\frac{1 - T_{\text{rezonansu}}}{T_{\text{rezonansu}}} \right) \quad (4.4)$$

4.2. Układ doświadczalny

Zbudowano szeregowy filtr RLC, którego schemat znajduje się na rysunku 4.1. Oprócz rezystora o wartości 510Ω oraz kondensatora o pojemności 1 nF , do obwodu dołączono również cewkę o nieznannej indukcyjności. Obwód podłączono do generatora sygnału, który generował przebieg sinusoidalny o amplitudzie 1 V .



Rysunek 4.1: Schemat obwodu elektrycznego.

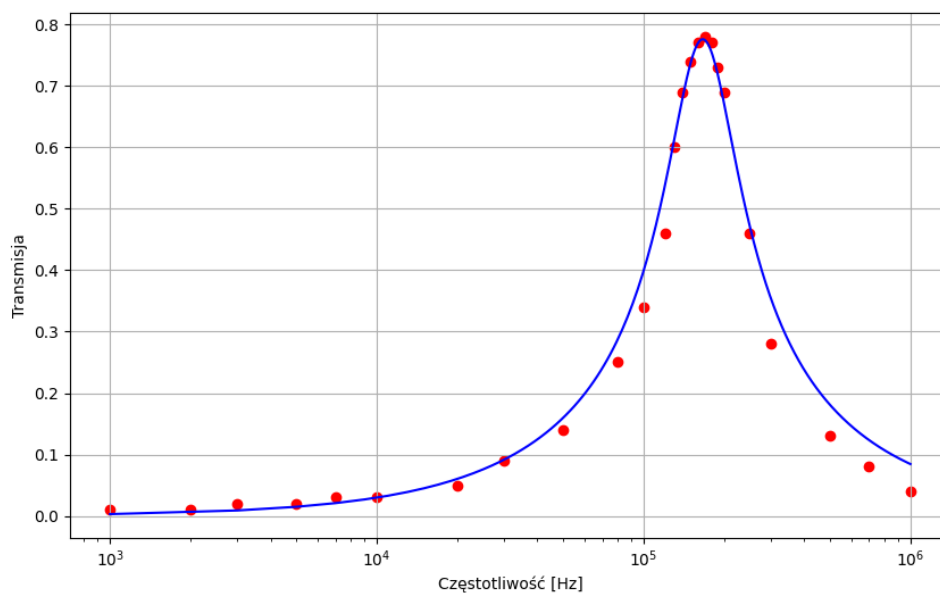
Oscyloskop podłączono za pomocą dwóch kanałów: pierwszy kanał umożliwiał obserwację napięcia wyjściowego generatora, a drugi monitorował napięcie na rezystorze.

4.3. Przeprowadzenie doświadczenia

Wykonano serię pomiarów napięć szczytowych na obu kanałach oraz zmierzono przesunięcie fazowe między tymi napięciami w zależności od częstotliwości sygnału generowanego przez generator. Zakres częstotliwości obejmował wartości od 1 kHz do 1 MHz, a krok pomiarowy dobierano dynamicznie w celu zapewnienia czytelności wykresu w skali logarytmicznej. Szczególną uwagę poświęcono częstotliwościom w pobliżu punktu rezonansowego, zwiększając w tych obszarach gęstość pomiarów.

4.4. Analiza pomiarów

Podczas przeprowadzania analizy danych dla tego układu stworzono dwa wykresy: charakterystyki amplitudowej oraz fazowej.



Rysunek 4.2: Wykres zależności transmitacji od częstotliwości sygnału wejściowego.

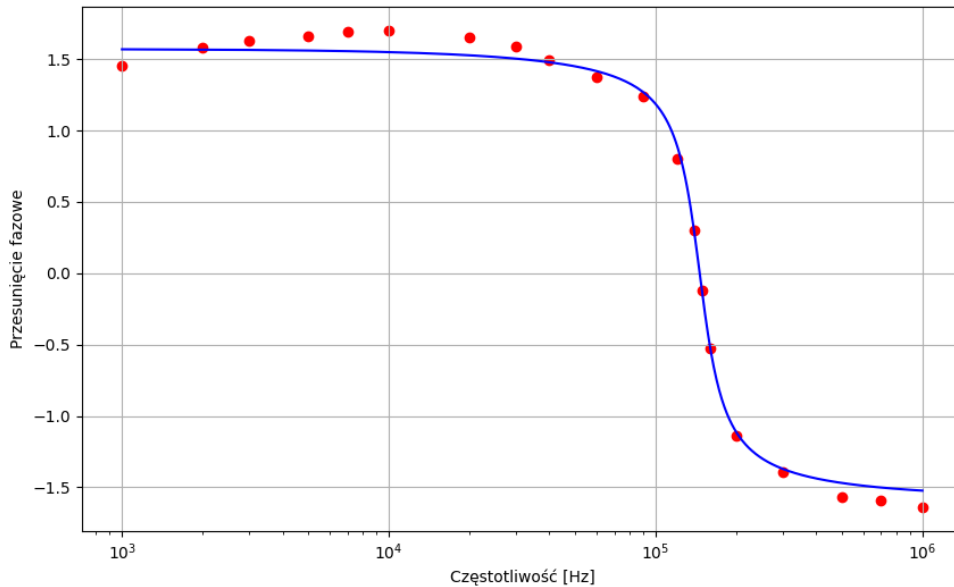
Uzyskano następujące parametry dopasowania:

$$L = (9.65 \pm 0.23) \cdot 10^{-4} \text{ H} \quad (4.5)$$

$$R_p = (144.6 \pm 11.2) \Omega \quad (4.6)$$

Korzystając ze wzoru 4.4 uzyskano

$$R_p = (141.2 \pm 2.7) \Omega \quad (4.7)$$



Rysunek 4.3: Wykres zależności przesunięcia fazowego od częstotliwości sygnału wejściowego.

Uzyskano następujące parametry dopasowania:

$$L = (12.51 \pm 0.21) \cdot 10^{-4} \text{ H} \quad (4.8)$$

$$|R_p| = (137.2 \pm 35.3) \Omega \quad (4.9)$$

4.5. Wnioski

Cewka w układzie miała nieznaną indukcyjność, którą obliczono na podstawie pomiarów pośrednich i początkowej znajomości oporu rezystora R i pojemności kondensatora C . Średnia arytmetyczna z uzyskanych wyników 4.5 i 4.8 pozwoliła wyznaczyć indukcyjność cewki jako:

$$L = (11.08 \pm 0.22) \cdot 10^{-4} \text{ H} \quad (4.10)$$

Obliczono także wartość oporu pasożytniczego cewki, który po uwzględnieniu wyników 4.6, 4.7 i 4.9 wynosi:

$$R_p = (141.0 \pm 16.4) \Omega \quad (4.11)$$

Przy pewnych częstotliwościach opór pasożytniczy cewek jest pomijalny, ale przy niektórych może istotnie zniekształcić charakterystyki obwodu. Na różne parametry pasożytnicze cewki może mieć wpływ bardzo wiele trudnych do kontrolowania czynników (np. przepływ prądu może powodować nagrzewanie się cewki, co w niewielkim, ale jednak dla dokładnych obliczeń istotnym stopniu, zmienia jej wymiary).

5. Drgania w układzie RLC

5.1. Model teoretyczny

Działanie obwodów RLC opiera się na wzajemnym oddziaływaniu rezystora, cewki i kondensatora. Kiedy prąd przepływa przez obwód RLC, energia przenosi się między cewką a kondensatorem. Można analizować obwód RLC jako układ rezonansowy. Amplitudę drgań w układzie RLC tłumionym można obliczyć korzystając z równania:

$$A(t) = A_0 e^{-\frac{R}{2L}t} \quad (5.1)$$

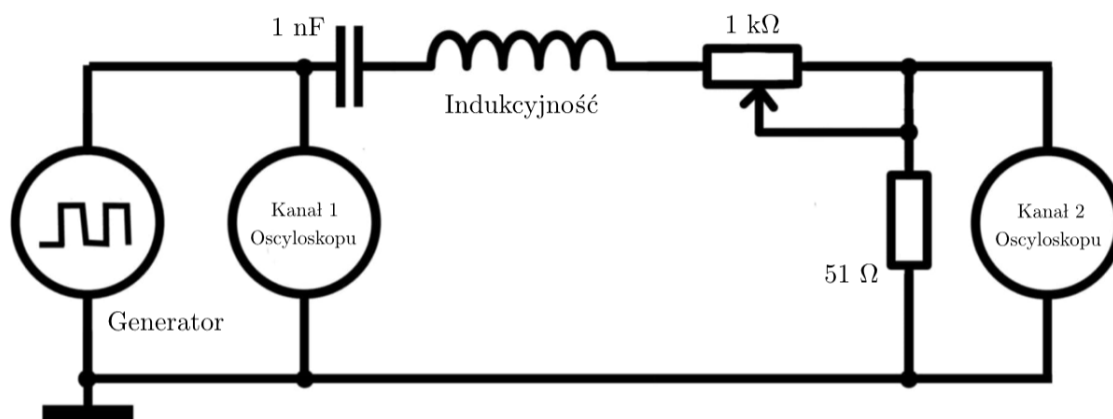
gdzie:

- R to całkowity opór w obwodzie (suma oporu potencjometru, opornika 51Ω oraz ewentualnego oporu pasywnego),
- L to indukcyjność układu.

Dopasowanie wykładnicze funkcji do danych eksperymentalnych umożliwia wyznaczenie wartości $\frac{R}{2L}$ oraz całkowity opór R w obwodzie. Porównanie wyznaczonych wartości R z wartościami zmierzonymi za pomocą multimetru dla danych wartości potencjometru umożliwia zaobserwowanie zjawiska oporu pasywnego.

5.2. Układ doświadczalny

Zbudowano szeregowy filtr RLC, którego schemat znajduje się na rysunku 5.1. Jest to lekka modyfikacja układu z rysunku 4.1. W układzie zamontowano dodatkowo potencjometr o oporze $1 \text{ k}\Omega$ oraz podmieniono opornik na taki o rezystancji 51Ω .



Rysunek 5.1: Schemat obwodu elektrycznego.

5.3. Przeprowadzenie doświadczenia

Zmieniało się opór na potencjometrze i każdą zmianę rejestrowano za pomocą multimetru. Zmiany oporu powodowały zmiany amplitudy. Wykonano dwa zdjęcia ekranu oscyloskopu – dla małych wartości oporu (rys. 5.2) oraz dla dużych wartości oporu potencjometru (rys. 5.3).



Rysunek 5.2: Zdjęcie ekranu oscyloskopu.



Rysunek 5.3: Zdjęcie ekranu oscyloskopu.

5.4. Analiza pomiarów

Znając zmianę amplitudy, wartość indukcyjności cewki oraz odczytując czas z oscyloskopu, można ponownie obliczyć wartość oporu. Różnica wyznaczonej wartości względem odczytanej z multimetru to szukany opór pasozytniczy cewki. Z uwagi na brak czasu, nie udało zebrać się danych potrzebnych do przeprowadzenia szczegółowej analizy.

5.5. Wnioski

Analizując zdjęcia 5.2 i 5.3 ekranu oscyloskopu, możemy wywnioskować, że im większy opór potencjometru, tym amplitudy drgań są mniejsze. Jest to zgodne z przewidywaniami teoretycznymi, czyli ze wzorem 5.1.

W przeciwieństwie do cewek idealnych, cewki rzeczywiste mają pewne właściwości nazywane pasozytniczymi, szczególnie opór pasozytniczy, czyli dodatkowy opór, który należy uwzględnić przy obliczeniach całkowitej rezystancji w obwodzie. Doświadczenie miało na celu obserwację i pomiar tego zjawiska w układzie RLC.

6. Podsumowanie

1. W pierwszej części doświadczenia, zmierzono rezystancje rezystorów oraz pojemności kondensatorów. Porównano otrzymane wartości z nominalnymi oraz wskazano potencjalne przyczyny rozbieżności.
2. W drugiej części doświadczenia należało zbadać zależność napięcia na kondensatorze od czasu dla kondensatora o pojemności $10\ \mu\text{F}$. Na podstawie tego trzeba było wyznaczyć opór wewnętrzny multimetru.

W ramach tego doświadczenia dla trzech różnych kondensatorów ($1\ \mu\text{F}$, $10\ \mu\text{F}$ oraz $100\ \mu\text{F}$) zbadano zależności napięcia od czasu. Uzyskane wyniki i dopasowania pozwoliły ustalić

$$R_{\text{multimetr}} = (10.24 \pm 0.11)\ \text{M}\Omega \quad (6.1)$$

Dzięki analizie trzech różnych kondensatorów, wysnuto wniosek:

Im wyższa wartość pojemności kondensatora, tym wolniej się on rozładowuje.

W ramach tego doświadczenia zbadano rozładowywanie się kondensatora $10\ \mu\text{F}$ na oscyloskopie. Pozwoliło to wyznaczyć opór wewnętrzny oscyloskopu

$$R_{\text{oscyloskop}} = (1.11 \pm 0.05)\ \text{M}\Omega \quad (6.2)$$

Dzięki analizie rozładowywania kondensatora $10\ \mu\text{F}$ na dwóch różnych miernikach (o różnych oporach wewnętrznych), wysnuto wniosek:

Im mniejszy opór wewnętrzny miernika, tym szybszemu rozładowywaniu ulega kondensator.

3. Trzecia część doświadczenia polegała na zbudowaniu filtru RLC. W ramach tego doświadczenia wyznaczono nieznaną indukcyjność

$$L = (12.51 \pm 0.21) \cdot 10^{-4}\ \text{H} \quad (6.3)$$

oraz opór pasożytniczy cewki

$$R_p = (141.0 \pm 16.4)\ \Omega \quad (6.4)$$

Z uwagi na brak czasu pomiary zostały przeprowadzone jedynie dla opornika $510\ \Omega$ i nie udało się ich przeprowadzić dla opornika $51\ \Omega$.

4. Czwarta część doświadczenia polegała na analizie drgań w układzie RLC. Z uwagi na brak czasu udało się jedynie zaobserwować amplitudy drgań dla dwóch różnych ustawień potencjometru.

7. Dodatek

W dodatku zostały umieszczone dwa programy w pythonie, które posłużyły do narysowania wykresów Transmisji oraz Przesunięcia fazowego w zależności od częstotliwości.

Transmisja

```
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit
import matplotlib.pyplot as plt

# Definicja funkcji dopasowywanej
def fit_function(x, L, R):
    return 500.6 / np.sqrt((500.6 + R)**2 + ((2 * np.pi * x * L) -
        (1 / (2 * np.pi * x * 0.946 * 1e-9)))**2))

# Nowe dane punktowe
x_data = np.array([1000, 2000, 3000, 5000, 7000, 10000, 20000, 30000,
    50000, 80000, 100000, 120000, 130000, 140000,
    150000, 160000, 170000, 180000, 190000, 200000,
    250000, 300000, 500000, 700000, 1000000])
y_data = np.array([0.01, 0.01, 0.02, 0.02, 0.03, 0.03, 0.05, 0.09,
    0.14, 0.25, 0.34, 0.46, 0.60, 0.69, 0.74, 0.77,
    0.78, 0.77, 0.73, 0.69, 0.46, 0.28, 0.13, 0.08,
    0.04])

# Dopasowanie funkcji do danych
initial_guess = [0.1, 1000]
params, covariance = curve_fit(fit_function,
    x_data,
    y_data,
    p0=initial_guess,
    maxfev=10000)

# Wyodrebnienie wyników
L_fit, R_fit = params
fit_errors = np.sqrt(np.diag(covariance))

# Generowanie dopasowanej krzywej
x_fit = np.linspace(min(x_data), max(x_data), 500)
y_fit = fit_function(x_fit, L_fit, R_fit)

# Wykres
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.scatter(x_data, y_data, color='red')
plt.plot(x_fit, y_fit, color='blue')
plt.xscale('log')
plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()

# Wyniki dopasowania
L_fit, R_fit, fit_errors
```

Przesunięcie fazowe

```
import numpy as np
from scipy.optimize import curve_fit
import matplotlib.pyplot as plt

# Definicja funkcji
def fit_function(x, L, R):
    return np.arctan((1 - (2 * np.pi * x)**2 * 0.946 * 1e-9 * L) /
                     (2 * np.pi * x * (500.6 + R) * 0.946 * 1e-9))

# Dane punktowe
x_data = np.array([1000, 2000, 3000, 5000, 7000, 10000, 20000, 30000,
                   40000, 60000, 90000, 120000, 140000, 150000, 160000,
                   200000, 300000, 500000, 700000, 1000000])
y_data = np.array([1.45, 1.58, 1.63, 1.66, 1.69, 1.70, 1.65, 1.59,
                   1.49, 1.37, 1.24, 0.80, 0.30, -0.12, -0.53, -1.14,
                   -1.39, -1.57, -1.59, -1.64])

# Dopasowanie funkcji do danych
initial_guess = [1, 1]
params, covariance = curve_fit(fit_function,
                               x_data,
                               y_data,
                               p0=initial_guess)

# Wyodrebnienie wyników
L_fit, R_fit = params
fit_errors = np.sqrt(np.diag(covariance))

# Generowanie dopasowanej krzywej
x_fit = np.linspace(min(x_data), max(x_data), 500)
y_fit = fit_function(x_fit, L_fit, R_fit)

# Wykres
plt.figure(figsize=(10, 6))
plt.scatter(x_data, y_data, color='red')
plt.plot(x_fit, y_fit, color='blue')
plt.xscale('log')
# plt.legend()
plt.grid(True)
plt.show()

# Wyniki dopasowania
L_fit, R_fit, fit_errors
```


Bibliografia

- [1] Piotr Fita. Notatki do wykładu 1. z Pracowni elektronicznej R. FUW
- [2] Piotr Fita. Instrukcja do zadania "Bierne elementy elektroniczne". 2023-2024 FUW
- [3] P. Horowitz, W. Hill, "Sztuka elektroniki"