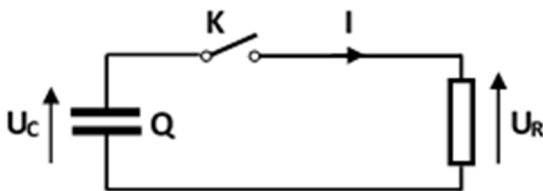


WYZNACZANIE POJEMNOŚCI KONDENSATORA METODĄ POMIARU CZASU ROZŁADOWANIA

WSTĘP

Do wykonywania tzw. szybkich pomiarów pojemności C kondensatorów powszechnie stosowane są różnego rodzaju mostki w których przez mierzony kondensator przepływa prąd przemienny. Istnieją jednak typy kondensatorów (np. kondensatory elektrolityczne), których polarność nie pozwala na włączenie ich w obwód pomiarowy mostka prądu zmiennego. Wartość pojemności tego typu kondensatorów wyznacza się innymi metodami. Jedną z nich polega na pomiarze czasu rozładowania kondensatora C w obwodzie o dobrze znanym oporze wewnętrznym R . W metodzie tej wykorzystuje się równanie opisujące czasową zależność napięcia U na kondensatorze lub natężenia prądu w obwodzie połączonych szeregowo kondensatora C i oporu R (Rys. 1.). Zależność ta przedstawiona na wykresie nosi nazwę krzywej rozładowania kondensatora.



Rys. 1. Układ z kluczem P szeregowo połączonych kondensatora C i opornika R .

Założmy, że kondensator z obwodu na Rys. 1. o pojemności C został naładowany ładunkiem Q do napięcia U_0 . Po zamknięciu klucza P w chwili $t = 0$ okładki kondensatora zostają połączone z opornikiem o oporze R . Poprzez opór zacznie płynąć prąd rozładowania kondensatora o zależnym od czasu natężeniu I_t . W każdej chwili wartości U_C i U_R są równe. Rozładowanie zakończy się, gdy różnica potencjałów okładek kondensatora osiągnie wartość

$U = 0$. Zgodnie z prawem Ohma dla odcinka obwodu w dowolnej chwili t natężenie $I_{(t)}$ prądu rozładowania kondensatora wynosi:

$$I_t = \frac{U_C}{R} \quad (1)$$

Prąd o natężeniu I_t związany jest z przepływem w każdej jednostce czasu dt ładunku w ilości dQ z jednej okładki kondensatora, poprzez opornik R , na drugą okładkę:

$$-dQ = I_t \cdot dt = \frac{U_C}{R} \cdot dt \quad (2)$$

Skutkiem tego procesu jest systematyczny ubytek ładunku kondensatora, stąd znak „-” w powyższym równaniu. Zgodnie z definicją pojemności elektrycznej dla kondensatora związek pomiędzy Q i U jest następujący:

$$Q = C \cdot U \quad (3)$$

Natomiast jego różniczkowa forma (3) ma postać:

$$dQ = C \cdot dU \quad (4)$$

Podstawiając (2) do (4) otrzymujemy:

$$-C \cdot dU = \frac{U_C}{R} \cdot dt \quad (5)$$

Stąd po przekształceniu wyrażenie (5) przyjmuje postać:

$$\frac{dU}{U_C} = -\frac{1}{R \cdot C} \cdot dt \quad (6)$$

W chwili początkowej $U_C = U_0$, natomiast po czasie t wartość U_C równa jest U . Całkując obustronnie równanie (6) i uwzględniając warunek brzegowy, otrzymujemy:

$$\ln\left(\frac{U_0}{U}\right) = \frac{1}{R \cdot C} \cdot t \quad (7)$$

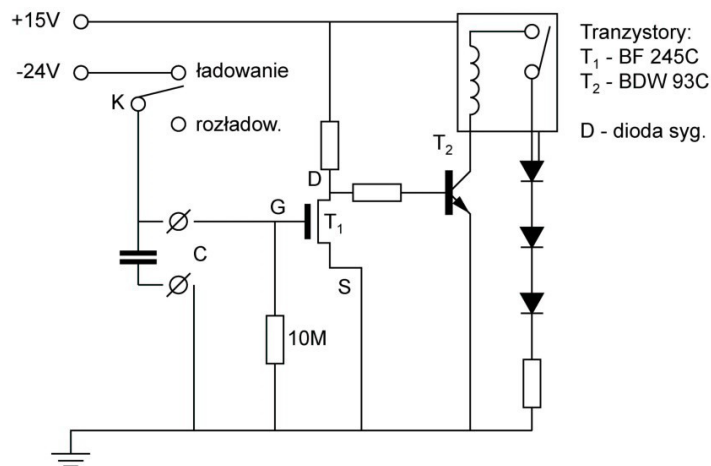
Po przekształceniu (7) otrzymujemy zależność chwilowej wartości napięcia U na okładkach od stałych układu w którym odbywa się rozładowanie kondensatora:

$$U = U_0 \cdot e^{-\frac{1}{RC}t} \quad (8)$$

Wobec powyższego, z czasem rozładowania t napięcie U na kondensatorze zmniejsza się w sposób wykładniczy, a szybkość tych zmian zależy od wartości iloczynu $R \cdot C$.

UKŁAD DOŚWIADCZALNY

Na Rys. 2. Przedstawiono schemat będącego na wyposażeniu stanowiska układu do rozładowania kondensatora.



Rys. 2. Schemat układu do pomiaru czasu rozładowania kondensatora.

Na płycie czołowej obudowy układu znajduje się dwubiegunowy przełącznik pełniący rolę klucza K (Rys. 1.) oraz zaciski umożliwiające podłączenie do układu badanego kondensatora C. Napięcie U_0 jakim ładowany jest kondensator ma wartość stałą. Układ posiada tę właściwość, że śledzi wartość napięcia U na kondensatorze C podczas jego rozładowania. Gdy podczas rozładowania zmniejszające się napięcie U przekroczy wartość U_x (stałą dla tego układu), fakt ten zostanie zasygnalizowany zgaśnięciem widocznej na płycie czołowej lampki kontrolnej. Odstęp czasowy t upływający od chwili uruchomienia przełącznikiem K procesu rozładowania mierzonego kondensatora do chwili t_x , po której gaśnie lampka kontrolna nazywamy czasem rozładowania. Oczywiście czas t będzie miał różną wartość dla kondensatorów o różnej pojemności C (8). Przyjmując, że $U = U_x$ zależność (7) przepisujemy w postaci:

$$R \cdot \ln \left(\frac{U_0}{U_x} \right) = \frac{1}{C} \cdot t \quad (9)$$

Wyrażenie stojące po lewej stronie równania (9) zawiera parametry układu doświadczalnego, których wartości są stałe. Niech wartość tego wyrażenia wynosi K i nazwijmy ją stałą układu pomiarowego. Wobec tego równanie (9) przyjmuje prostszą postać:

$$t = K \cdot C \quad (10)$$

Liniowa zależność t od C pozwala w sposób prosty i bardzo szybki wyznaczać pojemność elektryczną kondensatorów przy użyciu układu. Jednak należy zaznaczyć, że przed pierwszym użyciem układu pomiarowego jako miernika pojemności C należy wykonać jego kalibrację (wzorcowanie), w celu wyznaczenia wartości K .

WYKONANIE POMIARÓW

A. POMIARY CZASU ROZŁADOWANIA KONDENSATORÓW O NIEZNANYCH POJEMNOŚCIACH

1. Do zacisków C układu pomiarowego podłączyć pierwszy kondensator o nieznannej pojemności.
2. Przełącznik K ustawić w pozycji „rozładowanie”. Włączyć układ pomiarowy do sieci.
3. Przełącznik K przestawić na pozycję „ładowanie”. Z początkiem procesem ładowania rozpoczyna się świecenie lampki sygnalizacyjnej.
4. Po odczekaniu kilku sekund w sposób równoczesny przestawić przełącznik K na pozycję „rozładowanie” i włączyć stoper odmierzający czas rozładowania.
5. Stoper zatrzymać w chwili zgaśnięcia lampki sygnalizacyjnej.
6. Wynik pomiaru czasu rozładowania oraz umowne oznaczenie kondensatora zapisać w Tabeli Pomiarów
7. Pomiary wykonać dla każdego kondensatorów o nieznannej pojemności
8. Pod Tabelą Pomiarów zapisać klasę użytej dekady kondensatorów, wartość $\Delta_d(t)$ niepewności wzorcowania pomiaru czasu rozładowania oraz oszacowaną wartość $\Delta_e(t)$ niepewności eksperymentatora.

B. POMIARY CZASU ROZŁADOWANIA KONDENSATORÓW WZORCOWYCH

1. Do zacisków C układu pomiarowego podłączyć dekadę pojemności.
2. Pokrętłami dekady ustawić wartość pierwszej pojemności.
3. Wykonać pomiar według pkt. 3-7 części A.
4. Zanotować w Tabeli Pomiarów wartość ustawionej na dekadzie pojemności C i wartość zmierzonego czasu rozładowania t.
5. Pomiary powtórzyć dla 7 – 10 istotnie różnych wartości pojemności dekady. Wskazany jest, by przynajmniej jedna z nastaw dekady skutkowałą czasem rozładowania dłuższym od najdłuższego dla kondensatorów o nieznannej pojemności.

TABELA POMIARÓW

CZASY ROZŁADOWANIA KONDENSATORÓW O NIEZNANEJ POJEMNOŚCI		
L.P.	C	t [s]
1	X	
2	Y	
3	Z	
CZASY ROZŁADOWANIA KONDENSATORÓW WZORCOWYCH		
L.P.	C [μ F]	t [s]
1		
2		

$$\Delta_d(t) = \dots\dots\dots [s]$$

$$\Delta_e(t) = \dots\dots\dots [s]$$

$$u(C) = \dots\dots\dots \cdot C$$

OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

- Wykonać przykład oszacowania rozszerzonej ($k = 2$) całkowitej niepewności pomiaru czasu rozładowania $U(t)$:

$$U(t) = k \cdot \sqrt{\frac{(\Delta_d(t))^2 + (\Delta_e(t))^2}{3}} \quad (11)$$

- Dla jednej z nastaw C dekady pojemności wykonać przykład oszacowania jej niepewności $u(C)$:

$$u(C) = \frac{\text{klasa dekady}}{100} \cdot C \quad (12)$$

- Wykonać pozostałe obliczenia, a otrzymanymi wynikami uzupełnić Tabelę Wyników.

TABELA WYNIKÓW

L.P.	C	u(C)	t	U(t)
	[10 ⁻⁶ F]	[10 ⁻⁶ F]	[s]	[s]
1				
2				

- Wykonać wykres zależności wartości czasu rozładowania t od pojemności C kondensatorów wzorcowych. Między punktami wykresu poprowadzić prostą najlepszego dopasowania.
- Z użyciem funkcji REGLINP (arkusz Excel) wyznaczyć i zapisać w Tabeli Wyników wartości parametrów równania prostej:

$$t = a \cdot C + b \quad (13)$$

TABELA WYNIKÓW

parametry równania prostej	nachylenie		odcięta		miara jakości dopasowania
	a	u(a)	b	u(b)	R ²
	[10 ⁶ · $\frac{s}{F}$]	[10 ⁶ · $\frac{s}{F}$]	[s]	[s]	[-]
przed zaokrągleniem					
po zaokrągleniu					

Zgodnie z przewidywaniami teorii wyrażonymi równaniem (10), parametr „b” zależności (13) powinien mieć wartość zero. Główną przyczyną otrzymania niezerowej wartości „b” są niepewności $u(t)$ i $u(C)$. Również należy mieć na uwadze, że para zacisków dla podłączenia kondensatora „C” charakteryzuje się skończonym oporem wejściowym R_{we} ($\sim G\Omega$) i pojemnością wejściową C_{we} ($\sim pF$).

- Dla jednego z kondensatorów (X, Y lub Z) wykonać przykład wyznaczenia wartości pojemności przy pomocy doświadczalnie wyznaczonego równania kalibracyjnego układu pomiarowego:

$$C = \frac{t-b}{a} \quad (14)$$

- Wykonać przykład oszacowania $u(C)$:

$$u(C) = \sqrt{\left(\frac{\partial C}{\partial a} \cdot u(a)\right)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial b} \cdot u(b)\right)^2 + \left(\frac{\partial C}{\partial t} \cdot U(t)\right)^2} =$$

$$\sqrt{\left(-2 \frac{t-b}{a^2} \cdot u(a)\right)^2 + \left(-\frac{1}{a} \cdot u(b)\right)^2 + \left(\frac{1}{a} \cdot U(t)\right)^2} =$$

$$\frac{\sqrt{(2 \cdot C \cdot u(a))^2 + (u(b))^2 + (U(t))^2}}{a} \quad (15)$$

8. Dla każdego z pozostałych kondensatorów obliczyć pojemność C i niepewność $u(C)$. Wynikami uzupełnić Tabelę Wyników.

TABELA WYNIKÓW

<i>Kondensator</i>	C	$u(C)$
	$[10^{-6} F]$	$[10^{-6} F]$
X		
Y		
Z		

9. Ocenic zgodność charakteru otrzymanej krzywej z przewidywaniami teoretycznymi. Dokonać oceny dokładności użytego mostka i zastosowanej metody pomiaru pośredniego pojemności kondensatorów.

LITERATURA

- [1] PIEKARA A.: Elektryczność i magnetyzm, PWN, Warszawa 1970.
[2] KLICH W. J.: Fizyka w szkole, 30, No 6, 72-73, 1970.
[3] KOHLRAUSCH F.: Fizyka laboratoryjna, tom II, PWN, Warszawa 1971.
[4] Ćwiczenia Laboratoryjne z Fizyki (praca zbiorowa), Skrypt Nr 279, Politechnika Opolska 2007.