

## Ćwiczenie 24

**Temat: Obwód prądu stałego RL i RC stany nieustalone.**

### Cel ćwiczenia

Zrozumienie znaczenia stałej czasu w obwodzie RL. Poznanie zjawiska ładowania rozładowania w obwodzie RL  
Zrozumienie znaczenia stałej czasu w obwodzie RC. Poznanie zjawiska ładowania i rozładowania w obwodzie RC.  
Czytanie schematów elektronicznych, przestrzeganie zasad bhp podczas montażu elementów.

### INSTRUKCJA DO WYKONANIA ZADANIA

**Przestrzegaj zasad BHP przy pomiarach elektrycznych. Zachowaj ostrożność w czasie ćwiczenia. Sprawdź stan elementów zastosowanych w ćwiczeniu oraz narzędzi.**

Na rys. 2-7-1 przedstawiono obwód RL. Jeśli przełącznik zostanie umieszczony w położeniu „b”, to w indukcyjności L zaindukuje siła elektromotoryczna o kierunku przeciwnym, jednak prąd płynący przez cewkę nie może zmienić się natychmiast.

Ta siła elektromotoryczna jest dana równaniem:

$$E = V_R + V_L = iR + L \cdot di/dt$$

Używając do rozwiązania tego równania rachunku różniczkowego otrzymujemy:

$$i_L(t) = \frac{E}{R} (1 - e^{-\tau(L/R)})$$

W równaniu tym wielkość  $\tau = L/R$  jest nazywana stałą czasu i jest wyrażana w sekundach.

Przebieg zmian prądu płynącego przez indukcyjność w funkcji czasu  $i_L(t)$  przedstawiono na rys. 2-7-1(b).

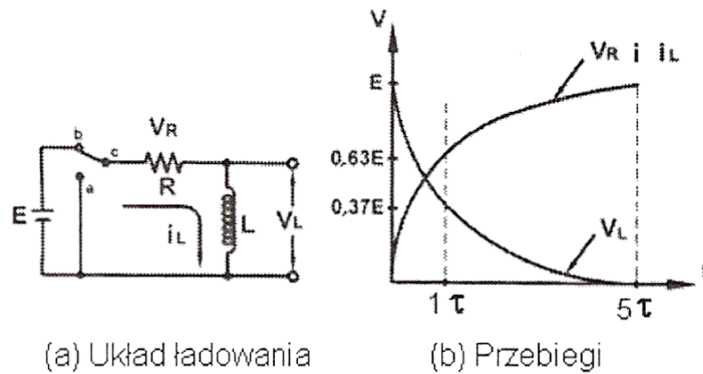
Zależność napięcia  $V_L$  występującego na indukcyjności L od czasu można przedstawić wzorem:

$$V_L = L \frac{di}{dt} = E e^{-\tau(L/R)}$$

Przebieg zmian tego napięcia przedstawia też rys. 2-7-1(b).

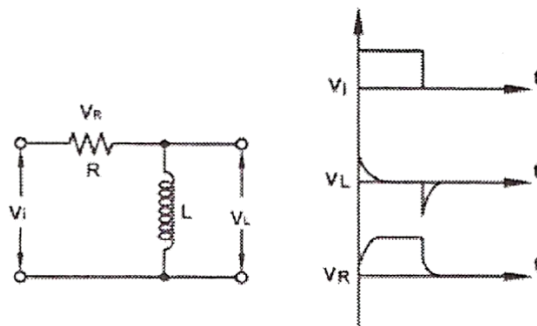
$$V_R = i_L R = \frac{E}{R} (1 - e^{-\tau(L/R)}) R = E (1 - e^{-\tau(L/R)})$$

Z równania powyższego można wywnioskować, że prąd  $i_L$  osiąga wartość maksymalną, gdy  $t = 5\tau = 5(L/R)$ ; z drugiej strony zaś, w trakcie tego czasu  $t = 5\tau$  napięcie  $V_L$  osiąga wartość zerową. Ta własność obwodu RL jest podobna do funkcji układu różniczkujące



Rys. 2-7-1 Obwód RL

Gdy do układu z rys. 2—7-2 zostanie doprowadzony sygnał prostokątny to zmiany sygnału wyjściowego tego układu będą podobne do uzyskiwanego w układzie różniczkującym RC. Jedyną różnicą jest to, że sygnał wyjściowy w układzie różniczkującym RC jest pobierany jako napięcie  $V_R$  z rezystora R a w układzie różniczkującym RL jako napięcie  $V_L$ ; a po nadto  $X_C = 1/(2\pi fC)$ ,  $X_L = 2\pi fL$



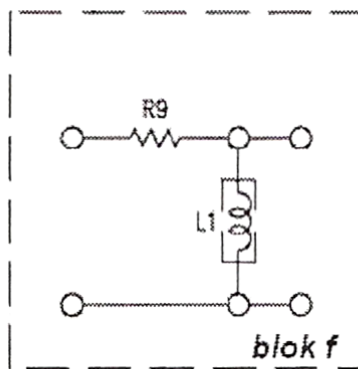
Rys. 2-7-2 Obwód różniczkujący RL

### NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 — podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-24002 — podstawowy moduł do ćwiczeń z elektryczności
3. Oscyloskop

### PROCEDURA OBWÓD PRĄDU STAŁEGO RL

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok f, którego schemat montażowy jest przedstawiony na rys. 2-7-3.



Rys. 2-7-3 Moduł KL-24002 blok f

2. Do wejścia obwodu RL doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w bloku KL-22001 sygnał prostokątny o częstotliwości 200 Hz i napięciu międzyszczytowym 10 Vp-p.
3. Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać przebiegi napięcia wejściowego ( $V_{in}$ ) oraz napięcia wyjściowego ( $V_{L1}$ ). Obserwować stany przejściowe w układzie RL.
4. Obliczyć wartość stałej czasu  $\tau$  dla  $R9 = 330 \Omega$  i  $L1 = 500 \text{ mH}$ .

$$\tau = L/R \text{ ms}$$

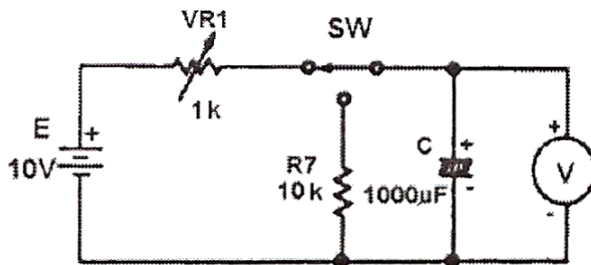
### PODSUMOWANIE

Prąd płynący przez cewkę (indukcyjność) nie może zmienić się nagle. Jednak takich ograniczeń nie ma występujące w cewce napięcie, które może gwałtownie wzrosnąć. Gwałtownej zmianie prądu przeciwdziała indukcyjność cewki.

### PROCEDURA OBWÓD PRĄDU STAŁEGO RC

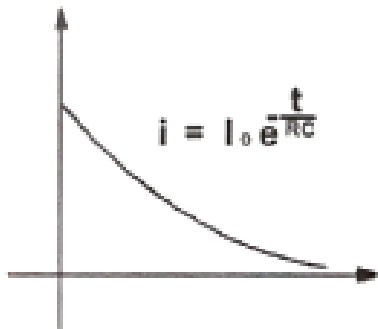
Przestrzegaj zasad BHP przy pomiarach elektrycznych. Zachowaj ostrożność w czasie ćwiczenia. Sprawdź stan elementów zastosowanych w ćwiczeniu oraz narzędzi.

Kondensator jest elementem, który magazynuje energię elektryczną gromadząc w sobie ładunek elektryczny. Należy pamiętać, że całkowity ładunek zgromadzony w kondensatorze nie może zmienić się natychmiast. Na rys. 2-6-1 przedstawiono podstawowy obwód RC składający się z kondensatora, rezystorów, źródła napięcia stałego i przełącznika. Załóżmy, że napięcie na kondensatorze C jest równe zero, zanim przełącznik zostanie zamknięty tj. ustawiony w takim położeniu jak na rys. 2-6-1. Nawet w tym momencie, w którym przełącznik ten zostanie zamknięty, włączając w obwód potencjometr VR1 (niech  $VR1=R$ ), to napięcie na kondensatorze nadal będzie równe zero, a całe napięcie źródła E odłoży się na rezystorze VR1. Innymi słowy, wartość szczytowa prądu ładowania, który zaczyna płynąć jest w pierwszym momencie określona przez wartość rezystora, czyli  $I_0 = V/R$ .

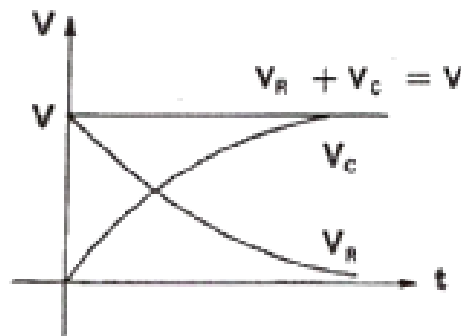


Rys. 2-6-1 Obwód RC

Gdy kondensator C zaczyna się ładować, napięcie na nim zaczyna narastać zbliżając się do napięcia źródła zasilania (baterii), pozostawiając coraz mniej napięcia dla rezystora. W trakcie procesu ładowania prąd stopniowo zmniejsza się. Można go wyrazić wzorem  $i = (V/R)e^{-t/RC}$  w, którym  $e = 2,718$ . Na rys. 2-6-2 przedstawiono graficznie zmiany prądu ładowania w czasie. Na rys. 2-6-3 przedstawiono jak napięcie na rezystorze VR i napięcie na kondensatorze Vc zmieniają się wraz z czasem ładowania. Napięcie na kondensatorze można wyrazić wzorem  $V_c = V(1 - e^{-t/RC})$  a napięcie na rezystorze VR Zgodnie z prawem Kirchhoffa cały czas jest słuszna zależność:  $V = V_R + V_C$ .



Rys. 2-6-2 Prąd ładowania



Rys. 2-6-3 Napięcia VR i VC w trakcie ładowania

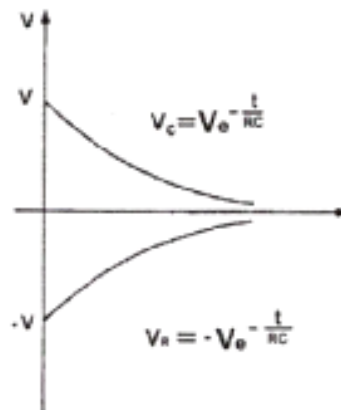
Załóżmy, że teraz napięcie na kondensatorze Vc jest równe napięciu źródła zasilania (baterii). Przełączając przełącznik łączymy rezystor R7 równolegle z kondensatorem C. Kondensator ten rozładowuje się teraz przez rezystor R7 (niech  $R_7 = R$ ). Prąd rozładowania, napięcie na kondensatorze oraz napięcie na rezystorze można wyrazić poniższymi wzorami:

$$I = -(V/R)e^{-t/RC} \quad V_C = Ve^{-t/RC} \quad V_R = -Ve^{-t/RC}$$

Na rys. 2-6-4 przedstawiono jak prąd rozładowania zmienia się z czasem, a na rys. 2-6-5, jak z czasem rozładowania zmieniają się napięcia VR i VC.



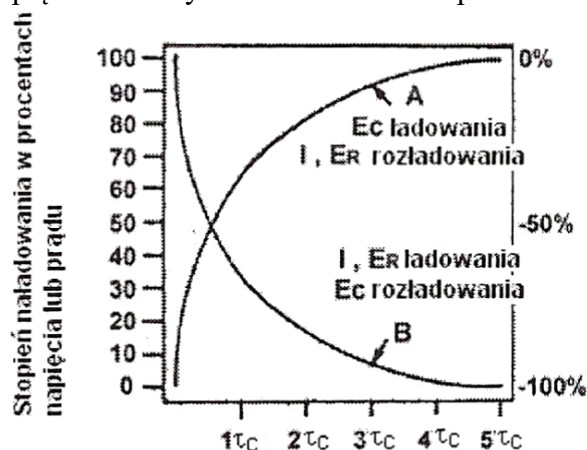
Rys. 2-6-4 Prąd rozładowania



Rys. 2-6-5 Napięcia VR i VC w trakcie rozładowania

Gdy kondensator ładuje się, to końcowa wartość napięcia VC jest określona wyłącznie przez napięcie źródła zasilania (baterii), i jak długo trzeba, aby to osiągnąć zależy wy łącznie od wartości rezystancji rezystora i pojemności kondensatora. Iloczyn wielkości RC jest nazywany stałą czasu układu RC i oznaczany grecką literą  $\tau$  lub w tym przypadku też symbolem  $\tau_C$ . Stała czasu  $\tau_C = RC$  jest w sekundach, jeśli R jest w omach a C w faradach . Jeśli  $t = 1/\tau$  to napięcie na kondensatorze osiąga 63% jego napięcia końcowego. Na rys 2-6-6 przedstawiono diagram stałych czasu. Krzywa A przedstawia zmiany napięcia ładowania kondensatora, a krzywa B zmiany napięcia

rozładowania. W praktyce, gdy  $t=5\tau$ , to uważa się, że napięcie na kondensatorze VC osiągnęło w trakcie ładowania wartość V (napięcie baterii) lub, gdy napięcie to w wyniku rozładowania spadło do zera.



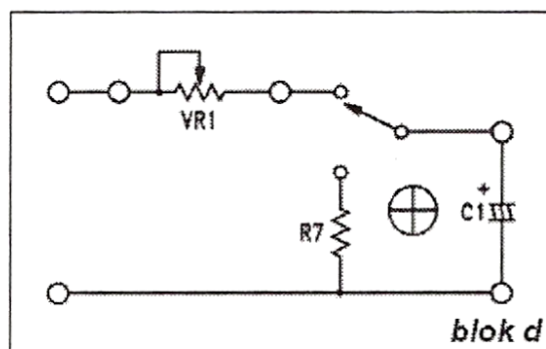
Rys. 2-6-6 Krzywe ładowania i rozładowania kondensatora

### NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 — podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-24002 — podstawowy moduł do ćwiczeń z elektryczności
3. Multimetr

### PROCEDURA OBWÓD PRĄDU STAŁEGO RC

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), po czym zlokalizować blok d.
2. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 2-6-1 i schematem montażowym przedstawionym na rys. 2-6-7. Dołączyć do układu potencjometr VR1 używając do tego przewodów połączeniowych.



Rys. 2-6-7 Schemat montażowy (KL-24002 blok d)

3. Ustawić potencjometr VR1 na 1 k $\Omega$ . Ustawić przełącznik w pozycję VR1. Do wyprowadzeń kondensatora C1 dołączyć woltomierz. Doprowadzić do wejścia układu napięcie zasilania stałe równe +10 V z zasilacza o napięciu wyjściowym regulowanym znajdującego się w module KL-22001. W tym momencie kondensator C1 zaczyna się ładować, a napięcie na nim VC rośnie, aby na koniec osiągnąć wartość 10 V, co wskazuje woltomierz.
4. Ustawić wyłącznik w pozycji R7. Kondensator C1 zaczyna się rozładowywać, a napięcie na nim VC zmniejsza się do 0V.
5. Wstawiając do wzoru  $\tau = R \times C$  wartości liczbowe rezystancji VR1 i pojemności C1 (1000  $\mu\text{F}$ ), obliczyć i zapisać wartość stałej czasu:  $\tau =$  \_\_\_\_\_

6. Obliczyć wartości zmian napięcia VC1 na kondensatorze w kolejnych momentach czasowych  $t=0\tau, 1\tau, 2\tau, 3\tau, 4\tau$  i  $5\tau$ , a następnie nanieść je w postaci punktów na siatkę przedstawioną na rys. 2-6-8. Przez naniesione kolejne punkty przeciągnąć ciągłą linię. Krzywa ta będzie krzywą ładowania.

7. Do obliczenia stałej czasu użyć stopera lub oscyloskopu. Ustawić potencjometr w pozycji VR1, zmierzyć i zapisać czas, po którym ładujący się kondensator osiąga wartość  $V_{cl}$  równą 6,32 V wskazywaną przez woltomierza T \_\_\_\_\_

Uwaga: Za każdym razem przed zmianą kondensatora rozładować go zwierając wyprowadzenia tak, aby  $V_{cl}=0$ .

8. Zmierzyć wartości  $V_{cl}$  w kolejnych odstępach czasowych  $t=0\tau, 1\tau, 2\tau, 3\tau, 4\tau$  i  $5\tau$ , a następnie zapisać wyniki w tabelicy 2-6-1

Czas (t)	$0\tau$	$1\tau =$	$2\tau =$	$3\tau =$	$4\tau =$	$5\tau =$
VC1 (V)	0	6,32				

9. Nanieść zapisane wartości czasu t i napięcia  $V_{cl}$  na siatkę przedstawioną na rys. 2-6-8, a następnie przez kolejne naniesione punkty przeciągnąć ciągłą linię.

10. Porównać krzywe wykreślone w krokach 6 i 9 tej procedury. Czy istnieje duża zgodność między obiema krzywymi.

11. Ustawić potencjometr VR1 na  $200\Omega$ .

Obliczyć i zapisać wartość stałej czasu  $\tau =$  \_\_\_\_\_

Naładować kondensator i obserwować zmiany napięcia  $V_{cl}$  wskazywane przez woltomierz. Czy czas ładowania jest krótszy, niż podany w kroku 3 dla  $V_{cl}=10V$ ?

12. Ustawić przełącznik w pozycję VR1.

Dołączyć napięcie zasilania + 10 V, aby naładować kondensator do  $V_{cl}=10 V$ .

13. Ustawić przełącznik w pozycję R7 ( $10 k\Omega$ ). Kondensator zacznie rozładowywać się przez R7. Obliczyć i zapisać wartość stałej czasu rozładowania.

$\tau =$  \_\_\_\_\_ s

14. Powtórzyć krok 6 dla krzywej rozładowania.

15. Zmierzyć i zapisać czas potrzebny, aby napięcie  $V_{cl}$  zmniejszyło się z 10V do 3,68V. t- \_\_\_\_\_ s

Porównać ten wynik z uzyskanym w kroku 13. Czy są ze sobą zgodne? \_\_\_\_\_

16. Powtórzyć krok 8 dla rozładowania zapisać wyniki w tabelicy 2-6-2.

Czas (t)	$0\tau$	$1\tau =$	$2\tau =$	$3\tau =$	$4\tau =$	$5\tau =$
VC1 (V)	10V	3,68				

Tablica 2-6-2

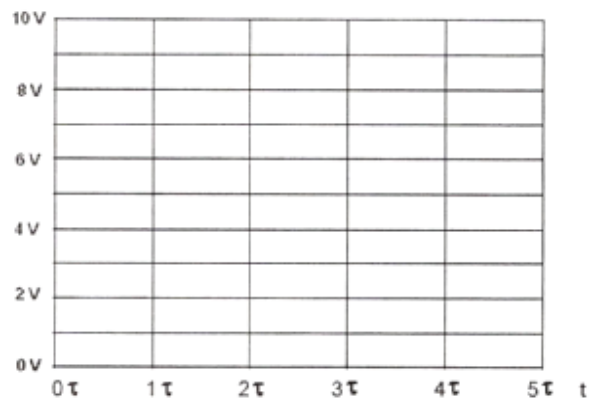
17. Powtórzyć krok 9 dla krzywej rozładowania.

18. Jeśli porówna się krzywe z kroków 14 i 17 tej procedury, to czy istnieje zgodność między nimi?

#### PODSUMOWANIE

Korzystając z wyników uzyskanych w trakcie skomplikowanych pomiarów, wykreśliliśmy krzywe ładowania rozładowania w obwodzie RC. Jeśli otrzymywane krzywe różnią się znacznie, należy całą procedurę wykonać ponownie. Różnice mogą być spowodowane głównie przez to, że:

- (1) stała czasu jest zbyt mała, aby mogła być zmierzona dokładnie
- (2) woltomierz ma małą rezystancję wewnętrzną.



Rys. 2-6-8 Zmierzona krzywa ładowania

Zespół Szkół Mechanicznych w Namysłowie Pomiary elektryczne i elektroniczne	Imię i nazwisko			
Temat ćwiczenia: <b>Obwód prądu stałego RL i RC oraz stany nieustalone.</b>	Nr ćw <b>24</b>	Klasa 1TEZ	Grupa	Zespół
	Data wykonania	OCENY		
		Samoocena	Wykonanie	Ogólna

## CEL ĆWICZENIA;

Wykaz materiałów

.....

Wykaz narzędzi i sprzętu

.....

Wykaz aparatury kontrolno-pomiarowej.

.....

Schemat układu pomiarowego rys. 2-7-1a RL

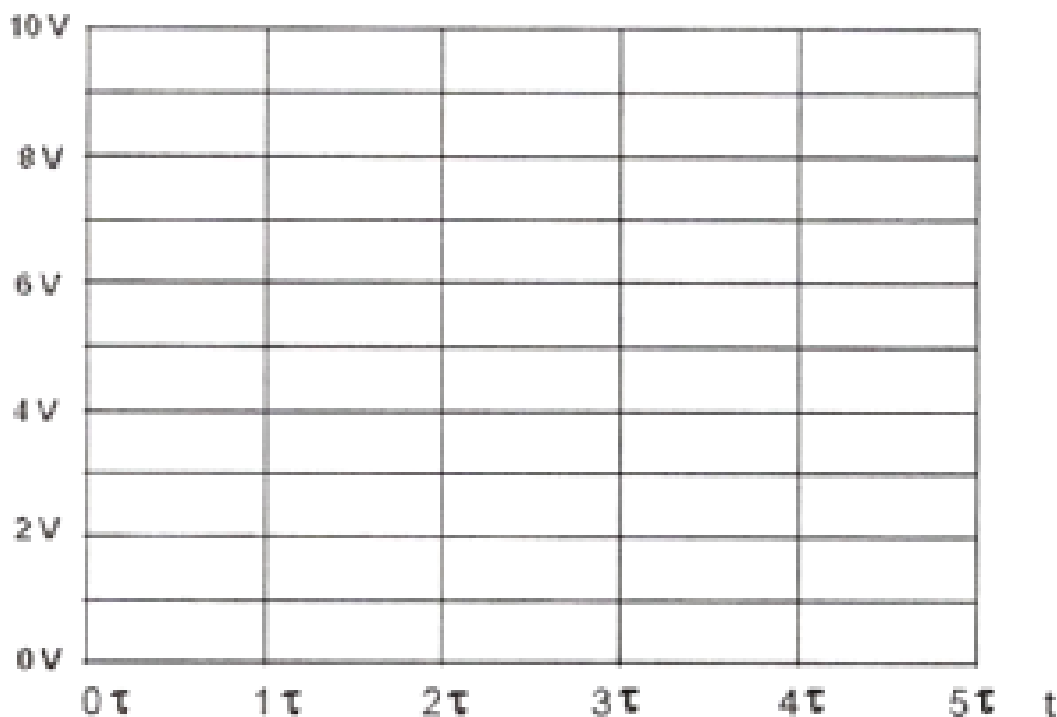
Schemat układu pomiarowego rys. 2-6-1 RC

### PROCEDURA OBWÓD PRĄDU STAŁEGO RL

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), po czym zlokalizować blok f, którego schemat montażowy jest przedstawiony na rys. 2-7-3.
  2. Do wejścia obwodu RL doprowadzić z generatora funkcyjnego znajdującego się w bloku KL-22001 sygnał prostokątny o częstotliwości 200 Hz i napięciu międzyszczytowym 10 V<sub>p-p</sub>.
  3. Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać przebiegi napięcia wejściowego (V<sub>in</sub>) oraz napięcia wyjściowego (V<sub>L1</sub>). Obserwować stany przejściowe w układzie RL.
  4. Obliczyć wartość stałej czasu  $\tau$  dla  $R_9 = 330 \Omega$  i  $L_1 = 500 \text{ mH}$ .  
 $\tau = L/R$  \_\_\_\_\_ ms
- Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać przebiegi napięcia wejściowego (V<sub>in</sub>) oraz napięcia wyjściowego (V<sub>L1</sub>). Obserwować Stany przejściowe w układzie RL.

## PROCEDURA OBWÓD PRĄDU STAŁEGO RC

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), po czym zlokalizować blok d.
2. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 2-6-1 i schematem montażowym przedstawionym na rys. 2-6-7. Dołączyć do układu potencjometr VR1 używając do tego przewodów połączeniowych.
3. Ustawić potencjometr VR1 na 1 k $\Omega$ . Ustawić przełącznik w pozycję VR1. Do wyprowadzeń kondensatora C1 dołączyć woltomierz. Doprowadzić do wejścia układu napięcie zasilania stałe równe +10 V z zasilacza o napięciu wyjściowym regulowanym znajdującego się w module KL-22001. W tym momencie kondensator C1 zaczyna się ładować, a napięcie na nim VC rośnie, aby na koniec osiągnąć wartość 10 V, co wskazuje woltomierz.
4. Ustawić wyłącznik w pozycji R7. Kondensator C1 zaczyna się rozładowywać, a napięcie na nim VC zmniejsza się do 0V.
5. Wstawiając do wzoru  $\tau = R \times C$  wartości liczbowe rezystancji VR1 i pojemności C1 (1000  $\mu$ F), obliczyć i zapisać wartość stałej czasu:  $\tau =$  \_\_\_\_\_



Rys. 2-6-8 Zmierzona krzywa ładowania

6. Obliczyć wartości zmian napięcia VC1 na kondensatorze w kolejnych momentach czasowych  $t=0\tau, 1\tau, 2\tau, 3\tau, 4\tau$  i  $5\tau$ , a następnie nanieść je w postaci punktów na siatkę przedstawioną na rys. 2-6-8. Przez naniesione kolejne punkty przeciągnąć ciągłą linię. Krzywa ta będzie krzywą ładowania.

7. Do obliczenia stałej czasu użyć stopera lub oscyloskopu.

Ustawić potencjometr w pozycji VR1, zmierzyć i zapisać czas, po którym ładujący się kondensator osiąga wartość  $V_{cl}$  równą 6,32 V wskazywaną przez woltomierza  $T =$  \_\_\_\_\_

Uwaga: Za każdym razem przed zmianą kondensatora rozładować go zwierając wyprowadzenia tak, aby  $V_{cl}=0$ .

8. Zmierzyć wartości  $V_{cl}$  w kolejnych odstępach czasowych  $t=0\tau, 1\tau, 2\tau, 3\tau, 4\tau$  i  $5\tau$ , a następnie zapisać wyniki w

Czas (t)	$0\tau = 0$	$1\tau =$	$2\tau =$	$3\tau =$	$4\tau =$	$5\tau =$
VC1 (V)	0	6,32				

tablicy 2-6-1

9. Nanieść zapisane wartości czasu t i napięcia  $V_{cl}$  na siatkę przedstawioną na rys. 2-6-8, a następnie przez kolejne naniesione punkty przeciągnąć ciągłą linię.

10. Porównać krzywe wykreślone w krokach 6 i 9 tej procedury. Czy istnieje duża zgodność między obiema krzywymi.

11. Ustawić potencjometr VR1 na 200 $\Omega$ . Obliczyć i zapisać wartość stałej czasu  $\tau =$  \_\_\_\_\_

Naładować kondensator i obserwować zmiany napięcia  $V_{C1}$  wskazywane przez woltomierz. Czy czas ładowania jest krótszy, niż podany w kroku 3 dla  $V_{C1} = 10V$ ? \_\_\_\_\_

12. Ustawić przełącznik w pozycję VR1.

Dołączyć napięcie zasilania + 10 V, aby naładować kondensator do  $V_{C1} = 10 V$ .

13. Ustawić przełącznik w pozycję R7 (10 kΩ). Kondensator zacznie rozładowywać się przez R7.

Obliczyć i zapisać wartość stałej czasu rozładowania.  $\tau =$  \_\_\_\_\_ s

14. Powtórzyć krok 6 dla krzywej rozładowania.

15. Zmierzyć i zapisać czas potrzebny, aby napięcie  $V_{C1}$  zmniejszyło się z 10V do 3,68V.  $T =$  \_\_\_\_\_ s

Porównać ten wynik z uzyskanym w kroku 13. Czy są ze sobą zgodne? \_\_\_\_\_

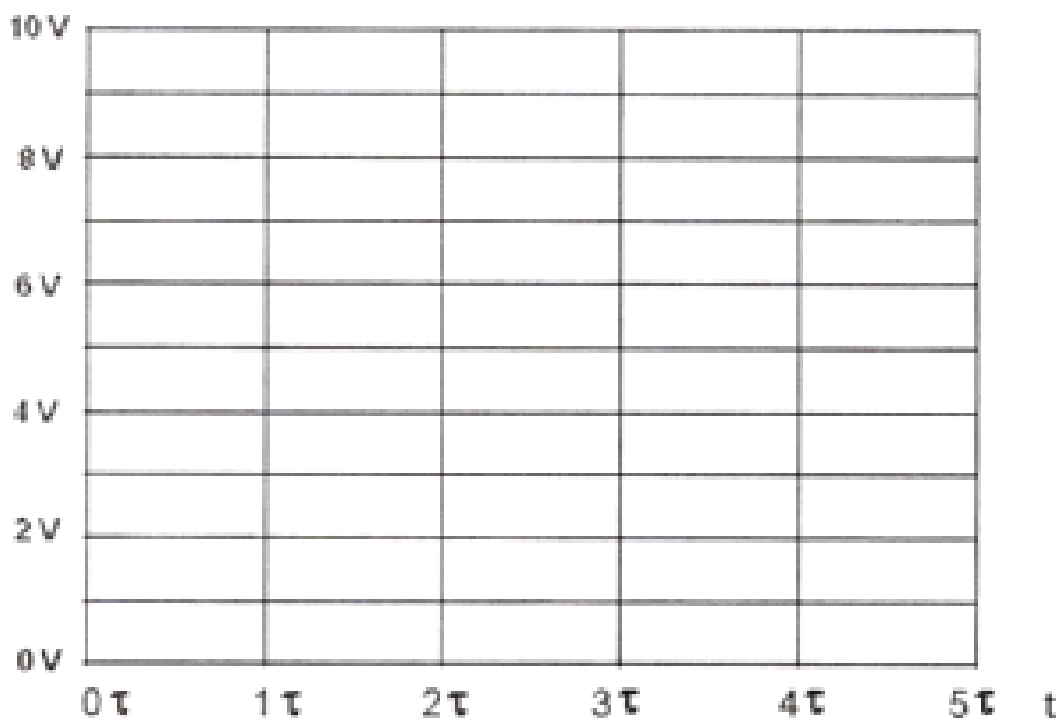
16. Powtórzyć krok 8 dla rozładowania zapisać wyniki w tabelicy 2-6-2.

Czas (t)	$0\tau = 0$	$1\tau =$	$2\tau =$	$3\tau =$	$4\tau =$	$5\tau =$
$V_{C1}$ (V)	10V	3,68				

Tablica 2-6-2

17. Powtórzyć krok 9 dla krzywej rozładowania.

18. Jeśli porówna się krzywe z kroków 14 i 17 tej procedury, to czy istnieje zgodność między nimi?



Rys. 2-6-8 Zmierzona krzywa ładowania

## WNIOSKI