

# LABORATORIUM Z PODSTAWOWYCH UKŁADÓW ELEKTRYCZNYCH

**KL-210**



**ROZDZIAŁ 1  
POMIARY PODSTAWOWE  
ROZDZIAŁ 2  
UKŁADY PRĄDU STAŁEGO  
ROZDZIAŁ 3  
UKŁADY PRĄDU PRZEMIENNEGO  
ROZDZIAŁ 4  
UKŁADY STEROWANIA I REGULACJI**

**MODUŁY:  
KL-22001,  
KL-24001, KL-24002,  
KL-24003, KL-24004**

# Spis treści

## Rozdział 1 Pomiary podstawowe

|   |    |
|---|----|
| Ćwiczenie 1-1 Pomiar rezystancji.....           | 3  |
| Ćwiczenie 1-2 Własności potencjometru.....      | 6  |
| Ćwiczenie 1-3 Pomiar napięcia stałego.....      | 10 |
| Ćwiczenie 1-4 Pomiar prądu stałego.....         | 12 |
| Ćwiczenie 1-5 Zastosowanie prawa Ohma.....      | 16 |
| Ćwiczenie 1-6 Pomiar napięcia przemiennego..... | 20 |
| Ćwiczenie 1-7 Pomiar prądu przemiennego.....    | 23 |

## Rozdział 2 Układy prądu stałego

|   |    |
|---|----|
| Ćwiczenie 2-1 Układy szeregowo-równoległe i prawa Kirchhoffa.....       | 26 |
| Ćwiczenie 2-2 Mostek Wheatstone'a.....                                  | 31 |
| Ćwiczenie 2-3 Zasada superpozycji, twierdzenia Thevenina i Nortona..... | 34 |
| Ćwiczenie 2-4 Moc w układzie prądu stałego.....                         | 38 |
| Ćwiczenie 2-5 Zasada dopasowania.....                                   | 41 |
| Ćwiczenie 2-6 Obwód prądu stałego RC i stany nieustalone.....           | 45 |
| Ćwiczenie 2-7 Obwód prądu stałego RL i stany nieustalone.....           | 52 |

## Rozdział 3 Układy prądu przemiennego

|  |    |
|--|----|
| Ćwiczenie 3-1 Obwód prądu przemiennego RC.....       | 55 |
| Ćwiczenie 3-2 Obwód prądu przemiennego RL.....       | 59 |
| Ćwiczenie 3-3 Obwód prądu przemiennego RLC.....      | 62 |
| Ćwiczenie 3-4 Szeregowy obwód rezonansowy.....       | 65 |
| Ćwiczenie 3-5 Równoległy obwód rezonansowy.....      | 71 |
| Ćwiczenie 3-6 Moc w układzie prądu przemiennego..... | 75 |

## Rozdział 4 Układy sterowania i regulacji

|   |    |
|---|----|
| Ćwiczenie 4-1 Regulator poziomu wody..... | 78 |
| Ćwiczenie 4-2 Wykrywacz metali.....       | 82 |
| Ćwiczenie 4-3 Sterownik świateł.....      | 88 |

# Rozdział 1 Pomiary podstawowe

## Ćwiczenie 1-1 Pomiar rezystancji

### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Zaznajomienie się z podstawową konstrukcją omomierza.
2. Nauczenie się, jak mierzyć rezystancję za pomocą omomierza

### DYSKUSJA

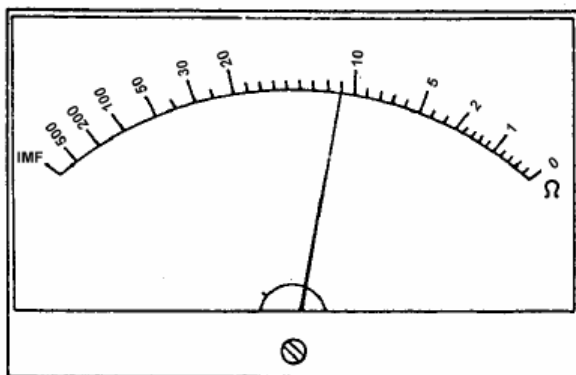
Wszystkie materiały znane w przyrodzie charakteryzują się rezystancją elektryczną, która jest miarą oporu, jaką materiały te stawiają przepływowi prądu w obwodzie elektrycznym. Rezystancję elektryczną mierzy się w omach, oznaczanych symbolem  $\Omega$ . Rezystancję równą jeden om można zdefiniować jako rezystancję przewodu miedzianego o długości 300 metrów i średnicy 0,25 cm. Przyrząd używany do pomiaru rezystancji jest nazywany omomierzem.

Omomierz zawiera z założenia źródło zasilania (zwykle jest nią bateria), miliamperomierz oraz przełącznik podzakresów służący do wyboru wewnętrznych wzorcowanych rezystorów. Skala miernika jest skalibrowana do wielkości rezystancji, której odpowiada przepływowi prądu o określonej wartości. Rezystancję o nieznannej wartości dołącza się do wyprowadzeń pomiarowych omomierza, poczym odczytuje się wartość rezystancji, którą wskazuje na skali wskazówka.

Omomierz jest typową, osobną funkcją innego przyrządu pomiarowego takiego jak multimetr cyfrowy lub analogowy. Skala omomierza w mierniku analogowym jest podzielona na nierówne działki zagęszczające się wraz ze wzrostem wskazywanej rezystancji, jak to przedstawiono na rys. 1-1-1. Skala taka jest nazywana nieliniową. Zależnie od typu użytego przyrządu wartość równa 0 omów może być naniesiona na lewym lub prawym skraju tej skali. Większość omomierzy ze wskazaniem analogowym ma pokrętko służące do zerowania przed pomiarem wskazania rezystancji.

Gdy testowany element jest włączony w układ elektryczny, to przed dołączeniem do niego omomierza (w celu pomiaru rezystancji), trzeba bezwzględnie wyłączyć zasilanie tego układu. Kolejne kroki procedury pomiarowej rezystancji za pomocą omomierza są następujące:

1. Przełącznikiem podzakresów ustawić właściwy podzakres pomiarowy. Multimetr analogowy ma zwykle podzakresy:  $R \times 1$ ,  $R \times 10$ ,  $R \times 100$ ,  $R \times 1k$  i  $R \times 10k$ .
2. Dołączyć do gniazd pomiarowych przewody pomiarowe. Połączyć ze sobą (zewrzeć) końce sond przewodów pomiarowych i pokrętkiem zerowania wyzerować wskazanie omomierza.
3. Dołączyć końce sond przewodów pomiarowych do wyprowadzeń elementu (takiego, jak np. rezystor), którego rezystancję chcemy zmierzyć i odczytać na skali wskazanie omomierza.
4. Określić zmierzoną wartość rezystancji obliczając iloczyn wskazania na skali i tzw. mnożnika podzakresu. Na przykład, gdy ustawi się podzakres  $R \times 10$ , a wskazanie na skali będzie 11, jak przedstawiono na rys. 1-1-1, to wynik pomiaru rezystancji będzie  $110 \Omega$ .



Rys. 1-1-1 Skala omomierza

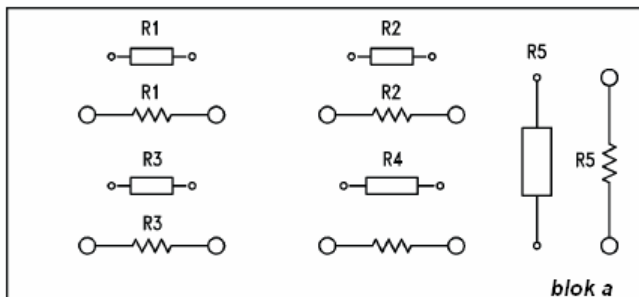
Multimetry cyfrowe mają zwykle podzakresy: 200, 2k, 20k, 200k i 2 M. Aby za pomocą multimetru cyfrowego zmierzyć rezystancję, należy wybrać odpowiedni podzakres i bezpośrednio odczytać na wyświetlaczu wynik pomiaru rezystancji. Jeśli tzw. wartość pełnozakresowa danego podzakresu jest mniejsza niż mierzona rezystancja, to na wyświetlaczu pojawi się znak przepełnienia. Jest nim zwykle cyfra „1”.

## **NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY**

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-24001 – moduł elementów podstawowych
3. Multimetr

## PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-24001 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a.



Rys. 1-1-2 Moduł KL-24001 blok a

2. Posługując się omomierzem zmierzyć rezystancję rezystorów w bloku a i otrzymane wyniki zapisać w tabelicy 1-1-1.

| Rezystor | Zmierzona wartość ( $\Omega$ ) |
|----------|--------------------------------|
| R1       |                                |
| R2       |                                |
| R3       |                                |
| R4       |                                |
| R5       |                                |

Tablica 1-1-1

## PODSUMOWANIE

Gdy do pomiaru rezystancji rezystora znajdującego się w układzie używa się omomierza, to przed pomiarem należy wyłączyć zasilanie tego układu, aby uchronić omomierz przed zniszczeniem. Aby zapewnić możliwie największą dokładność wykonywanych pomiarów, w trakcie testu nie dotykać palcami testowanego rezystora.

# Ćwiczenie 1-2 Własności potencjometru

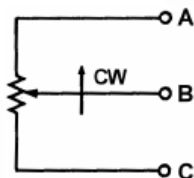
## PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie własności potencjometru.
2. Zmierzenie rezystancji ustawianych potencjometrem.

## DYSKUSJA

Rezystory można podzielić na dwa typy: rezystory o ustalonej wartości rezystancji i rezystory o rezystancji zmienianej (potencjometry i rezystory nastawne). Rezystor o ustalonej rezystancji ma dwa wyprowadzenia, rezystor nastawny lub potencjometr ma ich trzy.

Symbol układowy rezystora o rezystancji zmienianej przedstawiono na rys. 1-2-1. Ma on po bokach dwa wyprowadzenia A i C oraz wyprowadzenie suwaka B. Rezystancja między wyprowadzeniami bocznymi  $R_{AC}$  ma wartość ustaloną, zawsze równą wartości znamionowej tego rezystora. Rezystancje między wyprowadzeniem suwaka a wyprowadzeniami bocznymi  $R_{AB}$  i  $R_{BC}$  mają wartości różne, zależne od ustawienia suwaka (kąta obrotu osi potencjometru). Gdy używa się potencjometru, którego rezystancja zmienia się liniowo, to rezystancja między suwakiem a wyprowadzeniem bocznym jest proporcjonalna do kąta obrotu osi potencjometru. Zawsze jednak suma rezystancji  $R_{AB}$  i  $R_{BC}$  jest równa rezystancji  $R_{AC}$ . Własności rezystora nastawnego są takie same jak potencjometru.



Rys. 1-2-1 Rezystor zmienny



Zmierzyć i zapisać wartość rezystancji, gdy pokrętko potencjometru jest całkowicie skręcone w prawo.

$$R_{23} = \text{_____} \Omega$$

4. Przekręcić potencjometr VR1 całkowicie w lewo. Zmierzyć i zapisać wartość rezystancji między wyprowadzeniami 1 i 2.

$$R_{12} = \text{_____} \Omega$$

Przekręcić pokrętko potencjometru całkowicie w prawo, cały czas obserwując wskazanie omomierza.

Czy rezystancja rośnie? \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać wartość rezystancji, gdy pokrętko potencjometru jest całkowicie skręcone w prawo.

$$R_{12} = \text{_____} \Omega$$

5. Zmierzyć i zapisać wartości innych rezystancji podanych w tablicy 1-2-1.  
6. Sprawdzić dane w kolumnie  $R_{12}+R_{23}$  tablicy 1-2-1 kroku 2 tej procedury.

Czy równanie  $R_{12}+R_{23} = R_{13}$  jest prawdziwe? \_\_\_\_\_

| Pozycja osi potencjometru | $R_{12}$ | $R_{23}$ | $R_{12}+R_{23}$ |
|---------------------------|----------|----------|-----------------|
| Całkowicie w lewo         |          |          |                 |
| ¼ obrotu                  |          |          |                 |
| ½ obrotu                  |          |          |                 |
| ¾ obrotu                  |          |          |                 |
| Całkowicie w prawo        |          |          |                 |

## PODSUMOWANIE

Zakończyliśmy wykonywanie ćwiczenia na temat własności potencjometru i rezystora nastawnego. Na podstawie kolejnych kroków powyższej procedury można wysnuć wniosek, że rezystancja  $R_{13}$  potencjometru jest ustalona, a rezystancje między suwakiem a bocznymi wyprowadzeniami  $R_{12}$  i  $R_{23}$  zmieniają się zależnie od kąta obrotu osi potencjometru, przy czym równość  $R_{12} + R_{23} = R_{13}$  jest zawsze słuszna.



# Ćwiczenie 1-3 Pomiar napięcia stałego

## PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Nauczenie się, jak mierzyć napięcie stałe.
2. Zapoznanie się z działaniem modułu KL-22001.
3. Nauczenie się, jak poprawnie używać woltomierza.

## DYSKUSJA

Siła, która zmusza prąd do przepływu przez dany element układu elektrycznego jest nazywana siłą elektromotoryczną (E) lub napięciem. Napięcie mierzy się w woltach.

KL-22001 - podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych, zawiera dwa zasilacze napięcia stałego, jeden o napięciu wyjściowym ustawionym na stałe, drugi o napięciu wyjściowym regulowanym. Oba zasilacze mieszczą się w dolnym, prawym rogu jednostki głównej. Zasilacz o napięciu wyjściowym ustawionym na stałe dostarcza oddzielnie napięć stałych +5 V, -5 V, +12 V i -12 V. Drugi zasilacz dostarcza napięcie stałe regulowane dodatnie (od +3 do +18 V) i napięcie stałe regulowane ujemne (od -18 V do -3 V). Oba napięcia (tzw. symetryczne) są regulowane jednocześnie jednym pokrętkiem. Niezależnie od ustawienia pokrętkła, oba napięcia mają zawsze równą wartość, lecz różną polaryzację.

Woltomierz jest przyrządem używanym do pomiaru napięcia. Należy go włączyć równolegle do wyprowadzeń elementu (układu), na którym chcemy mierzyć napięcie. Woltomierz z założenia ma dużą rezystancję wewnętrzną tak, aby nie wpływał na układ, w który jest włączony.

Gdy do pomiaru napięcia stałego używa się woltomierza analogowego, to jest bardzo ważne, aby przed włączeniem zasilania układu pomiarowego sprawdzić polaryzację tego napięcia i wybrany podzakres pomiarowy. Odwracając polaryzację lub wybierając podzakres zbyt niski, spowoduje się, że wskazówka uderzy w mechaniczny odbój umieszczony się na końcu skali. Jeśli to nastąpi to woltomierz może ulec uszkodzeniu i dalsze wykonywanie pomiaru (uzyskanie poprawnego wyniku) może nie być już możliwe.

Podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych KL-22001 jest wyposażony w cyfrowy woltomierz / amperomierz o długości 3 ½ cyfry, służący odpowiednio do pomiaru stałego napięcia i prądu. Aby zmierzyć napięcie stałe, trzeba po prostu dołączyć wyprowadzenia DC VOLTAGE i COM woltomierza równolegle do testowanego ukła-

du lub elementu, wybrać przyciskiem właściwy podzakres pomiarowy napięcia (2 V lub 200 V) i odczytać wynik pomiaru napięcia na wyświetlaczu złożonym z siedmiosegmentowych wskaźników typu LED. Jeśli polaryzację odwróci się, to na wyświetlaczu, po lewej stronie pojawi się znak minus (-). Jeśli zostanie wybrany podzakres zbyt niski, to pojawi się znak przepelnienia „1” tj. przekroczenia podzakresu pomiarowego.

## **NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY**

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych

## **PROCEDURA**

1. Dołączyć wejście zasilania modułu KL-22001 do sieci, poczym włączyć główny wyłącznik zasilania. Następnie przekręcić pokrętkę regulacji napięcia wyjściowego zasilacza całkowicie w lewo (położenie odpowiadające napięciu minimalnemu).
2. Połączyć wyprowadzenie napięcia stałego cyfrowego miernika napięcia/prądu z wyprowadzeniem plusa napięcia zasilacza (o regulowanym napięciu wyjściowym), a wyprowadzenie COM z wyprowadzeniem GND2. Ustawić podzakres pomiarowy na 20 V.
3. Zmierzyć i zapisać wskazanie napięcia stałego na wyświetlaczu.

$$E = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

4. Powoli kręcąc pokrętkę regulacji napięcia prawo, obserwować cały czas zmiany wskazania woltomierza.

Czy napięcie wskazywane przez woltomierz rośnie, gdy pokrętkę regulacji napięcia kręci się w prawo?

\_\_\_\_\_

Gdy pokrętkę regulacji napięcia zostanie przekręcone maksymalnie w prawo, zapisać wskazanie wyświetlacza woltomierza.

$$E = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

Napięcie to jest maksymalnym, dostępnym, dodatnim napięciem wyjściowym uzyskiwanym z zasilacza modułu KL-22001.

Rozłączyć połączenie woltomierza z plusem napięcia zasilania.

Przekręcić z powrotem pokrętko regulacji napięcia do pozycji odpowiadającej napięciu minimalnemu (maksymalnie w lewo).

5. Połączyć wyprowadzenie napięcia stałego cyfrowego miernika napięcia/prądu z wyprowadzeniem minusa napięcia zasilacza V- (o regulowanym napięciu wyjściowym), a wyprowadzenie COM z wyprowadzeniem GND2. Ustawić podzakres pomiarowy na 20 V.

Zmierzyć i zapisać wskazanie napięcia stałego na wyświetlaczu.

$$E = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

6. Powoli kręcąc pokrętką regulacji napięcia prawo, cały czas obserwować zmiany wskazania woltomierza.

Gdy pokrętką regulacji napięcia kręci się w prawo, to czy napięcie wskazywane przez woltomierz rośnie?

\_\_\_\_\_

Gdy pokrętko regulacji napięcia zostanie przekręcone maksymalnie w prawo, zapisać wskazanie wyświetlacza woltomierza.

$$E = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$$

Napięcie to jest maksymalnym, dostępnym, ujemnym napięciem wyjściowym uzyskiwanym z zasilacza modułu KL-22001.

## **PODSUMOWANIE**

Zakończyliśmy już naukę obsługi zasilacza napięcia stałego znajdującego się w module KL-22001. Zasilacz ten dostarcza napięcie stałe regulowane w zakresie od  $\pm 3 \text{ V}$  do  $\pm 18 \text{ V}$ , które uzyskuje się kręcąc pokrętką regulacji napięcia od położenia odpowiadającego wartości minimalnej tego napięcia do maksymalnej. Wykorzystując wyprowadzenia V+ i V- tego zasilacza, można uzyskać napięcie wyjściowe stałe regulowane w zakresie od 6 V do 36 V.

Poznaliśmy już metodę pomiaru napięcia stałego i reguły związane z pomiarem tego typu. Woltomierz mierzący napięcie stałe łączy się zawsze równolegle z elementem układu, na którym napięcie chcemy mierzyć. Należy też jeszcze poprawnie wybrać polaryzację i podzakres tego napięcia.

# Ćwiczenie 1-4 Pomiar prądu stałego

## PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Nauczenie się, jak używać amperomierza prądu stałego.
2. Nauczenie się, jak mierzyć przepływ prądu w obwodzie.

## DYSKUSJA

Jeśli do układu zostanie dołączone źródło napięcia, to przez ten układ popłynie prąd elektryczny. Amperomierz jest przyrządem używanym do pomiaru przepływu prądu w takim układzie. Należy go włączyć szeregowo z tym elementem układu, przez który prąd przepływający chcemy zmierzyć. Jednostką pomiarową prądu jest amper (A).

Gdy amperomierz włączy się w układ, to rezystancja tego przyrządu doda się do rezystancji elementu (np. rezystora) włączonego z nim szeregowo. Stąd też prąd płynący przez ten element zmniejszy się. Aby zminimalizować ten niekorzystny wpływ, konstrukcja amperomierza jest taka, aby miał on jak najmniejszą rezystancję.

Prąd musi zawsze wpływać przez wyprowadzenie dodatnie amperomierza prądu stałego (d.c.) i wypływać przez jego wyprowadzenie ujemne. Zmieniając polaryzację lub ustawiając podzakres zbyt niski spowoduje się, że wskazówka amperomierza uderzy w odbój znajdujący się na końcu skali i amperomierz może ulec uszkodzeniu.

Podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych KL-22001 jest wyposażony w amperomierz analogowy d.c. i amperomierz cyfrowy d.c. Analogowy miernik prądu stałego jest miliamperomierzem o zakresie pomiarowym  $\pm 50$  mA i z punktem zerowym umieszczonym na środku skali. Aby uzyskać dodatnie wskazanie miernika, trzeba pamiętać o przestrzeganiu polaryzacji zaznaczonej na obudowie obok jego gniazd pomiarowych. Jeśli doprowadzenia miernika zamieni się miejscami, to wskazówka miernika wychyli się w kierunku ujemnym.

Cyfrowy miernik prądu stałego jest wyposażony w wyświetlacz o długości  $3 \frac{1}{2}$  cyfry i dwa podzakresy pomiarowe 200  $\mu$ A i 2 A wybierane przyciskiem oznaczonym symbolem A. Gdy przez wyprowadzenie DC CURRENT i COM płynie prąd, to wyświetlacz złożony ze wskaźników siedmiosegmentowych wskazuje wartość tego prądu. Wyświetlony znak mi-

nus (-) oznacza polaryzację odwróconą, a znak przepelnienia („1”) sygnalizuje, że wybrany podzakres jest zbyt niski.

Jest możliwe zbudowanie zamiennika amperomierza prądu stałego przez połączenie woltomierza prądu stałego równolegle ze znaną rezystancją. Gdy zamiennik takiego amperomierza włączy się szeregowo w układ lub szeregowo z elementem takim jak rezystor, to płynący przez niego prąd wytworzy spadek napięcia na rezystorze o znanej rezystancji, a wartość tego spadku wskaże woltomierz. Na podstawie znajomości napięcia można obliczyć wartość prądu z równania  $I = E / R$ . W praktyce można wyskalować skalę woltomierza w jednostkach prądu, co pozwoli na bezpośredni odczyt wyników pomiaru prądu.

## **NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY**

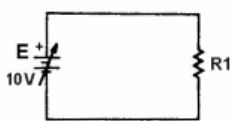
1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-24002 – podstawowy moduł do ćwiczeń z elektryczności
3. Multimetr

## **PROCEDURA**

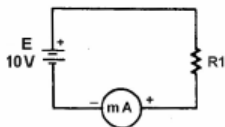
1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a.
2. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 1-4-1(a) i schematem montażowym przedstawionym na rys. 1-4-1(c). Dołączyć plus napięcia (+V) i masę odpowiednio do wyprowadzeń V+ i GND2 zasilacza o napięciu regulowanym i znajdującym się w module KL-22001. Dołączyć wyprowadzenia mA do analogowego miernika prądu stałego znajdującego się w module KL-22001.
3. Z wzoru  $I = E / R_1$ , w którym  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$  obliczyć i zanotować wartość prądu w układzie przedstawionym na rys. 1-4-1(a).  $I = \underline{\hspace{2cm}}$  mA
4. Dołączyć woltomierz do wyprowadzeń V+ i GND2 (masa) zasilacza o napięciu wyjściowym regulowanym i ustawić dodatnie napięcie wyjściowe na +10 V. Po ustawieniu napięcia odłączyć woltomierz.
5. Posługując się miliamperomierzem zmierzyć i zanotować prąd w układzie przedstawionym na rys. 1-4-2(c).

$I = \underline{\hspace{2cm}}$  mA

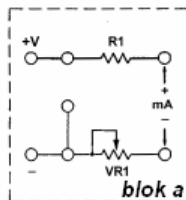
Czy istnieje wystarczająca zgodność między wartościami zmierzoną i obliczoną?



(a) Układ teoretyczny

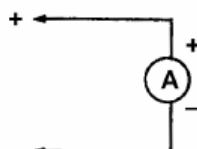
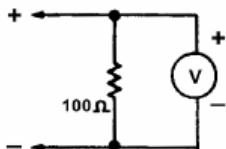


(b) Miliamperomierz włączony w obwód



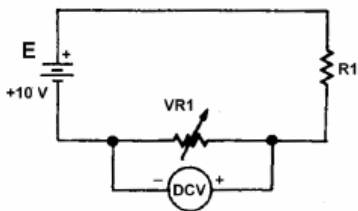
(c) Schemat montażowy (KL-24002 blok a)

6. Układ równoważnego (zastępczego) amperomierza można zbudować w prosty sposób, łącząc rezystor o znanej wartości równoległe z woltmierzem. Patrz rys. 1-4-2. Amperomierz równoważny jest miliamperomierzem o wskazaniu pełnozakresowym równym 10 mA.

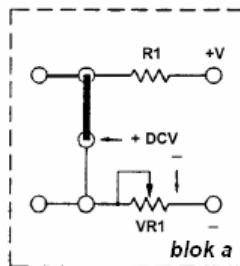


Rys. 1-4-2 Miliamperomierz równoważny (na prąd 10 mA)

7. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 1-4-3(a) i schematem montażowym przedstawionym na rys. 1-4-3(b). Ustawić potencjometr VR1 znajdujący się w lewym, górnym rogu modułu KL-24002 na 100  $\Omega$ , i ustawiony w takiej pozycji dołączyć do bloku a. Do wyprowadzeń V+ i V- bloku a, doprowadzić napięcie stałe +10 V z zasilacza o napięciu regulowanym i znajdującym się w module KL-22001.



(a) Miliamperomierz równoważny



(b) Schemat montażowy (KL-24002 blok a)

Rys. 1-4-3 Układy konstrukcyjne miliamperomierza prądu stałego

8. Zmierzyć napięcie wskazywane przez woltomierz.  $E_{VR1} = \underline{\hspace{2cm}}$  V
9. Obliczyć wartość prądu dzieląc wynik pomiaru napięcia uzyskany w kroku 8 niniejszej procedury przez  $100 \Omega$ .  
 $I = \underline{\hspace{2cm}}$  mA

## PODSUMOWANIE

Zakończyliśmy już pomiar prądu stałego posługując się w tym celu amperomierzami rzeczywistym i równoważnym. W kroku 8 niniejszej procedury uzyskaliśmy różnicę równą  $0,9$  mA między wartością obliczoną i zmierzoną. Spowodował ją rezystor o znanej wartości połączony szeregowo z rezystorem  $R1$ . Spowodowało to kolei, że rezystancja całkowita wyniosła  $1,1 \text{ k}\Omega$  ( $100 \Omega + 1 \text{ k}\Omega$ ); w wyniku, czego prąd  $I$  zmniejszył się do wartości  $9,09$  mA ( $I = E / R = 10 \text{ V} / 1,1 \text{ k}\Omega$ ).

# Ćwiczenie 1-5 Zastosowanie prawa Ohma

## PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Sprawdzenie prawa Ohma.
2. Nauczenie się, jak stosować prawo Ohma do analizy układów.

## DYSKUSJA

Prawo Ohma odkryte przez niemieckiego fizyka Szymona Ohma (1787-1854) jest ważnym prawem opisującym zależność między napięciem  $E$  a prądem  $I$  i rezystancją  $R$ . Prawo to jest często używane do analizy układów elektrycznych i jest wyrażane na różne sposoby:

$$I = E / R, \quad E = I R \quad \text{lub} \quad R = E / I$$

gdzie:

$E$  = różnica potencjałów występująca między zakończeniami elementu rezystancyjnego mierzona w woltach,

$I$  = prąd płynący przez ten element rezystancyjny mierzony w amperach,

$R$  = rezystancja tego elementu zmierzona w omach.

Należy pamiętać, że zmniejszenie rezystancji zwiększa wartość prądu, a zwiększenie napięcia również zwiększa wartość prądu.



## 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

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a.
2. Posługując się omomierzem zmierzyć i zanotować wartość rezystancji R1.  
R1 = \_\_\_\_\_ k $\Omega$   
Czy wynik pomiaru mieści się w zakresie tolerancji znamionowej 1 k $\Omega$   $\pm$ 5%? \_\_\_\_\_
3. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 1-5-1. Dołączyć woltmierz do wyprowadzeń plusa napięcia (+V) i masy (GND2) zasilacza o regulowanym napięciu wyjściowym, a znajdującym się w module KL-22001 i ustawić jego dodatnie napięcie wyjściowe na +10 V. Następnie woltmierz odłączyć.
4. Posługując się prawem Ohma i biorąc pod uwagę wartości z kroków 2 i 3 niniejszej procedury, obliczyć i zanotować wartość prądu.

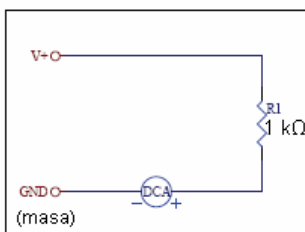
$$I = \text{_____ mA}$$

5. Zmierzyć i zanotować wynik pomiaru prądu wskazywany przez miliamperomierz.

$$I = \text{_____ mA}$$

Czy istnieje zgodność między wartościami prądu zmierzoną i obliczoną?

\_\_\_\_\_



Rys. 1-5-1



## PODSUMOWANIE

Zakończyliśmy wykonywanie ćwiczenia, w którym zapoznaliśmy się zastosowaniem prawa Ohma. Prąd w 4 kroku poniższej procedury oblicza się ze wzoru:

$$I = E / R = 10 \text{ V} / 1 \text{ k}\Omega = 10 \text{ mA}$$

W 7 kroku procedury obliczono napięcie z poniższego wzoru:

$$E = I \times R = 15 \text{ mA} \times 1 \text{ k}\Omega = 15 \text{ V}$$

W kroku 11 procedury obliczono rezystancję z poniższego wzoru:

$$R = E / I = 10 \text{ V} / 5 \text{ mA} = 2000 \Omega$$

# Ćwiczenie 1-6 Pomiar napięcia przemiennego

## PRZEDMIOT ĆWICZENIA

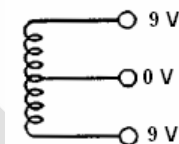
1. Nauczenie się, jak mierzyć napięcie przemiennie.
2. Zapoznanie się z obsługą woltomierza napięcia przemiennego.

## DYSKUSJA

Woltomierz napięcia przemiennego jest użytecznym przyrządem używanym do pomiaru napięć przemiennych. Należy dołączać go równolegle do wyprowadzeń elementu układu, na którym napięcie chcemy zmierzyć. Wartość napięcia wskazywanego przez taki woltomierz jest wartością skuteczną tego napięcia.

Przy pomiarze napięć za pomocą woltomierza napięcia przemiennego używa się tych samych reguł jak w przypadku woltomierza napięcia stałego, z wyjątkiem zagadnie dotyczących polaryzacji. Ponieważ napięcie przemiennie zmienia swój znak co pół okresu, zatem woltomierze napięcia przemiennego projektuje się bez ograniczeń odnośnie polaryzacji. Pomiar napięcia przemiennego można też wykonać używając do tego zakresu napięcia przemiennego (ACV) multimetru cyfrowego lub analogowego.

Źródło napięcia przemiennego znajdujące się w module KL-2001 wykorzystuje transformator sieciowy o przekładni obniżającej i odczep na środku uzwojenia wtórnego, z którego uzyskuje się przemiennie napięcie symetryczne  $9\text{ V} - 0 - 9\text{ V}$ , jak przedstawiono to na rys. 1-6-1.



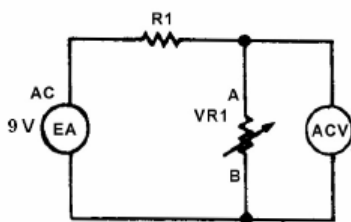
Rys. 1-6-1 Źródło napięcia przemiennego w module KL-22001

## NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

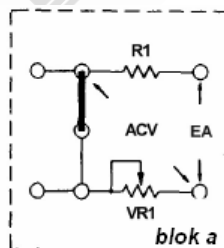
1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-24002 – podstawowy moduł do ćwiczeń z elektryczności
3. Multimetr

## PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a.
2. Posługując się woltmierzem napięcia przemiennego (multimetr ustawiony na podzakres ACV) zmierzyć i zanotować wartość napięcia przemiennego źródła na wyprowadzeniach 0-9 V.  $E_A = \text{_____ V}$   
Zamienić miejscami sondy pomiarowe multimetru i ponownie zmierzyć to napięcie przemiennie  $E_A = \text{_____ V}$ .  
Czy istnieje zgodność wskazań tych dwóch pomiarów? \_\_\_\_\_
3. Ustawić potencjometr VR1 na 1 k $\Omega$  (wyprowadzenia 1 i 2). Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 1-6-2(a) i schematem montażowym przedstawionym na rys. 1-6-2(b). Dołączyć napięcie przemiennie 9 V ze źródła napięcia zasilającego znajdującego się w module KL-22001 to wyprowadzeń EA w bloku a.



(a) Układ teoretyczny



(b) Schemat montażowy (KL-24002 blok a)

Rys. 1-6-2 Układy pomiarowe napięcia przemiennego



# Ćwiczenie 1-7 Pomiar prądu przemiennego

## **PRZEDMIOT ĆWICZENIA**

1. Nauczenie się, jak używać amperomierza prądu przemiennego.
2. Nauczenie się, jak mierzyć prąd w obwodzie prądu przemiennego.

## **DYSKUSJA**

Amperomierz prądu przemiennego jest użytecznym przyrządem używanym do pomiaru prądu przemiennego w układzie. Należy go włączać szeregowo w gałąź układu, w której prąd chcemy zmierzyć. Podobnie jak w przypadku woltomierza napięcia przemiennego, wartość prądu wskazywanego przez taki amperomierz jest wartością skuteczną prądu przemiennego. Z wyjątkiem polaryzacji przy pomiarze prądów za pomocą amperomierza prądu przemiennego stosuje się te same reguły jak w przypadku amperomierza napięcia stałego.

Wybranie przed włączeniem amperomierza w układ odpowiedniego podzakresu mierzono-ego prądu jest ważnym czynnikiem zapewniającym uzyskanie potrzebnej dokładności pomiaru, ma też bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo użytkownika i przyrządu.

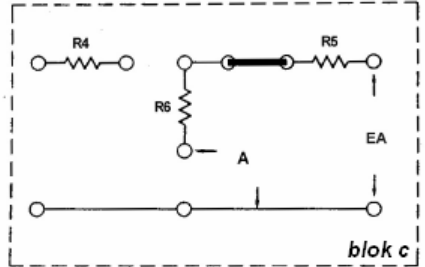
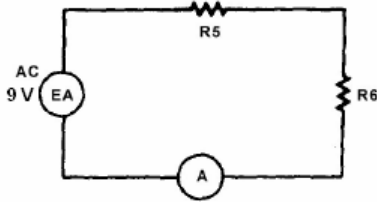
Jest możliwe zbudowanie równoważnego (zastępczego) amperomierza prądu przemiennego łącząc woltomierz napięcia przemiennego równolegle z rezystorem o znanej wartości. Zgodnie z prawem Ohma prąd, którego wartość chcemy znać jest stosunkiem zmierzono-ego napięcia przemiennego występującego na rezystancji o znanej wartości i wartości tej rezystancji.

## **NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY**

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-24002 – podstawowy moduł do ćwiczeń z elektryczności
3. Miliamperomierz prądu przemiennego
4. Multimetr

## PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok c.
2. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 1-7-1(a) i schematem montażowym przedstawionym na rys. 1-7-1(b). Napięcie EA wynoszące 0-9 V jest pobierane ze źródła napięcia przemiennego znajdującego się w module KL-22001.



(a) Układ teoretyczny

(b) Schemat montażowy (KL-24002 blok c)

Rys. 1-7-1 Układy pomiarowe prądu przemiennego

3. Obliczyć rezystancję całkowitą  $R_T = R_5 + R_6 =$  \_\_\_\_\_  $\Omega$ . ( $R_5=R_6=1 \text{ k}\Omega$ )  
Obliczyć z prawa Ohma prąd  $I = E_A / R_T =$  \_\_\_\_\_ mA.
4. Zmierzyć i zapisać wartość prądu w układzie z rys. 1-7-1.  $I =$  \_\_\_\_\_ mA  
Czy istnieje zgodność między wartościami  $I$  zmierzona a obliczona? \_\_\_\_\_

Uwaga: Jeśli nie posiada się miliamperomierza prądu przemiennego, to należy zmierzyć multimetrem ustawionym na zakres ACV napięcie występujące na rezystorze  $R_6$ , poczym z prawa Ohma obliczyć wartość prądu.

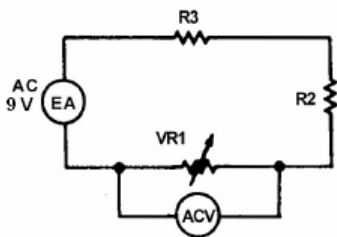
5. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok b. Ustawić potencjometr  $VR_1$  na  $1 \text{ k}\Omega$ . Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 1-7-2(a) i schematem montażowym przedstawionym na rys. 1-7-2(b). Dołączyć woltmierz napięcia przemiennego równolegle do potencjometru  $VR_1$ . Napięcie EA wynoszące 0-9 V jest pobierane ze źródła napięcia przemiennego znajdującego się w module KL-22001.

Jeśli rezystancja ustawiona potencjometrem  $VR_1$  wynosi  $1 \text{ k}\Omega$ , to wskazanie woltmierz równie  $1 \text{ V}$  odpowiada prądowi  $1 \text{ mA}$ .

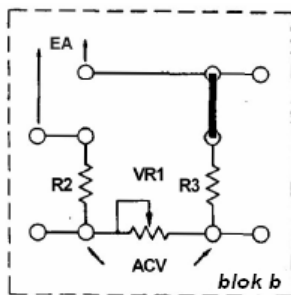
Zmierzyć i zanotować wartość napięcia.  $E_{VR_1} =$  \_\_\_\_\_ V.

Obliczyć wartość prądu  $I =$  \_\_\_\_\_ mA





(a) Układ teoretyczny



(b) Schemat montażowy (KL-24002 blok b)

Rys. 1-7-2 Układ równoważny miliamperomierza prądu przemiennego

## PODSUMOWANIE

Zakończyliśmy wykonywanie ćwiczenia przeznaczonego do pomiaru prądów przemiennych. W kolejnych krokach procedury zaznajomiliśmy się z użyciem amperomierza prądu przemiennego i sprawdziliśmy nim, czy prawo Kirchhoffa jest nadal słuszne również dla obwodów prądu przemiennego w „czysto” rezystancyjnych.

## Rozdział 2 Układy prądu stałego

### Ćwiczenie 2-1 Układy szeregowo-równoległe i prawa Kirchhoffa

#### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Nauczenie się rozróżniania obwodów szeregowych, równoległych i szeregowo-równoległych.
2. Zaznajomienie się z zastosowaniem praw Kirchhoffa.

#### DYSKUSJA

Po wykonaniu dotychczasowych ćwiczeń powinniśmy już z łatwością identyfikować układy zarówno szeregowy jak i równoległy. Lecz jest jeszcze jeden typ układu, ma on odgałęzienia będące obwodami równoległymi oraz szeregowo obciążenia lub elementy będące obwodami szeregowymi. Ponieważ układ ten jest kombinacją obwodów różnego typu, nazywa się go układem szeregowo-równoległym.

Istnieje wiele układów, które są tak złożone, że nie można rozwiązać ich stosując prawo Ohma. Takie układy mają wiele gałęzi i wiele źródeł zasilania, a użycie do ich rozwiązania prawa Ohma jest niepraktyczne lub wręcz niemożliwe. Metody rozwiązywania układów złożonych bazują na doświadczeniach wykonanych przez niemieckiego fizyka Gustawa Kirchhoffa. Efektem tych badań było otrzymanie przez Kirchhoffa dwóch wniosków znanych obecnie jako prawa Kirchhoffa:

#### Prądowe prawo Kirchhoffa

Prądowe prawo Kirchhoffa jest nazywane pierwszym prawem Kirchhoffa. Twierdzi ono, że suma prądów dopływających do jakiegokolwiek węzła sieci jest równa sumie prądów wypływających z tego węzła. Jeśli zatem do węzła wpływa prąd o natężeniu 1 A i wypływa dwoma ścieżkami, to zostanie podzielony na te dwie ścieżki tak, że suma prądów wypływających z węzła będzie równa 1 A. Własność tę można opisać zależnością matematyczną  $\sum I_{we} = \sum I_{wy}$  lub  $\sum I_{we} - \sum I_{wy} = 0$ , w których litera grecka  $\Sigma$  oznacza sumę.

## Napięciowe prawo Kirchhoffa

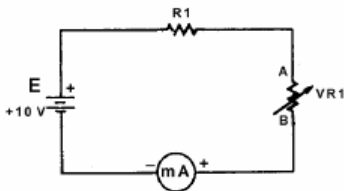
Napięciowe prawo Kirchhoffa znane powszechnie pod nazwą drugiego prawa Kirchhoffa twierdzi, że suma napięć w każdej zamkniętej pętli (oczku) jest zawsze równa sumie sił elektromotorycznych istniejących w tej pętli. Daje to zależność między spadkami napięcia w dowolnej zamkniętej pętli układu a źródłami napięcia w nią włączonymi. Zależność opisującą drugie prawo Kirchhoffa można zapisać podobnie jak w przypadku pierwszego prawa Kirchhoffa w postaci równości  $\sum E_S = \sum IR$  lub  $\sum E_S - \sum IR = 0$ . Przy rozwiązywaniu problemów układowych nie stosuje się zwykle samego drugiego prawa Kirchhoffa, lecz wraz z prawem pierwszym.

## NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

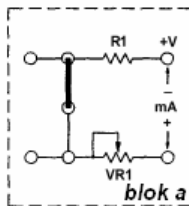
1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-24002 – podstawowy moduł do ćwiczeń z elektryczności

## PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a.
2. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 2-1-1 i schematem montażowym przedstawionym na rys. 2-1-2. Do wyprowadzenia V+ doprowadzić napięcie stałe +10 V z zasilacza o regulowanym napięciu wyjściowym znajdującego się w module KL-22001.

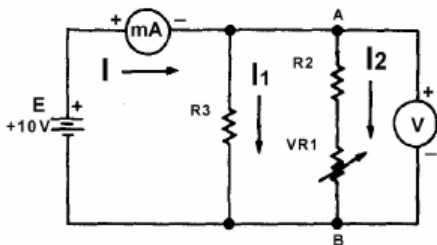


Rys. 2-1-1 Układ szeregowy

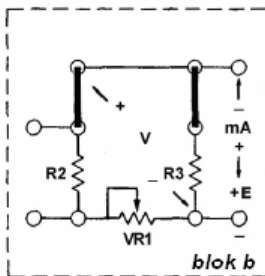


Rys. 2-1-2 Schemat montażowy (KL-24002 blok a)

3. Ustawić potencjometr VR1 na 1 k $\Omega$ .
4. Jakiego typu jest układ przedstawiony na rys. 2-1-1?  
 \_\_\_\_\_ (szeregowy, czy równoległy?)
5. Obliczyć rezystancję ze wzoru:  $R = R1 + VR1 =$  \_\_\_\_\_  $\Omega$ . ( $R1=1$  k $\Omega$ )  
 Obliczyć prąd  $I = E/R =$  \_\_\_\_\_ mA.
6. Dołączyć miliamperomierz do układu w sposób przedstawiony na rys. 2-1-1.  
 Zmierzyć i zapisać wartość prądu  $I =$  \_\_\_\_\_ mA.  
 Czy istnieje zgodność między wartościami zmierzoną i obliczoną?  
 \_\_\_\_\_
7. Ustawić potencjometr VR1 na 500  $\Omega$  i powtórzyć kroki 5 i 6 tej procedury. Wyniki zapisać poniżej.  
 \_\_\_\_\_
8. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczyn zlokalizować blok b. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 2-1-3 i schematem montażowym przedstawionym na rys. 2-1-4. Do wyprowadzenia +E doprowadzić napięcie stałe +10 V z zasilacza o regulowanym napięciu wyjściowym znajdującego się w module KL-22001.



Rys. 2-1-3 Układ równoległy



Rys. 2-1-4 Schemat blokowy (KL-24002 blok b)

9. Jakiego typu jest układ przedstawiony na rys. 2-1-3?  
 \_\_\_\_\_ (szeregowy, czy równoległy?)
10. Ustawić potencjometr VR1 na 1 kΩ i obliczyć rezystancję całkowitą  $R = \text{_____ } \Omega$ .
11. Między punkty A i B układu przedstawionego na rys. 2-1-3 włączyć woltmierz. Zmierzyć i zapisać wartość napięcia  $E = \text{_____ } V$ .  
 Czy wartość zmierzona jest równa wartości napięcia z kroku 3? \_\_\_\_\_
12. Kręcąc potencjometrem VR1 w prawo obserwować napięcie wskazywane przez woltmierz.  
 Czy w trakcie kręcenia potencjometrem VR1 napięcie się zmienia? \_\_\_\_\_
13. Ustawić potencjometr VR1 na 0 Ω. Włączyć w układ miliamperomierz w sposób przedstawiony na rys. 2-1-3.  
 Zmierzyć i zapisać wartość prądu całkowitego  $I = \text{_____ } mA$ .
14. Obliczyć prądy w gałęziach  
 $I_1 = E / R_3 = \text{_____ } mA$   
 $I_2 = E / R_2 = \text{_____ } mA$   
 Z prawa Kirchhoffa obliczyć wartość prądu całkowitego.  
 $I = I_1 + I_2 = \text{_____ } mA$   
 Czy istnieje zgodność między wartościami zmierzonymi i obliczonymi?  
 \_\_\_\_\_

## **PODSUMOWANIE**

Zakończyliśmy już wykonywanie tego ćwiczenia i zaznajomiliśmy się z użyciem praw Kirchhoffa. Te dwa prawa mogą wydawać się oczywiste, gdy bazuje się na tym, co się już wie z teorii obwodów. Należy jednak pamiętać, że każda użyta metoda nie może naruszać prawa Ohma, gdyż prawo Ohma jest podstawą teorii obwodów prądu stałego.

## Ćwiczenie 2-2 Mostek Wheatstone'a

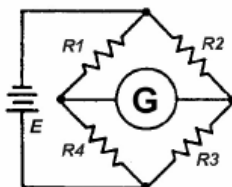
### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie własności układu mostka Wheatstone'a.
2. Poznanie zastosowań układu mostka Wheatstone'a.

### DYSKUSJA

Przedstawiony na rys. 2-2-1 układ mostek Wheatstone'a jest układem mostka rezystancyjnego szeroko stosowanego w układach przyrządów i przetworników. Główną własnością układu mostkowego jest możliwość jego zrównoważenia. Gdy mostek jest zrównoważony, to sygnał wychodzący z mostka jest równy zero. Oznacza to, że gdy mostek jest w stanie równowagi, to różnica potencjałów między wyprowadzeniami mostka, do których jest dołączony galwanometr jest równa zero i przez galwanometr prąd nie płynie. Warunek równowagi mostka można przedstawić następująco:

$$R1 \times R3 = R2 \times R4 \text{ lub } R1/R4 = R2/R3$$



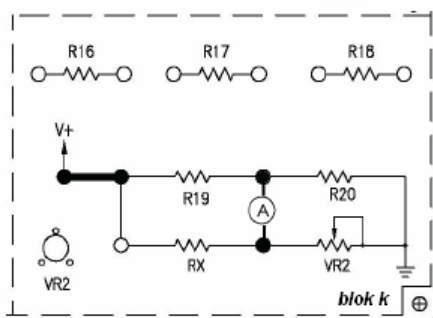
Rys. 2-2-1 Układ mostka Wheatstone'a

## NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

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

## PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok k.
2. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 2-2-1 i schematem montażowym przedstawionym na rys. 2-2-2.



Rys. 2-2-2 Schemat montażowy (KL-24002 blok k)

3. Do wyprowadzenia V+ znajdującego się w module KL-24002 doprowadzić napięcie stałe +5 V z zasilacza ustalonym napięciu wyjściowym znajdującego się w module KL-22001.
4. Umieścić rezystor R16 w pozycji oznaczonej RX i przekręcić potencjometr VR2 całkowicie w lewo lub prawo. Spowoduje to wytrącenie mostka ze stanu równowagi. Czy, gdy mostek jest w stanie braku równowagi, to przez mikroamperomierz ( $\mu\text{A}$ ) płynie jakikolwiek prąd? \_\_\_\_\_
5. Ustawić potencjometr VR2 w takim położeniu, aby mikroamperomierz wskazywał prąd równy zero. W tym momencie układ mostka pracuje w stanie równowagi. Wyłączyć zasilanie, wyjąć rezystor R16, odłączyć mikroamperomierz.



Zmierzyć i zapisać wartość rezystancji ustawionej potencjometrem VR2.

VR2 = \_\_\_\_\_  $\Omega$

6. Umieścić rezystor R17 w miejscu oznaczonym RX i dołączyć mikroamperomierz.

Powtórzyć kroki 4 i 5 tej procedury.

VR2 = \_\_\_\_\_  $\Omega$

7. Umieścić rezystor R18 w miejscu oznaczonym RX i dołączyć mikroamperomierz.

Powtórzyć kroki 4 i 5 tej procedury.

VR2 = \_\_\_\_\_  $\Omega$

## **PODSUMOWANIE**

Zakończyliśmy wykonywanie tego ćwiczenia i zrozumieliśmy sposób równoważenia układu mostka. Regulując wartość potencjometru VR można z łatwością wprowadzić mostek w stan równowagi. Nieznana wartość rezystancji Rx można otrzymać z równości:

$$R_x R_5 = R_4 VR_2$$

## Ćwiczenie 2-3 Zasada superpozycji, twierdzenia Thevenina i Nortona

### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Sprawdzenie zasady superpozycji.
2. Sprawdzenie twierdzenia Thevenina.
3. Sprawdzenie twierdzenia Nortona.

### DYSKUSJA

Gdy w układzie znajduje się więcej niż jedno źródło zasilania, to na przepływ prądu mają wpływ oba źródła. Aby rozwiązać ten problem bardziej skutecznie, przedstawimy trzy szeroko znane zasady teoretyczne.

#### Zasada superpozycji

Zasada superpozycji głosi, że w każdym obwodzie liniowym zawierającym jedno lub więcej źródeł zasilania, prąd w danym punkcie tej sieci jest sumą algebraiczną prądów wszystkich źródeł, to jest prądów, które by płynęły, gdyby każde z tych źródeł rozpatrywać indywidualnie, zastępując jednocześnie pozostałe źródła tylko ich rezystancjami wewnętrznymi.

#### Twierdzenie Thevenina

Twierdzenie Thevenina głosi, że każdy obwód liniowy składający się z rezystancji i źródeł zasilania, jeśli jest oglądany z danych dwóch punktów tej sieci, może być zastąpiony napięciowym źródłem zastępczym  $V_{TH}$  i połączoną z nim szeregowo rezystancją zastępczą  $R_{TH}$ .

#### Twierdzenie Nortona

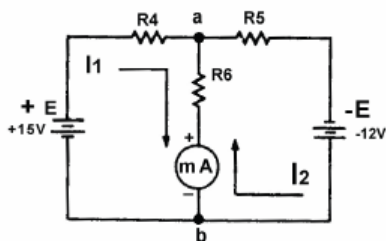
Twierdzenie Nortona głosi, że każdy obwód liniowy składający się z rezystancji i źródeł zasilania, jeśli jest oglądany z danych dwóch punktów tej sieci, może być zastąpiony prądowym źródłem zastępczym  $I_N$  i rezystancją zastępczą  $R_N$  połączoną równolegle z tym źródłem prądowym.

## NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

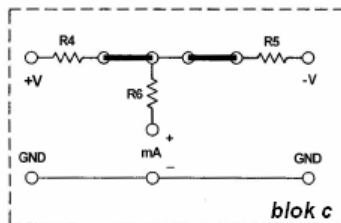
1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-24002 – podstawowy moduł do ćwiczeń z elektryczności

## PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok c.
2. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 2-3-1 i schematem montażowym przedstawionym na rys. 2-3-2.



Rys. 2-3-1



Rys. 2-3-2 Schemat montażowy (KL-24002 blok c)

3. Do wyprowadzeń V+ i V- dołączyć napięcie +15 V i odpowiednio -12 V z zasilacza o napięciu wyjściowym regulowanym znajdującego się w module KL-22001.
4. Włączyć szeregowo z miliamperomierzem rezystor R6. Zmierzyć i zanotować wartość prądu płynącego przez rezystor R6, którą wskazuje miliamperomierz.

$$I_{R6} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$$

**Uwaga:** Wartość prądu  $I_{R6}$  jest sumą prądu  $I_1$  wytwarzanego przez źródło napięcia zasilania +15 V oraz prądu  $I_2$  wytwarzanego przez źródło zasilania -12 V.





## Ćwiczenie 2-4 Moc w układzie prądu stałego

### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie definicji i funkcji mocy elektrycznej.
2. Nauczenie się, jak mierzyć moc wydzieloną w układzie prądu stałego.

### DYSKUSJA

Zadaniem źródła mocy w układzie elektrycznym jest dostarczenie energii elektrycznej do obciążenia. Obciążenie wykorzystuje tę energię do wykonania wielu użytecznych prac. Praca w dziedzinie elektryczności jest otrzymywana w wyniku ruchu ładunków elektrycznych tworzących prąd elektryczny. Moc jest szybkością wykonania danej pracy. Jednostką pomiarową mocy jest wat (W). Siła elektromotoryczna równa 1 V powodująca przepływ prądu elektrycznego równego 1 A odpowiada mocy 1 W. Podstawowym przyrządem do pomiaru mocy jest watomierz.

Moc elektryczną w układzie prądu stałego można wyrazić trzema poniższymi wzorami:

$$P = E \times I, \quad P = I^2 \times R, \quad P = E^2 / R,$$

w których: P = moc w watach

E = napięcie w woltach

I = prąd w amperach

R = rezystancja w omach

Gdy energia elektryczna jest doprowadzana do rezystora, to jest ona natychmiast przetwarzana na ciepło w wyniku, czego rezystor podgrzewa się. Im więcej energii jest wydzielane, tym temperatura staje się wyższa, aż osiąga punkt, w którym rezystor lub przyлегłe do niego elementy zapalą się. Aby utrzymać temperaturę rezystora na dopuszczalnym poziomie, rezystory te, w których muszą wydzielać się duże ilości ciepła robi się fizycznie duże, te zaś, w których wydziela się mało energii są wykonywane o rozmiarach mniejszych.

## NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

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

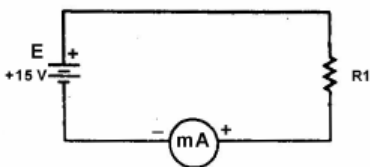
## PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a.
2. Posługując się omomierzem zmierzyć i zapisać wartość rezystancji  $R_1$  rezystora o parametrach znamionowych  $1\text{ k}\Omega \pm 5\%$ ,  $\frac{1}{2}\text{ W}$ .

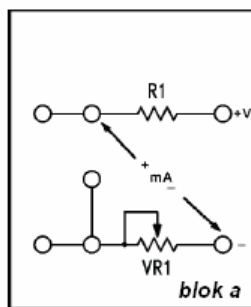
$R_1 = \text{_____ k}\Omega$

3. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 2-4-1 i schematem montażowym przedstawionym na rys. 2-4-2. Do wyprowadzenia +V w bloku a doprowadzić napięcie stałe +15 V zasilacza o regulowanym napięciu wyjściowym znajdującego się module KL-22001.
4. Zmierzyć i zapisać wartość prądu wskazywanego przez miliamperomierz.

$I = \text{_____ mA}$



Rys. 2-4-1



Rys. 2-4-2 Schemat montażowy (KL-24002 blok a)





## Ćwiczenie 2-5 Zasada dopasowania

### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Sprawdzenie zasady dopasowania
2. Zaznajomienie się z zasadą dopasowania

### DYSKUSJA

Zasada dopasowania twierdzi, że jeśli rezystancja obciążenia jest równa jego rezystancji zastępczej Thevenina, to obciążenie każdego obwodu liniowego pobiera ze źródła zasilania maksymalną moc.

Założmy teraz, że na rys. 2-5-1 przedstawiono układ zastępczy Thevenina. Zgodnie z prawem Ohma moc  $P_{RL}$  wydzieloną w obciążeniu  $R_L$  można wyrazić w sposób następujący:

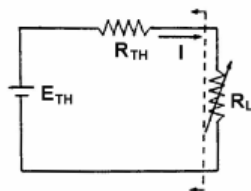
$$I = E_{TH} / (R_{TH} + R_L)$$

$$P_{RL} = I^2 \times R_L$$

$$P_{RL} = [E_{TH} / (R_{TH} + R_L)]^2 \times R_L$$

lub

$$P_{RL} = (E_{TH}^2 \times R_L) / (R_{TH} + R_L)^2$$

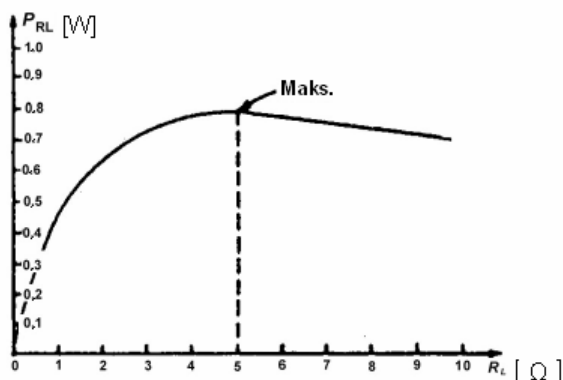


Rys. 2-5-1 Układ zastępczy Thevenina

Przypuśćmy że,  $E_{TH} = 4 \text{ V}$ , a  $R_{TH} = 5 \Omega$ , to moc  $P_{RL}$  można wyrazić wzorem:  $P_{RL} = 16 R_L / (5 + R_L)^2$ . Teraz obliczymy i zapiszemy każdą z wartości  $P_{RL}$  dla każdej wartości  $R_L$  z przedziału od  $1 \Omega$  do  $9 \Omega$ , co  $1 \Omega$ . Wyniki są przedstawione na rys. 2-5-1 i w postaci wykresu na rys. 2-5-2. Z danych zamieszczonych w tabelicy 2-5-1 lub rys. 2-5-2 można wyznaczyć maksymalną wartość mocy  $P_{RL}$ , która występuje, gdy  $R_L = R_{TH}$ .

Rezystancja Moc

|              |       |
|--------------|-------|
| 1            | 0,445 |
| 2            | 0,655 |
| 3            | 0,750 |
| 4            | 0,790 |
| 5            | 0,800 |
| 6            | 0,792 |
| 7            | 0,780 |
| 8            | 0,760 |
| 9            | 0,735 |
| [ $\Omega$ ] | [ W ] |



$$R_{TH} = R_L$$

Tablica 2-5-1

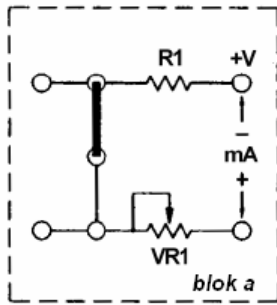
Rys. 2-5-2 Wykres zależności mocy od obciążenia

## 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

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczyni zlokalizować blok a.
2. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 2-5-1 i schematem montażowym przedstawionym na rys. 2-5-3. Dołączyć do układu potencjometr VR1 używając do tego przewodów połączeniowych.
3. Do wyprowadzenia V+ w bloku a doprowadzić stałe napięcie zasilania +15 V z zasilacza o napięciu wyjściowym regulowanym znajdującego się w module KL-22001. Wyłączyć zasilanie.



Rys. 2-5-3 Schemat montażowy (KL-24002 blok a)

4. Ustawić potencjometr VR1 na 250  $\Omega$ . (Niech  $R_1=R_{TH}$ ,  $VR_1=R_L$ )

Włączyć zasilanie.

Zmierzyć i zapisać prąd płynący przez potencjometr VR1 wskazywany przez miliamperomierz.  $I =$  \_\_\_\_\_ mA

Obliczyć i zapisać moc wydzieloną na potencjometrze VR1 używając do tego wzoru:  $P_{RL} = I^2 \times R_L$ ,  $P_{RL} =$  \_\_\_\_\_ W

Wyłączyć zasilanie.

5. Ustawić potencjometr VR1 na 500  $\Omega$  i powtórzyć krok4.

$I =$  \_\_\_\_\_ mA

$P_{RL} =$  \_\_\_\_\_ W

6. Ustawić potencjometr VR1 na 1 k $\Omega$  i powtórzyć krok4.

$I =$  \_\_\_\_\_ mA

$P_{RL} =$  \_\_\_\_\_ W

7. Ustawić potencjometr VR1 na 1,25 k $\Omega$  i powtórzyć krok4.

$I =$  \_\_\_\_\_ mA

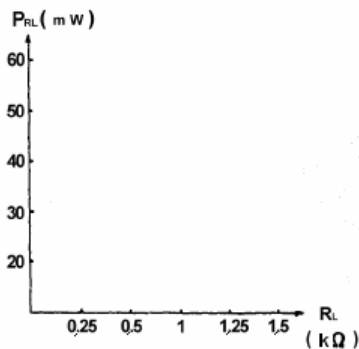
$P_{RL} =$  \_\_\_\_\_ W

8. Ustawić potencjometr VR1 na 1,5 k $\Omega$  i powtórzyć krok4.

$I =$  \_\_\_\_\_ mA

$P_{RL} =$  \_\_\_\_\_ W

9. Sporządzić na rys. 2-5-4 wykres używając do tego obliczonych przez siebie wartości  $P_{RL}$  i  $R_L$ .



Rys. 2-5-4 Wykres zależności mocy  $P_{RL}$  od obciążenia  $R_L$

## PODSUMOWANIE

Do tego momentu sprawdziliśmy w kolejnych krokach procedury zasadę dopasowania zapewniającego maksymalny przepływ mocy. Przeglądając wzory wymienione w dyskusji można zauważyć, że aby obliczyć moc  $P_{RL}$  trzeba znać wartości  $E_{TH}$ ,  $R_{TH}$  i  $R_L$ .

Innym prostym sposobem obliczenia mocy  $P_{RL}$  jest wzór  $P_{RL} = (E_{TH})^2 / 4R_{TH}$ . Pozwala to nam obliczyć moc  $P_{RL}$  w sytuacji, gdy wartość  $R_L$  nie jest znana. Wzór ten możemy wyprowadzić następująco:

Z rys. 3-5-1 uzyskujemy  $R_L = R_{TH}$ , a stąd:

$$I = E_{TH} / (R_{TH} + R_L) = E_{TH} / 2R_{TH}$$

$$P_{RL} = I^2 \times R_L$$

$$P_{RL} = (E_{TH} / 2R_{TH})^2 \times R_{TH}$$

$$P_{RL} = (E_{TH})^2 R_{TH} / 4(R_{TH})^2$$

$$P_{RL} = (E_{TH})^4 / 4R_{TH}$$

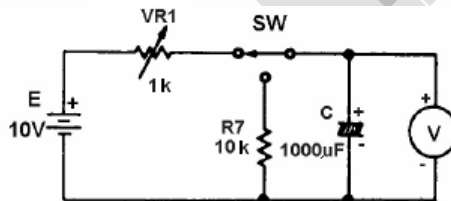
## Ćwiczenie 2-6 Obwód prądu stałego RC i stany nieustalone

### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Zrozumienie znaczenia stałej czasu w obwodzie RC
2. Poznanie zjawiska ładowania i rozładowania w obwodzie RC

### DYSKUSJA

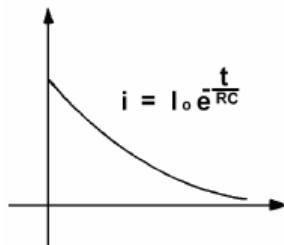
Kondensator jest elementem, który magazynuje energię elektryczną gromadząc w sobie ładunek elektryczny. Należy pamiętać, że całkowity ładunek zgromadzony w kondensatorze nie może zmienić się natychmiast. Na rys. 2-6-1 przedstawiono podstawowy obwód RC składający się z kondensatora, rezystorów, źródła 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  $I_0 = V/R$ .



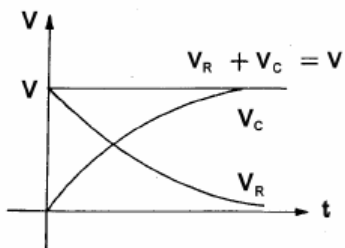
Rys. 2-6-1 Obwód RC

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  $V_R$  i napięcie na kondensatorze  $V_C$  zmieniają się wraz z czasem ładowania. Napięcie na kondensatorze można wyrazić wzorem  $V_C = V(1 - e^{-t/RC})$ , a napięcie na rezystorze  $V_R = Ve^{-t/RC}$ . 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  $V_R$  i  $V_C$  w trakcie ładowania

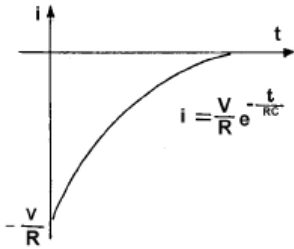
Załóżmy, że teraz napięcie na kondensatorze  $V_C$  jest równe napięciu źródła zasilania (baterii). Przelączając przelącznik łączymy rezystor  $R_7$  równolegle z kondensatorem  $C$ . Kondensator ten rozładowuje się teraz przez rezystor  $R_7$  (niech  $R_7 = R$ ). Prąd rozładowania, napięcie na kondensatorze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

$$I = -(V/R) e^{-t/RC},$$

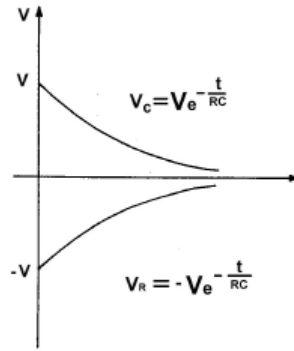
$$V_C = Ve^{-t/RC},$$

$$V_R = -Ve^{-t/RC}$$

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  $V_R$  i  $V_C$ .

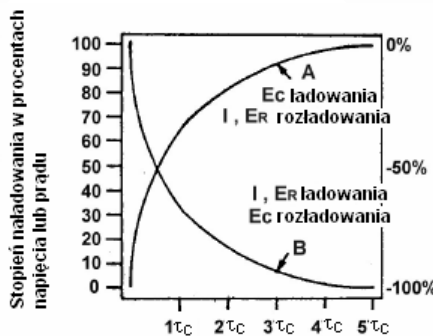


Rys. 2-6-4 Prąd rozładowania



Rys. 2-6-5 Napięcia  $V_R$  i  $V_C$  w trakcie rozładowania

Gdy kondensator ładuje się, to końcowa wartość napięcia  $V_C$  jest określona wyłącznie przez napięcie źródła zasilania (baterii), i jak długo trzeba, aby to osiągnąć zależy wyłącznie 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  $\tau = RC$  jest w sekundach, jeśli  $R$  jest 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  $V_C$  osiągnęło w trakcie ładowania wartość  $V$  (napięcie baterii) lub, gdy napięcie to w wyniku rozładowania spadło do zera.



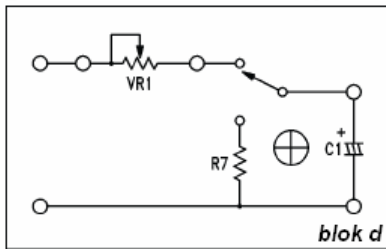
Rys. 2-6-6 Krzywe ładowania i rozładowania kondensatora

## NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

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

## PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym 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.

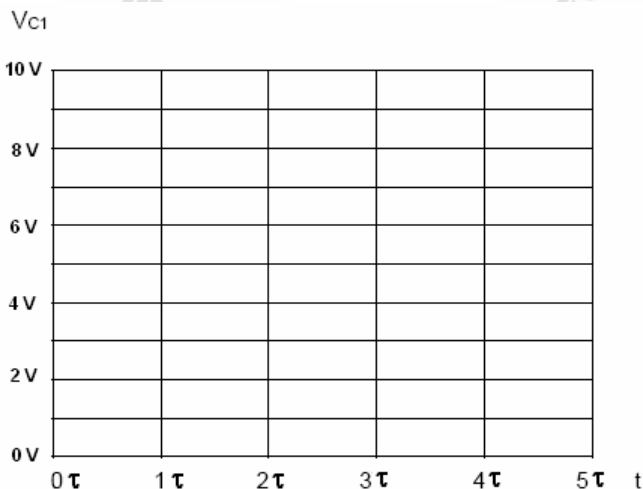


Rys. 2-6-7 Schemat montażowy (KL-24002 blok d)

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  $V_{c1}$  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  $V_c$  zmniejsza się do 0 V.
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  $V_{c1}$  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.



Rys. 2-6-8 Zmierzona krzywa 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  $V_{c1}$  równą 6,32 V wskazywaną przez woltomierz.

$T =$  \_\_\_\_\_

**Uwaga:** Za każdym razem przed zmianą kondensatora rozładować go zwierając wyprowadzenia tak, aby  $V_{c1}=0$ .

8. Zmierzyć wartości  $V_{c1}$  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)     | $0\tau$ | $1\tau$ | $2\tau$ | $3\tau$ | $4\tau$ | $5\tau$ |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $V_{c1}$ (V) |         |         |         |         |         |         |

Tablica 2-6-1

9. Nanieść zapisane wartości czasu  $t$  i napięcia  $V_{c1}$  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  $\tau$ .  $\tau =$  \_\_\_\_\_

Naładować kondensator i obserwować zmiany napięcia  $V_{c1}$  wskazywane przez woltomierz. Czy czas ładowania jest krótszy, niż podany w kroku 3 dla  $V_{c1}=10$  V?

\_\_\_\_\_

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 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  $V_{c1}$  zmniejszyło się z 10 V do 3,68 V.  $t =$  \_\_\_\_\_ s

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

\_\_\_\_\_

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

| Czas (t)     | $0\tau$ | $1\tau$ | $2\tau$ | $3\tau$ | $4\tau$ | $5\tau$ |
|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $V_{c1}$ (V) | 10 V    |         |         |         |         |         |

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 i 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 i (2) woltomierz ma małą rezystancję wewnętrzną.

## Ćwiczenie 2-6 Obwód prądu stałego RL i stany nieustalone

### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Zrozumienie znaczenia stałej czasu w obwodzie RL.
2. Poznanie zjawiska ładowania i rozładowania w obwodzie RL.

### DYSKUSJA

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:

$$E = V_R + V_L = iR + L \frac{di}{dt}$$

Używając do rozwiązania tego równania rachunku różniczkowego otrzymujemy:

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

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:

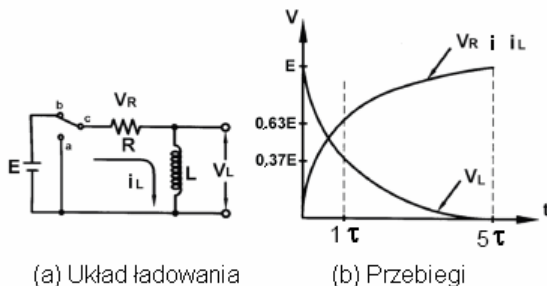
$$V_L = L \frac{di}{dt} = E e^{-t/(L/R)}$$

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

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

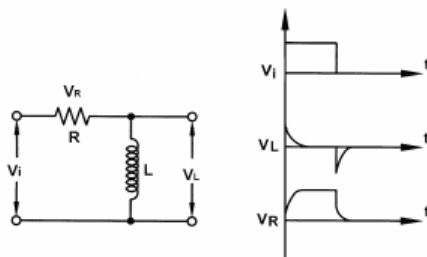
$$= E(1 - e^{-t/(L/R)})$$

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 różniczkującego.



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 ponadto  $X_C = 1/(2\pi fC)$ ,  $X_L = 2\pi fL$ .



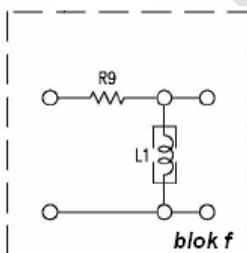
Rys. 2-7-2 Obwód różniczkujący RL

## 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

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 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  $L_1 = 500 \text{ mH}$ .  
 $\tau = L/R = \underline{\hspace{2cm}} \text{ ms}$

## PODSUMOWANIE

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

## Rozdział 3 Układy prądu przemiennego

### Ćwiczenie 3-1 Obwód prądu przemiennego RC

#### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie własności obwodu szeregowego RC w układzie.
2. Zrozumienie znaczenia reaktancji pojemnościowej, impedancji i kąta fazowego.

#### DYSKUSJA

Gdy do „czystej” rezystancji zostanie doprowadzone napięcie przemiennie, to prąd będący tego efektem jest w fazie z tym przyłożonym napięciem. Rezystancja zatem nie ma przyporządkowanego kąta fazowego z tym związanego, co zapisuje się po prostu jako  $R < 0^\circ$ . Gdy napięcie przemiennie jest przykładane do kondensatora stanowiącego „czystą” rezy-stancję, to powstały prąd wyprzedza napięcie o  $90^\circ$ . Pojemność ma zatem przyporząd-kowany związany z tym zjawiskiem kąt fazowy. Opór, który pojemność stwarza przepły-wowi prądu przemiennego nazywa się reaktancją pojemnościową i zapisuje jako  $X_C < -90^\circ$  lub jako  $jX_C$ . Wartość tej reaktancji  $X_C$  można obliczyć ze wzoru:  $X_C = 1/(2\pi fC) = 1/\omega C$ .

Na rys. 3-1-1 przedstawiono obwód szeregowy RC zasilany napięciem przemiennym. Im-pedancję tego obwodu można przedstawić wzorem:

$$Z_T = Z_1 + Z_2$$

Prąd w obwodzie jest równy:

$$I = E / Z_T \text{ (prąd wyprzedza napięcie)}$$

Napięcie na rezystorze R wynosi:

$$E_R = I R$$

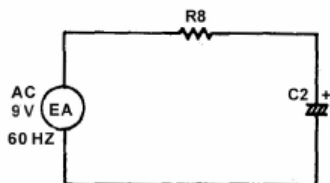
Napięcie na pojemności szeregowej  $C_S$  jest równe:

$$C_S = I X_C$$

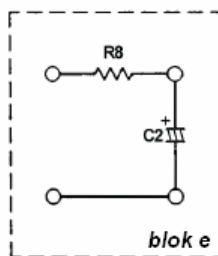
Biorąc pod uwagę drugie prawo Kirchhoffa otrzymujemy:

$$\Sigma V = E - V_R - V_C = 0$$

lub  $E = V_R + V_C$



Rys. 3-1-1 Obwód szeregowy RC



Rys. 3-1-2 Schemat montażowy (KL-24002 blok e)

## 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

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczyni zlokalizować blok e.
2. Do wyprowadzenia  $E_A$  doprowadzić przemiennie napięcie zasilające 9 V ze źródła napięcia przemiennego znajdującego się w module KL-22001. Zmierzyć i zapisać napięcie  $E_A$   $E_A = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$





## PODSUMOWANIE

Obliczyliśmy wartości reaktancji  $X_C$ , impedancji  $Z_T$  i kąta fazowego  $\theta$ . Wartości te można policzyć z równań  $X_C = 1/(2\pi fC)$ , gdzie  $f = 60$  Hz i

$$Z_T = \sqrt{R^2 + X_C^2}, \text{ i odpowiednio } \theta = \text{tg}^{-1}(X_C/R).$$

## Ćwiczenie 3-2 Obwód prądu przemiennego RL

### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie własności obwodu szeregowego RL w układzie.
2. Zrozumienie znaczenia reaktancji indukcyjnej, impedancji i kąta fazowego.

### DYSKUSJA

Gdy do „czystego” elementu indukcyjnego przyłoży się napięcie, to prąd będzie opóźniać się względem napięcia o kąt  $90^\circ$ . Indukcyjność charakteryzuje się kątem fazowym związanym z tym zjawiskiem. Opór, jaki indukcyjność stawia przepływowi prądu przemiennego jest nazywany reaktancją indukcyjną i jest wyrażany jako  $X_L < 90^\circ$  lub  $jX_L$ . Reaktancję indukcyjną można obliczyć ze wzoru:  $X_L = 2\pi fL = \omega L$ .

Na rys. 3-2-1 przedstawiono obwód szeregowy RL zasilany napięciem przemiennym. Impedancję tego układu wyraża się wzorem:

$$Z_T = Z_1 + Z_2$$

Prąd w obwodzie jest równy:

$$I = E / Z_T \text{ (prąd opóźnia się względem napięcia)}$$

Napięcie na rezystorze R jest równe:

$$V_R = I R$$

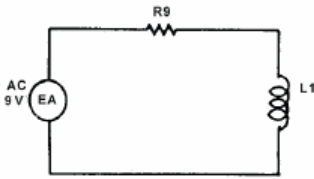
Napięcie na rezystorze L jest równe:

$$V_L = I X_L$$

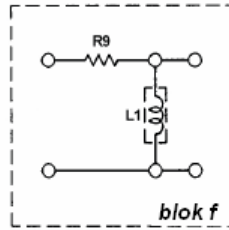
Następnie z drugiego prawa Kirchhoffa

$$\Sigma V = E - V_R - V_L = 0$$

lub  $E = V_R + V_L$



Rys. 3-2-1 Obwód szeregowy RL



Rys. 3-2-2 Schemat montażowy (KL-24002 blok f)

## 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

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok f.
2. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 3-2-1 i schematem montażowym przedstawionym na rys. 3-2-2. Umieścić cewkę o indukcyjności 0,5 H w miejscu oznaczonym L1. Do wyprowadzenia  $E_A$  doprowadzić przemienną napięcie zasilające 9 V ze źródła napięcia przemiennego znajdującego się w module KL-22001.

Zmierzyć i zapisać napięcie  $E_A$ .  $E_A = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

3. Obliczyć i zapisać wartości następujących parametrów. ( $L_1=0,5 \text{ H}$ ,  $R_9=1 \text{ k}\Omega$ )

Reaktancja indukcyjna L1  $X_L = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

Impedancja całkowita  $Z_T = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$

Prąd w obwodzie  $I = \underline{\hspace{2cm}} \text{ mA}$

Napięcie na rezystorze R9  $E_R = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

Napięcie na cewce L1  $E_L = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

Dobroć  $Q = X_L / R = \underline{\hspace{2cm}}$

Kąt fazowy  $\theta =$  \_\_\_\_\_

Moc wydzielona  $P =$  \_\_\_\_\_ mW

4. Zmierzyć woltmierzem napięcia przemiennego i zapisać wartości napięć  $E_R$  i  $E_L$ .

Napięcie na rezystorze R9  $E_R =$  \_\_\_\_\_ V

Napięcie na cewce L1  $E_L =$  \_\_\_\_\_ V

Czy zmierzone wartości są równe wartościom obliczonym w kroku 3?

\_\_\_\_\_

5. Z równania  $E_A = E_R + E_L$  obliczyć napięcie przykładane do układu.

$E_A =$  \_\_\_\_\_ V

Czy wartości obliczone są równe wartościom zmierzonym w kroku 2?

\_\_\_\_\_

Jeśli nie, wytłumaczyć dlaczego.

\_\_\_\_\_

6. Biorąc pod uwagę wartości  $R$ ,  $X_C$  i  $Z_T$  sporządzić wykres w poniższej ramce.



## **PODSUMOWANIE**

Zakończyliśmy ćwiczenie z obwodu szeregowego RL. Reaktancja indukcyjna cewki jest wprost proporcjonalna do częstotliwości. Dobroć Q obwodu RL jest stosunkiem  $X_L$  do R, tzn.  $Q = X_L/R$ .

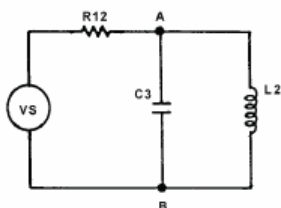
## Ćwiczenie 3-3 Obwód prądu przemiennego RLC

### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

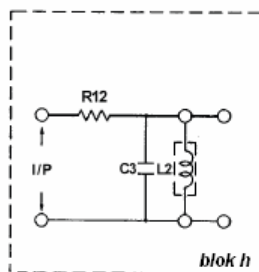
1. Poznanie własności obwodu RLC w układzie.
2. Pomiar częstotliwości rezonansowej obwodu RLC.

### DYSKUSJA

Na rys. 3-3-1 przedstawiono układ szeregowo-równoległy RLC zasilany ze źródła napięcia przemiennego. Jak już wspomniano wcześniej, reaktancja pojemnościowa  $X_C$  i reaktancja indukcyjna  $X_L$  zmieniają się z częstotliwością. Stąd też impedancja całkowita obwodu równoległego składającego się z indukcyjności  $L_2$  i pojemności  $C_3$  będzie zmieniać się wraz z częstotliwością sygnału wejściowego. Przy pewnej częstotliwości nazywanej częstotliwością rezonansową  $f_r$ , reaktancja indukcyjna  $X_L$  stanie się równa reaktancji pojemnościowej  $X_C$ , a układ równoległy wejdzie w stan rezonansu. Częstotliwość rezonansową  $f_r$  można wyrazić wzorem:  $f_r = 1 / (2\pi \sqrt{LC})$ .



Rys. 3-3-1 Układ szeregowo-równoległy RLC



Rys. 3-3-2 Schemat montażowy (KL-24002 blok h)

## 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

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok h.
2. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 3-3-1 i schematem montażowym przedstawionym na rys. 3-3-2. Umieścić cewkę o indukcyjności 0,1 H w miejscu oznaczonym L2.
3. Umieścić przełącznik funkcji generatora funkcyjnego w pozycji sygnał sinusoidalny. Do wyjścia generatora funkcyjnego dołączyć oscyloskop. Ustawić pokrętko regulacji częstotliwości i amplitudy tak, aby uzyskać sygnał o częstotliwości 1 kHz i napięciu międzyszczytowym 5 V ( $V_{p-p}$ ), i doprowadzić go do wejścia układu (I/P).
4. Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać napięcia na cewce L2, kondensatorze C3 i rezystorze R12.

$$V_L = \underline{\hspace{2cm}} V_{p-p}$$

$$V_C = \underline{\hspace{2cm}} V_{p-p}$$

$$V_R = \underline{\hspace{2cm}} V_{p-p}$$

5. Ze wzoru na częstotliwość rezonansową  $f_r = 1 / (2\pi\sqrt{LC})$ , obliczyć i zapisać częstotliwość rezonansową obwodu, w którym: L2=0,1 H, C3=0,01  $\mu\text{F}$

$$f_r = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Hz}$$

6. Zmieniać częstotliwość wyjściową generatora funkcyjnego tak, aby maksymalną wartość  $V_{AB}$ .

Posługując się oscyloskopem zmierzyc i zapisać częstotliwość wejściową.

$f =$  \_\_\_\_\_ Hz

Czy istnieje zgodność między wartością częstotliwości  $f$  a wartością częstotliwości rezonansowej  $f_r$  obliczoną w kroku 5? \_\_\_\_\_

## **PODSUMOWANIE**

Zmierzyliśmy częstotliwość rezonansową i napięcia na poszczególnych elementach układu. Częstotliwość rezonansowa wynosi ok. 5 kHz, i przy tej częstotliwości na wyjściu układu pojawia się napięcie o maksymalnej wartości.



## Ćwiczenie 3-4 Szeregowy obwód rezonansowy

### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Zmierzenie parametrów charakterystycznych szeregowego obwodu rezonansowego
2. Wykreślenie krzywej rezonansowej szeregowego obwodu rezonansowego

### DYSKUSJA

Rozważmy teraz szeregowy obwód rezonansowy RLC przedstawiony na rys. 3-4-1. Całkowitą impedancję tego obwodu można wyrazić wzorem:

$$Z_T = R + j(X_L - X_C)$$

Przy pewnej częstotliwości  $f_r$  element reaktancyjny obwodu staje się równy zero, a impedancja jego jest wtedy „czysto” rezystancyjna. Warunki te są nazywane rezonansem szeregowym, a częstotliwość  $f_r$  jest nazywana wtedy częstotliwością rezonansu szeregowego. Częstotliwość  $f_r$  można wyrazić w zależności od parametrów obwodu rezonansowego przyrównując do zera różnicę składników reaktancyjnych tego obwodu w sposób jak poniżej:

$$X_L - X_C = 0, \quad X_L = X_C$$

$$2\pi f L = 1/(2\pi f C)$$

$$f = f_r = 1/(2\pi\sqrt{LC})$$

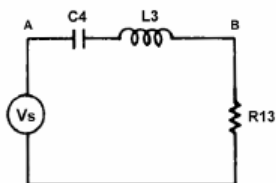
Przy częstotliwości  $f_r$  obwód będzie przedstawiał sobą minimalną impedancję  $Z_T = R$  tak, że prąd płynący obwodzie będzie wtedy maksymalny i w fazie z przyłożonym napięciem.

$$I = I_r = E <0^\circ / R <0^\circ = (E/R) <0^\circ$$

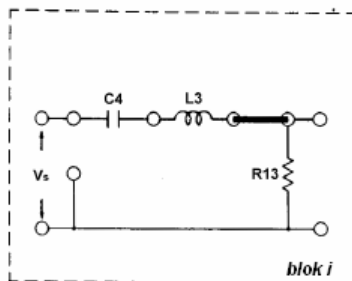
Prąd rezonansowy  $I_r$  jest w fazie z przyłożonym napięciem  $E$ . Napięcia na cewce  $L$  i kondensatorze  $C$  można wyrazić następująco:

$$V_L = I X_L < 90^\circ, \quad V_C = I X_C < -90^\circ$$

Na podstawie otrzymanych zależności możemy stwierdzić, że napięcia  $V_L$  i  $V_C$  są sobie równe wielkością, lecz o przeciwnym znaku.



Rys. 3-4-1 Obwód szeregowy RLC



Rys. 3-4-2 Schemat montażowy (KL-24002 blok i)

## NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-24002 – podstawowy moduł do ćwiczeń z elektryczności
3. Oscyloskop
4. Multimetr cyfrowy

## PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok i. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 3-4-1 i schematem montażowym przedstawionym na rys. 3-4-2.
2. Umieścić przełącznik podzakresu (Range) generatora funkcyjnego w pozycji 10 kHz, a przełącznik funkcji w pozycji sygnał sinusoidalny. Ustawić amplitudę sygnału wyjściowego na 5 V, wskazywaną przez cyfrowy woltomierz napięcia przemiennego i zapisać wskazanie jako  $E_{in}$ .

$E_{in} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Vac}$

3. Dołączyć napięcie wejściowe Ein do punktu Vs układu. Mierzyć napięcie na rezystorze R13, kręcąc jednocześnie pokrętkiem regulacji częstotliwości. Zapisać maksymalną wartość tego napięcia.

$$E_{R13} = \underline{\hspace{2cm}} V_{AC}$$

Czy obwód rezonansu szeregowego pracuje przy swojej częstotliwości rezonansowej?

\_\_\_\_\_

4. Posługując się oscyloskopem zmierzyć i zapisać częstotliwość sygnału wyjściowego generatora funkcyjnego i zapisać wynik jako częstotliwość rezonansową fr.

$$f_r = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Hz}$$

5. Obliczyć i zapisać częstotliwość rezonansową fr wstawiając do wzoru na nią wartości indukcyjności L3 (10 mH) i pojemności C4 (0,1 μF).

$$f_r = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Hz}$$

Czy istnieje zgodność między wartościami fr zmierzoną i obliczoną?

\_\_\_\_\_

6. Posługując się woltomierzem napięcia przemiennego, mierzyć napięcie na cewce L3. Przekręcić pokrętko regulacji częstotliwości całkowicie w lewo, a następnie kręcąc nim w prawo mierzyć napięcie i zapisać jego wartość maksymalną.

$$E_L = \underline{\hspace{2cm}} V_{AC}$$

Czy napięcie  $E_L$  ma wartość większą, niż napięcie wejściowe Ein w kroku 2? \_\_\_\_\_

Powtórzyć krok 4, a następnie porównać wartości tych dwóch częstotliwości. Czy istnieje zgodność między nimi? \_\_\_\_\_

7. Posługując się woltomierzem napięcia przemiennego, mierzyć napięcie na kondensatorze C4. Przekręcić pokrętko regulacji częstotliwości całkowicie w lewo, a następnie kręcąc nim w prawo mierzyć napięcie i zapisać jego wartość maksymalną.

$$E_C = \underline{\hspace{2cm}} V_{AC}$$

Czy napięcie  $E_C$  jest równe napięciu  $E_L$  w kroku 6? \_\_\_\_\_

Powtórzyć krok 4, a następnie porównać wartości tych dwóch częstotliwości. Czy istnieje zgodność między nimi? \_\_\_\_\_



14. Powoli kręcić w lewo pokrętkiem regulacji częstotliwości generatora funkcyjnego, aż uzyska się napięcie  $E_L$  połowy mocy.

Posługując się oscyloskopem zmierzyc i zapisać częstotliwość dolną połowy mocy (trzydecybelowego spadku).

$f_1 =$  \_\_\_\_\_ Hz

15. Powoli kręcić w prawo pokrętkiem regulacji częstotliwości generatora funkcyjnego, aż uzyska się następne napięcie  $E_L$  połowy mocy.

Posługując się oscyloskopem zmierzyc i zapisać częstotliwość górną połowy mocy (trzydecybelowego spadku).

$f_2 =$  \_\_\_\_\_ Hz

Porównać zmierzone częstotliwości z częstotliwościami  $f_1$  i  $f_2$  obliczonymi w kroku 11 tej procedury.

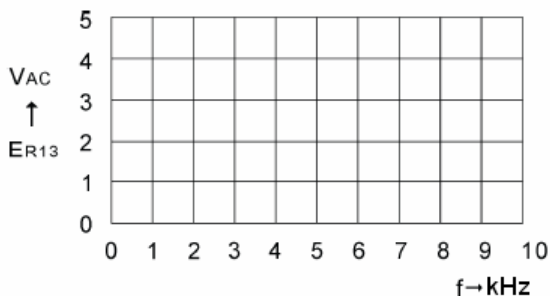
Czy są one zgodne? \_\_\_\_\_

16. Wstawić w tabelicę 3-4-1 wyniki pomiarów napięcia na rezystorze R13 dla częstotliwości w niej podanych.

| f (kHz)                         | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| $E_{R13}$<br>(V <sub>AC</sub> ) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

Tablica 3-4-1

17. Nanieść na rys. 3-4-3 wartości napięcia  $E_{R13}$  zapisane w tablicy 3-4-1, a następnie sporządzić wykres łącząc naniesione punkty ciągłą linią. Otrzymamy krzywą rezonansową szeregowego obwodu rezonansowego.



Rys. 3-4-3 Zmierzona krzywa rezonansowa

## PODSUMOWANIE

Zmierzyliśmy parametry charakterystyczne szeregowego obwodu rezonansowego i sporządziliśmy jego krzywą rezonansową. Gdy zmierzaliśmy napięcie wyjściowe generatora funkcyjnego przy częstotliwości rezonansowej  $f_r$ , to zauważyliśmy, że napięcie to zostało zmniejszone przez obciążenie do wartości minimalnej przez rezystancję  $R$  połączoną równolegle z impedancją wewnętrzną woltomierza napięcia przemiennego. Zjawisko to jest nazywane efektem obciążenia.

Wartość częstotliwości  $f_r$  obliczona w kroku 5 zastosowanej procedury wyniosła ok. 5032,92 Hz. Wartość ta może się różnić nieco od wartości zmierzonej, gdyż przyrządy i elementy układowe użyte do tego ćwiczenia charakteryzują się własnymi błędami wewnętrznymi.

Ponieważ prąd w stanie rezonansu ma wartość maksymalną, to moc wydzielana w szeregowym obwodzie rezonansowym jest też maksymalna. Po obu bokach częstotliwości  $f_r$  istnieją zatem dwie częstotliwości, które odpowiadają połowie mocy wydzielanej w stanie rezonansu. Te częstotliwości są nazywane dolną ( $f_1$ ) i górną ( $f_2$ ) częstotliwością połowy mocy. Zakres częstotliwości między częstotliwościami  $f_1$  i  $f_2$  jest nazywany szerokością pasma (BW) szeregowego obwodu rezonansowego. Czyli  $BW = f_2 - f_1$ . Przy tych dwóch częstotliwościach prąd  $I = 0,707 I_r$ . Wielkość  $X_L/R$  jest nazywana dobrocią obwodu w stanie rezonansu. Czyli  $Q = X_L/R = (I_r X_L)/I_r R = E_L/E_{in}$  oraz  $BW = f_r/Q$ .

## Ćwiczenie 3-5 Równoległy obwód rezonansowy

### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Zmierzenie parametrów charakterystycznych równoległego obwodu rezonansowego.
2. Wykreślenie krzywej rezonansowej równoległego obwodu rezonansowego.

### DYSKUSJA

Rozważmy obwód równoległy RC przedstawiony na rys. 3-5-1. Jest on podobny do szeregowego obwodu rezonansowego omówionego w ćwiczeniu 3-4. Przy częstotliwości rezonansowej  $f_r$  reaktancja tego obwodu będzie równa zero, a impedancja będzie „czysto” rezystancyjna. Całkowitą admitancję tego obwodu, będącą odwrotnością impedancji można wyrazić poniższym wzorem:

$$Y_o = 1/(-jX_C) + 1/(R + jX_L)$$

Po wykonaniu dzielenia i uproszczeniu otrzymujemy admitancję  $Y_o$  obwodu w stanie rezonansu:

$$Y_o = R/(R^2 + X_L^2)$$

Całkowita impedancja jest w stanie rezonansu ma charakter rezystancyjny. To znaczy, że:

$$R_o = R/(R^2 + X_L^2)$$

Częstotliwość  $f_r$  można wyrazić w zależności od parametrów obwodu przyrównując element reaktancyjny do zera:

$$X_C X_L = R^2 + X_L^2$$

$$X_L^2 = X_C X_L - R^2$$

Ponieważ:  $X_C \cdot X_L = \frac{1}{\omega C} \cdot \omega L = \frac{L}{C}$

zatem:

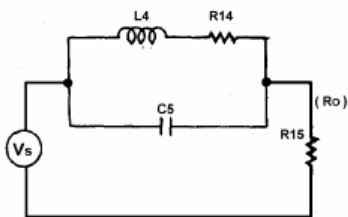
$$X_L^2 = \frac{X_C}{R} - R^2$$

$$X_L = \sqrt{\frac{L}{C} - R^2}$$

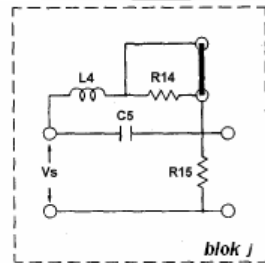
$$X_L = 2\pi f r L \Rightarrow f r = \frac{1}{2\pi L} \cdot X_L = \frac{1}{2\pi L} \cdot \sqrt{\frac{L}{C} - R^2} = \frac{1}{2\pi L} \sqrt{\frac{(\frac{L}{C} - R^2)(C/L)}{C/L}}$$

$$f r = \frac{1}{2\pi L \sqrt{C/L}} \sqrt{1 - \frac{R^2 C}{L}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R^2 C}{L}}$$

Zauważmy, że częstotliwość rezonansu równoległego jest teraz zależna od rezystancji gałęziowej R (R14 na rys. 3-5-1).



Rys. 3-5-1 Obwód równoległy RLC



Rys. 3-4-2 Schemat montażowy (KL-24002 blok j)

## NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-24002 – podstawowy moduł do ćwiczeń z elektryczności
3. Oscyloskop
4. Multimetr cyfrowy



## PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok j.
2. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 3-5-1 i schematem montażowym przedstawionym na rys. 3-5-2. Odłączyć wtyk mostkujący.
3. Obliczyć częstotliwość rezonansową wstawiając do wzoru wartości elementów obwodu. ( $L_4=0,1$  H,  $R_{14}=10$   $\Omega$ ,  $C_5=0,1$   $\mu$ F)

$$f_r = \text{_____} \text{ Hz}$$

4. Umieścić przełącznik podzakresu (Range) generatora funkcyjnego znajdującego się w module KL-22001 w pozycji 10 kHz, a przełącznik funkcji w pozycji sygnał sinusoidalny. Ustawić amplitudę sygnału wyjściowego na 5 V, wskazywaną przez cyfrowy woltomierz napięcia przemiennego.

Dołączyć cyfrowy woltomierz napięcia przemiennego do wyprowadzeń rezystora R15. Kręcąc pokrętką regulacji częstotliwości uzyskać na woltomierzu minimalne wskazanie napięcia.

Posługując się oscyloskopem zmierzyć częstotliwość sygnału wyjściowego generatora funkcyjnego i zapisać wynik jako częstotliwość rezonansową  $f_r$ .

$$f_r = \text{_____} \text{ Hz}$$

Czy istnieje zgodność między wartościami  $f_r$  zmierzoną i obliczoną?

\_\_\_\_\_

5. Zmierzyć napięcia na rezystorach R14 i R15.

Które z tych napięć jest większe? \_\_\_\_\_

6. Umieścić wtyk mostkujący tak, aby zewrzeć rezystor R14. Zmierzyć i zapisać wartość napięcia na rezystorze R15.

$$E_{R15} = \text{_____} V_{AC}$$

Porównać tę wartość napięcia  $E_{R15}$  z wartością uzyskaną w kroku 5 i zapisać poniżej swój komentarz na ten temat.

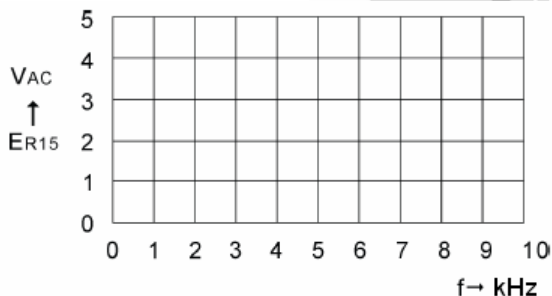
\_\_\_\_\_

7. Usunąć wtyk mostkujący. Wstawić w tablicę 3-5-1 wyniki pomiarów napięcia na rezystorze R15 dla częstotliwości w niej podanych.

|                              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| f (kHz)                      | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| $E_{R15}$ (V <sub>AC</sub> ) |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

Tablica 3-5-1

8. Nanieść na rys. 3-5-3 wartości napięcia  $E_{R15}$  zapisane w tablicy 3-5-1, a następnie sporządzić wykres łącząc naniesione punkty ciągłą linią. Otrzymamy krzywą rezonansową równoległego obwodu rezonansowego.



Rys. 3-5-3 Zmierzona krzywa rezonansowa

## PODSUMOWANIE

Zmierzyliśmy parametry charakterystyczne równoległego obwodu rezonansowego i sporządziliśmy jego krzywą rezonansową. Przy częstotliwości rezonansowej prąd w obwodzie jest minimalny, gdyż maksymalna jest jego impedancja. Stąd w stanie rezonansu napięcie na rezystorze R15 jest też minimalne.

Porównując ze sobą krzywe z rysunków 3-4-3 i 3-5-3, można wysnuć wniosek, że krzywa rezonansowa równoległego obwodu rezonansowego jest odwróceniem krzywej rezonansowej szeregowego obwodu rezonansowego.

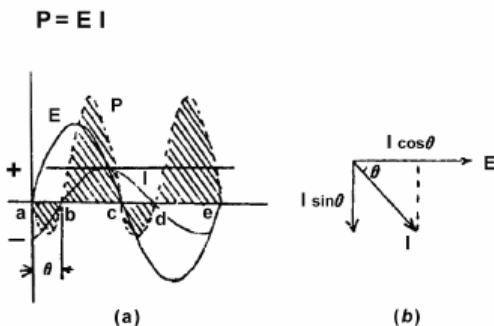
## Ćwiczenie 3-6 Moc w układzie prądu przemiennego

### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Zmierzenie mocy wydzielonej w układzie prądu przemiennego.
2. Zapoznanie się z własnościami mocy prądu przemiennego.

### DYSKUSJA

Jak to już nadmieniono w ćwiczeniu 2-4, moc elektryczną w układzie prądu stałego można obliczyć ze wzoru  $P=EI$ . Wzór ten jest też słuszny dla układu prądu przemiennego zbudowanego z „czystych” rezystancji. Gdy do rezystora jest przyłożone napięcie przemiennie, to chwilowe zmiany prądu płynącego przez ten rezystor postępują za chwilowymi zmianami tego napięcia. Mówi się wtedy, że prąd jest w fazie z napięciem.



Rys. 3-6-1 Prąd opóźnia się względem napięcia o kąt  $\theta$

Gdy obciążenie zawiera elementy reaktancyjne takie jak cewka lub kondensator, to może się zdarzyć, że prąd nie będzie w fazie z napięciem. Patrz rys. 3-6-1. Prąd  $I$  opóźnia się względem napięcia  $E$  o kąt fazowy  $\theta$ . Ponieważ moc chwilowa jest iloczynem wartości chwilowych prądu i napięcia, zatem krzywą mocy chwilowej można zaznaczyć na wykresie w postaci obszarów zaznaczonych liniami pochyłymi.

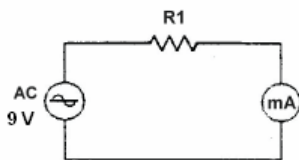
Obciążenie pobiera energię w czasie, gdy kierunek zmian mocy chwilowej jest dodatni i oddaje energię w czasie, gdy kierunek zmian mocy chwilowej jest ujemny. Na rys. 3-6-1(b) między prądem  $I$  a napięciem  $E$  pojawia się fazowy  $\theta$ , a moc  $P$  jest równa  $P=EI\cos\theta$ . Jeśli prąd jest w fazie z napięciem ( $\theta=0$ ), to moc będzie równa  $P=EI$ .

## NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

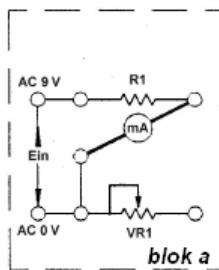
1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-24002 – podstawowy moduł do ćwiczeń z elektryczności
3. Multimetr

## PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-24002 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych), poczym zlokalizować blok a.
2. Zmierzyć i zapisać wartość rezystancji  $R1$ .  $R1 = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$
3. Wykonać połączenia posługując się rysunkiem układu pomiarowego przedstawionym na rys. 3-6-2 i schematem montażowym przedstawionym na rys. 3-6-3. Doprowadzić do wyprowadzenia wejściowego  $E_{in}$  napięcie 9 V ze źródła zasilania napięcia przemiennego. Zmierzyć i zapisać wartość napięcia  $E_{in} = \underline{\hspace{2cm}} V$ .



Rys. 3-6-2



Rys. 3-6-3 Schemat montażowy (KL-24002 blok a)



# Rozdział 4 Układy sterowania i regulacji

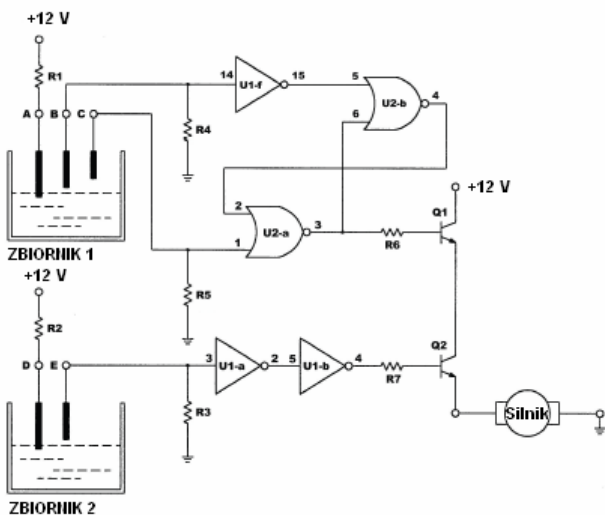
## Ćwiczenie 4-1 Regulator poziomu wody

### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Zrozumienie zasady działania regulatora poziomu wody.
2. Sprawdzenie działania układu regulacji poziomu wody.

### DYSKUSJA

W niniejszym ćwiczeniu użyjemy układu logicznego z elektrodowymi czujnikami poziomu wody do wykrywania poziomów wody w zbiornikach i do sterowania pracą silnika elektrycznego. Również układ sterujący ma elektrodę działającą jako czujnik niskiego poziomu wody w zbiorniku, aby uchronić silnik przed pracą bez obciążenia. Układ regulacji poziomu wody przedstawiono na rys. 4-1-1.



Rys. 4-1-1 Regulator poziomu wody

Układ regulacji poziomu wody jest zbudowany z bramek logicznych i tranzystorów. Bramki CMOS (bramka NOT (CD 4049) i bramka NOR (CD 4001)) są używane do wykrywania poziomów wody w zbiornikach. Gdy na wejściu bramki NOT pojawi się poziom wysoki, to jej wyjście przejdzie w stan niski. Z drugiej strony, gdy na wejściu tej bramki będzie poziom niski, to na jej wyjściu będzie poziom wysoki. Zatem bramka NOT realizuje funkcję logiczną  $F = \bar{A}$ . Gdy jedno z wejść bramki NOR jest w stanie wysokim, to wyjście bramki tej jest w stanie niskim; tylko, gdy wszystkie wejścia tej bramki są w stanie niskim to jej wyjście jest w stanie wysokim, zatem funkcję realizowaną przez dwuwejściową bramkę NOR można wyrazić jako:  $F = \overline{A + B}$ .

Zbiornik 2 (z elektrodami D i E) przedstawiony na rys.4-1-1 jest zbiornikiem umieszczonym w piwnicy budynku, podczas, gdy zbiornik 1 (z elektrodami A, B i C) jest zbiornikiem umieszczonym na górnym piętrze. Układ regulacji wody poziomu w zbiorniku 2 zawiera dwie bramki NOT U1-a i U1-b oraz tranzystor Q2. Układ regulacji poziomu wody w zbiorniku 1 jest zbudowany z jednej bramki NOT U1-f, dwóch bramek NOR U2-a i U2-b oraz tranzystora Q1.

Gdy poziom wody w zbiorniku 2 znajdzie się poniżej elektrody E ( $E=0$ ), to silnik musi się zatrzymać, aby uniknąć pracy bez obciążenia. Gdy poziom wody stanie się wystarczająco wysoki ( $E=1$ ), a poziom wody w zbiorniku 1 jest niski ( $B=0$ ), to silnik zaczyna pracować pompując wodę do zbiornika 1. Gdy poziom wody w zbiorniku 1 osiągnie poziom średni ( $B=1$ ), silnik musi pracować w dalszym ciągu, aż woda osiągnie poziom wysoki ( $C=1$ ).

## **NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY**

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-24003 – moduł czujnika (1)
3. Zbiornik na wodę - 2 szt.

## **PROCEDURA**

1. Ustawić moduł KL-24003 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych). Do modułu KL-24003 doprowadzić napięcie stałe +12 V z zasilacza o ustalonym napięciu wyjściowym znajdującego się w module KL-22001.
2. Napełnić oba zbiorniki (zbiorniki 1 i 2) wodą niedestylowaną.

3. Umieścić elektrodę D w zbiorniku 2, a elektrodę A w zbiorniku 1.

4. Czy silnik pracuje? \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wyjściu bramki NOT (wypr. 4 ukł. U1-b). \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wyjściu bramki NOR (wypr. 3 ukł. U2-a). \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wyjściu bramki NOR (wypr. 4 ukł. U2-b). \_\_\_\_\_

5. Umieścić elektrodę E w zbiorniku 2, aby zasymulować osiągnięcie przez wodę poziomu wysokiego. Czy silnik pracuje? \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wyjściu bramki NOT (wypr. 4 ukł. U1-b). \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wyjściu bramki NOR (wypr. 4 ukł. U2-b). \_\_\_\_\_

6. Umieścić elektrodę B w zbiorniku 1, aby zasymulować osiągnięcie przez wodę poziomu średniego. Czy silnik pracuje? \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wyjściu bramki NOT (wypr. 4 ukł. U1-b). \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wyjściu bramki NOR (wypr. 4 ukł. U2-b). \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wejściu bramki NOR (wypr. 1 ukł. U2-a). \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wyjściu bramki NOR (wypr. 3 ukł. U2-a). \_\_\_\_\_

7. Umieścić elektrodę C w zbiorniku 1, aby zasymulować osiągnięcie przez wodę poziomu wysokiego. Czy silnik pracuje? \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wejściu bramki NOR (wypr. 2 ukł. U2-a). \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wejściu bramki NOR (wypr. 1 ukł. U2-a). \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wyjściu bramki NOR (wypr. 3 ukł. U2-a). \_\_\_\_\_

8. Wyjąć elektrodę C ze zbiornika 1, aby zasymulować obniżenie się poziomu wody do poziomu średniego. Czy silnik pracuje? \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wejściu bramki NOR (wypr. 1 ukł. U2-a). \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wejściu bramki NOR (wypr. 2 ukł. U2-a). \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wyjściu bramki NOR (wypr. 3 ukł. U2-a). \_\_\_\_\_

9. Wyjąć elektrodę B ze zbiornika 1, aby zasymulować obniżenie się poziomu wody do poziomu niskiego. Czy silnik pracuje? \_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wyjściu bramki NOT (wypr. 15 ukł. U1-f). \_\_\_\_\_



Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wyjściu bramki NOR (wypr. 4 ukł. U2-b).\_\_\_\_\_

Zmierzyć i zapisać poziom logiczny na wyjściu bramki NOR (wypr. 3 ukł. U2-a).\_\_\_\_\_

10. Wyjąć elektrodę E ze zbiornika 2, aby zasymulować niski poziom wody. Czy silnik pracuje? \_\_\_\_\_

11. Ponownie umieścić elektrodę E w zbiorniku 2. Czy silnik pracuje? \_\_\_\_\_

12. Powtórzyć kroki od 7 do 11 i obserwować pracę silnika.

## **PODSUMOWANIE**

Z powyższego ćwiczenia należy wysnuć następujące wnioski:

1. Gdy zbiornik 2 jest pusty ( $E=0$ ) lub zbiornik 1 jest pełny ( $C=1$ ), to silnik zatrzymuje się.
2. Gdy zbiornik 2 jest pełny ( $E=1$ ) a zbiornik 1 jest pusty ( $B=0$ ), to silnik pracuje aż zbiornik 1 napełni się ( $C=1$ ).

## Ćwiczenie 4-2 Wykrywacz metali

### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

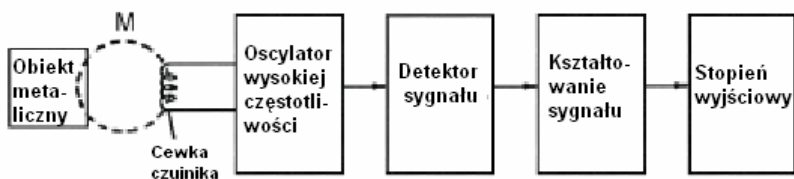
1. Zaznajomienie się z budową i zasadą działania przełączników zbliżeniowych.
2. Zapoznanie się z problemem wykrywania obiektów metalowych za pomocą indukcyjnych przełączników zbliżeniowych.

### DYSKUSJA

Przełączniki zbliżeniowe można podzielić na dwie kategorie, przełączniki zbliżeniowe indukcyjne i pojemnościowe.

#### Przełączniki zbliżeniowe indukcyjne

Funkcyjalny schemat blokowy przełącznika zbliżeniowego przedstawiono na rys. 4-2-1. Czujnik mający postać cewki jest indukcyjnością w układzie oscylatora wysokiej częstotliwości. Jeśli w bliskim otoczeniu cewki czujnika pojawi się obiekt metaliczny, to w obiekcie tym zaczną płynąć prądy wirowe wywołane polem elektromagnetycznym cewki. Obiekt metaliczny zacznie pochłaniać pole magnetyczne cewki, co objawi się zwiększeniem obciążenia oscylatora i jednocześnie zmniejszeniem poziomu jego sygnału. Ta zmiana w poziomie sygnału jest wzmacniana przez układ kształtujący sprzężony ze stopniem wyjściowym, który wykonuje czynność przełączania.



Rys. 4-2-1 Schemat blokowy przełącznika indukcyjnego zbliżeniowego

Są dwa typy przełączników zbliżeniowych wysokiej częstotliwości: „z oddzielną głowicą czujnika” oraz „z głowicą czujnika zintegrowaną”. Produkuje się je w obudowach mających kształt rogu, tuby lub wkrętu, przystosowanych do różnych wymagań odnośnie sposobu instalacji i środowiska pracy. Obecnie najbardziej popularne są przełączniki zbliżeniowe w.c.z. mające postać wkrętu.

Napięcie pracy przełącznika zbliżeniowego może być stałe 12/24 V lub przemienne 110/220 V. Obecnie niektóre z tych urządzeń mogą pracować w szerokim zakresie napięć tj. stałych od 10 do 40 V i przemiennych od 90 do 250 V. Jednak uzyskanie wysokich parametrów jest możliwe wyłącznie przy zastosowaniu zasilacza stabilizowanego. Wyjście przełączające jest zwykle bezstykowe. Przełącznik zasilany napięciem stałym, jest produkowany w dwóch wersjach wyjścia:

1. Zwykle zwarte (NO): Gdy brak jest obiektu w bliskim otoczeniu czujnika, to stopień wyjściowy przełącznika jest w stanie wyłączenia.
2. Zwykle zamknięte (NC): Gdy brak jest obiektu w bliskim otoczeniu czujnika, to stopień wyjściowy przełącznika jest w stanie włączenia.

W układach sterujących używa się tranzystorów typu p-n-p i n-p-n. Przełączniki zbliżeniowe pracujące przy napięciu przemiennym są produkowane również w wersjach wyjścia NO i NC. Na rys. 4-2-2 przedstawiono sposoby połączenia przełącznika zbliżeniowego z obciążeniem.

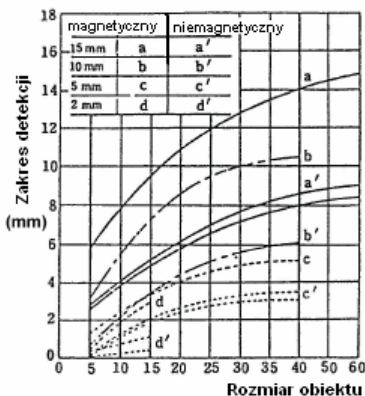


(a) połączenie dwuprzewodowe

(b) połączenie trójprzewodowe

Rys. 4-2-2 Typy stopnia wyjściowego przełączników zbliżeniowych zasilanych napięciem przemiennym

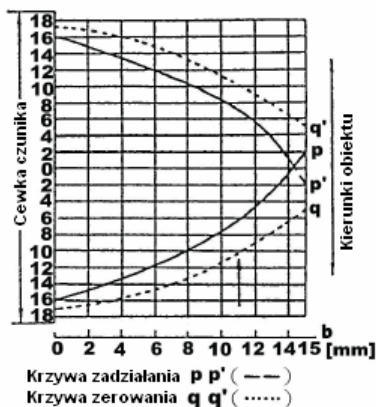
Zakresy sekcji przełączników zbliżeniowych indukcyjnych są różne, zależnie od rozmiaru obiektu i rodzaju materiału, z którego jest wykonany. Patrz rys. 4-2-3.



Rys. 4-2-3 Zależność między zakresem detekcji i wielkością obiektu

Kopiowanie, rozpowszechnianie, przedruk i publikacja w całości lub częściach w jakiegokolwiek formie (również elektronicznej) do celów komercyjnych i prywatnych, bez zgody NDN, zabronione. (kk)

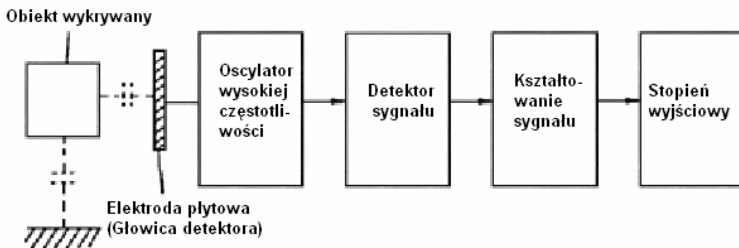
Ponieważ pole magnetyczne wytwarzane przez cewkę czujnika rozprzestrzenia się w szerokim zakresie to, mogą wystąpić błędy detekcji, gdy w pobliżu znajdują się inne indukcyjne przełączniki zbliżeniowe lub obiekty metaliczne. Na rys. 4-2-4 przedstawiono obszar zadziałania typowego indukcyjnego przełącznika zbliżeniowego.



Rys. 4-2-4 Obszar zadziałania typowego indukcyjnego przełącznika zbliżeniowego

### Przełączniki zbliżeniowe pojemnościowe

Schemat blokowy przełącznika zbliżeniowego pojemnościowego przedstawiono na rys. 4-2-5. Z założenia jest on podobny do przełącznika zbliżeniowego indukcyjnego. Przełącznik zbliżeniowy indukcyjny do generacji pola elektromagnetycznego o częstotliwości powyżej 100 kHz wykorzystuje cewkę. W przełączniku zbliżeniowym pojemnościowym sygnał wyjściowy z oscylatora wysokiej częstotliwości jest doprowadzany do elektrody mającej postać płyty, wytwarzając w ten sposób pole elektromagnetyczne o częstotliwości od 100 kHz do paru MHz. Gdy przełącznik zbliżeniowy zbliża się do obiektu, to zmienia się pojemność między powierzchnią elektrody płytowej a powierzchnią tego obiektu, powodując jednocześnie zmianę częstotliwości oscylacji. Tę zmianę częstotliwości wykrywa detektor sygnału wykonawczego przekazując sygnał informujący o tym do układu kształtującego, a następnie do układu wyjściowego spełniającego zadanie przełączające.



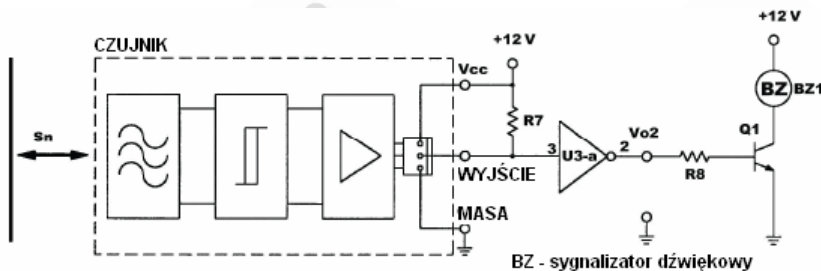
Rys. 4-2-5 Schemat blokowy pojemnościowego przełącznika zbliżeniowego

Przełącznik zbliżeniowy pojemnościowy może wykrywać wszystkie materiały dielektryczne takie jak metale, tworzywa sztuczne, papier i płyny.

Ponieważ elektrody płytowej nie można oddzielić od reszty pojemnościowego przełącznika zbliżeniowego, zatem przełączniki zbliżeniowe tego typu są produkowane w formie, w której elektroda jest zintegrowana z układem elektronicznym przełącznika. Dostępne obecnie kształty obudowy mają postać tuby lub rogu. Wnętrze przełącznika zbliżeniowego jest wypełnione polistyrenem, aby uchronić go przed zgubnym wpływem wody, wstrząsów mechanicznym i przystosować go do pracy w warunkach dużego zapylenia i wilgotności. Zakres detekcji wykrywacza typu oscylacyjnego wynosi zwykle od paru milimetrów do 25 mm, nieprzekraczając jednak 120 mm. Napięcia pracy stałe wynoszą od 10 V do 40 V, a przemienne: od 90 do 250 V.

### Opis układu użytego do ćwiczenia

Na rys. 4-2-6 przedstawiono układ wykrywacza metali używającego przełącznika indukcyjnego zbliżeniowego.



Rys. 4-2-6 Układ wykrywacza metali używającego przełącznika zbliżeniowego indukcyjnego

Przełącznik zbliżeniowy indukcyjny użyty w tym układzie charakteryzuje się następującymi danymi technicznymi:

Zakres napięć pracy: od 10 do 30 V a.c.

Maksymalne tętnienia: 10%

Rzeczywisty zakres detekcji: < 80% (Sr)

Histeresa: < 15% (Sr)

Dokładność: < 5%

Jeśli urządzenie nie wykrywa żadnego obiektu niemetalicznego, to WYJŚCIE detektora jest w stanie wysokim, zatem stan na wyjściu inwertera układu scalonego U3-a ( $V_{O2}$ ) jest niski i sygnał dźwiękowy jest wyłączony.

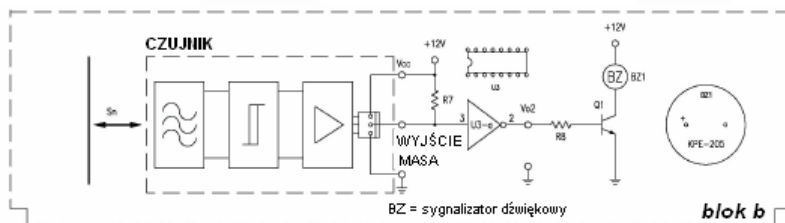
Gdy przełącznik zbliży się do obiektu metalicznego, wskaźnik LED sygnalizujący zadziałanie detektora zaświeca się, a WYJŚCIE detektora przechodzi w stan niski. Stan wyjścia inwertera układu scalonego U3-a ( $V_{O2}$ ) zmienia się na wysoki, tranzystor Q1 zaczyna przewodzić i włącza się sygnalizator dźwiękowy.

## NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-24004 – moduł czujnika (2)
3. Przełącznik zbliżeniowy

## PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-24004 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych) i zlokalizować blok b. Do modułu KL-24004 doprowadzić napięcie stałe +12 V z zasilacza o ustalonym napięciu wyjściowym znajdującym się w module KL-22001.



Rys. 4-2-7 Układ wykrywacza metali (KL-24004 blok b)

2. Wetknąć do modułu indukcyjny przełącznik zbliżeniowy i włączyć zasilanie.
3. Gdy w pobliżu przełącznika zbliżeniowego nie ma żadnych obiektów metalicznych, zmierzyć i zapisać napięcia na wyprowadzeniach WYJŚCIE i  $V_{O2}$ .
- $V_{WYJŚCIE} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$
- $V_{O2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$
4. Powoli zbliżyć metalowy obiekt do przełącznika zbliżeniowego do momentu, gdy włączy się sygnał dźwiękowy. Zmierzyć i zapisać odległość między obiektem a przełącznikiem zbliżeniowym.
- $\underline{\hspace{2cm}} \text{ mm}$
5. Zmierzyć i zapisać napięcia na wyprowadzeniach WYJŚCIE i  $V_{O2}$ .
- $V_{WYJŚCIE} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$
- $V_{O2} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ V}$

## **PODSUMOWANIE**

Sprawdziliśmy praktycznie wykrywanie obiektów metalicznych przez pomiar napięcia wyjściowego i rzeczywiste wykrywanie odległości indukcyjnego przełącznika zbliżeniowego. Jak już wspomniano powyżej, odległość wykrywania jest proporcjonalna do rozmiarów wykrywanego obiektu. Zaleca się praktyczne sprawdzenie tego stwierdzenia dla obiektów o różnych rozmiarach.

## Ćwiczenie 4-3 Sterownik świateł

### PRZEDMIOT ĆWICZENIA

1. Poznanie własności fotorezystorów.
2. Zapoznanie się obsługą układu sterującego oświetleniem.

### DYSKUSJA

Przewodnościowe komórki fotoelektryczne są rezystorami, których rezystancja zmienia się w zależności od natężenia padającego na nie światła. Głównymi materiałami używanymi do budowy takich komórek są siarczek kadmu (CdS) oraz selenek kadmu (CdSe), nakładane w postaci cienkiej warstwy o grubości od 0,4 do 1  $\mu\text{m}$ . Materiał ten jest napyłany na podłoże ceramiczne (wykonane z  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), aktywowany i pokrywany na koniec warstwą stykową przez napylenie indu. Połączenia warstwy stykowej z wyprowadzeniami wykonuje się stosując przewodzącą żywicę.



Rys. 4-3-1 Budowa przewodnościowej komórki fotoelektrycznej (fotorezystora)





Rys. 4-3-2 Różne wykonania fotorezystorów

Zastosowania komórek fotoprzewodzących są następujące:

- Wykrywanie płomienia w palnikach olejowych
- Przelączanie oświetlenia ulicznego
- Projekторы slajdów z automatycznym ogniskowaniem
- Układy sprzęgające LED – fotorezystor
- Ściemniacze LED w miniaturowych kamerach przenośnych
- Mierniki natężenia światła
- Przelączniki sterowane światłem
- Ściemniacze LED w odbiornikach radiowych z zegarem
- Regulacja kontrastu w odbiorniku telewizyjnym
- Ściemniacze w próżniowych wyświetlaczach fluorescencyjnych
- Zabawki elektroniczne
- Regulacja siły głosu w stereofonicznym sprzęcie hi-fi
- Filtry aktywne

Podstawowe parametry fotorezystorów są następujące:

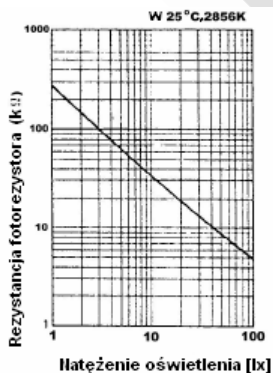
### 1. Czulość

Ogólnie rzecz biorąc czulość przewodnościowej komórki fotoelektrycznej, czyli fotorezystora jest zależnością między natężeniem światła padającego na jej czułą powierzchnię, a sygnałem wyjściowym tej komórki znajdującej się danym układzie elektrycznym. Czulość tę można wyrazić podając prąd oświetlenia fotorezystora (w amperach) lub rezystancję fotorezystora (w omach). Powszechnie, jednak używa się parametru rezystancja.

Krzywa przedstawiona na rys. 4-3-3 obrazuje zależność między rezystancją fotorezystora, a natężeniem oświetlenia. Nachylenie krzywej jest dla każdego fotorezystora inne i jest ważnym parametrem przedstawiającym szybkość zmian rezystancji fotorezystora względem zmian padającego nań światła. Wartość oznaczająca nachylenie jest nazywana współczynnikiem gamma i jest i jest podawana jako tangens kąta nachylenia linii prostej przechodzącej przez dwa określone punkty na tej krzywej:

$$\gamma = \frac{\log R_a - \log R_b}{\log b - \log a} = \frac{\log (R_a/R_b)}{\log (b/a)}$$

Gdzie  $R_a$  i  $R_b$  są rezystancjami fotorezystora w punktach  $a$  [ $lx$ ] i  $b$  [ $lx$ ].

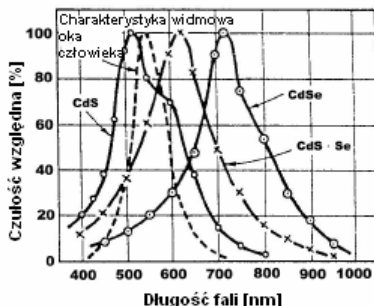


Rys. 4-3-3 Zależność rezystancji typowego fotorezystora od natężenia oświetlenia

## 2. Charakterystyka widmowa

Względna czułość fotorezystora zależy od długości fali światła padającego na ten element. Czułość ta przedstawiona jako funkcja długości fali jest nazywana charakterystyką widmową. Jak przedstawiono na rys. 4-3-4 fotorezystory wykonane z siarczku kadmu ( $CdS$ ) mają charakterystykę widmową zbliżoną do tej, którą ma oko człowieka. Stąd też fotorezystory takie są często stosowane w wielu aplikacjach jako zamienniki oka człowieka. Gdy ilość selenu ( $Se$ ) w materiale fotoelektrycznym wzrasta, to maksimum charakterystyki widmowej przesuwa się w stronę fal dłuższych. Fotorezystor wykonany z selenku kadmu ( $CdSe$ ) przewodnościowego materiału fotoelektrycznego ma maksimum charakterystyki widmowej wypadające w zakresie bliskiej podczerwieni.

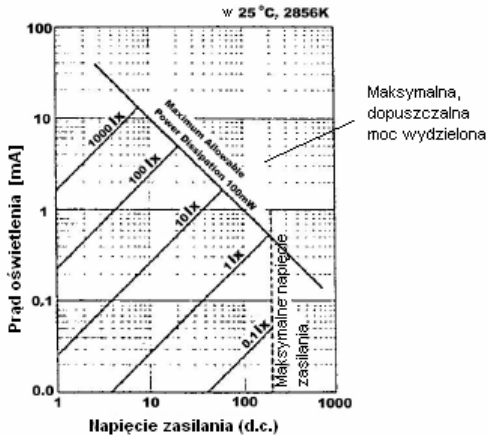
Przy projektowaniu fotorezystora jest ważne, aby wybrać taki fotoelektryczny materiał przewodnościowy i/lub źródło światła, który charakteryzuje się optymalną czułością.



Rys. 4-3-4 Typowa charakterystyka widmowa

### 3. Charakterystyka zależności prądu oświetlenia od napięcia

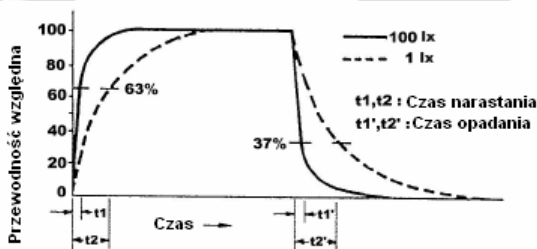
Na rys. 4-3-5 przedstawiono typową charakterystykę fotorezystora opisującą zależność prądu oświetlenia tego fotorezystora od napięcia przyłożonego do niego. Jest to zależność w przybliżeniu liniowa w dopuszczalnym zakresie mocy wydzielanych w komórce. Zależność ta występuje w zakresie stosunkowo małych napięć mniejszych od 1 V. Jednak odbiega ona od liniowej przy poziomach mocy wydzielonej większych od poziomu dopuszczalnego. Występuje to głównie, dlatego, że rezystancja fotorezystora zmienia się przy wzroście temperatury, a który ma miejsce przy wzroście mocy pobieranej.



Rys. 4-3-5 Typowa charakterystyka przedstawiająca zależność prądu oświetlenia od napięcia przyłożonego do fotorezystora

#### 4. Czas odpowiedzi

Czas odpowiedzi fotorezystora jest to czas potrzebny na to, aby po oświetleniu tego fotorezystora jego przewodność wzrosła do 63% wartości szczytowej (czas narastania) i czas potrzebny na to, aby po usunięciu źródła oświetlenia przewodność fotorezystora zmalała od wartości szczytowej do 37% tej wartości szczytowej (czas opadania).



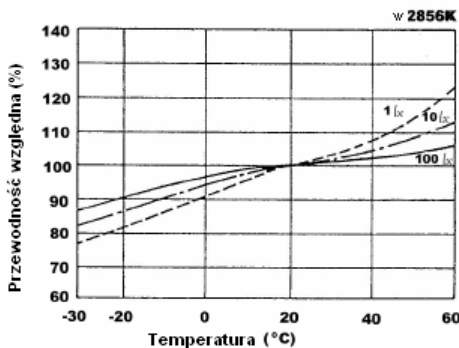
Rys. 4-3-6 Czasy narastania i opadania

Czas odpowiedzi zależy od poziomu natężenia oświetlenia, rezystancji obciążenia, temperatury zewnętrznej i warunków, jakie wcześniej miały miejsce. Przy zwiększaniu poziomu natężenia oświetlenia czas odpowiedzi staje się krótszy.

Fotorezystor przechowywany w ciemności wyróżnia się dłuższym czasem odpowiedzi, niż fotorezystor trzymany w jaskrawym oświetleniu. Efekt ten staje się tym bardziej widoczny im, fotorezystor był przechowywany w ciemności dłużej. Czas narastania staje się też krótszy przy większej rezystancji obciążenia, lecz czas opadania zachowuje się odwrotnie.

## 5. Zależności temperaturowe

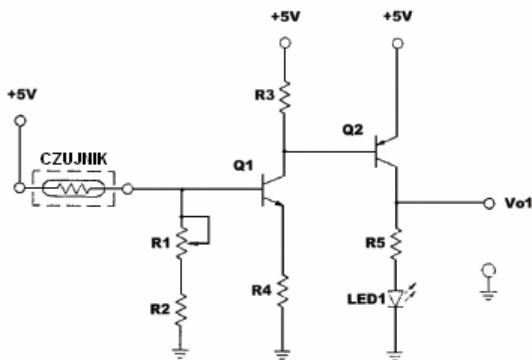
Czułość fotorezystora zmienia się z temperaturą. Jak przedstawiono na rys. 4-3-7, zależność ta jest silniejsza przy małych poziomach natężenia oświetlenia. Aby zminimalizować problemy temperaturowe, zaleca się, aby fotorezystor pracował przy możliwie największych poziomach natężenia oświetlenia. Na czas odpowiedzi fotorezystora nie ma wpływu temperatura w zakresie od 0 do 50°C. Poniżej temperatury 0°C i przy bardzo małym poziomie natężenia oświetlenia czas odpowiedzi może jednak stać się dłuższy.



Rys. 4-3-7 Charakterystyki temperaturowe typowego fotorezystora

### Opis układu zastosowanego w ćwiczeniu

Układ użyty w tym ćwiczeniu przedstawiono na rys. 4-3-8. Zastosowany w nim przewodnościowy element fotoelektryczny, fotorezystor CDS, służy do detekcji poziomu natężenia oświetlenia otoczenia i sterowania, zależnie od niego, włączaniem i wyłączaniem diody LED1. Układ dzielnika napięciowego zbudowany z fotorezystora (CDS), rezystora R1 i rezystora R2 polaryzuje wstępnie bazę tranzystora Q1. Gdy fotorezystor zostanie poddany oświetleniu o poziomie normalnym, to należy ustawić wartość rezystora R1 na punkt, w którym dioda LED zmienia swój stan z wyłączonej na włączoną. Spowoduje to przewodzenie tranzystora Q1 i zmniejszenie się napięcia kolektora do potencjału niskiego tak, że tranzystor Q2 zostaje spolaryzowany w kierunku przewodzenia i dioda LED1 zaświeca się.



Rys. 4-3-8 Układ sterujący oświetleniem zbudowany z fotorezystorem

Z drugiej strony, gdy światło padające na fotorezystor zostanie przysłonięte, to rezystancja tego elementu wzrasta. Napięcie bazy tranzystora Q1 zostaje zmniejszone do wartości poniżej 0,7 V, dzięki czemu tranzystor Q1 przechodzi w stan zatkania. W takiej sytuacji napięcie na kolektorze tranzystora Q1 wzrasta do 5 V. Wymusza to odcięcie tranzystora Q2 i wyłączenie (zgaszenie) diody LED1.

## NIEZBĘDNY SPRZĘT LABORATORYJNY

1. KL-22001 – podstawowy moduł edukacyjny z laboratorium układów elektrycznych
2. KL-24004 – moduł czujnika (2)

## PROCEDURA

1. Ustawić moduł KL-24004 na module KL-22001 (moduł edukacyjny laboratorium z podstawowych układów elektrycznych) i zlokalizować blok a przedstawiony na rys. 4-3-9.
2. Zmierzyć i zapisać wartość rezystancji fotorezystora przy normalnym natężeniu oświetlenia.

$$R_{CDS} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

3. Zasłonić ręką fotorezystor. Zmierzyć i zapisać wartość rezystancji fotorezystora.

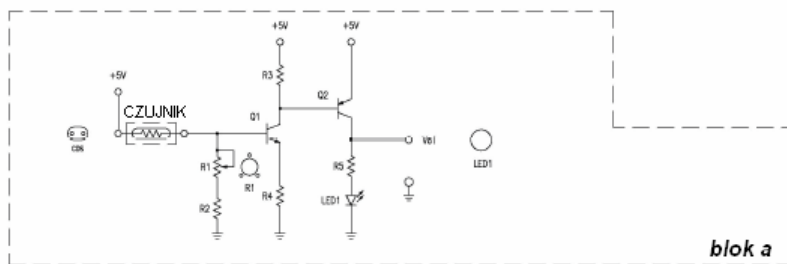
$$R_{CDS} = \underline{\hspace{2cm}} \Omega$$

Jaka jest zmiana rezystancji fotorezystora? \_\_\_\_\_

4. Oświetlić fotorezystor światłem żarówki 60 W. Zmierzyć i zapisać wartość rezystancji fotorezystora.

$R_{CDS} =$  \_\_\_\_\_  $\Omega$

Jaka jest zmiana rezystancji fotorezystora? \_\_\_\_\_



Rys. 4-3-9 Moduł KL-24004 blok a

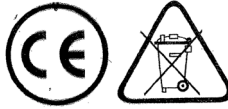
- Doprowadzić do modułu KL-24004 napięcie stałe +5 V z zasilacza o ustalonym napięciu wyjściowym znajdującego się w module KL-22001.
- Kręcąc powoli potencjometrem R1 spowodować zaświecenie diody LED1. Zmierzyć i zapisać w tabelicy 4-3-1 wartości napięć  $V_{B1}$ ,  $V_{B2}$  i  $V_{O1}$ .
- Przykryć fotorezystor jedną ręką. Zmierzyć i zapisać w tabelicy 4-3-1 wartości napięć  $V_{B1}$ ,  $V_{B2}$  i  $V_{O1}$ .

| Poziom natężenia oświetlenia | $V_{B1}$ | $V_{B2}$ | $V_{O1}$ | Stan diody LD1 |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------------|
| Normalny                     |          |          |          |                |
| Zaciemnienie                 |          |          |          |                |

Tablica 4-3-1

## PODSUMOWANIE

Układ sterujący oświetleniem jest używany w tym ćwiczeniu do zasymulowania sterowania światłami ulicznymi za pomocą fotorezystora użytego jako czujnik natężenia oświetlenia. Rezystancja fotorezystora jest odwrotnie proporcjonalna do poziomu natężenia oświetlenia. Innymi słowy, rezystancja fotorezystora maleje, gdy poziom natężenia oświetlenia rośnie.



## Informacja

o postępowaniu ze zużytym sprzętem elektrycznym i elektronicznym  
oraz opakowaniami

*W związku z obowiązkiem informacyjnym wynikającym z wprowadzenia ustawy o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym oraz ustawy o gospodarce opakowaniami i odpadami opakowaniowymi informujemy, że:*

Zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny nie może być umieszczany z innymi odpadami. Sprzęt taki powinien być zbierany selektywnie o czym przypomina załączone oznakowanie (przekreślony, kołowy kontener na odpady). Dotyczy to również opakowań.

Nieprzestrzeganie tej zasady może, przy nieprawidłowej utylizacji zużytego sprzętu, stanowić zagrożenie dla środowiska i zdrowia ludzi, wynikające z obecności w sprzęcie składników niebezpiecznych (takich jak np. okablowanie elektryczne, tworzywa sztuczne, baterie, wyłączniki, płytki obwodów drukowanych, itp.). Aby uniknąć takiego zagrożenia, składniki takie powinny zostać zbierane i w odpowiedni sposób przetworzone przez wyspecjalizowane firmy.

**Użytkownicy sprzętu spełniają ważną rolę w przyczynianiu się do ponownego użycia i odzysku (w tym recyklingu), zużytego sprzętu i opakowań. Odbywa się to w szczególności poprzez uczestnictwo w systemie zbierania zużytych urządzeń i opakowań.**

Informujemy, że zużyty sprzęt a także opakowanie możecie Państwo oddać bezpłatnie w sklepie, w którym został on zakupiony. Samodzielne demontowanie zużytego sprzętu jest niedopuszczalne. Ze sklepu zużyty sprzęt a także opakowanie trafi do wyspecjalizowanej firmy zajmującej się przetwarzaniem, odzyskiem (w tym recyklingiem) i unieszkodliwieniem składników niebezpiecznych,





WYŁĄCZNA DYSTRYBUCJA I SERWIS:

*„NDN – Zbigniew Daniluk”*  
*02-784 Warszawa, ul. Janowskiego 15*  
*tel./fax (22) 641-15-47, 641-61-96*  
*www.ndn.com.pl*  
*e-mail: ndn@ndn.com.pl*

© Wszelkie prawa zastrzeżone