

8



## ELEKTRYK

**Wykorzystywanie elementów elektronicznych i energoelektronicznych do budowy prostych układów**



MINISTERSTWO EDUKACJI  
NARODOWEJ



**Ryszard Zankowski**

**Wykorzystywanie elementów elektronicznych  
i energoelektronicznych do budowy prostych układów  
724[01].O1.08**

**Poradnik dla ucznia**

**Wydawca**  
**Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy**  
**Radom 2007**

Recenzenci:

mgr inż. Urszula Kaczorkiewicz  
prof. PŁ dr hab. inż. Krzysztof Pacholski

Opracowanie redakcyjne:

mgr inż. Barbara Kapruziak

Konsultacja:

mgr inż. Ryszard Dolata

Poradnik stanowi obudowę dydaktyczną programu jednostki modułowej 724[01].O1.08 „Wykorzystywanie elementów elektronicznych i energoelektronicznych do budowy prostych układów”, zawartego w modułowym programie nauczania dla zawodu elektryk.

Wydawca

Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy, Radom 2007

# SPIS TREŚCI

<b>1. Wprowadzenie</b>	3
<b>2. Wymagania wstępne</b>	6
<b>3. Cele kształcenia</b>	7
<b>4. Materiał nauczania</b>	8
<b>4.1. Oporniki i potencjometry</b>	8
4.1.1. Materiał nauczania	8
4.1.2. Pytania sprawdzające	13
4.1.3. Ćwiczenia	14
4.1.4. Sprawdzian postępów	15
<b>4.2. Kondensatory, cewki indukcyjne</b>	16
4.2.1. Materiał nauczania	16
4.2.2. Pytania sprawdzające	20
4.2.3. Ćwiczenia	21
4.2.4. Sprawdzian postępów	22
<b>4.3. Diody prostownicze i stabilizacyjne</b>	23
4.3.1. Materiał nauczania	23
4.3.2. Pytania sprawdzające	27
4.3.3. Ćwiczenia	28
4.3.4. Sprawdzian postępów	29
<b>4.4. Tranzystory bipolarne i unipolarne</b>	30
4.4.1. Materiał nauczania	30
4.4.2. Pytania sprawdzające	35
4.4.3. Ćwiczenia	35
4.4.4. Sprawdzian postępów	36
<b>4.5. Tranzystory IGBT, tyrystory i triaki</b>	37
4.5.1. Materiał nauczania	37
4.5.2. Pytania sprawdzające	42
4.5.3. Ćwiczenia	42
4.5.4. Sprawdzian postępów	43
<b>4.6. Zasilacze</b>	44
4.6.1. Materiał nauczania	44
4.6.2. Pytania sprawdzające	51
4.6.3. Ćwiczenia	52
4.6.4. Sprawdzian postępów	53
<b>4.7. Wzmacniacze i generatory</b>	54
4.7.1. Materiał nauczania	54
4.7.2. Pytania sprawdzające	58
4.7.3. Ćwiczenia	59
4.7.4. Sprawdzian postępów	60
<b>4.8. Układy energoelektroniczne</b>	61
4.8.1. Materiał nauczania	61
4.8.2. Pytania sprawdzające	62
4.8.3. Ćwiczenia	63
4.8.4. Sprawdzian postępów	63
<b>4.9. Montaż powierzchniowy układów elektronicznych</b>	64
4.9.1. Materiał nauczania	64
4.9.2. Pytania sprawdzające	66

4.9.3. Ćwiczenia	66
4.9.4. Sprawdzian postępów	66
<b>5. Sprawdzian osiągnięć</b>	<b>67</b>
<b>6. Literatura</b>	<b>72</b>

# 1. WPROWADZENIE

Poradnik ten będzie Ci pomocny w przyswajaniu wiedzy dotyczącej podstawowych elementów i układów elektronicznych najczęściej stosowanych w różnych urządzeniach technicznych, a w szczególności pomoże ukształtować umiejętność rozpoznawania poszczególnych elementów i układów elektronicznych, określania ich parametrów oraz montażu i oceny stanu technicznego tych elementów i układów.

W Poradniku będziesz mógł znaleźć następujące informacje ogólne:

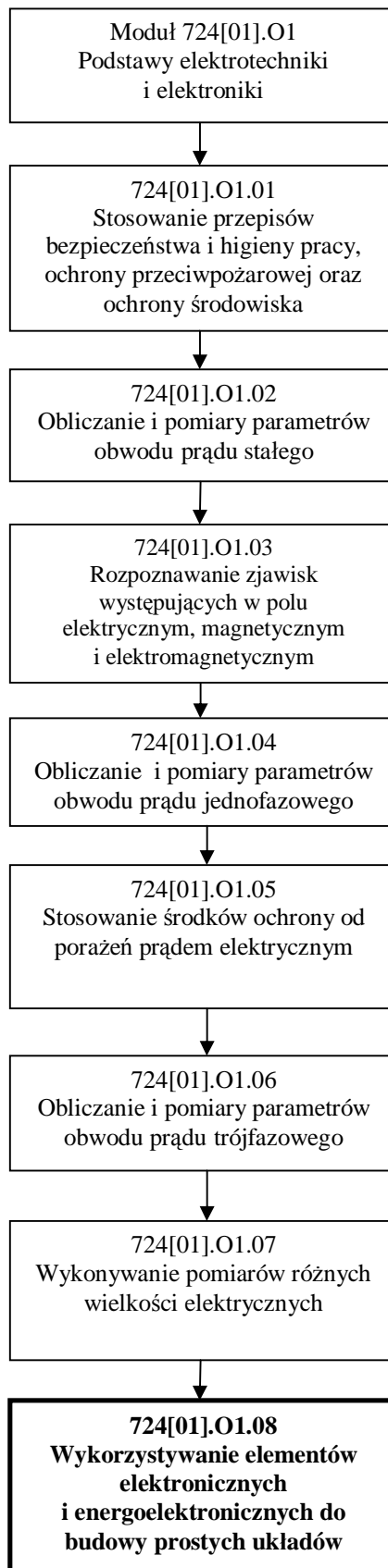
- wymagania wstępne określające umiejętności, jakie powinieneś posiadać, abyś mógł bez problemów rozpocząć pracę z poradnikiem,
- cele kształcenia czyli wykaz umiejętności, które osiągniesz w wyniku kształcenia w ramach tej jednostki modułowej,
- materiał nauczania, czyli wiadomości teoretyczne konieczne do opanowania treści jednostki modułowej,
- zestaw pytań sprawdzających, które pomogą Ci ocenić, czy opanowałeś już podane treści,
- ćwiczenia zawierające polecenia, sposób wykonania oraz wyposażenie stanowiska pracy, które pozwolą Ci ukształtować określone umiejętności praktyczne,
- sprawdzian postępów pozwalający sprawdzić Twój poziom wiedzy po wykonaniu ćwiczeń,
- sprawdzian osiągnięć opracowany w postaci testu, który umożliwi Ci sprawdzenie poziomu nabytych wiadomości i ukształtowanych umiejętności podczas realizacji programu danej jednostki modułowej,
- literaturę związaną z programem jednostki modułowej umożliwiającą pogłębienie Twojej wiedzy z zakresu programu tej jednostki.

W poradniku został zamieszczony wybrany materiał teoretyczny, ćwiczenia z zakresu badania i dobierania elementów i podzespołów elektronicznych, pytania sprawdzające.

Szczególną uwagę zwróć na przepisy dotyczące bezpieczeństwa wykonywania pomiarów.

## **Bezpieczeństwo i higiena pracy**

W czasie pobytu w pracowni musisz przestrzegać regulaminów, przepisów bhp i higieny pracy oraz instrukcji przeciwpożarowych, wynikających z rodzaju wykonywanych prac. Przepisy te poznasz podczas trwania nauki.



Schemat układu jednostek modułowych

## 2. WYMAGANIA WSTĘPNE

Przystępując do realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- rozróżniać elementy obwodów elektrycznych,
- czytać i rysować schematy obwodów elektrycznych,
- wyjaśniać podstawowe pojęcia dotyczące obwodów elektrycznych,
- interpretować podstawowe prawa i zależności opisujące obwody elektryczne,
- obliczać i szacować wielkości elektryczne w prostych obwodach prądu stałego i przemiennego,
- weryfikować doświadczalnie poprawność obliczeń,
- rozpoznawać na podstawie wyglądu, oznaczeń i symboli graficznych elementy bierne obwodów elektrycznych,
- posługiwać się miernikami elektrycznymi,
- obsługiwać oscyloskop zgodnie z instrukcją,
- obserwować na oscyloskopie przebiegi sygnałów i interpretować te przebiegi,
- dobierać metody pomiarowe oraz rodzaj i zakres mierników do wykonywanych pomiarów,
- mierzyć podstawowe wielkości elektryczne w obwodach prądu stałego i przemiennego,
- określać niepewność pomiaru,
- interpretować wyniki pomiarów,
- wykonywać połączenia elementów i urządzeń elektrycznych,
- stosować podstawowe prawa i zależności dotyczące obwodów prądu stałego i zmiennego,
- analizować pracę prostych urządzeń elektrycznych na podstawie ich schematów ideowych oraz uzyskanych wyników pomiarów,
- lokalizować i usunąć proste usterki w urządzeniach elektrycznych,
- korzystać z Internetu w zakresie poszukiwań informacji technicznej,
- korzystać z innych źródeł informacji technicznej dotyczącej sprzętu elektrycznego,
- przestrzegać zasad bhp i ochrony ppoż. obowiązujących na stanowisku pracy.



### 3. CELE KSZTAŁCENIA

W wyniku realizacji programu jednostki modułowej powinieneś umieć:

- rozpoznać podstawowe elementy elektroniczne i energoelektroniczne na podstawie symboli graficznych, oznaczeń literowo-cyfrowych i wyglądu zewnętrznego,
- rozpoznać podstawowe parametry elementów elektronicznych i energoelektronicznych,
- zmierzyć podstawowe parametry elementów elektronicznych,
- zamontować diodę, tranzystor lub tyrystor na radiatorze,
- ocenić sprawność elementu na podstawie oględzin i wyników pomiaru,
- rozpoznać podstawowe układy elektroniczne i energoelektroniczne na schematach ideowych,
- zamontować podstawowe elementy elektroniczne i energoelektroniczne na płytkach drukowanych,
- zmontować proste układy elektroniczne i energoelektroniczne na podstawie schematów ideowych i montażowych,
- zmierzyć podstawowe parametry układów elektronicznych i energoelektronicznych,
- ocenić stan techniczny układu elektronicznego i energoelektronicznego na podstawie wyników pomiaru,
- zlokalizować usterki w układy elektronicznych i energoelektronicznych,
- dokonać prostych napraw układów elektronicznych i energoelektronicznych,
- przestrzegać zasad bezpieczeństwa i higieny pracy, ochrony od porażeń prądem elektrycznym oraz ochrony przeciwpożarowej. obowiązujących na stanowisku pracy.

## 4. MATERIAŁ NAUCZANIA

### 4.1. Oporniki i potencjometry

#### 4.1.1. Materiał nauczania

##### Oporniki

Oporniki możemy podzielić w zależności od:

- cech funkcjonalnych na: rezystory, potencjometry, termistory i warystory,
- charakterystyki prądowo-napięciowej, na: liniowe i nieliniowe,
- stosowanego materiału oporowego, na: drutowe, warstwowe i objętościowe.

Oporniki liniowe w normalnych warunkach pracy charakteryzują się proporcjonalną zależnością napięcia od prądu, tzn. spełniają prawo Ohma określone wzorem

$$U = R \cdot I$$

gdzie  $U$  oznacza napięcie występujące na oporniku,  $R$  jest rezystancją opornika (przy czym  $R = const$ ), a  $I$  jest prądem płynącym przez opornik.

Symbol graficzny stałego opornika liniowego pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Symbol graficzny opornika [opracowanie własne]

Oporniki drutowe (symbol: RDL) są wykonane z drutu stopowego nawiniętego na ceramiczny wałek.

W opornikach warstwowych (symbol: MŁT, AF, ML, RMG, AT, OWZ), materiał rezystywny jest umieszczany na podłożu w postaci węgla lub metalu. Oporniki węglowe OWZ stosuje się w układach w.cz. (do 1GHz) o niewielkiej mocy (do 1W).

Do budowy oporników objętościowych, w których prąd płynie całą objętością opornika, stosuje się organiczne lub nieorganiczne materiały oporowe. Są one głównie stosowane w sprzęcie profesjonalnym, gdzie wytrzymują duże obciążenia prądowe i mocy.

##### Parametry użytkowe oporników stałych

Do podstawowych parametrów oporników należą:

- rezystancja znamionowa  $R_n$ , czyli wartość rezystancji podawana na obudowie,
- tolerancja wyrażona w %, czyli dokładność z jaką wykonywane są oporniki o danej wartości rezystancji znamionowej,
- moc znamionowa  $P_n$ , czyli największa dopuszczalna moc strat cieplnych w oporniku,
- temperaturowy współczynnik temperaturowy TWR, określający w % zmiany rezystancji opornika pod wpływem zmian temperatury opornika,
- napięcie graniczne  $U_{gr}$ , powyżej którego opornik może ulec uszkodzeniu.

Oporniki są produkowane w następujących grupach tolerancji:  $\pm 20\%$ ,  $\pm 10\%$ ,  $\pm 5\%$ ,  $\pm 2\%$ ,  $\pm 1\%$ ,  $\pm 0,5\%$ . Trzy ostatnie grupy oporników charakteryzują się dużą stałością rezystancji i są nazywane opornikami dokładnymi. Klasom dokładności odpowiadają następujące szeregi wartości rezystancji znamionowych: E6 ( $\pm 20\%$ ), E12 ( $\pm 10\%$ ), E24 ( $\pm 5\%$ ), E48 ( $\pm 2\%$ ), E96 ( $\pm 1\%$ ), E192 ( $\pm 0,5\%$ ).

Przykładowe szeregi rezystancji znamionowych:

- E6 (10, 15, 22, 33, 47, 68),

- E12 (10, 12, 15, 18, 22, 27, 33, 39, 47, 56, 68, 82),
- E24 (10, 11, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 39, 43, 47, 51, 56, 62, 68, 75, 82, 91).

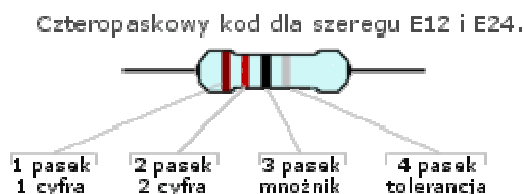
Przykład:

Jeżeli rezystancja znamionowa opornika wynosi 220kΩ i należy ona do szeregu E12, to oznacza, że rzeczywista wartość rezystancji tego opornika mieści się w granicach  $\pm 10\%$  rezystancji znamionowej i znajduje się w przedziale od 198kΩ do 242kΩ.

Moc znamionowa opornika zależy od jego konstrukcji, zastosowanego materiału, a także od sposobu chłodzenia opornika. Dla małych wartości mocy oporników są uszeregowane następująco: 0,125 W; 0,25 W; 0,5 W; 1 W; 2 W i 5 W.

### Oznaczenia wartości znamionowej rezystancji

Istnieją dwa sposoby oznaczania wartości znamionowej oporników: kod barwny i kod literowo-cyfrowy. Stosując kod barwny, wartość znamionową oznacza się za pomocą barwnych pasków, kropek, lub ich kombinacji (rys 2). Pierwszy pasek (kropka), umieszczony bliżej czoła opornika, określa pierwszą cyfrę, drugi pasek (kropka) – drugą cyfrę, trzeci pasek (kropka) – współczynnik krotności (mnożnik). Natomiast ostatni pasek oznacza tolerancję i jest zwykle podwójnej szerokości. Kod barwny oporników przedstawiono w tabeli 1.



Rys. 2. Kod paskowy oporników [10]

Tabela 1. Kod barwny oporników [6]

Kolor znaku	Pierwszy pasek pierwsza cyfra	Drugi pasek druga cyfra	Trzeci pasek współczynnik krotności	Czwarty pasek tolerancja rezystancji %
Srebrny	-	-	$10^{-2}$	10
Złoty	-	-	$10^{-1}$	5
Czarny	-	0	1	-
Brazowy	1	1	10	1
Czerwony	2	2	$10^2$	2
Pomarańczowy	3	3	$10^3$	-
Żółty	4	4	$10^4$	-
Zielony	5	5	$10^5$	-
Niebieski	6	6	$10^6$	-
Fioletowy	7	7	-	-
Szary	8	8	-	-
Biały	9	9	-	-

Jeżeli, np.: na oporniku będą paski: żółty, fioletowy, czerwony, złoty oznacza to, że ma on wartość znamionową 4,7 kΩ i tolerancję  $\pm 5\%$ .

W kodzie literowo-cyfrowym wartość rezystancji określa się zwykle trzema lub czterema znakami, np.: wartość 81 Ω – znakiem 81 lub 81R, wartość 8100 Ω – znakiem 8100 lub 8k1, wartość 7 200 000 Ω – znakiem 7M2.

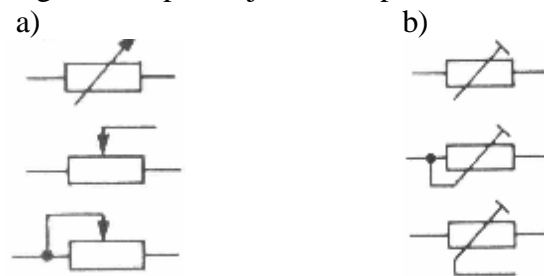
## Oporniki zmienne – potencjometry

W układach elektronicznych oprócz oporników stałych, stosuje się oporniki zmienne zwane potencjometrami, w których wartość rezystancji zależy od położenia pokrętki (ruchomego ślizgacza).

W zależności od zastosowania, potencjometry dzieli się na:

- regulacyjne, służące do regulacji parametrów urządzenia w czasie jego pracy,
- dostrojcze (zwane montażowymi lub nastawczymi), służące do ustalania warunków pracy układu w czasie jego uruchamiania, strojenia lub naprawy.

Możliwe symbole graficzne potencjometrów przedstawiono na rys. 3.

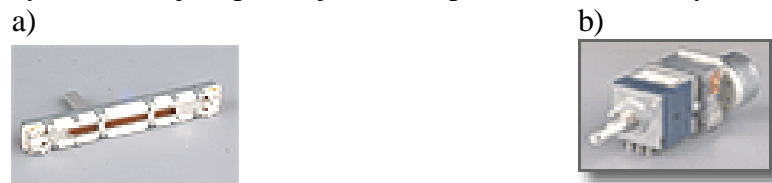


Rys. 3. Symbole graficzne potencjometrów: a) regulacyjnych, b) dostrojczych [6]

Ze względu na sposób regulowania potencjometry dzieli się na:

- obrotowe: regulowane osią obrotową lub wkrętkiem,
- suwakowe: regulowane przesuwem suwaka w linii prostej.

Wygląd zewnętrzny obu rodzajów potencjometrów przedstawiono na rys. 4.

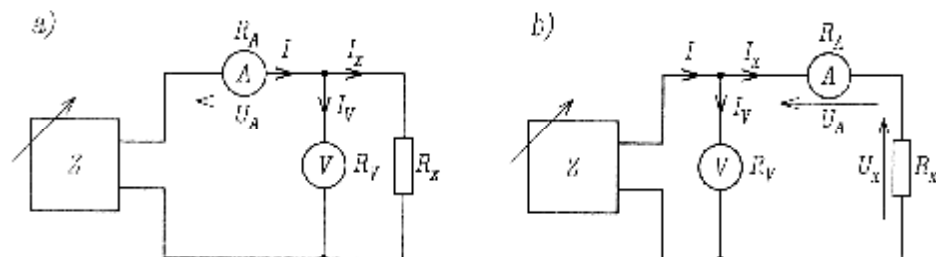


Rys. 4. Potencjometry: a) suwakowe, b) obrotowe [12]

## Pomiary rezystancji i dobieranie parametrów oporników i potencjometrów

Podstawowym urządzeniem pomiarowym służącym do pomiaru rezystancji jest omomierz ustawiony. Jeżeli rezystor jest połączony z innymi elementami obwodu, to należy jedną z jego końcówek odłączyć przed pomiarem rezystancji.

Rezystancja może być mierzona również za pomocą woltomierza i amperomierza tzw. metodą techniczną, której dwa podstawowe układy pomiarowe przedstawiono na rys. 5.



Rys. 5. Schematy układów do pomiaru metodą techniczną: a) małych rezystancji, b) dużych rezystancji [1]

## Oporniki nieliniowe

Oporniki te charakteryzują się nieproporcjonalną zależnością napięcia od prądu, tzn. we wzorze określającym prawo Ohma rezystancja  $R \neq const$ . Rezystancja w układach nieliniowych zależy od czynników zewnętrznych. Najbardziej popularnymi nieliniowymi opornikami są:

- termistory, w których zmienna rezystancja zależy od temperatury,
- warystory, w których zmienna rezystancja zależy od przyłożonego napięcia.

Obudowy termistorów i warystorów przypominają kształtem oporniki stałe, a ich symbole graficzne pokazano na rys. 6.



Rys. 6. Symbole graficzne: a) warystora, b) termistor [opracowanie własne]

### Termistory

Termistory są stosowane w układach temperaturowej stabilizacji punktu pracy oraz w układach regulacji i pomiaru temperatury. Występują 3 rodzaje termistorów różniących się charakterem zmian rezystancji w funkcji temperatury:

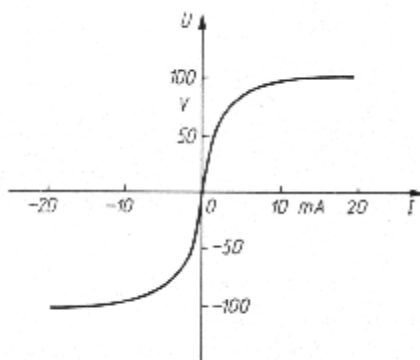
- NTC o rezystancji malejącej ze wzrostem temperatury,
- PTC o rezystancji rosnącej ze wzrostem temperatury,
- CTR o rezystancji gwałtownie zmieniającej się w pewnym zakresie temperatury.

Najważniejszymi parametrami termistora są:

- rezystancja znamionowa, podawana dla temperatury 25°C (mieści się w granicach od pojedynczych  $\Omega$  do kilku M  $\Omega$ ),
- tolerancja rezystancji znamionowe ( $\pm 10\%$  lub  $\pm 20\%$ ),
- temperaturowy współczynnik rezystancji,
- dopuszczalny zakres temperatur i dopuszczalna moc strat cieplnych (od 4,5 do 1500 mW).

### Warystory

Warystory są stosowane do stabilizacji i ograniczania napięć, a ich charakterystyka prądowo-napięciowa jest pokazana na rysunku 7.



Rys. 7. Charakterystyka napięciowo-prądowa warystora [6]

Charakterystyka warystorów jest symetryczna i silnie nieliniowa. Można ją opisać następującym wzorem

$$U = C \cdot I^b$$

gdzie  $U$  oznacza napięcie występujące na warystorze,  $I$  jest prądem płynącym przez warystor,  $C$  współczynnikiem proporcjonalności, a  $\beta$  współczynnikiem nieliniowości i jednocześnie parametrem warystora mieszczącym się w granicach od 0,15 do 0,25.

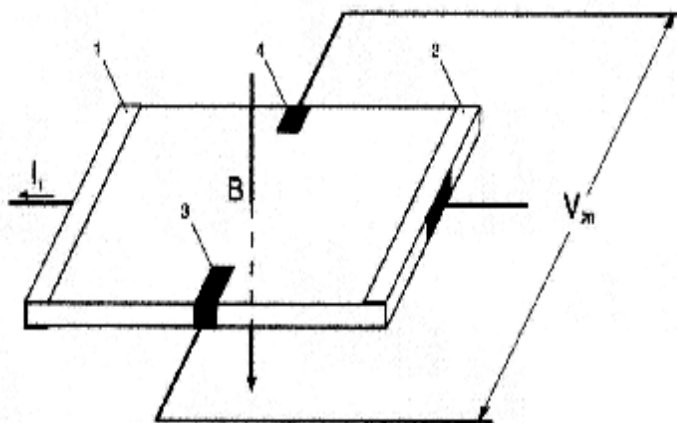
Kolejnymi parametrami warystora są: napięcie charakterystyczne  $U_{ch}$ , określające spadek napięcia na warystorze w zakresie nasycenia charakterystyki (napięcie stabilizacji) oraz moc znamionowa warystora  $P_N$ .

Warystory oznaczane są kodem literowo-cyfrowym. Litery oznaczają rodzaj obudowy (WW-walcowa, WD-dyskowa), a liczby kolejne parametry warystora. Pierwsza liczba oznacza napięcie charakterystyczne w V przy określonym prądzie w mA. Druga liczba oznacza współczynnik  $\beta$ , a trzecia moc znamionową w W.

Na przykład: Warystor oznaczony WW-1200/10-0,18-0,8, jest warystorem walcowym o napięciu charakterystycznym 1200 V, przy prądzie 10 mA. Jego współczynnik nieliniowości wynosi  $\beta=0,18$ , a moc znamionowa 0,8 W.

### Hallotrony

Hallotrony (inaczej czujniki Halla) są półprzewodnikowymi czujnikami stałego i zmiennego pola magnetycznego. Zasada działania tych czujników oparta jest na zjawisku Halla polegającym na powstawaniu różnicy potencjałów w pewnych materiałach (np. w arsenku galu GaAs), które są umieszczone w polu magnetycznym i przez które płynie prąd elektryczny. Uproszczony schemat hallotronu pokazany jest na rys. 8.



Rys. 8. Uproszczony schemat czujnika Halla [10]

Na rys. 8  $I_1$  oznacza prąd pracy hallotronu,  $V_{20}$  jest napięciem wyjściowym hallotronu, a  $B$  indukcyjnością badanego pola magnetycznego.

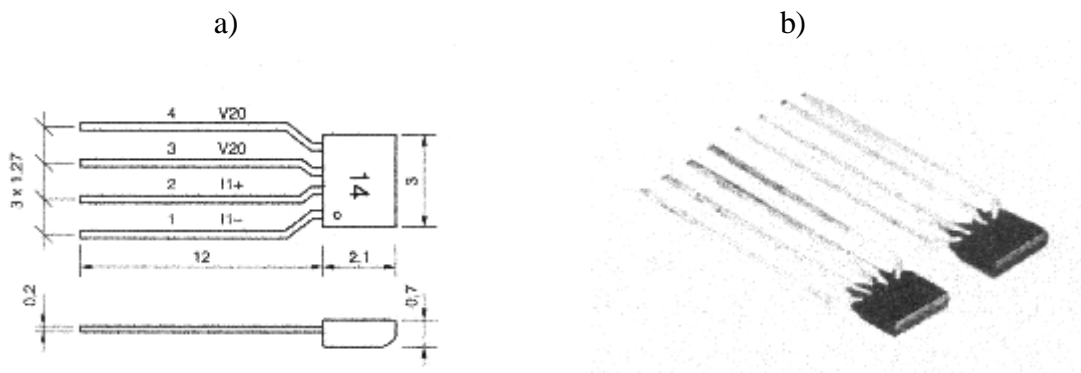
Jak widać czujnik ma 4 wyprowadzenia. Jeżeli między wyprowadzeniami nr 1 i 2 płynie prąd stały  $I_1$ , a płytkę przecinają pod kątem prostym linie sił pola magnetycznego o indukcji  $B$ , to między wyprowadzeniami 3 i 4 powstaje niewielkie napięcie  $V_{20}$  proporcjonalne do płynącego prądu i indukcji pola magnetycznego. W zależności od kierunku pola magnetycznego napięcie wyjściowe może być dodatnie lub ujemne.

Typowym zastosowaniem hallotronów jest pomiar stałego i zmiennego pola magnetycznego, ale także bezdotykowy pomiar prądu elektrycznego w układach automatyki przemysłowej lub w dziedzinie motoryzacji.

## Parametry hallotronów

Do podstawowych parametrów tych czujników zaliczamy: czułość przetwarzania, maksymalną wartość prądu  $I_1$ , zakres temperatur pracy i napięcia wyjściowego  $V_{20}$  oraz nieliniowość przetwarzania. Ponieważ hallotrony są w pewnym sensie rodzajem rezystora, to w temperaturze pokojowej wykazują określoną rezystancję mierzoną między wyprowadzeniami 1 i 2 oraz 3 i 4. Sprawdzenie wartości tej rezystancji może służyć do wstępnej oceny sprawności tego elementu. Należy pamiętać, aby podczas tych pomiarów nie przekroczyć maksymalnych wartości prądu i napięcia w obwodach 1-2 i 3-4.

Na rys. 9. pokazano wygląd zewnętrzny i układ wyprowadzeń hallotronu typu KSY14 firmy Siemens.



Rys. 9. Hallotron KSY14: a) układ wyprowadzeń, b) wygląd zewnętrzny [10]

Parametry pracy tego czujnika są następujące:

- zakres temperatur (-40.....+175) °C,
- prąd pracy  $I_1$  (typ. 5mA, max 7 mA),
- czułość przetwarzania (190....260) V/AT,
- napięcie wyjściowe 20 V (95....130) mV,
- nieliniowość dla zakresu ( $B=0$ ..... $B=1$ )T wynosi maksymalnie  $\pm 0,7\%$ .

### 4.1.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jaka jest budowa i właściwości oporników drutowych, warstwowych i objętościowych?
2. Jakie są najważniejsze parametry użytkowe oporników liniowych stałych?
3. Jakie są wartości znamionowe oporników z ciągu E6, a jakie z E12?
4. Jaki kod barwny będzie miał opornik z ciągu E24 o wartości znamionowej  $91\Omega$ ?
5. Czym się różni potencjometr od opornika?
6. Jakie wyróżniamy rodzaje potencjometrów i gdzie je stosujemy?
7. Czym charakteryzuje się termistor CTR?
8. Co to jest współczynnik  $\beta$  warystora?
9. Co to jest hallotron?
10. Jakie wielkości można mierzyć za pomocą hallotronów?

### 4.1.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Rozpoznaj spośród przedstawionych elementów opornik oraz odczytaj i sprawdź wartość jego rezystancji znamionowej i tolerancję.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) ustalić kolory występujące na obudowie elementu elektronicznego,
- 2) stwierdzić po obudowie oraz po kolorach i układzie pasków, który z elementów jest opornikiem,
- 3) ustalić, po której stronie znajduje się pasek tolerancji rezystancji badanego opornika,
- 4) rozszyfrować wartość znamionową rezystancji,
- 5) odczytać zakodowaną wartość tolerancji opornika,
- 6) zweryfikować odczyt, poprzez sprawdzenie, czy odczytana wartość mieści się w szeregu wynikającym z odczytanej tolerancji,
- 7) zmierzyć omomierzem rzeczywistą wartość rezystancji,
- 8) obliczyć względną różnicę między zmierzoną wartością rezystancji a rezystancją znamionową,
- 9) porównać, wyrażoną w %, obliczoną w punkcie 8 różnicę z tolerancją opornika podaną przez producenta.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zestaw oporników,
- omomierz,
- kalkulator i zeszyt do ćwiczeń.

#### Ćwiczenie 2

Dokonaj pomiaru rezystancji potencjometru i porównaj ją z rezystancją znamionową tego potencjometru.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) ustalić końcówki potencjometru między którymi występujące na obudowie elementu elektronicznego,
- 2) ustalić właściwą metodę pomiaru,
- 3) narysować układ pomiarowy,
- 4) zbudować układ pomiarowy z dostępnych elementów,
- 5) zmierzyć omomierzem rzeczywistą wartość rezystancji potencjometru,
- 6) obliczyć względną różnicę między zmierzoną wartością rezystancji a rezystancją znamionową.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- potencjometry,
- zasilacz,
- omomierz, amperomierz, woltomierz,
- kalkulator i zeszyt do ćwiczeń.



### Ćwiczenie 3

Rozpoznaj spośród przedstawionych elementów warystor oraz odczytaj wartości jego parametrów na podstawie oznaczeń.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) stwierdzić po kształcie obudowy i oznaczeniach na obudowie, który z elementów jest warystorem,
- 2) określić rodzaj obudowy warystora,
- 3) odczytać zakodowaną wartość napięcia charakterystycznego,
- 4) odczytać zakodowaną wartość współczynnika nieliniowości,
- 5) odczytać zakodowaną wartość mocy znamionowej.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zestaw elementów elektronicznych,
- zeszyt do ćwiczeń.

#### 4.1.4. Sprawdzian postępów

**Czy potrafisz:**

	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) odczytać wartości rezystancji znamionowej korzystając z kodu paskowego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) odróżnić, po wyglądzie zewnętrznym i oznaczeniach na obudowie, opornik od innych biernych elementów elektronicznych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) ustalić do jakiego szeregu wartości należy odczytana wartość rezystancji znamionowej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) zmierzyć wartość rzeczywistą rezystancji?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) obliczyć względną różnicę między wartością zmierzoną a wartością znamionową rezystancji opornika lub potencjometru?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) odczytać podstawowe parametry warystora na podstawie oznaczeń na jego obudowie?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.2. Kondensatory, cewki indukcyjne

### 4.2.1. Materiał nauczania

#### Kondensatory

Kondensatory można podzielić, w zależności od ich przeznaczenia na:

- stałe (o stałej pojemności),
- zmienne (o zmiennej pojemności, stosowane do przestrajania obwodów rezonansowych),
- biegunowe zwane polarnymi (przeznaczone do pracy przy jednym określonym kierunku doprowadzonego napięcia stałego).

Ze względu na rodzaj zastosowanego dielektryka kondensatory dzielimy na:

- powietrzne (brak dielektryka),
- mikowe (symbol: KM),
- ceramiczne (symbole: KCP, KFP, KCR, KFR),
- z tworzyw sztucznych (symbole: KSE, KSF, MKSE, MKSF, MKSW, KMP, KFMP),
- elektrolityczne (symbole: KEN, KEO, 02/T, 04/U, 164D, 196D, ETO).

Na rys. 10 przedstawiono wygląd zewnętrzny stosowanych bardzo często kondensatorów elektrolitycznych.



Rys. 10. Obudowy kondensatorów elektrolitycznych [2]

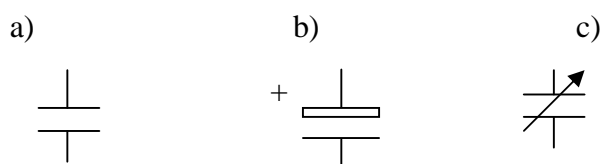
#### Parametry kondensatorów

Najważniejszymi parametrami kondensatora są:

- pojemność znamionowa – CN (wyrażana w faradach [F], która określa zdolność kondensatora do gromadzenia ładunków elektrycznych; podawana na obudowie kondensatora – ciąg wartości z szeregu E6 lub E12),
- napięcie znamionowe - UN (największe dopuszczalne napięcie stałe lub zmienne, które może być przyłożone do kondensatora; zwykle podawane na obudowie kondensatora),
- tangens kąta stratności –  $\text{tg}\delta$  (stosunek mocy czynnej wydzielającej się na kondensatorze do mocy biernej magazynowanej w kondensatorze, przy napięciu sinusoidalnie zmiennym o określonej częstotliwości),
- prąd upływowy –  $I_u$  (prąd płynący przez kondensator, przy napięciu stałym),
- temperaturowy współczynnik pojemności –  $\alpha_C$  (określa względną zmianę pojemności, zależną od zmian temperatury).

#### Kondensatory stałe

Symbole graficzne różnych rodzajów kondensatorów różnią się między sobą co pokazuje rys. 11.



**Rys. 11.** Symbole graficzne kondensatora: a) niebiegunowego, b) biegunowego, c) zmiennego [opracowanie własne]

Kondensatory mikowe mają mały współczynnik  $\alpha_C$  oraz mały tangens kąta stratności dielektrycznej. Wadą jest wysoka cena kondensatorów o większych wartościach pojemności.

Kondensatory ceramiczne mają duży współczynnik  $\alpha_C$  oraz mały tangens kąta stratności dielektrycznej. Zaletą ich jest duża wartość pojemności znamionowej i małe wymiary. Mają niewielkie wartości indukcyjności własnej, w związku z tym mogą być stosowane w obwodach wielkiej częstotliwości oraz jako pojemności sprzęgające (pojemności w obwodach rezonansowych i filtrach).

Kondensatory z tworzyw sztucznych należą do kondensatorów zwijkowych, w których dielektrykiem może być folia polistyrenowa, poliestrowa lub polipropylenowa. Kondensatory polistyrenowe mają małe współczynniki  $\text{tg}\delta$  oraz  $\alpha_C$  i są stosowane w układach pracujących w zakresie wielkich częstotliwości. Kondensatory poliestrowe mają duży współczynnik  $\text{tg}\delta$  i są stosowane głównie w układach napięcia stałego lub zmiennego o małej częstotliwości. Kondensatory polipropylenowe mają właściwości zbliżone do właściwości kondensatorów poliestrowych i stosuje się je w obwodach prądu zmiennego o częstotliwości 50 Hz.

Kondensatory elektrolityczne, ze względu na użyty do ich budowy materiał dzielimy na: aluminiowe i tantalowe (z elektrolitem ciekłym – mokre oraz z elektrolitem suchym – półprzewodnikowe). Pod względem zastosowań układowych rozróżniamy kondensatory: biegunowe i niebiegunowe, stosowane w układach filtracji napięcia zasilania i jako kondensatory sprzęgające w układach małej częstotliwości. Kondensatory elektrolityczne mają duże wartości pojemności znamionowej ( $1 \div 47000 \mu\text{F}$ ), a zakres napięć roboczych od 6,3 V do 450 V. Tolerancje kondensatorów elektrolitycznych mają bardzo duże wartości sięgające ( $-10 \div +100 \%$  dla aluminiowych,  $\pm 30 \%$  dla tantalowych). Długotrwała praca kondensatora przy napięciu mniejszym niż napięcie znamionowe powoduje znaczny wzrost jego pojemności. Wadą tych kondensatorów jest duży współczynnik strat  $\text{tg}\delta$  (aluminiowe – do 0,5; tantalowe – do 0,2) i duży prąd upływowy  $I_u$ , którego wartość rośnie ze wzrostem temperatury oraz duża indukcyjność własna (zwłaszcza kondensatorów aluminiowych). Kondensatory elektrolityczne mają oznaczoną biegunowość. Zmiana biegunów (elektrod) powoduje zniszczenie kondensatora.

### Oznaczenia kondensatorów stałych

Kondensatory, tak jak i rezystory, mogą być oznaczane cyfrowo, literowo-cyfrowo lub za pomocą kodu barwnego (głównie kondensatory miniaturowe). Systemy oznaczeń są bardzo różne i zależne od rodzaju kondensatora i jego producenta.

Pewne typy kondensatorów mają swoje systemy oznaczeń parametrów, a do najpopularniejszych kondensatorów należą: zwijkowe (z tworzyw sztucznych), ceramiczne i elektrolityczne.

Oznaczenia kondensatorów zwijkowych i ceramicznych, umieszczane na korpusie, są w pewnym zakresie podobne i zawierają następujące dane:

- znak producenta,
- typ kondensatora,
- kategoria klimatyczna (w zwijkowych nie umieszczana),
- pojemność znamionowa w pF, nF i  $\mu\text{F}$  (dotyczy tylko zwijkowych) – w zapisie skróconym litery p, n,  $\mu$  używane są jako przecinki,

- tolerancja pojemności w % lub w zapisie skróconym literowo (B -  $\pm 0,1\%$ , C -  $\pm 0,25\%$ , D -  $\pm 0,5\%$ , F -  $\pm 1\%$ , G -  $\pm 2\%$ , J -  $\pm 5\%$ , K -  $\pm 10\%$ , M -  $\pm 20\%$ , N -  $\pm 30\%$ ),
- napięcie znamionowe w V lub małymi literami (m – 25 V, l – 40 lub 50 V, a – 63 V, b – 100 V, c – 160 V, d – 250 V, e – 400V, f – 600 V, h – 1000V, i – 1600 V).

Kondensatory ceramiczne są produkowane z różnych materiałów o różnym współczynniku  $\alpha_C$ , który może przybierać wartość dodatnią lub ujemną. Materiał dielektryka oznacza się literą wskazującą znak  $\alpha_C$  (N-ujemny, P-dodatni, NPO-zeroowy) i liczbą wyrażającą nominalną wartość modułu  $\alpha_C$ .

Ponadto w kondensatorach ceramicznych stosuje się również skrócony 3- cyfrowy zapis wartości znamionowej pojemności. Pierwsza i druga cyfra oznaczają wartość (najczęściej z szeregu E6), a trzecia wykładnik potęgi liczby 10. Po przemnożeniu dwucyfrowej wartości przez 10 podniesione do odpowiedniej potęgi otrzymujemy wartość  $C_N$  wyrażoną w pF.

Przykłady:

P100 / 101 –  $\alpha_C = +100 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  i  $C_N = 100$  pF,

NPO / 222 –  $\alpha_C = 0 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  i  $C_N = 2,2$  nF,

N33 / 473 –  $\alpha_C = -33 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  i  $C_N = 47$  nF.

Pełne oznaczenie kondensatorów elektrolitycznych obejmuje następujące dane:

- znak producenta,
- typ kondensatora,
- kategoria klimatyczna,
- pojemność znamionowa w  $\mu\text{F}$ ,
- napięcie znamionowe w V,
- oznaczenie biegunowości (kropka lub kreska oznacza minus),
- data produkcji.

Kondensatory aluminiowe (02/T – z wyprowadzeniami osiowymi, 04/U – z wyprowadzeniami równoległymi) oraz tantalowe (196D – z elektrolitem stałym i ETO – z elektrolitem ciekłym) o małych rozmiarach pozbawione są oznaczeń kategorii klimatycznej i daty produkcji.

### Kondensatory zmienne

Kondensatory o zmiennej pojemności są to kondensatory z dielektrykiem powietrznym (symbol: AM, FM) lub kondensatory ceramiczne (dostrojcze) zwane trymerami (symbol: TCP). Kondensatory te składają się z dwu zespołów płytek (lub pojedynczych płytek) zwanych statorem i rotorem, które zmieniając swe położenie powodują zmianę wartości pojemności kondensatora. Charakter zmian pojemności kondensatora zależy od kształtu płytek rotora i statora.

Kondensatory obrotowe mają pojemności mniejsze niż 500 pF, natomiast kondensatory nastawne, zwane trymerami, mają pojemności mniejsze niż 100 pF.

### Sprawdzanie i pomiary parametrów kondensatorów

Najczęściej spotykanym uszkodzeniem kondensatorów jest przebiecie elektryczne po przyłożeniu zbyt dużego napięcia do okładek kondensatora. Uszkodzeniu ulega dielektryk i okładki zwierają się ze sobą. Uszkodzenie to można łatwo wykryć za pomocą omomierza, który wskaże w tym przypadku zawarcie.

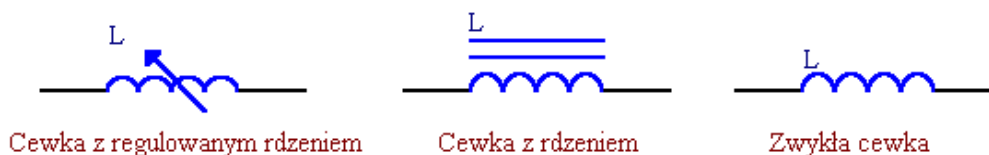
W kondensatorze może pojawić się „przerwa”, spowodowana urwaniem się wyprowadzenia od okładki wewnątrz kondensatora (ceramiczne i zwijkowe) lub

wyschnięciem elektrolitu (elektrolityczne z elektrolitem ciekłym). W tym przypadku sprawdzenie sprawności kondensatora jest trudniejsze.

W przypadku dużych pojemności (powyżej 100  $\mu\text{F}$ ) kondensator można sprawdzić za pomocą omomierza, przez który popłynie malejący wykładniczo prąd ładowania kondensatora. Jeżeli kondensator jest sprawny, to omomierz powinien rozpocząć wskazania od zwarcia do przekroczenia zakresu miernika. Gdy zmiany wskazań następują zbyt szybko, to należy odpowiednio zwiększyć zakres pomiarowy omomierza. Ponadto można porównać szybkość zmian wskazań miernika występującą w przypadku użycia badanego oraz wzorcowego kondensatora. Szybsze zmiany (na tym samym zakresie) wskazują mniejszą wartość pojemności.

### Cewki indukcyjne

Cewka indukcyjna, będąca dwójnikiem elektrycznym w postaci zwojnicy, składa się z uzwojenia, korpusu oraz rdzenia (magnetowodu). Możliwe symbole graficzne cewek przedstawiono na rys. 12.



Rys. 12. Symbole graficzne cewek indukcyjnych [10]

Cewki są stosowane w obwodach rezonansowych, filtrach, jako elementy sprzęgające oraz jako dławiki w układach wielkiej lub małej częstotliwości.

### Rodzaje cewek

Ze względu na sposób wykonania cewki dzielimy na:

- powietrzne: stosowane w zakresie dużych częstotliwości, a w przypadku bardzo dużej częstotliwości cewki mają postać odcinka drutu lub ścieżki drukowanej,
- rdzeniowe: stosowane tam, gdzie wymagana jest duża wartość indukcyjności lub jej przestrajanie. Cewki nawijane są na korpusy z tworzywa sztucznego, wewnątrz których znajdują się rdzenie ferromagnetyczne lub niemagnetyczne mosiężne.

### Parametry cewek

Podstawowymi parametrami cewki są

- indukcyjność własna –  $L$  w  $\mu\text{H}$  lub  $\text{mH}$ ,
- rezystancja cewki –  $r_L$  w  $\Omega$ ,
- stała indukcyjności  $AL$ . w  $\text{nH}$ .

### Dławiki

Dławik jest to cewka nieprzestrajana, z rdzeniem ferromagnetycznym o nieliniowej charakterystyce magnesowania rdzenia. Jest to element o dużej indukcyjności własnej, którego zadaniem jest eliminowanie lub tłumienie składowej zmiennej sygnału w obwodzie. Zwykle współpracuje on z kondensatorami, tworząc filtry dolnoprzepustowe. W zależności od częstotliwości pracy, wyróżniamy dławiki małej i wielkiej częstotliwości.

Dławiki wykonuje się z cieńszego drutu niż cewki indukcyjne (ich średnica wynosi od 0,05 do 0,1 mm), gdyż ich rezystancja odgrywa drugorzędą rolę.

## Oznaczenia cewek indukcyjnych

W urządzeniach elektronicznych i elektrycznych są stosowane różnorodne cewki. Większość z nich jest charakterystyczna tylko dla konkretnego typu urządzenia, ale są również cewki typowe występujące w wielu urządzeniach i zawierające pewne charakterystyczne oznaczenia (dotyczy to głównie cewek ekranowanych).

Podstawowym oznaczeniem znajdującym się na ekranach cewek jest symbol materiału rdzenia dostrojczego lub ekranującego. W zależności od rodzaju materiału rdzenia dostrojczego i istnienia rdzenia ekranującego zmienia się stała indukcyjności  $A_L$ . Stała ta jest wielkością charakteryzującą rdzeń i konstrukcję cewki i określa zależność indukcyjności od liczby zwojów według wzoru

$$A_L = \frac{L}{Z^2}$$

gdzie  $A_L$  oznacza liczbę zwojów,  $L$  indukcyjność cewki, a  $Z$  liczbę zwojów cewki

Przykłady:

F605 (z ekranem) –  $A_L = 15,5$  nH,

F82 (bez ekranu) –  $A_L = 7,0$  nH,

F24 (bez ekranu) –  $A_L = 6,2$  nH.

## Sprawdzanie i pomiar indukcyjności cewek indukcyjnych

Cewki rzadko ulegają uszkodzeniom spowodowanym przez prąd elektryczny (za wyjątkiem cewek dużej mocy lub wysokonapięciowych).

Jeżeli podejrzewamy, że cewka jest uszkodzona to najpierw należy sprawdzić czy nie jest pęknięty rdzeń, korpus lub osłona ekranująca, a następnie sprawdzić omomierzem czy uzwojenia nie są przerwane albo zwarte ze sobą lub z osłoną ekranującą. Mogą wystąpić w cewce również zwarcia międzyzwojowe.

Przerwę w obwodzie można łatwo wykryć za pomocą omomierza, natomiast wykrycie zwarcia całkowitego lub częściowego jest uzależnione czułości omomierza. Po zmierzeniu rezystancji  $r_L$  badanej cewki można wynik pomiaru porównać z wartością katalogową lub zmierzoną wartością  $r_L$  cewki wzorcowej.

Dokładny pomiar indukcyjności można wykonać za pomocą:

- uniwersalnych mierników cyfrowych (w ograniczonym zakresie indukcyjności),
- specjalizowanych, mostkowych mierników (testerów) RLC.

### 4.2.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie typy kondensatorów stosuje się w obwodach rezonansowych w zakresie wysokich częstotliwości?
2. Jak dzielimy kondensatory ze względu na zastosowany dielektryk?
3. W jaki sposób oznaczamy kondensatory?
4. Czym różni się kondensator elektrolityczny od kondensatora wykonanego z tworzywa sztucznego?
5. Co to jest trymer?
6. Jak sprawdzić sprawność kondensatora o pojemności 1 mF za pomocą omomierza?
7. Na czym polega różnica między cewkami indukcyjnymi a dławikami?
8. Jakie są podstawowe parametry cewek indukcyjnych?
9. W jaki sposób można regulować indukcyjność w cewkach?
10. Co to jest stała indukcyjności cewki?

### 4.2.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Rozpoznaj po oznaczeniach literowo-cyfrowych i wyglądzie kondensator elektrolityczny aluminiowy (spośród kilku przedstawionych), podaj jego pojemność i napięcie znamionowe, prąd upływowy, tangens kąta stratności oraz dokonaj za pomocą omomierza cyfrowego pomiarów określających jego sprawność.

##### Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) dokonać wyboru określonego typu kondensatora na podstawie wyglądu zewnętrznego,
- 2) odczytać cechy i parametry wybranego kondensatora na podstawie oznaczeń naniesionych na jego obudowie,
- 3) poszukać w załączonym katalogu opisu wybranego kondensatora,
- 4) odczytać pozostałe parametry z katalogu,
- 5) sprawdzić za pomocą omomierza, czy okładki kondensatora nie są wewnętrznie zwarte ze sobą,
- 6) sprawdzić czy kondensator przeładowuje się po zmianie polaryzacji przyłożonego napięcia.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zestaw kilkunastu kondensatorów różnych typów różniących się parametrami,
- katalog kondensatorów,
- kalkulator,
- zeszyt do ćwiczeń i długopis.

#### Ćwiczenie 2

Nawiń cewkę o określonej indukcyjności na rdzeniu ferromagnetycznym o podanej stałej indukcyjności  $A_L$ .

##### Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) odczytać stałą indukcyjności rdzenia,
- 2) obliczyć ile zwojów drutu nawojowego należy nawinąć na rdzeniu,
- 3) wykonać nawijanie cewki indukcyjnej,
- 4) zmierzyć rzeczywistą indukcyjność cewki za pomocą testera RLC,
- 5) obliczyć względny błąd między wartością zmierzoną a założoną indukcyjności cewki.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- ferromagnetyczny rdzeń kubkowy i drut nawojowy,
- tester RLC,
- kalkulator,
- zeszyt do ćwiczeń i długopis.

#### 4.2.4. Sprawdzian postępów

**Czy potrafisz:**

	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) odczytać wartości pojemności znamionowych na podstawie oznaczeń umieszczonych na obudowach kondensatorów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) odszukać w katalogu wartości określonych parametrów kondensatorów?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) odczytać oznaczenia naniesione na obudowę kondensatorów i rozszyfrować wartości parametrów pod nimi ukryte?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) dobrać typ i parametry kondensatora do określonych zadań?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) odczytać parametry cewek indukcyjnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) zbudować cewkę indukcyjną o określonej indukcyjności?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



## 4.3. Diody prostownicze i stabilizacyjne

### 4.3.1. Materiał nauczania

#### Złącze P-N i jego polaryzacja

Złączeniem nazywamy połączenie dwóch kryształów ciała stałego w taki sposób, że tworzą one ze sobą ścisły kontakt. W elektronice najczęściej wykorzystywane są złącza: metal-półprzewodnik i półprzewodnik-półprzewodnik, którym w większości przypadków jest krzem. W momencie połączenia półprzewodnika typu P (gdzie nośnikami prądu są „dziury”) z półprzewodnikiem typu N (gdzie nośnikami prądu są elektrony) powstaje złącze P-N.

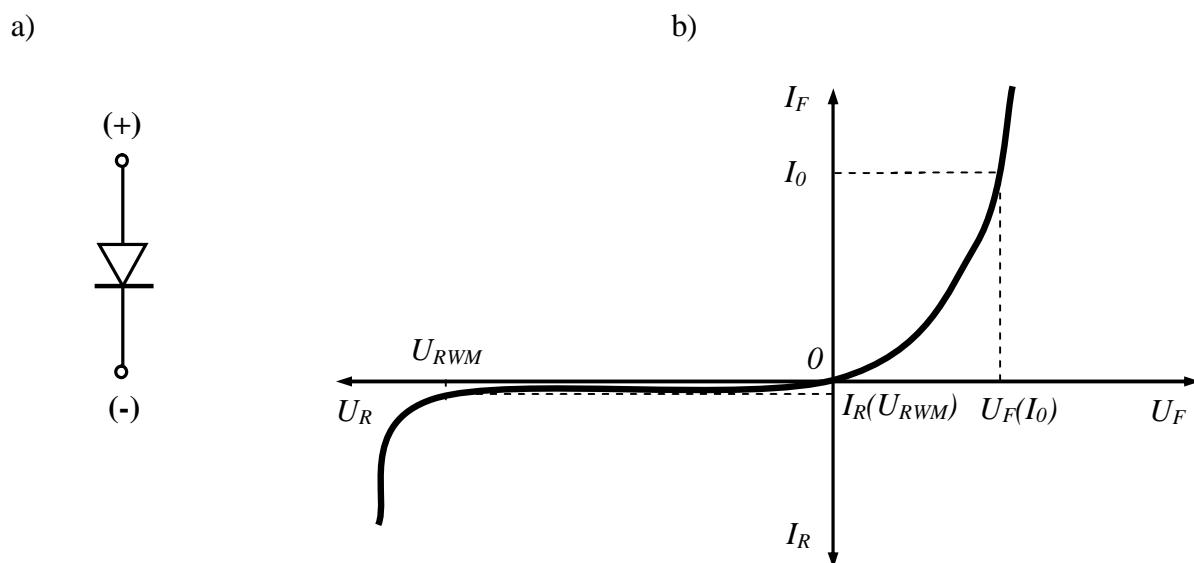
Przez pojęcie polaryzacji rozumiemy stan, jaki następuje w złączu pod wpływem przyłożenia z zewnątrz różnych potencjałów do obydwu obszarów półprzewodnika.

Jeżeli do półprzewodnika typu P przyłożymy potencjał dodatni, a do półprzewodnika typu N potencjał ujemny, to mówimy, że złącze jest spolaryzowane w kierunku przewodzenia, co oznacza bardzo dobre przewodzenie prądu elektrycznego. W przeciwnym wypadku mówimy, że złącze jest spolaryzowane w kierunku zaporowym i złącze takie prawie wcale nie przewodzi prądu.

#### Diody półprzewodnikowa

Diody prostowniczą nazywamy element półprzewodnikowy zawierający jedno złącze P-N z dwiema końcówkami wyprowadzeń. Diody prostownicze są przeznaczone do prostowania prądu przemiennego małej częstotliwości. Są one głównie stosowane w układach prostowniczych urządzeń zasilających układy elektroniczne.

Diody prostownicze spolaryzowane zaczynają przewodzić (następuje gwałtowny wzrost prądu) dopiero po przekroczeniu pewnej wartości napięcia w kierunku przewodzenia. Dla diod krzemowych wynosi ona ok. 0,7 V, a dla germanowych ok. 0,3 V. Symbol graficzny diody prostowniczej pokazano na rys. 12a, natomiast jej charakterystykę prądowo-napięciową na rys. 12b. Napięcie i prąd na osiach współrzędnych oznaczone indeksem F wskazują kierunek przewodzenia diody, natomiast oznaczone indeksem R kierunek zaporowy. Elektroda „+” (anoda) pokazana na rysunku 13 połączona jest z półprzewodnikiem typu P, a elektroda „-” (katoda) z półprzewodnikiem typu N.



Rys. 13. Diody prostownicza: a) symbol graficzny, b) charakterystyka prądowo-napięciowa [6]

## Oznaczenia i wygląd diod prostowniczych

Oznaczenia i wygląd diod prostowniczych zmieniają się w zależności od producenta, mocy i napięcia występującego w urządzeniach zawierających te elementy oraz od ich konstrukcji i przeznaczenia.

Przykładowo diody prostownicze mogą mieć następujące oznaczenia:

- typowe diody małej mocy: B Y P 401, B Y P 660R,
- typowe diody małej i średniej mocy: B Y P 680R,
- diody wysokonapięciowe: B A Y P 50, B A Y P 350,
- diody mocy: D 00-100-10, D 3 A 2-10-12, D 20-300-10,
- diody szybkie mocy: D R 12-10-01, D R 51-80-12.

W oznaczeniach diod można rozpoznać pewne prawidłowości:

- pierwsza litera oznacza materiał półprzewodnikowy A-german, B-krzem,
  - druga litera Y oznacza diody prostownicze,
  - litera R umieszczona na końcu oznacza, że anoda diody znajduje się na obudowie diody,
  - cyfry poprzedzone znakiem „-” określają maksymalne napięcie wsteczne wyrażone w woltach,
  - pierwsza litera D oznacza diodę mocy, a litery DR oznaczają szybkie diody mocy,
  - w przypadku diod mocy cyfry poprzedzone pierwszym znakiem „-” określają maksymalny prąd diody wyrażony w amperach, a cyfry poprzedzone drugim znakiem „-” określają maksymalne napięcie wsteczne diody wyrażone w setkach woltów.
- Przykłady:
- B Y P 401-600R oznacza diodę prostowniczą małej mocy o napięciu wstecznym 600 V i anodą na obudowie,
  - D 20-300-10 oznacza prostowniczą diodę mocy o maksymalnym prądzie przewodzenia 300 A i napięciu wstecznym 1000 V.

Niektórzy producenci oznaczają diody symbolem 1Nxxxxx, przy czym interpretacja pozostałych znaków tego symbolu ustalona jest przez producenta.

## Parametry diod prostowniczych

Parametry charakterystyczne:

- napięcie progowe  $U(TO)$ , poniżej którego prąd przewodzenia ma bardzo małą wartość (0,2 V dla germanowych i 0,6 V dla krzemowych),
- napięcie przebicia  $U(BR)$  lub powtarzalne szczytowe napięcie wsteczne  $URRM$  przyjmowane jako 0,8 napięcia przebicia (od kilku woltów do kilku kilowoltów),
- napięcie przewodzenia  $UF$  (rys. 12) przy określonym prądzie przewodzenia  $I_0$ ,
- prąd wsteczny  $IR$  (rys. 12) przy określonym napięciu w kierunku zaporowym,
- rezystancja cieplna  $R_{th}$ , zależna od sposobu chłodzenia diody i informująca o szybkości odprowadzania ciepła przez diodę.

Parametry graniczne:

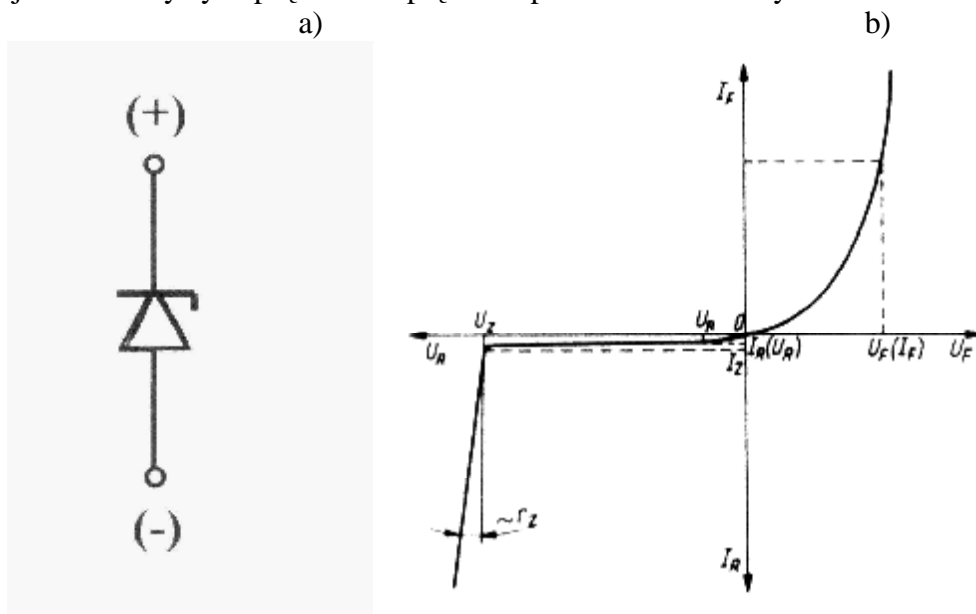
- dopuszczalny średni prąd przewodzenia  $IF(AV)$  jaki może przepływać przez diodę w kierunku przewodzenia (od dziesiątek miliamperów do kilku kiloamperów),
- szczytowe napięcie wsteczne  $URWM$  (rys. 12), powyżej którego dioda może ulec uszkodzeniu,
- maksymalne straty mocy  $P_{tot\ max}$  przy danej temperaturze otoczenia diody (najczęściej 25°C), które mieszczą się w przedziale od kilkuset miliwatów do kilku kilowatów,
- dopuszczalna temperatura złącza  $T_{jmax}$  umożliwiająca obliczenie maksymalnej mocy rozpraszanej przez diodę w określonych warunkach,

- parametr przeciążeniowy  $I_{2t}$  podawany dla diod mocy i określający na jak długo (i jakim prądem) można przeciążyć daną diodę mocy.

### Diody stabilizacyjne (diody Zenera)

Diody te są przeznaczone do stabilizacji lub ograniczania napięcia. Są one głównie stosowane w urządzeniach zasilających jako elementy stabilizatorów napięcia oraz jako źródła napięć odniesienia i ograniczniki amplitudy w innych układach elektronicznych.

Diody stabilizacyjne pracują przy polaryzacji w kierunku zaporowym, charakteryzując się niewielkimi zmianami napięcia pod wpływem dużych zmian prądu. Symbol graficzny diody Zenera jest zamieszczony poniżej na rys. 14a. Działanie diody stabilizacyjnej najlepiej pokazuje charakterystyka prądowo-napięciowa przedstawiona na rys. 14b.



Rys. 14. Symbol graficzny diody stabilizacyjnej oraz charakterystyka  $I = f(U)$  diody stabilizacyjnej [6]

### Oznaczenia i wygląd diod stabilizacyjnych

Oznaczenia i wygląd diod stabilizacyjnych zmieniają się w zależności od mocy i napięcia stabilizacji diody oraz od ich konstrukcji i przeznaczenia.

Przykładowo diody stabilizacyjne mogą mieć następujące oznaczenia:

- typowe diody Zenera: BZAP 30, BZP 650,
- diody Zenera do układów hybrydowych: BZX 84,
- diody skompensowane temperaturowo: BZY 566 – wykorzystują one temperaturową stabilność napięcia Zenera w wąskim zakresie od 6,08V do 6,72 V,
- diody układów elektronicznego zapłonu: BZYP 01.

W oznaczeniach tych diod można rozpoznać pewne prawidłowości:

- pierwsza litera oznacza materiał półprzewodnikowy, najczęściej B-krzem,
- druga litera Z oznacza diody stabilizacyjne (diody Zenera),
- litera poprzedzona znakiem „-” określa tolerancję napięcia stabilizacji: A-1%, B-2%, C-5%, D-10%, E-15%,
- po tej literze następują cyfry określające wartość znamionowego napięcia stabilizacji w voltach, a jeżeli napięcie to jest liczbą ułamkową, to zamiast przecinka stosuje się literę V,
- litera R umieszczona na końcu oznacza, że anoda diody znajduje się na obudowie diody, a polaryzacji normalnej (obudowa połączona z katodą) nie oznacza się.

Przykład: BZP 683-C5V1 oznacza diodę stabilizacyjną małej mocy o napięciu stabilizacji równym 5,1 V z dokładnością 5%.

### Parametry diod stabilizacyjnych

Parametry charakterystyczne:

- napięcie stabilizacji  $U_Z$  (zwane również napięciem Zenera),
- napięcie przewodzenia  $U_F$  przy określonym prądzie przewodzenia  $I_0$ ,
- prąd wsteczny  $I_R$  przy określonym napięciu w kierunku zaporowym,
- rezystancja dynamiczna  $r_z$  jaką stanowi dioda w zakresie stabilizacji,
- temperaturowy współczynnik napięcia stabilizacji  $\alpha_{uz}$ .

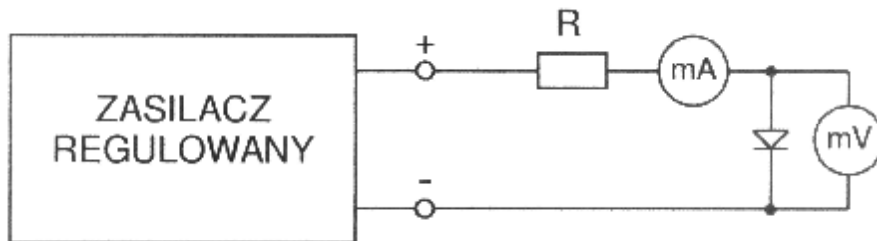
Parametry graniczne:

- maksymalny prąd stabilizacji  $I_{Zmax}$ , płynący przez diodę podczas stabilizacji napięcia,
- maksymalne straty mocy  $P_{tot max}$  przy danej temperaturze otoczenia diody.

### Wyznaczanie charakterystyk prądowo-napięciowych diod półprzewodnikowych

Charakterystyki prądowo-napięciowe umożliwiają wyznaczenie następujących parametrów diod półprzewodnikowych: napięcia przewodzenia  $U_F$ , napięcia stabilizacji  $U_Z$  i rezystancję dynamiczną diod Zenera  $r_z$ .

Najprostszą metodą wyznaczania charakterystyk diod jest metoda „punkt po punkcie”, której układy pomiarowe pokazano na rys. 15 i 16.

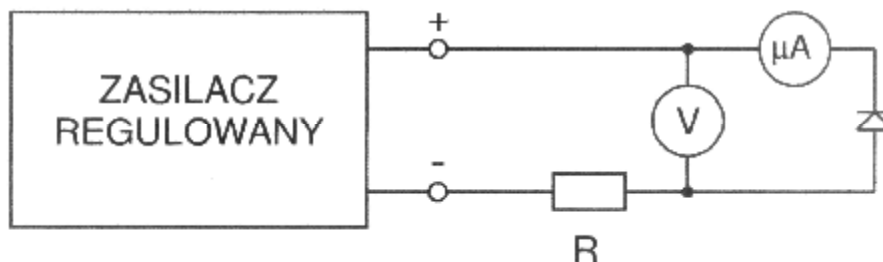


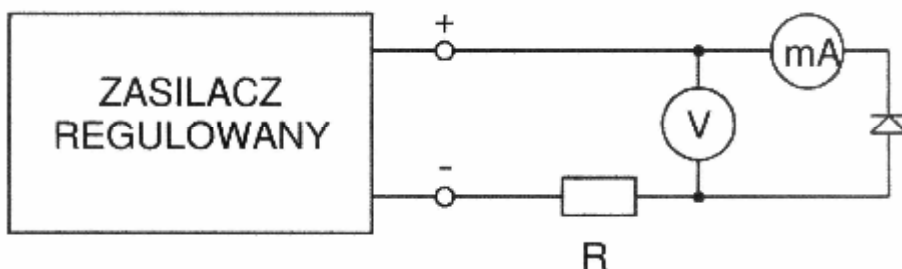
Rys. 15. Układ pomiarowy do wyznaczania charakterystyki prądowo-napięciowej zarówno diody prostowniczej jak i diody Zenera (w zakresie przewodzenia) [10]

Wyniki należy zapisać w karcie pomiarowej zawierającej tabelę 2.

Tabela 2. Karta pomiarowa do badania diod spolaryzowanych w kierunku przewodzenia [opracowanie własne]

Dioda prostownicza (lub stabilizacyjna) typ:.....- kierunek przewodzenia							
$U_F$	[V]						
$I_F$	[mA]						





Rys. 16. Układy pomiarowe do wyznaczania charakterystyki prądowo-napięciowej w zakresie zaporowym [10]

Wyniki należy zapisać w karcie pomiarowej zawierającej tabelę 3.

Tabela 3. Karta pomiarowa do badania diod spolaryzowanych w kierunku zaporowym [opracowanie własne]

Dioda prostownicza (lub stabilizacyjna) typ:.....- kierunek zaoporowy								
$U_R$	[V]							
$I_R$	[mA lub $\mu A$ ]							

### Sprawdzanie sprawności diod półprzewodnikowych

Przyczyną elektrycznego uszkodzenia diody jest przekroczenie dopuszczalnych wartości prądów i napięć. Uszkodzenia mechaniczne polegające na stłuczeniu lub ułamaniu obudowy, czy złamaniu końcówki wynikają najczęściej z zaginania końcówek zbyt blisko obudowy.

Uszkodzenia w diodzie można łatwo wykryć omomierzem wyposażonym w źródło napięcia o wartości 1,5 V. Badaną diodę należy wylutować z układu (wystarczy odlutować tylko jedną końcówkę) i sprawdzić jaka jest wartość rezystancji w obu kierunkach. Wartość rezystancji w kierunku zaporowym (plus omomierza na katodzie) jest bardzo duża i często przekracza maksymalne zakresy miernika. Natomiast w kierunku przewodzenia (plus omomierza na anodzie) wartość rezystancji jest znacznie mniejsza chociaż trudna do określenia. Rezystancja w kierunku przewodzenia zależy od kształtu charakterystyki diody oraz rodzaju i zakresu omomierza. Oznacza to, że w zmieniając typ lub zakres miernika, a także samą diodę na inny egzemplarz tego samego typu, otrzymamy różne wartości rezystancji diody w kierunku przewodzenia.

Badanie diody Zenera można przeprowadzić analogicznie do badania sprawności diody prostowniczej pod warunkiem, że napięcie stabilizacji jest większe niż napięcie źródłowe omomierza. Jeżeli podczas sprawdzania rezystancji diody w obu kierunkach omomierz wskazuje „zwarcie” to oznacza przebicie elektryczne złącza; a jeżeli omomierz wskazuje „rozwarcie” to oznacza przerwę mechaniczną wewnątrz diody.

Obecnie cyfrowe mierniki uniwersalne wyposażone są w układy do badania spadku napięcia na złączu PN. Miernik musimy przestawić na tryb oznaczony  $\nabla$  i przyłożyć do końcówek diody przewody miernika. Jeżeli „minus” miernika jest przyłączony do katody, to miernik wskaże wartość spadku napięcia w mV; a jeżeli odwrotnie to miernik wskaże przekroczenie zakresu.

### 4.3.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie są warunki spolaryzowania diody w kierunku przewodzenia i zaporowym?
2. Jakie są podstawowe parametry charakterystyczne diody prostowniczej?
3. Jakie są podstawowe parametry graniczne diody stabilizacyjnej?
4. Jakie informacje można odczytać z oznaczenia diody BZP 683-D12?
5. Co oznacza litera R umieszczona na końcu oznaczenia diody?

6. Jakie parametry graniczne diody mocy należy wziąć pod uwagę podczas szukania zamiennika dla diody D3A2-10-12?
7. Jak zmierzyć sprawność diody prostowniczej lub stabilizacyjnej za pomocą cyfrowego multimetru uniwersalnego?

### 4.3.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Wyznacz charakterystykę prądowo-napięciową określonej diody Zenera spolaryzowanej w kierunku zaporowym i odczytaj z niej parametry  $U_Z$  i  $r_Z$ .

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zaproponować układ pomiarowy do zbadania diody,
- 2) zbudować układ pomiarowy,
- 3) sporządzić tabelę do wpisywania wyników badań,
- 4) wyznaczyć metodą „punkt po punkcie” charakterystykę diody,
- 5) narysować charakterystykę prądowo-napięciową diody na papierze milimetrowym,
- 6) odczytać z narysowanej charakterystyki wartości  $U_Z$  i  $r_Z$ ,
- 7) porównać wyznaczony fragment charakterystyki diody i wyznaczone parametry diody z danymi katalogowymi.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zestaw mierników stosowanych w układach pomiarowych elementów półprzewodnikowych metodą „punkt po punkcie” i instrukcje tych mierników,
- zasilacz regulowany,
- makieta z badaną diodą i przewody połączeniowe,
- zeszyt do ćwiczeń, papier milimetrowy i karta katalogowa badanej diody,
- ołówek, linijka, inne przyrządy kreślarskie.

#### Ćwiczenie 2

Dokonaj pomiaru napięcia przewodzenia  $U_F$  danej diody prostowniczej przy określonym prądzie przewodzenia  $I_0$ .

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) odczytać w karcie katalogowej wartość napięcia progowego danej diody,
- 2) zaproponować układ pomiarowy do zbadania napięcia przewodzenia diody,
- 3) zbudować układ pomiarowy,
- 4) wymusić za pomocą potencjometru przepływ określonego prądu przez diodę,
- 5) zmierzyć wartość spadku napięcia na diodzie.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- karty katalogowe diod prostowniczych,
- zasilacz regulowany,
- makieta z badaną diodą i przewody połączeniowe,
- amperomierz i woltomierz,
- zeszyt do ćwiczeń.

#### 4.3.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) odczytać z karty katalogowej wybrany parametr diody?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) zbudować układ pomiarowy do zbadania diody stabilizacyjnej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) rozpoznać diodę stabilizacyjną i jej parametry po oznaczeniach katalogowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wyznaczyć charakterystykę diody stabilizacyjnej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) odczytać, z narysowanej charakterystyki diody stabilizacyjnej, określone parametry diody?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) zbudować układ pomiarowy do zbadania diody prostowniczej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) rozpoznać diodę prostowniczą i jej parametry po oznaczeniach katalogowych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

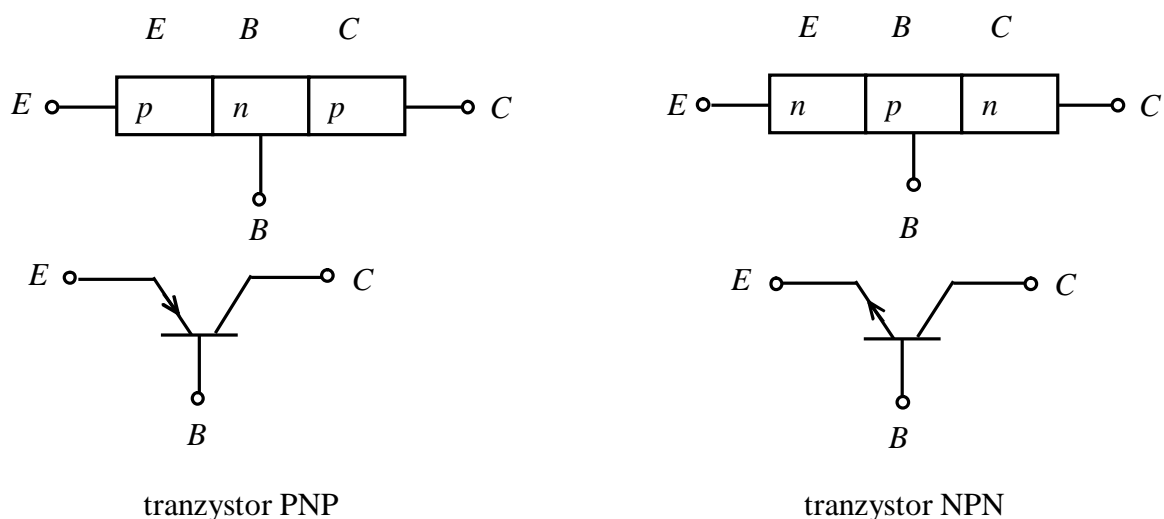
## 4.4. Tranzystory bipolarne i unipolarne

### 4.4.1. Materiał nauczania

Tranzystory należą do grupy elementów półprzewodnikowych (wzmacniających i przełączających o regulowanym przepływie prądu. Ze względu na zasadę działania dzielimy je na: bipolarne i unipolarne.

#### Budowa i struktura tranzystorów bipolarnych

Tranzystory bipolarne są najczęściej wykonywane z krzemu. Ze względu na kolejność ułożenia warstw półprzewodnika rozróżniamy tranzystory typu NPN i PNP. Każda z tych warstw (obszarów) ma swoją nazwę: baza-B, emiter-E, kolektor-C. Złącza utworzone między sąsiednimi obszarami półprzewodnika nazywamy: złączem emiterowym (E-B) i kolektorowym (B-C). Na rys. 17 przedstawiono modele struktury tranzystorów bipolarnych i odpowiadające im symbole graficzne.



Rys. 17. Struktura i symbole graficzne tranzystorów bipolarnych [11]

#### Podział tranzystorów bipolarnych

Ze względu na wydzielaną moc, tranzystory dzielimy na:

- małej mocy: do 0,3 W,
- średniej mocy: do 5 W,
- dużej mocy: powyżej 5 W, nawet do 300 W.

Ze względu na maksymalną częstotliwość pracy, tranzystory dzielimy na:

- małej częstotliwości: do kilkudziesięciu MHz,
- wielkiej częstotliwości: nawet do kilku GHz.

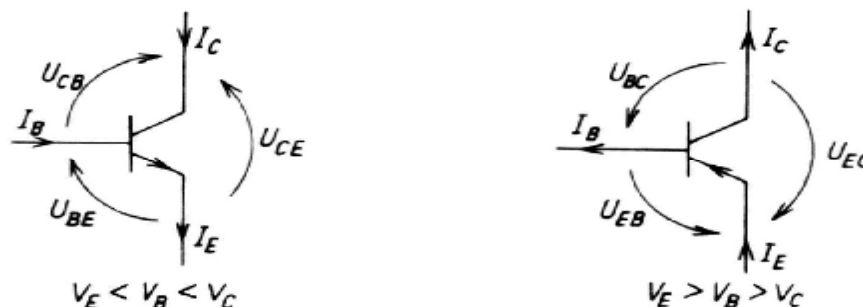
#### Zasada działania tranzystora bipolarnego

Działanie tranzystora bipolarnego wyjaśnimy na przykładzie polaryzacji normalnej tranzystora, tzn. gdy złącze emiter-baza jest spolaryzowane w kierunku przewodzenia, a złącze baza-kolektor spolaryzowane w kierunku zaporowym. Stan taki jest zapewniony,



gdy spełniona jest następująca zależność między potencjałami na poszczególnych elektrodach:

- dla tranzystora NPN  $V_E < V_B < V_C$ ,
- dla tranzystora PNP  $V_E > V_B > V_C$ .



Rys. 18. Rozkład napięć i rozpyły prądów tranzystora bipolarnego przy polaryzacji normalnej [6]

Oznaczenia rozpyły prądów w tranzystorze i spadków napięć na nim są następujące:  $I_B$  – prąd bazy,  $I_C$  – prąd kolektora,  $I_E$  – prąd emitera,  $U_{CE}$  – napięcie kolektor-emiter,  $U_{BE}$  – napięcie baza-emiter,  $U_{CB}$  – napięcie kolektor-baza,  $V_E$  – potencjał emitera,  $V_B$  – potencjał bazy,  $V_C$  – potencjał kolektora. Między prądami poszczególnych elektrod tranzystora zachodzą następujące związki:

$$\beta = \frac{I_C}{I_B}$$

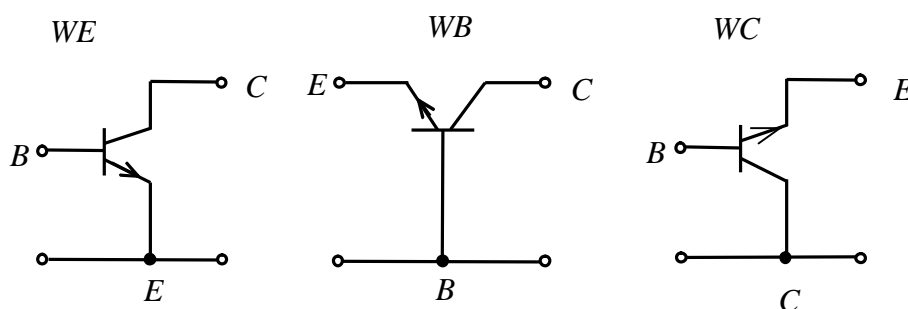
$$I_E = I_C + I_B$$

gdzie  $\beta$  jest współczynnikiem wzmocnienia prądowego tranzystora i mieści się w granicach od 20 do 850, a prądy  $I_E$ ,  $I_C$ ,  $I_B$  są odpowiednio prądami emitera, kolektora i bazy tranzystora bipolarnego.

### Układy pracy tranzystora bipolarnego

Zależnie od doprowadzenia i wyprowadzenia sygnału rozróżniamy trzy sposoby włączenia tranzystora do układu: pokazane na rys. 19

- układ ze wspólnym emiterem OE (WE),
- układ ze wspólną bazą OB (WB),
- układ ze wspólnym kolektorem OC (WC).



Rys. 19. Układy pracy tranzystorów bipolarnych [6]

## Stany pracy tranzystora

Tranzystor składa się z dwóch złączy  $P-N$ , które mogą być spolaryzowane w kierunku przewodzenia jak i w kierunku zaporowym. W związku z tym wyróżniamy cztery stany pracy tranzystora przedstawione w tabeli 7.

**Tabela 4.** Stany pracy tranzystora bipolarnego [opracowanie własne]

Stan tranzystora	Kierunki polaryzacji złączy tranzystora	
	złącze emiter – baza	złącze kolektor – baza
Zatkanie	zaporowy	zaporowy
Przewodzenie aktywne	przewodzenia	zaporowy
Nasycenie	przewodzenia	przewodzenia
Przewodzenie inwersyjne	zaporowy	przewodzenia

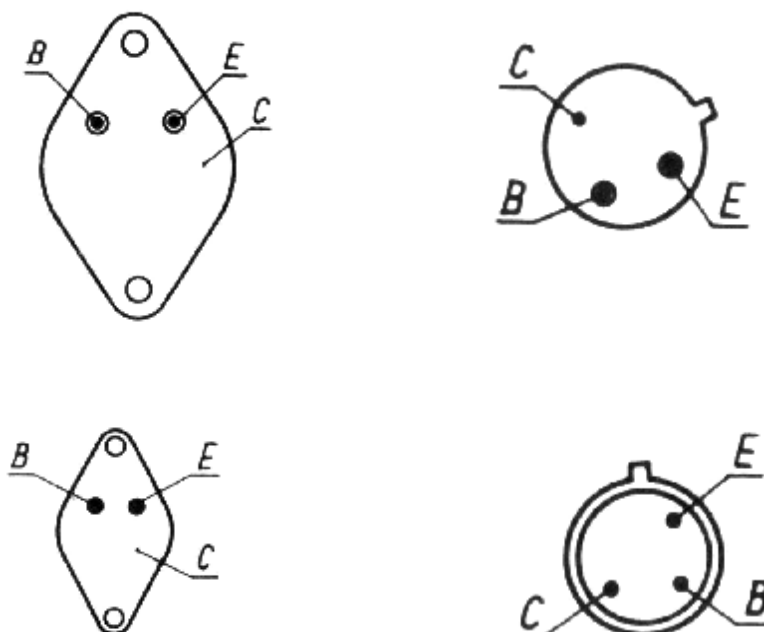
Tranzystor pracujący w układach wzmacniających musi być w stanie aktywnym, natomiast w układach przełączających w stanie zatkania, nasycenia lub inwersyjnym.

## Rodzaje obudów tranzystorów bipolarnych

Na rysunku 20 przedstawiono typowe rodzaje obudów tranzystorów bipolarnych.

a)

b)



**Rys. 20.** Obudowy tranzystorów bipolarnych: a) dużej mocy, b) małej mocy [6]

Kształt obudowy tranzystora i kolejność jego wyprowadzeń zależy od parametrów, przeznaczenia i producenta tranzystora. Istnieją jednak pewne ogólne zasady rozpoznawania niektórych wyprowadzeń w określonych typach obudów.

Jeżeli tranzystor mocy w obudowie metalowej ma wyprowadzone tylko dwie końcówki to trzecią (zawsze kolektor) jest właśnie ta metalowa obudowa. Jeżeli tranzystor przystosowany jest do montowania na radiatorze, ale posiada 3 końcówki, to jedna z nich (kolektor) jest wewnętrznie połączona z metalową obudową.

Niektóre tranzystory małej mocy w obudowie plastikowej mają charakterystyczne „ścięcie”, które wskazuje umiejscowienie końcówki kolektora tranzystora.

Tranzystory małej mocy w okrągłej, metalowej obudowie mają charakterystyczny „ząbek”, który wskazuje końcówkę emitera, kolektor w tym przypadku jest również połączony z metalową obudową.

### Parametry tranzystorów bipolarnych

Do podstawowych parametrów charakterystycznych tranzystora bipolarnego zaliczamy:

- $\beta$  (lub  $h_{21E}$ ) – współczynnik wzmocnienia prądowego w układzie OE,
- $f_T$  – częstotliwość graniczna tranzystora przy której współczynnik  $h_{21E}$  spada do jedności,
- $U_{CEsat}$  – napięcie między kolektorem, a emiterem w stanie nasycenia.

Do podstawowych parametrów granicznych tranzystora bipolarnego zaliczamy:

- $P_{tot}$  - dopuszczalna moc całkowita wydzielana w tranzystorze,
- $U_{CE0max}$  - maksymalne napięcie między kolektorem, a emiterem,
- $I_{Cmax}$  - maksymalny dopuszczalny prąd kolektora,
- $T_j$  - dopuszczalna temperatura złączy.

### Oznaczenie tranzystorów bipolarnych

Tranzystory bipolarne wykonywane są najczęściej z krzemu. Poniżej przedstawiamy przykładowe typy, oznaczenia i parametry tranzystorów krzemowych.

**Tabela 5.** Przykłady oznaczeń i parametrów tranzystorów krzemowych [opracowanie własne]

Typ	Symbol	$U_{CEmax}$ [V]	$I_{Cmax}$ [mA]	$P_{tot}$ [mW]	Grupa $h_{21E}$	$h_{21E}$	$f_T$ [MHz]	Polaryzacja
małej mocy m.cz.	BC107	45	100	300	A B	110÷240 200÷480	100	NPN
dużej mocy m.cz.	BDP286	80	7000	25000	-	30÷200	10	PNP
małej mocy w.cz.	BF180	20	20	150	-	15	500	NPN
wysokonapięciowe	BU205	700	2500	10000	-	2	7,5	NPN

### Sprawdzanie tranzystorów bipolarnych

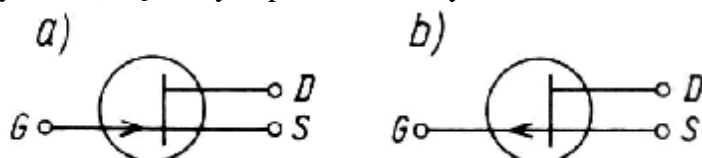
Uszkodzenie tranzystora może nastąpić pod wpływem tych samych czynników co w diodzie półprzewodnikowej. Sprawdzenie sprawności tranzystora można przeprowadzić w podobny sposób jak w przypadku diody, za pomocą omomierza lub cyfrowego miernika uniwersalnego nastawionego na pomiar napięcia na złączu PN. Sposób pomiaru i kontrolę sprawności tranzystora pokazuje poniższa tabela 6.

**Tabela 6.** Rezystancje lub napięcia między elektrodami prawidłowo pracującego tranzystora bipolarnego [opracowanie własne]

Tranzystor	Badane przejście	Biegun dodatni miernika	Rezystancja zmierzona	Napięcie złącza
PNP	B-E	E	mała	poniżej 1 V
PNP	B-E	B	bardzo duża lub duża	poza zakresem
PNP	B-C	C	mała	poniżej 1V
PNP	B-C	B	bardzo duża lub duża	poza zakresem
PNP	E-C	E	bardzo duża	poza zakresem
PNP	E-C	C	bardzo duża lub mała	różne
NPN	B-E	B	mała	poniżej 1 V
NPN	B-E	E	bardzo duża	poza zakresem
NPN	B-C	B	mała	poniżej 1 V
NPN	B-C	C	bardzo duża	poza zakresem
NPN	E-C	E	bardzo duża lub mała	różne
NPN	E-C	C	bardzo duża	poza zakresem

### Tranzystory unipolarne

Tranzystory unipolarne (polowe) stosowane są w układach elektronicznych rzadziej niż bipolarne. Tranzystory te mają kanał typu N lub P, który może być wzbogacany lub zubażany. Elektrody tych tranzystorów mają następujące nazwy i oznaczenia: źródło-S, bramka-G, dren-D. W tranzystorach polowych w przepływie prądu biorą udział nośniki większościowe jednego rodzaju – elektrony (N) lub dziury (P). Prąd może płynąć przez kanał pomiędzy źródłem i drenem, natomiast przewodnictwo tego kanału zależy od napięcia bramka-źródło  $U_{GS}$ . Istnieje pewne napięcie  $U_{GSoff}$  przy którym następuje odcięcie kanału i tranzystor przestaje przewodzić. Ze względu na rodzaj sterowania kanałem i właściwości tranzystory unipolarne dzielimy na złączowe (FET) i z izolowaną bramką (MOSFET). Symbole graficzne tranzystorów złączowych pokazano na rys.21.



**Rys. 21.** Przykładowe symbole graficzne tranzystorów unipolarnych: a) FET-kanał N b) FET-kanał P [6]

W zależności od typu kanału i rodzaju tranzystora napięcie  $U_{GSoff}$  może być dodatnie lub ujemne. Jeżeli założymy, że  $U_{GS}$  jest dodatnie gdy potencjał  $V_G$  jest większy od  $V_S$ , to przewodzenie każdego typu tranzystora unipolarnego można przedstawić następująco.

**Tabela 7.** Warunki przewodnictwa różnych typów tranzystorów unipolarnych [opracowanie własne]

Typ tranzystora	Tranzystor przewodzi dla:
FET z kanałem typu N	$-U_{GSoff} < U_{GS} < 0$
FET z kanałem typu P	$0 < U_{GS} < +U_{GSoff}$
MOSFET z kanałem zubażanym typu N	$-U_{GSoff} < U_{GS}$
MOSFET z kanałem wzbogacanym typu N	$+U_{GSoff} < U_{GS}$
MOSFET z kanałem zubażanym typu P	$U_{GS} < +U_{GSoff}$
MOSFET z kanałem wzbogacanym typu P	$U_{GS} < -U_{GSoff}$

Parametry tranzystorów unipolarnych są analogiczne do bipolarnych, za wyjątkiem napięcia odcięcia kanału  $U_{GSoff}$ , które jest parametrem charakterystycznym.

Obudowy i oznaczenia tranzystorów bipolarnych i unipolarnych są podobne, przy czym tranzystory MOSFET mają zwykle cztery końcówki. Tą czwartą końcówką jest tzw. podłoże B, które w układach pracy prawie zawsze połączone jest ze źródłem S.

Przykład: tranzystor FET; BF245;  $P_{totmax}=360$  mW,  $U_{DSmax}=30$ V,  $U_{GSoff}=0,5\div 8$ V, kanał N.

### Sprawdzanie tranzystorów unipolarnych

W przypadku tranzystorów unipolarnych typu FET należy sprawdzić przejście między drenem i źródłem (powinno istnieć w obydwie strony) i między źródłem lub drenem, a bramką. Sprawdzanie tranzystorów typu MOSFET jest utrudnione ze względu na dużą wrażliwość tych tranzystorów na ładunek elektrostatyczny wprowadzony na bramkę tranzystora poprzez ręce lub narzędzia badającego. Jednak najpewniejszym sposobem sprawdzenia sprawności tranzystora unipolarnego jest zbadanie jego własności wzmacniających lub przełączających w danym układzie pracy.

### 4.4.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie funkcje mogą spełniać tranzystory i tyrystory w układzie elektronicznym?
2. Na czym polega różnica w działaniu tranzystorów bipolarnych i unipolarnych?
3. Jak nazywamy wyprowadzenia tranzystorów bipolarnych, a jak unipolarnych?
4. Jaka jest polaryzacja złączy tranzystora bipolarnego w stanie nasycenia?
5. Co to jest współczynnik  $\beta$  tranzystorów?
6. Co to jest napięcie odcięcia kanału tranzystora?
7. Jaki typ tranzystora unipolarnego przewodzi prąd dla dodatniego napięcia większego od  $U_{GSoff}$ ?

### 4.4.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Rozpoznaj elektrody tranzystora bipolarnego oraz sprawdź jego sprawność.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) odczytać z karty katalogowej podstawowe parametry tranzystora,
- 2) dokonać wyboru przyrządu pomiarowego,
- 3) rozpoznać wyprowadzenie bazy tranzystora,
- 4) za pomocą wybranego przyrządu ustalić polaryzację tranzystora,
- 5) za pomocą wybranego przyrządu ustalić sprawność tranzystora,
- 6) na podstawie oględzin zewnętrznych ustalić wyprowadzenia emitera i kolektora,
- 7) rozpoznać, wykorzystując katalog, typ obudowy danego tranzystora,
- 8) sprawdzić, czy rozpoznanie wyprowadzeń badanego tranzystora jest zgodne z danymi katalogowymi.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- karty katalogowe badanych tranzystorów,
- uniwersalny miernik cyfrowy,

- omomierz, woltomierz,
- zeszyt do ćwiczeń.

## Ćwiczenie 2

Określ warunki napięciowe przepływu prądu przez tranzystor unipolarny wskazany na schemacie ideowym oraz kierunek przepływu tego prądu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) rozpoznać na podstawie symbolu graficznego typ tranzystora unipolarnego,
- 2) odczytać z karty katalogowej wartość napięcia odcięcia kanału danego tranzystora,
- 3) narysować układ polaryzacji tranzystora,
- 4) określić kierunek przepływu prądu przez tranzystor,
- 5) określić przedział napięć  $U_{GS}$  dla których tranzystor będzie przewodził prąd.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- karty katalogowe badanych tranzystorów,
- schematy ideowe układów elektronicznych,
- zeszyt do ćwiczeń.

### 4.4.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) odczytać z karty katalogowej podstawowe parametry tranzystora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) określić, na podstawie danych katalogowych, typ obudowy tranzystora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) rozpoznać polaryzację i wyprowadzenia tranzystora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) przedstawić metodę sprawdzania sprawności tranzystora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) porównać wyniki badań z danymi katalogowymi?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) określić kierunek przepływu prądu przez tranzystor?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) określić warunki przepływu prądu przez tranzystor?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

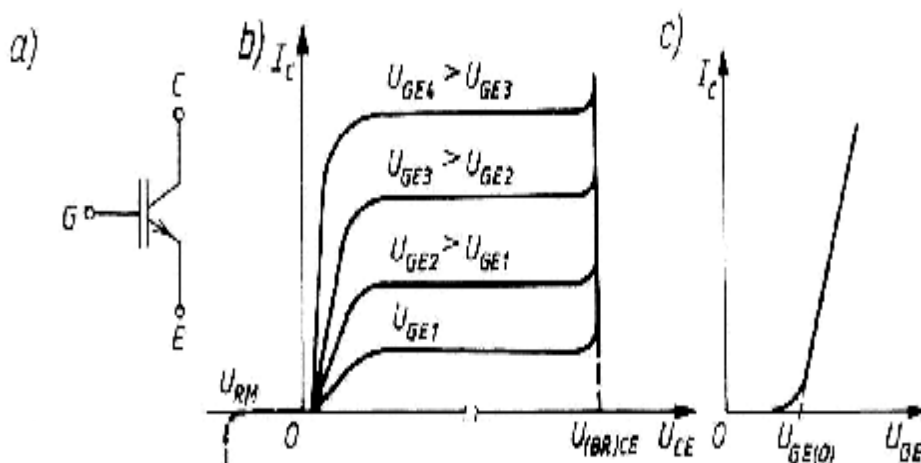
## 4.5. Tranzystory IGBT, tyrystory i triaki

### 4.5.1. Materiał nauczania

#### Tranzystor IGBT

Bipolarny tranzystor z izolowaną bramką (IGBT) powstał przez połączenie na jednej płytce krzemowej tranzystora bipolarnego i unipolarnego typu MOSFET. Łączy on ze sobą korzystne cechy obu rodzajów tranzystorów tzn. sterowany jest napięciowo (jak MOSFET), a przepływ prądu między kolektorem i emiterem odbywa się przy udziale nośników większościowych i mniejszościowych (jak w tranzystorze bipolarnym). Dzięki temu połączeniu uzyskuje się stosunkowo małe napięcia przewodzenia i jednocześnie krótkie czasy przełączania. Tranzystor IGBT jest bardzo atrakcyjnym łącznikiem półprzewodnikowym mogącym pracować w układach energoelektronicznych o częstotliwościach przełączania do kilkudziesięciu kHz, mocach do kilku MW, przy napięciach blokowania rzędu kilku kV i prądach przewodzenia rzędu kilku kA. Dodatkową zaletą tych tranzystorów jest duża odporność na destrukcyjne działanie przeciążeń prądowych.

Symbol graficzny tranzystora IGBT i jego charakterystyki pokazano na rys. 22.



Rys. 22. Tranzystor IGBT: a) symbol graficzny, b) charakterystyka wyjściowa, c) charakterystyka przejściowa [4]

Z charakterystyk wynika, że tranzystor będzie w stanie blokowania dopóki napięcie sterujące (o polaryzacji dodatniej względem emitera) nie przekroczy wartości progowej  $U_{GE(0)}$ . Pozostałe parametry tranzystora IGBT są takie same jak tranzystorów uni- i bipolarnych.

Przykład:

Tranzystor IRG4BC20S firmy International Rectifier ma następujące parametry:

$U_{CEmax} = 600 \text{ V}$ ,  $U_{GE(0)} = 1,6 \text{ V}$ ,  $I_{Cmax} = 19 \text{ A}$  (przy temp.  $25^\circ\text{C}$ ),  $P_{Cmax} = 60 \text{ W}$

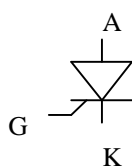
Wyprowadzenia i wygląd zewnętrzny tranzystorów IGBT są podobne jak w przypadku tranzystorów bi- i unipolarnych.

## Sprawdzanie tranzystorów IGBT

Sprawność tranzystora IGBT można ocenić tylko przez włączenie tego tranzystora w obwód obciążenia (np. żarówka 12V-5W) i dokonanie próby włączenia. Załączenie tranzystora IGBT następuje przez podanie na jego bramkę impulsu napięciowego (dodatniego) przekraczającego wartość progową, a wyłączenie nastąpi, gdy ten dodatni impuls bramkowy zaniknie.

## Tyrystor

Tyrystor, zwany także sterowaną diodą krzemową, składa się z 4 warstw półprzewodnika PNP. Trzy wyprowadzone na zewnątrz końcówki są dołączone do trzech warstw półprzewodnika: anoda A do skrajnej warstwy P, katoda K do skrajnej warstwy N oraz trzecia zwana bramką G do wewnętrznej warstwy N. Symbol graficzny tyrystora przedstawiono na rysunku 23.



Rys. 23. Symbol graficzny tyrystora [opracowanie własne]

Działanie tyrystora przy polaryzacji w kierunku zaporowym jest takie same jak diody prostowniczej, nazywamy ten stan stanem zaporowym. Natomiast przy polaryzacji w kierunku przewodzenia (anoda połączona z biegunem „+” zasilania) tyrystor jest w stanie blokowania (nie przewodzi prądu) lub w stanie przewodzenia (przewodzi prąd tak jak dioda prostownicza). Stąd drugie określenie tyrystora - dioda sterowana.

W zależności od sposobu przechodzenia tyrystora ze stanu przewodzenia do blokowania i odwrotnie rozróżniamy dwa podstawowe rodzaje tyrystorów: SCR i GTO.

Przejście tyrystora SCR (nazywanego inaczej konwencjonalnym lub triodowym) ze stanu blokowania do stanu przewodzenia (włączenie tyrystora) następuje po przekroczeniu napięcia progowego  $U_{(BO)}$  nazywanego napięciem przełączania. Napięcie przełączania nie jest parametrem tyrystora, ponieważ zależy od wartości prądu  $I_G$  wpływającego do bramki tyrystora (im większe  $I_G$ , tym mniejsze  $U_{(BO)}$ ). Po włączeniu tyrystora jego obwód bramkowy może być przerwany. Istnieje również możliwość samoczynnego, niekontrolowanego załączenia tyrystora podczas zbyt szybkiego narastania napięcia w stanie blokowania.

Wyłączenie tyrystora SCR, czyli przejście ze stanu przewodzenia w stan blokowania lub zaporowy, wymaga zmniejszenia prądu anodowego tyrystora do wartości tzw. prądu podtrzymania  $I_H$  lub do zera poprzez zmianę polaryzacji napięcia anoda-katoda. W praktyce na ogół wykorzystuje się ten drugi sposób.

W przypadku tyrystora GTO (inaczej nazywanego wyłączalnym) włączenie odbywa się tak samo jak tyrystora konwencjonalnego, przy czym wymagana jest duża wartość dodatniego impulsu prądu bramki oraz utrzymanie wpływającego do tyrystora prądu bramkowego przez cały stan przewodzenia.

Aby przerwać przepływ prądu głównego tyrystora GTO, należy do obwodu bramki doprowadzić ujemny impuls prądu, natomiast zmniejszenie prądu anodowego tyrystora nie jest wymagane.



### Parametry i oznaczenia tyrystorów

Podstawowymi parametrami tyrystora są:

- UDRM – maksymalne napięcie blokowania,
- URRM – powtarzalne szczytowe napięcie wsteczne,
- $I_T(RMS)$  – maksymalna wartość skuteczna prądu przewodzenia,
- UGT – napięcie przełączające bramki,
- IGT – prąd przełączający bramki,
- $I_H$  – prąd podtrzymania.

Przykład:

BTP128-400:  $U_{DRM} = 400V$ ,  $U_{RRM} = 4V$ ,  $I_{T(RMS)} = 8A$ ,  $U_{GT} = 4V$ ,  $I_{GT} = 45mA$ ,  $I_H = 5mA$

Tyrystory małej mocy mają obudowy podobne kształtem do diod lub tranzystorów i nie mają oznaczeń zawierających informacje o parametrach tyrystora. Natomiast tyrystory dużej mocy (podobne kształtem do diod prostowniczych dużej mocy) mają specjalne oznaczenia naniesione na obudowę:

Przykład: T 32-20-10-54

T – tyrystor (tyrystory szybkie mogą mieć oznaczenie TR lub F), 32 - cechy konstrukcyjne tyrystora, 20 – prąd  $I_{T(RMS)}$  w [A], 10 – napięcie  $U_{DRM} = U_{RRM}$  w setkach [V], 54 – parametry dynamiczne.

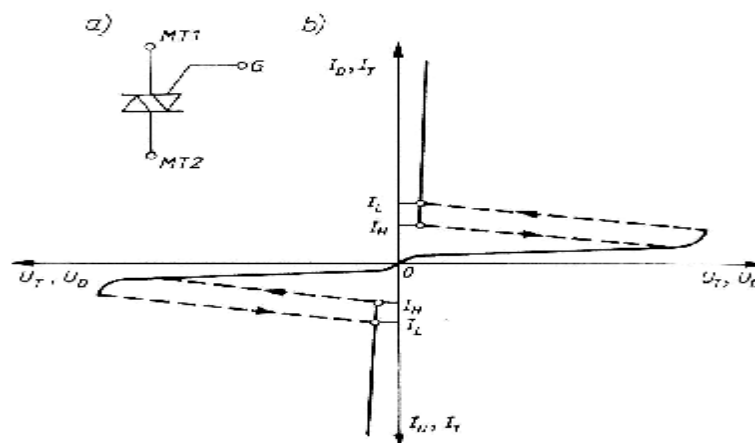
Na rys. 24 przedstawiono wygląd zewnętrzny tyrystorów o różnych, maksymalnych prądach przewodzenia.



Rys. 24. Wygląd zewnętrzny tyrystorów o prądzie maksymalnym  $I_{T(RMS)}$ : a) 12 A, b) 40 A [9]

### Triaki

Triak jest trójzaciskowym, pięciowarstwowym, dwustanowym przyrządem półprzewodnikowym, który zastępuje pod względem funkcjonalnym połączenie odwrotnie równoległe dwóch tyrystorów jednokierunkowych. Symbol graficzny i charakterystyka wyjściowa pokazane są na poniższym rysunku.



Rys. 25. Triak: a) symbol graficzny, b) charakterystyka wyjściowa [4]

Triak działa jako przełącznik mocy, sterujący przepływem prądu przemiennego (tzn. przewodzi prąd w obu kierunkach oraz blokuje napięcie o dowolnej biegunowości). Posiada on dwie elektrody obwodu głównego MT1 i MT2 oraz elektrodę sterującą G (bramkę). Elektroda MT2 jest zwykle połączona z obudową przyrządu, a MT1 jest elektrodą odniesienia względem której mierzone są wszystkie napięcia. Gdy do bramki G doprowadzimy dodatni lub ujemny impuls napięciowy (zależnie od wykonania struktury 5-warstwowej) triak przechodzi trwale w stan przewodzenia, aż do momentu, gdy wartość prądu głównego zostanie zmniejszona przez układ zewnętrzny do wartości mniejszej niż prąd podtrzymania  $I_H$ .

Oznaczenia triaków dużej mocy są takie same jak tyrystorów dużej mocy za wyjątkiem pierwszej litery.

Przykłady:

triak dużej mocy – S 20-20-10-54,

triak średniej mocy – BTA-12-600 (12 A, 600 V).

Wygląd zewnętrzny triaków nie odbiega od tyrystorów, czy tranzystorów.

### Sprawdzanie tyrystorów i triaków

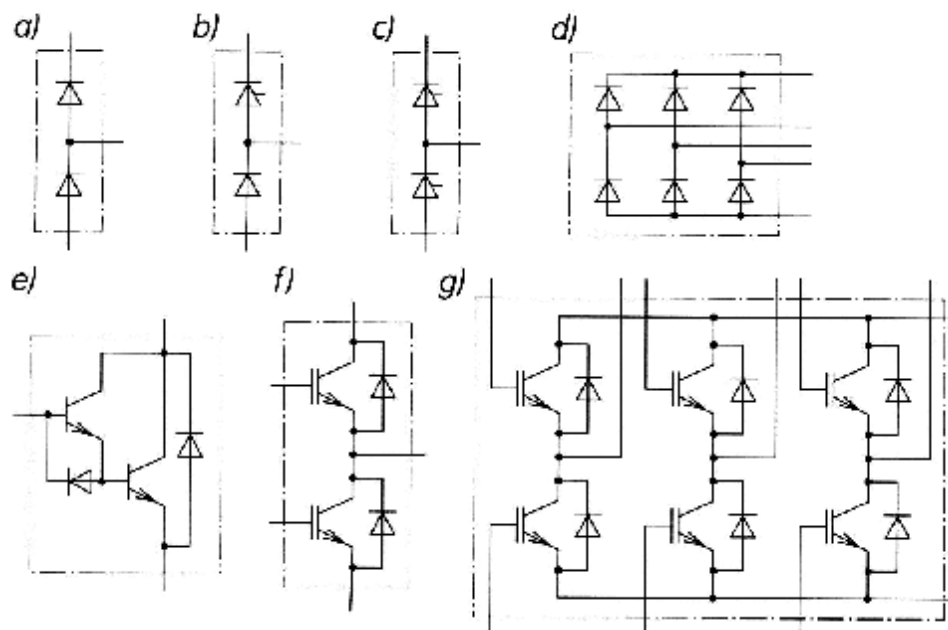
Tyrystory ulegają uszkodzeniom tego samego rodzaju, co wszystkie elementy półprzewodnikowe, tzn. przebiciom złączy. Typową przyczyną uszkodzeń tyrystorów jest przegrzanie, w wyniku którego następuje pogorszenie parametrów tyrystora, przede wszystkim jego czasu wyłączenia.

Prawidłowość działania tyrystora można sprawdzić w układzie wyposażonym w baterię 4,5 V, miliamperomierz i 2 rezystory 1 k $\Omega$  i 470  $\Omega$ . Biegun ujemny zasilacza łączymy z katodą tyrystora; natomiast biegun dodatni łączymy z anodą przez rezystor 470  $\Omega$ , a przez 1k $\Omega$  i ewentualnie przełącznik z bramką tyrystora. Przy odłączonej bramce tyrystor nie powinien się włączyć i miliamperomierz nie powinien wskazywać przepływu prądu. Po podłączeniu bramki do obwodu tyrystor powinien się włączyć i miliamperomierz powinien wskazywać przepływ prądu rzędu kilku miliamperów.

W przypadku triaka procedura sprawdzania może być analogiczna, przy czym nie ma znaczenia biegunowość baterii zasilającej.

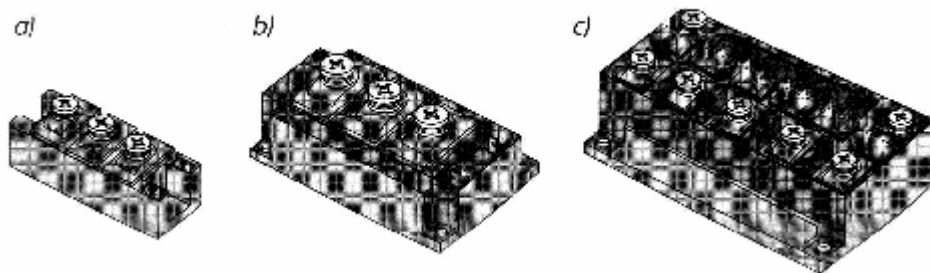
## Moduły z przyrządami półprzewodnikowymi

Moduły te nazywane są również modułami elektroizolowanymi, to znaczy takimi, w których półprzewodnikowe przyrządy diodowe, tranzystorowe czy tyrystorowe są elektrycznie odizolowane od podstawy odprowadzającej ciepło do układu chłodzenia. Wytwarzane są moduły zawierające tylko zarówno przyrządy tego samego rodzaju (np. tylko diody lub tylko tyrystory), jak i różnych rodzajów. Najbardziej rozpowszechniły się moduły zawierające tranzystory IGBT z bocznikującymi je szybkimi diodami dużej mocy. Przykłady najczęściej wykorzystywanych modułów pokazano na poniższym rysunku 26.



**Rys. 26.** Schematy typowych modułów elektroizolowanych: a) gałąź diodowa, b) gałąź diodowo-tyrystorowa, c) gałąź tyrystorowa, d) trójfazowy mostek diodowy, e) tranzystorowy układ Darlingtona, f) gałąź tranzystorów IGBT z diodami, g) mostek trójfazowy IGBT [4]

Moduły są projektowane na określone prądy nieprzekraczające, ze względu na ograniczone możliwości oddawania ciepła, na ogół 500 A. Na poniższym rysunku 27 pokazano wygląd zewnętrzny modułów przeznaczonych na określone prądy przewodzenia.



**Rys. 27.** Wygląd zewnętrzny modułów z tranzystorami IGBT: a) moduł 50 A/600 V, b) moduł 400 A/600 V, c) moduł mostka trójfazowego 600 A/600 V [4]

Stosowanie modułów skraca czas montażu i upraszcza konstrukcję przekształtnika, a tym samym zmniejsza koszty jego wykonania. Ponadto dzięki zwartej budowie zwiększa się niezawodność urządzeń oraz zmniejszają się przepięcia i straty łączeniowe powodowane indukcyjnościami rozproszenia.

## 4.5.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie są zalety stosowania tranzystorów IGBT?
2. Co to jest parametr  $U_{GE(0)}$  tranzystora IGBT?
3. Jakie stany pracy tyrystora wyróżniamy?
4. Czym się różni w działaniu tyrystor SCR od GTO?
5. Co to jest parametr  $U_{DRM}$  tyrystora?
6. W jaki sposób wyłączany jest triak?
7. Jakie układy zawierają moduły elektroizolowane?

## 4.5.3. Ćwiczenia

### Ćwiczenie 1

Wyznacz charakterystykę prądowo-napięciową tyrystora w stanie przewodzenia i zmierz wartość prądu podtrzymania  $I_H$  tego tyrystora.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zbudować układ pomiarowy zgodnie z instrukcją,
- 2) zapoznać się z danymi katalogowymi tyrystora,
- 3) wybrać zakres pomiarowy urządzeń pomiarowych i zasilających zgodnie z instrukcją,
- 4) nastawić maksymalne wartości rezystancji potencjometrów w obwodzie głównym i obwodzie bramkowym tyrystora,
- 5) dobrać zakres napięć wyjściowych regulowanych zasilaczy obwodu głównego i obwodu bramkowego tyrystora,
- 6) potencjometrem obwodu głównego nastawić podane w instrukcji wartości prądu anodowego,
- 7) zmierzyć napięcie przewodzenia tyrystora dla każdej zadanej wartości prądu anodowego,
- 8) zapisać wyniki pomiarów w opracowanej przez siebie tabeli,
- 9) narysować charakterystykę prądowo-napięciową tyrystora  $I_T = f(U_T)$ ,
- 10) ustawić tyrystor w stan przewodzenia,
- 11) rozewrzeć obwód bramki tyrystora,
- 12) zwiększać rezystancję potencjometru obwodu głównego tyrystora,
- 13) zmierzyć wartość prądu anodowego dla każdej nastawy potencjometru,
- 14) zageścić pomiary przy zbliżaniu się do katalogowej wartości  $I_H$ ,
- 15) zwiększać rezystancję potencjometru do chwili, gdy prąd anodowy przestanie płynąć,
- 16) odczytać wartość prądu anodowego bezpośrednio przed wyłączeniem tyrystora i zapisać jako pomierzoną wartość prądu podtrzymania tego tyrystora.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- tyrystor, 2 rezystory i 2 potencjometry,
- 2 regulowane zasilacze napięciowe DC,
- instrukcja do ćwiczenia,
- 2 woltomierze i amperomierz DC,
- instrukcje do przyrządów pomiarowych,
- kalkulator, zeszyt do ćwiczeń i papier milimetrowy,
- ołówek, linijka, inne przyrządy kreślarskie.

## Ćwiczenie 2

Sprawdź sprawność działania triaka.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się z danymi katalogowymi triaka,
- 2) zbudować układ pomiarowy zgodnie z instrukcją,
- 3) wybrać zakres pomiarowy miliamperomierza na podstawie danych katalogowych,
- 4) dokonać pomiaru prądu płynącego w układzie pomiarowym,
- 5) ocenić sprawność działania triaka,
- 6) tyrystora i zapisać jako pomierzoną wartość prądu podtrzymania tego tyrystora.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- triak oraz zestaw oporników i potencjometrów,
- regulowany zasilacz napięcia DC,
- instrukcja do ćwiczenia,
- miliamperomierz DC,
- zeszyt do ćwiczeń.

### 4.5.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) poszukać w katalogu niezbędne dane badanego elementu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) dopasować zakresy urządzeń pomiarowych do odczytanych parametrów badanego elementu?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) wyznaczyć charakterystykę prądowo-napięciową tyrystora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) zmierzyć podstawowe parametry tyrystora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) określić jakie warunki prądowo-napięciowe muszą być spełnione, aby tyrystor mógł prawidłowo pracować?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) zbudować układ do sprawdzania sprawności działania triaka?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) ocenić sprawność działania triaka?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

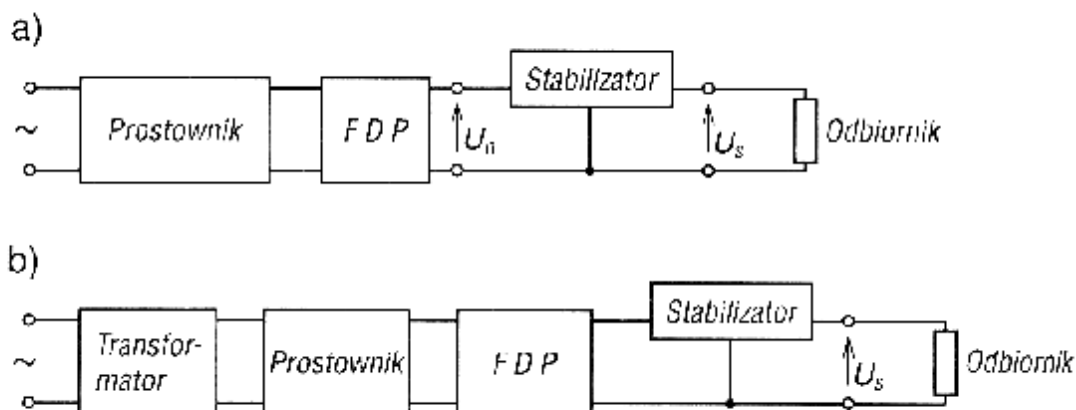
## 4.6. Zasilacze

### 4.6.1. Materiał nauczania

#### Zasilacze napięciowe

Zasilaczem nazywamy układ elektroniczny wytwarzający napięcie stałe przeznaczone do zasilania innych układów elektronicznych. Inaczej mówiąc zasilacz przetwarza napięcie przemienne sieci zasilającej (np. 230 V, 50 Hz) na napięcie stałe.

Schemat funkcjonalny zasilacza przedstawiono (w dwóch wersjach) na rys. 28.



Rys. 28. Schemat funkcjonalny zasilaczy: a) prostego, b) z transformatorem [7]

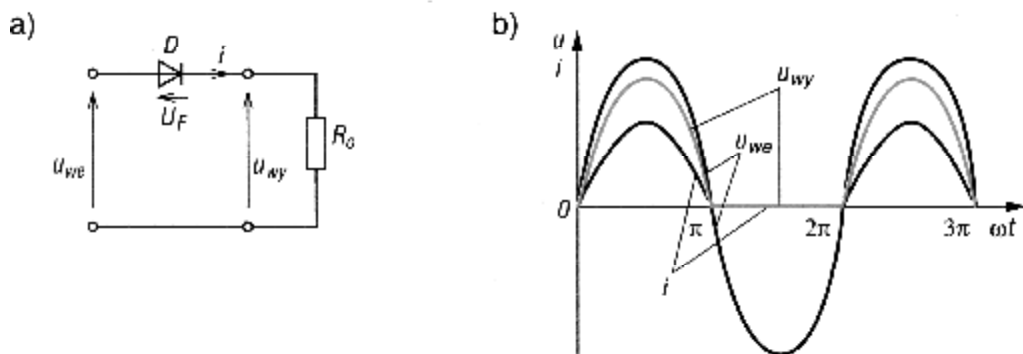
Wersja zawierająca prosty zasilacz składa się z trzech bloków: prostownika, filtra dolnoprzepustowego FDP oraz stabilizatora napięcia wyjściowego. Prostownik zamienia prąd zmienny na prąd jednokierunkowy, filtr FDP przepuszcza na wyjściu składową stałą pulsującego prądu jednokierunkowego i tłumi składową zmienną, a stabilizator powoduje zmniejszenie tętnień napięcia wyjściowego.

Wersja druga zawiera te same bloki co pierwsza, ale dodatkowo jest odseparowana od sieci zasilającej transformatorem sieciowym, który zwykle obniża znacznie napięcie zmienne podawane na prostownik, a co za tym idzie obniża napięcie wyjściowe zasilacza. Zasilacz z transformatorem odseparowuje galwanicznie obwody wyjściowe od wejściowych, co jest dużą zaletą tego urządzenia. Ponadto układ zasilacza z transformatorem daje się łatwo zaadaptować do wytwarzania kilku napięć stałych (jeden transformator o kilku uzwojeniach wtórnych), a diody prostownicze stosowane w tych zasilaczach mogą mieć stosunkowo nieduże napięcie wsteczne. Wadą tego typu zasilaczy są natomiast duże rozmiary transformatorów (gdy moc zasilacza przekracza 20 W), mała sprawność i mała skuteczność tłumienia tętnień.

#### Układy prostownicze niesterowane

Układy prostownicze są najczęściej podzespołem urządzenia zwanego zasilaczem napięciowym, które przetwarza napięcie przemienne sieci zasilającej (w Polsce 230 V, 50 Hz) na napięcie stałe o ustabilizowanej wartości. Zadaniem prostownika jest wytworzenie na wyjściu napięcia zmiennego, ale o stałej polaryzacji.

Prostownik jednopulsowy przewodzi prąd tylko w jednym kierunku, w wyniku czego na wyjściu pojawiają się tylko dodatnie „połówki” wejściowego napięcia sinusoidalnego, co pokazano na rysunku 29.



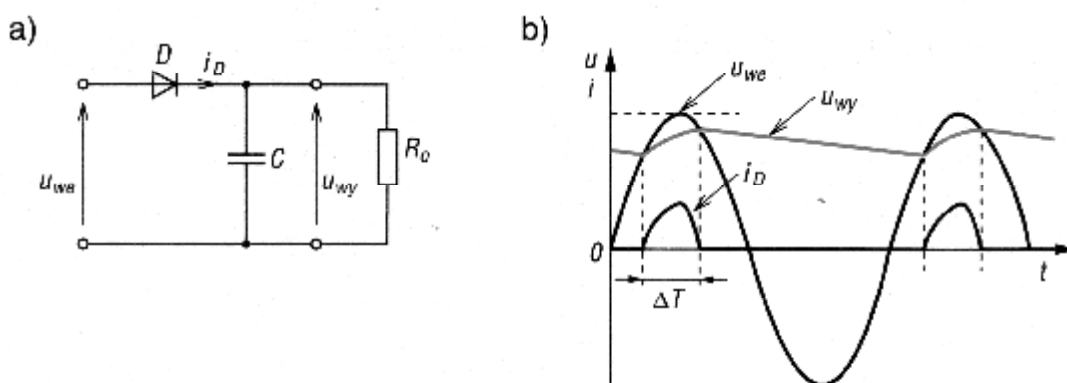
**Rys. 29.** Prostownik jednopulsowy: a) schemat, b) przebiegi napięć i prądów w układzie [7]

Elementem załączającym jest dioda półprzewodnikowa  $D$ , która przewodzi, gdy napięcie  $u_{we} > U_F$  i nie przewodzi, gdy  $u_{we} < U_F$ . W stanie nieprzewodzenia napięcie wyjściowe jest równe 0, w stanie przewodzenia określone jest wzorem

$$u_{wy} = u_{we} - U_F$$

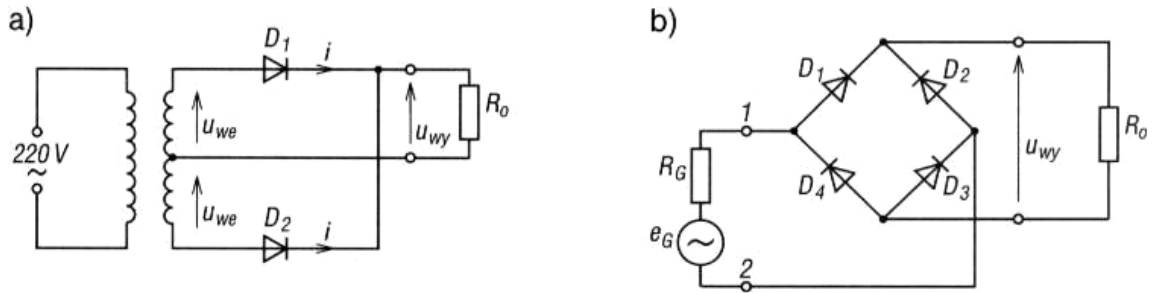
W celu zmniejszenia tętnień oraz zwiększenia wydatkowania energii, w obciążeniu prostownika stosuje się kondensatory, które magazynują energię w czasie  $\Delta T$ , co pokazano na rysunku 28.

Prostownik z obciążeniem rezystancyjno- pojemnościowym (rys. 30) utrzymuje na wyjściu napięcie o wartości zbliżonej do wartości szczytowej napięcia wejściowego. Prąd  $i_D$  w tym układzie płynie tylko w czasie  $\Delta T$  doładowywania pojemności, czyli krócej niż przy obciążeniu rezystancyjnym.



**Rys. 30.** Prostownik jednopulsowy z obciążeniem RC: a) schemat, b) przebiegi napięć i prądów w układzie [7]

Lepszymi parametrami charakteryzują się prostowniki dwupulsowe pokazane na rys. 31.



Rys. 31. Prostownik dwupulsowy: a) układ z transformatorem, b) układ Graetza [7]

W układach tych prąd płynie przez obciążenie  $R_o$  praktycznie przez cały czas w jednym kierunku. W celu poprawy parametrów prostowników, w układach zasilaczy, stosuje się prostowniki pracujące w układzie mostka Graetza (rys.30b) z filtrem dolnoprzepustowym, którym może być:

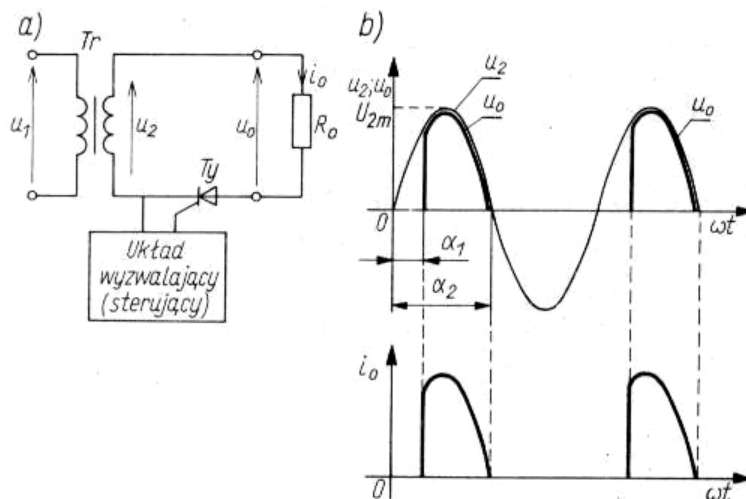
- obciążenie RC stosowane przy małych prądach obciążenia,
- obciążenie RL stosowane przy dużych prądach obciążenia.

### Układy prostownicze sterowane

W układach regulacji automatycznej lub sterowania urządzeń przemysłowych, głównie dużej mocy, istnieje konieczność ciągłego nastawiania wartości napięcia lub prądu wyjściowego. W dotychczas omówionych układach prostowniczych z diodami, zmianę napięcia wyjściowego można uzyskać tylko przez zmianę przekładni transformatora lub włączenie dodatkowych rezystorów szeregowo z obciążeniem.

W prostownikach sterowanych wartość napięcia stałego nastawia się, zmieniając przesunięcie fazowe sygnału bramkowego wyzwalającego tyrystor.

Wśród układów prostowników sterownych jednofazowych występują układy jedno- i dwupulsowe. Układ jednopulsowy pokazany jest rysunku 32.



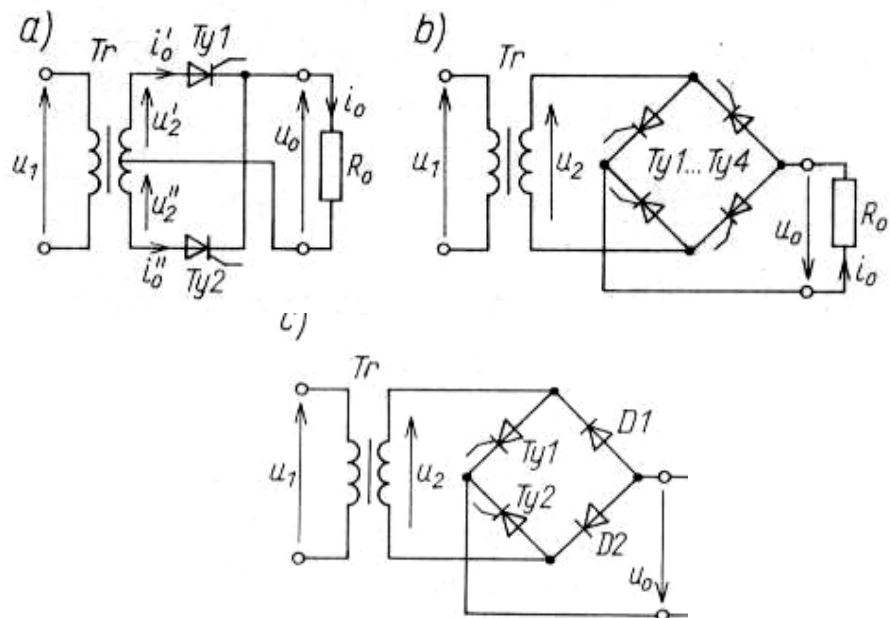
Rys. 32. Prostownik jednopulsowy sterowany a) schemat, b) przebiegi napięć i prądów w układzie [2]

Załączenie tyrystora w tym układzie następuje w wyniku doprowadzenia do bramki dodatniego impulsu z układu wyzwalającego w chwili  $t_1$ . Chwila ta odpowiada kątowi załączenia  $\alpha_1 = \omega t_1$ , nazywanemu również kątem opóźnienia zapłonu. Tyrystor zostaje wyłączony w chwili zmiany polaryzacji napięcia  $u_2$ , w chwili  $t_2$  odpowiadającej kątowi  $\alpha_2 =$



$\omega t_2$ . Tyrystor przewodzi więc w czasie odpowiadającym kątowi przewodzenia  $\alpha_p = \alpha_2 - \alpha_1$ . Składowa stała napięcia wyjściowego osiąga maksimum przy  $\alpha_1 = 0$ , a minimum przy  $\alpha_1 = \pi$ . Zależność składowej stałej od kąta  $\alpha_1$  nazywa się charakterystyką sterowania.

Najczęściej jednak wykorzystuje się prostowniki sterowane dwupulsowe pokazane na rysunku 33.



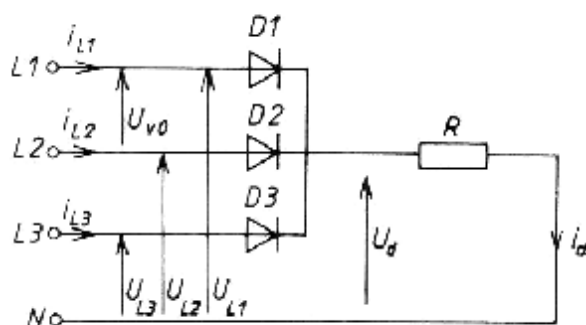
Rys. 33. Prostowniki dwupulsowe sterowane [2]

Prostowniki te mogą być utworzone z:

- dwóch tyrystorów w układzie z transformatorem (rys. 33a),
- czterech tyrystorów w układzie mostkowym (rys. 33b),
- dwóch tyrystorów i dwóch diod w układzie mostkowym (rys. 33c).

### Układy prostownicze trójfazowe

Najprostszym prostownikiem trójfazowym jest układ trójpulsowy, którego schemat połączeń pokazano na poniższym rysunku 34.

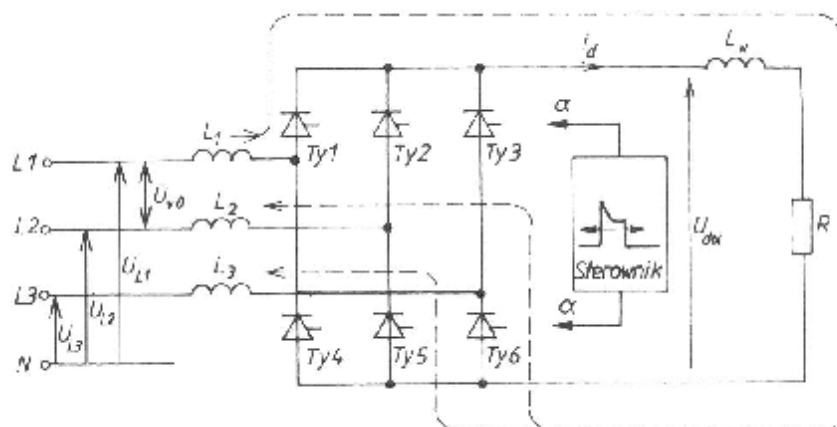


Rys. 34. Układ połączeń prostownika trójfazowego, trójpulsowego [4]

W układzie tym diody są połączone w gwiazdę, zatem prąd fazowy i prąd diody to te same prądy. Wartość szczytowa napięcia wyprostowanego  $U_d$  wynosi  $1,41U_L$ , a wartość średnia za okres  $1,17U_L$ , co powoduje, że skuteczna wartość prądu obciążenia jest dość duża w porównaniu z wartością średnią. Kąt przewodzenia poszczególnych diod w układzie trójpulsowym wynosi  $120^\circ$  el. Wadą tego układu jest konieczność dostosowania obwodu

głównego prostownika do zwiększonej obciążalności prądowej tzn. moc średnia transformatora prostownikowego powinna być o 35% większa niż moc wyjściowa prostownika. Inną istotną wadą tego układu jest przepływ prądu w przewodzie neutralnym N, którego wartość skuteczna jest 1,73 razy większa od wartości skutecznej prądu fazowego.

W praktyce najczęściej stosowanym prostownikiem sterowanym jest tyrystorowy prostownik trójfazowy, mostkowy pokazany na rys 35.



Rys. 35. Schemat funkcjonalny mostkowego, trójfazowego prostownika tyrystorowego [4]

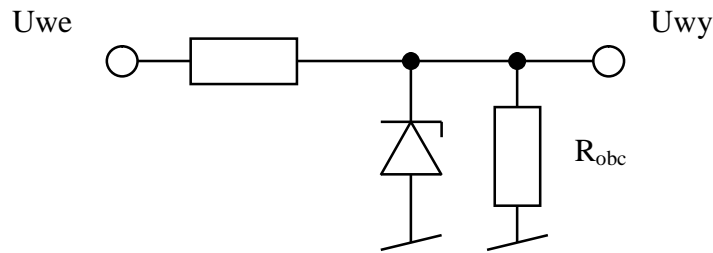
Różni się on od mostka diodowego tym, że przejście tyrystorów w stan przewodzenia musi być poprzedzone doprowadzeniem impulsów prądowych sterujących jednocześnie dwa tyrystory: jeden z grupy katodowej (np. Ty1) i jeden z grupy anodowej (np. Ty5). Linia kreskową zaznaczono drogi przepływu prądu wyprostowanego  $i_d$  po włączeniu tyrystora Ty1. Przepływ prądu wyprostowanego  $i_d$  wymaga odpowiedniej kolejności załączania poszczególnych tyrystorów Ty1÷Ty6. Aby to zapewnić, do bramki każdego tyrystora należy doprowadzić dwa impulsy w okresie przesunięte względem siebie o kąt  $60^\circ$  el. Sam proces komutacji przebiega podobnie jak w prostownikach diodowych, z tym że kąt komutacji jest zależny od kąta wysterowania  $\alpha$ . Prądy fazowe płynące przez uzwojenia L1, L2 i L3 są mocno odkształcone, a wartość skuteczna każdego z nich wynosi  $0,816I_d$ . Przebieg prądu wyjściowego oprócz składowej stałej zawiera składową zmienną o częstotliwości sześciokrotnie większej niż częstotliwość podstawowa.

### Układy stabilizacji napięcia

Układy te charakteryzują się następującymi parametrami:

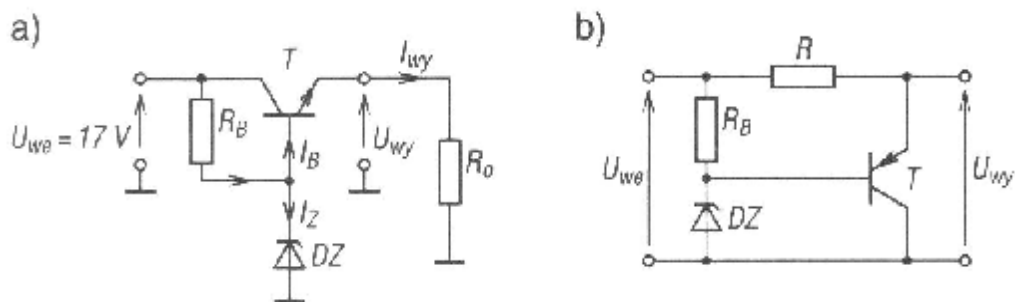
- znamionowe napięcie wyjściowe, tzn. to na które został zaprojektowany stabilizator,
- zakres regulacji napięcia wyjściowego,
- dopuszczalny zakres zmian napięcia wyjściowego,
- zakres zmian prądu wyjściowego,
- współczynnik stabilizacji  $S$  to stosunek zmiany napięcia wyjściowego do wywołującej ją zmiany napięcia wejściowego.

Najprostszym układem stabilizacji jest stabilizator z diodą Zenera, stosowany w prostych zasilaczach lub jako źródło napięcia odniesienia. Układ ten przedstawiono na rys. 36.



Rys. 36. Schemat układu stabilizatora z diodą Zenera [opracowanie własne]

Do zasilania układów elektronicznych najczęściej stosuje się stabilizatory ze sprzężeniem zwrotnym działające w układzie szeregowym lub równoległym. W obydwu tych układach napięcie wyjściowe (lub jego część) porównywane jest z wzorcowym napięciem odniesienia, a układ regulacji zmienia wartość prądu płynącego przez obciążenie tak, aby utrzymać na wyjściu stałą wartość napięcia. Przykłady schematów tranzystorowych stabilizatorów ze sprzężeniem zwrotnym przedstawiono na rys 37.



Rys. 37. Schematy tranzystorowych układów stabilizacji napięcia: a) szeregowego b) równoległego [9]

Układy te charakteryzują się znacznie lepszymi parametrami w porównaniu ze stabilizatorami diodowymi. W stabilizatorach stosuje się dwie grupy zabezpieczeń: nadnapięciowe i nadprądowe.

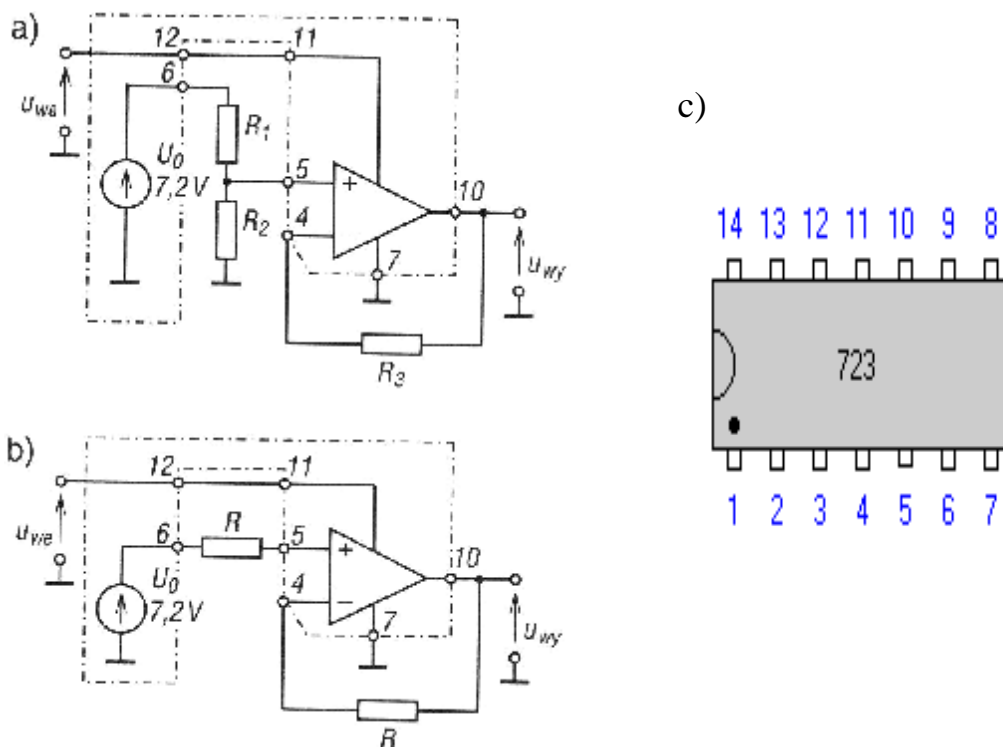
Najprostszymi elementami zabezpieczenia nadnapięciowego są kondensatory włączane równoległe do wejścia i wyjścia stabilizatora. Innym elementem tych zabezpieczeń są diody prostownicze włączane równoległe do wejść i wyjść stabilizatora, spolaryzowane zaporowo przy normalnej pracy stabilizatora. Diody te zabezpieczają zasilacz przed zniszczeniem wskutek odwrotnego włączenia napięcia wejściowego lub przyłączenia wyjścia do napięcia o odwrotnej polaryzacji.

Najczęściej stosowanym zabezpieczeniem nadprądowym jest bezpiecznik topikowy, umieszczany w obwodzie pierwotnym transformatora i na wyjściu stabilizatora. Jednak zabezpieczenie to jest niepewne i wolne w działaniu. Dlatego w rozbudowanych układach stabilizatorów stosuje się elektroniczne układy ograniczające prąd obciążenia. Układy te występują w dwóch wersjach. Pierwsza z nich tylko ogranicza napięcie wyjściowe, gdy prąd wyjściowy osiągnie swoją maksymalną dopuszczalną wartość. Drugi układ zabezpieczeń dodatkowo zmniejsza prąd wypływający ze stabilizatora w chwili zwarcia wyjścia do masy. Pierwszy układ ma charakterystykę wyjściową „bez podcięcia”, a drugi „z podcięciem”.

W praktyce często stosuje się scalone stabilizatory napięcia, które mogą pracować jako:

- uniwersalne układy o napięciu wyjściowym regulowanym za pomocą elementów zewnętrznych,
- układy o napięciu wyjściowym ustalonym w procesie produkcji.

Przykładem uniwersalnego scalonego stabilizatora napięcia jest układ  $\mu A$  723 którego wprowadzenia i schematy połączeń przedstawiono na rys. 38.



**Rys. 38.** Stabilizator scalony  $\mu A$  723: a) pracujący w układzie  $U_{wy} < U_o$ , b) pracujący w układzie  $U_{wy} = U_o$ , c) rozmieszczenie wyprowadzeń układu scalonego [9]

W układzie z rys. 38a napięcie wyjściowe jest porównywane ze „dzielnikowanym” napięciem źródła odniesienia według wzoru

$$U_{wy} = U_o \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Gdzie  $U_o$  oznacza napięcie odniesienia,  $U_{wy}$  napięcie wyjściowe stabilizatora, a  $R_1$  i  $R_2$  rezystancje oporników w układzie wejściowego dzielnika napięcia.

W układzie z rys. 38b napięcie wyjściowe jest porównywane bezpośrednio z napięciem odniesienia zatem

$$U_{wy} = U_o$$

Układy o stałym napięciu wyjściowym mają trzy (lub dwie) końcówki wyprowadzeń: wejście, masa, wyjście. Obudowa tych stabilizatorów przypomina obudowy tranzystorów dużej mocy, gdzie metalowa obudowa jest jedną z końcówek stabilizatora (np. UL7805, który jest scalonym stabilizatorem napięcia +5 V).

### Zasady wykonywania połączeń lutowanych na płytkach drukowanych

Najczęściej stosowaną przez elektryka technologią montażu układu elektronicznego jest tzw. montaż przewlekany, polegający na umieszczeniu w odpowiednich otworach płytki drukowanej elementów elektronicznych i połączeniu metalowych końcówek tych elementów z punktami lutowniczymi za pomocą specjalnego spoiwa zwanego tinolem.

Głównymi składnikami tinołu (drutu o średnicach od jednego do kilku milimetrów) są cyna i ołów o różnej zawartości oraz topnik, którym jest kalafonia.

Prawidłowe lutowanie wymaga przestrzegania następujących zasad:

- moc lutownicy dobiera się w zależności od wielkości powierzchni lutowanej (zasadą jest, aby grot lutownicy nie był mniejszy od powierzchni lutowanej),
- przed każdym lutowaniem należy dokładnie oczyścić łączone powierzchnie z tlenków metali, tłuszczów, lakierów i resztek innych spoiw,
- grot lutownicy musi być czysty, pozbawiony brudu i resztek spalonego topnika oraz pokryty spoiwem,
- podczas lutowania grot lutownicy nie powinien dotykać bezpośrednio miejsc, które chcemy połączyć, a wyłącznie poprzez tinol,
- czas lutowania nie powinien przekraczać kilku sekund, gdyż może to spowodować termiczne uszkodzenie lutowanych elementów lub spalić topnik.

Prawidłowo wykonana spoina po wystygnięciu powinna być gładka, błyszcząca o ostrym kącie przylegania spoiwa do punktu lutowniczego.

Prawidłowy rozkład elementów na płycie drukowanej rozpoznajemy na podstawie schematu montażowego obrazującego fizyczne rozstawienie elementów na płycie i schematu ideowego pokazującego obwód elektryczny montowanego układu elektronicznego.

Rezystory najczęściej są montowane na płycie drukowanej, ale zdarza się też montaż mechaniczny, gdzie korpus rezystora jest umieszczony w specjalnej obudowie, a do końcówek rezystora dolutowywane są przewody łączące go z układem. Uszkodzenia rezystorów możemy podzielić na mechaniczne i elektryczne. Do mechanicznych możemy zaliczyć: urwanie końcówki, złamanie korpusu rezystora, odprysk ceramiki lub przecięcie drutu oporowego. Do uszkodzeń elektrycznych zalicza się spalenie rezystora w wyniku przegrzania lub przebicia napięciowego.

Podczas montażu i wymiany diod półprzewodnikowych i tyrystorów należy sprawdzić dokładnie gdzie jest katoda i anoda tego elementu. W przypadku wymiany elementu montowanego na radiatorze należy wymienić przekładkę albo przynajmniej dokładnie ją oczyścić z resztek opiłków i smarów.

Podczas montażu i wymiany tranzystorów bipolarnych należy dokładnie rozpoznać końcówki tego tranzystora i ich połączenie z pozostałymi elementami układu. Podczas wylutowywania tranzystorów należy zastosować odsysacz cyny i dopiero po usunięciu spoiwa z punktów lutowniczych można podważyć i wyjąć tranzystory. W przypadku tranzystorów typu MOSFET należy postępować bardzo ostrożnie, najlepiej czynności montażowe wykonywać w specjalnych obręczkach metalowych odprowadzających ładunek elektrostatyczny do masy układu.

#### 4.6.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie są rodzaje prostowników niesterowanych?
2. Jaka jest wpływ kondensatora na wyjściu prostownika na kształt napięcia wyjściowego?
3. Co to jest mostek Graetza?
4. Gdzie stosujemy sterowane układy prostownicze?
5. Co to jest kąt zapłonu elementu sterowanego w układach prostowniczych?
6. Jak dobieramy transformator do prostownika trójfazowego, trójimpulsowego?
7. Jak działa stabilizator napięcia ze sprzężeniem szeregowym?
8. Na czym polega technologia elektronicznego montażu przewlekanego?
9. Jakie lutownice należy stosować, aby uniknąć odklejenia się ścieżki?

### 4.6.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Rozpoznaj na przedstawionych schematach ideowych układ Greatza z obciążeniem RC i dokonaj montażu tego układu zgodnie ze schematem.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) dokonać wyboru właściwego układu,
- 2) zapoznać się ze schematem montażowym wybranego układu,
- 3) wykonać prawidłowo montaż przewlekany elementów tego układu na płycie drukowanej,
- 4) podłączyć zmontowany układ przez wyłącznik i transformator separujący do źródła jednofazowego napięcia przemiennego o wartości skutecznej 24 V,
- 5) podłączyć jeden kanał oscyloskopu do wejścia, a drugi do wyjścia prostownika,
- 6) zaobserwować na ekranie oscyloskopu przebiegi napięcia wejściowego i wyjściowego prostownika,
- 7) ocenić na podstawie obserwowanych przebiegów ile razy zmieni się (i w którą stronę) wartość tętnień napięcia wyjściowego przy dwukrotnym zmniejszeniu pojemności w obciążeniu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- schematy ideowe i montażowe prostowników,
- źródło jednofazowego napięcia przemiennego o wartości skutecznej 24 V,
- oscyloskop dwukanałowy,
- płytka drukowana i zestaw elementów do zmontowania,
- stacja lutownicza i materiały lutownicze,
- narzędzia monterskie,
- prądowa sonda pomiarowa,
- kalkulator i zeszyt do ćwiczeń.

#### Ćwiczenie 2

Rozpoznaj na przedstawionych zmontowanych płytkach drukowanych układ prostownika trójfazowego z obciążeniem R i dokonaj naprawy tego układu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) dokonać wyboru właściwego układu,
- 2) zapoznać się ze schematem ideowym i montażowym wybranego układu,
- 3) sprawdzić, czy prawidłowo wykonano montaż tego prostownika,
- 4) podłączyć (o ile nie znaleziono błędów) układ przez wyłącznik i transformator separujący do źródła trójfazowego napięcia 3x400 V/50 Hz,
- 5) podłączyć jeden kanał oscyloskopu do wejścia, a drugi do wyjścia prostownika,
- 6) zaobserwować na ekranie oscyloskopu przebiegi napięcia wejściowego i wyjściowego prostownika,
- 7) dokonać diagnozy rodzaju uszkodzenia na podstawie zaobserwowanych przebiegów,
- 8) zlokalizować uszkodzony element prostownika,
- 9) wymienić uszkodzony element,
- 10) sprawdzić prawidłowość działania układu po naprawie.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zmontowane na płytkach drukowanych układy prostowników,
- schematy ideowe i montażowe prostowników,
- trójfazowe źródło zasilania i transformator separujący 1:1,
- oscyloskop dwukanałowy i instrukcje do przyrządów pomiarowych,
- zapasowe elementy elektroniczne wchodzące w skład układu prostownika,
- stacja lutownicza i materiały lutownicze oraz narzędzia monterskie.

### Ćwiczenie 3

Wykonaj montaż tranzystorowego, szeregowego zasilacza ze stabilizacją i regulacją napięcia wyjściowego zgodnie ze schematem ideowym i montażowym.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się ze schematem ideowym i montażowym układu stabilizatora oraz jego parametrami,
- 2) wykonać prawidłowo montaż przewlekany elementów tego układu na płytce drukowanej,
- 3) podłączyć zmontowany układ stabilizatora do regulowanego źródła napięcia stałego 0÷24 V,
- 4) podłączyć jeden kanał oscyloskopu do wyjścia stabilizatora,
- 5) zaobserwować na ekranie oscyloskopu tętnienia przebiegu wyjściowego,
- 6) zmierzyć za pomocą multimetru cyfrowego zakres regulacji napięcia wyjściowego przy różnych obciążeniach i granicznych wartościach napięcia wejściowego,
- 7) porównać zmierzone i teoretyczne parametry układu,
- 8) ocenić prawidłowość działania zmontowanego układu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- schematy ideowe i montażowe prostowników oraz dane techniczne układu,
- oscyloskop dwukanałowy i multimetr cyfrowy,
- płytka drukowana i zestaw elementów do zmontowania,
- stacja lutownicza i materiały lutownicze,
- narzędzia monterskie,
- instrukcje do przyrządów pomiarowych,
- kalkulator i zeszyt do ćwiczeń.

#### 4.6.4. Sprawdzian postępów

**Czy potrafisz:**

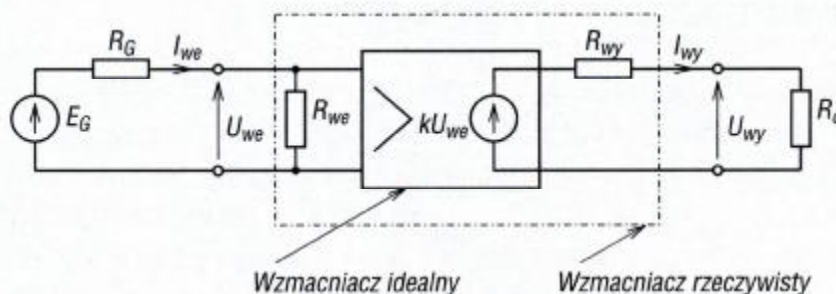
	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) rozpoznać określony układ prostownika na podstawie schematu ideowego lub montażowego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) ocenić wpływ wielkości i rodzaju obciążeń na pracę prostownika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) zmontować zgodnie z instrukcją układ wybranego prostownika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) zlokalizować i wymienić uszkodzony element prostownika?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) zmierzyć za pomocą multimetru cyfrowego zakres regulacji napięcia wyjściowego stabilizatora napięcia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) stwierdzić prawidłowość działania stabilizatora?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) zmontować i uruchomić układ tranzystorowego stabilizatora napięcia?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.7. Wzmacniacze i generatory elektroniczne oraz układy energoelektroniczne

### 4.7.1. Materiał nauczania

#### Podstawowe właściwości i parametry wzmacniaczy

Podstawową funkcją wzmacniacza jest wzmocnienie sygnału, przy zachowaniu nie zmienionego jego kształtu. Wzmocnienie to odbywa się kosztem energii doprowadzonej z pomocniczego źródła napięcia stałego. W związku z tym w każdym wzmacniaczu wyróżnia się dwa zasadnicze obwody: obwód sygnału i obwód zasilania. Obwód zasilania stwarza właściwe warunki dla wzmocnienia sygnału, natomiast obwód sygnału jest związany z przenoszeniem sygnału przez wzmacniacz. Dla wzmacnianego sygnału wzmacniacz jest czwórnikiem do którego zacisków wejściowych dołączono źródło sygnału, a do wyjściowych odbiornik sygnału.



Rys. 39. Schemat zastępczy wzmacniacza [7]

Do najważniejszych parametrów wzmacniacza należą:

- wzmocnienie: napięciowe  $k_U$ , prądowe  $k_I$ , mocy  $k_P$ , które są definiowane następująco:

$$k_U = \frac{U_{wy}}{U_{we}} \qquad k_I = \frac{I_{wy}}{I_{we}} \qquad k_P = \frac{P_{wy}}{P_{we}}$$

gdzie  $U_{wy}$ ,  $I_{wy}$ ,  $P_{wy}$  oznaczają odpowiednio napięcie, prąd i moc wyjściową wzmacniacza, a  $U_{we}$ ,  $I_{we}$ ,  $P_{we}$  oznaczają odpowiednio napięcie, prąd i moc wejściową wzmacniacza,

- częstotliwości graniczne (dolna i górna) wynikające z przebiegu charakterystyki amplitudowo-częstotliwościowej – są to takie częstotliwości sygnału wejściowego, dla których wzmocnienie napięciowe maleje względem wzmocnienia maksymalnego o 3dB (czyli do poziomu 0,707 swej wartości maksymalnej), a wzmocnienie mocy maleje do połowy,
- pasmo B przenoszonych częstotliwości (czyli różnica między górną i dolną częstotliwością graniczną) podawane w kHz,
- zniekształcenia nieliniowe określające zniekształcenia kształtu sygnału wyjściowego w stosunku do wejściowego wyrażone w %,
- rezystancja wejściowa  $R_{we}$  – jest to rezystancja „widziana” z zacisków wejściowych układu, przy rozwartym wyjściu, tzn.

$$R_{we} = \frac{U_{we}}{I_{we}}$$

przy  $R_o = \infty$ ,

gdzie  $U_{we}$  oznacza napięcie wejściowe wzmacniacza,  $I_{we}$  prąd wejściowy wzmacniacza, a  $R_o$  rezystancję obciążenia wzmacniacza,



- rezystancja wyjściowa  $R_{wy}$  – jest to rezystancja „widziana” z zacisków wyjściowych układu, przy zwartym wejściu, tzn.

$$R_{wy} = \frac{U_{wy}}{I_{wy}}$$

przy  $U_{we} = 0$ ,

gdzie  $U_{wy}$  oznacza napięcie wyjściowe wzmacniacza,  $I_{wy}$  prąd wyjściowy wzmacniacza, a  $U_{we}$  napięcie wejściowe wzmacniacza

- moc wyjściowa  $P_{wy}$  (przy określonym poziomie sygnału wejściowego) mierzona w watach.

Ze względu na rodzaj sygnału wejściowego danego rozróżniamy: wzmacniacze napięciowe, prądowe i wzmacniacze mocy.

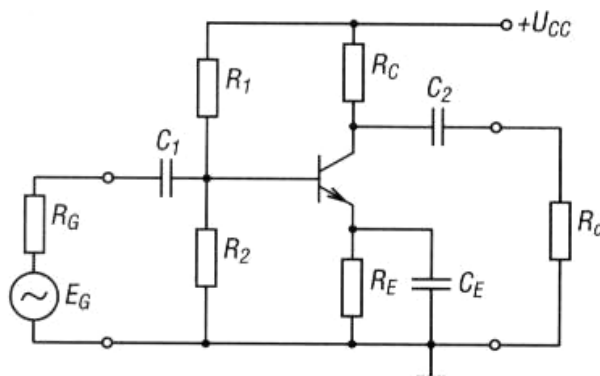
Ze względu na zakres częstotliwości wzmacnianego sygnału rozróżniamy: wzmacniacze prądu stałego, małej i wielkiej częstotliwości, szerokopasmowe oraz selektywne.

Ze względu na konstrukcję wzmacniacze dzielimy na tranzystorowe i scalone (w tym operacyjne).

### Tranzystorowe wzmacniacze napięciowe małej częstotliwości

Wybór układu pracy tranzystora jest zależny od przeznaczenia i rodzaju zastosowanego tranzystora, co zostało opisane w punkcie 4.4.1.

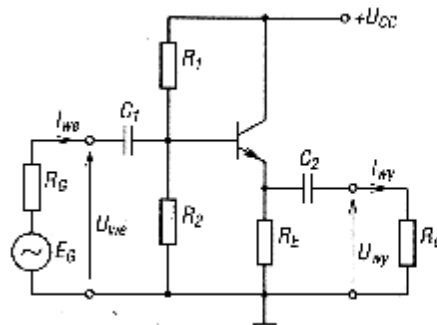
Na poniższym rysunku pokazano schemat wzmacniacza pracującego w konfiguracji OE z potencjometrycznym układem zasilania z emiterowym sprzężeniem zwrotnym dla składowej stałej.



Rys. 40. Wzmacniacz małych częstotliwości - schemat ideowy [7]

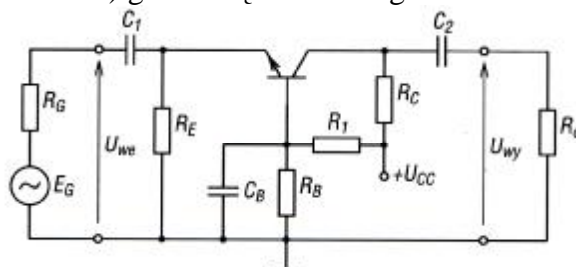
Rezystory  $R_1$  i  $R_2$  polaryzują bazę tranzystora ustalając prąd bazy oraz zapewniają jego pracę w zakresie aktywnym. Rezystor  $R_E$  jest elementem sprzężenia zwrotnego, a rezystor  $R_C$  jest obciążeniem kolektorowym wzmacniacza. Kondensatory  $C_1$  i  $C_2$  oddzielają składowe stałe napięcia generatora i obciążenia od napięć stałych wzmacniacza. Wzmacniacze pracujące w układach OE charakteryzują się dużym wzmocnieniem mocy, średnią rezystancją wejściową i wyjściową. Cechą charakterystyczną układów OE jest odwracanie, na wyjściu, fazy sygnału wejściowego. Są to najczęściej stosowane układy pracy tranzystorów bipolarnych. Zastosowanie sprzężenia zwrotnego zapewnia stabilność parametrów wzmacniacza i zwiększenie górnej częstotliwości pasma przenoszenia.

W układach elektronicznych stosowane są również układy OC i OB. Rysunek 41 przedstawia wzmacniacz pracujący w układzie OC. Wzmocnienie prądowe i rezystancja wejściowa tego układu jest bardzo duża, a wzmocnienie napięciowe jest bliskie jedności. Z tego powodu układ ten nazywany jest wtórnikami emiterowym.



Rys. 41. Wzmacniacz tranzystorowy pracujący w układzie OC [7]

Rysunek 42 przedstawia wzmacniacz pracujący w układzie OB. Rezystancja wzmacniacza jest mała, wzmocnienie prądowe bliskie jedności, a napięciowe mniejsze niż w układzie OE. Wzmacniacz ten jest rzadko stosowany, a jego podstawową zaletą jest duża ( $\beta$  razy większa niż w układzie OE) górna częstotliwość graniczna.

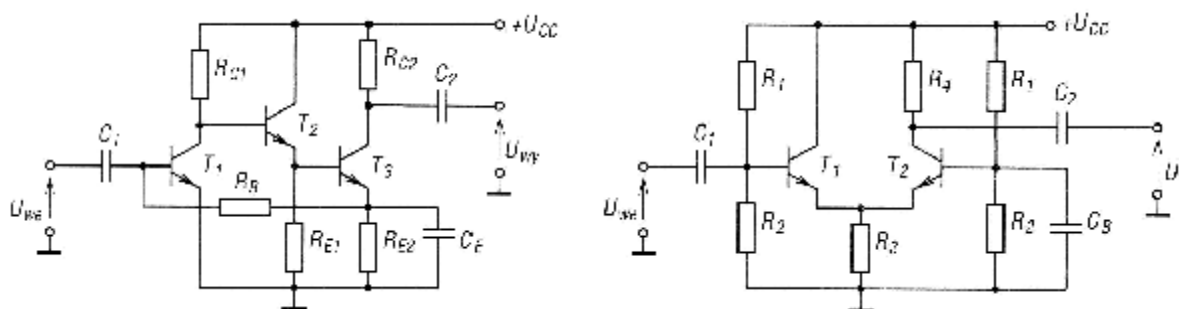


Rys. 42. Wzmacniacz tranzystorowy pracujący w układzie OB [7]

### Wzmacniacze tranzystorowe wielostopniowe

Wzmacniacze wielostopniowe realizuje się najczęściej jako układy trzy- lub czterostopniowe, ponieważ taka liczba stopni zapewnia uzyskanie wymaganej wartości wzmocnienia. Poszczególne stopnie wzmocnienia są zwykle sprzężone galwanicznie, co zmniejsza liczbę elementów polaryzujących. Stałość punktu pracy w wielostopniowych wzmacniaczach uzyskuje się dzięki polaryzacji za pomocą źródeł prądowych i stałoprądowemu sprzężeniu zwrotnemu.

Podstawowym stopniem wzmacniającym jest pojedynczy tranzystor pracujący w konfiguracji OE lub wzmacniacz różnicowy. Pozostałymi stopniami są najczęściej układy OC stosowane w celu odseparowania poszczególnych stopni wzmacniających. Przykłady schematów wzmacniaczy wielostopniowych przedstawiono na rys. 43.



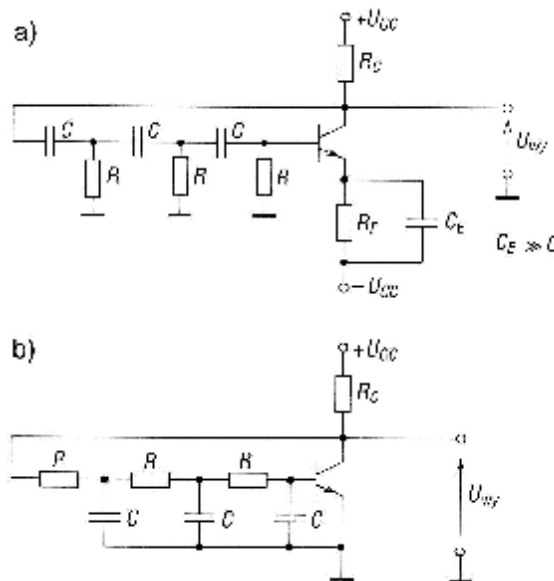
Rys. 43. Schemat wzmacniacza wielostopniowego ze stopniem wejściowym w konfiguracji: a) OE, b) wzmacniacza różnicowego [7]

## Generatory przebiegów napięciowych

Drgania elektryczne sinusoidalnie zmienne można uzyskać dwoma sposobami:

- pierwszy polega na utworzeniu takiego wzmacniacza, który dla jednej ściśle określonej częstotliwości sygnału miałby wzmocnienie równe nieskończoności (tzw. generator sprzężeniowy),
- drugi polega na odłumieniu obwodu rezonansowego przez element o ujemnej rezystancji dynamicznej.

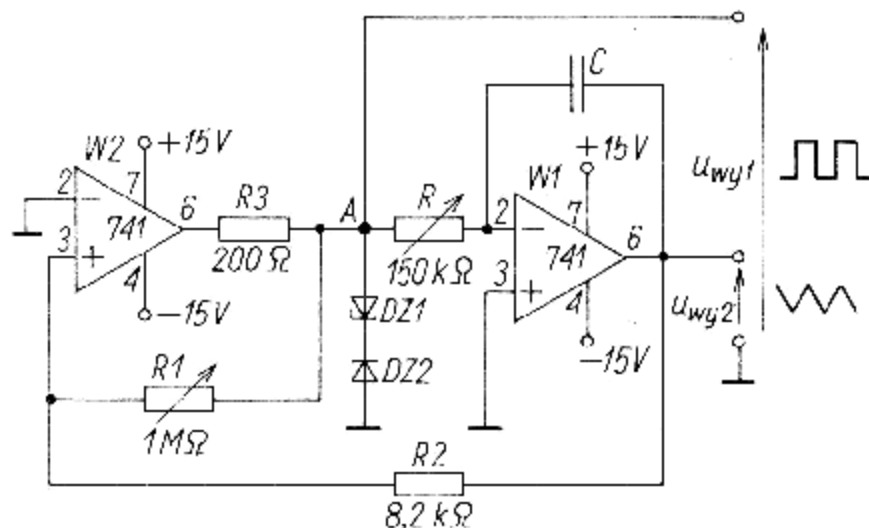
Najczęściej spotykanym generatorem sprzężeniowym jest generator RC. Funkcję toru wzmacniającego pełni wzmacniacz, a funkcję toru sprzężenia pełnią elementy rezystancyjno-pojemnościowe. Jeżeli w obu torach suma przesunięć fazowych sygnału wyniesie  $360^\circ$ , to w układzie mogą się wzbudzić drgania sinusoidalne. Przykładem jest prosty układ generatora drabinkowego RC przedstawiony na rys. 44.



**Rys. 44.** Schemat generatora drabinkowego RC z przesunięciem fazowym o: a)  $180^\circ$ , b)  $-180^\circ$  [7]

Lepsze parametry generatorów, np. stałość amplitudy i częstotliwości generowanego przebiegu, można uzyskać w generatorach mostkowych RC.

Generatory mogą wytwarzać przebiegi niekoniecznie sinusoidalne np. prostokątne, trójkątne, trapezowe. Najprostszym sposobem otrzymywania napięć trójkątnych jest okresowe ładowanie i rozładowywanie kondensatora w układach prądu stałego. Ładowany kondensator najczęściej jest umieszczany w obwodzie sprzężenia zwrotnego scalonych wzmacniaczy (tzw. wzmacniaczy operacyjnych). Łącząc ze sobą kaskadowo te wzmacniacze i stosując odpowiednie sprzężenia zwrotne możemy uzyskać generatory samowzbudne wytwarzające przebiegi trójkątne i prostokątne jak na rys. 45.



Rys. 45. Schemat generatora samowzbudnego ze wzmacniaczami scalonymi [2]

W generatorach samowzbudnych po dodaniu odpowiedniego układu diodowego możemy spowodować ukształtowanie przebiegu sinusoidalnego z przebiegu trójkątnego. W ten sposób działają najbardziej rozpowszechnione generatory uniwersalne nazywane również funkcyjnymi. Wytwarzają one napięcia: prostokątne, trójkątne i sinusoidalne o regulowanych częstotliwościach i amplitudach. Są one produkowane często w postaci gotowych układów scalonych, do których dodajemy tylko ładowany kondensator i elementy rezystancyjne. Takim układem jest monolityczny generator uniwersalny 8038, który charakteryzuje się następującymi parametrami:

- zakres generowanych częstotliwości  $0,001 \text{ Hz} \div 1,5 \text{ MHz}$ ,
- współczynnik wypełnienia impulsów prostokątnych od 1% do 99%,
- błąd nieliniowości przebiegów piłokształtnych i trójkątnych mniejszy od 0,1%,
- zniekształcenia przebiegu sinusoidalnego mniejsze od 1%.

#### 4.7.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Jakie są podstawowe parametry wzmacniacza elektronicznego?
2. W jaki sposób zapewnia się stałość punktu pracy w wielostopniowych wzmacniaczach tranzystorowych?
3. W jaki sposób można wygenerować elektryczne drgania sinusoidalne?
4. Co to jest generator funkcyjny?

### 4.7.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Wykonaj (zgodnie ze schematem) montaż układu dwustopniowego wzmacniacza tranzystorowego, którego stopnie pracują w układach OE i OC oraz zademonstruj jego działanie.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się ze schematem ideowym i montażowym wzmacniacza,
- 2) wykonać prawidłowo montaż przewlekany elementów tego układu na płycie drukowanej,
- 3) podłączyć zmontowany układ wzmacniacza do regulowanego źródła napięcia stałego 0÷24 V,
- 4) podać na wejście wzmacniacza sygnał sinusoidalny z generatora funkcyjnego,
- 5) podłączyć jeden kanał oscyloskopu do wyjścia wzmacniacza,
- 6) zaobserwować na ekranie oscyloskopu przebieg wyjściowego podczas regulacji parametrów sygnału wejściowego,
- 7) oszacować pasmo przenoszenia wzmacniacza,
- 8) porównać zmierzone i teoretyczne parametry układu,
- 9) ocenić prawidłowość działania zmontowanego układu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- schematy ideowe i montażowe prostowników oraz dane techniczne układu,
- generator funkcyjny,
- oscyloskop dwukanałowy i multimetr cyfrowy,
- płytka drukowana i zestaw elementów do zmontowania,
- stacja lutownicza i materiały lutownicze,
- narzędzia monterskie,
- instrukcje do przyrządów pomiarowych,
- kalkulator i zeszyt do ćwiczeń.

#### Ćwiczenie 2

Zlokalizuj usterkę w układzie generatora impulsów prostokątnych. Wymień uszkodzony element i dokonaj uruchomienia układu.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się ze schematem ideowym i montażowym wybranego układu,
- 2) sprawdzić czy prawidłowo wykonano montaż generatora,
- 3) podłączyć (o ile nie znaleziono błędów) układ do regulowanego źródła napięcia stałego 0÷24 V,
- 4) podłączyć jeden kanał oscyloskopu do wejścia generatora,
- 5) zaobserwować na ekranie oscyloskopu przebieg prostokątny napięcia wyjściowego generatora (lub stwierdzić brak sygnału),
- 6) dokonać diagnozy rodzaju uszkodzenia na podstawie zaobserwowanych przebiegów,
- 7) zlokalizować uszkodzony element prostownika,
- 8) wymienić uszkodzony element,
- 9) sprawdzić prawidłowość działania układu po naprawie.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- zmontowany układ generatora impulsów prostokątnych,
- schemat ideowy i montażowy generatora,
- zasilacz regulowany  $0 \div 24$  V,
- oscyloskop dwukanałowy,
- zapasowe elementy elektroniczne wchodzące w skład układu generatora,
- stacja lutownicza i materiały lutownicze,
- narzędzia monterskie,
- instrukcje do przyrządów pomiarowych.

#### 4.7.4. Sprawdzian postępów

**Czy potrafisz:**

	<b>Tak</b>	<b>Nie</b>
1) wymienić podstawowe parametry wzmacniacza elektronicznego?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) omówić sposób generowania elektrycznych drgań sinusoidalnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) opisać generator funkcyjny?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## 4.8. Układy energoelektroniczne

### 4.8.1. Materiał nauczania

#### Układy energoelektroniczne

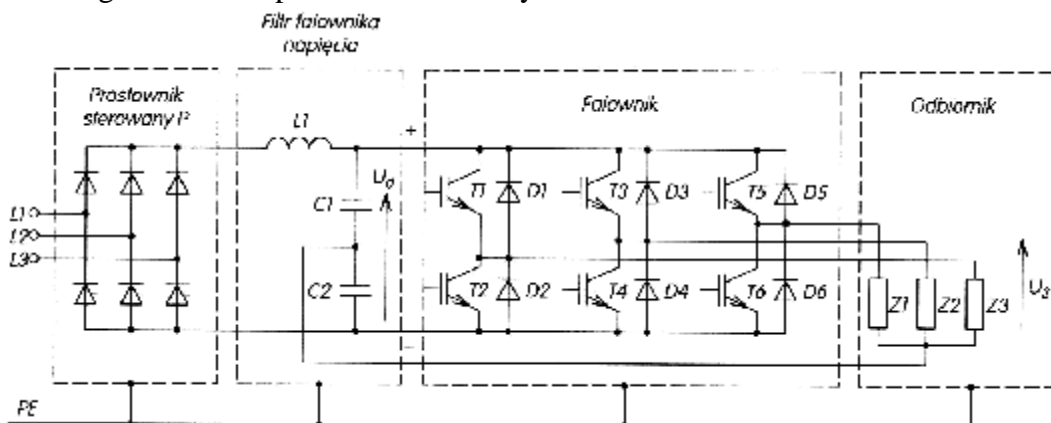
Układ energoelektroniczny jest to na ogół złożony zespół urządzeń (przekształtnik z układem sterowania) realizujących określone funkcje. Zadaniem jego jest przekształcanie i dopasowywanie parametrów energii elektrycznej do potrzeb odbiornika (np. silnika) zarówno w stanie ustalonym, jak i w stanach dynamicznych. Takie przekształcanie jest wykonywane z minimalnymi stratami energii. Układy energoelektroniczne są nazywane również układami przekształtnikowymi i w zależności od funkcji dzielą się na układy:

- prostowników,
- falowników,
- przekształtników,
- łączników.

Układy energoelektroniczne wykonuje się z użyciem przyrządów niesterowalnych (diody), częściowo sterowalnych (tyrystory) oraz w pełni sterowalnych (tranzystory IGBT lub tyrystory GTO).

Klasycznym przykładem układów energoelektronicznych są falowniki zmieniające energię prądu stałego na energię prądu przemiennego o stałych lub regulowanych parametrach (częstotliwość, wartość średnia napięcia lub prądu). W zależności od sposobu zasilania można je podzielić na falowniki napięcia i falowniki prądu.

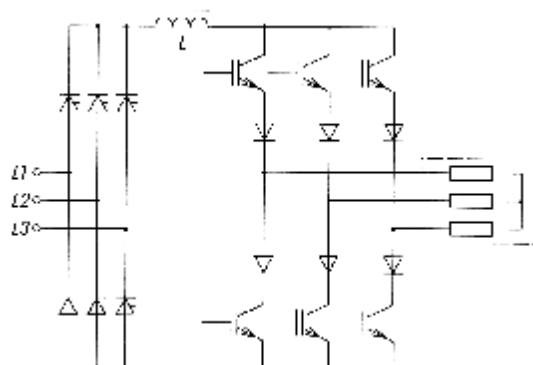
W układach falowników napięcia w obwodzie pośredniczącym przyłączony jest kondensator o dużej pojemności. W celu ograniczenia prądu ładowania tego kondensatora i poprawienia skuteczności działania filtra, od strony prostownika często przyłącza się szeregowo dławik. Cechą charakterystyczną falownika napięcia jest bocznikowanie diodami zwrotnymi tranzystorów IGBT. Ogólnie falownik napięcia przekształca wejściowe napięcie stałe na napięcie przemiennie cykliczne przełączanie łączników w gałęziach falownika. Przykład takiego falownika przedstawiono na rys. 46.



Rys. 46. Uproszczony schemat ideowy obwodu głównego trójfazowego falownika napięcia [4]

W układach falowników prądu w obwodzie pośredniczącym umieszcza się tylko dławik o dużej indukcyjności. Źródłem napięcia stałego jest bateria akumulatorów lub najczęściej (zasilane z sieci prądu przemiennego) prostowniki o sterowaniu fazowym, które tworzą wraz z dławikiem tzw. źródło prądowe. Ogólnie falowniki prądowe służą do przekształcania prądu stałego w prąd przemienny jedno- lub wielofazowy o regulowanej wartości i częstotliwości.

Prąd w obwodzie wyjściowym falownika ma kształt zbliżony do prostokątnego natomiast kształt i wartość napięcia na zaciskach wyjściowych zależą od parametrów odbiornika. Cechą charakterystyczną budowy tych falowników jest brak diod zwrotnych. Przykład falownika prądu przedstawiono na rys. 47.



Rys. 47. Schemat trójfazowego falownika prądu o komutacji fazowej [4]

### Montaż układów energoelektronicznych

Elementy półprzewodnikowe w większości są montowane na płytkach drukowanych, ale elementy wydzielające dużą moc często montuje się na radiatorach w celu zwiększenia emisji ciepła przez te elementy. Radiator zwykle połączony jest z masą układu. Jeżeli jednak obudowa metalowa elementu półprzewodnikowego nie powinna być połączona z masą, to między radiatorem i obudową umieszcza się specjalne izolacyjne podkładki (np. mikowe). Podkładki te są smarowane pastą silikonową w celu zmniejszenia oporu cieplnego. Podczas montażu tego typu elementów należy dokładnie sprawdzić na schemacie ideowym z jakim potencjałem powinna być połączona elektroda elementu montowana na radiatorze.

Przyczyną uszkodzeń elektrycznych elementów półprzewodnikowych (takich jak: diody, tranzystory czy tyrystory) jest przekroczenie dopuszczalnych wartości napięć i prądów wynikające z:

- nieostrożności w czasie naprawy (praca pod napięciem),
- niewłaściwego dobrania punktu pracy lub typu danego elementu.

W przypadku elementów energoelektronicznych o bardzo dużej mocy (wykonanych w obudowach pastylkowych) stosuje się specjalne obejmy mocujące te elementy do radiatorów. Obejmy te są dokręcane śrubami w celu maksymalizacji odprowadzania ciepła przez docisk elementu energoelektronicznego do radiatora.

### 4.8.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

- 1) Jakie są podstawowe parametry wzmacniacza elektronicznego?
- 2) Jakie elementy zawierają układy energoelektroniczne?
- 3) Co to jest falownik?
- 4) W jaki sposób montuje się przyrządy energoelektroniczne o budowie pastylkowej?



### 4.8.3. Ćwiczenia

#### Ćwiczenie 1

Dokonaj montażu układu energoelektronicznego z tyrystorami GTO zgodnie ze schematem i zasadami montażu tych elementów.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się ze schematem ideowym i montażowym układu energoelektronicznego,
- 2) wykonać prawidłowo montaż modułów elektroizolowanych,
- 3) podłączyć zmontowany układ do źródła trójfazowego napięcia 3x400 V/50 Hz,
- 4) podłączyć jeden kanał oscyloskopu do obciążenia układu,
- 5) zaobserwować na ekranie oscyloskopu przebieg wyjściowego,
- 6) ocenić prawidłowość działania zmontowanego układu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- schematy ideowe i montażowe układu energoelektronicznego,
- oscyloskop dwukanałowy i multimetr cyfrowy,
- zestaw modułów i elementów do zmontowania,
- stacja lutownicza i materiały lutownicze,
- narzędzia monterskie,
- instrukcje do przyrządów pomiarowych,
- kalkulator i zeszyt do ćwiczeń.

### 4.8.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

	Tak	Nie
1) zmontować układ tranzystorowy na dwustronnej płytce drukowanej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) uruchomić układ generatora impulsów prostokątnych?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) opisać falownik?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) wymienić układ scalony na płytce drukowanej?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) zmontować moduły elektroizolowane w układ energoelektroniczny?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) uruchomić zmontowany układ energoelektroniczny?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

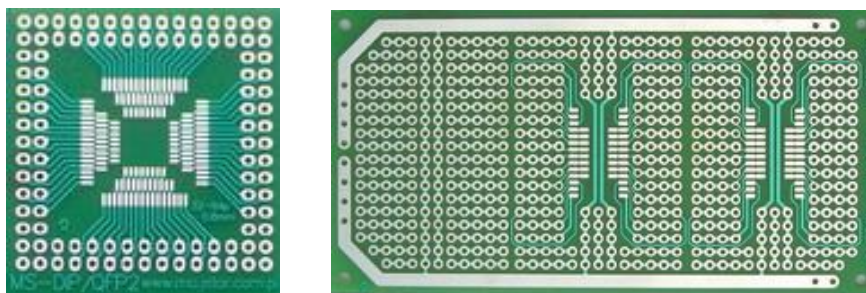
## 4.9. Montaż powierzchniowy układów elektronicznych

### 4.9.1. Materiał nauczania

#### Montaż SMD

Nowoczesną metodą wykonania płytki jest montaż powierzchniowy zwany montażem SMD. Polega on na tym, że pola lutownicze nie służą do przewlekania końcówek elementów elektronicznych, ale do ich przyklejania do płytki. Zatem pola lutownicze przeznaczone do montażu SMD nie są przewiercane, a przez specjalnie wykonaną maskę nanosi się na nie półpłynną pastę lutowniczą. Na tak przygotowanych polach lutowniczych sterowany programowo automat rozkłada odpowiednie elementy zwane elementami SMD. W porównaniu z klasycznymi elementami elektronicznymi elementy SMD są bardzo małe i posiadają specjalne wyprowadzenia przeznaczone do montażu powierzchniowego lub tylko metalizowane fragmenty obudowy (np. diody, rezystory czy kondensatory).

Na rys. 48 pokazano typowe płytki przeznaczone do montażu SMD.



Rys. 48. Płytki drukowane częściowo przeznaczone do montażu SMD [9]

#### Oznakowanie elementów SMD

W przypadku małych elementów o wymiarach rzędu milimetra oczywistym jest brak miejsca na oznakowanie. Rezystory, kondensatory i najmniejsze cewki SMD w ogóle nie mają żadnych oznaczeń. Diody, tranzystory i inne małe elementy mają oznaczenia w postaci dwu- lub trzyznakowego kodu. Na przykład dioda Zenera BZX84C5V1 ma oznaczenie Z2, podwójna dioda Schottky'ego BAS70-06 ma oznaczenie D98, a tranzystor BCW71 - K1. Nie ma tu żadnego specjalnego kodu-kłucza i należy posługiwać się tabelami z pełnymi i skróconymi oznaczeniami. Natomiast układy scalone oznaczane są „normalnie“, to znaczy podany jest typ np. LM339. Brak oznaczeń nie jest żadną przeszkodą przy masowej produkcji za pomocą automatów. Utrudnia to jedynie ewentualną naprawę, ale to nie ma dziś większego znaczenia, bo koszty naprawy często byłyby wyższe niż wyprodukowanie nowego modułu (urządzenia).

Na rys. 49 pokazano typowe elementy SMD.



Rys. 49. Widok typowych elementów SMD: a) mostek prostowniczy, b) rezystory [9]

## **Montaż i lutowanie**

Przy montażu „zwykłych“ płytek drukowanych, końcówki elementów są przewlekane przez otwory płytki. W przypadku elementów SMD nie ma ani drutowych wyprowadzeń elementów, ani otworów w płytce. Dlatego elementy SMD muszą być wstępnie przyklejone do płytki, a dopiero potem lutowane. Seryjna produkcja opiera się na zautomatyzowanych liniach montażowych. Wydajność dobrych automatów montujących sięga 100000 elementów na godzinę. Precyzyjne automaty montują elementy na płycie, a ingerencja człowieka ogranicza się jedynie do wizualnej kontroli poprawności montażu. Wyeliminowanie człowieka i wielka precyzja stosowanych automatów w całym procesie produkcji umożliwia uzyskiwanie bardzo wysokiej dokładności i niezawodności montażu.

Elementy SMD dostarczane są zwykle w taśmach, które zawierają od kilkuset do kilku tysięcy elementów. W konsekwencji urządzenia montowane masowo z elementów SMD zdecydowanie wygrywają konkurencję z klasycznymi elementami „przewlekаныmi“. Wygrywają nie tylko ze względu na cenę, ale również ze względu na większą niezawodność, mniejszy ciężar i wymiary. Należy także mieć świadomość, że krótsze ścieżki i mniejsze wymiary także są korzystne ze względu na podatność na zewnętrzne zakłócenia.

Podczas montażu elementy SMD muszą być wstępnie przyklejone do płytki, a potem dopiero lutowane do niej. Znane są dwa główne sposoby lutowania: „na fali „ i rozplływowe”.

Lutowanie na tak zwanej fali polega na tym, że w naczyniu z ciekłą cyną (stopem lutowniczym) wytwarzana jest fala roztopionej cyny, w której zanurzane są lutowane elementy. Elementy SMD muszą być wcześniej przyklejone do powierzchni płytki na właściwych miejscach za pomocą specjalnego (nieprzewodzącego) kleju. Z powodu licznych wad obecnie ten sposób jest stosowany bardzo rzadko.

Drugi sposób to tak zwane lutowanie rozplływowe (reflow soldering). W sumie polega on na naniesieniu na pola lutownicze płytki specjalnej pasty lutowniczej, która na tym etapie pełni rolę kleju wstępnie mocującego elementy umieszczane na płytce. Pasta ta zawiera także, a raczej przede wszystkim, stop lutowniczy. Zmontowana płytka zostaje następnie podgrzana do takiej temperatury, w której następuje stopienie stopu lutowniczego zawartego w paście i tym samym trwałe połączenie mechaniczne i elektryczne elementów. Istnieje co najmniej kilka odmian tego sposobu lutowania, różniących się sposobem podgrzewania, czyli przekazywania ciepła. W przypadku montażu klasycznych, czyli „przewlekanych“ płytek podgrzewane są jedynie stosunkowo cienkie końcówki elementów, a wewnątrz element nagrzewa się niewiele. Zupełnie inaczej jest z elementami SMD. Niezależnie od sposobu lutowania, montowane elementy nagrzewane są do temperatury praktycznie takiej, jaka jest potrzebna do stopienia stopu lutowniczego, czyli w praktyce do ponad +200°C. Inaczej mówiąc, wszystkie elementy SMD muszą być odporne na wysokie temperatury zarówno pod względem naprężeń mechanicznych jak i struktur półprzewodnikowych.

W katalogach elementów SMD można znaleźć szczegółowe wskazówki dotyczące sposobu montażu, temperatur i dopuszczalnej szybkości zmian temperatury. Jedynie przestrzeżenie tych zaleceń gwarantuje osiągnięcie założonego poziomu niezawodności.

## **Montaż ręczny SMD**

Przed uruchomieniem dużej produkcji wykonuje się prototypowe egzemplarze danego urządzenia. Do wykonania prototypowych płytek stosuje się najczęściej ręczny montaż SMD. Podstawowymi narzędziami wykorzystywanymi do tego montażu są: strzykawka do nakładania pasty lutowniczej lub kleju, próżniowa pinceta i lutownica na gorące powietrze. Istnieją także specjalne niewielkie stanowiska montażowe SMD przeznaczone specjalnie do ręcznego montowania prototypów. Zmontowane płytki mogą być lutowane za pomocą gorącego powietrza (lub innego gazu), albo też w niewielkich piecach do lutowania rozplływowego.

Przy ręcznym montażu i demontażu płytek SMD, a zwłaszcza przy pracach serwisowych, używa się właśnie lutownic przekazujących ciepło za pomocą gorącego powietrza lub (lepiej) jakiegoś gazu o właściwościach ochronnych oraz pincet podłączonych do pompki ssącej działających tak samo jak odsysacz cyny.

#### 4.9.2. Pytania sprawdzające

Odpowiadając na pytania, sprawdzisz, czy jesteś przygotowany do wykonania ćwiczeń.

1. Na czym polega technologia elektronicznego montażu powierzchniowego?
2. Jakie sposoby lutowania elementów są stosowane w technologii SMD?
3. Jak są oznaczane elementy SMD?
4. Jakie narzędzia są stosowane przy ręcznym montażu powierzchniowym?
5. Na jakie parametry elementów należy zwrócić uwagę w czasie montażu powierzchniowego?

#### 4.9.3. Ćwiczenia

##### Ćwiczenie 1

Wykonaj ręcznie montaż powierzchniowy układu elektronicznego.

Sposób wykonania ćwiczenia

Aby wykonać ćwiczenie, powinieneś:

- 1) zapoznać się ze schematem ideowym i montażowym układu elektronicznego,
- 2) rozpoznać elementy przeznaczone do montażu i ustalić ich lokalizację na schemacie montażowym
- 3) wykonać prawidłowo montaż powierzchniowy elementów tego układu na płytce drukowanej,
- 4) sprawdzić jakość montażu.

Wyposażenie stanowiska pracy:

- schematy ideowe i montażowe układu,
- płytka drukowana i zestaw elementów SMD do zmontowania,
- lutownica na gorące powietrze,
- pasta lutownicza i inne materiały lutownicze,
- narzędzia monterskie.

#### 4.9.4. Sprawdzian postępów

Czy potrafisz:

- |   | Tak                      | Nie                      |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1) rozpoznać elementy SMD po wyglądzie zewnętrznym?     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2) wybrać narzędzia do montażu SMD?                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3) wykonać klejenie elementów SMD do płytki drukowanej? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4) wykonać lutowanie elementów SMD?                     | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

## 5. SPRAWDZIAN OSIĄGNIĘĆ

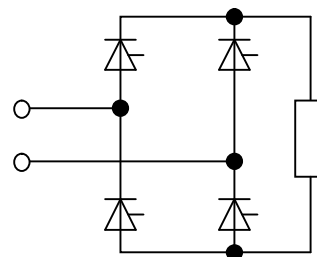
### INSTRUKCJA DLA UCZNIĄ

1. Przeczytaj dokładnie instrukcję.
2. Podpisz imieniem i nazwiskiem kartę odpowiedzi.
3. Odpowiedzi udzielaj wyłącznie na karcie odpowiedzi.
4. Zapoznaj się z zestawem zadań testowych.
5. Test zawiera 20 zadań.
6. Do każdego zadania podane są cztery odpowiedzi, z których tylko jedna jest prawidłowa.
7. Zaznacz prawidłową według Ciebie odpowiedź wstawiając literę X w odpowiednim miejscu na karcie odpowiedzi.
8. W przypadku pomyłki zaznacz błędną odpowiedź kółkiem, a następnie literą X zaznacz odpowiedź prawidłową.
9. Za każde poprawne rozwiązanie zadania otrzymujesz jeden punkt.
10. Za udzielenie błędnej odpowiedzi, jej brak lub zakreślenie więcej niż jednej odpowiedzi – otrzymujesz zero punktów.
11. Uważnie czytaj treść zadań i proponowane warianty odpowiedzi.
12. Nie odpowiadaj bez zastanowienia; jeśli któreś z pytań sprawi Ci trudność – przejdź do następnego. Do pytań, na które nie udzieliłeś odpowiedzi możesz wrócić później.
13. Pamiętaj, że odpowiedzi masz udzielać samodzielnie.
14. Na rozwiązanie testu masz 40 minut.

Powodzenia!

### ZESTAW ZADAŃ TESTOWYCH

1. Na poniższym schemacie ideowym przedstawiono
  - a) układ prostownika niesterowalnego.
  - b) układ sterownika prądu przemiennego.
  - c) układ prostownika sterowanego.
  - d) układ falownika.

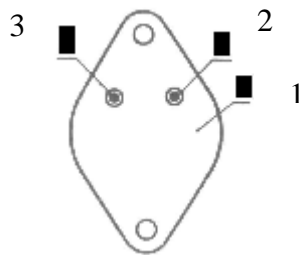


2. Do bezdotykowego pomiaru prądu stałego w układach elektronicznych stosuje się
  - a) dławiki.
  - b) hallotrony.
  - c) termistory.
  - d) warystory.
3. W generatorze funkcyjnym przebieg sinusoidalny jest uzyskiwany
  - a) dzięki zastosowaniu układu sprzężeniowego.
  - b) z przebiegu prostokątnego.
  - c) dzięki zastosowaniu elementu o ujemnej rezystancji dynamicznej.
  - d) z przebiegu trójkątnego.
4. Diody stabilizacyjne pracując w kierunku zaporowym (powyżej napięcia Zenera) charakteryzują się
  - a) niewielkimi zmianami napięcia pod wpływem dużych zmian prądu.

- b) niewielkimi zmianami prądu pod wpływem dużych zmian napięcia.
  - c) nieodwracalnym przebiciem złącza PN.
  - d) brakiem przepływu prądu.
5. Parametr  $U_{RWM}$  definiowany dla diod półprzewodnikowych oznacza
- a) maksymalne napięcie przewodzenia diody.
  - b) maksymalne napięcie wsteczne diody.
  - c) napięcie stabilizacyjne diody.
  - d) napięcie progowe diody.
6. Złącze emiterowe tranzystora NPN jest w stanie przewodzenia gdy
- a)  $V_E > V_B$ .
  - b)  $V_B > V_C$ .
  - c)  $V_B > V_E$ .
  - d)  $V_C > V_E$ .
7. Przedstawiony symbol graficzny jest symbolem
- a) kondensatora powietrznego.
  - b) trymera.
  - c) kondensatora elektrolitycznego.
  - d) kondensatora zwijkowego.

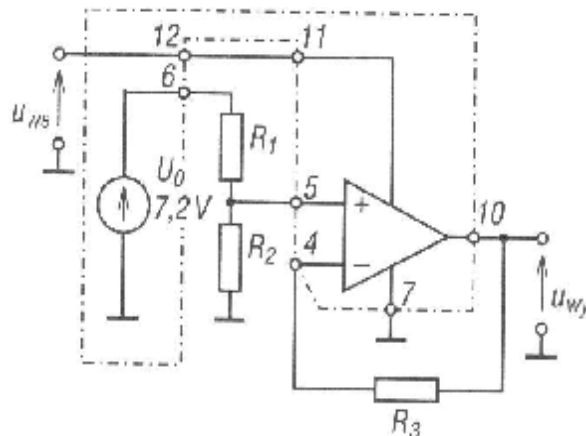


8. Wyprowadzenia tranzystora bipolarnego pokazanego na rysunku to



- a) 1-emiter, 2-kolektor, 3-baza.
  - b) 1-emiter, 2-baza, 3-kolektor.
  - c) 1-kolektor, 2-emiter, 3-baza.
  - d) 1-kolektor, 2-baza, 3-emiter.
9. Rezystor z szeregu E24 o wartości rezystancji znamionowej  $1,2 \text{ M}\Omega$ , będzie miał kod barwny
- a) brązowy-czerwony-zielony-żółty.
  - b) brązowy-czerwony-niebieski-żółty.
  - c) brązowy-czerwony-zielony-srebrny.
  - d) brązowy-czerwony-niebieski-srebrny.
10. Napięcie przełączania  $U_{(BO)}$  określamy dla stanu pracy tyrystora
- a) zaworowego.
  - b) blokowania.
  - c) przewodzenia.
  - d) aktywnego.

11. Tranzystor unipolarny dotyczy parametru
- współczynnika wzmocnienia prądowego  $\beta$ .
  - napięcia odcięcia kanału  $U_{G\text{soff}}$ .
  - napięcia powtarzalnego  $U_{RRM}$ .
  - napięcia przewodzenia  $U_F$ .
12. W procesie ręcznego montażu SMD pastę lutowniczą powinno się nakładać
- pędzelkiem.
  - szpatułką.
  - strzykawką.
  - szmatką.
13. Tranzystor, którego  $V_E = 2\text{ V}$ ,  $V_B = 2,7\text{ V}$ ,  $V_C = 6\text{ V}$  zaliczymy do typu
- NPN.
  - PNP.
  - JFET.
  - MOSFET.
14. Jeżeli tranzystor unipolarny zaczyna przewodzić przy napięciu dodatnim  $U_{GS} > U_{G\text{soff}}$  to jest to tranzystor
- MOSFET z kanałem zubażonym typu P.
  - MOSFET z kanałem zubażonym typu N.
  - MOSFET z kanałem wzbogacanym typu P.
  - MOSFET z kanałem wzbogacanym typu N.
15. Dioda prostownicza pracuje w układzie prostownika, z mostkiem Graetza, zasilanego napięciem 230V/50Hz. Spośród podanych wartości wybierz optymalną wartość parametru  $U_{RRM}$  tej diody.
- 150 V.
  - 250 V.
  - 200 V.
  - 300 V.
16. Oblicz wartość napięcia na wyjściu scalonego stabilizatora pracującego w układzie jak na poniższym rysunku. Zastosowane rezystory mają następujące wartości  $R_1 = 2\text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1\text{ k}\Omega$  i  $R_3 = 3\text{ k}\Omega$



- $U_{wy} = 3,6\text{ V}$ .
- $U_{wy} = 2,4\text{ V}$ .

- c)  $U_{wy} = 10,8 \text{ V}$ .  
d)  $U_{wy} = 14,4 \text{ V}$ .
17. Podczas montowania elementów elektronicznych na radiatorze stosujemy przekładki mikowe wtedy, gdy
- potencjał obudowy elementu elektronicznego jest różny od potencjału radiatora.
  - radiator połączony jest z masą.
  - element elektroniczny pracuje pod wysokim napięciem.
  - element elektroniczny przegrzewa się.
18. W jakim układzie pracy pracuje pojedynczy stopień wzmacniacza tranzystorowego, którego wyjście połączone jest z kolektorem, a wejście z emiterem
- OE.
  - OC.
  - OB.
  - w układzie wtórnika emiterowego.
19. Tyrystor oznaczony symbolem F71-225-12, dotyczy parametru
- $I_{T(RMS)} = 71 \text{ A}$ .
  - $I_{T(RMS)} = 225 \text{ A}$ .
  - $I_{T(RMS)} = 12 \text{ A}$ .
  - $I_{T(RMS)} = 1200 \text{ A}$ .
20. Kondensator ceramiczny oznaczony symbolami N33 i 101, dotyczy parametru
- $C_N = 33\text{pF}$  i ujemny współczynnik temperaturowy.
  - $C_N = 10\text{pF}$  i ujemny współczynnik temperaturowy.
  - $C_N = 330\text{pF}$  i ujemny współczynnik temperaturowy.
  - $C_N = 100\text{pF}$  i ujemny współczynnik temperaturowy.



# KARTA ODPOWIEDZI

Imię i nazwisko.....

## Wykorzystywanie elementów elektronicznych i energoelektronicznych do budowy prostych układów

Zakreśl poprawną odpowiedź.

Nr zadania	Odpowiedź				Punkty
1	a	b	c	d	
2	a	b	c	d	
3	a	b	c	d	
4	a	b	c	d	
5	a	b	c	d	
6	a	b	c	d	
7	a	b	c	d	
8	a	b	c	d	
9	a	b	c	d	
10	a	b	c	d	
11	a	b	c	d	
12	a	b	c	d	
13	a	b	c	d	
14	a	b	c	d	
15	a	b	c	d	
16	a	b	c	d	
17	a	b	c	d	
18	a	b	c	d	
19	a	b	c	d	
20	a	b	c	d	
<b>Razem:</b>					

## 6. LITERATURA

1. Chwaleba A., Moeschke B., Pilawski M.: Pracownia elektroniczna – elementy układów elektronicznych. WSiP, Warszawa 1996
2. Chwaleba A., Moeschke B., Płoszajski G.: Elektronika. WSiP, Warszawa 1996
3. Grabowski L.: Pracownia elektroniczna – układy elektroniczne. WSiP, Warszawa 1999
4. Januszewski S., Pytlak A., Rosnowska-Nowaczyk M., Świątek H.: Energoelektronika. WSiP, Warszawa 2004
5. Marusak A.: Urządzenia elektroniczne, część 1. Elementy urządzeń, część 2. Układy elektroniczne. WSiP, Warszawa 2000
6. Pióro B., Pióro M.: Podstawy elektroniki cz. 1. WSiP, Warszawa 1998
7. Pióro B., Pióro M.: Podstawy elektroniki cz. 2. WSiP, Warszawa 1997
8. Zachara Z.: Zadania z elektrotechniki nie tylko dla elektroników. WSPWN, Warszawa 2000
9. <http://pl.wikipedia.org>
10. <http://www.cyfronika.com.pl>
11. <http://www.edw.com.pl>
12. <http://www.matmic.neostrada.pl>
13. <http://www.meditronik.com.pl>