

## Ćwiczenie 4

## BADANIE PROSTOWNIKÓW NIESTEROWANYCH

## 1. Wiadomości ogólne

Prostowniki są to urządzenia przetwarzające prąd przemienny na jednokierunkowy. Prostowniki stosowane są m.in. do ładowania akumulatorów, w trakcji elektrycznej, w galwanotechnice, do zasilania urządzeń elektronicznych itp.

Podstawowe elementy składowe prostownika:

- transformator,
- zawory prostownicze,
- filtry.

## 1.1. Transformator

Transformator w układzie prostowniczym dopasowuje napięcie sieci zasilającej prądu przemiennego do wymaganej wartości na odbiorniku przyłączonym do prostownika. Transformator odizolowując obwód odbiornika od sieci prądu przemiennego zmniejsza również zagrożenie porażenia prądem elektrycznym.

## 1.2. Zawory prostownicze

W układach prostowniczych są obecnie powszechnie stosowane diody krzemowe typu BY o napięciach do 2000V i prądach do kilkuset amperów.

Ważniejsze parametry diody prostowniczej:

- prąd przewodzenia  $I_D$ ,
- napięcie wsteczne  $U_w$ ,
- spadek napięcia na diodzie  $\Delta U$ ,
- temperatura pracy diody  $\vartheta$ ,

Prąd przewodzenia jest to wartość średnia przy przewodzeniu półokresowym;

$$I_D = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} i dt = \frac{1}{\pi} I_m, \quad (4.1)$$

gdzie:

$$i = I_m \sin \omega t. \quad (4.2)$$

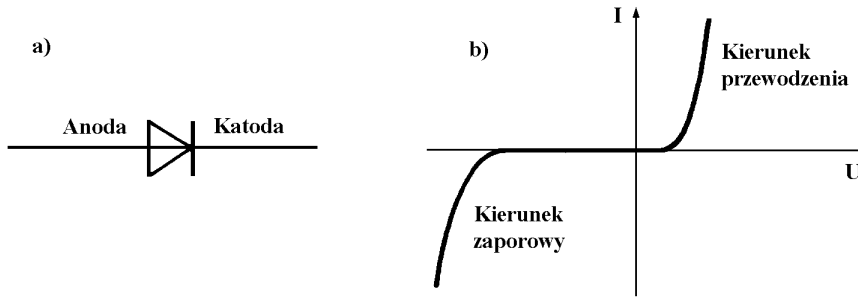
Napięcie wsteczne jest to największa wartość napięcia szczytowego odkładającego się na diodzie dla polaryzacji zaporowej, w czasie gdy prądu nie przewodzi.

Dioda dla polaryzacji przewodzenia wykazuje bardzo małą rezystancję i napięcie zasilające odkłada się na odbiorniku, dla polaryzacji zaporowej - bardzo dużą rezystancję i napięcie zasilające odkłada się na diodzie.

Spadek napięcia na diodzie dla polaryzacji przewodzenia jest praktycznie stały niezależny od natężenia przepływającego prądu i dla diod krzemowych wynosi  $\Delta U \approx 0,6 \text{ V}$ .

Diody krzemowe mogą pracować w bardzo szerokim przedziale zmian temperatury otoczenia od  $-60^\circ\text{C}$  do  $+140^\circ\text{C}$ .

Oznaczenie diody oraz jej charakterystykę napięciowo-prądową przedstawia rys. 4.1.

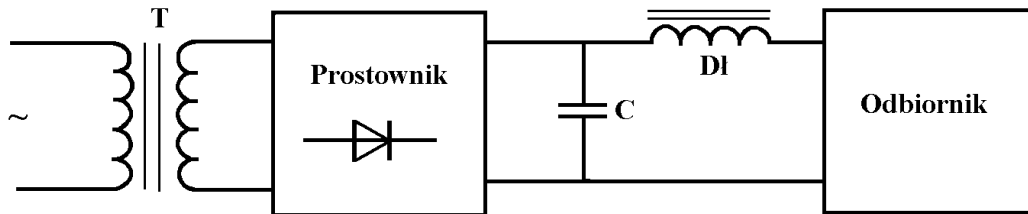


Rys. 4.1. Dioda prostownicza:

- a) symbol diody,  
b) charakterystyka napięciowo-prądowa diody

### 1.3 Filtry

W układach prostowniczych jako filtry stosuje się kondensatory włączone równoległe do odbiornika oraz dławiki włączone szeregowo z odbiornikiem (rys. 4.2).



Rys. 4.2. Sposób włączania filtrów LC w układach prostowniczych

Oba elementy  $L$  i  $C$  mają zdolności magazynowania energii elektrycznej przy narastaniu napięcia i oddawaniu jej do odbiornika przy opadaniu dodatniej półfali napięcia, przy czym w przypadku dławika (połączenie szeregowo) przepływ prądu przez diodę przedłuża się na część ujemnego półokresu napięcia zasilającego.

Skuteczność działania filtra jest charakteryzowana współczynnikiem tętnień, który wyraża się zależnością:

$$k_T = \frac{U_T}{U_0}, \quad (4.3)$$

gdzie:  $U_0$  - wartość średnia napięcia na odbiorniku,  $U_T$  - napięcie tętnień;

$$U_T = \sqrt{U_{0sk}^2 - U_0^2}, \quad (4.4)$$

gdzie:  $U_{0sk}$  - wartość skuteczna napięcia na odbiorniku.

Tętnienia napięcia na odbiorniku są tym mniejsze im większa jest wartość  $L$  i  $C$  w stosunku do rezystancji odbiornika  $R$ . Ponadto dławik dla wyższych harmonicznych ma działanie tłumiące ( $X_L = 2\pi fL$ ), natomiast dla składowej stałej przedstawia sobą tylko rezystancję.

### 1.4. Układy prostownicze i podstawowe zależności

Dla ustalenia związków między wielkościami przed i za prostownikiem, na podstawie badań laboratoryjnych, konieczna jest znajomość przyrządów mierzących te wielkości.

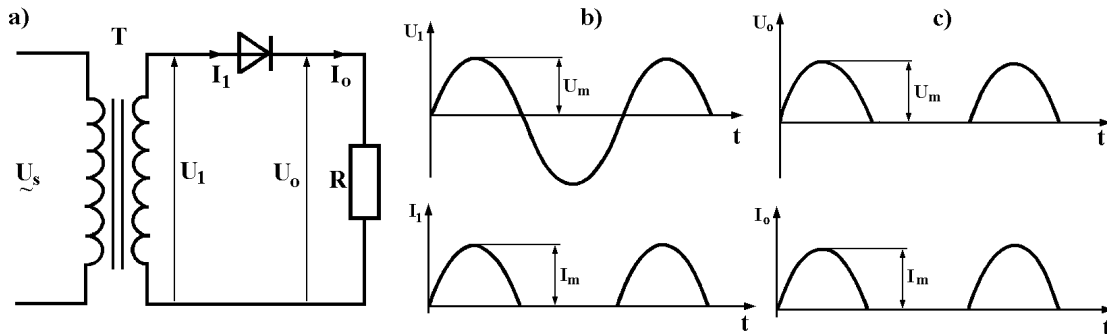
Przed prostownikiem, do pomiarów napięcia i prądu stosuje się mierniki elektromagnetyczne, które reagują i są wyskalowane w wartościach skutecznych.

Za prostownikiem, do pomiarów napięcia i prądu stosuje się mierniki magnetoelektryczne, które reagują i są wyskalowane w wartościach średnich.

W przypadku określania współczynnika tętnień napięcia na odbiorniku, na wyjściu prostownika włącza się woltomierz elektromagnetyczny.

Do pomiarów mocy przed i za prostownikiem stosuje się watomierze ferrodynamiczne, których wskazania są proporcjonalne do iloczynu wartości skutecznych napięcia i prądu.

### Prostowanie jednopółkowe.



Rys. 4.3. Prostowanie jednopółkowe

a) schemat elektryczny prostownika,

b) przebiegi czasowe napięcia i prądu przed prostownikiem

c) przebiegi czasowe napięcia i prądu za prostownikiem

Zależności napięciowe:

$$U_1 = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; U_0 = \frac{1}{\pi} U_m; U_{0sk} = \frac{U_m}{2}. \quad (4.5)$$

Współczynnik napięciowy prostowania,

$$k_u = \frac{U_0}{U_1} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \approx 0,45. \quad (4.6)$$

Zależności prądowe:

$$I_1 = \frac{I_m}{2}; I_0 = \frac{1}{\pi} I_m; I_{0sk} = \frac{I_m}{2}. \quad (4.7)$$

Napięcie tętnień i współczynnik tętnień:

$$U_T = \sqrt{U_{0sk}^2 - U_0^2} = \sqrt{\left(\frac{U_m}{2}\right)^2 - \left(\frac{U_m}{\pi}\right)^2} = 0,387U_m, \quad (4.8)$$

$$k_T = \frac{U_T}{U_0} = \frac{0,387U_m}{U_m/\pi} = 1,21. \quad (4.9)$$

Moc na wyjściu prostownika na podstawie danych wartości  $U_0$  i  $I_0$ ;

$$P_0 = U_{0sk} \cdot I_{0sk} = \frac{U_m}{2} \cdot \frac{I_m}{2} = \frac{\pi^2}{4} U_0 I_0 = 2,46 U_0 I_0 \quad (4.10)$$

Moc na wejściu prostownika na podstawie danych wartości  $U_1$  i  $I_1$ ;

$$P_1 = \frac{U_m}{2} \cdot I_1 = \frac{\sqrt{2}U_1}{2} \cdot I_1 = 0,707U_1 I_1. \quad (4.11)$$

Napięcie  $U_1$  ma przebieg sinusoidalny, natomiast prąd  $I_1$  płynie tylko w dodatniej połówce tego napięcia (rys. 4.3b) stąd w drugiej połówce napięcia  $U_1$ , wartość chwilowa mocy  $p_1$  jest równa zero:

$$p_1 = u_1 \cdot i_1 = u_1 \cdot 0 = 0. \quad (4.12)$$

#### Dobór diody pod względem napięciowym.

Dla prostownika bez filtra pojemnościowego:

$$U_D \geq U_w = U_m = \sqrt{2}U_1 = \pi U_0. \quad (4.13)$$

Dla prostownika z filtrem pojemnościowym:

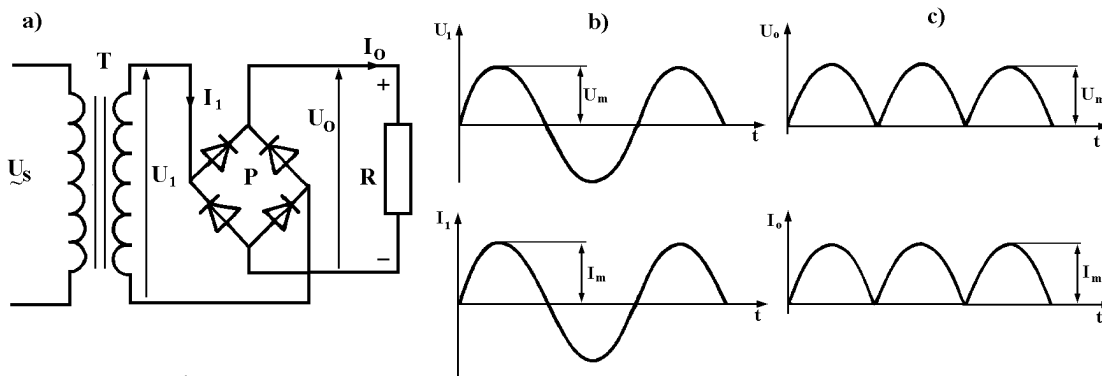
$$U_D \geq U_w = U_m + U_C = 2U_m = 2\sqrt{2}U_1 \quad (4.14)$$

Dla kierunku zaporowego, napięcie na diodzie jest sumą napięcia na kondensatorze, na którym może być napięcie równe amplitudzie napięcia zasilającego (np. w przypadku przerwy w odbiorniku) i amplitudy ujemnej połówki napięcia zasilającego  $U_1$ .

#### Dobór diody pod względem prądowym:

$$I_D \geq I_0. \quad (4.15)$$

#### **Prostownanie dwupołówkowe.**



Rys. 4.4. Prostownik czterozaworowy mostkowy (Gretza):

- schemat elektryczny prostownika,
- przebiegi czasowe napięcia i prądu przed prostownikiem
- przebiegi czasowe napięcia i prądu za prostownikiem

Zależności napięciowe:

$$U_1 = \frac{U_m}{\sqrt{2}}; U_0 = \frac{2}{\pi}U_m; U_{0sk} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}. \quad (4.16)$$

Współczynnik napięciowy prostowania;

$$k_u = \frac{U_0}{U_1} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} \approx 0,9. \quad (4.17)$$

Zależności prądowe:

$$I_1 = \frac{I_m}{\sqrt{2}}; I_0 = \frac{2}{\pi}I_m; I_{0sk} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}. \quad (4.18)$$

Napięcie tętnień i współczynnik tętnień:

$$U_T = \sqrt{U_{0sk}^2 - U_0^2} = \sqrt{\left(\frac{U_m}{\sqrt{2}}\right)^2 - \left(\frac{2}{\pi}U_m\right)^2} = 0,306U_m, \quad (4.19)$$

$$k_T = \frac{U_T}{U_0} = \frac{0,306U_m}{2/\pi U_m} = 0,48. \quad (4.20)$$

Moc na wyjściu prostownika na podstawie danych wartości  $U_0$  i  $I_0$ ;

$$P_0 = U_{0sk} \cdot I_{0sk} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 1,23U_0I_0. \quad (4.21)$$

Moc na wejściu prostownika na podstawie danych wartości  $U_1$  i  $I_1$ :

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 \quad (4.22)$$

gdyż, w obu połówkach napięcia występuje przepływ prądu.

Dobór diody pod względem prądowym:

$$I_D \geq \frac{1}{2}I_0. \quad (4.23)$$

Dobór diody pod względem napięciowym:

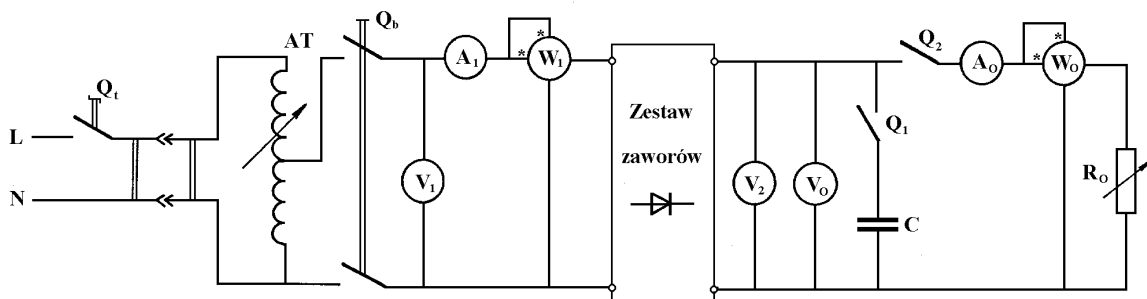
$$U_D \geq U_w = \sqrt{2}U_1 \quad (4.24)$$

bez i z filtrem pojemnościowym na wyjściu prostownika.

## 2. Wykonanie ćwiczenia

Część praktyczna ćwiczenia obejmuje:

- badanie prostownika dwupołówkowego:
  - a) z filtrem pojemnościowym  $C$ ,
  - b) bez filtra pojemnościowego  $C$ ,
- badanie prostownika jednapołówkowego,
  - c) z filtrem pojemnościowym  $C$ ,
  - d) bez filtra pojemnościowego  $C$ .



Rys. 4.5. Schemat układu pomiarowego do badania prostowników

Zestawić układ pomiarowy przedstawiony na rys. 4.5.

Badania wykonać dla jednej wartości napięcia  $U_1$  zasilającego prostownik dla obu układów prostowniczych (wartość napięcia  $U_1$  podać prowadzący zajęcia).

Obciążenie prostowników zmieniać rezystorem  $R_0$  od wartości  $I_0 = 0$  (wyłącznik  $Q_2$  - wyłączony) do wartości  $I_{0max}$  (wartość  $I_{0max}$  ustalić wspólnie z prowadzącym zajęcia).

Wyniki pomiarów (po 6÷7 punktów dla każdego przypadku) i obliczeń zestawić w tabelach 4.1÷4.4.

W obliczeniach napięcia tętnień  $U_T$  i współczynnika tętnień  $k_T$  korzystać z zależności podanych w p. 1.3 ( $U_{osk}$  - wskazania woltomierza  $V_2$ ), natomiast sprawność prostownika obliczać z zależności:

$$\eta = \frac{P_0}{P_1} \cdot 100\% . \quad (4.25)$$

Dla obu układów prostowniczych należy:

1. Narysować charakterystyki  $U_0 = f(I_0)$  oraz  $k_T = f(I_0)$  oddzielnie dla obu układów prostowniczych.
2. Omówić wpływ układu zaworów, filtra pojemnościowego i stopnia obciążenia prostownika na wartość współczynnika tętnień  $k_T$ .
3. Dla stanów jałowych prostowników ( $I_0 = 0$ ) przeprowadzić dyskusję wskazań woltomierzy  $V_1$  i  $V_0$ .
4. Dla wszystkich przypadków określić wartości napięć wstecznych.
5. Dla wybranego obciążenia ( $I_0 \neq 0$ ) w obu układach prostowniczych przy pracy bez filtrów C, przeprowadzić dyskusję wskazań woltomierzy i amperomierzy oraz ustalić związki mocy  $P_0$  ze wskazaniami  $V_0$  i  $I_0$  a także  $P_1$  ze wskazaniami  $V_1$  i  $I_1$  i porównać je z tymi związkami podanymi w p. 1.4.

Przebiegi czasowe napięć.

Przeprowadzić obserwację na ekranie oscyloskopu przebiegów napięć przed i za prostownikiem oraz na diodzie dla stanu jałowego i wybranego obciążenia, z filtrem C i bez filtra C.

W sprawozdaniu zamieścić obserwowane przebiegi i przeprowadzić dyskusję ich kształtów.

Tabela 4.1.

Lp.	Prostowanie dwupołówkowe z kondensatorem C											
	$U_1$ V	$I_1$ A	$P_1$ W	$U_0$ V	$I_0$ A	$P_0$ W	$U_2$ V	$U_0/U_1$ -	$I_0/I_1$ -	$\eta$ %	$U_T$ V	$k_T$ -
1												
...												
7												

Tabela 4.2.

Lp.	Prostowanie dwupołówkowe bez kondensatora C											
	$U_1$ V	$I_1$ A	$P_1$ W	$U_0$ V	$I_0$ A	$P_0$ W	$U_2$ V	$U_0/U_1$ -	$I_0/I_1$ -	$\eta$ %	$U_T$ V	$k_T$ -
1												
...												
7												

Tabela 4.3.

Lp.	Prostowanie jedupołówkowe z kondensatorem C											
	$U_1$ V	$I_1$ A	$P_1$ W	$U_0$ V	$I_0$ A	$P_0$ W	$U_2$ V	$U_0/U_1$ -	$I_0/I_1$ -	$\eta$ %	$U_T$ V	$k_T$ -
1												
...												
7												

Tabela 4.4.

Lp.	Przostowanie jednopółwkowe bez kondensatora C											
	$U_1$	$I_1$	$P_1$	$U_0$	$I_0$	$P_0$	$U_2$	$U_0/U_1$	$I_0/I_1$	$\eta$	$U_T$	$k_T$
	V	A	W	V	A	W	V	-	-	%	V	-
1												
...												
7												

### 3. Wykaz przyrządów i aparatów

Należy zgodnie z wytycznymi podanymi w części ogólnej skryptu podać wszystkie przyrządy pomiarowe, urządzenia i aparaty wykorzystywane w ćwiczeniu.

#### Zagadnienia do samodzielnego opracowania

1. Ważniejsze parametry diody prostowniczej.
2. Rola transformatora w układzie prostowniczym.
3. Współczynnik napięciowy przostowania prostownika jednopółwkowego.
4. Współczynnik napięciowy przostowania prostownika dwupółwkowego
5. Współczynnik tętnień układu prostowniczego jednopółwkowego bez filtrów na wyjściu.
6. Współczynnik tętnień układu prostowniczego dwupółwkowego pracującego bez filtra pojemnościowego.
7. Zależności między wskazaniem amperomierzy: elektromagnetycznego przed prostownikiem i magnetoelektrycznego za prostownikiem, dla obu układów prostowniczych pracujących bez filtrów pojemnościowych i obciążonych rezystancyjnie.
8. Ustalenie mocy czynnej traconej w odbiorniku rezystancyjnym na podstawie pomiarów napięcia i prądu miernikami magnetoelektrycznymi na wyjściu prostownika dwupółwkowego pracującego bez filtrów.
9. Ustalenie mocy czynnej pobieranej z sieci przez prostownik jednopółwkowy, obciążony rezystorem, na podstawie pomiarów napięcia i prądu miernikami elektromagnetycznymi na wejściu prostownika.
10. Dobór diody pod względem napięciowym w prostowniku jednopółwkowym, bez i z filtrem pojemnościowym, przy zadanej wartości napięcia na wejściu.
11. Dobór diody pod względem prądowym w prostownikach jedno i dwupółwkowych.