



Urządzenia Półprzewodnikowe 2

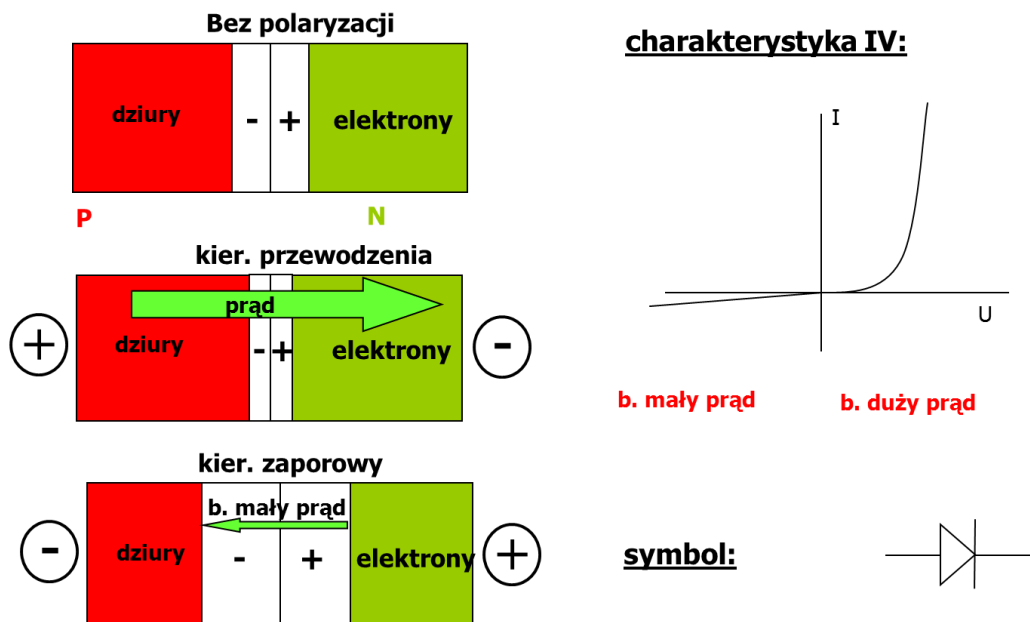
Ćw. 6. Prostownik jedno – i dwupołówkowy

Cel ćwiczenia: Poznanie zasady działania układu prostownika jedno – i dwupołówkowego.

Wstęp teoretyczny

1. Dioda półprzewodnikowa

Prostownik jest układem elektrycznym stosowanym do zamiany prądu przemiennego w prąd stały. Rolę elementu, który przepuszcza prąd dla jednego kierunku polaryzacji jest m.in. dioda półprzewodnikowa. Charakterystykę prądowo-napięciową diody półprzewodnikowej przedstawia Rys. 1. Kiedy dioda jest spolaryzowana w kierunku przewodzenia, prąd rośnie ze wzrostem przykładanego napięcia. Kiedy jest spolaryzowana w kierunku zaporowym, płynie tylko niewielki prąd. Wyjaśnienie takiego zachowania jest następujące. Dioda półprzewodnikowa składa się z półprzewodnika typu p i typu n . W półprzewodniku typu p nośnikami prądu są dodatnie ładunki – dziury, zaś w półprzewodniku typu n – elektrony. Elektrony z obszaru w pobliżu złącza przemieszczają się do półprzewodnika typu p zaś dziury w kierunku przeciwnym. W efekcie, półprzewodnik typu n w pobliżu styku ładuje się dodatnio a typu p – ujemnie. Na styku tych półprzewodników w stanie równowagi pojawia się różnica potencjału (na Rys. 1 obszary oznaczone $+$ i $-$), która zapobiega dalszemu przemieszczaniu się nośników. Po spolaryzowaniu złącza w kierunku przewodzenia ($+$ do obszaru typu p , $-$ do obszaru typu n) przez złącze płynie duży prąd, bo zewnętrzna polaryzacja powoduje zmniejszenie bariery potencjału. Przy polaryzacji w przeciwnym kierunku, bariera rośnie uniemożliwiając przepływ prądu przez złącze.



Rys. 1. Zasada działania diody półprzewodnikowej.



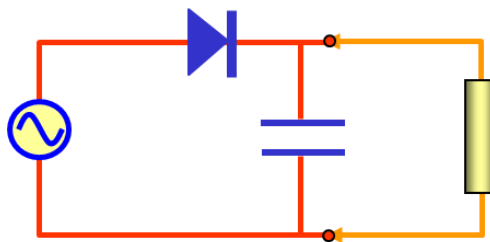
Urządzenia Półprzewodnikowe 2

Tak więc dioda półprzewodnikowa jest elementem nieliniowym, który przepuszcza prąd tylko wówczas, gdy jest ona spolaryzowana tak, że anoda (grot strzałki na symbolu diody) jest spolaryzowana dodatnio a katoda (pionowa kreska na symbolu diody) - ujemnie.

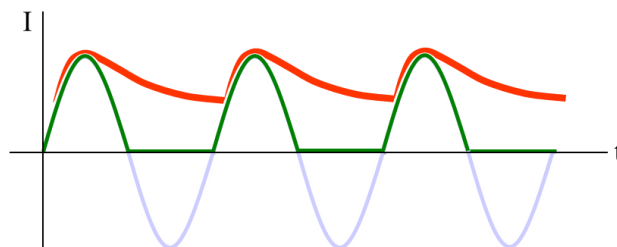
2. Prostownik jednopółwkowy

Prostownik jest urządzeniem, który wykorzystuje właściwości prostownicze diody: „prostuje” przebieg przemienny, aby energię prądu przemiennego przekształcić na energię prądu stałego.

Rys. 2. przedstawia najprostszą wersję prostownika jednopółwkowego. Jeśli na anodzie diody pojawia się dodatnia półka napięcia przemiennego (Rys. 3.) wówczas przez diodę płynie prąd i na oporze R pojawia się napięcie. Jeśli na anodzie pojawia się ujemna półka – przez diodę nie płynie prąd i na oporze R napięcie jest równe zero. Zatem na wyjściu pojawia się tylko jedna półka napięcia przemiennego. Przebieg prądu przemiennego na wyjściu źródła (niebieska krzywa) i płynącego przez opór R (zielona krzywa) przedstawia Rys. 3. Jak wynika z tego rysunku okres przebiegu przemiennego jest równy okresowi prądu przemiennego źródła. Oznacza to, że również częstotliwość przebiegu na wyjściu prostownika jednopółwkowego jest taka sama jak częstotliwość źródła. Jeśli dodatkowo w układzie znajdzie się kondensator, prąd płynący przez diodę spolaryzowaną w kierunku przewodzenia będzie go ładował. Podczas trwania ujemnej półki napięcia na anodzie diody, kondensator będzie się rozładowywał. W efekcie przebieg prądu płynącego przez opór będzie przedstawiał się tak jak czerwona linia na Rys. 3.



Rys. 2. Schemat układu prostownika jednopółwkowego.



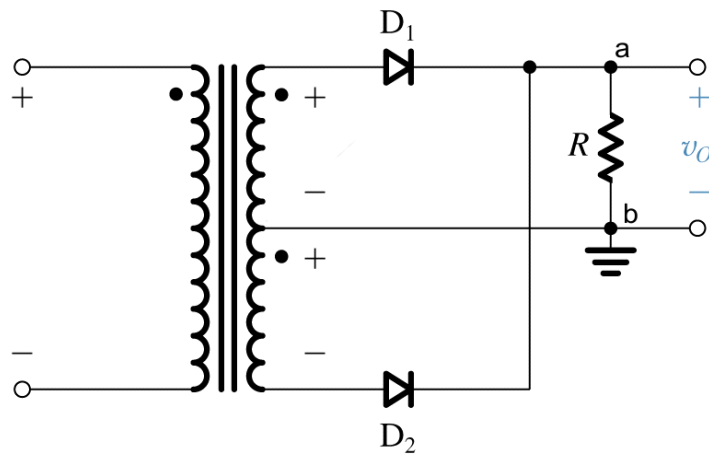
Rys. 3. Przebieg prądu przemiennego na wyjściu prostownika jednopółwkowego bez (zielona krzywa) i z kondensatorem (czerwona krzywa).

3. Prostownik dwupółwkowy

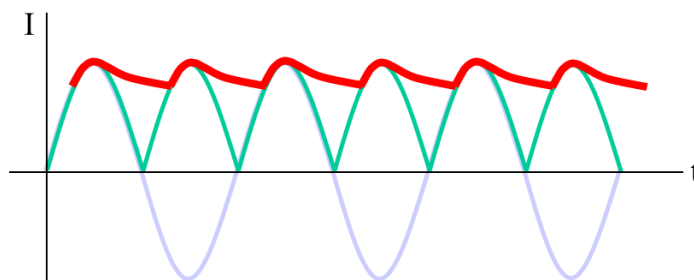


Urządzenia Półprzewodnikowe 2

Na Rys. 4 przedstawiono schemat elektryczny układu prostownika dwupołówkowego. W tym przypadku zawsze jedna z diod jest w stanie przewodzenia. Jeśli np. napięcie na anodzie diody **D1** jest dodatnie, to przez opór **R** płynie prąd od punktu **a** do punktu **b** i pojawia się różnica potencjałów v_o . Jeśli napięcie na anodzie diody **D1** jest ujemne, to w tym samym czasie napięcie na anodzie diody **D2** jest dodatnie i przewodzi dioda **D2**. Wówczas prąd płynie ponownie od punktu **a** do **b** i napięcie ma taki sam zwrot jak poprzednio. Tak więc dla obydwu połówek napięcia przemiennego na wyjściu transformatora, prąd płynie przez opór **R** tak jak to przedstawia zielona krzywa na Rys.5. Jak wynika z tego rysunku okres przebiegu przemiennego na wyjściu prostownika dwupołówkowego jest dwa razy większy od okresu prądu przemiennego źródła. Oznacza to, że częstotliwość przebiegu na wyjściu prostownika dwupołówkowego jest dwukrotnie większa. Jeśli dodatkowo do opornika zostanie dołączony równolegle kondensator, to podobnie jak dla prostownika jednapołówkowego napięcie na oporze **R** zostanie „wygładzone” tak jak to ilustruje krzywa czerwona na Rys. 5.



Rys. 4. Schemat układu prostownika dwupołówkowego.



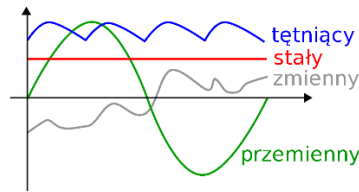
Rys. 5. Przebieg prądu przemiennego na wyjściu prostownika dwupołówkowego bez (zielona krzywa) i z kondensatorem (czerwona krzywa).

4. Przebieg przemienny (AC).

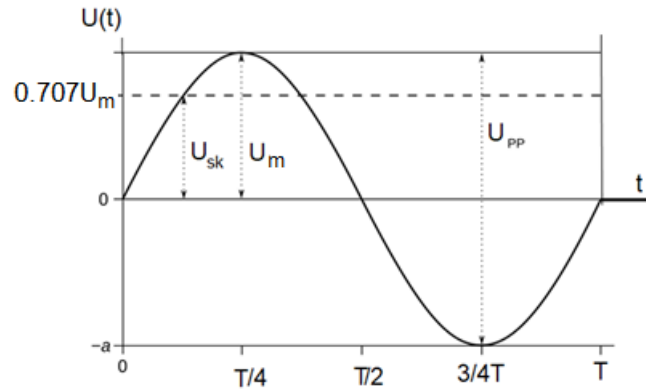
Na Rys. 6 przedstawiono przykładowe przebiegi napięć a na Rys. 7. – przebieg napięcia przemiennego, który dalej będzie analizowany.



Urządzenia Półprzewodnikowe 2



Rys. 6. Przykładowe przebiegi napięć.



Rys.7. Przykładowy przebieg napięcia przemiennego $U(t)$: T -okres przebiegu, U_m – amplituda, U_{sk} (U_{RMS}) – wartość skuteczna (ang. Root Mean Square), U_{pp} – podwojona amplituda przebiegu.

5. Prostownik – parametry.

Podstawowo parametry prostownika to:

- Wartość średnia przebiegu na wyjściu prostownika $U_{\dot{s}r}$.
- Wartość skuteczna U_{sk} .
- Współczynnik tężnień k .
- Sprawność prostowania η .

Ad a) Wartość średnia przebiegu, tj. zawartość składowej stałej, dana jest wzorem:

$$U_{\dot{s}r} = \frac{1}{T} \int_0^T U(t) dt . \quad (1)$$

Dla przebiegu przedstawionego na Rys. 7 wartość średnia jest równa zero. Natomiast przebieg na wyjściu prostownika ma wartość średnią różną od zera.

Ad b) Aby porównać możliwości energetyczne przebiegu przemiennego i stałego wprowadza się pojęcie wartości skutecznej napięcia lub prądu, która spowoduje wydzielenie się takiej samej mocy co prąd stały. Wartość skuteczna jest dana wzorem:

$$U_{sk} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T U^2(t) dt} . \quad (2)$$

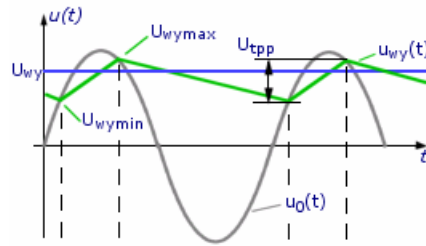
Dla przebiegu sinusoidalnego przedstawionego na Rys. 7, $U_{sk} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0.707U_m$.



Urządzenia Półprzewodnikowe 2

Ad c) Współczynnik tętnień.

Na rys. 8 przedstawiono przebieg zmienny na wyjściu prostownika jednopołówkowego.



Rys. 8. Przebieg zmienny na wyjściu prostownika jednopołówkowego. U_{wy} to wartość składowej stałej napięcia tętnień, która jest równa wartości średniej przebiegu okresowego, U_{sr} , $U_{tpp} = U_{wymax} - U_{wymin}$ to napięcie międzyszczytowe tętnień.

Miarą zbliżenia rzeczywistego przebiegu wyjściowego prostownika do wartości stałej jest współczynnik tętnień. W literaturze można spotkać dwie definicje współczynnika tętnień:

$$k = \frac{U_t}{U_{sr}}, \quad (3)$$

gdzie $U_t = \sqrt{U_{sk}^2 - U_{sr}^2}$, U_{sk} – wartość skuteczna napięcia tętnień.

Powyższy wzór wynika z tego, że aby obliczyć napięcie tętnień należy od mocy przebiegu przemiennego odjąć moc składowej stałej.

Dla prostownika jednopołówkowego:

$$U_t = U_m \sqrt{0.5^2 - \left(\frac{1}{\pi}\right)^2}. \quad (4)$$

Druga definicja współczynnika tętnień:

$$k = \frac{U_{tpp}}{U_{sr}}, \quad (5)$$

gdzie U_{tpp} – to wartość międzyszczytowa składowej zmiennej napięcia wyjściowego (por. Rys. 8). Jak łatwo zauważyć im mniejsze wartości przyjmują współczynniki tętnień tym filtracja tętnień jest lepsza.

Ad d) Sprawność prostowania jest to stosunek mocy prądu stałego wydzielonej w obciążeniu (moc przebiegu wyprostowanego) do całkowitej mocy doprowadzonej do prostownika:

$$\eta_p = \left(\frac{U_{sr}}{U_{sk}}\right)^2. \quad (6)$$

W Tabeli I przedstawiono w.w. parametry dla prostownika jedno- i dwupołówkowego bez filtra.



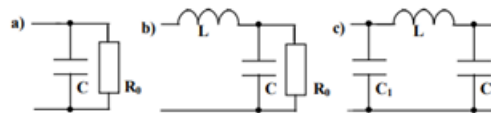
Urządzenia Półprzewodnikowe 2

Tabela 1

prostownik	wartość średnia	wartość skuteczna	tętnienia	sprawność
jednopolówkowy	$U_{sr} = 0,318U_{1m}$	$U_{sk} = 0,5U_{1m}$	$U_r = 0,386U_{1m}$	$\eta_p = 0,406$
dwupółówkowy	$U_{sr} = 0,637U_{1m}$	$U_{sk} = 0,707U_{1m}$	$U_r = 0,308U_{1m}$	$\eta_p = 0,812$

U_{1m} – amplituda napięcia U_1 (wejściowego prostownika).

Aby ograniczyć poziom tętnień prostowników stosuje się filtry dolnoprzepustowe, jak te przedstawione na Rys. 9.



Rys.9. Filtry stosowane w prostownikach a) typu RC, b) typu L, c) typu π .

UWAGA:

Składową stałą napięcia mierzymy multimetrem TrueRMS w modzie pracy $V_{DC} = V_{sr}$.

Napięcie skuteczne mierzymy multimetrem True RMS w modzie pracy $V_{AC} = V_{sk}$.

Oscyloskop: w modzie *coupling* AC mierzy składową zmienną, czyli napięcie skuteczne $V_{AC} = V_{RMS}$.

Oscyloskop: w modzie *coupling* DC mierzy składową stałą, czyli napięcie średnie $V_{DC} = V_{AVG}$.