



Politechnika Wrocławska

Wydział Elektroniki Mikrosystemów i Fotoniki



LABORATORIUM
ELEMENTÓW i UKŁADÓW
ELEKTRONICZNYCH

Opracował zespół: Marek Panek, Waldemar Oleszkiewicz, Ryszard Korbutowicz, Iwona Zborowska-Lindert, Bogdan Paszkiewicz, Małgorzata Kramkowska, Zdzisław Synowiec, Beata Ściana, Irena Zubel, Tomasz Ohly, Bogusław Boratyński

Ćwiczenie nr 3

Diody w układach prostowniczych

I. Zagadnienia do samodzielnego przygotowania

- Budowa złącza p-n oraz charakterystyka $I=f(U)$
- Wyjaśnij zasadę prostowania prądu zmiennego wykorzystując charakterystykę diody
- Co to jest wartość skuteczna prądu (napięcia) okresowego?
- Na czym polega prostowanie jedno i dwupołówkowe?
- Podać cechy zasilaczy z zastosowaniem transformatora z dzielonym uzwojeniem, oraz z mostkiem Graetza?
- Na czym polega rola kondensatora w zasilaczach?

Należy wydrukować tabele wyników (są na końcu instrukcji).

II. Program zajęć

- Rejestracja przebiegów w prostowniku jednapołówkowym i pomiar ich parametrów
- Badanie roli kondensatora w układzie zasilacza
- Rejestracja przebiegów w prostowniku dwupołówkowym i pomiar ich parametrów
- Badanie wpływu obciążenia na tętnienia wyprostowanego napięcia
- Obliczanie wartości pojemności kondensatora filtrującego

III. Literatura

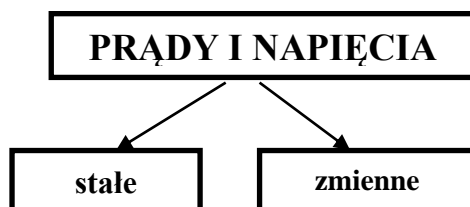
1. W. Marciniak – Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone
2. A. Świt, J. Pułtorak – Przyrządy półprzewodnikowe
3. Poradnik Inżyniera Elektronika
4. Notatki z WYKŁADU

Wykonując pomiary **PRZESTRZEGAJ** przepisów BHP związanych z obsługą urządzeń elektrycznych.

1. Wiadomości wstępne

1.1. Prąd stały a zmienny – klasyfikacja, definicje, cechy szczególne, podstawowe parametry.

Na rys. 1. przedstawiono ogólną klasyfikację rodzajów prądu elektrycznego



Rys. 1. Najogólniejsza klasyfikacja prądów i napięć

Prąd stały – (natężenie prądu; symbol „I”)

czyli niezmienny w czasie, prąd, w którym stała jest wartość liczbowa i stały zwrot

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = const \quad (1.1)$$

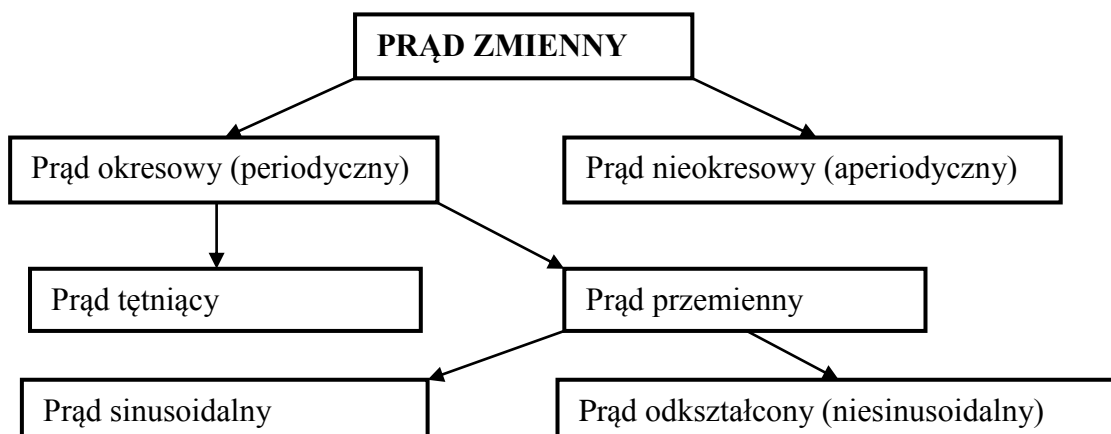
Prąd zmienny – (symbol „i”) **czyli zmienny w czasie** – w którym:

- zmienia się tylko wartość liczbowa
- zmienia się tylko zwrot

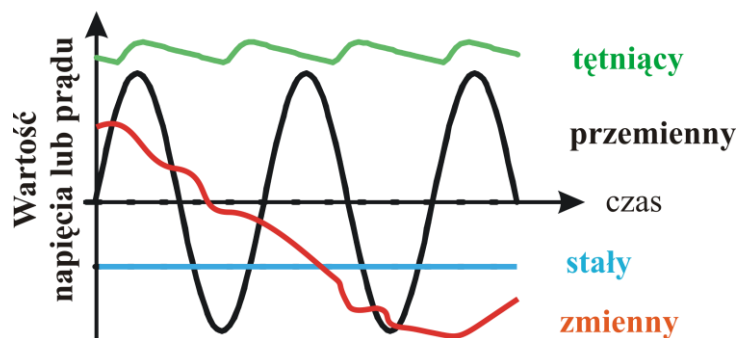
- zmienia się zarówno wartość liczbowa oraz zwrot $i = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \neq const$

1.2. Systematyka prądu zmiennego

Na rys. 2. przedstawiono nazewnictwo używane w stosunku do różnego typu prądów zmiennych, a na rys. 3. interpretację graficzną ich przebiegów czasowych.



Rys. 2. Klasyfikacja prądów zmiennych

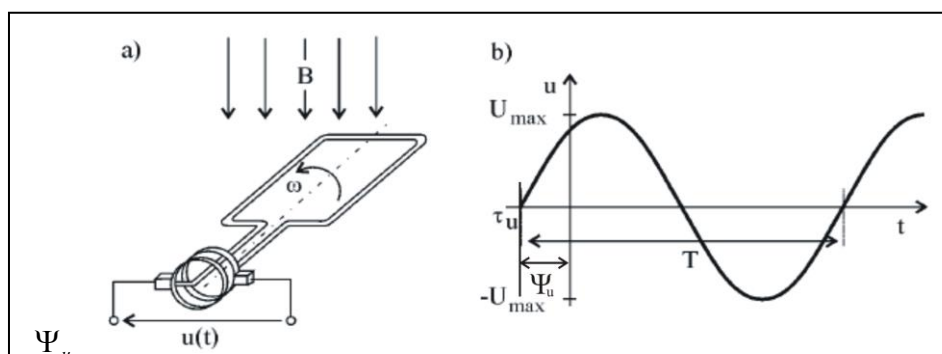


Rys. 3. Interpretacja graficzna prądów zmiennych

Dalsze rozważania będą prowadzone jedynie dla prądów sinusoidalnych.

1.3. Sposób wytwarzania prądu sinusoidalnego – idea pracy prądnicy prądu zmiennego

Na rys. 4. przedstawiono zasadę działania prądnicy wraz z przebiegiem indukowanego w czasie napięcia.

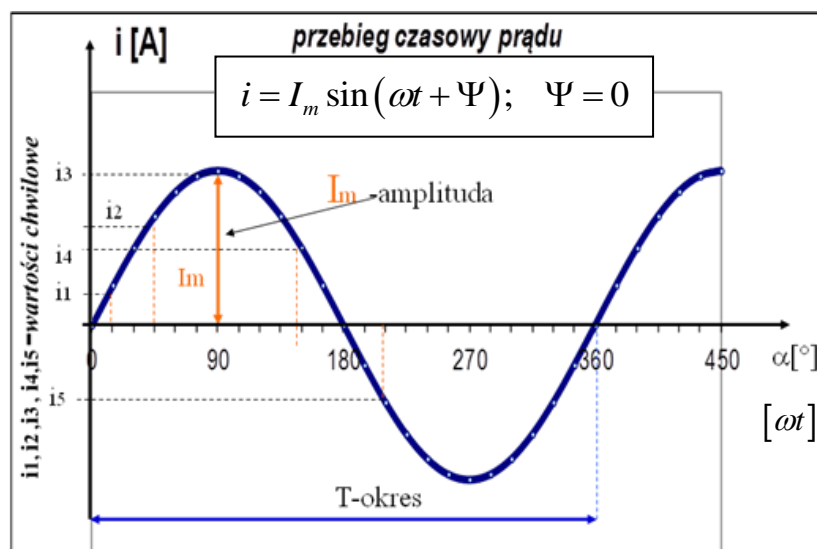


Rys. 4. Sposób otrzymywania sinusoidalnego prądu zmiennego: a) idea budowy prądnicy; b) przebieg indukowanego w uzwojeniu napięcia

$$u(t) = U_{\max} \sin[\omega(t + \tau_u)] = U_{\max} \sin(\omega t + \Psi_u),$$

gdzie $\omega = 2\pi f$ (ω – częstotliwość kołowa, f – częstotliwość, ilość okresów przebiegu na sekundę); τ_u – czas opóźnienia; Ψ_u – faza opóźnienia napięcia; T – okres przebiegu.

Analogiczną zależnością można opisać przebieg natężenia prądu w czasie. Na rys. 5. przedstawiono graficzną interpretację przebiegu prądu zmiennego z jego podstawowymi parametrami: amplitudą i okresem.



Rys. 5. Przebieg prądu zmiennego. Oś odciętych (x) można skalować w zależności od potrzeb zarówno w radianach, stopniach, jak i w sekundach

1.4. Pojęcia „wartość skuteczna” (RMS) oraz „wartość średnia”

Wartość skuteczna lub średniokwadratowa (RMS) prądu okresowego o okresie T , przepływającego przez rezystor idealny R równa się natężeniu takiego prądu stałego, który w czasie T , równym okresowi, wydzieli w rezystorze tą samą ilość energii cieplnej W , co prąd okresowy.

$$\text{Wartość skuteczna prądu } I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} \quad (1.2)$$

$$\text{gdź } RI^2T = R \int_0^T i^2(t) dt = W = PT \quad (1.3)$$

Wartość średnia przebiegu czasowego może być definiowana na dwa sposoby:

1. Wartość średnia, W_m , zwana również wartością całookresową:

$$W_m = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} w(t) dt, \quad (1.4)$$

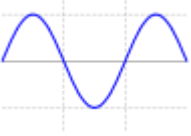
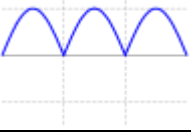
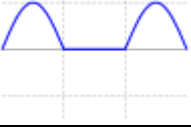
gdzie: T – okres przebiegu, t_0 – czas początkowy, $w(t)$ – wartości chwilowe przebiegu, t – czas.

2. Wartość średnia bezwzględna, W_e , zwana również wartością półokresową:

$$W_e = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} |w(t)| dt \quad (1.5)$$

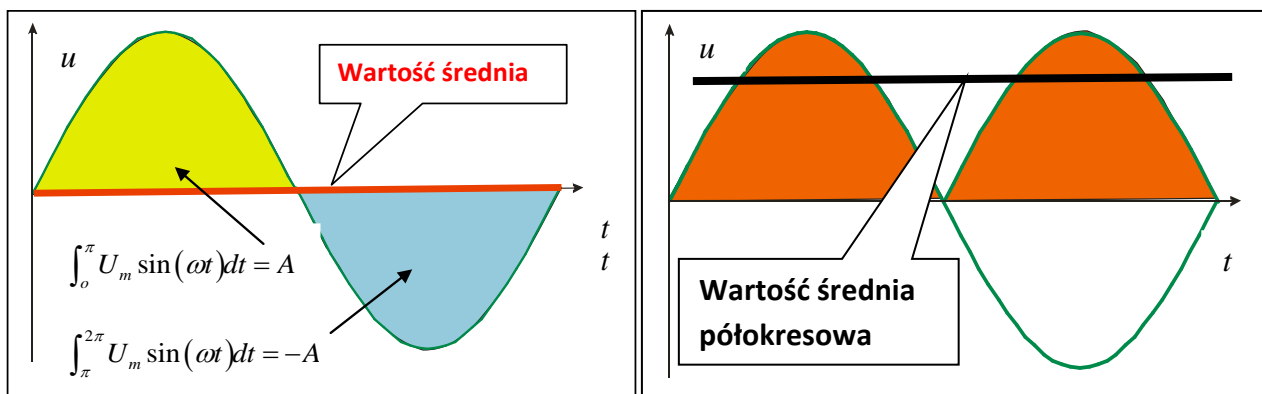
Zestawienie wielkości mnożnika amplitudy k_A wartości średnich i skutecznych wybranych sygnałów zamieszczono w tabeli 1

Tabela 1

Sygnał		Mnożnik amplitudy, k_A	
Rodzaj sygnału	Postać sygnału	Wartość średnia bezwzględna	Wartość skuteczna
Sygnał stały (DC)		1	1
Sinusoidalny		$\frac{2}{\pi} \approx 0,637$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$
Sinusoidalny wyprostowany dwupółkowo		$\frac{2}{\pi} \approx 0,637$	$\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,707$
Sinusoidalny wyprostowany jednopółkowo		$\frac{1}{\pi} \approx 0,318$	$\frac{1}{2} = 0,5$

Różnicę między pojęciami wartości średniej wyjaśniono na rys.6. Korzystając z faktu, że wartość całki oznaczonej, w interpretacji geometrycznej, jest polem powierzchni między krzywą a osią odciętych oczywistym jest, że wartość średnia symetrycznego przebiegu okresowego będzie zawsze równa zero.

Wszystkie wyżej zdefiniowane pojęcia można odnosić zarówno do wartości prądu jak i napięcia.



Rys. 6. Różnica pomiędzy wartością średnią półokresową, a wartością średnią.

UWAGA: Należy zdawać sobie sprawę, że wartość napięcia naszego prądu w sieci 230V/50Hz odnosi się do wartości napięcia skutecznego. Wartość amplitudy tego napięcia to: $\sqrt{2} \cdot 230V \approx 325V$, a wartość międzyszczytowa jest równa podwójnej amplitudzie

1.5. Wady i zalety prądu zmiennego

Wady:

- 1) Prądu zmiennego nie można akumulować.
- 2) Prąd zmienny powoduje dodatkowe straty energii np. w obwodach z cewkami oraz kablach energetycznych, a także w liniach wysokiego napięcia.
- 3) Prąd zmienny może być przyczyną przepięć i przetężeń w obwodach elektrycznych, gdy występuje zjawisko rezonansu.
- 4) Prąd zmienny wywołuje zakłócenia w obwodach teletechnicznych (np. w telefonii).

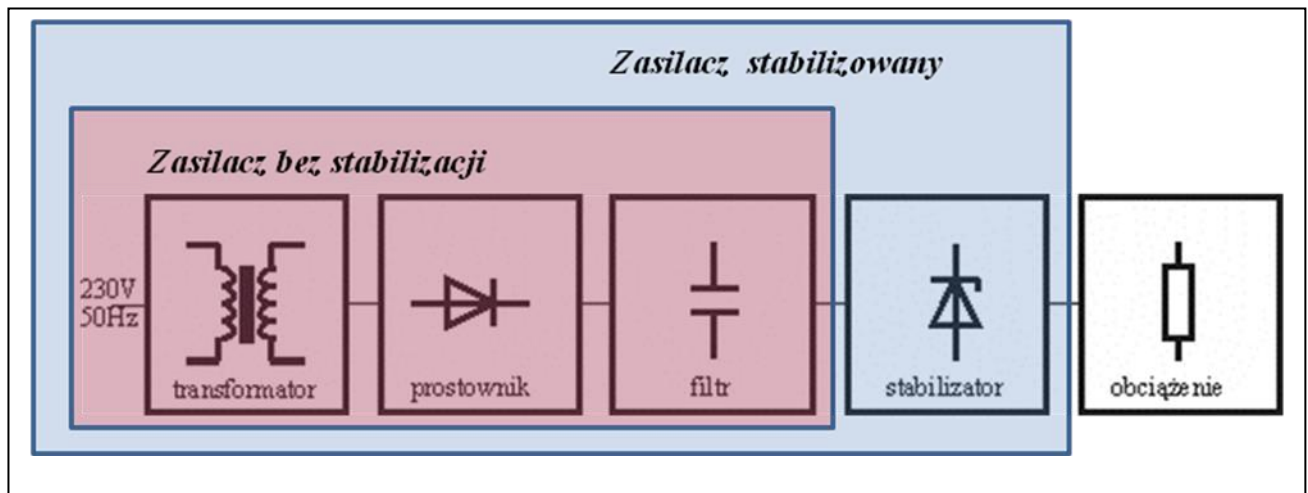
Zalety:

- 1) Prąd zmienny daje się transformować na niskie i wysokie napięcie.
- 2) Prąd zmienny wytwarza wirujące pole magnetyczne wykorzystywane w maszynach elektrycznych.
- 3) Prąd zmienny ma zastosowanie w łączności bezprzewodowej np. telewizja.

Większość urządzeń elektronicznych zasilanych jest napięciem stałym, wobec czego stosuje się zasilacze, pozwalające przekształcać prąd zmienny w użyteczny stały

1.6. Prostownik jednopółwkowy

Na rys. 7. przedstawiono ogólny schemat blokowy urządzenia elektronicznego. Bardzo istotną rolę stanowi tutaj zasilacz. Istnieją dwa podstawowe typy zasilaczy: o działaniu ciągłym oraz impulsowe. Niniejsze rozważania są ograniczone do pierwszego typu urządzeń. Blok oznaczony na rys. 7. jako stabilizator będzie przedmiotem oddzielnego ćwiczenia (Ćw. 4.).

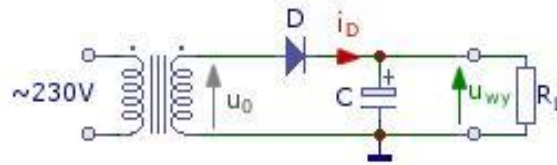


Rys. 7. Uproszczony schemat blokowy urządzenia elektronicznego

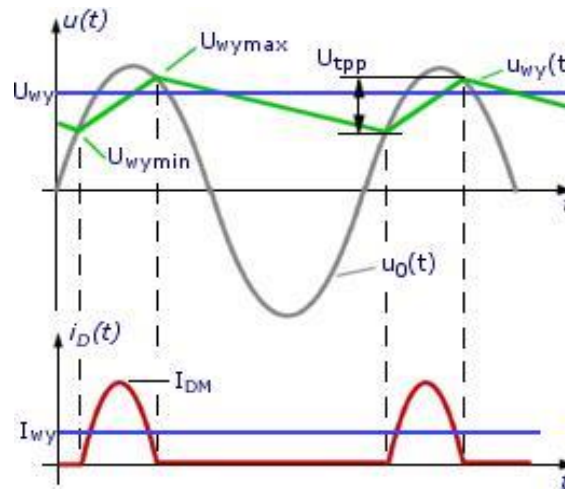
Podstawowym elementem zasilacza jest prostownik – na rys. 8. rolę tę pełni dioda półprzewodnikowa „D”, kondensator stanowi filtr wygładzający napięcie, a element R_L jest rezystancją zastępczą układu zasilanego (obciążeniem zasilacza).

Transformator ma za zadanie obniżyć napięcie sieciowe do pożądanego poziomu, dioda D pełni rolę zaworową: stanowi małą rezystancję dla dodatnich półokresów napięcia U_0 – dla ujemnych natomiast bardzo dużą.

Kondensator C ma za zadanie wygładzić wyprostowane napięcie. Szczegółowy przebieg napięć i prądów w tym układzie przedstawia rys. 9.



Rys. 8. Schemat ideowy zasilacza z prostownikiem jednopółkowym



Rys. 9. Przebiegi napięć i prądów w prostowniku jednopółkowym

Krzywa koloru czerwonego to prąd płynący przez diodę doładowujący kondensator. Kolorem zielonym został oznaczony przebieg napięcia wyjściowego $u_{wy}(t)$. Widać na nim zaznaczoną wartość międzyszczytową tętnień „ U_{tpp} ”. Na przebiegu napięcia wyjściowego widać, że czas rozładowywania kondensatora jest znacznie dłuższy od czasu ładowania, a więc nawet przy niedużych rezystancjach obciążeniach (duży prąd obciążenia) kondensator będzie mocno rozładowywany i na wyjściu będą duże tętnienia. Układ prostownika jednopółkowego może więc być stosowany tylko tam, gdzie są małe prądy obciążenia i gdzie nie przeszkadzają tętnienia napięcia wyjściowego. Kolorem niebieskim oznaczono wartości średnie napięcia i prądu na wyjściu.

Wartość średnia bezwzględna napięcia dla prostownika jednopółkowego bez kondensatora filtrującego wynosi z definicji:

$$\bar{U}_R = \frac{1}{T} \int_0^T u_R dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} U_m \sin \omega t dt = \frac{1}{\omega T} (-\cos \omega t)_0^{T/2} = \frac{U_m}{2\pi} (1 - (-1)) = \frac{U_m}{\pi} \approx 0,318 U_m \quad (1.6)$$

Cechy prostownika jednopółkowego:

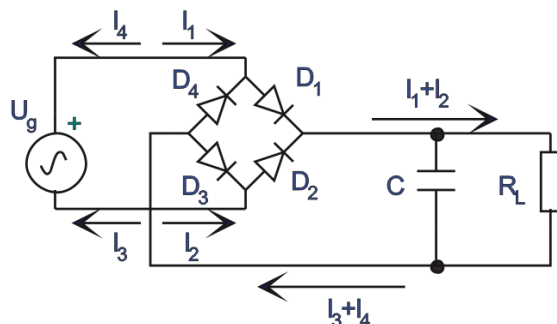
- 1) Prąd płynie przez diodę tylko podczas dodatniej półwłki sinusoidy napięcia $u_0(t)$, będącego napięciem uzwojenia wtórnego transformatora.
- 2) Jeżeli do wyjścia prostownika nie jest dołączone obciążenie R_L (praca w biegu jałowym), to kondensator C zostaje naładowany w czasie dodatniej półwłki sinusoidy napięcia $u_0(t)$ do wartości maksymalnej biegu jałowego

$$U_{wy} = \sqrt{2} \cdot U_{0sk} - U_D, \quad (1.7)$$

gdzie U_D jest napięciem przewodzenia diody (0,6-1 V; dla diody Si typowo 0,7 V), natomiast U_{0sk} jest wartością skuteczną napięcia uzwojenia wtórnego transformatora na biegu jałowym.

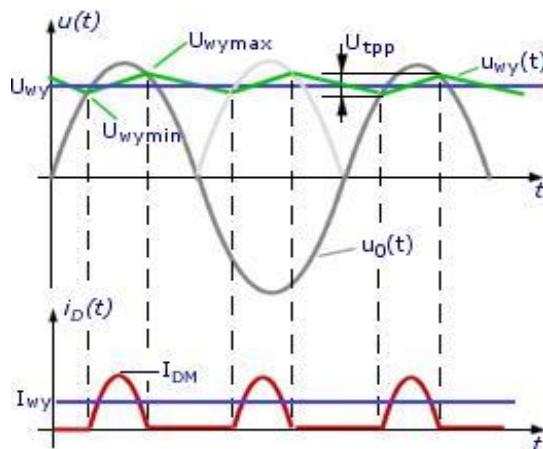
1.7. Prostownik dwupółkowy Graetza

Na rys. 10. przedstawiono zasilacz prądu stałego z zastosowaniem diodowego mostka Graetza; U_g jest źródłem napięcia sinusoidalnego – może to być np. uzwojenie wtórne transformatora – jak to zostało wcześniej przedstawiono na rys. 8. Na rys. 11. przedstawiono przebiegi prądu i napięcia prostownika dwupółkowego.



Rys. 10. Schemat ideowy dwupółkowego prostownika Graetza. Składowe prądów I_1 - I_4 płyną naprzemiennie w półokresach odpowiednio przez diody D_1 i D_3 oraz D_2 i D_4 .

Układ czterech diod zwany mostkiem, złożony jest z diod D_1 , D_2 , D_3 , D_4 . Dla dodatniej półwłki sinusoidy sygnału wejściowego prąd popłynie przez diodę D_1 do obciążenia R_L , dalej poprzez diodę D_3 do źródła U_g .

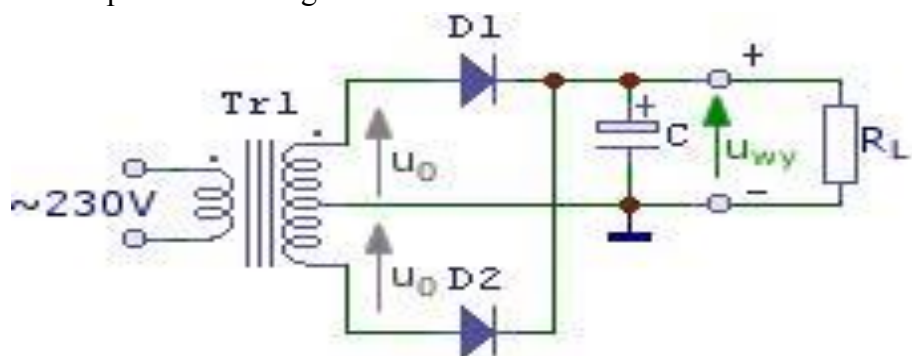


Rys. 11. Przebiegi napięć i prądu w prostowniku dwupółkowym

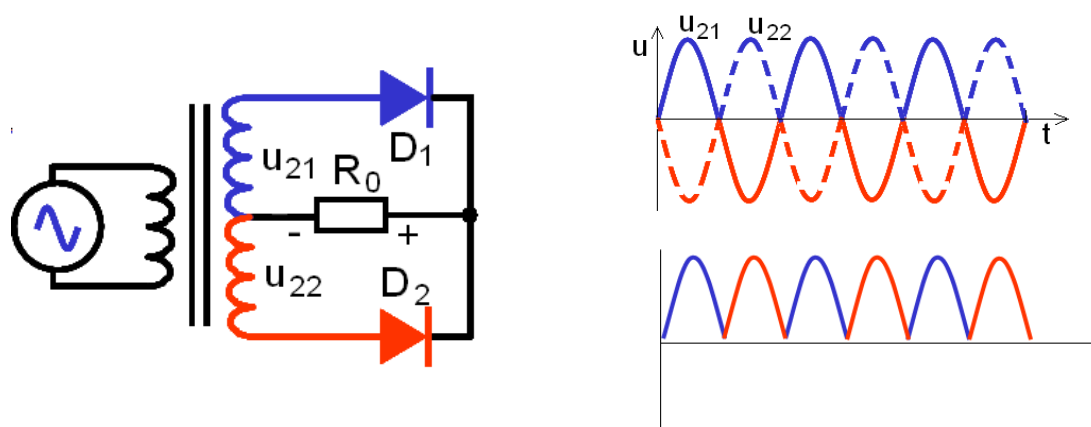
Natomiast dla połówki ujemnej prąd płynie przez diodę D2 do obciążenia R_L , a następnie poprzez diodę D4 z powrotem do źródła U_g . Jak widać prąd zachowuje ten sam kierunek przepływu przez obciążenie jak dla połówki dodatniej. W efekcie na wyjściu układu otrzymuje się napięcie wyprostowane dwupołówkowo, co widać na przebiegu oznaczonym kolorem czerwonym. Warto zauważyć, że w układzie mostkowym dla obu połówek okresu sygnału wejściowego, z wejściem połączone są szeregowo dwie diody. Dlatego, aby prąd zaczął płynąć do obciążenia, napięcie U_g musi być większe od podwojonego napięcia przewodzenia diody ($U_g > 2 \cdot 0,7 \text{ V}$ dla diody krzemowej).

1.8. Prostownik dwupołówkowy z transformatorem o dzielnym uzwojeniu

Na rys. 12. przedstawiono schemat ideowy zasilacza z wykorzystaniem transformatora z dzielnym uzwojeniem wtórnym, a na rys. 13. zaprezentowano zasadę działania dwudiodowego prostownika pełnokresowego.



Rys.12. Schemat ideowy prostownika pełnokresowego, dwudiodowego



Rys. 13. Ilustracja zasady działania prostownika pełnokresowego dwupołówkowego

Wartość średnia bezwzględna dla prostownika dwupołówkowego wynosi (uwaga: bez kondensatora!):

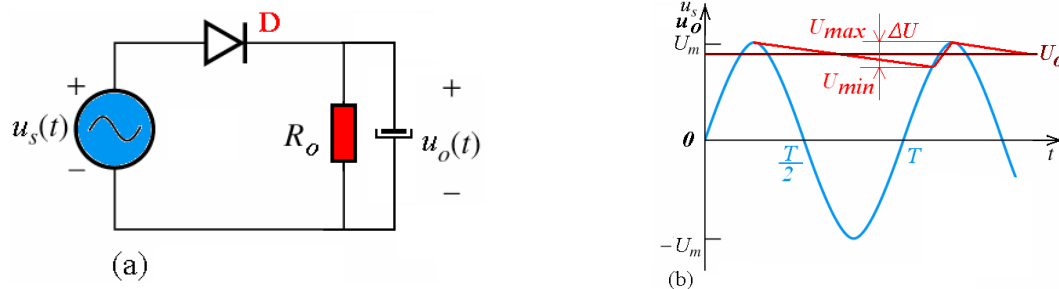
$$\bar{U}_R = \frac{1}{T} \int_0^T u_R dt = \frac{1}{T} \int_0^T |U_m \sin \omega t| dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} U_m \sin \omega t dt = \frac{2}{\pi} U_m \approx 0,636 U_m \quad (1.8)$$

Układ zachowuje właściwości prostownika dwupołówkowego. Jego cechy szczególne to:

- 1) Środkowy odczep uzwojenia transformatora (lub punkt połączenia dwóch identycznych uzwojeń) jest dołączony do masy układu.
- 2) Dzięki temu, że dla każdego półokresu napięcia transformatora prąd płynie tylko przez jedną diodę: strata napięcia wyjściowego spowodowana spadkiem napięcia na diodzie jest o połowę mniejsza (czyli taka jak dla układu jednapółkowego).
- 3) Układ ten nie jest jednak lepszy od mostkowego, ponieważ dwukrotnie wzrasta oporność uzwojenia wtórnego.
- 4) Z filtrem C napięcie na każdej diodzie jest $2 \cdot U_m$. Należy więc pamiętać o doborze diod z wystarczająco dużym dopuszczalnym napięciem zaporowym.

1.9. Rola kondensatora filtrującego

Schemat układu prostownika z filtrem pojemnościowym przedstawiono na rys. 14. Kondensator, który należy umieścić na wyjściu układu prostownika odgrywa bardzo ważną rolę, gdyż od niego zależy wielkość tętnień ΔU napięcia wyjściowego u_o . Im większa pojemność kondensatora, tym tętnienia mniejsze. Można również zauważyć, że im większy wymagany prąd wyjściowy tym większy kondensator należałoby zastosować.



Rys. 14. Schemat prostownika jednapółkowego wraz z kondensatorem filtrującym i przebiegi w jego obwodzie

Ładunek kondensatora z rys. 14. podczas ładowania :

$$Q = C \cdot \Delta U \quad (1.9)$$

Ładunek rozładowania przez rezystancję obciążenia podczas jednego okresu:

$$Q = I_0 \cdot T, \quad (1.10)$$

gdzie: I_0 jest prądem w obciążeniu.

Oba te ładunki muszą być sobie równe:

$$I_0 T = C \Delta U \quad (1.11)$$

Pamiętając, że:

$$f = \frac{1}{T} \quad (1.12)$$

można łatwo pokazać, że dla prostownika dwupołówkowego:

$$C = \frac{I_0}{2 \cdot f \cdot \Delta U} \quad (1.13)$$

a dla jednapołówkowego:

$$C = \frac{I_0}{f \cdot \Delta U} \quad (1.14)$$

Na przykład, dla napięcia sieciowego 230 V o częstotliwości $f = 50$ Hz, przy założeniu napięcia tętnień $\Delta U = 0,5$ V i prądu w obciążeniu $I_0 = 1,5$ A, obliczona wartość pojemności kondensatora filtrującego wyniesie $C = 30\,000$ μF , co jest wartością bardzo dużą. W praktyce stosuje się o wiele mniejsze pojemności, godząc się na większą amplitudę tętnień.

1.10. Problem doboru transformatora – materiał uzupełniający

Efekty opisane poniżej będą zauważalne podczas przeprowadzania pomiarów.

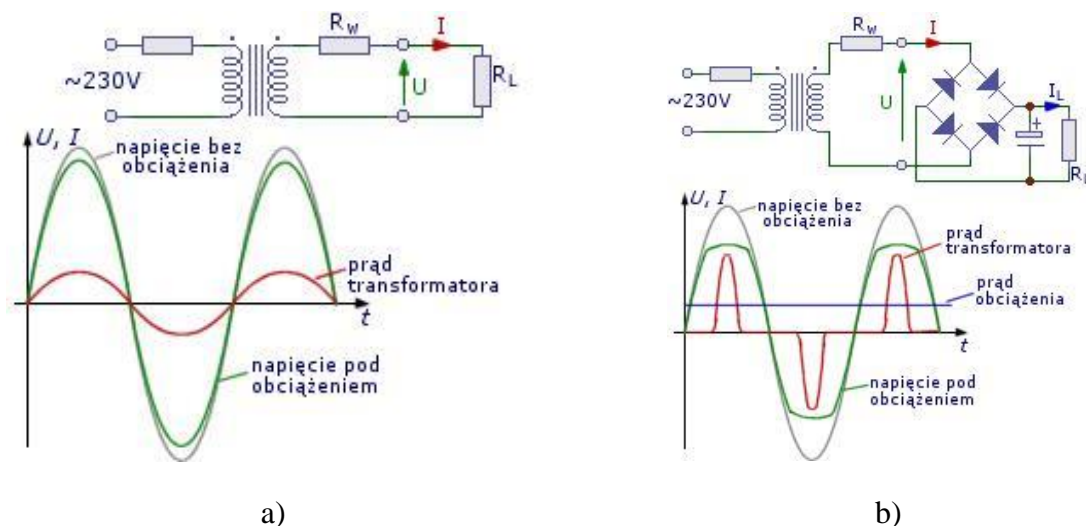
Najważniejszym zadaniem jest właściwy dobór transformatora, który musi uwzględniać wiele czynników mających wpływ na pracę zasilacza, takich jak:

- dopuszczalny zakres zmian napięcia sieciowego czyli $230\text{ V} \pm 10\%$,
- spadek napięcia na prostowniku,
- straty napięcia wyjściowego wynikające z rezystancji wewnętrznej uzwojeń transformatora,
- moc wyjściową zasilacza i straty mocy na poszczególnych elementach zasilacza.

Dla pełnego zrozumienia, jakie znaczenie ma rezystancja wewnętrzna R_w transformatora, najlepiej jest przeanalizować przykład porównujący pracę transformatora obciążonego rezystancją obciążenia R_L i pracę transformatora w układzie zasilacza z prostowaniem dwupołówkowym, obciążonego taką samą rezystancją R_L (rys. 15).

Rezystancja wewnętrzna transformatora R_w ma wpływ na:

- spadek napięcia wyjściowego transformatora pod obciążeniem,
- szczytowy prąd przewodzenia diody w układzie zasilacza, a co za tym idzie, również na wartość spadku napięcia na diodzie.



Rys. 15. Porównanie przebiegów napięć i prądów dla transformatora: a) obciążonego elementem biernym, R_L oraz b) obciążonego prostownikiem dwupołkowym

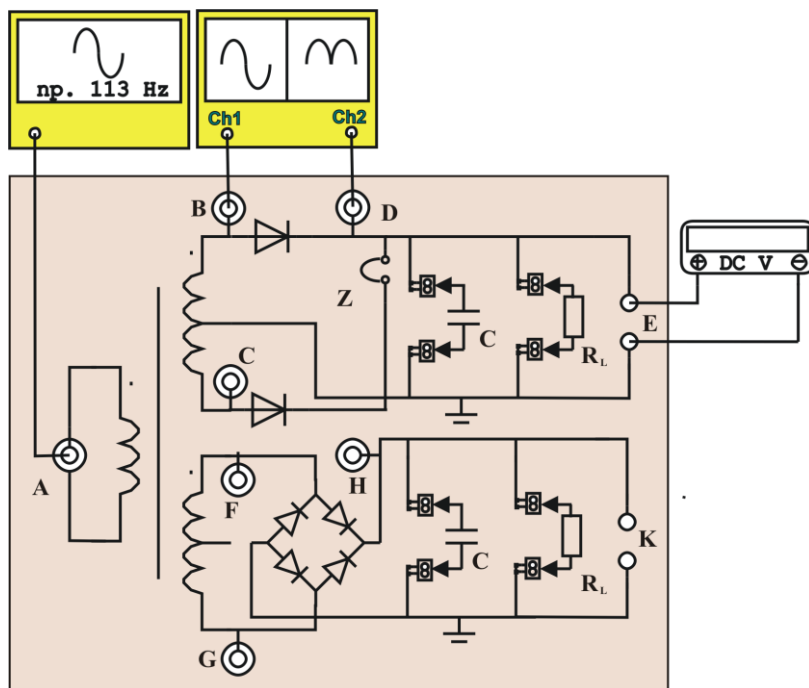
Pierwszy z układów (rys. 15a) to po prostu transformator obciążony rezystancją R_L . Prąd I płynący przez obciążenie R_L zależy bezpośrednio od wartości tego obciążenia i napięcia U na wyjściu transformatora. Jak widać na przebiegach prąd I (linia czerwona) płynie w sposób ciągły. Ma on przebieg sinusoidalny, podobnie jak napięcie na wyjściu transformatora. Napięcie U pod obciążeniem (linia zielona) jest nieco niższe od napięcia biegu jałowego (linia szara) i zależy od spadku napięcia na rezystancji wewnętrznej transformatora wywołanego prądem I .

Zupełnie inaczej sprawa przedstawia się, gdy transformator pracuje z prostownikiem tak jak na rysunku 15b. W tym układzie prąd I , który wypływa z transformatora nie jest zależny wyłącznie od obciążenia R_L , lecz również od rezystancji wyjściowej transformatora R_w . Prąd ten płynie tylko w krótkim przedziale czasu i pojawia się wówczas, gdy napięcie na rozładowującym się kondensatorze spadnie na tyle, że chwilowa wartość napięcia transformatora będzie większej od napięcia kondensatora o spadek napięcia na dwóch diodach mostka prostowniczego (ok. $2 \cdot 0,7V$), aby umożliwić przewodzenie mostka prostowniczego. Wówczas nastąpi doładowanie kondensatora impulsem prądu (porównaj rys.15b z rys.11). Jak widać na przebiegach, wartość prądu I doładowującego kondensator jest dużo większa niż dla pierwszego układu (Rys15a). Przy tak dużej chwilowej wartości prądu płynącego przez uzwojenie wtórne transformatora spadek napięcia na rezystancji wewnętrznej jest dużo większy niż w układzie podstawowym. Większy prąd powoduje więc znaczny spadek napięcia wyjściowego transformatora (linia zielona na rys.15b). Wydawałoby się, że lepiej jest stosować w takim razie „szywne” transformatory (o małej rezystancji uzwojeń), ale to z kolei sprawi, że popłynie większy prąd przez mostek prostowniczy powodując zwiększenie spadku napięcia na przewodzących diodach (nawet dwukrotnie). Dla typowych diod z rodziny 1N4001 ... 1N4007 będzie to oznaczało zwiększenie spadku napięcia z $0,7 V$ (nawet $1 V$ przy $1 A$) do ok. $1,5 V$, co dla układu mostkowego Graetza da obniżenie napięcia wyjściowego zasilacza nawet o $3 V$ w stosunku do wartości napięcia wejściowego.

2. Pomiary

Pomiar i określenie wartości parametrów przebiegów występujących w układach prostowników przeprowadzamy zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 16.

Wyniki pomiarów należy zapisywać w tabelach wyników umieszczonych w p. 2.4 tej instrukcji.



Rys. 16. Schemat układu pomiarowego - w konfiguracji badania prostownika dwupołówkowego z transformatorem o dzielnym uzwojeniu (zworka Z włączona).

Generator poprzez transformator zapewnia wejściowy sygnał napięcia zmiennego do układów prostowników. Dla układu z jedną i dwiema diodami stosujemy zworkę **Z** (**Z** – rozwarta dla prostownika jednopołówkowego, **Z** - zwarta dla prostownika dwupołówkowego). Układ mostka Graetza działa niezależnie od poprzedniego. Pary gniazdek oznaczone **E** oraz **K** służą do podłączenia woltomierza (DC) w celu pomiaru *wartości średniej napięć wyprostowanych* U_{wyAVG} . Można stosować je także do podłączenia zewnętrznych elementów R, C.

Prowadzący zadaje następujące parametry:

- częstotliwość przebiegu ($f < 500$ Hz), amplitudę napięcia generatora $U_{Amp1} = 5$ V (przy ustawieniu *Offset*=0 oraz *Output HI-Z* w menu *Utility*, generator wskaże $V_{pp} = 10$ V)
- rezystancje obciążenia R_{L1} , R_{L2} (od 1 k Ω do 10 k Ω) np.: 1 k Ω , 5,1 k Ω .
- pojemności kondensatorów filtrujących C_1 , C_2 (od 10 μ F do 100 μ F) np.: 47 μ F, 100 μ F – są to kondensatory elektrolityczne – podłączając należy zachować prawidłową biegunowość.

W celu wydruku obrazu ekranu oscyloskopu z obserwowanymi przebiegami należy uruchomić aplikację DSO3000 (jest na *Pulpicie*) oraz zapoznać się z *Instrukcją obsługi oscyloskopu* (na stronie *www* z tematami *Ćwiczeń*). Uruchomić Panel wirtualny (*Show Virtual Panel*). Usunąć kolor (*Tools - B&W*) i zapisać plik na *Pulpicie* funkcją *Export*.

Uwaga: ponowne przejście do trybu ręcznego obsługi oscyloskopu wymaga wybrania funkcji *Disconnect* a następnie przyciśnięcia *Local (Force)* na panelu oscyloskopu.

2.1 Układ prostownika jednopółkowego (zworka Z - rozwarta)

Dołączyć początkowo tylko obciążenie R_{L1} . Za pomocą oscyloskopu zmierzyć (funkcja *Measure*) wymienione niżej sygnały na zaciskach pomiarowych **B** ($U_B = U_{we}$) i **D** ($U_D = U_{wy}$) podłączonych odpowiednio do wejść CH1 i CH2 **ustawionych w trybie pracy DC**.

- Amplitudę napięcia zmiennego z transformatora U_{weAmpl} ; oraz jego wartość skuteczną U_{weRMS} . Wyniki zamieścić w tabeli 2.
- Amplitudę napięcia wyprostowanego U_{wyAmpl} oraz jego wartość średnią U_{wyAVG} . Zmierzyć wartość U_{wyAVG} także **woltomierzem DC** i porównać z odczytaną z oscyloskopu oraz obliczoną wg. wzorów (1.6) i (1.8). **W multimetrze należy ustawić ręcznie (Range Man) zakres 10V lub 100V**. Wyniki zamieścić w tabeli 2.
- Spadek napięcia na diodzie (pomiar różnicowy $U_B - U_D$), funkcja *Math* – czułość i poziom zera DC (przesuw pionowy na ekranie) przebiegu dla tej funkcji ustawia się pokrętkiem funkcyjnym (z menu *Math*).
- **Ustalić powyższe trzy przebiegi na ekranie i uzyskać wydruk z drukarki. Opisać i wyjaśnić poszczególne przebiegi sygnałów.**

Pomiar parametrów napięcia wyjściowego prostownika z filtrem pojemnościowym. Dołączyć kondensator C_1 równolegle do obciążenia R_{L1} .

- Zmierzyć napięcie międzyszczytowe tętnień U_{Tpp} przebiegu U_{wy} (tryb pracy AC, odpowiednio zwiększona czułość wejścia oscyloskopu).
- **Ustalić przebieg napięcia wejściowego (z transformatora) U_{we} ; oraz napięcia tętnień U_{Tpp} i uzyskać wydruk z drukarki. Opisać i wyjaśnić poszczególne przebiegi sygnałów.**
- Dla ustalonego obciążenia R_{L1} , zbadać wpływ wartości pojemności filtrującej (C_1 , C_2) na wartość napięcia tętnień U_{Tpp} . powtarzając pomiary dla różnych kombinacji wartości obciążenia i pojemności filtra - patrz pozycje w tabeli 3.

2.2 Układ prostownika dwupółkowego (zworka Z - zwarta)

Układ prostownika dwupółkowego z transformatorem o dzielonym uzwojeniu z dołączonym obciążeniem R_{L1} .

Powtórzyć pomiary jak w pkt. 2.1 i uzyskać odpowiednie wydruki ekranu oscyloskopu. Wyniki zamieścić w tabeli 2 i w tabeli 3.

2.3 Obliczenia wymaganych wartości pojemności kondensatora filtrującego dla prostownika jednopółkowego

Dla układu prostownika jednopółkowego zastosować wzór (1.14) do obliczenia wartości pojemności C_x w celu uzyskania **wartości tętnień napięcia wyjściowego U_{Tpp}** :

a) **nie większej niż 100mV**

b) **równej tętnieniom uzyskanym podczas pomiarów**

Przyjmując wartość prądu w obciążeniu $I_0 = U_{wyAmpl} / R_L$, gdzie U_{wyAmpl} i R_L wielkości stosowane w czasie pomiarów. Porównać z rezultatami pomiarów. **Wyniki zamieścić w tabeli 4.**

2.4 Tabele wyników

Tabela 2. Pomiary napięć w układzie prostownika bez filtra

Układ prostownika	Obciążenie [kΩ]	U_{weAmpl} [V]	U_{weRMS} [V]	U_{wyAmpl} [V]	U_{wyAVG} oscyl. [V]	U_{wyAVG} woltomierz [V]	U_{wyAVG} obliczone [V]
1-poł.	$R_{L1} = \dots\dots\dots$						
	$R_{L2} = \dots\dots\dots$						
2-poł. z odczepem transf.	$R_{L1} = \dots\dots\dots$						
	$R_{L2} = \dots\dots\dots$						
<i>Mostek Graetza</i>	$R_{L1} = \dots\dots\dots$						
	$R_{L2} = \dots\dots\dots$						

Tabela 3. Pomiary tętnień napięcia wyjściowego w układzie z filtrem

Układ prostownika	Obciążenie [kΩ]	U_{Tpp} [mV]	
		$C_1 = \dots\dots\dots$	$C_2 = \dots\dots\dots$
Jednopołówkowy.	$R_{L1} = \dots\dots\dots$		
	$R_{L2} = \dots\dots\dots$		
Dwupołówkowy z odczepem transf.	$R_{L1} = \dots\dots\dots$		
	$R_{L2} = \dots\dots\dots$		
<i>Dwupołówkowy Graetz</i>	$R_{L1} = \dots\dots\dots$		
	$R_{L2} = \dots\dots\dots$		

Tabela 4. Porównanie obliczonych i zastosowanych wartości kondensatorów

Tętnienia	Prostownik jednopołówkowy Parametry zastosowane w układzie				Obliczone wz. (1.14) C_x [μF]	Zastosowane C [μF]
	U_{wyAmpl} [V]	R_{L1} [kΩ]	I_0 [mA]	f [Hz]		
U_{Tpp} [mV]						
Zadane: 100						XXXXXXXXXX
Uzyskane:.....						

- Porównać wartości obliczoną i zastosowaną kondensatora z uwzględnieniem jego tolerancji (dla kondensatorów elektrolitycznych można przyjąć, że wynosi ona 50%).

Zadanie dodatkowe (jeśli czas pozwoli)

2.5 Układ prostownika dwupołówkowego – mostek diodowy Graetza

Pomiar i określenie wartości parametrów przebiegów występujących w układzie prostownika Graetza – pomiary jak w pkt.2.1. Wykorzystać zaciski pomiarowe **F, G, H**. **Uwaga: przebieg napięcia wejściowego mierzyć różnicowo ($U_{we} = U_F - U_G$), ($U_{wy} = U_H$).**

3. Podsumowanie

Opracować wydruki przebiegów (utworzyć legendę) i dołączyć do sprawozdania.

Obliczyć mnożnik amplitudy k_A dla napięcia wejściowego U_{weRMS} / U_{weAmpl} oraz mnożnik amplitudy k_A dla napięcia wyjściowego U_{wyAVG} / U_{wyAmpl}

Porównać rezultaty uzyskane z obliczeń i pomiarów (tabela 4).

Porównać właściwości badanych prostowników i zastosowanych filtrów.