

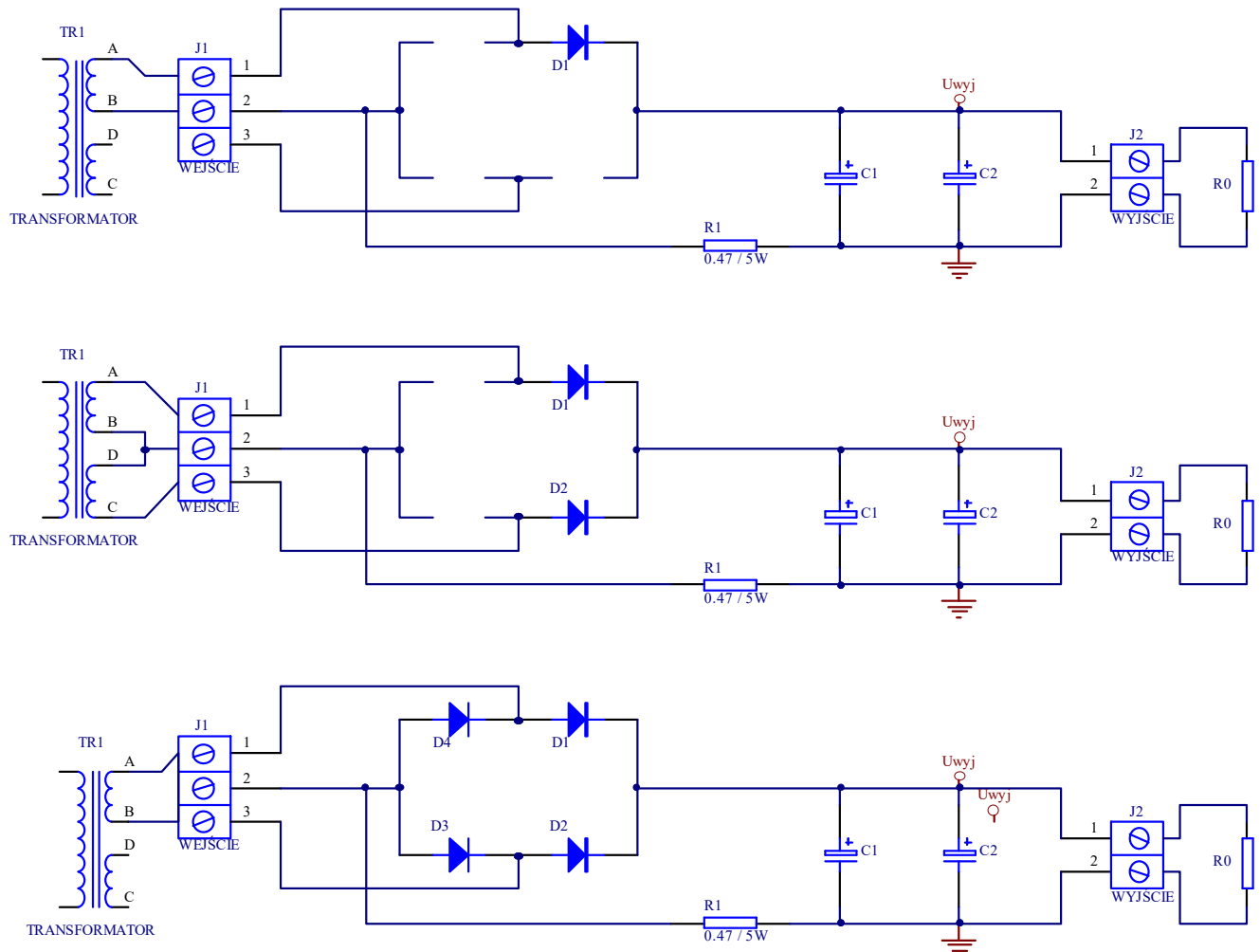
Prostowniki

1. Cel ćwiczenia.

Celem ćwiczenia jest zapoznanie się z budową i właściwościami podstawowych układów prostowniczych: prostownika jednopołówkowego, dwupołówkowego z dzielonym uzwojeniem transformatora oraz prostownika mostkowego.

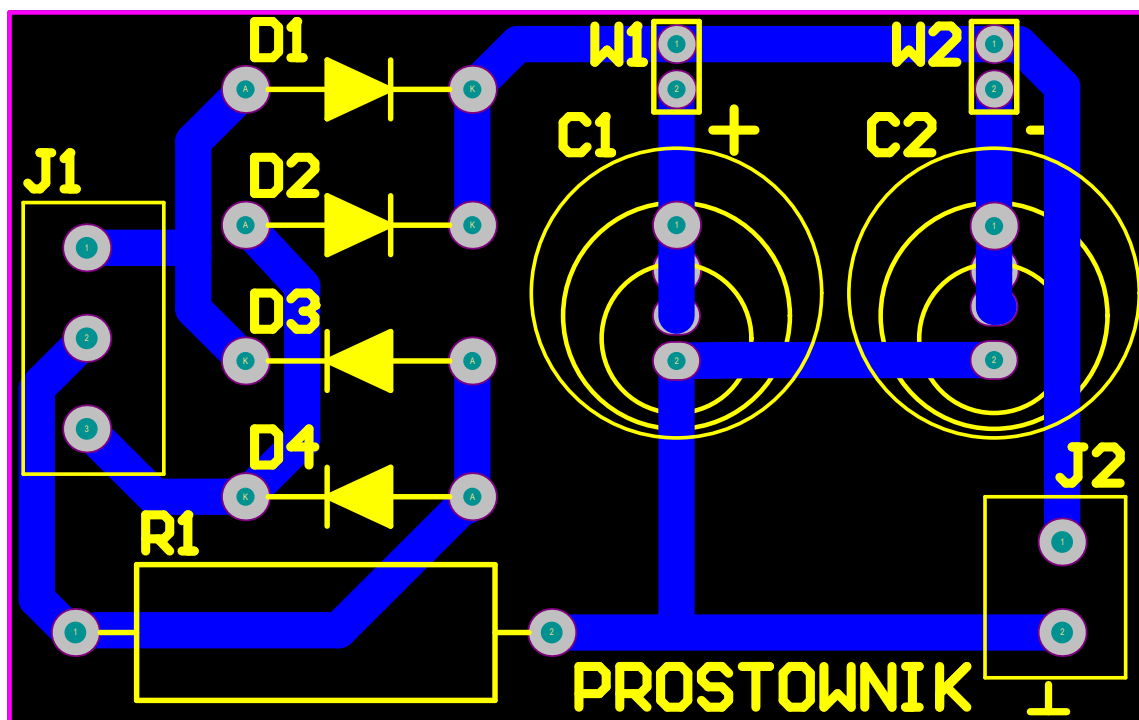
2. Budowa układu.

Schemat prostowników przedstawiono na Rys.1. Każdy z typów prostownika (jednopołówkowy, dwupołówkowy z dzielonym uzwojeniem, mostkowy) może być zmontowany na płytce przedstawionej na Rys.2. Na wejście prostownika podłączyć należy transformator zgodnie z Rys.1, a na wyjście obciążenie w postaci opornika dużej mocy.

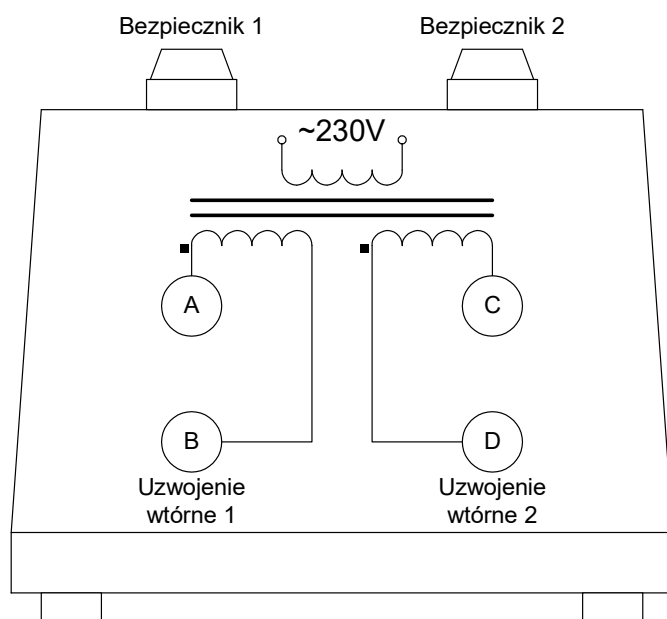


Rys.1. Schemat prostownika:

(a) - jednopołówkowego, (b) - dwupołówkowego z dzielonym uzwojeniem, (c) - mostkowego.



Rys.2. Widok płytki drukowanej prostownika. Na płycie zmontować można dowolny z prostowników z Rys.1. Widok od strony elementów



Rys.3. Widok transformatora sieciowego.

3. Przygotowanie do zajęć.

UWAGA: Czas przygotowania do zajęć szacuje się na 3 do 6 godzin.

3.1. Materiały źródłowe

- [1] Materiały Laboratorium i Wykładów Zespołu Układów Elektronicznych.
- [2] U. Tietze, Ch. Schenk, Układy półprzewodnikowe, WNT, Warszawa, 1996, s. 560-568.
- [3] P. Horowitz, W. Hill, Sztuka elektroniki, WKiŁ, Warszawa, 2003, s. 55-62.
- [4] J. J. Car, Zasilanie urządzeń elektronicznych, BTC, Warszawa, 2004, s. 107-153.
- [5] R. Kisiel, Podstawy technologii dla elektroników, Warszawa, 2005, s.140-142.

3.2. Pytania kontrolne

1. Co to jest prąd i napięcie skuteczne ? Obliczyć napięcie skuteczne przebiegu:
 - a. sinusoidalnego o amplitudzie 100V,
 - b. Sumy napięcia sinusoidalnego z punktu a) i napięcia stałego 20V,
 - c. Prostokątnego o amplitudzie 10V i współczynniku wypełnienia $\frac{1}{4}$,
2. Co to jest prąd i napięcie średnie ? Obliczyć wartość średnią napięcia z poprzedniego punktu.
3. Co to jest moc czynna, bierna i pozorna ?
4. Co to jest współczynnik szczytu napięcia lub prądu ?
5. Co to jest współczynnik kształtu napięcia lub prądu ?
6. Co to jest współczynnik mocy prostownika zasilacza ?
7. Naskicować schematy i wyjaśnić zasadę działania prostowników: jednopołówkowego, dwupołówkowego, mostkowego.
8. Naskicować przebiegi napięć i prądów prostownikach z obciążeniem rezystancyjnym i rezystancyjno-pojemnościowym.
9. Jakie jest maksymalne napięcie wsteczne na diodach w poszczególnych prostownikach ?
10. Jakie jest napięcie biegu jałowego w poszczególnych prostownikach ?
11. Jak zależy napięcie tętnień od pojemności filtra i obciążenia ?

3.3. Zadanie projektowe

Dla danego typu prostownika (jednopołówkowy, dwupołówkowy, mostkowy) należy obliczyć wszystkie parametry prostownika metodą analityczną [2] i graficzną [1] (zamiast metody graficznej można zastosować symulację komputerową). Wyniki nanieść do odpowiednich Tabel 2-x (razem sześć tabel). Parametry jakie należy obliczyć to:

- U_{0AV} - napięcia średnie biegu jałowego (prostownika bez obciążenia),
- U_{0AV} – średnie napięcie wyjściowe,
- U_{0MIN} – minimalną wartość napięcia wyjściowego z obciążeniem,
- U_{0RMS} – skuteczne napięcie wyjściowe z obciążeniem,
- U_{0MAX} – maksymalną wartość napięcia wyjściowego z obciążeniem,

- $U_{0RIP(PP)}$ – międzyszczytowa wartość napięcia tętnień z obciążeniem,
- I_{0AV} – średni prąd obciążenia równy średniemu prądowi diod z obciążeniem,
W prostownikach dwupółówkowych każda dioda będzie miała prąd średni 2 razy mniejszy;
- I_{DMAX} - powtarzalna wartość szczytowa prądu diod,
- I_{DRMS} – prąd skuteczny diod,
W prostownikach dwupółówkowych każda dioda będzie miała prąd skuteczny $\sqrt{2}$ razy mniejszy od prądu skutecznego transformatora;
- P_{Rs} – moc czynna wydzielana na rezystancji uzwojeń transformatora,
- CF – (ang. crest factor) – współczynnik szczytu prądu diody = I_{DMAX}/I_{DRMS} ;
- FF – (ang. form factor) – współczynnik kształtu prądu diody = $I_{DRMS}/|I_D|_{AV}$;
- Δt – czas przewodzenia diody,
- PF – współczynnik mocy (ang. power factor) na wejściu prostownika.
- I_{DSURGE} – (ang. inrush current or input surge current) maksymalny prąd diody przy załączaniu,

Obliczenia należy wykonać dla:

- prostownika bez pojemności filtrujących i dla obu rezystancji obciążenia $R_0 = R_{01}$ i $R_0 = R_{02}$,

oraz czterech kombinacji pojemności filtrujących oraz rezystancji obciążenia:

- pojemność filtrująca $C = C_1$ (wybrać pojemność mniejszą) i rezystancja obciążenia $R_0 = R_{01}$,
- pojemność filtrująca $C = C_1$, rezystancja obciążenia $R_0 = R_{02}$,
- pojemność filtrująca $C = C_1 + C_2$, rezystancja obciążenia $R_0 = R_{01}$,
- pojemność filtrująca $C = C_1 + C_2$, rezystancja obciążenia $R_0 = R_{02}$.

Należy przyjąć następujące parametry transformatora sieciowego (dostępnego na stanowisku laboratoryjnym):

- wtórne napięcie skuteczne biegu jałowego $E_{RMS} = 12.5V$,
- przekładnia $n = 18.4$,
- rezystancji uzwojenia pierwotnego $R_{pierwotne} = 300 \Omega$
- rezystancji uzwojenia wtórnego $R_{wtorne} = 3,8 \Omega$.

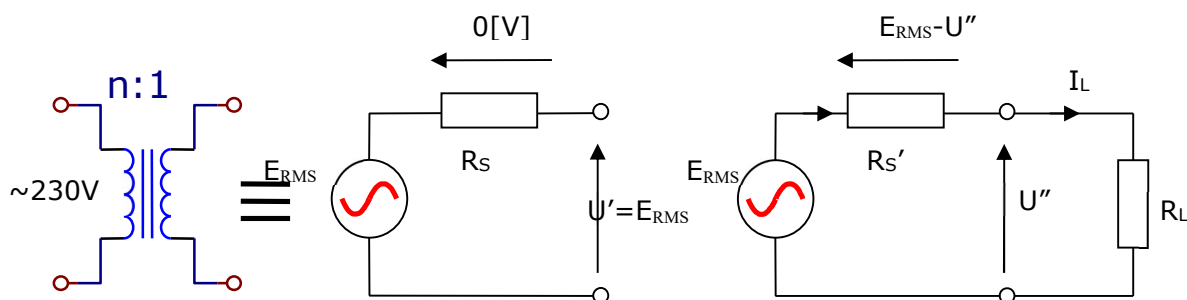
Uwaga: w obliczeniach, do wyznaczonej na podstawie podanych powyżej parametrów wartości rezystancji wewnętrznej transformatora R_s , należy dodać wartość rezystora monitorującego prąd (na schemacie $R1 = 0.47 \Omega$)

$$R_s = R'_s + 0,47 \Omega.$$

4. Przebieg ćwiczenia:

4.1. Wyznaczanie rezystancji wewnętrznej uzwojenia wtórnego transformatora (R_s)

Transformator z punktu widzenia zacisków wyjściowych jest dwójnikiem, który (z twierdzenia Thevenina !!!!) można przedstawić jako źródło napięciowe z rezystancją wewnętrzną (Rys.4).



Rys. 4. Transformator sieciowy i równoważny mu schemat zastępczy uzwojenia wtórnego

Pomiar rezystancji R_S' polega na pomiarze siły elektromotorycznej E za pomocą woltomierza o bardzo dużej rezystancji wewnętrznej (uniwersalny miernik cyfrowy ma rezystancję rzędu $10\text{M}\Omega$). Na zaciskach transformatora nieobciążonego otrzymujemy wynik $U' = E$ (końcówki transformatora A i B lub para C i D – Rys.3). Po obciążeniu transformatora znaną rezystancją R_L , o wartości rzędu 50 do 100Ω , mierzymy napięcie U'' . W tym pomiarze otrzymamy wynik mniejszy o spadek napięcia na rezystorze R_S' . Spadek ten wynosi

$$E - U'' = R_S' \cdot I_L$$

skąd:

$$R_S' = \frac{E - U''}{I_L} = \frac{U' - U''}{I_L} = \frac{U' - U''}{\frac{U''}{R_L}} = R_L \frac{U' - U''}{U''}$$

Dokładną wartość rezystancji obciążenia R_L należy zmierzyć miernikiem uniwersalnym. Wyniki pomiarów należy zebrać w Tabeli 1.

Uwaga: rzeczywista wartość rezystancji szeregowej prostownika musi być powiększoną o rezystancję $R_1 = 0,47\Omega$ wlutowaną na płytce prostownika, przeznaczoną do pomiaru prądu diod.

$$R_S = R_S' + 0.47 \Omega.$$

4.2. Montowanie układu i pomiaru

1. Zmontować należy prostownik, którego parametry zostały obliczone i bez pojemności filtrujących.
2. Na wejście podłączyć transformator, a na wyjście obciążenie R_{01} i włączyć zasilanie.
3. Za pomocą oscyloskopu zaobserwować napięcie wejściowe i wyjściowe prostownika oraz prąd obciążenia (można przyjąć, że prąd odpowiada napięciu wyjściowemu $I_{wyj} = U_{wyj} / R_{obc}$).
4. Korzystając z oscyloskopu i funkcji „pomiaru” zmierzyć parametry i nanieść wyniki do odpowiedniej Tabeli 2-x.
5. Wydrukować przebieg napięcia wyjściowego i prądu diody dla wypełnianej Tabeli 2-x.
6. Pomiar prądu I_{DSURGE} może zostać wykonany z zastosowaniem funkcji „pojedynczego wyzwalania”, oscyloskopu i włączania układu (transformatora); należy wydrukować jeden z zaobserwowanych przebiegów.
7. Czas przewodzenia diody można zmierzyć za pomocą funkcji „kursory” oscyloskopu.
8. Powtórzyć pomiary 2 do 5 dla obciążenia R_{02} .

9. Wlutować pojemność C_1 (mniejszą) i zaobserwować napięcie wyjściowe oraz prąd ładowania kondensatora (pomiar spadku napięcia na rezystorze $R_1=0,47 \Omega$).
10. Używając funkcji „**pomiary**” oscyloskopu uzupełnić dane w odpowiedniej Tabeli 2-x dla C_1-R_{01} , C_1-R_{02} ,
11. Wlutować kondensator C_2 i wykonać pomiary dla $(C_1+C_2)-R_{01}$, $(C_1+C_2)-R_{02}$,
12. Wypełnić 6 tabel z pośród tabel 2-x.

5. Wnioski

1. Dla układu z filtrem pojemnościowym należy:
 - a. Wymienić parametry, które zmieniają się zgodnie z przewidywaniami teoretycznymi, przy wzroście pojemności filtrującej oraz przy wzroście obciążenia (zmniejszeniu rezystancji obciążającej).
 - b. Wymienić parametry, które zmieniły się lub nie zmieniły się i było to niezgodnie z przewidywaniami teoretycznymi.
2. Porównać parametry układu bez filtra pojemnościowego z parametrami układu z filtrem.
3. Jak zmieniają się współczynnik mocy i współczynniki szczytu oraz kształtu prądu diody ?

Tabela 1. Pomiar rezystancji wewnętrznej transformatora.

$U' = E$ [V]	U'' [V]	$E - U''$ [V]	R_L [Ω]	I_L [A]	R_s' [Ω]	R_s' [Ω] obliczone

Tabela 2-1j. Wyniki obliczeń i pomiarów. Siła elektromotoryczna skuteczna transformatora E_{RMS} =.....[V], rezystancja wewnętrzna transformatora R_S =.....[Ω]

	Prostownik jednopołówkowy bez filtra pojemnościowego $R_0 = R_{01} = \dots\dots\dots[\Omega]$	
Parametr	Obliczenia	Wyniki Pomiarów
U_{0AV} [V]		
U_{0MAX} [V]		
U_{0MIN} [V]		
$U_{0RIP(PP)}$ [V]		
U_{0AV} [V]		
U_{0RMS} [V]		
I_{0AV} [A]		
I_{DRMS} [A]		
I_{DMAX} [A]		
CF(I_D) MAX/RMS		
FF(I_D) RMS/ AV		
Δt (czas przewodzenia diody) [ms]		
PF (wsp. mocy)		
P_{R_S} [W]		
I_{DSURGE} [A]		

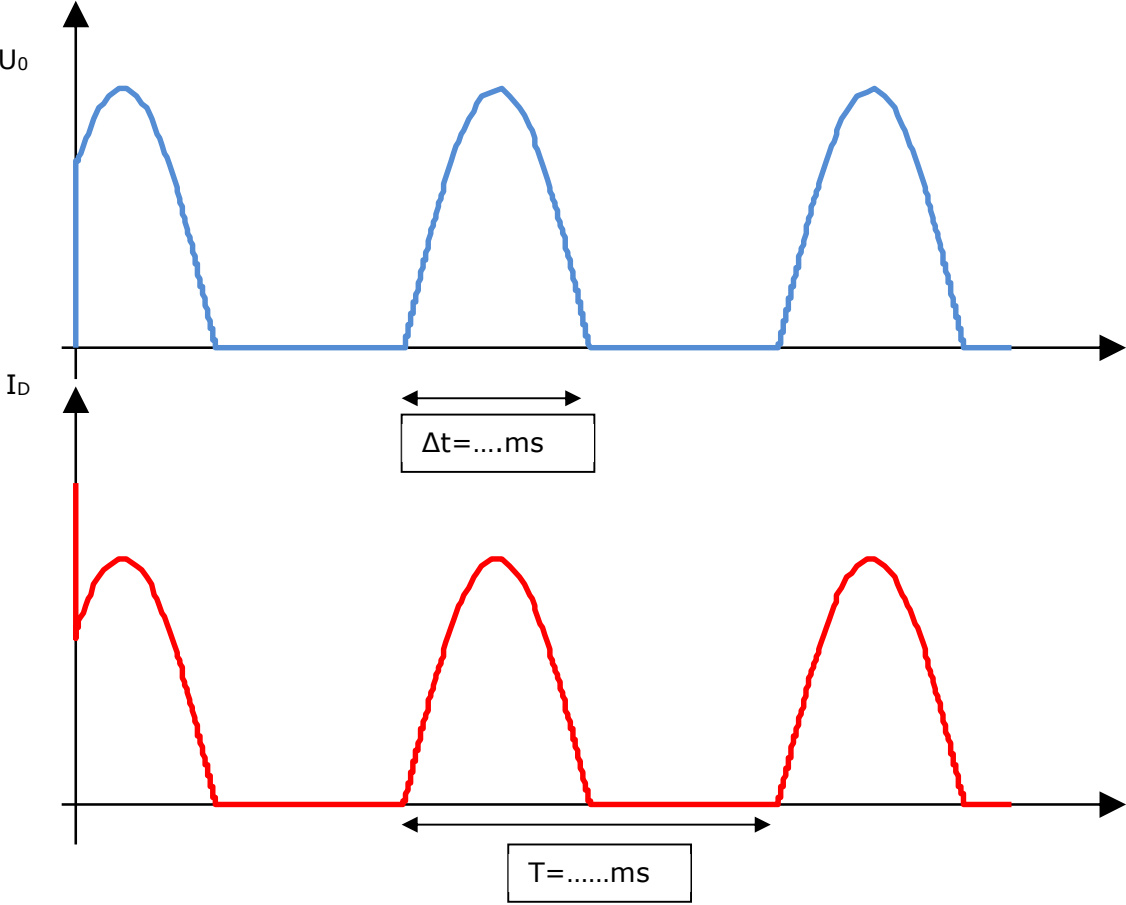


Tabela 2-2j. Wyniki obliczeń i pomiarów. Siła elektromotoryczna skuteczna transformatora E_{RMS} =.....[V], rezystancja wewnętrzna transformatora R_S =.....[Ω]

	Prostownik jednopołówkowy bez filtra pojemnościowego $R_0 = R_{02} = \dots\dots[\Omega]$	
Parametr	Obliczenia	Wyniki pomiarów
U_{0AV} [V]		
U_{0MAX} [V]		
U_{0MIN} [V]		
$U_{0RIP(PP)}$ [V]		
U_{0AV} [V]		
U_{0RMS} [V]		
I_{0AV} [A]		
I_{DRMS} [A]		
I_{DMAX} [A]		
CF(I_D) MAX/RMS		
FF(I_D) RMS/ AV		
Δt (czas przewodzenia diody) [ms]		
PF (wsp. mocy)		
P_{R_S} [W]		
I_{DSURGE} [A]		

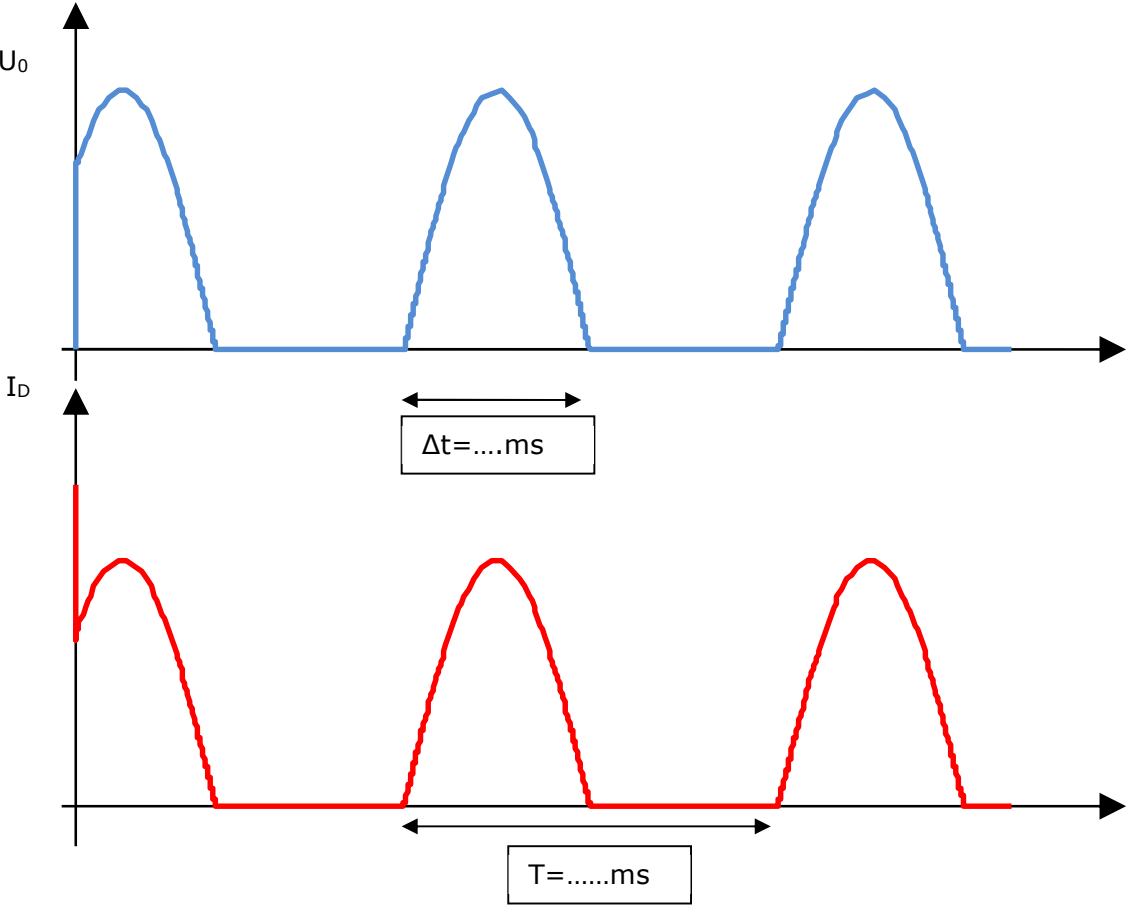


Tabela 2-1d. Wyniki obliczeń i pomiarów. Siła elektromotoryczna skuteczna transformatora E_{RMS} =.....[V], rezystancja wewnętrzna transformatora R_S =.....[Ω]

	Prostownik dwupołkowy bez filtra pojemnościowego	
	$R_0 = R_{01} = \text{.....}[\Omega]$	
Parametr	Obliczenia	Wyniki pomiarów
U_{0AV} [V]		
U_{0MAX} [V]		
U_{0MIN} [V]		
$U_{0RIP(PP)}$ [V]		
U_{0AV} [V]		
U_{0RMS} [V]		
I_{0AV} [A]		
I_{DRMS} [A]		
I_{DMAX} [A]		
$CF(I_D)$ MAX/RMS		
$FF(I_D)$ RMS/ AV		
Δt (czas przewodzenia diody) [ms]		
PF (wsp. mocy)		
P_{R_S} [W]		
I_{DSURGE} [A]		

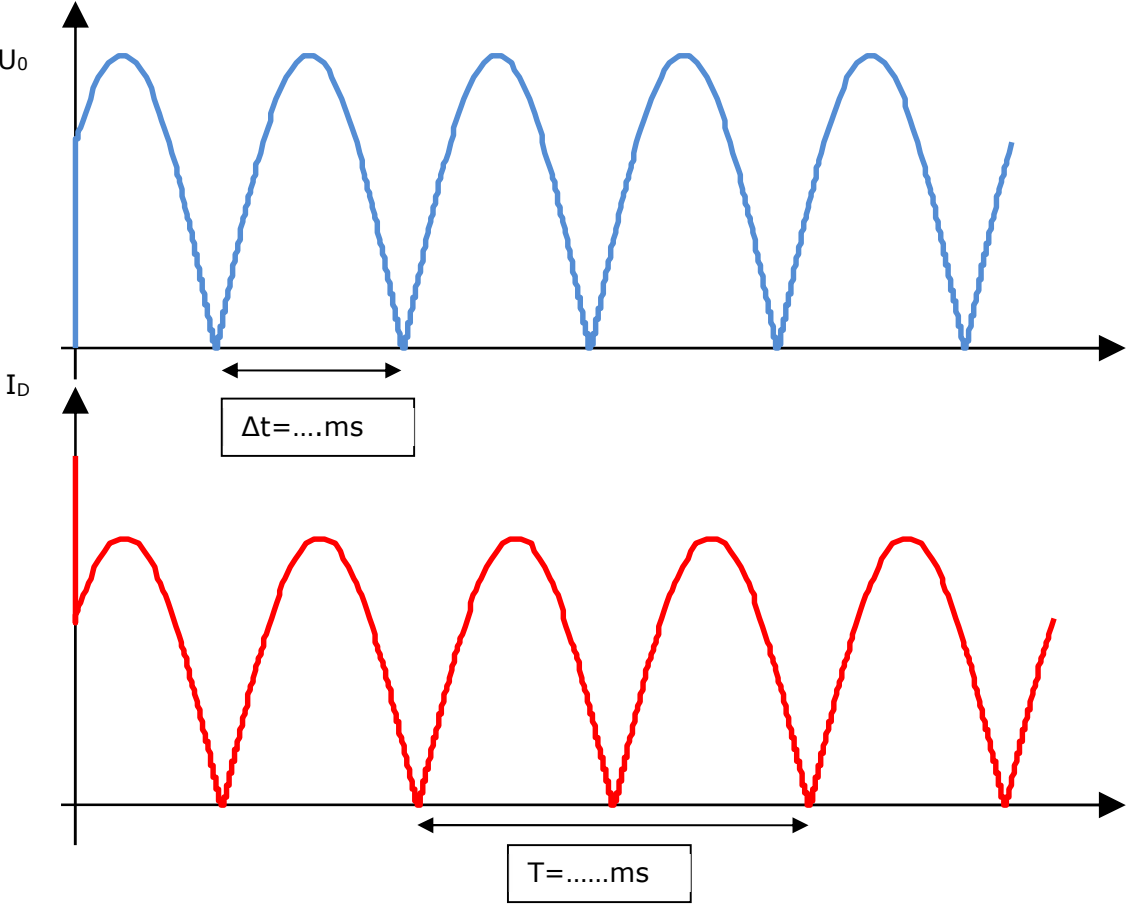


Tabela 2-2d. Wyniki obliczeń i pomiarów. Siła elektromotoryczna skuteczna transformatora $E_{RMS} = \dots\dots\dots [V]$, rezystancja wewnętrzna transformatora $R_s = \dots\dots\dots [\Omega]$

	Prostownik dwupołkowy bez filtra pojemnościowego $R_0 = R_{02} = \dots\dots\dots [\Omega]$	
Parametr	Obliczenia	Wyniki pomiarów
U_{0AV} [V]		
U_{0MAX} [V]		
U_{0MIN} [V]		
$U_{0RIP(PP)}$ [V]		
U_{0AV} [V]		
U_{0RMS} [V]		
I_{0AV} [A]		
I_{DRMS} [A]		
I_{DMAX} [A]		
CF(I_D) MAX/RMS		
FF(I_D) RMS/ AV		
Δt (czas przewodzenia diody) [ms]		
PF (wsp. mocy)		
P_{R_s} [W]		
I_{DSURGE} [A]		

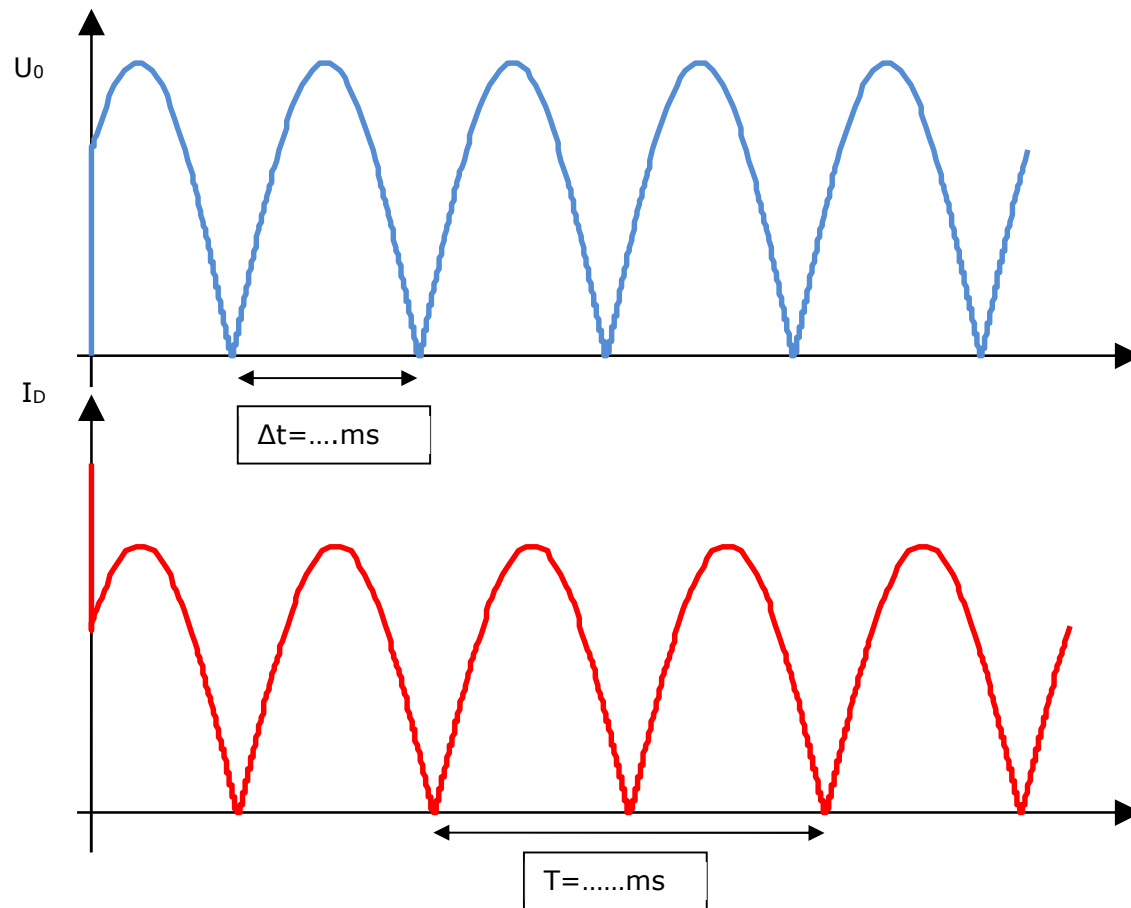


Tabela 2-3. Wyniki obliczeń i pomiarów. Siła elektromotoryczna skuteczna transformatora $E_{RMS} = \dots\dots\dots [V]$, rezystancja wewnętrzna transformatora $R_S = \dots\dots\dots [\Omega]$

	$C = C_1 = \dots\dots\dots [\mu F]$ (najmniejsza wartość)		
	$R_0 = R_{01} = \dots\dots\dots [\Omega]$		
Parametr	Obliczenia analityczne	Analiza graficzna/symulacje	Wyniki pomiarów
U_{00AV} [V]			
U_{0MAX} [V]			
U_{0MIN} [V]			
$U_{0RIP(PP)}$ [V]			
U_{0AV} [V]			
U_{0RMS} [V]			
I_{0AV} [A]			
I_{DRMS} [A]			
I_{DMAX} [A]			
CF(I_D) MAX/RMS			
FF(I_D) RMS/[AV]			
Δt (czas przewodzenia diody) [ms]			
PF (wsp. mocy)			
P_{Rs} [W]			
I_{DSURGE} [A]			

The figure contains two vertically aligned graphs sharing a common horizontal time axis. The top graph plots output voltage U_0 (blue line) against time. It shows a rapid rise from zero to a steady-state value with some high-frequency oscillations. The bottom graph plots diode current I_D (red line) against time. It shows a very sharp initial peak, followed by a period of zero current, and then a series of periodic, roughly triangular pulses. The width of one pulse is indicated by a double-headed arrow and labeled $\Delta t = \dots\dots ms$. The time interval between the start of two consecutive pulses is indicated by a longer double-headed arrow and labeled $T = \dots\dots ms$.

Tabela 2-4. Wyniki obliczeń i pomiarów. Siła elektromotoryczna skuteczna transformatora $E_{RMS} = \dots\dots\dots [V]$, rezystancja wewnętrzna transformatora $R_S = \dots\dots\dots [\Omega]$

$C = C_1 + C_2 = \dots\dots\dots [\mu F]$			
$R_0 = R_{01} = \dots\dots\dots [\Omega]$			
Parametr	Obliczenia analityczne	Analiza graficzna/symulacje	Wyniki pomiarów
U_{0AV} [V]			
U_{0MAX} [V]			
U_{0MIN} [V]			
$U_{0RIP(PP)}$ [V]			
U_{0AV} [V]			
U_{0RMS} [V]			
I_{0AV} [A]			
I_{DRMS} [A]			
I_{DMAX} [A]			
CF(I_D) MAX/RMS			
FF(I_D) RMS/[AV]			
Δt (czas przewodzenia diody) [ms]			
PF (wsp. mocy)			
P_{R_S} [W]			
I_{DSURGE} [A]			

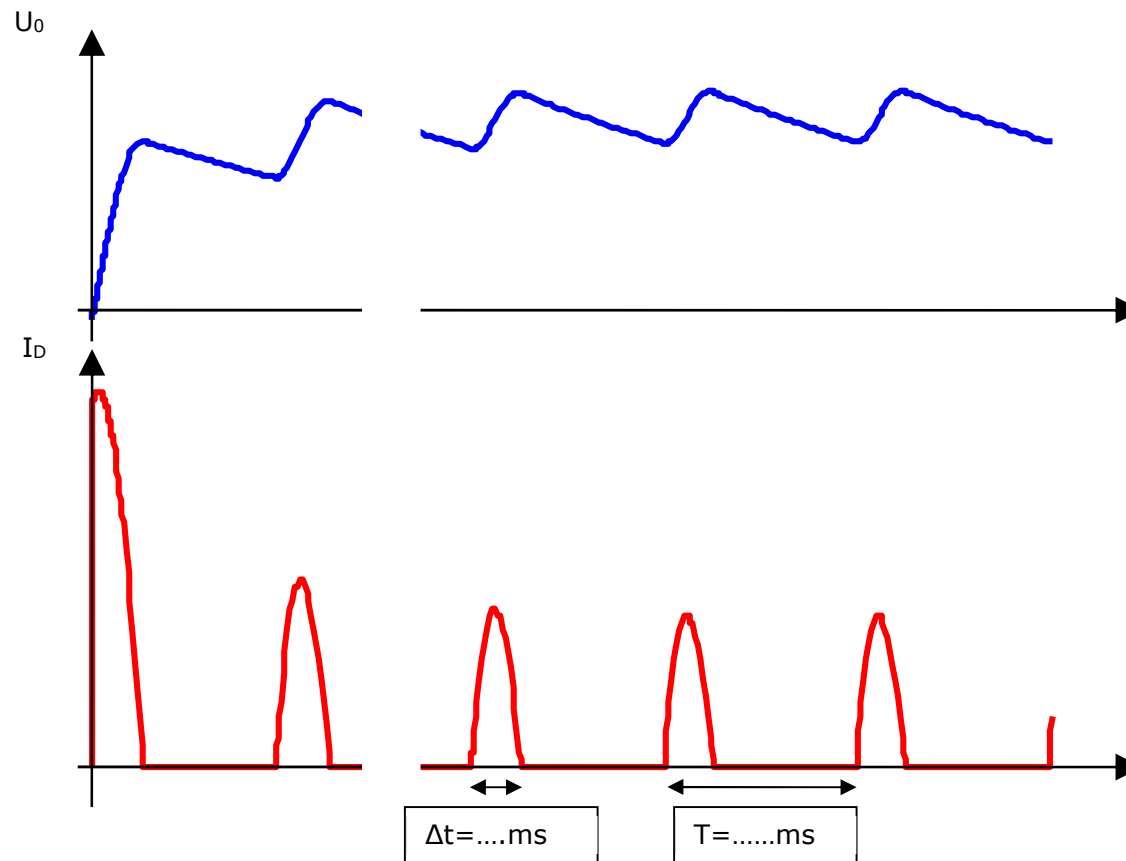


Tabela 2-5. Wyniki obliczeń i pomiarów. Siła elektromotoryczna skuteczna transformatora $E_{RMS} = \dots\dots\dots [V]$, rezystancja wewnętrzna transformatora $R_S = \dots\dots\dots [\Omega]$

$C = C_1 = \dots\dots\dots [\mu F]$ (najmniejsza wartość) $R_0 = R_{02} = \dots\dots\dots [\Omega]$			
Parametr	Obliczenia analityczne	Analiza graficzna/symulacje	Wyniki pomiarów
U_{0AV} [V]			
U_{0MAX} [V]			
U_{0MIN} [V]			
$U_{0RIP(PP)}$ [V]			
U_{0AV} [V]			
U_{0RMS} [V]			
I_{0AV} [A]			
I_{0RMS} [A]			
I_{0MAX} [A]			
CF(I_D) MAX/RMS			
FF(I_D) RMS/[AV]			
Δt (czas przewodzenia diody) [ms]			
PF (wsp. mocy)			
P_{R_S} [W]			
I_{DSURGE} [A]			

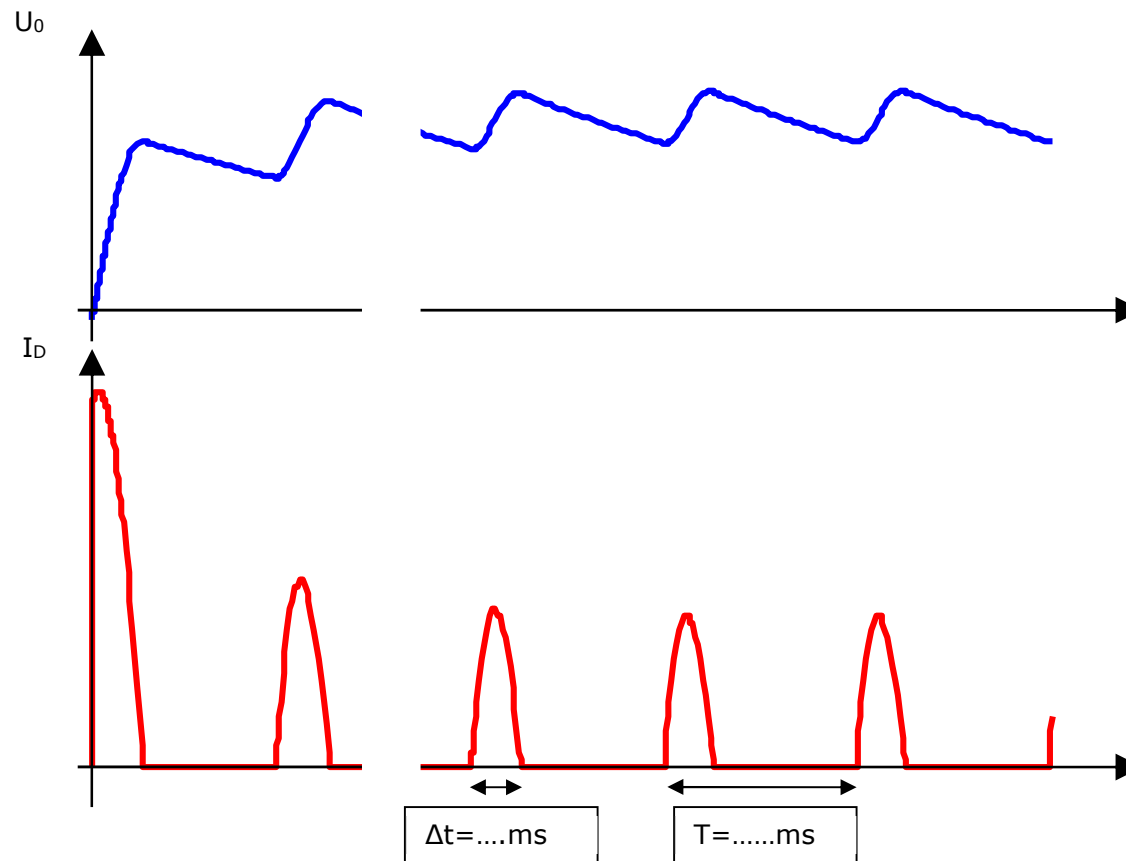


Tabela 2-6. Wyniki obliczeń i pomiarów. Siła elektromotoryczna skuteczna transformatora E_{RMS} =.....[V], rezystancja wewnętrzna transformatora R_s =.....[Ω]

	$C = C_1 + C_2$ =.....[μ F]		
	$R_0 = R_{02}$ =[Ω]		
Parametr	Obliczenia analityczne	Analiza graficzna/symulacje	Wyniki pomiarów
U_{00AV} [V]			
U_{0MAX} [V]			
U_{0MIN} [V]			
$U_{0RIP(PP)}$ [V]			
U_{0AV} [V]			
U_{0RMS} [V]			
I_{0AV} [A]			
I_{DRMS} [A]			
I_{DMAX} [A]			
CF(I_D) MAX/RMS			
FF(I_D) RMS/[AV]			
Δt (czas przewodzenia diody) [ms]			
PF (wsp. mocy)			
P_{Rs} [W]			
I_{DSURGE} [A]			

Tabela 2-zbiorcza. Wyniki obliczeń i pomiarów. Siła elektromotoryczna skuteczna transformatora E_{RMS} =.....[V], rezystancja wewnętrzna transformatora R_s =.....[Ω]

	Bez filtra pojemnościowego				C =[μF] (najmniejsza wartość)			C =[μF]			C =[μF] (najmniejsza wartość)			C =[μF]		
	R ₀ =[Ω]		R ₀ =.....[Ω]		R ₀ =[Ω]			R ₀ = [Ω]			R ₀ = [Ω]			R ₀ = [Ω]		
Parametr	Obliczenia	Wyniki pomiarów	Obliczenia	Wyniki pomiarów	Obliczenia metodą analityczną	Analiza komputerowa lub graficzna	Wyniki pomiarów	Obliczenia metodą analityczną	Analiza komputerowa lub graficzna	Wyniki pomiarów	Obliczenia metodą analityczną	Analiza komputerowa lub graficzna	Wyniki pomiarów	Obliczenia metodą analityczną	Analiza komputerowa lub graficzna	Wyniki pomiarów
U _{00AV} [V]																
U _{0MAX} [V]																
U _{0MIN} [V]																
U _{0RIP(PP)} [V]																
U _{0AV} [V]																
U _{0RMS} [V]																
I _{0AV} [A]																
I _{DRMS} [A]																
I _{DMAX} [A]																
CF(I _D) MAX/RMS																
FF(I _D) RMS/ AV																
Δt (czas przewodzenia diody) [ms]																
PF (wsp. mocy)																
P _{Rs} [W]																
I _{DSURGE} [A]																