

Politechnika Rzeszowska
im. Ignacego Łukasiewicza



Instrukcja do laboratorium

STANY NIEUSTALONE I OBWODY PRĄDU ODKSZTAŁCONEGO

ZAWARTOŚĆ

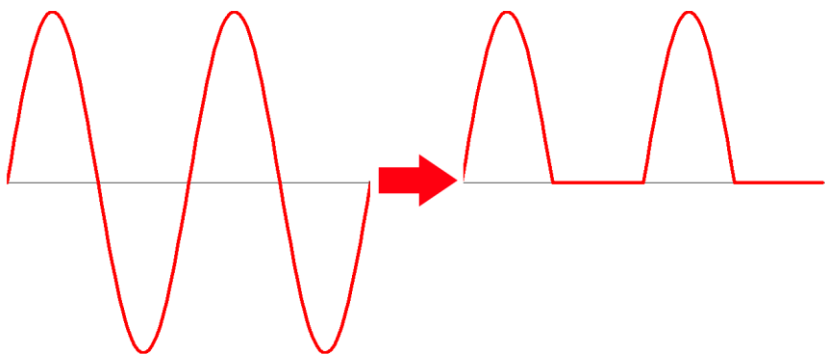
Wprowadzenie	3
Prostownik	3
Układ RC	6
Przebiegi niesinusoidalne (odkształcone)	7
Wartość skuteczna napięcia i prądu w przebiegach odkształconych	8
Moc w przebiegach odkształconych	9
Rozkład sygnału na składowe harmoniczne	9
Elementy składowe modułu	11
Przebieg ćwiczenia	12
Zadanie 1	12
Zadanie 2	14
Zadanie 3	14
Zadanie 4	14
Opracowanie wyników pomiarowych	16

WPROWADZENIE

PROSTOWNIK

Prostownikiem nazywamy urządzenie, które zmienia energię prądu przemiennego w energię prądu stałego, którym zasilane są komponenty elektroniczne.

Najprostszym przykładem prostownika jest prostownik jednopołówkowy. Rezultat działania prostownika jednopołówkowego przedstawiony został na rysunku 1.

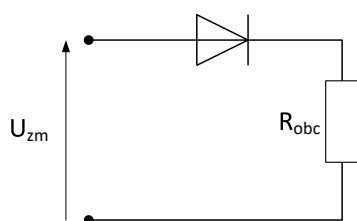


RYСУNEK 1 REZULTAT PROSTOWANIA JEDNOPOŁÓWKOWEGO

Podstawowymi parametrami prostownika, określającymi jego użyteczność i możliwe zastosowania są:

- wartość średnia przebiegu wyprostowanego U_{sr} ,
- wartość skuteczna przebiegu wyprostowanego U_{sk} ,
- współczynnik tętnień t ,
- sprawność η .

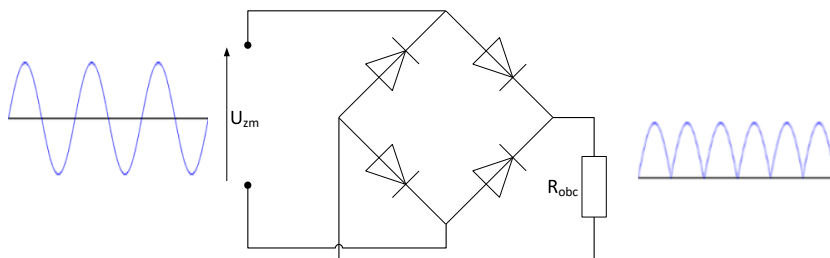
Prostownik jednopołówkowy realizowany jest poprzez wykorzystanie diody, która pozwala na przepływ prądu tylko w jednym kierunku.



RYСУNEK 2 SCHEMAT PROSTOWNIKA JEDNOPOŁÓWKOWEGO

Ze względu na niską sprawność prostownika jednopołówkowego, stosuje się prostowniki dwupołówkowe, które pozwalają na wykorzystanie większej ilości energii doprowadzonej do układu.

Parametry prostowników jedno- i dwupołówkowych przedstawiono w tabeli 1.

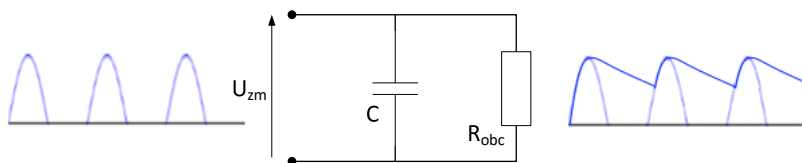


RYSUNEK 3 SCHEMAT PROSTOWNIKA DWUPOŁÓWKOWEGO W UKŁADZIE MOSTKOWYM, WRAZ Z PRZYKŁADOWYM PRZEBIEGIEM WYPROSTOWANYM.

TABELA 1 PARAMETRY NAJPROSTSZYCH PROSTOWNIKÓW

Prostownik	Wartość średnia	Wartość skuteczna	Tętnienia	Sprawność
jednopołówkowy	$U_{\text{sr}} = 0,318 U_{\text{zm}}$	$U_{\text{sk}} = 0,5 U_{\text{zm}}$	$U_t = 0,386 U_{\text{zm}}$	$\eta_p = 0,406$
dwupołówkowy	$U_{\text{sr}} = 0,637 U_{\text{zm}}$	$U_{\text{sk}} = 0,707 U_{\text{zm}}$	$U_t = 0,308 U_{\text{zm}}$	$\eta_p = 0,812$

Aby ograniczyć tętnienia prostownika konieczne jest zastosowanie filtrów dolnoprzepustowych. Najprostsze filtry projektowane są w oparciu o strukturę RC:



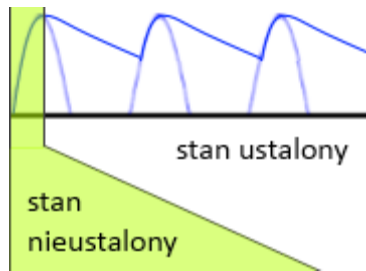
RYSUNEK 4 FILTR DOLNOPRZEPUSTOWY RC WRAZ Z PRZYKŁADEM DZIAŁANIA NA SYGNALE WYPROSTOWANYM JEDNOPOŁÓWKOWO.

Jedną z charakterystycznych cech rzeczywistych obwodów elektrycznych jest zmienność czasowa natężenia prądu i napięcia.

Zazwyczaj obwody rozpatruje się, jako takie, w których prądy i napięcia nie zmieniają się w czasie (DC), lub zmieniają się w charakterystyczny dla obwodu, okresowy sposób (AC). Taki stan obwodów nazywamy **ustalonym** lub **stacjonarnym**.

Jednak nagle, skokowa zmiana warunków pracy układu (taka jak np. zwarcie lub włączenie zasilania) może doprowadzić do pojawienia się w obwodzie zjawisk innych niż stan ustalony. Zjawiska te nazywamy stanami **nieustalonymi** lub **przejściowymi** i występują one pomiędzy kolejnymi stanami ustalonymi obwodu. W zależności od przyczyny, stan nieustalony może być zjawiskiem niepożądanym lub normalnym stanem działania obwodu, jak w prostownikach z filtrami wygładzającymi napięcie lub układach automatycznej regulacji.

Przykładowo w prostowniku jednopołówkowym, diodę prostowniczą możemy traktować, jako klucz, który załącza napięcie zasilania do obciążenia w czasie występowania dodatniej części napięcia zasilania. Podczas pierwszego podłączenia układu do zasilania (kondensator filtrujący jest całkowicie rozładowany) występuje stan nieustalony, natomiast dla kolejnych okresów obserwujemy przebieg odcształcony (zawierający wyższe harmoniczne) w stanie ustalonym.



RYСУNEK 5 STANY NIEUSTALONY I USTALONY

W rzeczywistych obwodach elektrycznych napięcie U oraz natężenie I są sumą dwóch składników, części pochodzącej ze stanu ustalonego i stanu przejściowego:

$$U = U_{ust} + U_{prz} \quad (1)$$

$$I = I_{ust} + I_{prz} \quad (2)$$

Każde zakłócenie w obwodzie powoduje stan nieustalony. Układ fizyczny nazywamy stabilnym, gdy po zakłóceniu wraca do stanu równowagi. W układzie stabilnym stany przejściowe zanikają po upływie wystarczająco długiego czasu, dlatego w układzie stabilnym składowe przejściowe zanikają ($U_{prz} \rightarrow 0, I_{prz} \rightarrow 0$ gdy $t \rightarrow \infty$) a w obwodzie wytwarza się stan ustalony.

Teoretycznie stan przejściowy trwa nieskończenie długo, jednak praktycznie po upływie dostatecznie długiego czasu obwód osiąga stan ustalony. Aby ułatwić analizę stanów nieustalonych zakłada się, że zakłócenie będące źródłem stanu nieustalonego wystąpiło w chwili $t=0$ (stan początkowy).

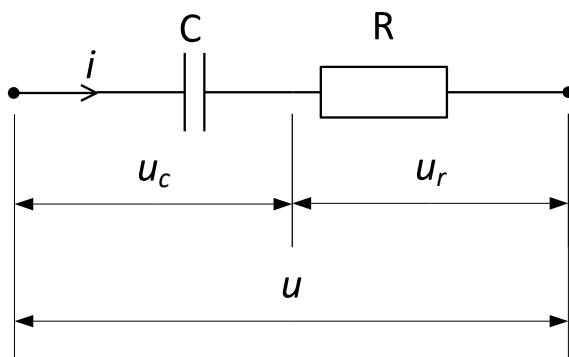
Podstawowymi cechami układów elektrycznych zawierających elementy R , L i C , są dwa warunki wynikające z zasady zachowania energii (warunki ciągłości prądu w cewce i napięcia na kondensatorze):

1. Prąd w cewce musi zmieniać się w sposób ciągły. Skokowa zmiana natężenia prądu w cewce indukowałaby nieskończenie wysoką wartość napięcia, co nie jest możliwe.
2. Napięcie na kondensatorze musi zmieniać się w sposób ciągły.
Skokowa zmiana napięcia na kondensatorze indukowałaby nieskończenie wysoką wartość natężenia prądu, co nie jest możliwe.

Rozpatrując wszystkie cewki i kondensatory w obwodzie otrzymuje się warunki początkowe, konieczne do rozwiązania równań różniczkowych opisujących stan obwodu.

UKŁAD RC

Układem RC nazywamy obwód elektryczny, w skład którego wchodzi rezystor, kondensator oraz źródła zasilania.



RYСУNEK 6 SZEREGOWE POŁĄCZENIE ELEMENTÓW R I C.

Równanie opisujące napięcie w obwodzie wyprowadzone jest w następujący sposób:

$$R \cdot i + u_c = u \quad (3)$$

oraz

$$i = C \frac{du_c}{dt} \quad (4)$$

więc:

$$R \cdot C \frac{du_c}{dt} + u_c = u \quad (5)$$

$$R \cdot C \cdot \frac{du_{cp}}{dt} + u_{cp} = 0 \quad (8)$$

Uprozczone rozwiązanie ogólne powyższego równania nazywane **wzorem Helmholtza**:

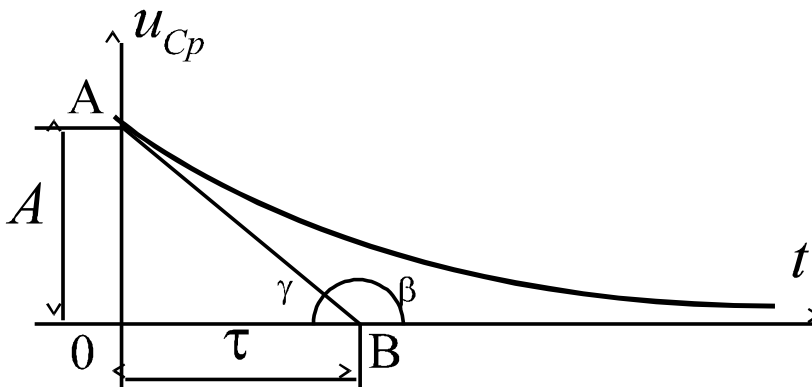
$$u_{cp} = A \cdot e^{-t/\tau} \quad (9)$$

gdzie:

A – stała dowolna,

$\tau - RC$ jest stałą czasową obwodu RC.

Odwrotność stałej czasowej τ , nazywamy stałą tłumienia $\alpha = \frac{1}{RC}$.



RYСУNEK 7 PRZEBIEG NAPIĘCIA PRZEJŚCIOWEGO NA KONDENSATORZE W POŁĄCZENIU SZEREGOWYM ELEMENTÓW R, C.

Stała czasowa, równa podstyczej **OB**, charakteryzuje prędkość zmniejszania się składowej przejściowej u_{Cp} (rys. 8). Stała czasowa τ jest to czas, po upływie którego napięcie u_{Cp} osiągnęłoby wartość równą zero, gdyby prędkość jego zmniejszania była stała i równa prędkości w chwili $t=0$, czyli

$$\left(\frac{du_{Cp}}{dt} \right)_{t=0} = -\frac{A}{RC}.$$

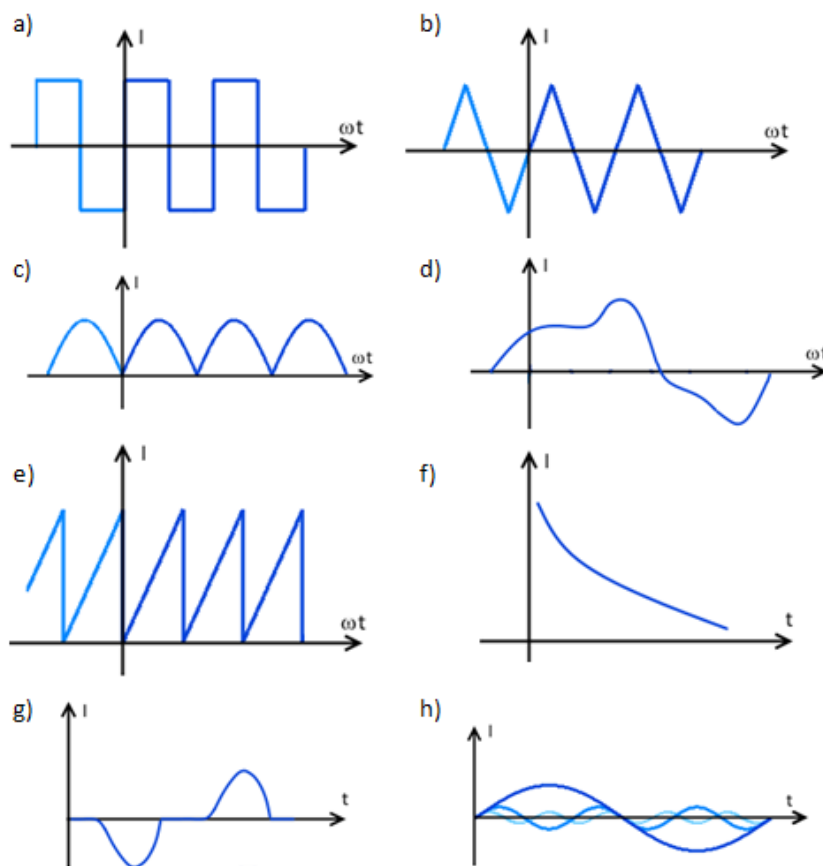
Gdy stała czasowa jest mała (w układzie występuje duże tłumienie), wówczas krzywa wykładnicza jest stroma, wobec czego napięcie u_{Cp} szybko maleje. Jeśli natomiast stała czasowa jest duża (w układzie występuje małe tłumienie), wówczas krzywa wykładnicza jest płaska, więc napięcie u_{Cp} maleje stosunkowo powoli.

PRZEBIEGI NIESINUSOIDALNE (ODKSZTAŁCONE)

Przebiegi odkształcone mogą być zarówno okresowe, jak i nieokresowe. Uzyskuje się je w sposób zamierzony albo wskutek działania określonych czynników. Przykładem może być obwód z prostownikiem zasilony napięciem sinusoidalnym widoczny na rys.9. W efekcie otrzymujemy prąd wyprostowany półfalowo, tętniący i okresowo niesinusoidalny.



RYСУNEK 8 UKŁAD PROSTOWANIA PÓŁFALOWEGO: A) SCHEMAT; B) PRZEBIEG NAPIĘCIA C) PRZEBIEG PRĄDU



RYСУNEK 9 PRZYKŁADY PRZEBIEGÓW ODKSZTAŁCONYCH: A) PRĄD PROSTOKĄTNY; B) PRĄD TRÓJKĄTNY; C) PRĄD TĘTNIĄCY WYPROSTOWANY CAŁOFAŁOWO; D) PRĄD OKRESOWY O DOWOLNEJ ZMIENNOŚCI; E) PRĄD PIŁOKSZTAŁTNY; F) PRĄD NIEOKRESOWY WYKŁADNICZY MAŁEJĄCY; G) PRĄD ODKSZTAŁCONY W OBWODZIE Z TYRYSTOREM; H) HARMONICZNE (1,3,5) PRĄDU Z WYKRESU G

WARTOŚĆ SKUTECZNA NAPIĘCIA I PRĄDU W PRZEBIEGACH ODKSZTAŁCONYCH

Wartość skuteczną napięcia i natężenia prądu okształconego definiowana jest jako pierwiastek z sumy kwadratów składowej stałej oraz wartości skutecznych kolejnych harmonicznych. Harmoniczne wyższych rzędów mają przeważnie wartość skuteczną znacznie mniejszą od pierwszej dlatego nie mają one wielkiego wpływu na wartość skuteczną przebiegu okształconego.

$$U_{sk} = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + \dots + U_n^2} \quad (10)$$

$$I_{sk} = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2} \quad (11)$$

MOC W PRZEBIEGACH ODKSZTAŁCONYCH

Moc czynna w przebiegach odkształconych określana jest jako suma mocy składowej stałej oraz mocy czynnych kolejnych harmonicznych.

$$P = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + \dots + U_n I_n \cos \varphi_n \quad (12)$$

Składnik $U_0 I_0$ traktujemy jako moc składowej stałej, natomiast następne odpowiadają mocom czynnym harmonicznych. Moc czynna pobierana jest wyłącznie przez elementy rezystancyjne dlatego można ją wyznaczyć ze wzoru (13).

$$P = R I_{sk}^2 \quad (13)$$

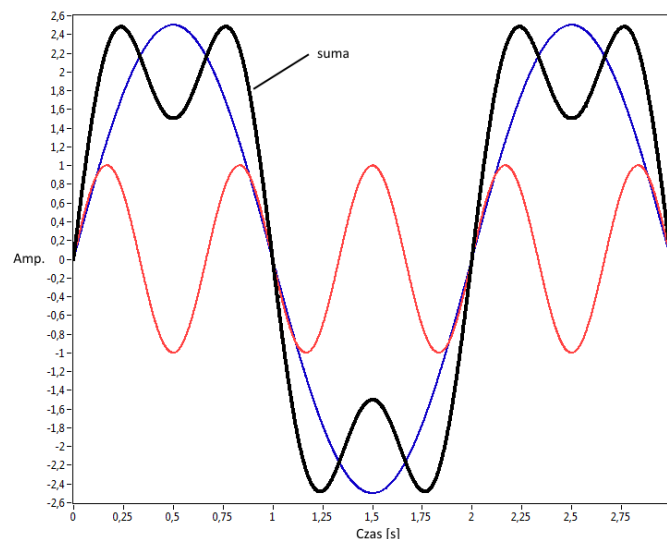
Moc bierna dla przebiegów odkształconych jest równa sumie mocy biernych składowych harmonicznych.

$$Q = U_1 I_1 \sin \varphi_1 + U_2 I_2 \sin \varphi_2 + \dots + U_n I_n \sin \varphi_n \quad (14)$$

Odmienne niż w przypadku przebiegów sinusoidalnych, przy przebiegach odkształconych suma kwadratu mocy bienej i czynnej nie jest równa kwadratowi mocy pozornej.

ROZKŁAD SYGNAŁU NA SKŁADOWE HARMONICZNE

Sygnał sinusoidalny (cosinusoidalny) jest podstawowym sygnałem okresowym. Większość drgań występujących w przyrodzie, takich jak fala światła lub fale pojawiające się na wodzie, ma charakter sinusoidalny. Dobierając i sumując sygnały sinusoidalne o różnych częstotliwościach i amplitudach możliwe jest uzyskanie przeważającej części pozostałych sygnałów okresowych oraz prawie-okresowych.



RYSUNEK 10 SUMA DWÓCH SINUSOID

Można udowodnić, że każdy sygnał okresowy (monotoniczny) da się przedstawić w postaci trygonometrycznego szeregu Fouriera tj. sumy składnika stałego i składowych harmoniczných:

$$x(t) = X_0 + \sum_{k=1}^{\infty} X_k \cos(\omega_k t + \varphi_k) \quad (15)$$

gdzie częstość (pulsacja) każdego składnika harmonicznego wynosi:

$$\omega_k = k\omega_0 = 2\pi k f_0 = 2\pi k / T \quad (16)$$

Częstości te są więc kolejnymi wielokrotnościami pulsacji podstawowej. Amplitudy X_k oraz fazy początkowe φ_k wyznacza się z podstawowych wzorów dla dwuskładnikowego szeregu Fouriera.

$$x(t) = X_0 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos(k\omega_0 t) + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin(k\omega_0 t)$$

$$a_k = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) \cos(k\omega_0 t) dt$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) \sin(k\omega_0 t) dt$$

$$X_0 = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} x(t) dt$$

$$a_k \cos(k\omega_0 t) + b_k \sin(k\omega_0 t) = c_k \cos(k\omega_0 t + \varphi_k)$$

$$c_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad \varphi_k = -\arctg \frac{b_k}{a_k}$$

ELEMENTY SKŁADOWE MODUŁU

W skład modułu do pomiarów przebiegów odkształconych i stanów nieustalonych wchodzi:

Dwa niestabilizowane źródła napięcia zasilania o wartościach wynoszących odpowiednio 12V i 24V. Wybór napięcia zasilania odbywa się przy pomocy przycisku *Voltage Selection*. Napięcia te pochodzą bezpośrednio z zacisków transformatora, dlatego ich tolerancja wartości napięcia wynosi $\pm 20\%$.

Bocznik do pomiaru prądu (Rezystor R_B o wartości 1Ω) który współpracuje z różnicowym wzmacniaczem pomiarowym o wzmocnieniu wynoszącym $1,137\text{ V/V}$ i wyjściu typu *single ended* o maksymalnym napięciu wyjściowym wynoszącym $+16\text{--}8\text{V}$ (zaciski J1 i J2). Pomiaru napięcia na boczniku można dokonać także wykorzystując zewnętrzny woltomierz dołączony do zacisków CON2. Bocznik ten może być zastąpiony zewnętrznym amperomierzem CON1. Zmiany tej dokonuje się za pomocą przycisku Bypass Selection.

Interfejs do pomiaru napięcia wejściowego, z uwzględnieniem spadku napięcia na boczniku do pomiaru prądu, z wyjściem typu *single ended* (zaciski J3 i J4). Wzmocnienie tego modułu wynosi 1 V/V , a maksymalne napięcie wyjście to $\pm 30\text{V}$. Jednocześnie możliwy jest pomiar napięcia z wykorzystaniem zewnętrznego woltomierza dołączonego do zacisków CON3.

Interfejs do pomiaru napięcia na obciążeniu z wyjściem typu *single ended* (zaciski J5 i J6). Wzmocnienie tego modułu wynosi 1 V/V , a maksymalne napięcie wyjście to $\pm 30\text{V}$. Jednocześnie możliwy jest pomiar napięcia z wykorzystaniem zewnętrznego woltomierza dołączonego do zacisków CON4.

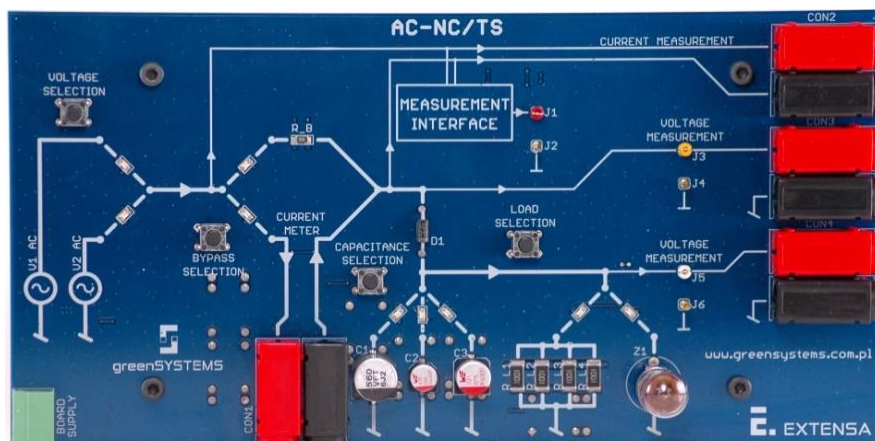
Dwa obciążenia, których zmiana dokonywana jest przy pomocy przełącznika *Load Selection*. W torze pomiarowym, jako obciążenie mogą zostać wykorzystane:

- żarówka Z1,
- rezystory RL_1, RL_2, RL_3 i RL_4 o wartości 1k każdy, połączone równolegle

Prostownik jednopółkowy zrealizowany z wykorzystaniem diody prostowniczej 1n4007 (dioda D1)

Trzy pojemności filtrujące, których zmiany dokonujemy za pomocą przełącznika *Capacity Selection*. W torze pomiarowym, jako pojemność może być wykorzystane:

- Pojemność C1 o wartości $560\mu\text{F}$,
- Pojemność C2 o wartości $47\mu\text{F}$,
- Pojemności C3 o wartości $220\mu\text{F}$.



RYSUNEK 11 MODUŁ AC-NC/TS

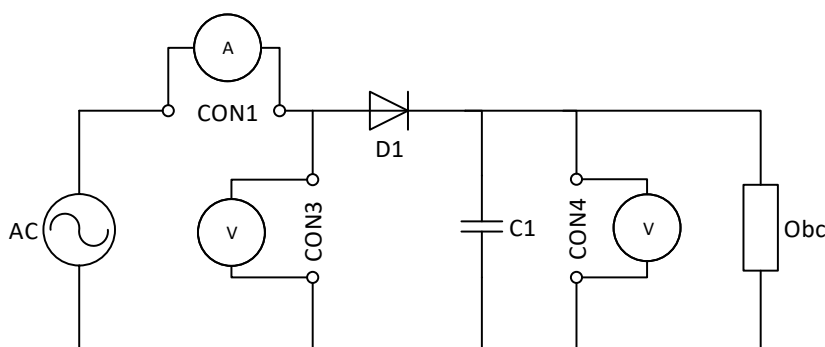
PRZEBIEG ĆWICZENIA

ZADANIE 1

Pomiar natężenia prądu i napięcia w obwodach okształconych w układzie prostownika z kondensatorem filtrującym o pojemności 560uF z wykorzystaniem amperomierza i woltomierzy.

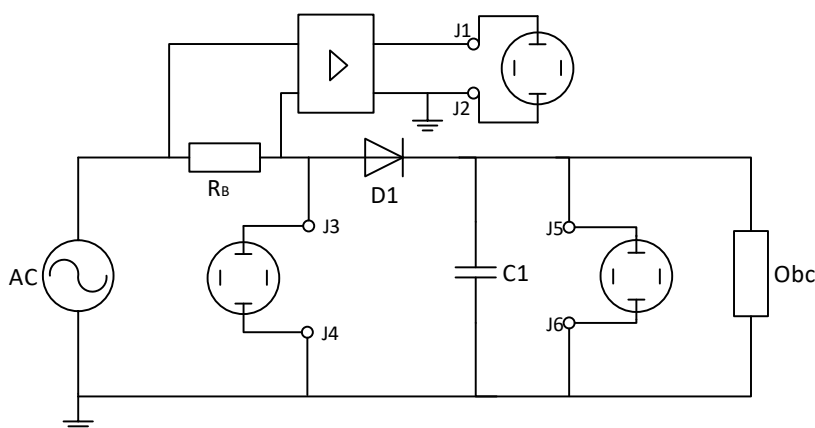
Uwaga: Pomiary przebiegów okształconych mogą być obarczone dużym błędem pomiarowym w przypadku użycia przyrządów o niskiej jakości. Błędy wynikają ze sposobu przetwarzania danych pomiarowych przez przyrządy. W przypadku, gdy mierzony przebieg posiada składową stałą oraz składową zmienną, możliwe jest całkowite zafałszowanie pomiaru. Przyrządy wyższej klasy wyposażone są w funkcję *True RMS*, która zapewnia dokładny pomiar napięcia i natężenia prądu w obwodach okształconych. Jeśli to możliwe zaleca się wykonanie pomiarów w tym punkcie z wykorzystaniem przyrządów wyposażonych w funkcję *True RMS*.

Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 12.



RYСУNEK 12 SCHEMAT OBWODU DO POMIARU Z WYKORZYSTANIEM AMPEROMIERZA

Podłączyć sondy pomiarowe oscyloskopu do styków płytki pomiarowej, tak aby mógł jednocześnie obserwować mierzone parametry na ekranie oscyloskopu (patrz rysunek poniżej).



Wykonać pomiar napięcia wejściowego, wyjściowego i natężenia prądu dla każdego z napięć wejściowych i dla każdego rodzaju obciążenia. Wyniki zanotować w tabeli wraz z informacją o dokładności pomiaru i rozdzielczości wykorzystanych przyrządów pomiarowych.

TABELA 1 WYNIKI POMIARÓW I OBLICZENIA

Napięcie wejściowe [V]	Obciążenie	$U_{in \text{ TRUE RMS}}$ [V]	ΔU_{in} [V]	$U_{out \text{ TRUE RMS}}$ [V]	ΔU_{out} [V]	$I_{\text{TRUE RMS}}$ [A]	ΔI [A]	OBLICZENIA						$\eta = P_{ODB} / P_{ZAS}$
								P_{ZAS} [W]	$U(P_{ZAS})$ [W]	P_{ODB} [W]	$U(P_{ODB})$ [W]	P_{PR} [W]	$U(P_{PR})$ [W]	
12	Ż													
12	R													
24	Ż													
24	R													

Na podstawie danych pomiarowych wykonaj obliczenia.

1. Niepewności pomiarowych pomiarów bezpośrednich napięć i prądu (wykorzystaj zanotowaną rozdzielczość mierników, przykładowo niepewność pomiaru prądu przy założeniu jednostajnego rozkładu prawdopodobieństwa błędu pomiarowego $U(I) = \Delta I / \sqrt{3}$)
2. Oblicz moc dostarczaną do układu P_{ZAS} , moc dostarczaną do odbiornika P_{ODB} oraz moc wydzielaną na prostowniku P_{PR} .
3. Wyznacz niepewności pomiaru mocy.
4. Oblicz sprawność układu.
5. Obliczone wartości umieść w Tabeli 1.

Wykonaj ponownie pomiary napięcia i natężenia prądu z wykorzystaniem wbudowanego bocznika i trzech woltomierzy zestawiając układ jak na rys. 13. Wyniki pomiarów zapisuj w Tabeli 2.

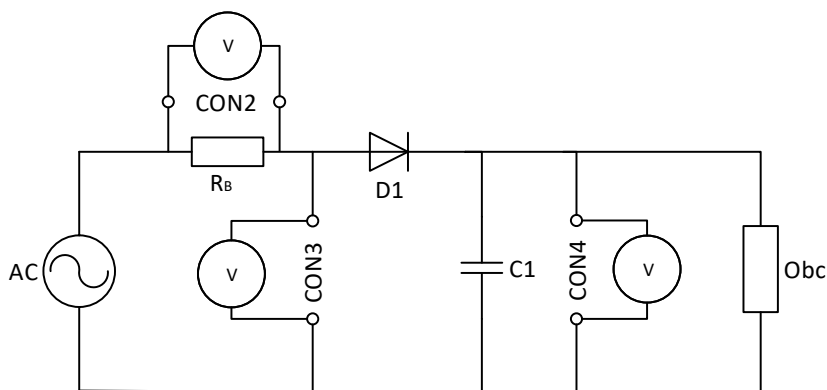
**RYСУNEK 13 SCHEMAT OBWODU DO POMIARU Z WYKORZYSTANIEM TRZECH WOLTOMIERZY.**

TABELA 2 WYNIKI POMIARÓW I OBLICZENIA

Napięcie wejściowe [V]	Obciążenie	$U_{in\ TRUE RMS}$ [V]	ΔU_{in} [V]	$U_{out\ TRUE RMS}$ [V]	ΔU_{out} [V]	$U_{RB\ TRUE RMS}$ [V]	ΔU_{RB} [V]	$I_{TRUE RMS}$ [A]	OBLICZENIA						$\eta = P_{ODB} / P_{ZAS}$
									P_{ZAS} [W]	$U(P_{ZAS})$ [W]	P_{ODB} [W]	$U(P_{ODB})$ [W]	P_{PR} [W]	$U(P_{PR})$ [W]	
12	Ż														
12	R														
24	Ż														
24	R														

Wykonaj jak poprzednio obliczenia i uzupełnij tabelę. Wartości prądu I oblicz korzystając z pomiarów spadku napięcia na boczniku $R_B=1\Omega$.

ZADANIE 2

Pomiar natężenia prądu i napięcia w obwodach okształconych w układzie prostownika z kondensatorem filtrującym o pojemności 47 μ F z wykorzystaniem amperomierza i woltomierzy.

Przełącz pojemność filtrującą na C2. Wykonaj pomiary jak w zadaniu 1. Wykorzystaj ten sam wzór tabel pomiarowo – obliczeniowych.

ZADANIE 3

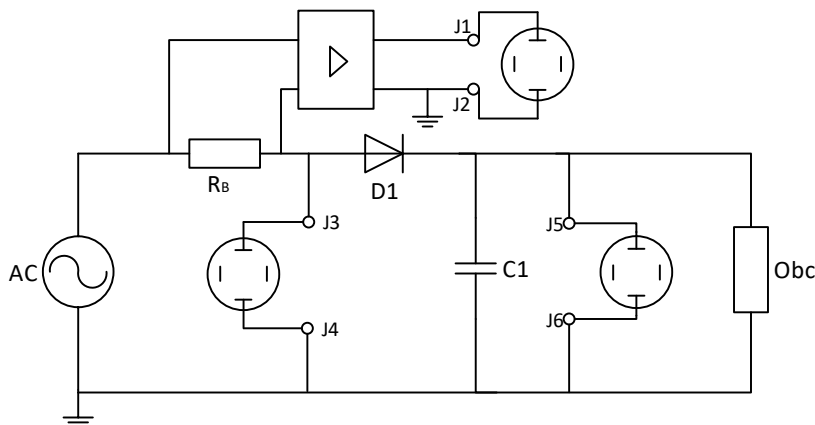
Pomiar natężenia prądu i napięcia w obwodach okształconych w układzie prostownika z kondensatorem filtrującym o pojemności 220 μ F z wykorzystaniem amperomierza i woltomierzy.

Przełącz pojemność filtrującą na C3. Wykonaj pomiary jak w zadaniu 1. Wykorzystaj ten sam wzór tabel pomiarowo – obliczeniowych.

ZADANIE 4

Pomiar napięcia w obwodach okształconych w układzie prostownika z kondensatorem filtrującym o pojemności 560 μ F, 47 μ F i 220 μ F z wykorzystaniem oscyloskopu dwukanałowego.

W punkcie tym dokonamy pomiaru napięcia wejściowego, wyjściowego oraz napięcia na boczniku pomiarowym korzystając z funkcji MEASUREMENT oscyloskopu. Wykonaj pomiar wartości skutecznych i szczytowych wszystkich wyżej wymienionych napięć oraz składowej stałej i składowej zmiennej napięcia wyjściowego. Wyniki zanotuj w tabeli 3.



RYSUNEK 14 SCHEMAT OBWODU DO POMIARU Z WYKORZYSTANIEM OSCYLOSKOPU DWUKANAŁOWEGO

Dodatkowo zapisz w formacie graficznym przebiegi wyżej wymienionych napięć w dziedzinie czasu i częstotliwości (można wykonać zrzut ekranu oscyloskopu na pen-drive lub zrobić zdjęcie smartfonem). Podczas obserwacji przebiegów w dziedzinie częstotliwości należy zanotować poziomy wyższych harmonicznych mierzonych napięć. Obserwacji w dziedzinie częstotliwości dokonać z wykorzystaniem funkcji FFT oscyloskopu.

Uwaga w pomiarach należy uwzględnić całkowite wzmocnienie toru pomiarowego dla każdego z mierzonych parametrów.

TABELA 3 WYNIKI POMIARÓW

Pojemność filtrująca [μF]	Napięcie wejściowe [V]	Obciążenie	$U_{in\ RMS}$ [V]	$U_{in\ PEAK}$ [V]	$U_{RB\ RMS}$ [V]	$U_{RB\ PEAK}$ [V]	$U_{out\ RMS}$ [V]	$U_{out\ AC}$ [V]	$U_{out\ DC}$ [V]	P_{ZAS} [W]	P_{ODB} [W]	P_{PR} [W]	$k = U_{out\ AC} / U_{out\ DC}$ współczynnik tętnień
560	12	Ż											
	12	R											
	24	Ż											
	24	R											
47	12	Ż											
	12	R											
	24	Ż											
	24	R											
220	12	Ż											
	12	R											
	24	Ż											
	24	R											

Wykonaj obliczenia mocy w każdym przypadku i wpisz je do tabeli.

OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIAROWYCH

Każda osoba z zespołu przygotowuje własne sprawozdanie zawierające:

- stronę tytułową (według wzoru z zajęć wprowadzających),
- wstęp teoretyczny zawierających najistotniejsze według osoby przygotowującej sprawozdanie informacje i wzory wykorzystywane w obliczeniach,
- tabele pomiarowo/obliczeniowe,
- pod tabelami obowiązkowo przykładowe obliczenia wyznaczanych parametrów i ich niepewności,
- wnioski i uwagi.

Do teczki zespołu laboratoryjnego należy dołączyć 1 egz. podpisanych przez prowadzącego tabel pomiarowych.

Szczegółowy zakres czynności:

1. Wykonaj obliczenia w tabelach.
2. Porównaj wyniki pomiarowe z zadań 1-3. Zwróć uwagę na wpływ pojemności filtrującej na sprawność układu. Porównaj obie wykorzystane metody. Która z nich wydaje Ci się być lepsza?
2. Dla zadania 4 oblicz moc dostarczaną do układu, pobieraną przez odbiornik i moc wydzieloną w prostowniku oraz oszacować błąd pomiarowy – porównaj z wynikami z punktów 1-3.
3. Obliczyć tętnienia napięć wyjściowych w zadaniu 4.
4. Sformułuj wnioski. Jaki jest wpływ pojemności filtrującej na sprawność układu, współczynnik tętnień i obserwowaną w zadaniu 4 zawartość składowych harmoniczných?