

Diody Półprzewodnikowe

Łukasz Jezapkowicz

3.05.2019

Spis treści

1	Działanie prostownicze diody półprzewodnikowej w obwodzie elektrycznym	2
1.1	Cel ćwiczenia	2
1.2	Przebieg ćwiczenia	2
1.3	Wnioski	4
2	Prostownik jednopółówkowy z filtrem RC na wyjściu	4
2.1	Cel ćwiczenia	4
2.2	Przebieg ćwiczenia	4
2.3	Wnioski	6
3	Prostownik w układzie Graetza	6
3.1	Cel ćwiczenia	6
3.2	Przebieg ćwiczenia	6
3.3	Wnioski	9
4	Detektor szczytowy	9
4.1	Cel ćwiczenia	9
4.2	Przebieg ćwiczenia	9
4.3	Wnioski	11
5	Demodulator diodowy	11
5.1	Cel ćwiczenia	11
5.2	Przebieg ćwiczenia	12
5.3	Wnioski	13
6	Ogranicznik diodowy	14
6.1	Cel ćwiczenia	14
6.2	Przebieg ćwiczenia	14
6.3	Wnioski	16

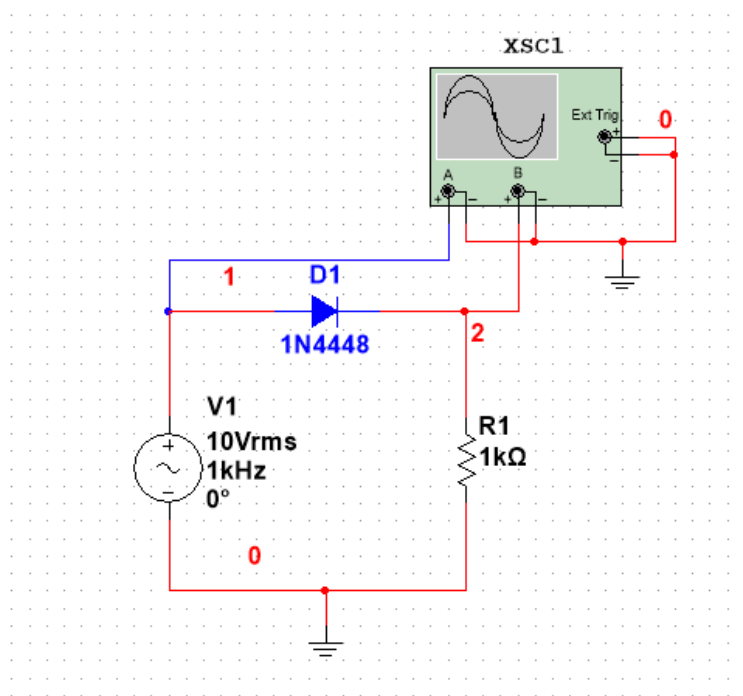
1 Działanie prostownicze diody półprzewodnikowej w obwodzie elektrycznym

1.1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z prostym obwodem elektrycznym z diodą oraz zmierzenie napięcia progowego diody półprzewodnikowej przy pomocy oscyloskopu i analizy Transient.

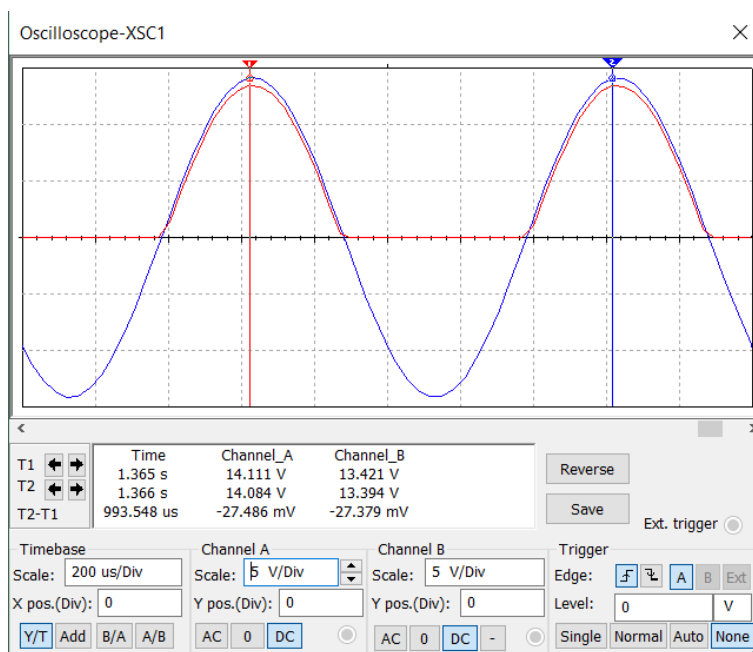
1.2 Przebieg ćwiczenia

Na pulpicie symulacyjnym zbudowałem obwód elektryczny widoczny na **Rys. 1**. Przedstawiony poniżej układ zawiera źródło napięcia zmiennego V_1 o wartości $10V$ i częstotliwości $1kHz$, rezystor R_1 o oporze równym $1k\Omega$ oraz diodę półprzewodnikową D_1 . W celu zbadania napięcia progowego dołączyłem do obwodu oscyloskop $XSC1$.



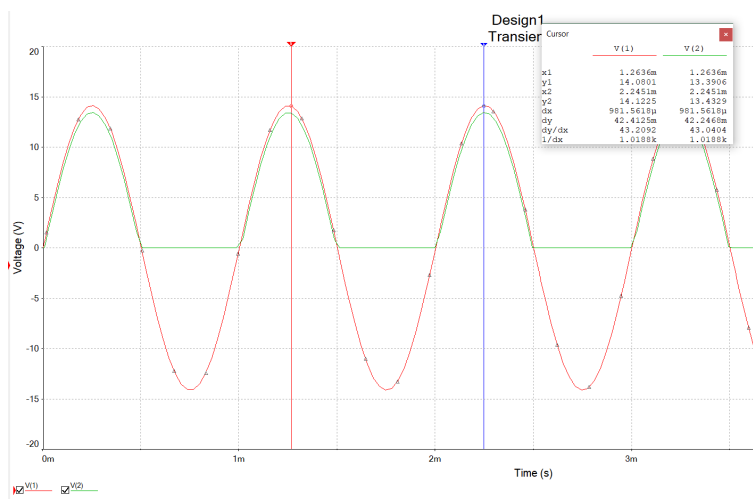
Rys. 1: Schemat obwodu elektrycznego z diodą i dołączonym oscyloskopem.

W celu obliczenia napięcia progowego skorzystam z oscyloskopu a później z analizy Transient i porównam wyniki. By obliczyć napięcie progowe odczytuję różnicę największego napięcia V_1 i największego napięcia V_2 : $V_P = V_1MAX - V_2MAX = 14.111V - 13.421V = 0.69V$. Odczytane napięcia widać na **Rys. 2** poniżej.



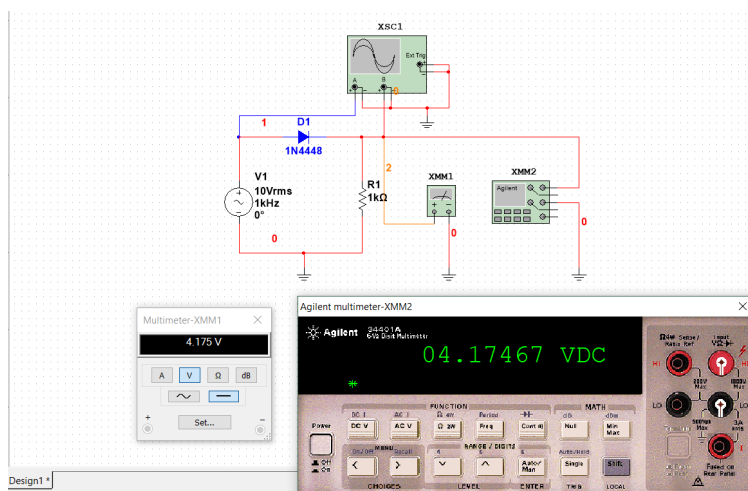
Rys. 2: Ekran oscyloskopu dołączonego do układu z diodą półprzewodnikową.

Teraz zrobię to samo tylko przy pomocy analizy Transient. Wyniki analizy widać na **Rys. 3**. Po odczytaniu największego napięcia V_1 i V_2 : $V_P = V_1 MAX - V_2 MAX = 14.0801V - 13.3906V = 0.6895V$.



Rys. 3: Analiza Transient układu z diodą półprzewodnikową.

Na koniec zmierzylem napięcie średnie U_r . W tym celu dołączyłem do układu multimetr *XMM2* i multimetr agilent *XMM3*. Zmierzone wartości widać na **Rys. 4**.



Rys. 4: Układ z dołączonym multimetrem i multimetrem agilent.

Wyniki moich działań podsumowałem w tabelce widocznej na **Rys. 5**. W tabelce widać również wyniki dla diody podłączonej w kierunku zaporowym.

	Dioda włączona jak na rys. 1	Dioda włączona w kierunku przeciwnym
Napięcie progowe U_p [V]		
a) oscyloskop	0.69	0.689
b) Analiza Transient	0.68955	0.6895
Napięcie średnie wyprostowane [V]	4.17467	-4.17467

Rys. 5: Tabela podsumowująca wyniki ćwiczenia.

1.3 Wnioski

Ćwiczenie pokazuje, że zmierzenie napięcia progowego diody półprzewodnikowej to rzecz szybka i łatwa. Jak widać w tabelce na **Rys. 5** wyniki w analizie Transient i na ekranie oscyloskopu zgadzają się. Napięcie średnie w obwodzie wynosi ok. $4.17V$. Zmierzona wartość napięcia progowego jest bliska rzeczywistości. Wykonane ćwiczenie potwierdza występowanie napięcia progowego w diodzie półprzewodnikowej.

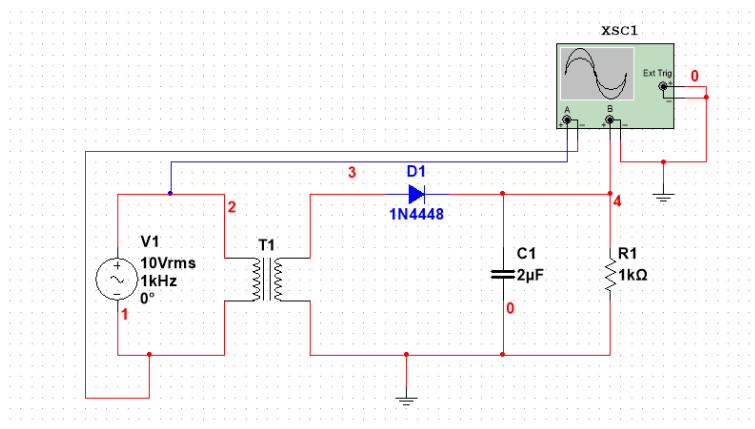
2 Prostownik jednopółkowy z filtrem RC na wyjściu

2.1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z prostym układem elektrycznym z prostownikiem jednopółkowym z filtrem RC oraz wielokrotne zmierzenie napięcia tętnień przy podanych parametrach układu.

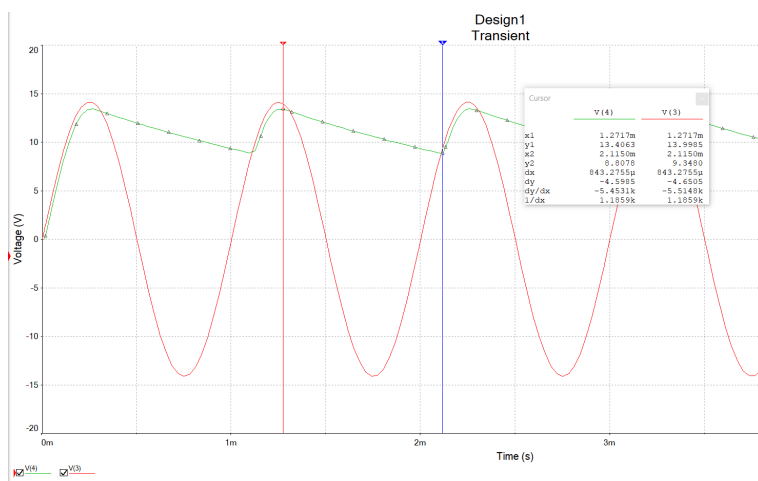
2.2 Przebieg ćwiczenia

Na pulpicie symulacyjnym zbudowałem obwód elektryczny widoczny na **Rys. 6**. Przedstawiony poniżej układ zawiera źródło napięcia zmiennego V_1 o wartości $10V$ i częstotliwości $1kHz$, diodę półprzewodnikową D_1 , kondensator $C_1 = 2\mu F$, rezystor $R_1 = 1k\Omega$ oraz transformator. Do układu podłączyłem również oscyloskop w celu zbadania napięcia tętnień.



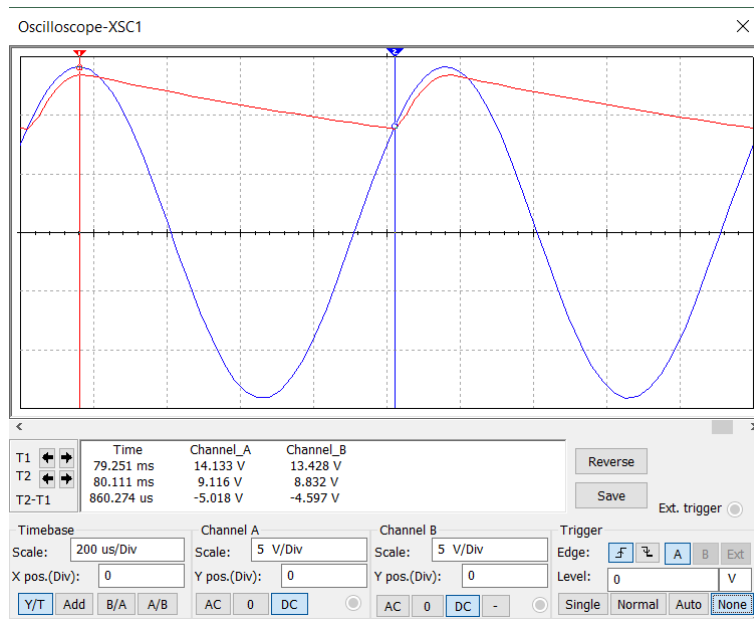
Rys. 6: Schemat obwodu elektrycznego z transformatorem i diodą półprzewodnikową. Układ zawiera również dołączony oscyloskop.

Do obliczenia napięcia tętnień posłużyłem się analizą Transient. Jej wyniki dla obwodu przedstawionego powyżej widoczne są na **Rys. 7**. Napięcie tętnień obliczyłem jako różnicę największego napięcia i najmniejszego napięcia za diodą: $U_T = U_{MAX} - U_{MIN} = 13.4063V - 8.8078V = 4.5985V$.



Rys. 7: Analiza Transient dla obwodu elektrycznego z Rys. 6

W celu sprawdzenia poprawności obliczonego wyniku obliczyłem również napięcie tętnień dla układu z **Rys. 6** za pomocą oscyloskopu. Ekran oscyloskopu widać na **Rys.8**. Napięcie obliczyłem w taki sam sposób: $U_T = U_{MAX} - U_{MIN} = 13.428V - 8.832V = 4.596V$.



Rys. 8: Ekran oscyloskopu podłączonego do obwodu elektrycznego z Rys. 6

Pomiary wykonałem również przy trzech innych sytuacjach: bez kondensatora w obwodzie, z kondensatorem o pojemności $1\mu F$ oraz z kondensatorem o takiej pojemności by napięcie tętnień stanowiło 10 procent wartości maksymalnej napięcia. Taką pojemnością okazało się $8\mu F$. Wyniki wszystkich pomiarów wpisałem do tabelki widocznej na **Rys. 9**.

	$R_1 = 1k\Omega$ bez C_1	$R_1 = 1k\Omega$ $C_1 = 1\mu F$	$R_1 = 1k\Omega$ $C_2 = 2\mu F$	$R_1 = 1k\Omega$ $C_3 = 8\mu F$
Napięcie tętnień U_T [V] zmierzone za pomocą analizy Transient	13.4464	7.2890	4.5985	1.3857

Rys. 9: Tabelka z wynikami pomiarów z różnymi pojemnościami kondensatorów.

2.3 Wnioski

Z powyższej tabelki widać, że po dodaniu kondensatora pojawia się napięcie tętnień będące skutkiem ładowania i rozładowywania kondensatora. Im większa pojemność kondensatora tym mniejsze napięcia tętnień. Wynika to z tego, że kondensator zbiera wtedy większy ładunek. Wraz ze wzrostem rezystancji tętnienia również maleją co wynika z mniejszego prądu w układzie (kondensator wolniej się rozładowuje). Dla oporu $R_1 = 1k\Omega$ i pojemności kondensatora $C_3 = 8\mu F$ napięcia tętnień wynoszą ok. 10 procent wartości maksymalnej.

3 Prostownik w układzie Graetza

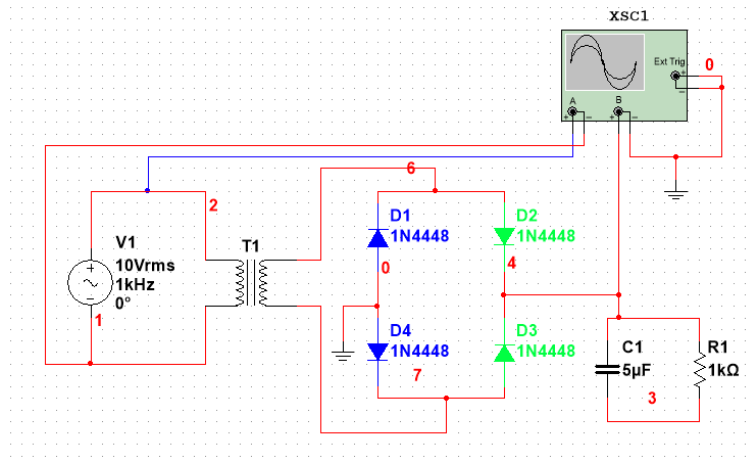
3.1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z prostym układem elektrycznym z prostownikiem dwupołkowym (mostkiem Graetza) oraz wielokrotne zmierzenie napięcia tętnień przy podanych parametrach układu.

3.2 Przebieg ćwiczenia

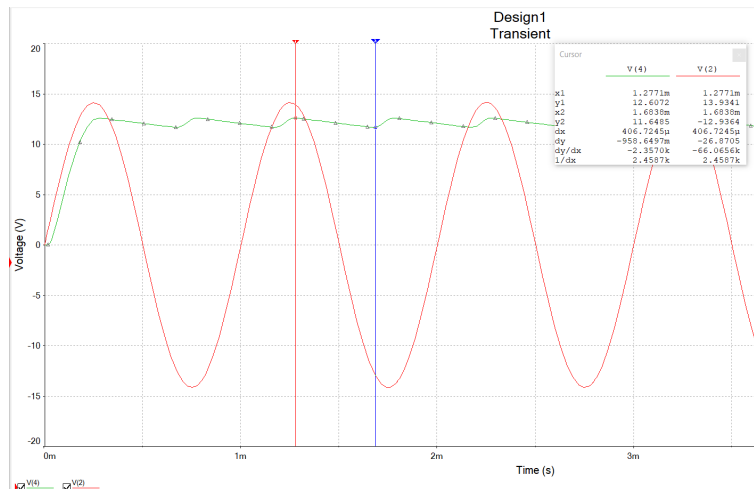
Na pulpicie symulacyjnym zbudowałem obwód elektryczny widoczny na **Rys. 10**. Przedstawiony poniżej układ zawiera źródło napięcia zmiennego V_1 o wartości $10V$ i częstotliwości $1kHz$, 4 diody półprzewodni-

kowe tworzące mostek Graetza, kondensator $C_1 = 5\mu F$, rezystor $R_1 = 1k\Omega$ oraz transformator. Do układu podłączyłem również oscyloskop w celu zbadania napięcia tętnień.



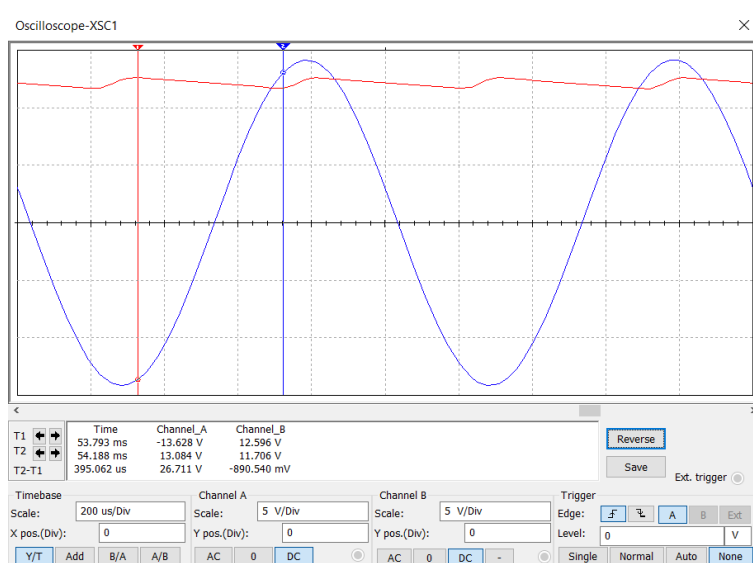
Rys. 10: Schemat obwodu elektrycznego z transformatorem i mostkiem Graetza. Układ zawiera również dołączony oscyloskop.

Do obliczenia napięcia tętnień posłużyłem się analizą Transient. Jej wyniki dla obwodu przedstawionego na **Rys. 10** widoczne są na **Rys. 11**. Napięcie tętnień obliczyłem jako różnicę największego napięcia i najmniejszego napięcia wyjścia: $U_T = U_{MAX} - U_{MIN} = 12.6072V - 11.6485V = 0.9587V$.



Rys. 11: Analiza Transient dla obwodu elektrycznego z Rys. 10

W celu sprawdzenia poprawności obliczonego wyniku obliczyłem również napięcie tętnień dla układu z **Rys. 6** za pomocą oscyloskopu. Ekran oscyloskopu widać na **Rys.8**. Napięcie obliczyłem w taki sam sposób: $U_T = U_{MAX} - U_{MIN} = 12.596V - 11.706V = 0.890V$.



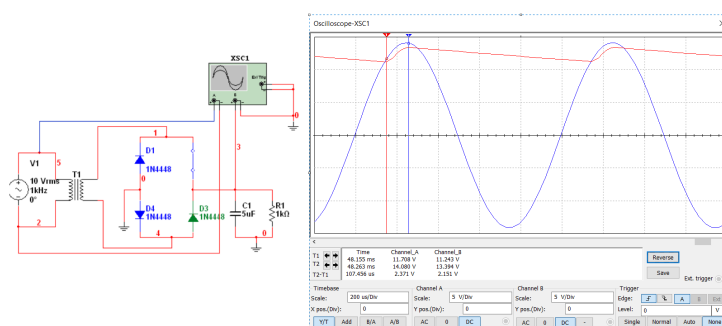
Rys. 12: Ekran oscyloskopu podłączonego do obwodu elektrycznego z Rys. 10

Pomiary wykonałem również przy trzech innych sytuacjach: bez kondensatora w obwodzie, z kondensatorem o pojemności $5\mu F$ i oporem $R_1 = 10k\Omega$ oraz z kondensatorem o takiej pojemności by napięcie tętnień stanowiło 10 procent wartości maksymalnej napięcia. Taką pojemnością okazało się $3.8\mu F$. Wyniki wszystkich pomiarów wpisałem do tabelki widocznej na **Rys. 13**.

	$R_1 = 1k\Omega$ bez C_1	$R_1 = 1k\Omega$ $C_1 = 5\mu F$	$R_1 = 1k\Omega$ $C_2 = 3.8\mu F$	$R_1 = 10k\Omega$ $C_3 = 5\mu F$
Napięcie tętnień U_T [V] zmierzone za pomocą analizy Transient	12.6153	0.9587	1.2415	0.1220

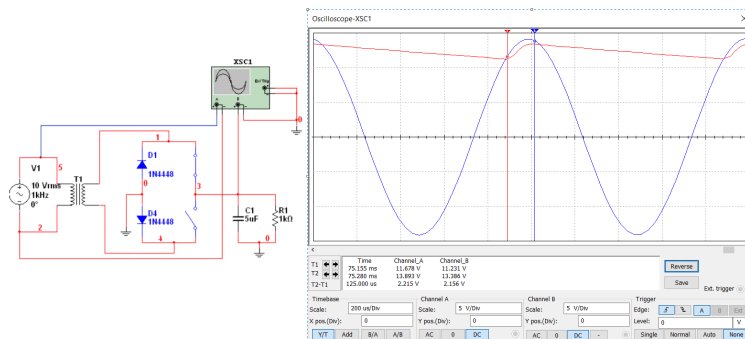
Rys. 13: Tabelka z wynikami pomiarów z różnymi pojemnościami kondensatorów.

Przeanalizowałem również trzy możliwe uszkodzenia układu.



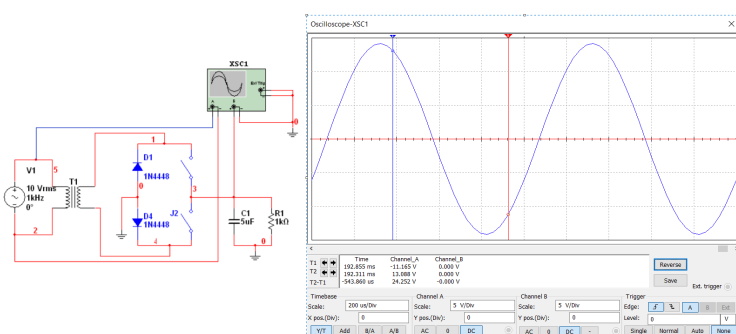
Rys. 14: Uszkodzenie diody w gałęzi mostka - wariant a.

W przypadku a) przebieg napięcia za prostownikiem jest taki sam jak dla prostownika jednopołówkowego.



Rys. 15: Uszkodzenie diody w gałęzi mostka - wariant b.

W przypadku b) przebieg napięcia za prostownikiem jest również taki sam jak dla prostownika jednopołówkowego.



Rys. 16: Uszkodzenie diody w gałęzi mostka - wariant c.

W przypadku c) obwód jest otwarty więc napięcie za prostownikiem jest zawsze równe zero.

3.3 Wnioski

Prostownik w układzie Graetza działa w taki sam sposób jak prostownik jednopołówkowy, lecz wykorzystuje on również ujemną część przebiegu. Zachodzi to samo zjawisko co w poprzednim ćwiczeniu. Czym większa pojemność tym mniejsze tętnienia oraz czym większy opór tym mniejsze tętnienia (kondensator szybciej się ładuje). Możliwe uszkodzenia pokazały, że z owego układu można stworzyć prostownik jednopołówkowy (sytuacje a) i b)) lub prąd może nie płynąć w ogóle (sytuacja c)).

4 Detektor szczytowy

4.1 Cel ćwiczenia

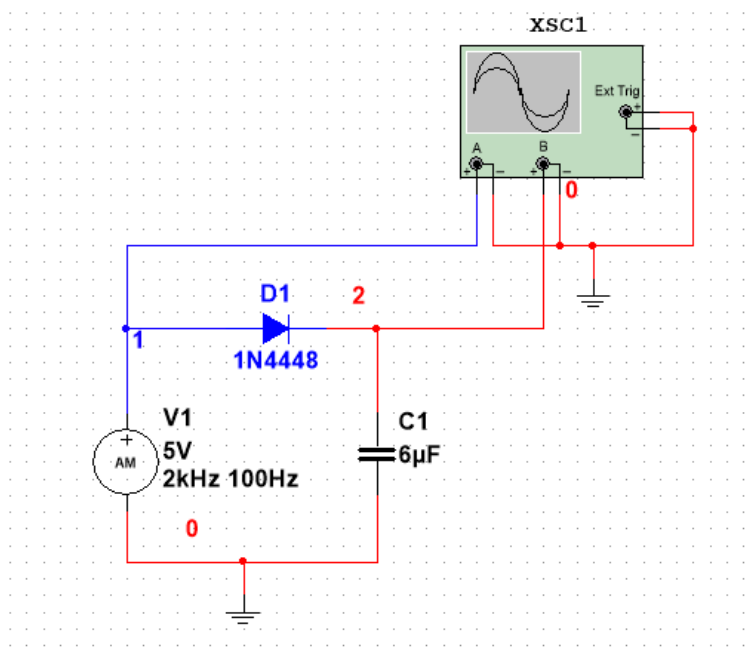
Celem ćwiczenia było zapoznanie się z prostym detektorem szczytowym i przeanalizowanie jego działania.

4.2 Przebieg ćwiczenia

Detektor szczytowy wykorzystuje własności diody półprzewodnikowej i kondensatora. Napięcie na kondensatorze jest wprost proporcjonalne do zgromadzonego na nim ładunku elektrycznego. Dioda prostownicza umożliwia dopływ ładunku do kondensatora co sprawia, że ładunek kondensatora nie zmniejsza się. Dopóki napięcie wejściowe obwodu detektora jest większe niż napięcie na kondensatorze to ładunek dopływa do kondensatora - dioda prostownicza jest wtedy spolaryzowana w kierunku przewodzenia. Dzieje się tak

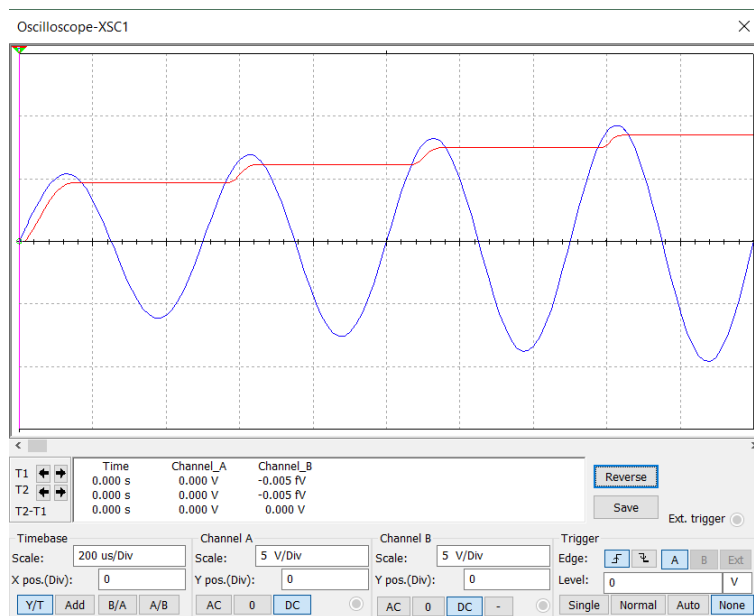
aż napięcie na kondensatorze zrówna się z napięciem wejściowym. Gdy napięcie na kondensatorze będzie większe od wejściowego to dioda będzie spolaryzowana w kierunku zaporowym, a więc prąd w obwodzie nie będzie płynął, a ładunek na kondensatorze będzie stały. Umożliwia to pomiar największego dotychczas napięcia źródła.

Na pulpicie symulacyjnym zbudowałem obwód elektryczny widoczny na **Rys. 17**. Przedstawiony poniżej układ zawiera źródło napięcia AM o wartości $V_1 = 5V$, diodę prostowniczą D_1 oraz kondensator o pojemności $6\mu F$. Do układu podłączyłem również oscyloskop w celu zbadania napięcia na kondensatorze.

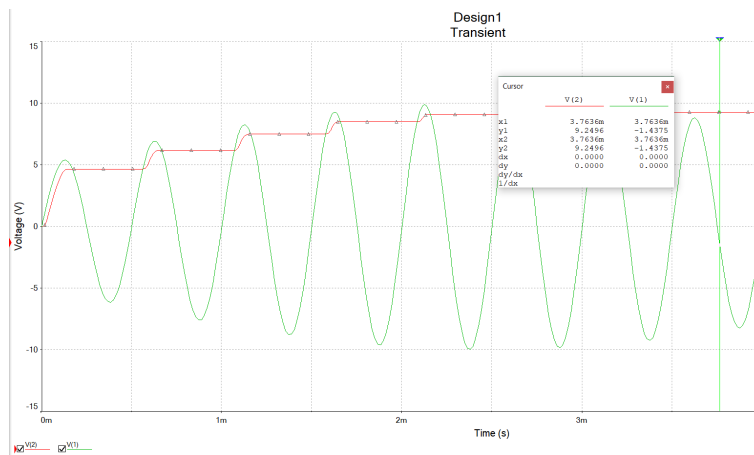


Rys. 17: Schemat detektora szczytowego. Układ zawiera również dołączony oscyloskop.

W celu zbadania napięcia na kondensatorze użyłem oscyloskopu oraz analizy Transient. Ekran oscyloskopu widać na **Rys. 18** zaś wyniki analizy Transient widoczne są na **Rys. 19**. W obu przypadkach napięcie na kondensatorze zaznaczone jest kolorem czerwonym zaś napięcie wejściowe - niebieskim.



Rys. 18: Ekran oscyloskopu podłączonego do detektora szczytowego z Rys. 17



Rys. 19: Wyniki analizy Transient detektora szczytowego z Rys. 17

4.3 Wnioski

Wyniki ćwiczenia pokazują, że detektor szczytowy działa prawidłowo. Napięcie na kondensatorze w danej chwili jest równe maksymalnemu do tej pory napięciu wejściowemu, pomniejszonemu o napięcie progowe diody półprzewodnikowej (ok. $0.7V$). Zastosowanie dwóch metod pomiaru pozwoliło upewnić się co do poprawności obwodu.

5 Demodulator diodowy

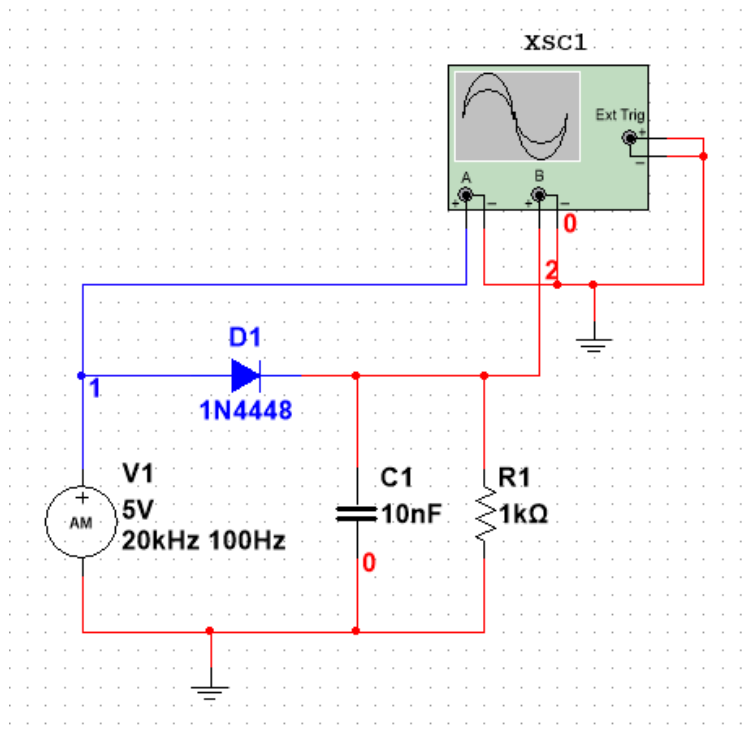
5.1 Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia było zapoznanie się z prostym demodulatorem diodowym i zbadanie dla jakiej rezystancji obwód działa poprawnie.

5.2 Przebieg ćwiczenia

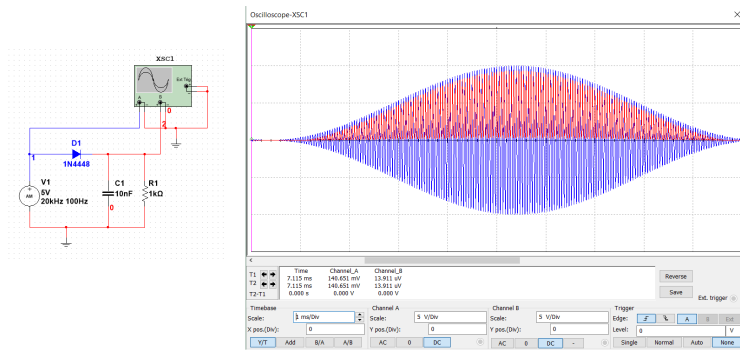
Układ demodulatora diodowego jest bardzo podobny do układu detektora szczytowego, z tą różnicą, że dodany został opornik. Układ ten ma na celu demodulację sygnału wejściowego, w którym kodowanie informacji oparte jest na zmianach w amplitudzie fali przenoszącej sygnał. Opornik rozładowuje kondensator tak by ten odbierał kolejne maksymalne wartości sygnału na wejściu. W ten sposób otrzymuje się sygnał po demodulacji, czyli odkodowaną informację.

Na pulpicie symulacyjnym zbudowałem obwód elektryczny widoczny na **Rys. 20**. Przedstawiony poniżej układ zawiera źródło napięcia AM o wartości $V_1 = 5V$, diodę prostowniczą D_1 , kondensator o pojemności $10nF$ oraz opornik $R_1 = 1k\Omega$. Do układu podłączyłem również oscyloskop w celu zbadania napięcia na kondensatorze.

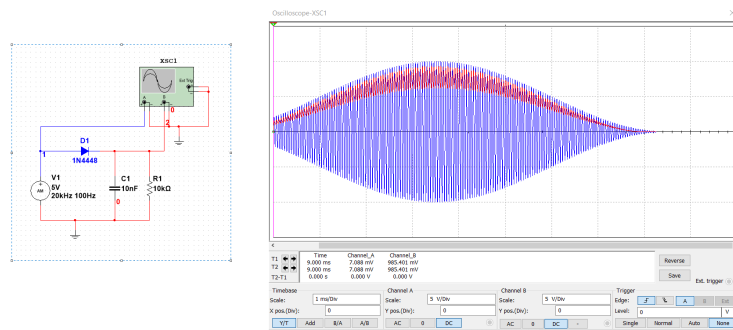


Rys. 20: Schemat demodulatora diodowego. Układ zawiera również dołączony oscyloskop.

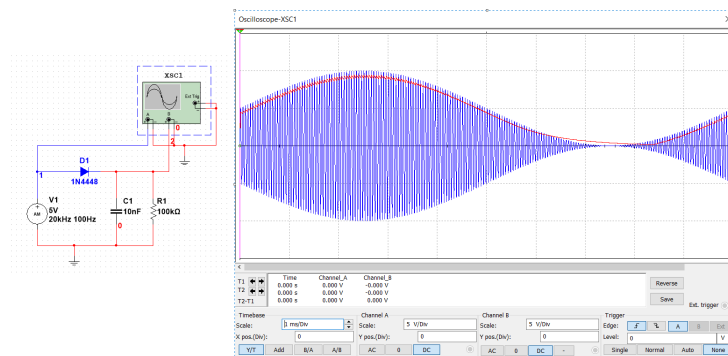
Sprawdziłem działanie układu demodulatora diodowego na trzech różnych wartościach rezystancji opornika. Na **Rys. 21**, **Rys. 22**, **Rys. 23** pokazałem odpowiedni układ i wyniki pomiarów oscyloskopu dla odpowiednio $R_1 = 1k\Omega$, $R_1 = 10k\Omega$, $R_1 = 100k\Omega$. Na każdym rysunku napięcie na źródle jest zaznaczone kolorem niebieskim, napięcie na oporniku kolorem czerwonym. Jak widać, jedynie dla oporu $R_1 = 100k\Omega$ układ demodulatora działa prawidłowo, w innych przypadkach napięcie tętnień jest zbyt duże.



Rys. 21: Schemat demodulatora diodowego z oporem $R_1 = 1k\Omega$. Obok układu pokazany ekran oscyloskopu.



Rys. 22: Schemat demodulatora diodowego z oporem $R_1 = 10k\Omega$. Obok układu pokazany ekran oscyloskopu.



Rys. 23: Schemat demodulatora diodowego z oporem $R_1 = 100k\Omega$. Obok układu pokazany ekran oscyloskopu.

5.3 Wnioski

Zbudowany układ demodulatora diodowego nie działał poprawnie dla rezystancji $1k\Omega$ i $10k\Omega$ ponieważ napięcie tętnień było zbyt duże. Poprawne działanie demodulatora udało się uzyskać dopiero dla oporu $100k\Omega$. Przebieg napięcia na oporniku był wtedy zbliżony do sygnału źródłowego (modulującego) pomniejszonego o napięcie progowe diody półprzewodnikowej. Widać więc, że dla odpowiedniej wartości można użyć układu demodulatora diodowego do zmierzenia napięcia progowego diody.

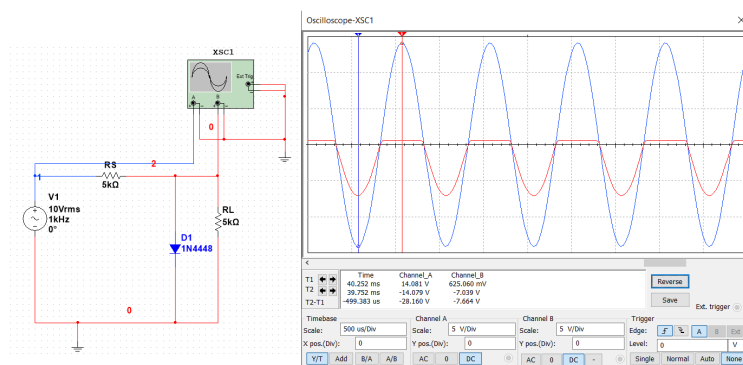
6 Ogranicznik diodowy

6.1 Cel ćwiczenia

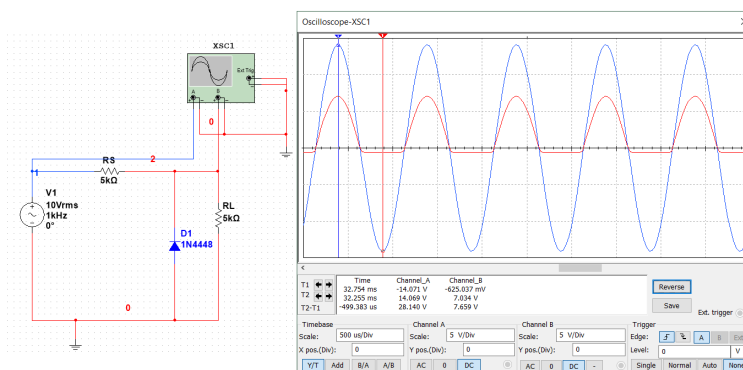
Celem ćwiczenia było zapoznanie się z układami ogranicznika diodowego z użyciem diody półprzewodnikowej oraz źródła stałego napięcia.

6.2 Przebieg ćwiczenia

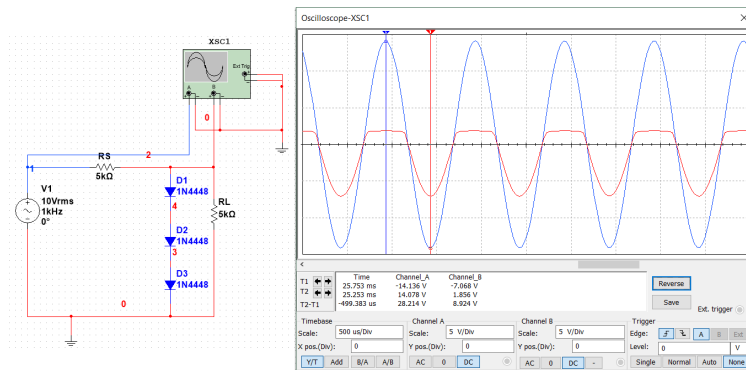
Na pulpicie symulacyjnym zbudowałem kilka wersji obwodu ogranicznika diodowego. Obwody różniły się liczbą zastosowanych diód, kierunkiem przewodzenia oraz obecności dodatkowego źródła napięcia polaryzującego. Każdy z obwodów składał się ze źródła napięcia zmiennego $V_1 = 10V$, diód półprzewodnikowych D_1 (D_2 , D_3), oraz dwóch oporników o wartościach rezystancji $5k\Omega$, jednego podłączonego szeregowo do diody, drugiego równolegle. Do układów podłączyłem również oscyloskop w celu zbadania napięcia na wejściu i wyjściu układu. Na ekranie oscyloskopu obserwowałem przebieg napięcia wejściowego i napięcia wyjściowego układu. Odpowiednie układy i ekrany oscyloskopów widać na **Rys. 24**, **Rys. 25**, **Rys. 26**, **Rys. 27**, **Rys. 28**, **Rys. 29**.



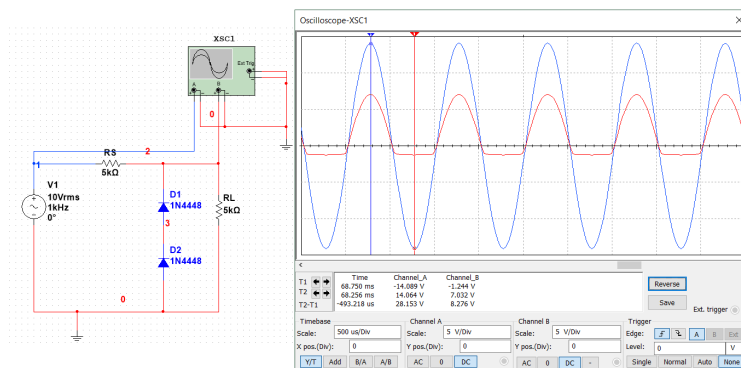
Rys. 24: Schemat ogranicznika diodowego z jedną diodą - wersja 1. Obok układu pokazany ekran oscyloskopu.



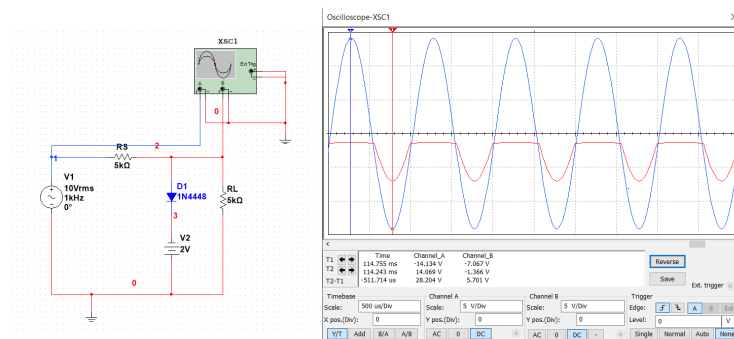
Rys. 25: Schemat ogranicznika diodowego z jedną diodą - wersja 2. Obok układu pokazany ekran oscyloskopu.



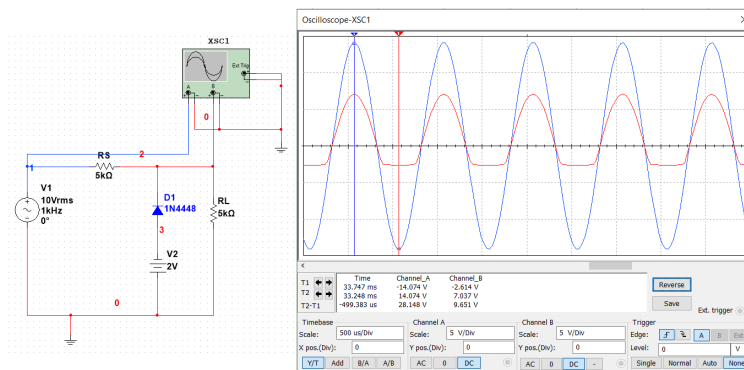
Rys. 26: Schemat ogranicznika diodowego z trzema diodami. Obok układu pokazany ekran oscyloskopu.



Rys. 27: Schemat ogranicznika diodowego z dwoma diodami. Obok układu pokazany ekran oscyloskopu.



Rys. 28: Schemat ogranicznika diodowego z diodą i dodatkowym źródłem napięcia polaryzującego - wersja 1. Obok układu pokazany ekran oscyloskopu.



Rys. 29: Schemat ogranicznika diodowego z diodą i dodatkowym źródłem napięcia polaryzującego - wersja 2. Obok układu pokazany ekran oscyloskopu.

6.3 Wnioski

Pokazane układy diód prostowniczych oraz źródeł napięcia polaryzującego służą do ograniczania napięcia na wyjściu układu dla obu biegunowości. Przy dobraniu odpowiednich parametrów obwodu (liczba diód półprzewodnikowych, ich kierunek przewodzenia, obecność dodatkowego źródła napięcia) możliwe jest uzyskanie przebiegu, którego jedna część ma charakter sinusoidalny, a druga ma charakter napięcia stałego.