

Ćwiczenie - 2

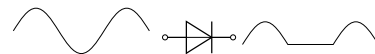
DIODA - PARAMETRY, CHARAKTERYSTYKI I JEJ ZASTOSOWANIE

Spis treści

1	Cel ćwiczenia	1
2	Podstawy teoretyczne	2
2.1	Podstawowe rodzaje diod półprzewodnikowych	3
2.1.1	Dioda prostownicza (ogólnego zastosowania)	3
2.1.2	Dioda impulsowa i Schottky'ego	3
2.1.3	Dioda Zenera	4
2.1.4	Dioda elektroluminescencyjna - LED	5
2.1.5	Inne typy diod	5
2.2	Układy prostownikowe	5
3	Przebieg ćwiczenia	7
3.1	Wyznaczenie charakterystyk statycznych	7
3.2	Obserwacja charakterystyk na oscyloskopie	8
3.3	Dynamiczna praca diod	8
3.4	Zastosowanie diod	9
4	Sprawozdanie	11
4.1	Charakterystyki statyczne	11
4.2	Dynamiczna praca diod	11
4.3	Zastosowanie diod	11
5	Niezbędne wyposażenie	11
	Protokół	12
	Wyniki pomiarów i obliczeń	12
	Charakterystyki	13

1 Cel ćwiczenia

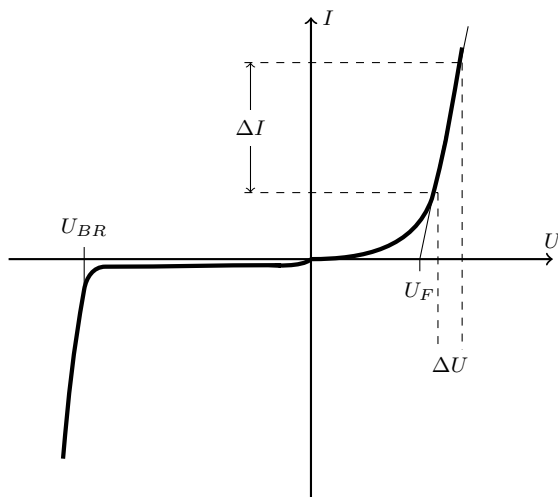
- Poznanie właściwości różnych rodzajów diod.
- Przykładowe zastosowania diod w elektronice. Zbudowanie i zbadanie podstawowych układów prostownikowych.



2 Podstawy teoretyczne

Diody są to dwuwarstwowe, dwuzaciskowe elementy półprzewodnikowe. Zbudowane z dwóch warstw półprzewodnika typu p i typu n, posiadają zacisk anody (A) i zacisk katody (K). Przy dodatniej polaryzacji złącza A-K (potencjał anody większy od potencjału katody) dioda umożliwia przepływ prądu od zacisku anody do zacisku katody. Taki stan nazywamy stanem przewodzenia, w stanie tym na diodzie występuje niewielki spadek napięcia i dioda charakteryzuje się stosunkowo małą rezystancją statyczną. Przy ujemnej polaryzacji złącza A-K, przez diodę płynie prąd wsteczny o małej wartości, dioda znajduje się w stanie zaporowym i charakteryzuje ją stosunkowo duża rezystancja statyczna. Gdy napięcie wsteczne przekroczy napięcie przebicia dioda przechodzi w stan przebicia, w stanie tym prąd wsteczny gwałtownie wzrasta.

Właściwości diody omawia się na podstawie charakterystyki prądowo-napięciowej (charakterystyki statycznej). Na rysunku 1 przedstawiono charakterystykę statyczną diody.



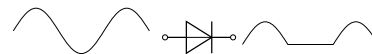
Rysunek 1: Charakterystyka statyczna diody

W oparciu o charakterystykę statyczną diody wyznacza się dla diody:

- **napięcie przewodzenia U_F (napięcie progowe)** - jest to napięcie w stanie przewodzenia, które jest w przybliżeniu stałe ze względu na duże nachylenie charakterystyki w stanie przewodzenia,
- **napięcie przebicia U_{BR}** - jest to napięcie graniczne pomiędzy stanem zaporowym a stanem przebicia, napięcie to zależy od rodzaju diody,
- **rezystancja statyczna R_S i rezystancja dynamiczna r_D**

$$R_S = \frac{U}{I}, \quad r_D = \frac{\Delta U}{\Delta I},$$

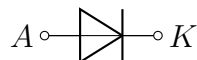
gdzie: U, I - napięcie i natężenie prądu w wybranym punkcie charakterystyki, $\Delta U, \Delta I$ - zmiany napięcia i natężenia w otoczeniu tego punktu.



2.1 Podstawowe rodzaje diod półprzewodnikowych

2.1.1 Dioda prostownicza (ogólnego zastosowania)

Dioda prostownicza (ogólnego zastosowania) stosowana jest w układach prostowniczych, w obwodach sygnałowych, w ogranicznikach napięć, w analogowych generatorach funkcyjnych itp. Symbol diody prostowniczej przedstawiono na rysunku 2. Dioda prostownicza pracuje okresowo na przemian w stanie przewodzenia i zaporowym.



Rysunek 2: Symbol diody prostowniczej

Podstawowe właściwości diody prostowniczej:

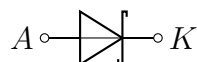
- wartość napięcia przewodzenia U_F niewiele zależy od wartości płynącego prądu, zależy od rodzaju materiału półprzewodnikowego i temperatury,
- wartość prądu wstecznego praktycznie nie zależy od przyłożonego napięcia, zależy od rodzaju materiału półprzewodnikowego i temperatury,
- wartości graniczne prądu przewodzenia i napięcia przebicia dla diody małej mocy wynoszą od mA do ok. $1A$ oraz od kilkunastu V do kilkuset V .

2.1.2 Dioda impulsowa i Schottky'ego

Dioda impulsowa charakteryzuje się bardzo dużą szybkością pracy, czasy przełączeń są rzędu ns lub μs . Podstawowymi parametrami dynamicznymi diod są:

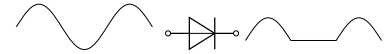
- czas załączania - czas od momentu spolaryzowania złącza w kierunku przewodzenia do osiągnięcia przez prąd maksymalnej wartości,
- czas wyłączenia - czas od momentu spolaryzowania diody w kierunku zaporowym do momentu ustania przepływu prądu.

Dioda Schottky'ego - dioda półprzewodnikowa w której zamiast złącza p-n jest zastosowane złącze metal-półprzewodnik. Dioda Schottky'ego charakteryzuje się: małą pojemnością elektryczną złącza - dzięki czemu typowe czasy przełączeń są od setek ps do pojedynczych ns , niewielkim napięciem przewodzenia, ok $0,3 - 0,5V$, niewielkim napięciem przebicia - do kilkudziesięciu V .



Rysunek 3: Symbol diody Schottky'ego

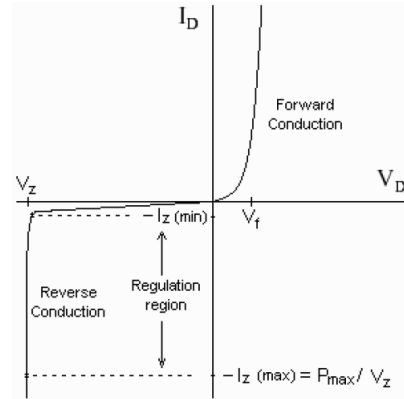
Symbol diody impulsowej jest taki jak diody prostowniczej, symbol diody Schottky'ego przedstawia rysunek 3



2.1.3 Dioda Zenera

W diodach prąd wsteczny wzrasta szybko po przekroczeniu maksymalnego napięcia wstecznego U_{BR} . W diodzie Zenera napięcie przebicia przy którym występuje ten gwałtowny wzrost jest dokładnie określone. Napięcie to nazywamy napięciem Zenera i oznaczamy przez U_z .

Diody takie można stosować do stabilizowania napięć stałych. Po przekroczeniu napięcia Zenera nachylenie charakterystyki prądowo-napięciowej diody Zenera jest stosunkowo duże (rysunek 4 - regulation region). Duża zmiana prądu powoduje niewielką zmianę napięcia. Stabilizacja jest tym lepsza im mniejsza jest rezystancja dynamiczna diody - $r_z = \frac{\Delta U_z}{\Delta I_z}$.



Rysunek 4: Charakterystyka prądowo napięciowa diody Zenera

Stabilizator przedstawiony na rysunku 5 projektujemy na najgorszy przypadek, czyli projektujemy z uwzględnieniem najgorszej kombinacji zdarzeń. Rezystor należy dobrać tak aby przy najmniejszym napięciu na wejściu $U_{we\ min}$ oraz największym prądzie na wyjściu $I_{wy\ max}$ różnica napięcia wejściowego i spadku napięcia na rezystorze R była większa od napięcia U_z . Zatem musi być spełniony następujący warunek:

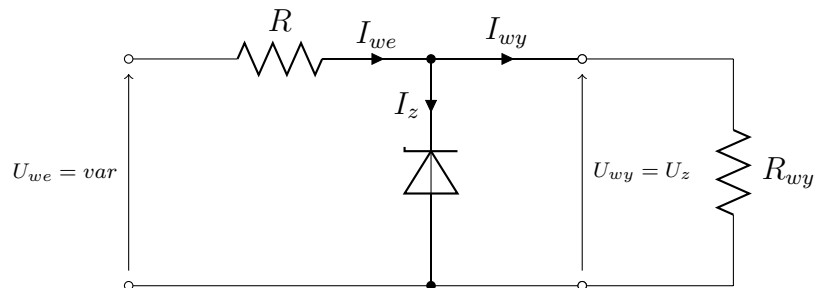
$$U_{we\ min} - RI_{wy\ max} > U_z \Rightarrow R < \frac{U_{we\ min} - U_z}{I_{wy\ max}}$$

Dioda rozprasza moc $P_d = U_z I_z$. W najgorszym przypadku dioda musi rozproszyć moc:

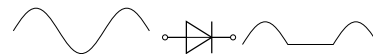
$$P_{d\ max} = U_z I_{z\ max} = U_z \left[\frac{U_{we\ max} - U_z}{R} - I_{wy\ min} \right]$$

Rezystor rozprasza moc $P_r = \frac{(U_{we} - U_z)^2}{R}$. W najgorszym przypadku rezystor musi rozproszyć moc:

$$P_{r\ max} = \frac{(U_{we\ max} - U_z)^2}{R}$$



Rysunek 5: Stabilizator z diodą Zenera



2.1.4 Dioda elektroluminescencyjna - LED

Dioda LED (Light Emitting Diode) jest specjalnym przypadkiem diody. Podczas dodatniej polaryzacji złącza A-K, prąd płynący przed diodę powoduje wytworzenie kwantu promieniowania elektromagnetycznego, a co za tym idzie - zjawisko elektroluminescencji.



Rysunek 6: Symbol diody LED

Główne parametry diody LED: sprawność kwantowa, skuteczność świetlna, długość fali emitowanego światła, szerokość widmowa, moc wyjściowa, częstotliwość graniczna, maksymalny prąd przewodzenia zasilający mierzony w miliamperach, maksymalne napięcie wsteczne.

2.1.5 Inne typy diod

Fotodioda - przyrząd półprzewodnikowy pracujący jako fotodetektor. Przy braku polaryzacji fotodiody pracuje jako źródło prądu elektrycznego, przy oświetleniu diody w złączu generowana jest siła elektromotoryczna (tzw. zjawisko fotowoltaiczne). W przypadku polaryzacji fotodiody w kierunku zaporowym, fotodiody zachowuje się jak rezystor którego opór zależy od oświetlenia.

Dioda pojemnościowa - przy polaryzacji wstecznej dioda wykazuje cechy kondensatora, efekt pojemnościowy jest wyeksponowany w stosunku do zwykłej diody prostowniczej.

2.2 Układy prostownikowe

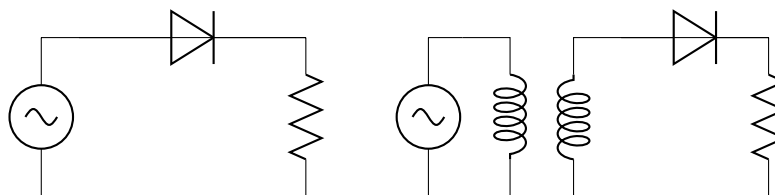
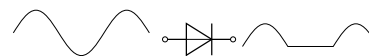
Prostownik - układ energoelektroniczny który realizuje przekształcanie energii prądu przemiennego w energię prądu stałego.

Prostownik diodowy - przekształtnik napięcia przemiennego na napięcie stałe nieregulowane. Diody prostownika przewodzą prąd jednokierunkowy przy dodatnim napięciu anody względem katody. Napięcie wyprostowane jest tętniące (zmienia się wartość jednak nie zmienia się kierunek).

Liczba pulsów - liczba tętnień p w napięciu wyprostowanym, mierzona w okresie napięcia zasilania (liczba półokresów napięcia wyprostowanego przypadająca na jeden okres napięcia zasilania). Wraz ze wzrostem liczby pulsów p maleje amplituda tętnień napięcia wyprostowanego.

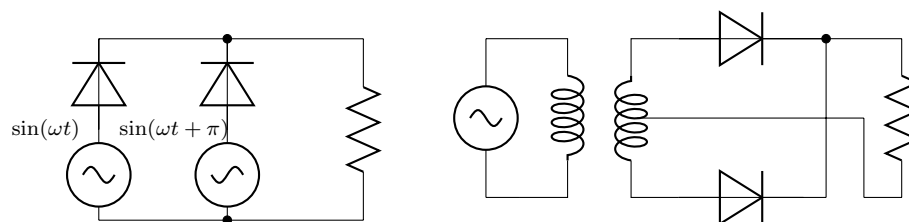
Prostownik jednokierunkowy - prostownik który pobiera z zasilania prąd jednokierunkowy (pobiera składową stałą prądu z sinusoidalnego źródła zasilania)

Prostownik dwukierunkowy - prostownik który pobiera z zasilania prąd dwukierunkowy, przemienny o zerowej wartości średniej (nie pobiera składowej stałej z źródła zasilania). Właściwość taką mają **układy mostkowe**.



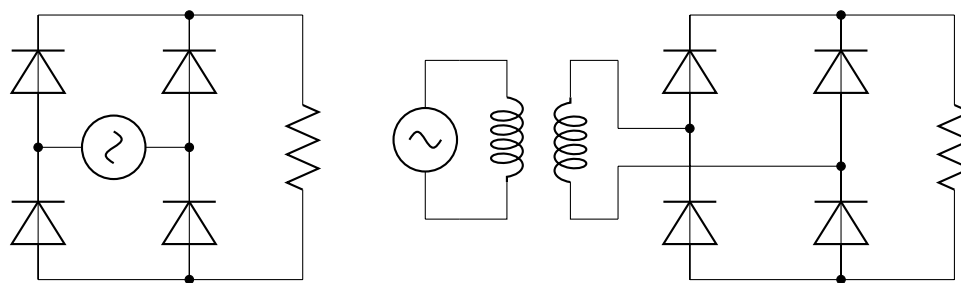
(a) bez transformatora (b) z transformatorem

Rysunek 7: Układ jednofazowy, jednopulsowy, jednokierunkowy



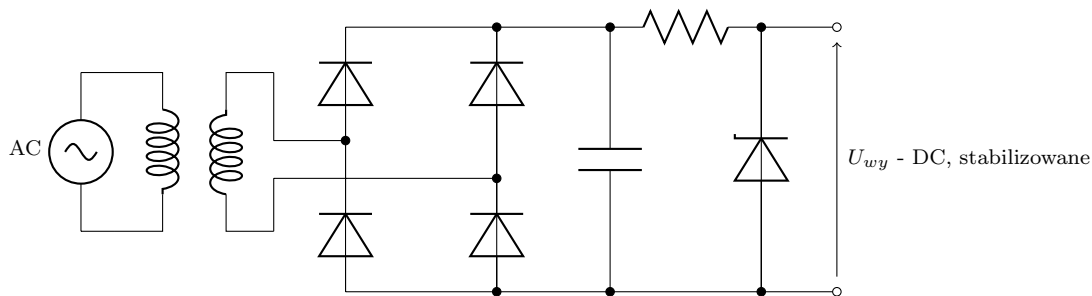
(a) dwufazowy (b) transformator z odczepem

Rysunek 8: Układ dwupulsowy, jednokierunkowy

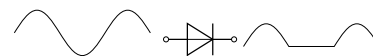


(a) bez transformatora (b) z transformatorem

Rysunek 9: Układ jednofazowy, dwupulsowy, dwukierunkowy, mostkowy (mostek Graetza)



Rysunek 10: Zasilacz sieciowy prądu stałego z transformatorem oraz z układem stabilizacji napięcia wyjściowego



3 Przebieg ćwiczenia

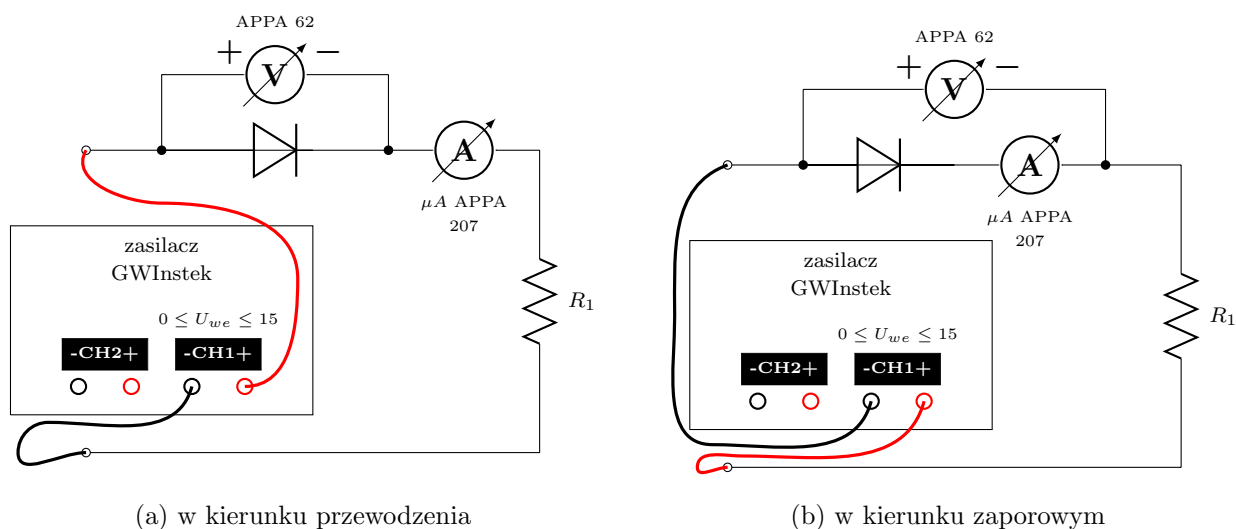
W celu wykonania pomiarów wykorzystać płytkę **E1** i **E2**. Symbole lub wartości elementów zastosowanych na płytkach testowych przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1: Tabela parametrów płytek testowych E1 i E2

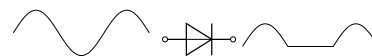
Płytką E1		Płytką E2	
Oznaczenie	Symbol/Wartość	Oznaczenie	Symbol/Wartość
R1	$1k\Omega$	R1	500Ω
R2	$5\Omega 1\%$	R2	$12k\Omega$
D1	1N4002	C1	$1\mu F$
D2	1N5818	C2	$100\mu F$
D3	Dioda: Zenera; 0,5W; 4,3V; DO35	D1-D4	1N4002
D4	Dioda: Zenera; 0,5W; 9,1V; DO35	DZ	Dioda Zenera; 0,5W
D5	LED		
D6	LED		

3.1 Wyznaczenie charakterystyk statycznych

Połączyć układ jak na rysunku 11a. Na kanale pierwszym zasilacza (CH1) ustawić ograniczenie prądu na $I_{CH1max} = 100mA$. Zmieniając napięcie wejściowe U_{we} w zakresie $U_{we} \in (0 : 15V)$ wyznaczyć charakterystykę $I = f(U)$ w kierunku przewodzenia. Następnie zmienić polaryzację zasilacza (rysunek 11b) i wyznaczyć charakterystykę w kierunku zaporowym. Charakterystyki wykonać dla wybranych diod przez prowadzącego. Wyniki zapisać w tabeli 2 oraz zaznaczyć na rysunku 20.



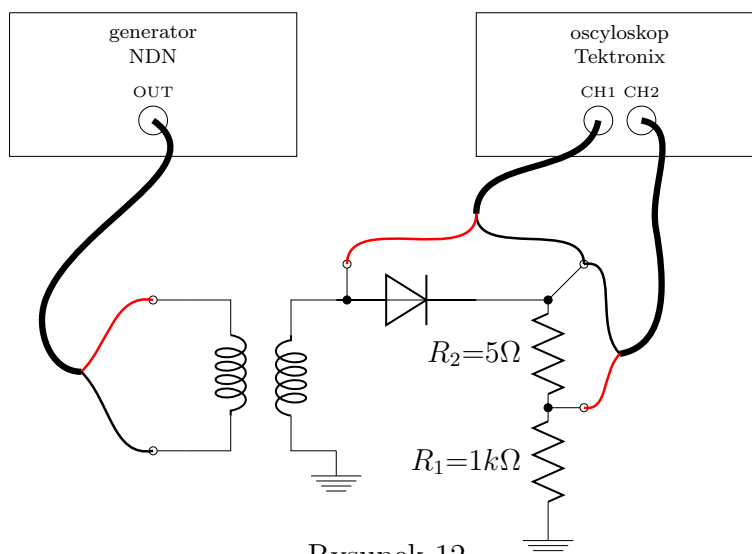
Rysunek 11



3.2 Obserwacja charakterystyk na oscyloskopie

Połączyć układ jak na rysunku 12. Na generatorze ustawić maksymalną amplitudę, częstotliwość $f = 500\text{Hz}$ oraz wybrać przebieg trójkątny. Na kanale pierwszym i drugim oscyloskopu ustawić sprzężenie DC oraz poziomy zerowe obu sygnałów ustawić w zerze oscyloskopu. Na kanale drugim oscyloskopu wybrać opcje *INWERT* \rightarrow *ON*, następnie opcję *PROBE* \rightarrow *CURRENT* \rightarrow 5V/A . Ustawić oscyloskop w tryb XY (wybrać opcję *DISPLAY* \rightarrow *XY*). Zarejestrować charakterystyki dla wybranych diod.

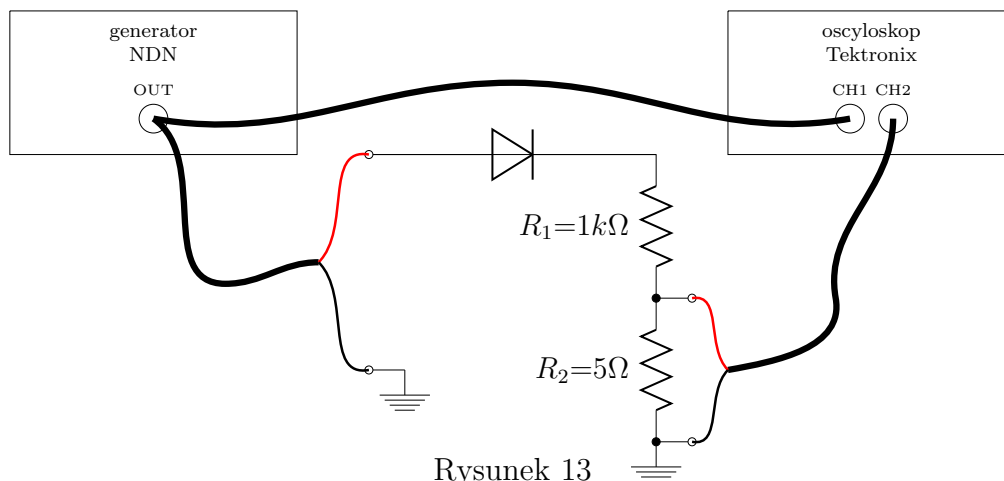
UWAGA! Zwrócić uwagę na kolejność połączenia rezystorów.



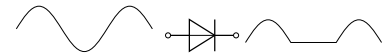
Rysunek 12

3.3 Dynamiczna praca diod

Połączyć układ jak na rysunku 13. Na generatorze ustawić **przebieg prostokątny**. Na kanale drugim oscyloskopu wybrać opcje *INWERT* \rightarrow *OFF*, następnie opcję *PROBE* \rightarrow *CURRENT* \rightarrow 5V/A . Ustawić oscyloskop w tryb YT (wybrać opcję *DISPLAY* \rightarrow *YT*). Zaobserwować moment załączenia a następnie moment wyłączenia poszczególnych diod. Dla badanych diod zmierzyć czas załączenia i czas wyłączenia.

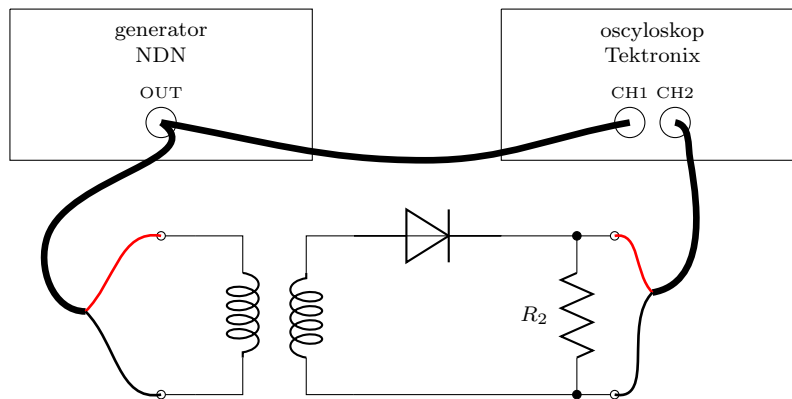


Rysunek 13

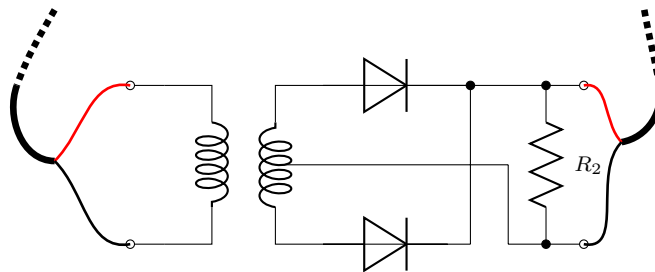


3.4 Zastosowanie diod

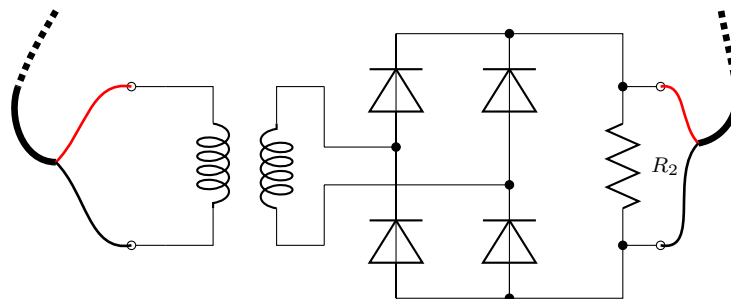
Na płytce testowej *E2* zbudować i zbadać układy z rysunku od 14 do 19. Na wejście każdego układu podać z generatora przebieg sinusoidalny o częstotliwości 500Hz i napięciu $U_{pk-pk} = 20\text{V}$. Na kanale pierwszym i drugim wybrać opcję *PROBE* \rightarrow *VOLTAGE* \rightarrow $\times 1$. Na oscyloskopie zaobserwować przebieg napięcia na wejściu oraz przebieg napięcia na wyjściu.



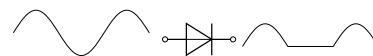
Rysunek 14: Układ jednopulsowy, jednokierunkowy



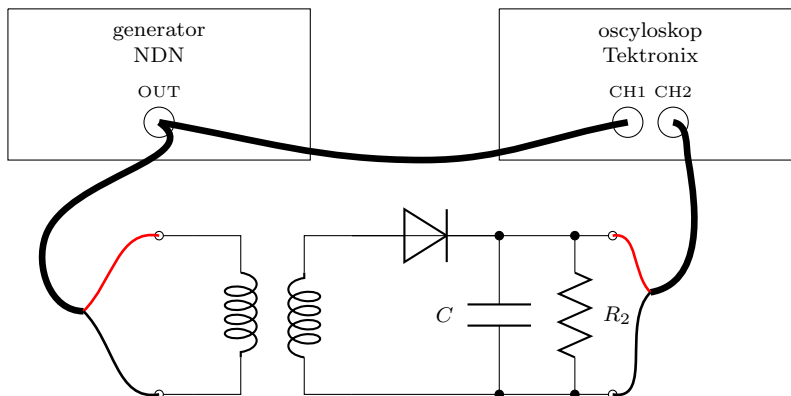
Rysunek 15: Układ dwupulsowy, transformator z odczepem



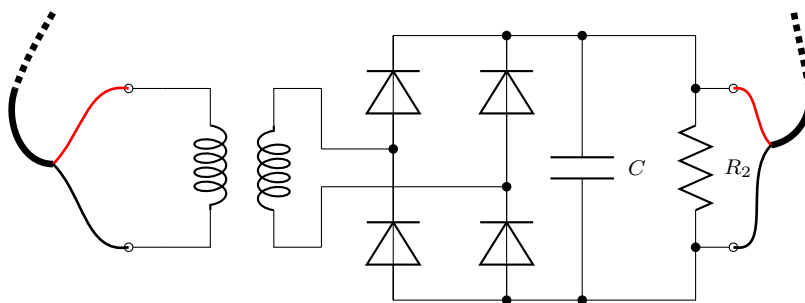
Rysunek 16: Układ dwupulsowy, dwukierunkowy (mostek)



Uwaga. Dla układu z rysunku 17 i 18 zarejestrować przebiegi dla dwóch wartości pojemności kondensatora C .

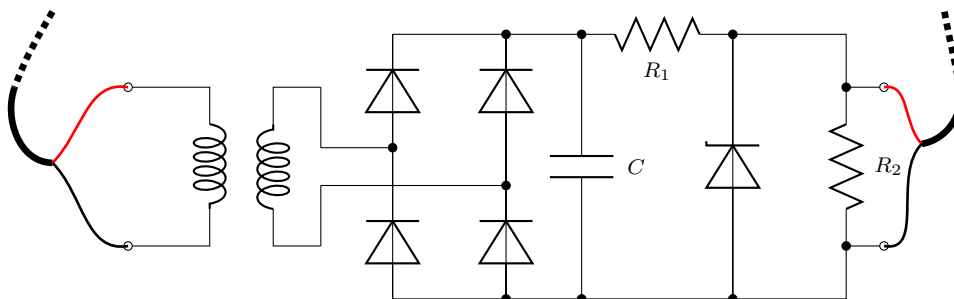


Rysunek 17: Układ jednopulsowy, jednokierunkowy z kondensatorem filtrującym

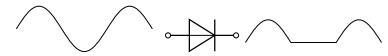


Rysunek 18: Mostek z kondensatorem filtrującym

Uwaga. Dla układu z rysunku 19 zarejestrować przebiegi dla dwóch różnych diod Zenera.



Rysunek 19: Mostek z kondensatorem filtrującym i diodą Zenera



4 Sprawozdanie

4.1 Charakterystyki statyczne

Wykreślić na podstawie uzyskanych pomiarów charakterystyki statyczne oraz porównać z charakterystykami uzyskanymi na oscyloskopie. Wyznaczyć napięcia przewodzenia U_F i rezystancje dynamiczną r_D dla badanych diod. Wyznaczyć napięcie Zenera U_z i rezystancje dynamiczną r_z dla diod Zenera. Porównać otrzymane wyniki z wartościami katalogowymi.

4.2 Dynamiczna praca diod

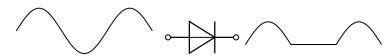
Zinterpretować proces załączenia i wyłączenia badanych diod, oraz porównać badane diody pod względem parametrów dynamicznych (czasy załączania i czasy wyłączenia).

4.3 Zastosowanie diod

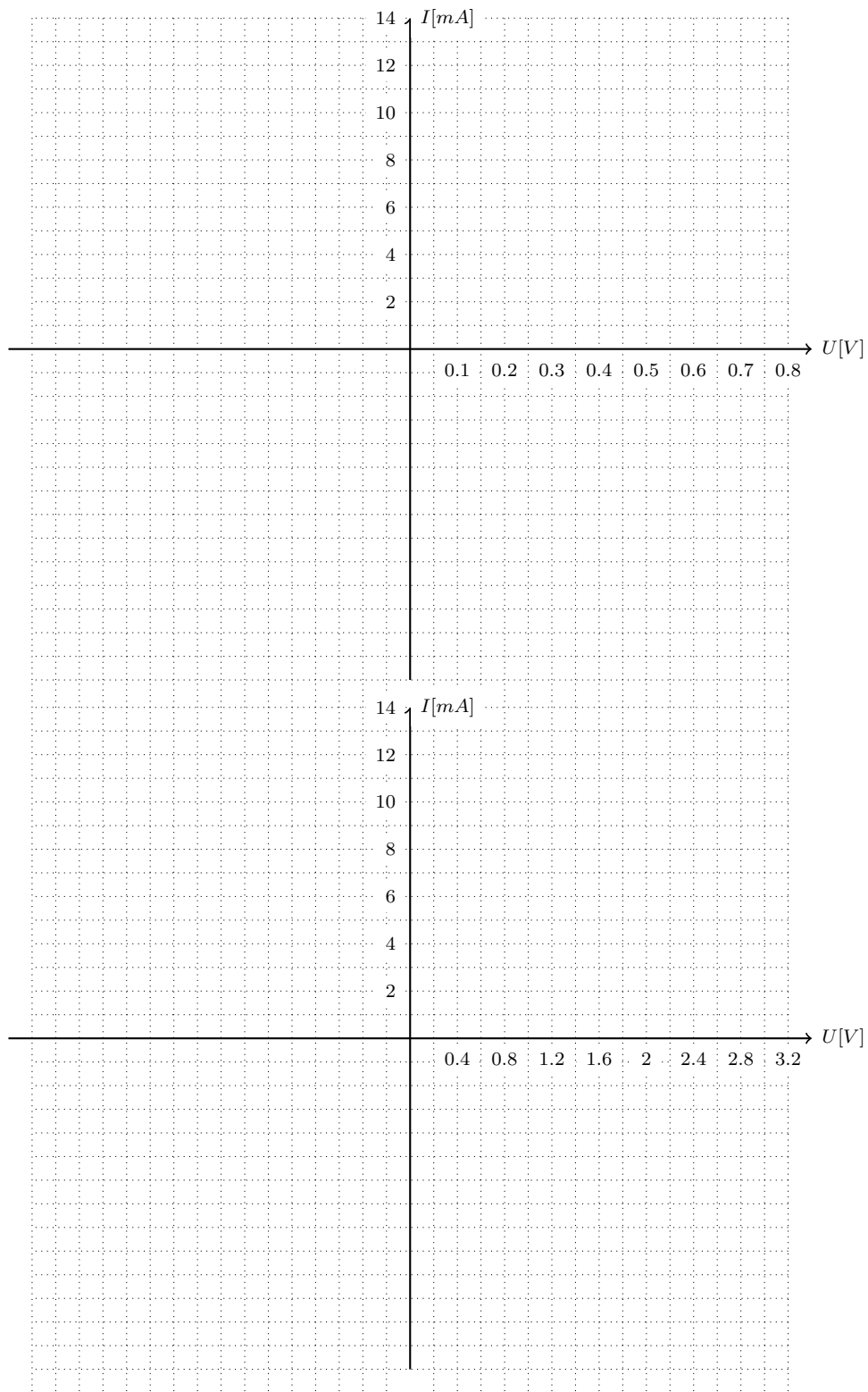
Porównać badane układy prostownikowe. Opisać wpływ zastosowania kondensatora na wyjściu prostownika oraz diody Zenera.

5 Niezbędne wyposażenie

- kalkulator naukowy
- pendrive do 1GB lub aparat fotograficzny do rejestracji przebiegów z oscyloskopu
- protokół



Charakterystyki



Rysunek 20: Charakterystyki statyczne