

Politechnika Rzeszowska
im. Ignacego Łukasiewicza



Instrukcja do laboratorium

STABILIZATOR PARAMETRYCZNY – DIODA ZENERA

ZAWARTOŚĆ

Wprowadzenie	3
Złącze p-n.....	3
Dioda półprzewodnikowa.....	4
Prostownik.....	5
Stabilizator parametryczny	7
Przebieg ćwiczenia.....	9
Zadanie 1	9
Zadanie 2	10
Zadanie 3	11
Zadanie 4.....	12
Opracowanie wyników pomiarowych.....	13

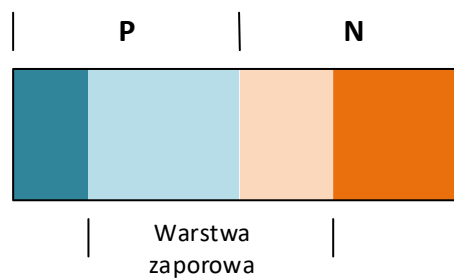
WPROWADZENIE

ZŁĄCZE P-N

Za **półprzewodniki** przyjęło się uważać materiały, których rezystywność w temperaturze pokojowej zawiera się w obszarze pomiędzy metalami i izolatorami.

W wyniku **domieszkowania** (celowego wprowadzenia niedużej ilości obcego pierwiastka – domieszki) rezystancja półprzewodnika silnie maleje. W zależności od rodzaju użytej domieszki, nośnikami prądu w półprzewodniku są ładunki ujemne, tj. elektrony lub ładunki dodatnie, czyli dziury. W przypadku, gdy nośnikami są elektrony mówimy o półprzewodniku typu n (półprzewodnik donorowy), natomiast w przypadku dziur – półprzewodniku typu p (półprzewodnik akceptorowy). W półprzewodniku domieszkowanie przeprowadza się często w taki sposób, że pewne jego obszary wykazują przewodnictwo elektronowe, a inne – dziurowe.

Na styku dwóch obszarów o różnym typie przewodnictwa tworzy się **złącze p-n**. W stanie równowagi – przy braku zewnętrznego napięcia przyłożonego do złącza – dochodzi do wzajemnej dyfuzji nośników: elektronów do obszarów typu p oraz dziur do obszarów typu n. W ten sposób po obu stronach złącza powstaną warstwy nieruchomego ładunku, tworząc tzw. **warstwę zaporową** (patrz – rysunek 1).



RYSUNEK 1. SCHEMAT ZŁĄCZA P-N

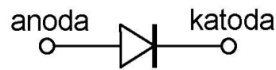
W przypadku polaryzacji w kierunku zaporowym, czyli gdy biegun dodatni zewnętrznego źródła napięcia jest połączony z obszarem typu n, a biegun ujemny z obszarem typu p, warstwa zaporowa poszerza się, a przez złącze płynie niewielki prąd nasycenia. Wartość tego prądu praktycznie nie zależy od przyłożonego napięcia.

Przy polaryzacji w kierunku przewodzenia, czyli gdy biegun dodatni zewnętrznego źródła napięcia jest połączony z obszarem typu p, a biegun ujemny z obszarem typu n, szerokość warstwy zaporowej maleje, a przez złącze płynie prąd przewodzenia. Wartość tego prądu rośnie eksponentalnie wraz ze wzrostem przyłożonego napięcia.

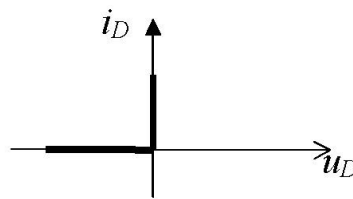
DIODA PÓŁPRZEWODNIKOWA

Najprostszym elementem półprzewodnikowym jest **dioda**. Składa się ona z pojedynczego złącza p-n i posiada dwa wyprowadzenia – katodę (obszar typu n) oraz anodę (obszar typu p). Zasadniczą cechą diody jest jej nieliniowa charakterystyka prądowo-napięciowa, wynikająca z właściwości złącza p-n.

Idealnym modelem diody jest przełącznik, który przy polaryzacji ujemnej ($u_D < 0$) uniemożliwia przepływ prądu, a przy polaryzacji dodatniej – jego przepływ jest niemal bezstratny.

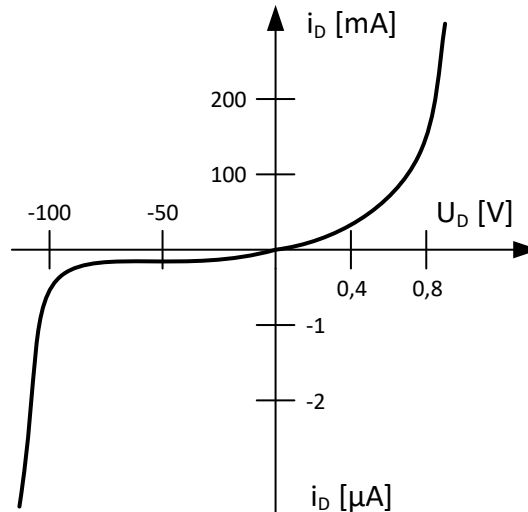


RYСУNEK 2 SYMBOL DIODY



RYСУNEK 2. CHARAKTERYSTYKA PRĄDOWO-NAPIĘCIOWA IDEALNEJ DIODY

Charakterystyka rzeczywistej diody została przedstawiona na rysunku 3. W zakresie pojawia się niezerowe napięcie przewodzenia (dla diody krzemowej typowo 0,7V). W zakresie zaporowym natomiast należy zwrócić uwagę na maksymalne napięcie wsteczne – tzw. napięcie przebicia diody. Po przekroczeniu go prąd wsteczny bardzo szybko wzrasta, co może doprowadzić do zniszczenia diody.

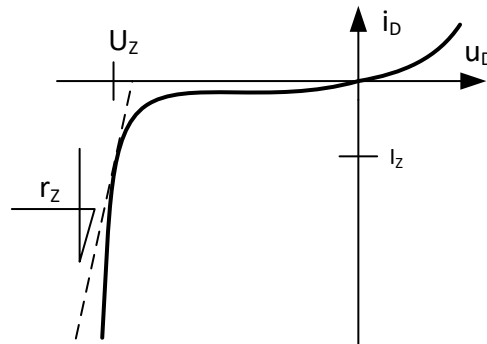


RYСУNEK 3. CHARAKTERYSTYKA PRĄDOWO-NAPIĘCIOWA RZECZYWISTEJ DIODY

Diody ze względu na dużą rezystancję w kierunku zaporowym oraz niską rezystancję w kierunku przewodzenia są wykorzystywane w układach prostowniczych – do zamiany prądu przemiennego na stały. Diody przeznaczone do tego typu zastosowań nazywa się diodami prostowniczymi.

Innym typem diod są diody stabilizacyjne. Ich typowy obszar pracy znajduje się na zaporowym odcinku charakterystyki, odpowiadającemu gwałtownemu wzrostowi prądu wstecznego. Diody te wykorzystuje się głównie w układach stabilizacji, w układach ograniczników napięcia oraz jako źródła napięć odniesienia.

Dla diod stabilizacyjnych specyfikuje się napięcie stabilizacji, zwane także napięciem Zenera, odpowiadające napięciu wstecznemu dla umownej wartości prądu wstecznego diody. Napięcie to może być bardzo różne, w zakresie od kilku do kilkuset woltów.



RYSUNEK 4. CHARAKTERYSTYKA PRĄDOWO-NAPIĘCIOWA DIODY ZENERA

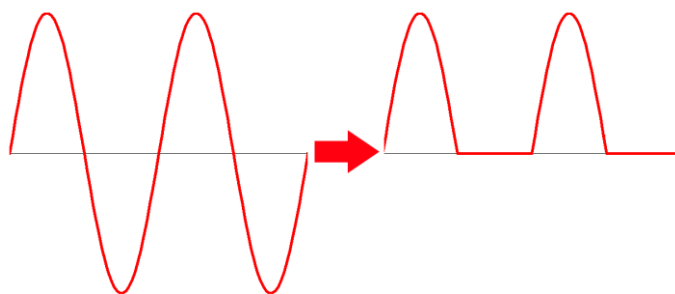
Istotnym parametrem diody Zenera jest rezystancja dynamiczna, odpowiadająca nachyleniu charakterystyki prądowo-napięciowej przy określonym prądzie diody (rysunek 4). Jest ona dana wzorem 1:

$$r_Z = \frac{\Delta u_Z}{\Delta i_Z} \quad (1)$$

PROSTOWNIK

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

Najprostszym przykładem prostownika jest prostownik jednopółkowy. Rezultat działania prostownika jednopółkowego przedstawiony został na rysunku 6.

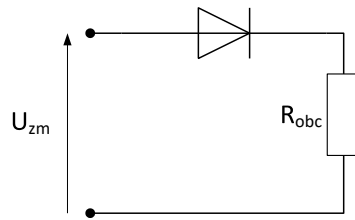


RYSUNEK 5. REZULTAT PROSTOWANIA JEDNOPOŁÓWKOWEGO

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

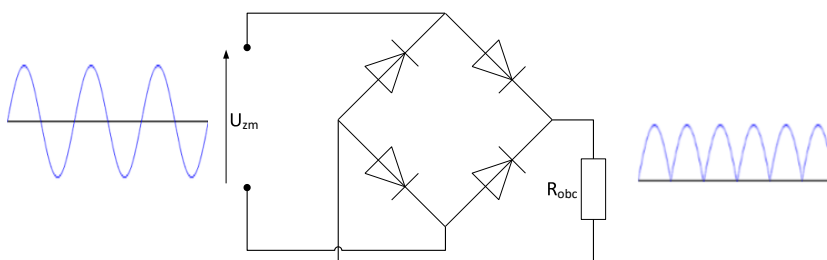
- wartość średnia przebiegu wyprostowanego U_{sr} ,
- wartość skuteczna przebiegu wyprostowanego U_{sk} ,
- współczynnik tętnień t ,
- sprawność η .

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



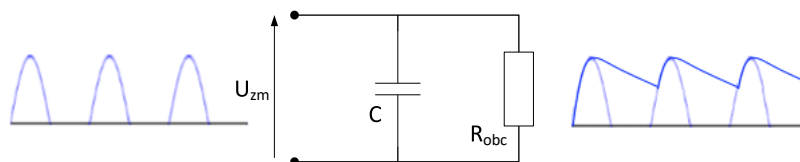
RYSUNEK 6. SCHEMAT PROSTOWNIKA JEDNOPOŁÓWKOWEGO

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



RYSUNEK 7. SCHEMAT PROSTOWNIKA DWUPOŁÓWKOWEGO W UKŁADZIE MOSTKOWYM, WRAZ Z PRZYKŁADOWYM PRZEBIEGIEM WYPROSTOWANYM.

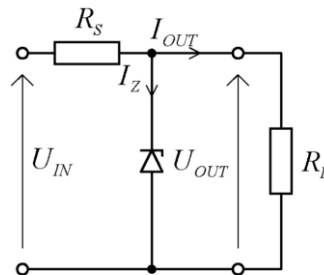
Aby ograniczyć tętnienia prostownika konieczne jest zastosowanie filtrów dolnoprzepustowych. Najprostsze filtry projektowane są w oparciu o strukturę RC:



RYSUNEK 8. FILTR DOLNOPRZEPUSTOWY RC WRAZ Z PRZYKŁADEM DZIAŁANIA NA SYGNALE WYPROSTOWANYM JEDNOPOŁÓWKOWO.

STABILIZATOR PARAMETRYCZNY

Stabilizator napięcia o pracy ciągłej to układ analogowy zamieniający napięcie zmienne na napięcie o stałej (w pewnych granicach) wartości, niezależnie od zmian napięcia wejściowego, prądu obciążenia i temperatury otoczenia. Stabilizatory czerpią energię z układów prostowniczych bądź też baterii oraz zapewniają odpowiednie warunki zasilania urządzeń i układów elektronicznych. Przykład najprostszego stabilizatora wykorzystującego diodę Zenera przedstawiono na rysunku 9.



RYSUNEK 9. PROSTY STABILIZATOR WYKORZYSTUJĄCY DIODĘ ZENERA

Dla układów stabilizatorów definiuje się szereg parametrów, które odzwierciedlają, jaka jest stabilność napięcia wyjściowego w obliczu zmian warunków pracy stabilizatora:

- współczynnik stabilizacji – określony jako stosunek zmian napięcia wyjściowego do wejściowego, dany wzorem:

$$S_U = \frac{\Delta U_{out}}{\Delta U_{in}} \quad (2)$$

- rezystancja wyjściowa – określana jako stosunek zmian napięcia wyjściowego do prądu obciążenia:

$$R_{wy} = \frac{\Delta U_{out}}{\Delta I_{out}} \quad (3)$$

Ponadto, dla stabilizatorów określa się także ich sprawność energetyczna – iloraz mocy dostarczonej do obciążenia w stosunku do mocy całkowitej pobranej przez stabilizator:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% \quad (4)$$

Elementy składowe modułu D-ZD/PS

W skład modułu do pomiarów stabilizatora parametrycznego *D-ZD/PS* (rys. 10) wchodzi:

Źródło napięcia niestabilizowanego o dwóch wartościach napięcia wyjściowego ($S1 \approx 12VAC$ i $S2 \approx 24VAC$). Wybór napięcia zasilania realizowany jest przy pomocy przełącznika *Source Selection*.

Jeden bocznik o rezystancji $R_{B1} = 1\Omega$ pozwalający na pomiar natężenia prądu oraz wyjście umożliwiające podpięcie zewnętrznego amperomierza. W przypadku pomiaru z wykorzystaniem boczników należy wypiąć amperomierz ze złączy CON3. Wybór trybu pomiaru następuje przy użyciu przełącznika *Bypass Selection*.

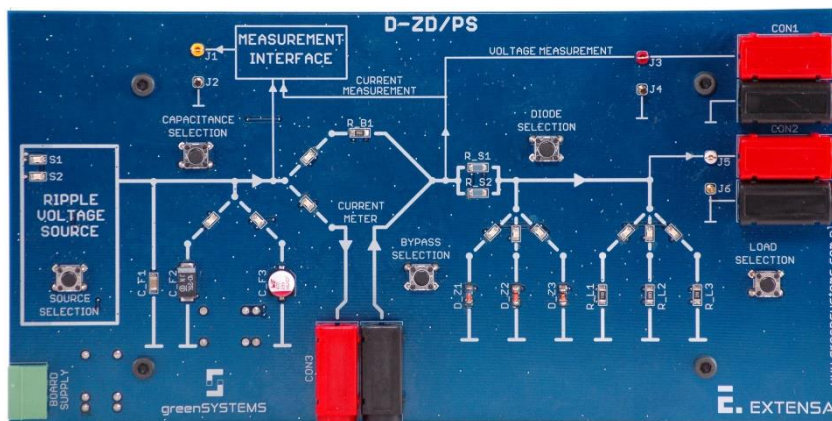
Trzy kondensatory filtra napięcia o różnej pojemności ($C_{F1} \approx 1\mu F$, $C_{F2} \approx 10\mu F$, $C_{F3} \approx 47\mu F$). Wyboru kondensatora dokonuje się przy pomocy przełącznika *Capacitance Selection*.

Trzy diody Zenera o różnej napięciach stabilizacji ($D_{Z1} - C5V1$, $D_{Z2} - C7V5$, $D_{Z3} - C12V$). Wyboru diody dokonuje się przy pomocy przełącznika *Diode Selection*.

Rezystor szeregowy o stałej wartości $R_S = R_{S1} \parallel R_{S2} = 510\Omega \parallel 510\Omega = 255\Omega$.

Trzy obciążenia o różnej rezystancji ($R_{L1} \approx 510\Omega$, $R_{L2} \approx 1k\Omega$, $R_{L3} \approx 2,2k\Omega$). Wyboru obciążenia dokonuje się przy pomocy przełącznika *Load Selection*.

Wzmacniacz pomiarowy o wzmacnieniu 10 V/V, minimalnym napięciu wyjściowym 10mV oraz maksymalnym napięciu wyjściowym 12V.



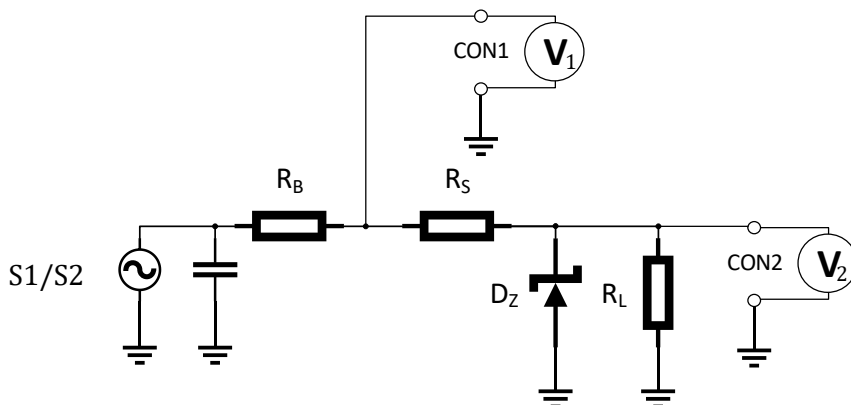
RYSUNEK 10. MODUŁ D-ZD/PS

PRZEBIEG ĆWICZENIA

ZADANIE 1

Pomiar współczynnika stabilizacji napięciowej, dla różnych wartości napięcia Zenera diody stabilizacyjnej. Pomiar realizowany z wykorzystaniem dwóch woltomierzy.

- Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem z rys. 11. Dodatkowo podłączyć oscyloskop do pinów (J3,J4) – obserwacja napięcia wejściowego oraz (J5,J6) – obserwacja napięcia wyjściowego stabilizatora.



RYSUNEK 11. SCHEMAT ZADANEGO OBWODU

- Wykonać pomiary napięcia wejściowego na zaciskach CON1 oraz napięcia wyjściowego na zaciskach CON2. Pomiaru napięć dokonać za pomocą woltomierzy cyfrowych do pomiaru napięć stałych (DC). Pomiary przeprowadzić dla dwóch różnych wartości napięcia wejściowego (wybór S1, S2) oraz różnych wartości napięcia Zenera diody stabilizacyjnej (wybór diod DZ_1, DZ_2, DZ_3). Wszystkie pomiary wykonać dla maksymalnej wartości pojemności filtrującej (C_F1+C_F2+C_F3) oraz obciążenia rezystancyjnego R_L2.
- W tabeli zanotować wyniki pomiarów wraz z informacją o błędach granicznych przyrządów pomiarowych które zostaną wykorzystane do wyliczenia niepewności pomiarowych.

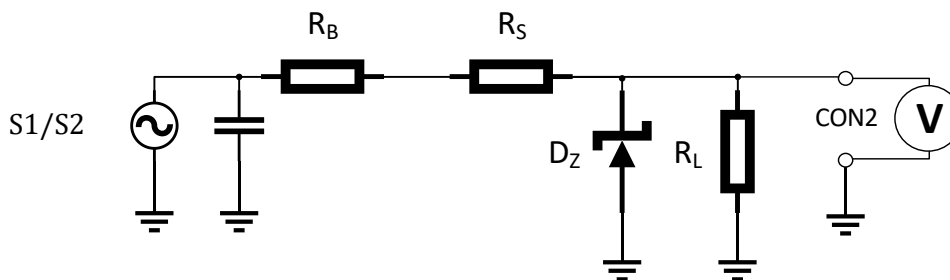
TABELA 1 POMIAR WSPÓŁCZYNNIKA STABILIZACJI

Dioda Zenera	Napięcie wejściowe U _{we} [V]	Błąd graniczny woltomierza V ₁ [V]	Napięcie wyjściowe mierzone U _{wy} [V]	Błąd graniczny woltomierza V ₂ [V]	Współczynnik stabilizacji $S_U = (\Delta U_{wy} / \Delta U_{we})$	Niepewność wyznaczenia współczynnika stabilizacji $U(S_U)$
D_Z1	S1					
	S2					
D_Z2	S1					
	S2					
D_Z3	S1					
	S2					

ZADANIE 2

Pomiar stabilności napięcia wyjściowego w funkcji prądu wyjściowego (rezystancji obciążenia) dla różnych wartości napięcia Zenera diody stabilizacyjnej.

- Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem z rys. 12. Dodatkowo podłączyć oscyloskop do pinów (J3,J4) – obserwacja napięcia wejściowego oraz (J5,J6) – obserwacja napięcia wyjściowego stabilizatora.



RYSUNEK 12. SCHEMAT ZADANEGO OBWODU

- Wykonać pomiar napięcia wyjściowego na zaciskach CON2. Pomiar napięcia przeprowadzić za pomocą woltomierza cyfrowego do pomiaru napięć stałych (DC). Pomiar wykonać dla różnych wartości rezystancji obciążenia (R_{L1} , R_{L2} , R_{L3}) oraz różnych wartości napięcia Zenera diody stabilizacyjnej (wybór diod DZ_1 , DZ_2 , DZ_3). Wszystkie pomiary wykonać dla maksymalnej wartości pojemności filtrującej oraz napięcia wejściowego $S2$.
- Prąd wyjściowy wyliczyć na podstawie napięcia na obciążeniu i jego rezystancji $I_{out} = \frac{U_{out}}{R_{load}}$.
- Wyliczyć rezystancję wyjściową stabilizatora $R_{wy} = \Delta U_{out} / \Delta I_{out}$. Jako zmianę prądu przyjąć różnicę prądów dwóch kolejnych obciążeń: $\Delta I_{out} = I_{out}|_{R_{load,n}} - I_{out}|_{R_{load,n+1}}$.
- W tabeli zanotować wyniki pomiarów. Do wyliczenia niepewności typu B rezystancji wyjściowej przyjąć 5% tolerancję wykonania rezystorów obciążenia R_{load} .

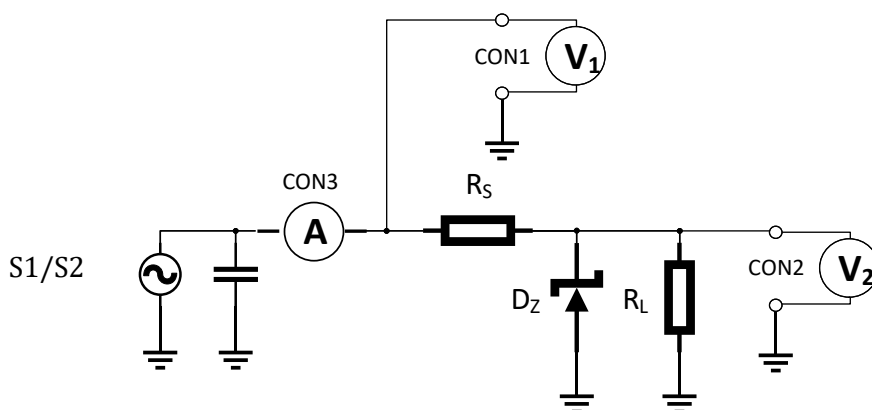
TABELA 2 POMIAR STABILNOŚCI NAPIĘCIA WYJŚCIOWEGO W FUNKCJI PRĄDU WYJŚCIOWEGO

Dioda Zenera	Rezystancja obciążenia R_{load} [Ω]	Napięcie wyjściowe mierzone U_{out} [V]	Błąd graniczny woltomierza V [mV]	Prąd obciążenia I_{out} [mA]	Rezystancja wyjściowa R_{wy} [Ω]	$u(R_{wy})$ [Ω]
D_Z1	R1=510 Ω					
D_Z1	R2=1k Ω					
D_Z1	R3=2.2 k Ω					
D_Z2	R1=510 Ω					
D_Z2	R2=1k Ω					
D_Z2	R3=2.2 k Ω					
D_Z3	R1=510 Ω					
D_Z3	R2=1k Ω					
D_Z3	R3=2.2 k Ω					

ZADANIE 3

Pomiar sprawności energetycznej stabilizatora dla różnych konfiguracji napięć wejściowych i napięć Zenera diody stabilizacyjnej.

1. Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem z rys. 13. Dodatkowo podłączyć oscyloskop do pinów (J3,J4) – obserwacja napięcia wejściowego oraz (J5,J6) – obserwacja napięcia wyjściowego stabilizatora.



RYSUNEK 13. SCHEMAT ZADANEGO OBWODU

2. Za pomocą amperomierza dołączonego do zacisków CON3 oraz woltomierza dołączonego do zacisków CON1 mierzyć odpowiednio prąd wejściowy (I_{in}) i napięcie wejściowe stabilizatora (U_{in}). Pomiary napięcia wyjściowego (U_{out}) wykonywać na zaciskach CON2. Wszystkie mierniki mają pracować jako mierniki wartości stałych (DC). Pomiary powtórzyć dla różnych wartości napięcia wejściowego S1 i S2, różnych napięć Zenera diody stabilizacyjnej D_Z1, D_Z2, D_Z3 oraz rezystancji obciążenia R_L1, R_L2, R_L3. Wszystkie pomiary wykonać dla maksymalnej wartości pojemności filtrującej ($C_{F1}+C_{F2}+C_{F3}$). Do wyliczenia niepewności typu B rezystancji wyjściowej przyjąć 5% tolerancję wykonania rezystorów obciążenia R_{load} .

TABELA 4 POMIAR SPRAWNOŚCI ENERGETYCZNEJ STABILIZATORA

	R_{load}	$\Delta_G R$	U_{in}	$\Delta_G V_1$	I_{in}	$\Delta_G A$	U_{out}	$\Delta_G V_2$	P_{in}	$u(P_{in})$	P_{out}	$u(P_{out})$	$\eta\%$	$u(\eta\%)$
	[Ω]	[Ω]	[V]	[mV]	[A]	[mA]	[V]	[mV]	[W]	[W]	[W]	[W]	-	-
D_Z1	R1=510 Ω													
D_Z1	R2=1k Ω													
D_Z1	R3=2.2 k Ω													
D_Z2	R1=510 Ω													
D_Z2	R2=1k Ω													
D_Z2	R3=2.2 k Ω													
D_Z3	R1=510 Ω													
D_Z3	R2=1k Ω													
D_Z3	R3=2.2 k Ω													

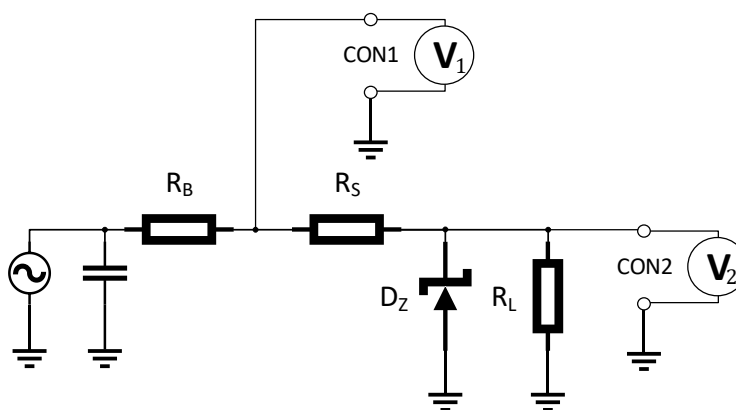
3. Sprawność energetyczną stabilizatora wyznaczyć z zależności:

$$\eta\% = \frac{P_{out}}{P_{in}} \cdot 100\% = \frac{U_{out}^2}{R_{load} \cdot U_{in} \cdot I_{in}} \cdot 100\%.$$

ZADANIE 4

Obserwacja i pomiar napięcia tętnień na wejściu i wyjściu stabilizatora dla różnych wartości napięcia wejściowego, pojemności filtrującej, prądu obciążenia oraz wartości napięcia Zenera diody stabilizacyjnej. Na podstawie pomiarów należy wyznaczyć współczynniki tętnień napięć wejściowych oraz wyjściowych. Współczynnik tętnień napięcia wejściowego definiujemy jako stosunek wartości skutecznej składowej zmiennej tego napięcia do jego wartości średniej $M_{tin} = \frac{U_{in(AC)}}{U_{in(DC)}} \cdot 100\%$.

1. Zestawić układ pomiarowy zgodnie ze schematem z rys. 14. Dodatkowo podłączyć oscyloskop do pinów (J3,J4) – obserwacja napięcia wejściowego oraz (J5,J6) – obserwacja napięcia wyjściowego stabilizatora.



RYСУNEK 14. SCHEMAT ZADANEGO OBWODU

2. Za pomocą oscyloskopu dokonać obserwacji i pomiaru napięcia wejściowego i wyjściowego stabilizatora, dla różnych kombinacji napięcia wejściowego, najmniejszej i największej pojemności filtrującej, rezystancji obciążenia, oraz napięcia Zenera diody stabilizacyjnej.
3. W tabeli zanotować wyniki pomiarów wraz z informacją o dokładności pomiaru. Pomiary realizowane za pomocą oscyloskopu przeprowadzić z wykorzystaniem funkcji MEASURE do pomiaru wartości skutecznej (RMS/AC) i średniej (AVG/DC) napięcia.

TABELA 6 POMIAR WSPÓŁCZYNNIKA TĘTNIEN – DLA JEDNEJ WARTOŚCI POJEMNOŚCI FILTRUJĄCEJ.

	R_{load}	$U_{in(AC)}$	$\Delta_C V_{1AC}$	$U_{in(DC)}$	$\Delta_C V_{1DC}$	$U_{out(AC)}$	$\Delta_C V_{2AC}$	$U_{out(DC)}$	$\Delta_C V_{2DC}$	M_{tin}	M_{tout}	$u(M_{tin})$	$u(M_{tout})$
	[Ω]	[V]	[mV]	[V]	[mV]	[V]	[mV]	[V]	[mV]	-	-	-	-
D_Z1	R1=510 Ω												
D_Z1	R2=1k Ω												
D_Z1	R3=2.2 k Ω												
D_Z2	R1=510 Ω												
D_Z2	R2=1k Ω												
D_Z2	R3=2.2 k Ω												
D_Z3	R1=510 Ω												
D_Z3	R2=1k Ω												
D_Z3	R3=2.2 k Ω												

OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIAROWYCH

Każda osoba z zespołu przygotowuje własne sprawozdanie zawierające:

- stronę tytułową (według wzoru z zajęć wprowadzających),
- wstęp teoretyczny zawierający najważniejsze 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. Na podstawie wyników uzyskanych w zadaniu pierwszym wyliczyć współczynniki stabilizacji napięciowej dla różnych konfiguracji stabilizatora.
2. Na podstawie wyników uzyskanych w zadaniu drugim wyliczyć rezystancje wyjściowe dla różnych konfiguracji stabilizatora.
3. Na podstawie wyników uzyskanych w zadaniu trzecim wyliczyć sprawność energetyczną dla różnych konfiguracji stabilizatora
4. Na podstawie wyników uzyskanych w zadaniu czwartym wyliczyć współczynnik tętnień napięcia wejściowego i wyjściowego dla różnych konfiguracji stabilizatora.
5. Wyliczyć niepewności pomiarowe w miejscach wskazanych w tabelach.
6. Przeanalizować wpływ parametrów stabilizatora takich jak dobór diody Zenera i obciążenia na sprawność i współczynnik stabilizacji układu.
7. Określić wpływ pojemności filtrującej na wartość napięcia tętnień dla różnych wartości rezystancji obciążenia.

8. STABILIZATOR PARAMETRYCZNY – DIODA ZENERA

Zadanie pomiarowe - zaprojektuj i przeprowadź badania parametrów stabilizatora parametrycznego z diodą Zenera. Przeprowadź pomiary współczynnika stabilizacji i współczynnika tętnień stabilizatora z diodą D_Z2. Pomiary wykonaj dla dwóch napięć zasilania S1 i S2, maksymalnej wartości pojemności filtrującej C_F i dla trzech różnych wartości rezystancji obciążenia R_L (plus pomiar w stanie jałowym). Wykonaj wykresy $S_u(R_L)$. Wykonaj pomiary sprawności stabilizatora z diodą D_Z2 dla dwóch napięć zasilania S1 i S2 dla trzech różnych wartości rezystancji obciążenia R_L oraz w stanie jałowym. Wykonaj wykresy $\eta(R_L)$. Wykonaj i dołącz do sprawozdania przykładowe zrzuty ekranów przebiegów napięcia wyjściowego i wejściowego stabilizatora – zakres ustal z prowadzącym.

LAB 8. STABILIZATOR PARAMETRYCZNY – DIODA ZENERA

1. Półprzewodniki samoistne i domieszkowane - omówić
2. Złącze p-n zasada działania.
3. Charakterystyka prądowo napięciowa diody idealnej i rzeczywistej.
4. Prostownik dwupołkowy zasada działania, schemat, wykresy.
5. Wyjaśnij mechanizm stabilizacji napięcia z wykorzystaniem diody Zenera.
6. Omów parametry stabilizatora, podaj definicję sprawności energetycznej, rezystancji wyjściowej i współczynnika stabilizacji.