

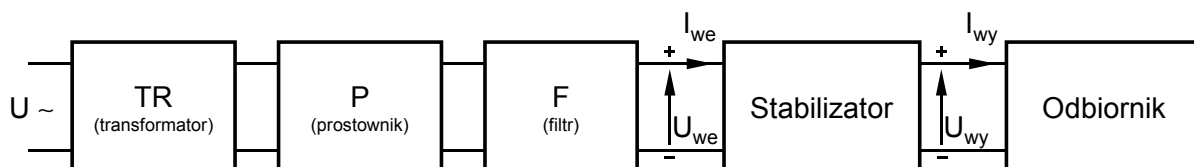
ĆWICZENIE 3

STABILIZATORY NAPIĘCIA STAŁEGO

1. Wiadomości wstępne

Stabilizatory napięcia stałego są to układy elektryczne dostarczające do odbiornika napięcie o stałej wartości niezależnie od zmian w określonych granicach: napięcia wejściowego, prądu obciążenia, temperatury i czasu.

Schemat blokowy układu zasilania odbiornika prądu stałego z sieci energetycznej prądu przemiennego z zastosowaniem stabilizatora napięcia przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Schemat blokowy układu zasilania odbiornika prądu stałego z sieci energetycznej z zastosowaniem stabilizatora napięcia

Transformator TR obniża napięcie sieci do wymaganej wartości, prostownik P zamienia napięcie przemiennie na jednokierunkowe, filtr pojemnościowy F wygładza napięcie jednokierunkowe.

1.1. Podstawowe parametry stabilizatorów napięcia

Podstawowymi parametrami stabilizatorów napięcia stałego są:

- znamionowe napięcie wyjściowe,
- zakres zmian napięcia wejściowego,
- współczynnik stabilizacji,
- rezystancja wyjściowa.

Znamionowe napięcie wyjściowe to napięcie, na które stabilizator został zaprojektowany i wykonany.

Zakres zmian napięcia wejściowego określa minimalną $U_{we\ min}$ i maksymalną wartość $U_{we\ max}$ napięcia wejściowego, przy której stabilizator poprawnie pracuje (rys. 2a).

Współczynnik stabilizacji napięcia K_U :

$$K_U = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta U_{we}}, \quad (1)$$

gdzie: ΔU_{wy} - zmiana napięcia wyjściowego odpowiadająca zmianie napięcia wejściowego ΔU_{we} (rys. 2a).

Współczynnik ten wskazuje, ile razy wahania napięcia wyjściowego (napięcia na urządzeniu zasilanym) są mniejsze od wahań napięcia zasilania.

Rezystancja wyjściowa stabilizatora:

$$R_{wy} = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_{wy}} \text{ przy } U_{we} = \text{const}, \quad (2)$$

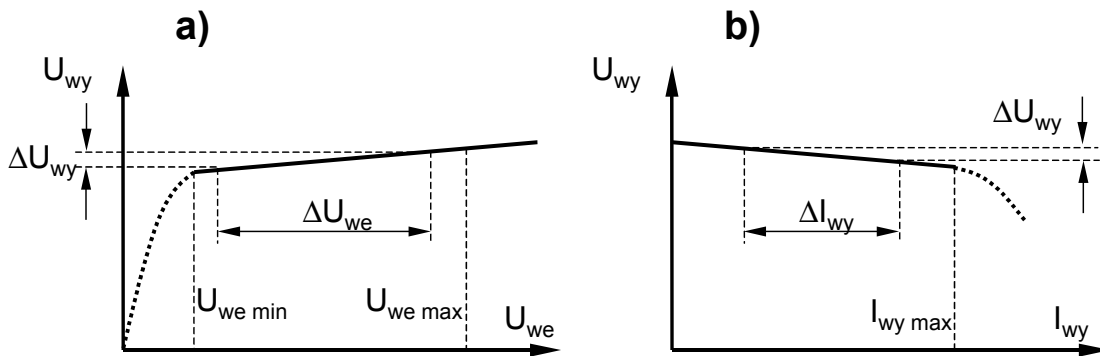
gdzie: ΔU_{wy} - zmiana napięcia wyjściowego odpowiadająca zmianie prądu obciążenia ΔI_{wy} (rys. 2b).

Rezystancja ta decyduje o przebiegu charakterystyki zewnętrznej $U_{wy} = f(I_{wy})$ stabilizatora.

1.2. Podstawowe charakterystyki stabilizatorów napięcia

Podstawowymi charakterystykami stabilizatorów napięcia stałego są:

- charakterystyka napięciowa $U_{wy}=f(U_{we})$ przy $I_{wy}=\text{const.}$,
- charakterystyka zewnętrzna $U_{wy}=f(I_{wy})$ przy $U_{we}=\text{const.}$



Rys. 2. Podstawowe charakterystyki stabilizatorów napięcia stałego:

- a) charakterystyka napięciowa $U_{wy}=f(U_{we})$ przy $I_{wy}=\text{const.}$,
 b) charakterystyka zewnętrzna $U_{wy}=f(I_{wy})$ przy $U_{we}=\text{const.}$

1.3. Klasyfikacja stabilizatorów

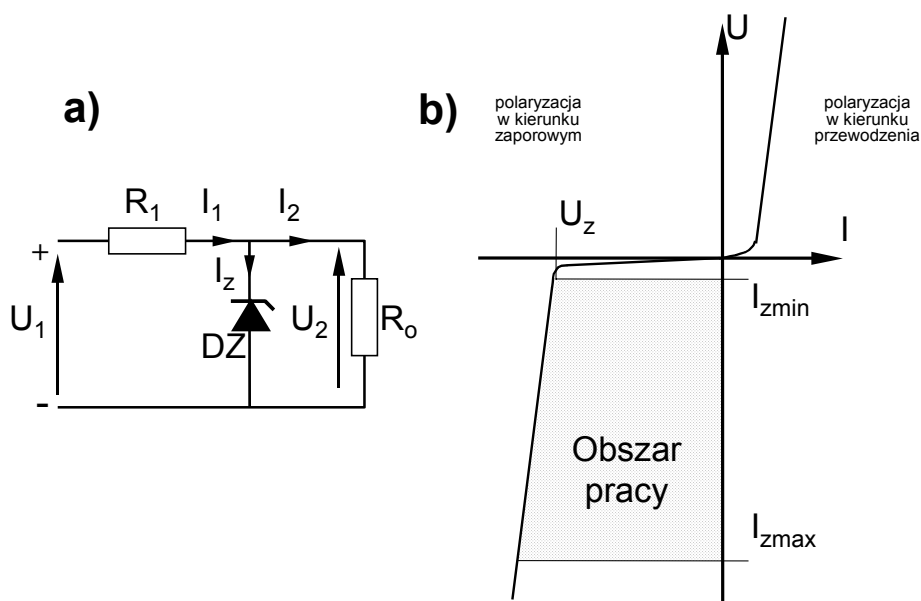
Pod względem zasady działania stabilizatory można podzielić na dwa podstawowe rodzaje:

- stabilizatory parametryczne,
- stabilizatory kompensacyjne.

Stabilizatory parametryczne

Stabilizatory parametryczne wykorzystują nieliniowe charakterystyki napięciowo-prądowe elementów użytych do budowy stabilizatora.

Najczęściej wykorzystywanym elementem stabilizującym w stabilizatorze parametrycznym jest dioda Zenera.



Rys. 3. Stabilizator napięcia stałego z diodą Zenera: a) schemat elektryczny,
 b) charakterystyka napięciowo-prądowa diody

Dioda Zenera jest to specjalna dioda krzemowa pracująca przy polaryzacji zaporowej przy napięciu nieznacznie wyższym od napięcia przebiccia U_z (rys. 3b) nazywanego napięciem Zenera.

Napięcie na pracującej diodzie, a tym samym na odbiorniku R_o , jest praktycznie stałe w szerokim przedziale zmian prądu I_z przepływającego przez diodę (rys. 3b - obszar pracy diody). Przy zmianach napięcia wejściowego U_I , przy $R_o = \text{const.}$, ulega zmianie natężenie prądu I_I , ale w zasadzie tylko kosztem zmiany natężenia prądu I_z . W efekcie na rezystorze szeregowym R_I odkłada się praktycznie całkowity przyrost napięcia wejściowego, a napięcie wyjściowe pozostaje na tym samym poziomie. Jeżeli natomiast wzrośnie R_o przy $U_I = \text{const.}$, to zmienia się rozdział prądu I_I pomiędzy diodę a odbiornik w ten sposób, że prąd diody I_z wzrośnie tak, iż:

$$I_1 = I_z + I_2 = \text{const.} \quad (3)$$

W tym przypadku napięcie U_2 na odbiorniku R_o również zostanie praktycznie na poprzednim poziomie.

Jak wynika z charakterystyki napięciowo-prądowej diody (rys. 3b), stabilizator będzie poprawnie pracować, jeżeli będą spełnione następujące kryteria:

- wynikające z zasilania:

$$U_z > U_o, \quad (4)$$

- wynikające z obciążenia:

$$R_o \geq R_{o \min} = \frac{U_z}{I_z - I_{z \min}}, \quad (5)$$

gdzie: U_z - napięcie znamionowe diody,

I_z - prąd znamionowy diody,

$I_{z \min}$ - minimalna wartość prądu diody w czasie pracy stabilizatora ($I_{z \min} = 0,1 I_z$).

Należy zauważyć, że w układzie jak na rys. 3a, dioda jest najbardziej obciążona w stanie jałowym stabilizatora tj. kiedy odbiornik R_o jest odłączony.

Z powyższego uwarunkowania wynika dobór odbiornika R_I :

- wartość rezystancji R_I :

$$R_I = \frac{U_{I \max} - U_z}{I_z}, \quad (6)$$

- moc rezystora R_I :

$$P_R = I_z^2 \cdot R, \quad (7)$$

gdzie: $U_{I \max}$ - największa wartość napięcia wejściowego, jakie może wystąpić w czasie pracy stabilizatora.

Przebieg charakterystyk zewnętrznych takiego stabilizatora jest zależny od położenia punktu pracy na charakterystyce napięciowo-prądowej w stanie jałowym, uzależnionym od wartości napięcia wejściowego U_I :

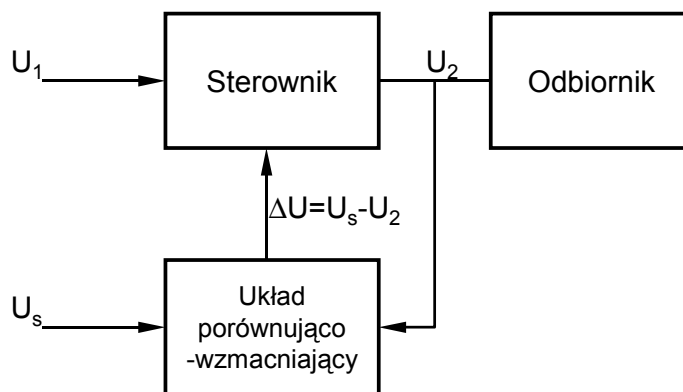
$$U_z < U_I < U_{I \max}. \quad (8)$$

Diody Zenera są wykonywane dla zakresu stabilizacji 2÷200 V przy prądach od kilkunastu do kilkuset miliamperów.

Stabilizatory kompensacyjne

Stabilizatory kompensacyjne w procesie stabilizacji porównują napięcie stabilizowane z wzorcowym i w przypadku ich różnicy tak działają na element sterujący, że kompensuje on zmiany napięcia wyjściowego.

Na rys. 4 przedstawiony jest schemat blokowy stabilizatora kompensacyjnego.



Rys. 4. Schemat blokowy stabilizatora kompensacyjnego

Jeżeli wskutek zmiany np. napięcia U_1 zmieni się napięcie stabilizowane U_2 , to wówczas układ porównująco-wzmacniający przekaże różnicę między napięciem odniesienia U_s i napięciem U_2 do sterownika, który spowodować będzie kompensację zmiany napięcia U_2 .

Obecnie stabilizatory kompensacyjne budowane są jako układy monolityczne, w których skład wchodzi wiele elementów połączonych w oparciu o złożony schemat wewnętrzny.

Podstawowymi parametrami takich stabilizatorów są:

- $U_{we\ max}$ - największa wartość napięcia wejściowego,
- U_{wy} - znamionowe napięcie wyjściowe,
- $I_{wy\ max}$ - największy prąd obciążenia stabilizatora.

Cechą szczególnie odróżniającą stabilizator kompensacyjny od stabilizatora parametrycznego (np. z diodą Zenera - rys. 3) jest bardzo mały prąd wejściowy I_{I0} w stanie jałowym, praktycznie stały w przedziale zmian napięcia wejściowego U_1 .

$$I_{I0} \approx (3 \div 5 \%) I_{wy\ max}. \quad (9)$$

1.4. Sprawność stabilizatorów napięcia

Sprawność stabilizatorów napięcia określana jest zależnością:

$$\eta = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} \cdot 100\%, \quad (10)$$

jest stosunkowo niska i nie przekracza 50 %. Znaczne straty mocy wynikające z niskiej sprawności

$$\Delta P = (U_1 - U_2) I_1 \quad (11)$$

są tracone w stabilizatorze. Straty te są podstawowym problemem miniaturyzacji stabilizatorów monolitycznych.

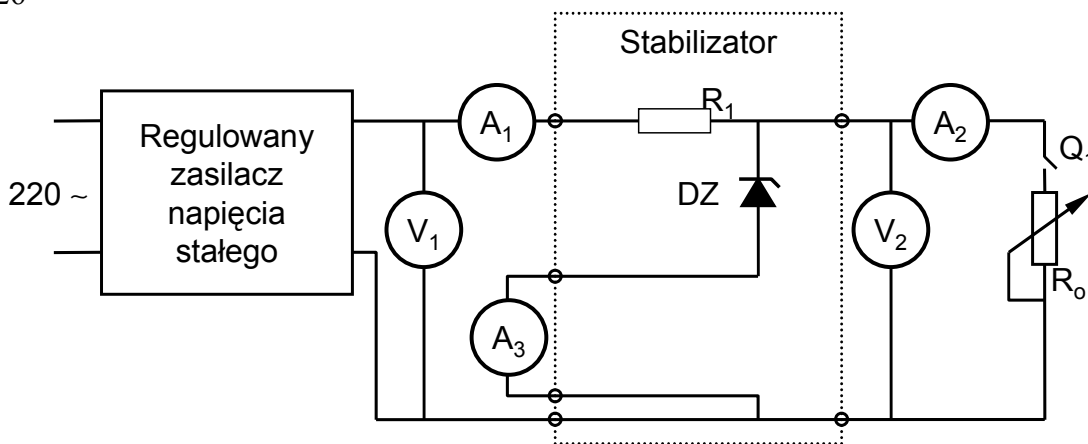
2. Wykonanie ćwiczenia

Część praktyczna ćwiczenia obejmuje:

- badanie stabilizatora parametrycznego z diodą Zenera,
- badanie stabilizatora monolitycznego.

2.1. Badanie stabilizatora parametrycznego napięcia stałego z diodą Zenera

Dane diody Zenera zastosowanej w stabilizatorze umieścić w sprawozdaniu. Zestawić układ pomiarowy przedstawiony na rys. 5.



Rys. 5. Układ do badania stabilizatorów napięcia stałego

Pomiary charakterystyk napięciowych $U_2=f(U_1)$

Przed włączeniem zasilacza, regulator napięcia ustawić w pozycji minimum.

Wyznaczyć charakterystyki napięciowe $U_2=f(U_1)$ stabilizatora dla dwóch wartości prądu wyjściowego I_2 : $I_2=0$ (stan jałowy) oraz dla $I_2=(0,2\div 0,5) I_z$ (I_z - prąd diody Zenera). Stałą wartość prądu I_2 otrzymywać zmieniając rezystancję R_o (stan jałowy - wyłącznik Q_0 otwarty). Po włączeniu zasilacza, wykonać 2÷3 punkty pomiarowe przy zwiększaniu napięcia U_1 do wartości $U_1 \leq U_z$ (U_z - napięcie diody Zenera) oraz kolejne punkty pomiarowe przy dalszym podwyższaniu napięcia U_1 do wartości, przy której $I_1 \leq I_z$.

Wyniki pomiarów dla obu wartości prądu I_2 zestawić w tabeli 1.

Tabl. 1.

Lp.	U_1	I_1	I_3	U_2	I_2
	V	mA	mA	V	A
1.					
...					
8.					
1.					
...					
8.					

Na jednym rysunku dla obu prądów I_2 wykreślić charakterystyki $U_2=f(U_1)$ oraz $I_1=f(U_1)$.

Z przebiegu charakterystyk $U_2=f(U_1)$ określić przedziały zmian napięcia U_1 ($U_{1min} \div U_{1max}$), w których występuje „dobra” stabilizacja przyjmując:

$$U_{1min} \text{ dla } U_2 \approx 0,95 U_z,$$

$$U_{1max} \text{ dla } I_1 = I_z.$$

Pomiary charakterystyk obciążenia $U_2=f(I_2)$

Dla dwóch wartości napięć wejściowych $U_1 > U_z$ (wartości napięć U_1 ustalić z prowadzącym zajęcia) wykonać po około 8 punktów pomiarowych zmieniając rezystorem R_o prąd I_2 od wartości $I_2=0$ do $I_2 \approx 1,2 I_z$.

Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tabeli 2.

Tabl. 2.

Lp.	U_1	I_1	I_3	U_2	I_2	η
	V	mA	mA	V	A	$\%$
1.						
...						
8.						
1.						
...						
8.						

$$\eta = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} \cdot 100\%; \text{ gdzie } \eta \text{ to sprawność stabilizatora}$$

Na jednym rysunku dla obu wartości napięcia U_1 wykreślić charakterystyki $U_2=f(I_2)$. Na podstawie przebiegu charakterystyk $U_2=f(I_2)$ dla napięcia $U_2=0,95 U_z$ odczytać wartości natężenia prądu I_2 i obliczyć minimalne wartości rezystancji R_0 z zależności:

$$R_{0\min} = \frac{U_2}{I_2}.$$

Omówić wpływ wartości napięcia U_1 na przebieg charakterystyk obciążenia $U_2=f(I_2)$ stabilizatora.

2.2. Badanie stabilizatora monolitycznego

Oznaczenia oraz dane stabilizatora ($U_{we\max}$, U_{wy} , $I_{wy\max}$) zamieścić w sprawozdaniu.

Układ pomiarowy jak w punkcie 2.1 lecz bez miliamperomierza A_3 .

Pomiary charakterystyk napięciowych $U_2=f(U_1)$

Pomiary wykonać dla dwóch wartości prądu I_2 : $I_2=0$ oraz $I_2 \approx (0,2 \div 0,4) I_{wy\max}$.

Przed właściwymi pomiarami ustalić wstępnie wartości napięcia $U_{1\min}$, przy których stabilizator zaczyna poprawnie pracować.

Wykonać po 2÷3 punkty pomiarowe przy podwyższaniu napięcia wejściowego do wartości wstępnie ustalonych oraz 4÷5 punktów pomiarowych przy dalszym podnoszeniu napięcia U_1 do wartości $U_1 \leq U_{we\max}$. Wyniki pomiarów dla obu prądów I_2 zestawzić w tabeli 3.

Tabl. 3.

Lp.	U_1	I_1	U_2	I_2
	V	mA	V	A
1.				
...				
8.				
1.				
...				
8.				

Na jednym rysunku dla obu prądów I_2 wykreślić charakterystyki $U_2=f(U_1)$ oraz $I_1=f(U_1)$.

Na charakterystykach zaznaczyć i opisać punkty określające początki stabilizacji.

Pomiary charakterystyk obciążenia $U_2=f(I_2)$

Dla dwóch wartości napięć wejściowych ($U_1 \leq U_{we\ max}$, wartości napięć U_1 ustalić z prowadzącym zajęcia) wykonać po około 8 punktów pomiarowych zmieniając rezystorem R_o prąd I_2 od wartości $I_2=0$ do $I_2 \leq I_{wy\ max}$.

Wyniki pomiarów i obliczeń zestawić w tabeli 4.

Tabl. 4.

Lp.	U_1	I_1	U_2	I_2	η
	V	mA	V	A	%
1.					
...					
8.					
1.					
...					
8.					

Sprawność η obliczać analogicznie jak w punkcie 2.1.

Na jednym rysunku dla obu wartości napięcia U_1 wykreślić charakterystyki $U_2=f(I_2)$.

Na podstawie przebiegu charakterystyk napięciowych $U_2=f(U_1)$ i charakterystyk obciążenia $U_2=f(I_2)$ ocenić jakość stabilizacji obu badanych stabilizatorów.

3. Zagadnienia do samodzielnego opracowania

1. Podstawowe parametry i charakterystyki stabilizatorów napięcia.
2. Charakterystyka napięciowo-prądowa diody Zenera.
3. Schemat elektryczny oraz zasada działania stabilizatora parametrycznego z diodą Zenera.
4. Kryteria poprawnej pracy stabilizatorów napięcia z diodą Zenera.
5. Dobór rezystora R_1 w stabilizatorze parametrycznym.
6. Zasada pracy stabilizatorów kompensacyjnych.
7. Przykłady stosowania stabilizatorów napięcia stałego w technice.