



Ćwiczenie nr 3

Elementy stabilizacyjne

I. Zagadnienia do samodzielnego przygotowania:

- efekt Zenera i efekt powielania lawinowego,
- charakterystyka prądowo - napięciowa diody Zenera,
- prosty stabilizator z diodą Zenera.

II. Program zajęć

- pomiar charakterystyki $U=f(I)$ diody Zenera
- projekt prostego stabilizatora
- pomiar współczynnika stabilizacji

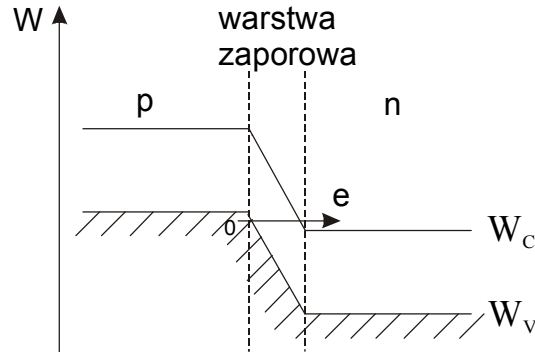
III. Literatura

- | | |
|-----------------------|---|
| W. Marciniak | - "Przyrządy półprzewodnikowe i układy scalone" |
| A. Świt, J. Pułtorak | - "Przyrządy półprzewodnikowe" |
| T. Ohly, Z. Radzimski | - "Elementy elektroniczne" |
| Dunstar | - "Półprzewodniki dla inżynierów" |
| Wykład | |

Wykonując pomiary **PRZESTRZEGAJ** przepisów BHP związanych z obsługą urządzeń elektrycznych.

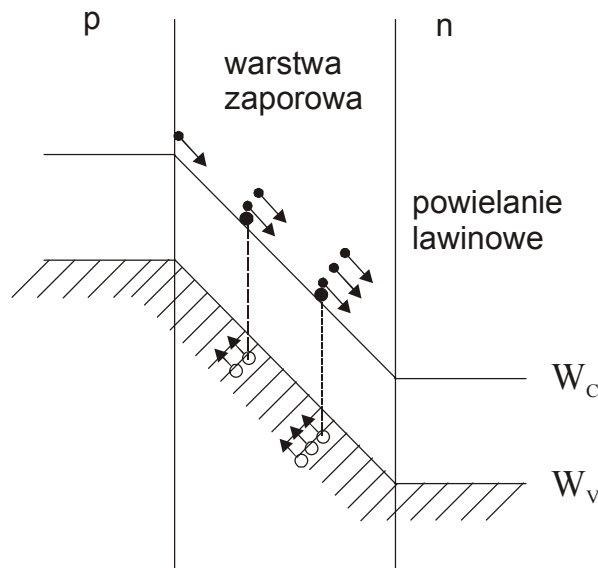
IV. Wiadomości wstępne

Dioda Zenera (stabilitrón) jest to półprzewodnikowy element stabilizacyjny, w którym wykorzystuje się efekty: Zenera i powielania lawinowego. Występują one podczas zaporowej polaryzacji złącza p-n.



Rys.1. Tunelowe przejście elektronu z pasma podstawowego do pasma przewodnictwa

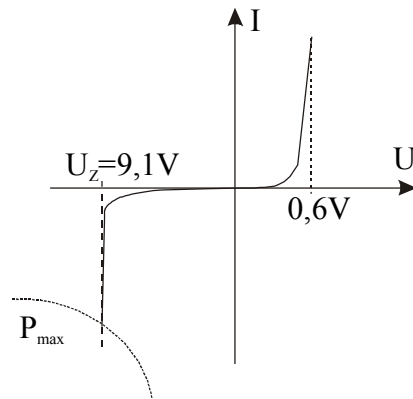
Efekt Zenera polega na tunelowym przejściu elektronu, (tzn. bez straty energii) z pasma podstawowego do pasma przewodnictwa półprzewodnika. Występuje on przede wszystkim w półprzewodnikach silnie domieszkowanych (cienkie złącze, a co za tym idzie duże natężenie pola elektrycznego w jego obszarze ($\approx 10^8$ V/m.)). Występuje w diodach, których napięcie przebicia leży w zakresie 2÷5V.



Rys.2. Model pasmowy opisujący zjawisko powielania lawinowego

Zjawisko powielania lawinowego polega na powielaniu nośników prądu w warstwie zaporowej złącza w wyniku zderzeń elektronów z atomami sieci krystalicznej. Efekt ten występuje w złączu słabo domieszkowanym (złącze grube o grubości znacznie przekraczającej średnią drogę swobodną elektronu więc o dużym prawdopodobieństwie powielania lawinowego; natężenie pola elektrycznego w warstwie zaporowej złącza wynosi ok. 10^6 V/m). Wspomniany efekt zachodzi w diodach, których napięcie przebicia jest z reguły wyższe od 6V.

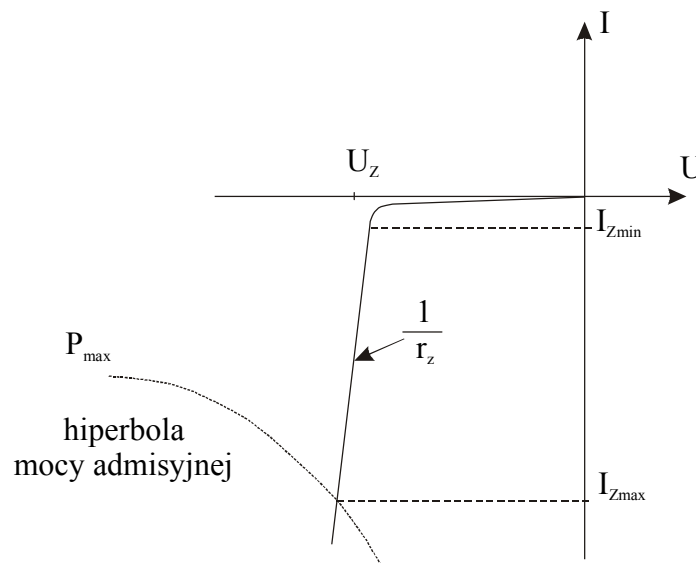
Dla diod o napięciu polaryzacji zawierającym się w granicach $5 \div 10V$ oba efekty występują jednocześnie.



Rys.3. Charakterystyka prądowo-napięciowa diody Zenera

Charakterystykę prądowo-napięciową diody Zenera przedstawiono na rys.3. Przy polaryzacji w kierunku przewodzenia dioda Zenera zachowuje się tak jak “zwykła dioda”, tzn. spadek napięcia na niej jest niewielki i wynosi ok. $0.6 \div 0.7V$. Przy polaryzacji zaporowej gwałtowny wzrost prądu występuje dla pewnej wartości napięcia (zależy to od sposobu wykonania diody). Tę ostatnią właściwość wykorzystuje się stosując diodę Zenera jako element stabilizacyjny w stabilizatorach napięć.

Na rys.4 przedstawiono charakterystykę diody Zenera spolaryzowanej w kierunku zaporowym wraz z jej podstawowymi parametrami.

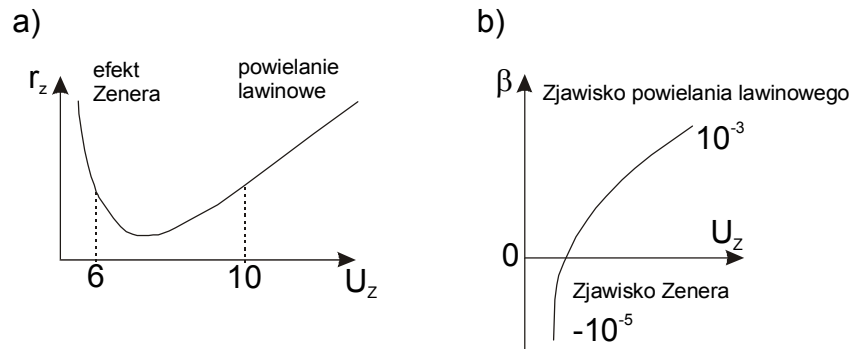


Rys.4. Charakterystyka wsteczna diody Zenera

Rysunki 5a i 5b przedstawiają zależność rezystancji dynamicznej (r_z) oraz temperaturowego współczynnika napięcia (β) od wartości napięcia przebicia diody Zenera.

$$r_z = \frac{dU}{di} \text{ w zakresie przebicia złącza}$$

$$\beta = \frac{dU_z}{U_z dT}$$



Rys. 5. Wpływ wartości napięcia przebicia na rezystancję dynamiczną (a) i temperaturowy współczynnik napięcia (b) diod stabilizacyjnych.

Przykładowe oznaczenie diody: **B Z P 620 - C 3V3**

Pierwsza litera oznacza materiał, z jakiego wykonana została dioda (B - oznacza krzem), litera druga mówi o rodzaju diody (Z - dioda Zenera), litera trzecia oznacza rodzaj wykonania (P - wykonanie polskie). Kolejne trzy cyfry oznaczają typ diody i określają moc admysyjną diody:

- 611, 630 - moc admysyjna równa 0.25W przy 25°C
- 683 - moc admysyjna równa 0.4W przy 25°C
- 620 - moc admysyjna równa 1W przy 25°C
- 650 - moc admysyjna równa 1W bez radiatora.

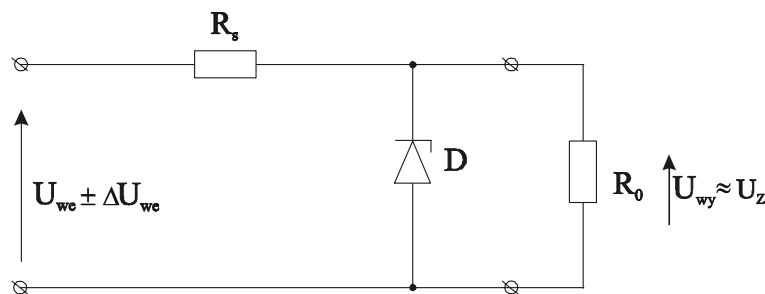
Czwarta litera oznacza tolerancję napięcia przebicia (U_z) diody.

- C - tolerancja 5%
- D - tolerancja 10%.

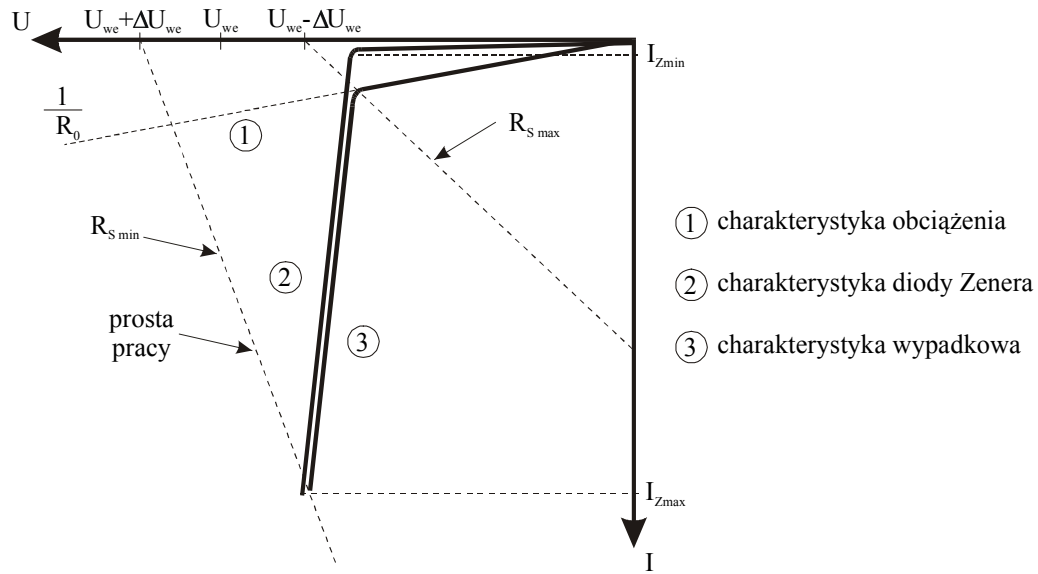
Ostatnie trzy znaki mówią o nominalnym napięciu stabilizacji diody (3V3 - oznacza 3.3V).

V. Projekt stabilizatora opartego na diodzie Zenera

Na rys. 6 pokazano podstawowy schemat układu stabilizatora opartego na diodzie Zenera, a na rys. 7 charakterystykę prądowo-napięciową stabilizatora. Kształt tej charakterystyki wynika z dodania do siebie charakterystyk poszczególnych elementów układu (tzn. charakterystyki diody Zenera i rezystancji obciążenia R_o).



Rys. 6. Schemat układu stabilizatora opartego na diodzie Zenera



Rys. 7. Charakterystyka prądowo-napięciowa stabilizatora z diodą Zenera

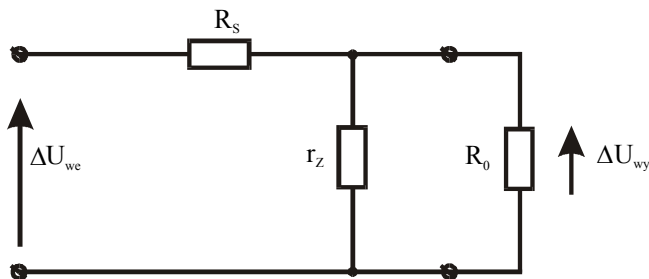
Zmiana napięcia wejściowego U_{we} o $\pm\Delta U_{we}$ powoduje zmianę położenia punktu pracy na charakterystyce wypadkowej stabilizatora. Aby układ stabilizował punkt pracy powinien “poruszać się” w zakresie $I_{Zmax} \div I_{Zmin}$. Poniżej wartości I_{Zmin} układ traci własność stabilizacji (zmiana kształtu charakterystyki diody), zaś powyżej wartości I_{Zmax} występuje niebezpieczeństwo termicznego zniszczenia elementu. Rezystor szeregowy R_s decyduje o prawidłowej pracy stabilizatora. Problem właściwego zaprojektowania stabilizatora sprowadza się, więc do problemu prawidłowego dobrania wartości R_s (przy danych wartościach R_0 i U_Z).

Jakość stabilizacji charakteryzuje współczynnik stabilizacji zdefiniowany jako stosunek względnej zmiany napięcia wyjściowego do względnej zmiany napięcia wejściowego, czyli:

$$k = \frac{\frac{\Delta U_{wy}}{U_{wy}}}{\frac{\Delta U_{we}}{U_{we}}}$$

im k jest mniejsze tym lepsza jest stabilizacja układu (typowe wartości to

$k=0,02 \div 0,05$). Układ zastępczy stabilizatora dla składowej zmiennej ma postać jak na rys. 8:



Rys. 8. Układ zastępczy stabilizatora dla składowej zmiennej

Na podstawie analizy powyższego układu można napisać, że:

$$\frac{\Delta U_{WY}}{\Delta U_{WE}} = \frac{\frac{r_z \cdot R_o}{R_o + r_z}}{R_S + \frac{r_z \cdot R_o}{R_o + r_z}}$$

Zwykle $r_z \ll R_o$, a $R_S \gg r_z$, tak więc można napisać, że $\frac{\Delta U_{WY}}{\Delta U_{WE}} \approx \frac{r_z}{R_S}$. Wstawiając powyższe wyrażenie do wzoru na k otrzymujemy:

$$k = \frac{r_z}{R_S} \cdot \frac{U_{WE}}{U_{WY}}$$

Na podstawie tego wzoru widać, że układ ma tym lepsze własności stabilizacyjne im wartość rezystancji szeregowej R_S jest większa, a wartość rezystancji dynamicznej r_z diody - mniejsza. Wartość rezystancji r_z możemy obliczyć na podstawie zmierzonej charakterystyki diody (oznaczenia jak na rys. 4):

$$r_z = \frac{U_{Z \max} - U_{Z \min}}{I_{Z \max} - I_{Z \min}}$$

Gdy napięcie zasilające wyniesie $U_{WE} + \Delta U_{WE}$ wtedy prąd płynący przez układ jest maksymalny a wartość rezystancji R_S nie może być mniejsza od $R_{S \min}$:

$$R_{S \min} = \frac{(U_{WE} + \Delta U_{WE}) - U_Z}{I_{Z \max} + \frac{U_Z}{R_o}} \quad \text{gdzie: } \frac{U_Z}{R_o} - \text{prąd obciążenia}$$

U_Z - nominalne napięcie stabilizacji

Gdy napięcie zasilające wyniesie $U_{WE} - \Delta U_{WE}$, to wówczas prąd płynący przez układ jest najmniejszy a wartość rezystancji ograniczającej prąd nie może być większa od wartości $R_{S \max}$

$$R_{S \max} = \frac{(U_{WE} - \Delta U_{WE}) - U_Z}{I_{Z \min} + \frac{U_Z}{R_o}}$$

Obliczenia określają dozwolony zakres wartości rezystora R_S . Dla uzyskania możliwie małych wartości k wybieramy oczywiście wartość rezystora możliwie bliską wartości $R_{S \max}$.

Założenia projektowe

Aby zaprojektować stabilizator przyjmujemy następujące założenia:

$$U_{WE} = 2 U_Z$$

$$\Delta U_{WE} = \pm 10\% U_{WE}$$

$$I_{Z \max} = P_{\max} / U_Z$$

$I_{Z \min}$ - określane na podstawie charakterystyki

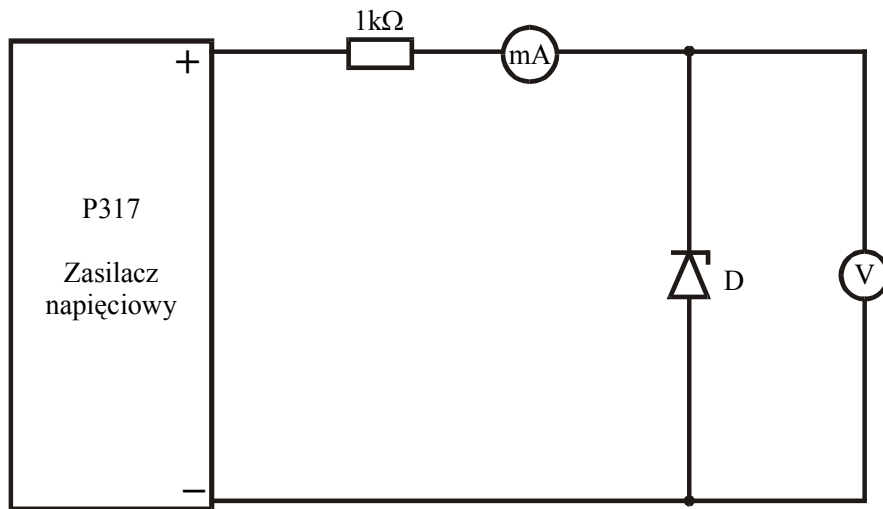
$$R_o \approx 5 \div 10 \text{ k}\Omega$$

VI. Pomiary

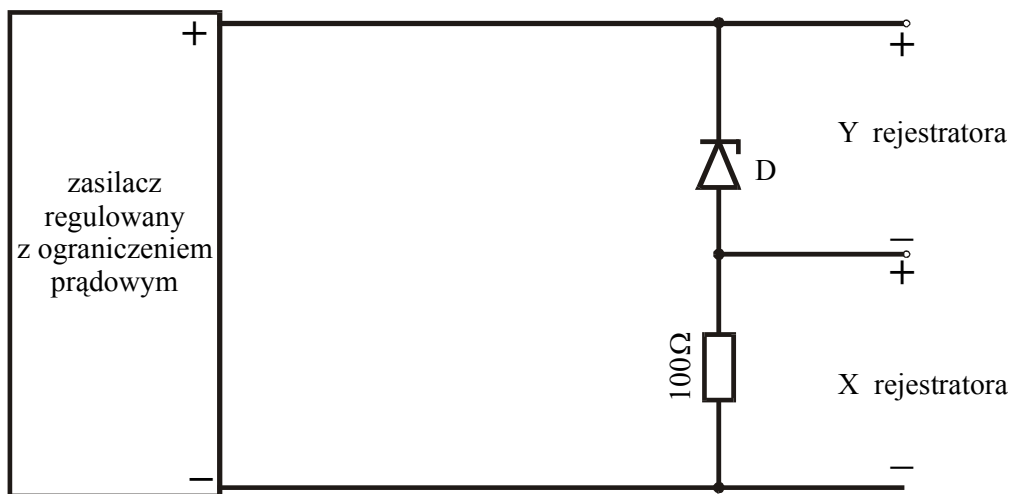
Charakterystykę diody Zenera można mierzyć dwojako:

- metodą techniczną "punkt po punkcie" (rys. 9),
- przy pomocy rejestratora (rys. 10).

Metoda techniczna jest dokładniejsza, ale i bardziej pracochłonna, metoda z użyciem rejestratora jest szybsza, ale za to mniej dokładna.



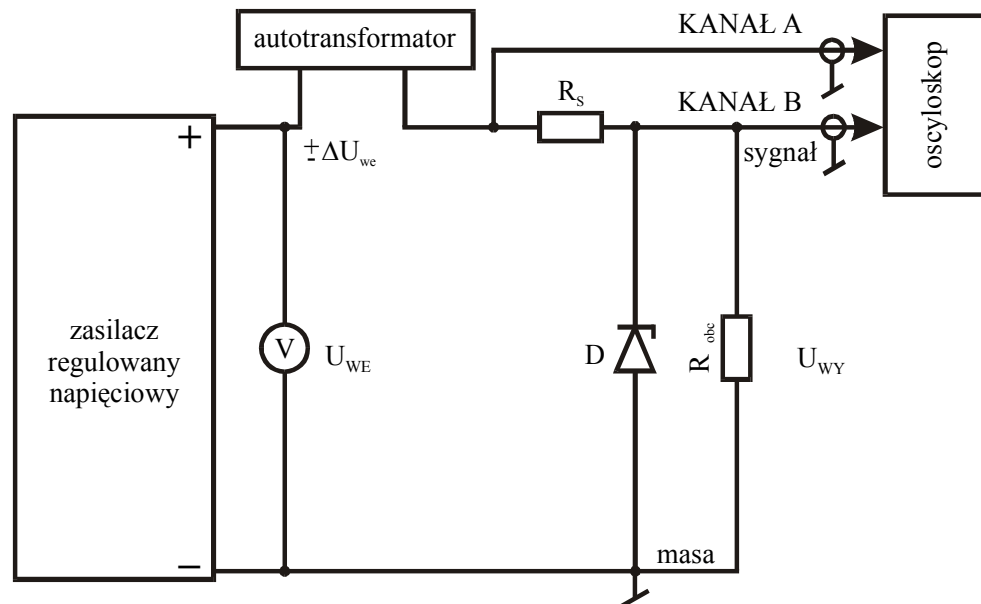
Rys. 9. Układ do pomiaru charakterystyki prądowo-napięciowej diody Zenera metodą "punkt po punkcie" dla natężenia prądu, poniżej 10 mA. Dla większych prądów pominąć rezystor 1 kΩ i stosować stabilizację prądową.



Rys. 10. Układ do pomiaru charakterystyki prądowo-napięciowej diody Zenera z wykorzystaniem rejestratora

W układzie z rys. 9 należy zwrócić przede wszystkim uwagę na właściwą polaryzację diody oraz na konieczność zastosowania woltomierza cyfrowego. W układzie z rys.10 podstawowym warunkiem prawidłowego pomiaru jest odpowiedni dobór czułości poszczególnych kanałów rejestratora.

Pomiar współczynnika stabilizacji przeprowadzamy w sposób pokazany na rys. 11.



Rys. 11. Układ do pomiaru współczynnika stabilizacji

VII. Obliczenia

Należy wykonać następujące obliczenia:

- rezystancji dynamicznej diody r_z , na podstawie zmierzonej charakterystyki,
- teoretycznego współczynnika stabilizacji,
- rzeczywistego współczynnika stabilizacji, na podstawie przeprowadzonych pomiarów.