

Karol Świerc

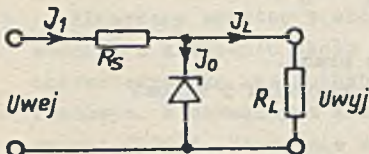
Instytut Aparatury i Automatyki Medycznej

ZASTOSOWANIE ELEMENTÓW NIELINIOWYCH  
DO STABILIZACJI NAPIĘCIA DIODĄ ZENERA

**Streszczenie.** Przedstawiono propozycję zastąpienia rezystora szeregowego w prostym stabilizatorze napięcia, z diodą Zenera, żarówką. Po przeprowadzeniu analizy, odnośnie wymagań w stosunku do rezystora szeregowego, wykazano wyższość elementu o charakterystyce nieliniowej. Na podstawie charakterystyki napięciowo-prądowej żarówki otrzymano wymierne korzyści takiej modyfikacji układu. Na koniec określono zakres częstotliwości, w których podane korzyści są ewidentne. Ostateczny wniosek potwierdza praktyczne zalety układu z żarówką.

1. Wstęp

Najprostszym urządzeniem stabilizującym napięcie jest dioda Zenera włączona równolegle z odbiornikiem oraz rezystorem szeregowym (rys. 1). Właściwości stabilizacyjne takiego układu charakteryzują dwa parametry:



Rys. 1. Stabilizator równoległy

a. Rezystancja wewnętrzna (wyjściowa) która determinuje zmiany napięcia wyjściowego pod wpływem zmian prądu obciążenia. Stanowi ją rezystancja zastępcza równolegle połączonej rezystancji dynamicznej diody stabilizacyjnej  $R_d$  oraz rezystancji szere-

gowej  $R_s$  zawierającej rezystancję źródła prądu.

b. Współczynnik stabilizacji, określający dopuszczalne zmiany napięcia wyjściowego  $\Delta U_{wej}$  dla założonych zmian napięcia stabilizowanego  $\Delta U_{wy}$

$$k = \frac{\Delta U_{wej}}{\Delta U_{wyj}} = \frac{R_s + \frac{R_d R_L}{R_d + R_L}}{\frac{R_d R_L}{R_d + R_L}}$$

przy  $R_s \gg R_d$        $R_L \gg R_d$

$$k \approx \frac{R_B}{R_D} = a \frac{U_{wej \min} - U_{wyj}}{R_D} \quad (1)$$

## 2. Warunki doboru rezystora szeregowego

Użyteczny obszar pracy diody stabilizacyjnej jest ograniczony wartościami ekstremalnymi prądu

$$J_e < J_{\min}; J_{\max}$$

Przy założeniu

$$U_{wyj} \approx \text{const.}$$

$$J_L = \text{const.}$$

otrzymujemy dwa warunki dla rezystora szeregowego

$$R_B \leq \frac{U_{wej \min} - U_{wyj}}{J_{d \min} + J_L} \quad (2)$$

$$R_B \geq \frac{U_{wej \min} + \Delta U_{wej \max} - U_{wyj}}{J_{d \min} + \Delta J_{d \max} + J_L} \quad (3)$$

Odnoszą się one dla dwóch krańcowych punktów pracy.

Największa sprawność wystąpi w pierwszym przypadku i wynosi

$$\eta_{\max} = \frac{U_{wyj} J_L}{U_{wej} (J_{d \min} + J_L)}$$

dla

$$\frac{J_{d \min}}{J_L} \rightarrow 0$$

$$\eta_{\max} = \frac{U_{wyj}}{U_{wej}} \quad (4)$$

Optymalizacja wynikająca z równań (2), (4) wymaga, aby

$$R_B \rightarrow 0$$



natomiast z równań (1), (3), aby

$$R_g \rightarrow \infty$$

W przypadkach, kiedy względy energetyczne odgrywają drugorzędą rolę oraz istnieje możliwość zapewnienia dostatecznego nadmiaru napięcia wejściowego w stosunku do wyjściowego, wynik równań (2), (4) traci na znaczeniu. Na ogół przyjmowanym kompromisem jest

$$U_{wej \min} \geq 1,5 U_{wyj} \quad (5)$$

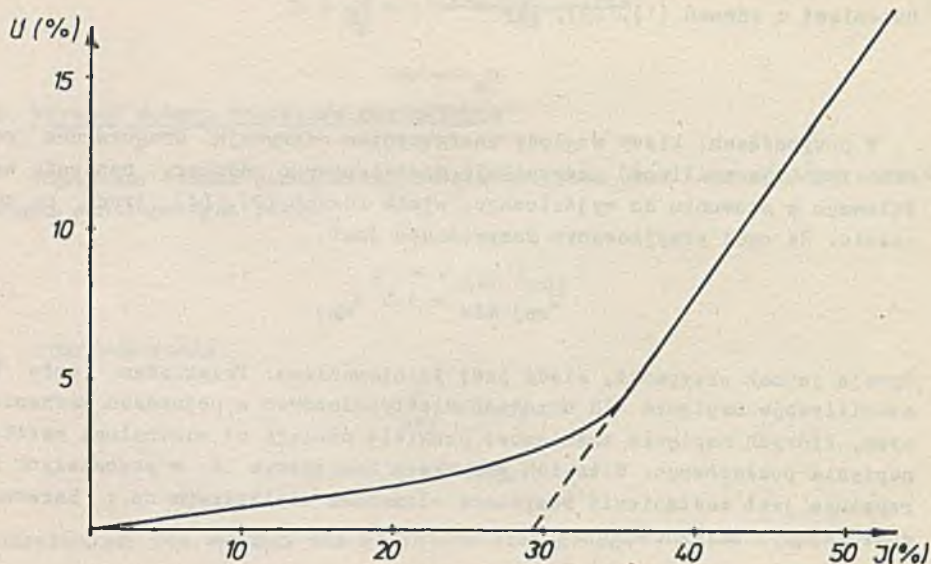
Bywają jednak przypadki, kiedy jest to niemożliwe. Przykładem może być stabilizacja napięcia dla urządzeń elektronicznych w pojazdach mechanicznych, których napięcie znamionowe niewiele odbiega od minimalnej wartości napięcia pokładowego. W takich warunkach koniecznym a w pozostałych korzystnym jest zastąpienie rezystora elementem nieliniowym np.: bareterem spełniającym zależność

$$R_z = \frac{\Delta U}{\Delta J} > R_o = \frac{U}{J}$$

### 3. Właściwości żarówki wolframowej

Klasyczny bareter z włóknem stalowym umieszczonym w bańce napełnionej wodorem o ciśnieniu około 50 Tr jest elementem trudno dostępnym. Zbliżoną charakterystykę napięciowo-prądową wykazuje typowa żarówka z włóknem wolframowym. W normalnych warunkach eksploatacyjnych, temperatura żarzenia wynosi 3000°K. Starzenie spowodowane rozpylaniem metalu włókna maleje w przybliżeniu proporcjonalnie do 6 potęgi napięcia. Mały opór cieplny przy dodatnim termicznym współczynniku rezystancji powoduje, że rezystancja grzejnika rośnie przy nominalnym napięciu około 14 krotnie. Dla tematycznego zastosowania najkorzystniejszy jest zakres wynoszący 5-20% napięcia nominalnego. Interesujący nas obszar charakterystyki napięciowo prądowej przedstawia rys. 2. Korzystanie z wymienionego zakresu, przy zastąpieniu rezystora  $R_g$  żarówką, jest dla współczynnika stabilizacji równoznaczne z około 4,5-krotnym wzrostem różnicy  $U_{wej \min} - U_{wyj}$  (przedłużenie linii przerywanej na rys. 2). Oznacza więc zgodnie z równaniem (1) wzrost współczynnika stabilizacji lub przy zachowaniu współczynnika stabilizacji na stałym poziomie 4,5-krotną możliwość zmniejszenia spadku napięcia na żarówce. Umożliwia to przekształcenie nierówności (5) do postaci

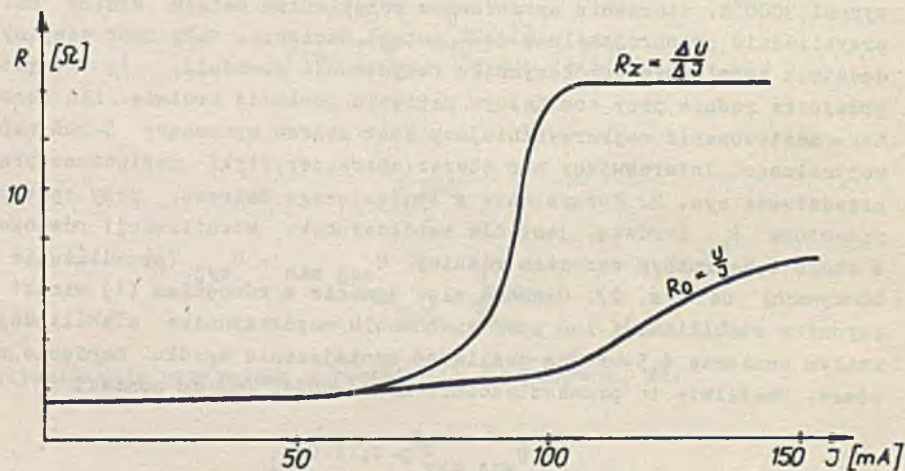
$$U_{wej \min} \geq 1,11 U_{wyj}$$



Rys. 2. Charakterystyka typowej żarówki

#### 4. Wpływ częstotliwości składowej zmiennej

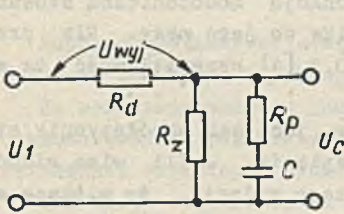
Przebieg rezystancji statycznej i dynamicznej przedstawia rysunek 3. Zmiana rezystancji włókna wolframowego jest wywołana zmianą jego temperatury. Inercyjny charakter tego procesu stwarza ograniczenia w stosunku do



Rys. 3. Rezystancja statyczna i dynamiczna żarówki  
 ( $U_{\text{nom}} = 6,3 \text{ [V]}$   $J = 0,3 \text{ [A]}$ )



częstotliwości zmian napięcia wejściowego, dla których można oczekiwać o-mówioną poprawę pracy układu. Schemat zastępczy stabilizatora, uwzględniający bezwładność cieplną grzejnika, przedstawia rys. 4.



- $R_d$  - rezystancja dynamiczna diody Zenera,
- $R_z = \frac{\Delta U}{\Delta J}$  - rezystancja dynamiczna żarówki na podstawie rys. 3,
- $R_p$  - rezystancja redukcyjna spełniająca w punkcie pracy warunek.

Rys. 4. Schemat zastępczy dla wyższych częstotliwości

$$J = \frac{R_p R_z}{R_p + R_z}$$

Funkcja przejścia takiego układu wynosi

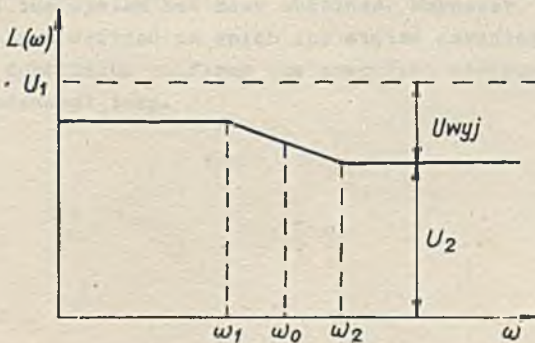
$$K(p) = k \frac{1 + pT_1}{1 + pT_2}$$

$$T_1 = R_p C \quad T_2 = \left( R_p + \frac{R_d R_z}{R_d + R_z} \right) C \quad k = \frac{R_z}{R_z + R_d}$$

Moduł tego wyrażenia w funkcji pulsacji wynosi

$$L(\omega) = k \sqrt{\frac{1 + \omega^2 T_1^2}{1 + \omega^2 T_2^2}}$$

Amplitudową charakterystykę logarytmiczną funkcji przejścia przedstawia rys. 5. Pamiętając, że wahania napięcia stabilizowanego są różnicą  $U_1 - U_2$  otrzymujemy praktycznie dwa zakresy o różnym współczynniku sta-



Rys. 5. Charakterystyka logarytmiczna stabilizatora z żarówką

bilizacji - poniżej  $\omega_1$  oraz powyżej  $\omega_2$ . Pierwszy dla rezystancji dynamicznej  $R_z$ , drugi dla rezystancji statycznej punktu pracy żarówki.

Stosunek  $\omega_2/\omega_1$ , przy spadku w zakresie środkowym równym 20 db/dek., wynika ze stosunku tych rezystancji. Pulsacja środkowa  $\omega_0$  będąca średnią geometryczną brzegowych pulsacji, jest funkcją monotoniczną stosunku efektywnej powierzchni promieniowania grzejnika do jego masy. Dla przeciętnej żarówki o napięciu 6 [V] i prądzie 0,3 [A] częstotliwość ta wynosi około 10 [Hz].

Dla pracy odbiornika w zasadzie nieistotny jest sam współczynnik stabilizacji zasilacza a dopuszczalne wahania napięcia. Jeśli więc widmowy rozkład wahań napięcia pierwotnego będzie tego rodzaju, że większe amplitudy wystąpią jedynie dla bardzo niskich częstotliwości  $\omega < \omega_1$ , dla których współczynnik stabilizacji jest duży, zmodyfikowany układ eksponuje w pełni swoje zalety.

W samochodzie współpraca akumulatora o małej rezystancji wewnętrznej dla szybkich zmian napięcia z prądnicą, która dopiero w procesie ładowania wywołuje podniesienie się napięcia pokładowego, jest klasycznym przykładem takiego właśnie rozkładu widmowego tętnień napięcia. Odnosi się on jednak również, poza szczególnymi przypadkami, do większości źródeł zasilania.

## 5. Uwagi końcowe

Trwałość żarówki przy tak obniżonym napięciu jest bardzo duża. Dla niezawodności pracy układu pożądane jest użycie żarówki, w której włókno jest zgrzewane do elektrod doprowadzających a nie zagniatane. Ponadto istnieją wysokie wymagania odnośnie oprawki żarówki. Zaleca się nawet bezpośrednie lutowanie przewodów.





ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ  
НАПРЯЖЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ДИОДА ЗЕНЕРА

## Р е з ю м е

Внесено предложение заменить лампой накаливания последовательный резистор в прямом стабилизаторе напряжения с диодом Зенера.

На основании анализа данных относительно требований, предъявляемых последовательному резистору, приведены доказательства преимущества элемента с нелинейной характеристикой.

Благодаря вольтамперной характеристике лампы накаливания получена вполне определяемая польза от предлагаемой модификации системы.

Наконец приведен диапазон частот тока, при которых указанная польза становится определяемой.

В заключительном предложении подтверждается практическое преимущество системы с лампой накаливания.

APPLICATION OF NON-LINEAR ELEMENTS FOR VOLTAGE STABILIZATION  
BY MEANS OF THE ZENER'S DIODE

## S u m m a r y

The proposal of replacement of a series resistor in a simple tension stabilizer with the Zener's diode by an incandescent lamp has been presented.

After an analysis concerning requirements in comparison with the series resistor, the superiority of the element with non-linear characteristics has been demonstrated. On the basis of tension and current characteristics of the incandescent lamp, the measurable advantages of such a modification of the system has been obtained. Moreover, the range of frequencies has been defined in which the stated advantages are evident.

The final conclusion confirms the practical advantages of the system with an incandescent lamp.