

22. BADANIE WŁASNOŚCI STABILIZATORÓW NAPIĘCIA STAŁEGO

Większość urządzeń elektronicznych wymaga zasilaczy, których napięcie wyjściowe pozostaje praktycznie stałe bez względu na wahania napięcia wejściowego, zmiany natężenia prądu obciążenia, temperatury itp.

Zasada stabilizacji napięć polega na wprowadzeniu do obwodu zasilacza takich elementów, które przeciwdziałają zmianom napięcia wyjściowego bez względu na przyczynę tych zmian. Stosowane są dwie metody stabilizacji napięcia: parametryczna i kompensacyjna, stąd nazwy stabilizatorów: stabilizatory parametryczne i stabilizatory kompensacyjne. Sens takich nazw wyniknie z dalszego opisu.

22.1. Parametry stabilizatorów

Dokładność stabilizacji napięcia wyjściowego stabilizatora charakteryzują współczynniki stabilizacji. Ich wartości wskazują ile razy względna zmiana napięcia na wyjściu stabilizatora jest mniejszą od względnej zmiany wielkości zakłócającej napięcie wyjściowe stabilizatora.

22.1.1. Współczynnik stabilizacji ze względu na zmiany napięcia wejściowego

$$\mu_U = \frac{\frac{\Delta U_{wy}}{U_{wy}}}{\frac{\Delta U_{we}}{U_{we}}} \cdot 100\% \quad (I_o = \text{const})$$

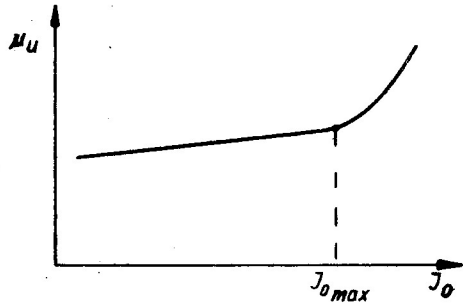
gdzie U_{wy} i U_{we} - nominalne wartości napięcia wyjściowego i wejściowego, natomiast ΔU_{wy} i ΔU_{we} - ich zmiany przy ustalonej wartości natężenia prądu obciążenia I_o stabilizatora.

Dla każdego stabilizatora wartości współczynnika μ_u zależą od natężenia prądu obciążenia - rys.22.1. Wartość natę-

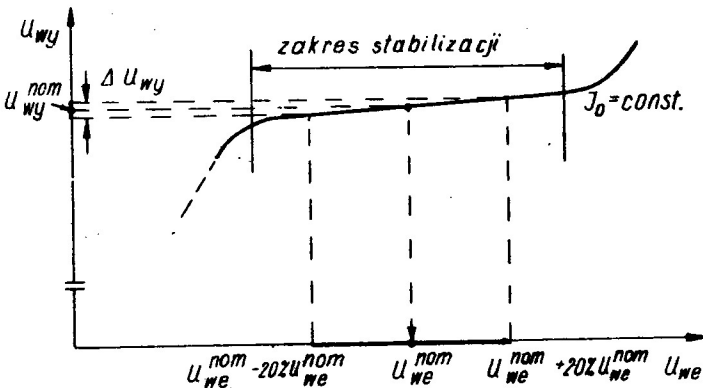
Prąd obciążenia przy której następuje wyraźne pogorszenie się stabilizacji napięcia nosi nazwę wartości maksymalnej $I_{0 \max}$ prądu obciążenia stabilizatora.

Aby wyznaczyć eksperymentalnie współczynnik μ_u , należy wykreślić charakterystyki stabilizatora przedstawiające zależność $U_{wy} = f(U_{we})$ przy stałych, określonych wartościach natężenia prądu I_0 . Z charakterystyk tych łatwo można odczytać wartości ΔU_{wy} odpowiadające określonym zmianom ΔU_{we} (rys.22.2).

Najczęściej jest podawana wartość μ_u dla 20-to procentowych wahań napięcia wejściowego tzn. $\Delta U_{we} = \pm 20\% U_{we}$. Dla stabilizatorów wysokiej klasy współczynnik ten jest mniejszy od 0,1%.



Rys.22.1. Zależność współczynnika μ_u od natężenia prądu obciążenia stabilizatora ($\mu_u = f(I_0)$)



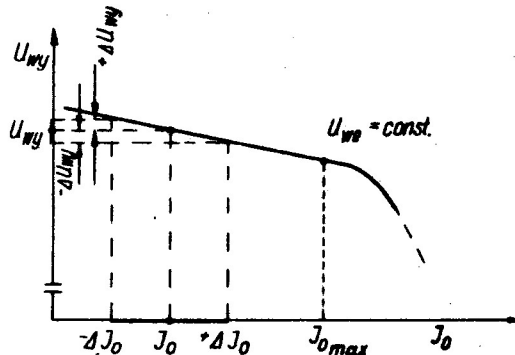
Rys.22.2. Wyznaczanie współczynnika μ_u na podstawie charakterystyki $U_{wy} = f(U_{we})_{I_0 = \text{const}}$

22.1.2. Współczynnik stabilizacji ze względu na zmiany natężenia prądu obciążenia stabilizatora

$$\mu_I = \frac{\frac{\Delta U_{wy}}{U_{wy}}}{\frac{\Delta I_0}{I_0}} \cdot 100\%$$

$$(U_{we} = \text{const})$$

gdzie ΔU_{wy} oznacza zmianę napięcia wyjściowego odpowiadającą zmianie ΔI_o natężenia prądu obciążenia.



Rys.22.3. Wyznaczanie współczynnika μ_I i oporu wewnętrznego stabilizatora na podstawie charakterystyki

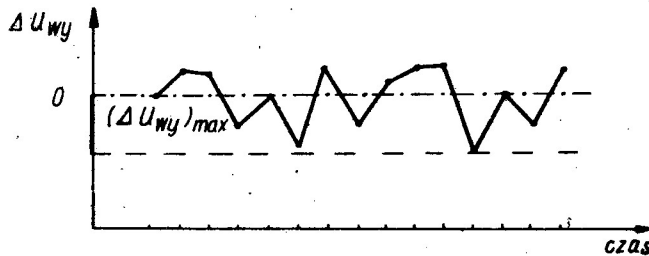
$$U_{wy} = f(I_o)_{U_{we} = \text{const}}$$

Wartość tego współczynnika można wyznaczyć dla dowolnej wartości natężenia prądu I_o z charakterystyki stabilizatora, przedstawiającej zależność napięcia wyjściowego od natężenia prądu obciążenia $U_{wy} = f(I_o)_{U_{we} = \text{const}}$ (rys.22.3)

22.1.3. Współczynnik stabilizacji długoczasowej

$$\mu_t = \left| \frac{\Delta U_{wy}^{\max}}{U_{wy}} \right| \cdot 100\% \quad (I_o = \text{const}, U_{we} = \text{const})$$

określa dryf napięcia wyjściowego w ciągu długiego okresu czasu pracy stabilizatora, np. w ciągu 24 godzin. $\Delta U_{wy}^{\max}$ jest maksymalnym odchyleniem napięcia wyjściowego od wartości nominalnej, zarejestrowanym w ciągu tego czasu (rys.22.4).



Rys.22.4. Dryf napięcia wyjściowego stabilizatora w czasie jego pracy

22.1.4. Opór wewnętrzny stabilizatora

$$R_I [\Omega] = \frac{\Delta U_{wy}}{\Delta I_o} \quad (U_{we} = \text{const})$$

jest odpowiednikiem oporu wewnętrznego ogniwa. Jego wartość wyznacza się z charakterystyki $U_{wy} = f(I_o)_{U_{we}=\text{const}}$ (Rys.22.3)

22.1.5. Współczynnik tętnień

Napięcie wejściowe stabilizatorów napięcia stałego zasilanych z prostowników napięcia sieciowego, zawiera oprócz składowej stałej również składową zmienną $U_{\sim}$ (tętnienia sieciowe). Wartość tej składowej określa współczynnik tętnień stabilizatora

$$\mu_{\sim} = \frac{U_{\sim}}{U_{wy}} \cdot 100\% \quad (U_{we}=\text{const}, I_o=\text{const})$$

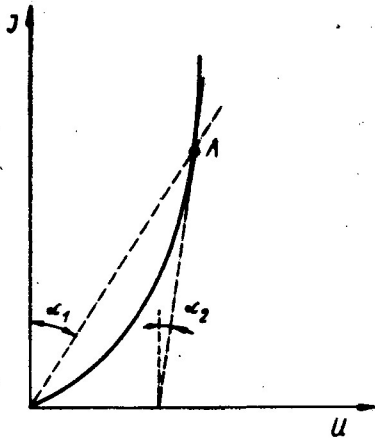
Pomiaru $U_{\sim}$ dokonuje się przy pomocy oscylografu.

22.2. Stabilizatory parametryczne

W metodzie parametrycznej stabilizacji napięcia wykorzystuje się jeden lub kilka elementów stabilizacyjnych o nieliniowym oporze, których samoczynne zmiany parametrów prowadzą do przeciwdziałania czynnikom psującym stabilizację na wyjściu i wejściu stabilizatora.

Do takich elementów należą: termistory, waristory, diody Zenera, lampy jonowe (neonówki) i dławiki (transformatory) o nasyconym rdzeniu. Ich wspólną cechą są nieliniowe charakterystyki prądowo-napięciowe odchylone od przebiegu liniowego w stronę osi natężenia prądu (rys.22.5).

Łatwo zauważyć, że dla zakresu "płaskiego" przebiegu charakterystyki opór dynamiczny elementu z taką charakterystyką jest znacznie mniejszy od oporu statycznego (dla danego punktu A charakterystyki z rys.22.5 $R_{dyn} = \text{tg} \alpha_2$, natomiast $R_{st} = \text{tg} \alpha_1$). Oznacza to, że małym wahaniom napięcia przyłożonego do takiego



Rys.22.5. Typowa charakterystyka prądowo-napięciowa elementu nieliniowego stosowanego do stabilizacji napięć ($\operatorname{tg} \alpha_1 = R_{st_A}$, $\operatorname{tg} \alpha_2 = R_{dyn_A}$)

R tak, że napięcie wyjściowe pozostaje niezmienione.

Korzystając z praw Kirchhoffa można pokazać, że współczynnik stabilizacji μ_U dla takiego stabilizatora równy jest

$$\mu_U = \frac{U_{we}}{U_{wy}} \left(1 + \frac{R}{R_{dyn}} + \frac{R}{R_o} \right)^{-1}$$

a opór wewnętrzny

$$R_I = \frac{R_{dyn} R}{R_{dyn} + R}$$

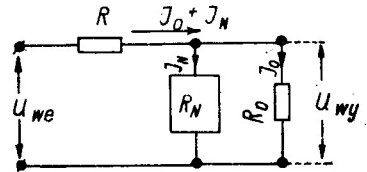
wartość oporu R można wyznaczyć z zależności

$$R = \frac{U_{we} - U_{wy}}{I_o - I_N^{min}}$$

elementu będą odpowiadać duże zmiany natężenia prądu płynącego przez ten element.

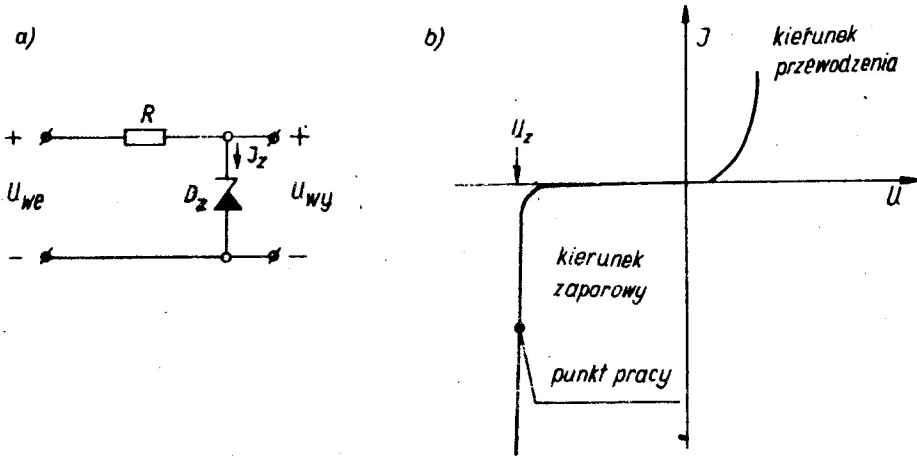
Można dowiedzieć, że jest to warunek wystarczający, aby przy prostej kombinacji takich nieliniowych elementów z liniowymi uzyskać stabilizację napięcia.

Najprostszy tego typu stabilizator przedstawiony jest na rys.22.6. Zasada stabilizacji jest tu bardzo prosta. Wzrost (spadek) napięcia na wejściu U_{we} spowoduje, zgodnie z tym co było powiedziane wyżej, duży wzrost (spadek) natężenia prądu płynącego przez nieliniowy element (R_N), a więc zwiększy (zmniejszy) się spadek napięcia na oporniku

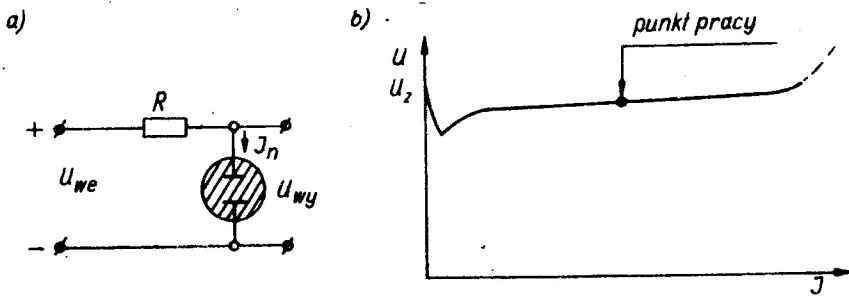


Rys.22.6. Schemat blokowy stabilizatora parametrycznego R - opór liniowy, R_N - opór o nieliniowej charakterystyce

tutaj $I_N^{\min}$ - minimalna wartość natężenia prądu płynącego przez element nieliniowy przy którym zachowany jest warunek $R_{dyn} \ll R_{st}$ (wyznacza się z charakterystyki użytego elementu nieliniowego).



Rys.22.7. a) Schemat stabilizatora napięcia na diodzie Zenera, b) Charakterystyka prądowo - napięciowa diody Zenera



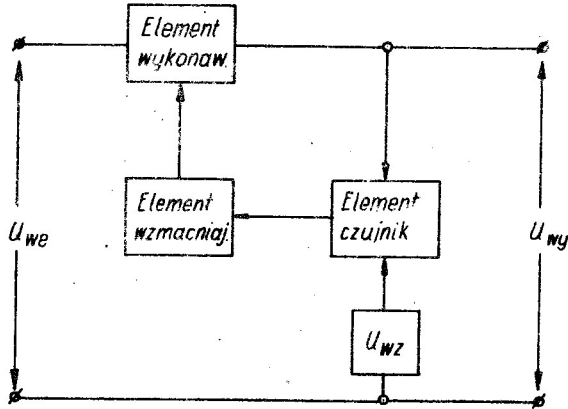
Rys.22.8. a) Schemat stabilizatora napięcia na neonówce, b) Charakterystyka prądowo-napięciowa neonówki

Jako przykład konkretnego rozwiązania stabilizatora parametrycznego na rys.22.7a przedstawiono schemat najprostszego stabilizatora napięcia stałego z wykorzystaniem diody Zenera, a na rys.22.8a stabilizator na neonówce.

Na rys.22.7b i 22.8b podane są charakterystyki prądowo-napięciowe diody Zenera i neonówki.

22.3. Stabilizatory kompensacyjne

W metodzie kompensacyjnej proces stabilizacji jest bardziej skomplikowany. W wyniku ciągłego automatycznego porównywania napięcia wyjściowego stabilizatora z niezmiennym napięciem wzorcowym (tzw. napięciem odniesienia) otrzymuje się sygnały informujące o zachodzących zmianach napięcia wyjściowego. Sygnały te sterują następnie elementem kompensującym



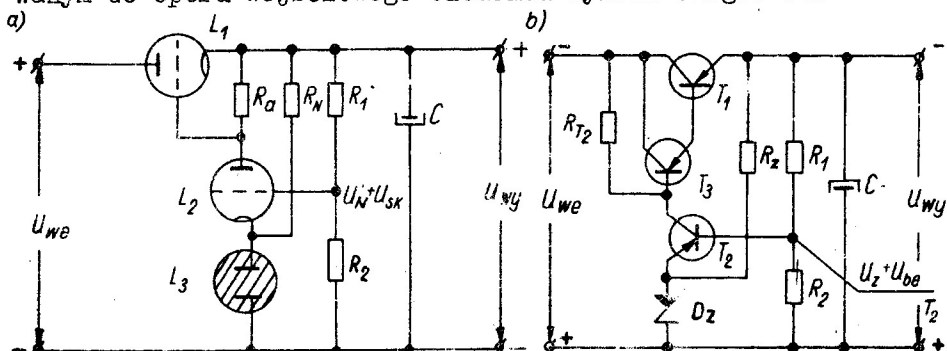
Rys.22.9. Schemat blokowy stabilizatora kompensacyjnego

(tzw. elementem wykonawczym) w ten sposób, że przeciwdziała on tym zmianom. Schemat blokowy stabilizatora tego typu przedstawiony jest na rys.22.9.

Porównania części napięcia wyjściowego z napięciem odniesienia dokonujemy przy pomocy czujnika. Przy nominalnej wartości napięcia wyjściowego różnica tych napięć $U_{wy} - U_{wz}$ jest ściśle ustalona. Zmiany jej, proporcjonalne do zmian napięcia wyjściowego, stanowią po wzmacnieniu przez element wzmacniający sygnał dla elementu wykonawczego dokonania odpowiedniej korekcji napięcia stabilizowanego. Przeprowadza ją element wykonawczy. Ponieważ u podstaw działania tych stabilizatorów leży ujemne sprzężenie zwrotne, dlatego też często nazywane są one stabilizatorami ze sprzężeniem zwrotnym.

W dalszym ciągu ograniczymy się jedynie do omówienia stabilizatorów kompensacyjnych napięcia stałego. W takich stabilizatorach element wykonawczy stanowi jedna lub kilka połą-

czonych równolegle lamp mocy. W układach tranzystorowych będą to tranzystory mocy. Elementy wzmacniające mogą być budowane w różny sposób. Są to najczęściej wzmacniacze prądu stałego o dużym współczynniku wzmocnienia z oporem wyjściowym dopasowanym do oporu wejściowego elementu wykonawczego. Porównanie



Rys.22.10. Schemat stabilizatora kompensacyjnego a) - na lampach, b) - na tranzystorach

napięcia wyjściowego z napięciem wzorcowym, które otrzymuje się z baterii lub stabilizatorów parametrycznych na neonówkach (diodach Zenera), odbywa się wprost na wejściu elementu wzmacniającego. Jako źródeł napięć wejściowych najczęściej używa się prostowników zasilanych napięciem sieciowym.

Na rys.22.10a podany jest schemat jednego z prostych stabilizatorów napięcia stałego zrealizowanego na lampach elektrobowych, a na rys.22.10b podobny stabilizator na tranzystorach. Rolę elementu wykonawczego spełniają w nich odpowiednio lampa L_1 (tranzystor T_1), zaś elementu wzmacniającego łącznie z czujnikiem - lampa L_2 (tranzystory T_2 i T_3). Napięcie wzorcowe otrzymuje się ze stabilizatora na neonówce L_3 (diody Zenera D_z). Działanie obu tych układów jest identyczne. Omówmy więc tylko układ lampowy.

Jeżeli z jakiegokolwiek powodu wzrośnie (zmaleje) napięcie wyjściowe, wzrośnie (zmaleje) również potencjał siatki lampy L_2 liczony względem ustalonego potencjału katody, wzrośnie (zmaleje) w następstwie spadek napięcia na oporze R_a . Oznacza to, że potencjał siatki lampy L_1 obniży się (podwyższy się), a więc wzrośnie (zmaleje) jej opór. Spowoduje to obniżanie (wzrost) napięcia wyjściowego, aż do momentu, kiedy

różnica potencjałów siatka - katoda lampy L_2 osiągnie wartość optymalną odpowiadającą pierwotnej wartości napięcia U_{wy} . W ten sposób wystąpi efekt stabilizacji.

Współczynnik stabilizacji μ_U i opór wewnętrzny R_I dla tego układu określają zależności:

$$\mu_U = \frac{U_{pr}}{U_{wy}} \frac{1}{\mu_1 K_2 n}; \quad R_I = \frac{R_{pr}}{\mu_1 K_2 n} + \frac{1}{S_1 K_2 n}$$

gdzie: $n = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ - tzw. współczynnik podziału napięcia wyjściowego

R_{pr} - opór wewnętrzny prostownika

$U_{pr} = U_{we}$ - napięcie na wyjściu prostownika (wejście stabilizatora)

μ_1 i S_1 - współczynnik amplifikacji i nachylenie charakterystyki lampy L_1

K_2 - współczynnik wzmacnienia lampy L_2 .

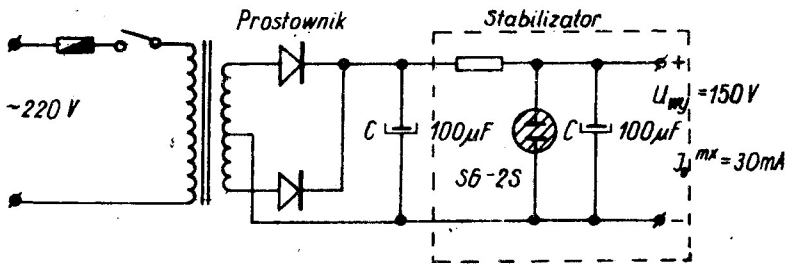
Opis innych układów stabilizatorów napięcia stałego można znaleźć np. w podręcznikach [1 - 4].

22.4. Plan ćwiczenia

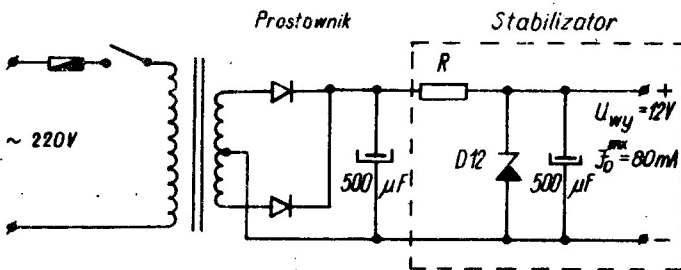
1. Wyznaczyć współczynnik stabilizacji μ_U dla stabilizatorów napięcia stałego zasilanych z sieci
 - a) parametrycznego przedstawionego na rys.22.11 przy natężeniu prądu obciążenia $I_O = 0mA, 10mA$ i $20mA$,
 - b) parametrycznego, przedstawionego na rys.22.12 przy natężeniu prądu obciążenia $I_O = 0mA, 20mA$ i $40mA$,
 - c) kompensacyjnego przedstawionego na rys.22.13 przy natężeniu prądu obciążenia $I_O = 0mA, 100mA$ i $400mA$,
 - d) kompensacyjnego przedstawionego na rys.22.14 przy natężeniu prądu obciążenia $I_O = 0mA, 50mA$ i $100mA$.

Układ pomiarowy jest przedstawiony na rys.22.15.

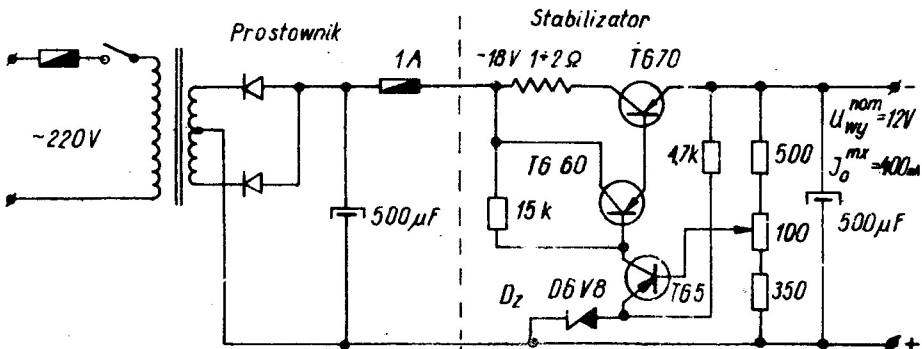
Składa się on z autotransformatora za pomocą którego regulujemy napięcie wejściowe U_{we} (napięcie sieci), woltomierza V_1 do pomiaru U_{we} , woltomierza V_2 do pomiaru U_{wy} , woltomierza V_4 do pomiaru napięcia kompensacyjnego (war-



Rys.22.11. Schemat zasilacza stabilizowanego napięcia na neonówce $U_{wy} = 150\text{ V}$, $I_o^{\max} = 30\text{ mA}$

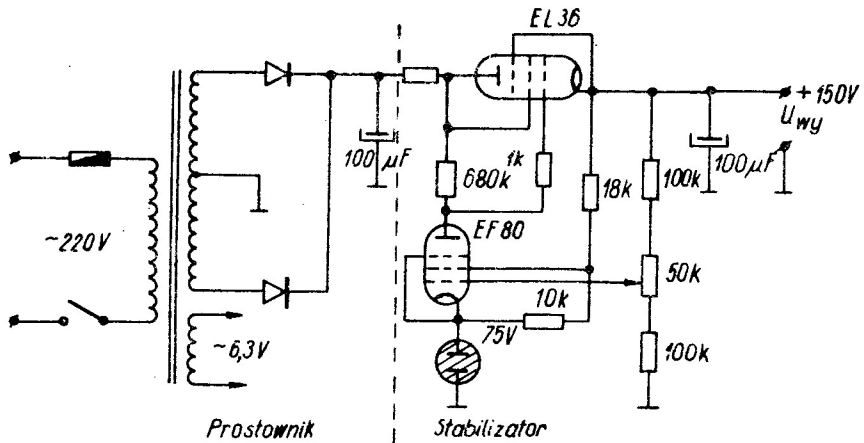


Rys.22.12. Schemat zasilacza stabilizowanego napięcia na diodzie Zenera. $U_{wy} = 12\text{ V}$, $I_o^{\max} = 80\text{ mA}$

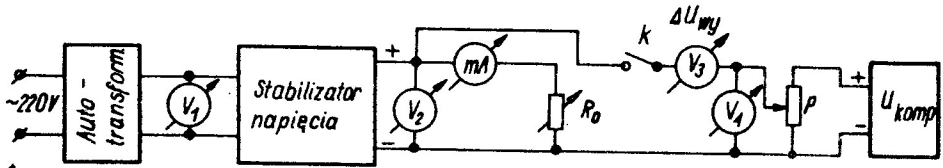


Rys.22.13. Schemat stabilizowanego tranzystorowego zasilacza napięcia $U_{wy} = 12\text{ V}$, $I_o^{\max} = 0,4\text{ A}$

tość tego napięcia ustawiamy za pomocą potencjometru P), miliamperomierza o odpowiednim zakresie do pomiaru prądu I_o , czułego woltomierza lampowego V_3 z dużym oporem wewnętrznym



Rys. 22.14. Schemat stabilizowanego lampowego zasilacza napięcia $U_{wy} = 150 \text{ V}$, $J_o^{\max} = 0,1 \text{ A}$



Rys. 22.15. Schemat układu do zdejmowania charakterystyk stabilizatorów napięcia zasilanych z sieci

do pomiaru zmian ΔU_{wy} (woltomierz ten wskazuje różnicę $U_{wy} - U_{komp}$) oraz zmiennego opornika R_o stanowiącego opór obciążenia stabilizatora). Pomiar należy wykonać w następujący sposób:

- ustawić za pomocą autotransformatora napięcie zasilania na wartość nominalną (220V), opór obciążenia R_o na wartość wybraną (tak aby uzyskać określoną wartość natężenia prądu I_o), odczytać na woltomierzu V_2 wartość napięcia $U_{wy} = U_{wy}^{\text{nom.}}$,
- ustawić napięcie kompensacyjne $U_{komp.}$ za pomocą potencjometru P , tak aby wskazania woltomierza V_4 były zbliżone do wskazań woltomierza V_2 , zamknąć klucz K i doregulować napięcie kompensacyjne tak, aby woltomierz V_3

wskazywał wartość napięcia zbliżoną do zera (wtedy

$$U_{wy} = U_{V_3} + U_{komp}).$$

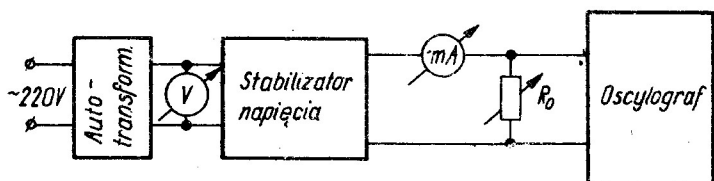
- c) zmieniać wartość napięcia U_{we} za pomocą autotransformatora w granicach $(220 \pm 20\%)$ V, odczytując na woltomierzu V_3 zmiany ΔU_{we} .
- d) wykreślić otrzymane zależności $U_{wy} = f(U_{we})$ dla określonych wartości natężenia prądu I_o . Z wykresów wyznaczyć wartości współczynnika μ_U .

2. Wyznaczyć współczynnik stabilizacji μ_I i opór wewnętrzny R_I wymienionych stabilizatorów. Proces pomiaru jest taki sam jak w p.1, z tą różnicą, że przy ustalonych napięciu wyjściowym $U_{we} = 220$ V zmieniamy natężenie prądu obciążenia (przez zmianę wartości oporu R_o). Po wykreśleniu zależności $U_{wy} = f(I_o)$ wyznaczyć wartości μ_I i R_I .

3. Wyznaczyć współczynnik stabilizacji długoczasowej μ_t dla jednego ze wskazanych stabilizatorów, przy natężeniu prądu obciążenia $I_o = \frac{I_{o \max}}{2}$. Korzystamy również z układu pomiarowego przedstawionego na rys.22.15.

Przy ustalonych wartościach napięcia wejściowego ($U_{we} = 220$ V) i natężenia prądu obciążenia stabilizatora odczytać wskazania woltomierza V_3 (zmiany ΔU_{wy}) po upływie każdych 5-ciu minut przez okres 1,5 godziny. Wykreślić otrzymaną zależność $\Delta U_{wy} = f(\text{czasu})$.

4. Wyznaczyć współczynnik tętnień dla wymienionych stabilizatorów przy natężeniu prądu obciążenia $I_o = \frac{I_{o \max}}{2}$. Pomiaru należy dokonać przy pomocy oscylografu włączając go tak jak pokazano na rys.22.16.



Rys.22.16. Schemat układu do badania tętnień stabilizatora

Uwagi

Dla każdej wyznaczonej wartości należy określić wartość błędu popełnionego w jej pomiarze.

Literatura

1. R. Zimmermann, Z. Kachlicki - Półprzewodnikowe diody specjalne, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1965, (128-183).
2. St. Sołta - Wybór praktycznych układów tranzystorowych, Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1965, (182-215).
3. A. N. Sanin - Elektroniczne przyrządy fizyki jądrowej, WNT, Warszawa, 1964.
4. A. M. Boncz-Brujewicz - Układy elektroniczne w nauce i technice, PWN, Warszawa, 1969.