

## STABILIZATOR FERROREZONANSOWY

Stabilizator ferrorezonansowy, tzn. magnetyczny składa się z dwóch elementów indukcyjnych: dławika nienasyconego (ze szczeliną) włączonego szeregowo i autotransformatora włączonego równolegle w obwodzie stabilizatora. Do autotransformatora przyłączony jest równolegle kondensator o takiej pojemności, aby obwód LC miał częstotliwość zbliżoną do 58 Hz. Obwód ten nie może pracować dokładnie rezonansowo, bo psułoby to efekt stabilizacji. Dołączenie kondensatora i wykorzystanie zjawisk ferrorezonansu zmniejsza prąd magnesujący autotransformatora a tym samym zwiększa  $\cos \Phi$  stabilizatora. Uzyskuje się płaską charakterystykę napięciowo-prądową układu a przez to rozszerzenie zakresu stabilizacji.

Na rys. 1 pokazane są przebiegi reaktancji i prądu wejściowego w funkcji częstotliwości.

Praktyczne zależności w rezonansie są następujące:

$$f = \frac{160}{LC}, \quad LC = \frac{25300}{f^2},$$

rezystancja w rezonansie:

$$R_{\text{rez}} = \frac{L}{Cr}$$

gdzie  $r$  jest rezystancją całego obwodu LC.

Przy częstotliwości rezonansowej  $Z_{LC} = R_{\text{rez}}$  prąd dopływający do obwodu LC osiąga minimum. Prąd w cewce  $I_L$  nie zmienia się po dołączeniu kondensatora, zmniejsza się tylko prąd dopływający do obwodu. Przez dołączenie kondensatora można osiągnąć wymaganą wartość prądu z sieci, bo duży prąd osiąga się w tym obwodzie przez wymianę energii wewnątrz obwodu LC.

Przy założeniu idealności obwodu (bez strat) występuje równość prądu  $I_L = I_C$  a różnią się one jedynie znakami. Gdy do cewki wprowadzi się rdzeń stalowy, przebiegi prądów zmieniają się według krzywej bo indukcyjność cewki zależy od  $I_L$

$$L = \frac{Z^2 \cdot \mu S}{lm} = k \cdot \mu = k \cdot f(I_L)$$

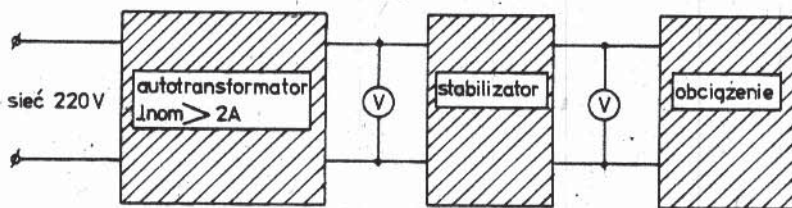
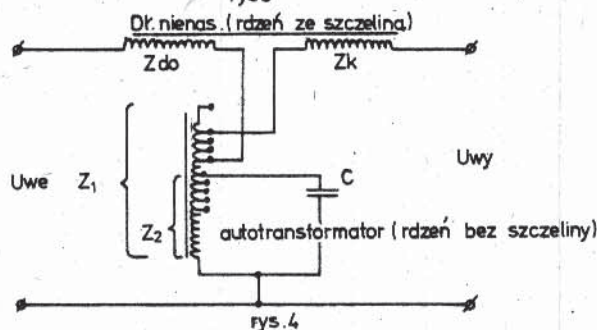
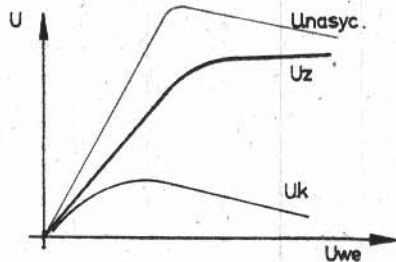
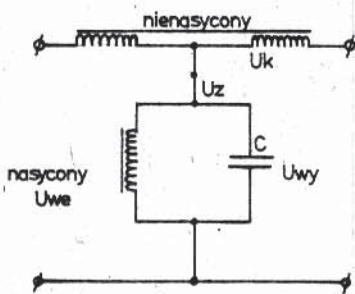
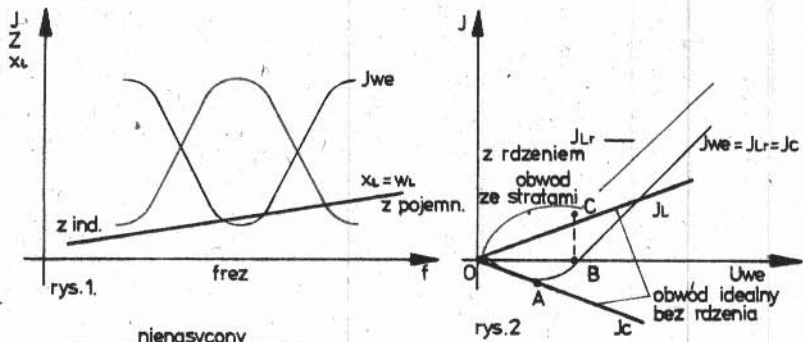
w tym przypadku warunek rezonansu  $I_L \cdot r = I_C$  będzie spełniony tylko dla jednej wartości przyłożonego napięcia  $U_{we}$ . Napięcie to odpowiada punktowi B, tylko tu wystąpi ferrorezonans, który jest zależny nie tylko od wartości pojemności i konstrukcji cewki, ale również od przyłożonego napięcia. Prąd zasilający nie jest w tym przypadku równy zero, jak to było w obwodzie idealnym, ale wyraża się krzywą  $I_{we}$  (rys. 2). Prąd ten osiąga wartość zera tylko w punkcie B. Praca w zakresie O-B jest niemożliwa ze względu na niestabilną pracę i zbyt mały zakres napięć wejściowych. Płaska, nadająca się do stabilizacji część krzywej, znajduje się w okolicach punktu C. Z rys. 2 wynika, że częstotliwość własna obwodu rezonansowego rzeczywistego jest nieco większa od częstotliwości sieci. Przy wzroście napięcia zasilającego na autotransformatorze nasycanym wzrasta również napięcie, którego nie kompensuje kondensator i dlatego stosuje się dodatkowe uzwojenie kompensujące na dławiku nienasyconym (ze szczeliną). Na wykresie (rys. 3) widać sposób dodawania napięć  $U_z$  i  $U_k$ . Jest to geometryczna suma wektorów  $U_z$  i  $U_k$  a w rzeczywistości sumowanie napięć sinusoidalnych. Wartość iloczynu LC wynika ze wzoru na częstotliwość rezonansową dla sieci 50 Hz:

$$L \cdot C = 10 [H, \mu F]$$

Ze względu na zmiany  $L$  od przepływającego prądu a więc i napięcia  $U_{we}$ , należy przyjąć wartość LC nieco niżej od dolnej granicy stabilizacji. Dostrajanie obwodu LC odbywa się przez dobór liczby zwojów cewki. W tym celu cewkę należy wyposażyć w szereg odcięć. Następnie wykonuje się szereg prób z różnymi odcięciami.

Ferrorezonans można uzyskać przez dobór kondensatora, ale jest to sposób niepraktyczny, ze względu na trudny dobór odpowiedniej pojemności.

Do wykonania stabilizatora najwygodniejszy jest układ dwurdzeniowy ze względu na prostą konstrukcję systemów magnetycznych. Na oba rdzenie można użyć



rys.5

różnych materiałów magnetycznych. W omówionym dalej układzie osiąga się wysoką jakość stabilizacji, tzn. szeroki jej zakres i mniejszą wrażliwość na wahania częstotliwości sieci.

Rdzenie ferromagnetyczne stosowane w stabilizatorach napięcia przemiennego muszą odznaczać się wysoką indukcją B i wąską pętlą histerezy. Praca w warunkach nasycenia wymaga znacznych przekrojów okna rdzenia na uzwojenia. Izolacja

blach powinna być wzmocniona i wytrzymała na wysokie temperatury ze względu na grzanie się rdzenia podczas pracy (duże straty przy dużej indukcji). W stabilizatorach stosuje się hermetyczne kondensatory z dielektrykiem papierowym zanurzonym w oleju, pojemność ich z reguły nie przekracza kilku mikrofaradów. Dielektryk musi być przystosowany do pracy przy częstotliwości 50 Hz. Kondensator musi mieć wyraźne oznaczenie, że przystosowany jest do pracy

przy zmiennym napięciu 220 V i częstotliwości 50 Hz. Kondensatory na stałe napięcie nie nadają się do pracy ciągłej przy prądzie zmiennym 50 Hz.

Aby uniknąć dużego nagrzewania się uzwojeń, gęstość prądu w przewodach nawojowych przyjmuje się około

$$2 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$

pożądana jest przy tym impregnacja uzwojeń. Stabilizator musi mieć zapewniony swobodny przepływ powietrza – najlepiej wykorzystać tzw. efekt komina – dziurkowany spód i góra obudowy. Śruby skręcające rdzeń dobrze jest odizolować od rdzenia za pomocą koszulki olejowej, a pod nakrętki dać tekstolitowe podkładki.

Trudności w obliczeniach elementów stabilizatora wynikają z obecności w jego układzie elementów nieliniowych (dławik jako autotransformator i kondensator). Przed wykonaniem stabilizatora przeprowadza się przybliżone obliczenia. Cewki muszą mieć dużo odczepów w celu dobrania napięcia wyjściowego i stopnia kompensacji spadku napięcia. Po wykonaniu połączeń stabilizator obciąża się i przeprowadza pomiary. Na podstawie analizy dokonuje się poprawki przez zmianę odczepów.

**Przykład.** Obliczyć stabilizator do kolorowego telewizora typu Rubin. Napięcie wejściowe 170 V – 240 V, napięcie wyjściowe 215 V, przy prądzie  $I_{wy} 1,25 \text{ A}$ .

Moc pobierana:

$$P_o = U_{wy} \cdot I_{wy} = 215 \text{ V} \cdot 1,25 \text{ A} = 268 \text{ W} (\approx 270 \text{ W})$$

Przekrój rdzenia autotransformatora:

$$S_n = 1,2 \sqrt{P_o} = 1,2 \sqrt{270} = 19,6 \text{ cm}^2 \approx 20 \text{ cm}^2$$

Do dyspozycji był rdzeń o przekroju:

$$4,6 \times 4,6 = 21,1 \text{ cm}^2$$

Liczba zwojów uzwojenia pierwotnego:

$$Z_1 = 25 \frac{U_{we}}{S_n} = 25 \cdot \frac{220}{21} = 25 \cdot 10,4 = 256 \text{ zw.}$$

Przy założeniu; że  $U_{we_{min}} = 0,8 U_{z1}$

$$Z_2 = Z_1 \cdot 0,8 \approx 205 \text{ zw.}$$

Pojemność kondensatora C dobiera się od 4 do 6  $\mu\text{F}$  na każde 100 VA mocy przenoszonych przez stabilizator, dla 270 W należy przyjąć pojemność około 20  $\mu\text{F}$ .

Średnica przewodu nawojowego:

$$d = 1,1 \sqrt{I_o} = 1,1 \sqrt{1,25} = 1,2 \text{ mm.}$$

W czasie nawijania uzwojenia, od 160 zwoju, co 10 zwojów należy wykonać odczepy. Liczba zwojów głównego uzwojenia dławika nienasyconego (ze szczeliną) wynosi:

$$Z_{do} = \frac{20 \cdot S_r}{d}$$

gdzie:

$S_r$  – przekrój rdzenia dławika,

$d$  – przekrój (średnica) przewodu nawojowego (przyjęty został taki sam jak w autotransformatorze, bo przez część uzwojeń płynie taki sam prąd).

$$Z_{do} = \frac{20 \cdot 21}{1,2} = 330 \text{ zw.}$$

Należy wykonać odczepy na 300, 330 zwoju, a po 360 zwojach zakończyć nawijanie tego uzwojenia:

Liczba zwojów uzwojenia kompensacyjnego:

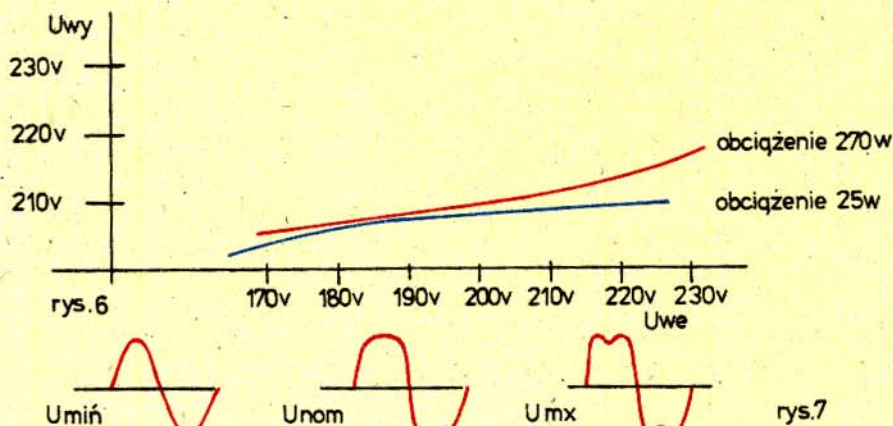
$$Z_k = 0,2 \cdot Z_{do} \frac{U_{wy}}{U_{we}} = 0,2 \cdot 330 \cdot \frac{215}{220} = 66 \text{ zw.}$$

Należy wykonać odczepy na 40 i 66 zwoju a na 90 zwoju zakończyć nawijanie.

Pełny schemat stabilizatora pokazany jest na rys. 4. Przy składaniu rdzenia dławika nienasyconego, pomiędzy blaszki należy włożyć tekstolitową podkładkę, aby na drodze strumienia magnetycznego powstała szczelina. Najlepiej na ten dławik nadają się blaszki EI złożone w jedną stronę. Grubość szczeliny należy dobrać przy regulacji stabilizatora, typową wielkością jest 1 mm.

### Regulacja i uruchomienie stabilizatora

Wzory obliczeniowe dają tylko przybliżony obraz parametrów uzwojeń, dlatego cewki zostały wyposażone w szereg odczepów regulujących. Po obliczeniu uzwojeń należy sprawdzić zapewnienie okna rdzenia, dużą pomocą będzie tu tabela z MT 6/80. Po zmon-



towaniu autotransformatora i dławika oraz połączeniu układu dokonuje się regulacji stabilizatora przy nominalnych wartościach napięcia sieci i znamionowym obciążeniu. Przez dobór odczepów doprowadza się układ do rezonansu, co objawia się dużym prądem w obwodzie LC, minimalnym prądem dopływającym do tego obwodu i nie zmieniającym się napięciem w tym obwodzie pomimo zmian napięcia wejściowego. Jeżeli napięcie wyjściowe wzrasta przy wzroście obciążenia, to należy zmniejszyć liczbę zwojów uzwojenia kompensacyjnego i zamienić miejscami końce tego uzwojenia, aby wywołać przepływ prądu przez  $Z_n$  w odwrotnym kierunku. Jeśli napięcie wyjściowe maleje przy zwiększeniu napięcia wejściowego, to też należy zmniejszyć liczbę zwojów kompensacyjnego przez zmianę odczepu.

Warczenie blach autotransformatora usuwa się przez mocniejsze skręcenie obejm i przez wbicie drewnianego lub tekstolitowego klina pomiędzy rdzeń a karkas. W trakcie nawijania dławika i autotransformatora należy zwracać uwagę na izolację – pomiędzy warstwy uzwojenia należy dać przekładki papierowe lub poliestrowe grubości 0,1 mm, a między uzwojeniami trzeba dać przekładkę z preszpanu lub z taśmy olejowej. Uzwojenia muszą być nawijane ściśle (z naciąganiem drutu). Wyprowadzenia należy wykonać linką LY o przekroju 1,5 mm<sup>2</sup>. Do połączeń całego układu również trzeba używać linki LY lub przewodu DY

o przekroju 1,5 mm<sup>2</sup> na napięcie robocze 250 V.

Aby wyregulować stabilizator należy zmontować układ z rys. 5. Voltomierze w tym układzie muszą być typu elektromagnetycznego. Napięcie wejściowe stabilizatora należy zmieniać autotransformatorem o prądzie wyjściowym minimum 2 A. Jako obciążenia można dołączyć żarówki o mocy 300 W. Jeżeli przy zmianie napięcia wejściowego w założonym zakresie napięcie wyjściowe zmienia się więcej niż 5%, należy dobrać odpowiedni odczep cewki kompensacyjnej oraz wyregulować szczelinę dławika nienasyconego. Należy unikać pracy bez obciążenia stabilizatora, bo grozi to uszkodzeniem kondensatora, ponieważ znacznie wzrasta w tym przypadku napięcie w obwodzie rezonansowym. Na rys. 6 pokazane są zewnętrzne charakterystyki (obciążenia) stabilizatora. Zadaniem stabilizatora jest przeciwdziałanie zmianom napięcia sieci i utrzymywanie napięcia wyjściowego na jednym poziomie, przy zmianach obciążenia. Zakres stabilizacji uzależniony jest od obciążenia. Przy wahanach napięcia sieci od 180 do 260 V, napięcie wyjściowe nie powinno różnić się od 220 V  $\pm$  5 V.

Kształt napięcia wyjściowego zmienia się z wielkością napięcia wejściowego rys. 7. Zniekształcenie powstaje na skutek coraz silniejszego działania nasycenia magnetycznego.

**Antoni Białoszewski**