

Prof. dr inż. S. Węgrzyn, mgr inż. W. Pacześniowski
mgr inż. M. Jastrzębska-Mostowska
Zakład Elektrotechniki

Elektronowa stabilizacja napięcia generatorów maszynowych prądu stałego i zmiennego

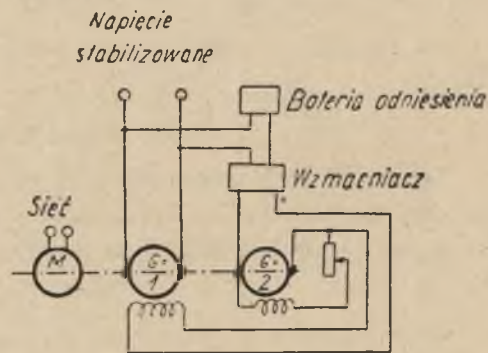
1. Opis ogólny

Bardzo często zachodzi konieczność zapewnienia pewnym obiektom, np. laboratoriom naukowym, przemysłowym, punktom legalizacji liczników energii elektrycznej, pobierającym niewielką moc elektryczną (rzędu kilku kW), dużej stałości napięć zasilających (rzędu dziesiątych procenta).

Zagadnienie to można rozwiązać zasilając dane obiekty oddzielnie z generatorów o stabilizowanym napięciu.

Rysunek 1 przedstawia uproszczony schemat takiego układu stabilizacyjnego napięcia generatora prądu stałego, zastosowanego w Zakładzie Elektrotechniki Politechniki Śląskiej. Jest to tak zwany układ z baterią odniesienia.

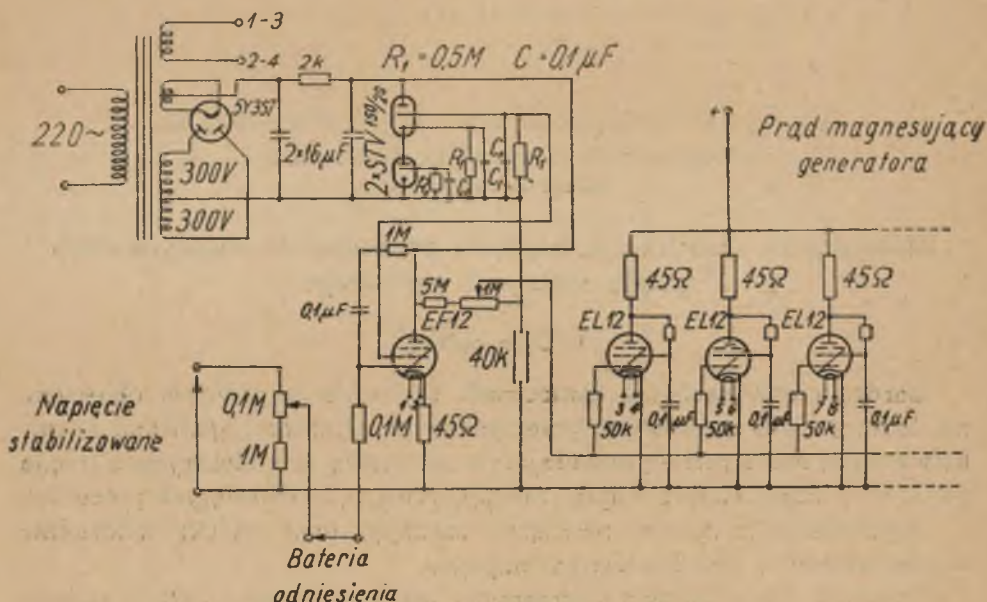
Generator stabilizowany G_1 o mocy 5,5 kW, o napięciu 220 V, i wzbudnica G_2 o mocy 0,5 kW, o napięciu 550 V, napędzane są silnikiem asynchronicznym M . Wzbudnica G_2 zasila połączone szeregowo uzwojenie magnesujące generatora stabilizowanego G_1 i ostatni stopień elementu wzmacniającego tak, że prąd magnesujący generatora stabilizowanego



Rys. 1. Układ stabilizacji napięciowej generatora prądu stałego

jest jednocześnie prądem anodowym ostatniego stopnia wzmacniacza. Jest to wzmacniacz napięcia stałego sterowany różnicą napięcia stabilizowanego i napięcia baterii odniesienia. Zwiększenie się napięcia stabilizowanego, a więc zwiększenie się tej różnicy, powoduje zmniejszenie prądu anodowego ostatniego stopnia wzmacniacza, czyli prądu magnesującego generatora G_1 , a więc zmianę działającą w kierunku obniżenia siły elek-

tromotorycznej stabilizowanego generatora. Odwrotnie, obniżenie napięcia stabilizowanego powoduje zwiększenie prądu magnesującego, a więc podwyższenie siły elektromotorycznej generatora.



Rys. 2. Schemat elementu wzmacniającego układu elektronicznej stabilizacji napięcia generatora prądu stałego

Na rysunku 2 uwidocznił schemat elementu wzmacniającego tego układu.

2. Praca układu w stanie ustalonym

Zależność SEM generatora od prądu magnesującego określona jest krzywą magnesowania, którą można w pewnym zakresie prądu magnesującego I_m aproksymować do prostej o równaniu:

$$E = k_m I_m \quad (1)$$

Przy obciążeniu generatora można przyjąć, że dla pewnego zakresu prądu, napięcie określone jest równaniem

$$U = E - I R_{wz} \quad (2)$$

gdzie I — prąd obciążenia generatora,

R_{wz} — sumaryczny zastępczy opór wewnętrzny generatora.

Prąd magnesujący określony jest równaniem:

$$I_m = I_o - k_a (\alpha U - U_b) \quad (3)$$

gdzie I_o — prąd magnesujący przy biegu luzem generatora,

α — współczynnik, który określa, jaka część napięcia generatora porównywana jest z napięciem baterii odniesienia.

$k_o = \frac{\Delta I_m}{\Delta U}$ nachylenie charakterystyki stabilizatora.

Podstawiając równanie (3) i (1) do (2) otrzymamy:

$$U = k_m [I_o - k_o (\alpha U - U_b)] - I R_{wz} \quad (4)$$

$$U (1 + k_m k_o \alpha) = k_m I_o + k_m k_o U_b - I R_{wz}$$

$$U = \frac{k_m I_o + k_m k_o U_b}{1 + k_m k_o \alpha} - \frac{I R_{wz}}{1 + k_m k_o \alpha} \quad (5)$$

Oznaczając

$$\frac{k_m I_o + k_m k_o U_b}{1 + k_m k_o \alpha} = E$$

możemy napisać

$$U = E - \frac{I R_{wz}}{1 + k_m k_o \alpha} \quad (6)$$

Z równania (6) wynika, że charakterystyka zewnętrzna generatora pracującego w takim układzie zmienia się tak, jakby zastępczy opór wewnętrzny danego generatora zmniejszył się $K + 1$ razy, przy czym K oznacza wzmocnienie otwartego obwodu regulacji.

Jeżeli więc spadek napięcia generatora niestabilizowanego ΔU , dla pewnego zakresu prądu generatora I określony jest równaniem

$$\Delta U = I R_{wz}$$

gdzie R_{wz} oznacza zastępczy opór wewnętrzny generatora, to spadek napięcia generatora stabilizowanego podaje równanie

$$\Delta U = I \frac{R_{wz}}{K + 1}$$

Dla podanego na wstępie zespołu generatora prądu stałego uzyskiwano przy użyciu 4 lamp EL 12, $K \approx 120$, co zapewniało stałość napięcia generatora w granicach 0,2% przy zmianie obciążenia od 0 do nominalnego.

3. Warunki stabilności układu

Omawiany układ przedstawia zamknięte połączenie łańcuchowe następujących elementów: porównującego, wzmacniającego, organu wykonawczego i obiektu regulowanego.

Jeżeli charakterystyki przejścia tych poszczególnych elementów oznaczymy przez $K_1(p)$, $K_2(p)$, $K_3(p)$, $K_4(p)$, a ich iloczyn przez $K(p)$, to warunek stabilnej pracy można określić z równania

$$1 + K(p) = 0$$

gdzie

$$K(p) = K_1(p) K_2(p) K_3(p) K_4(p)$$

Jeżeli mianowicie żaden z pierwiastków tego równania nie posiada części rzeczywistej dodatniej, to zapewniona jest stabilna praca układu. W przypadku granicznym, gdy część rzeczywista jednego z pierwiastków jest równa zeru, otrzymujemy, oznaczając część urojoną przez $j\omega$,

$$1 + K(j\omega) = 0$$

Po rozdzieleniu na część rzeczywistą i urojoną mamy

$$\operatorname{Re} [K(j\omega)] = -1$$

$$\operatorname{Im} [K(j\omega)] = 0$$

Z tych równań można obliczyć wartość krytycznego współczynnika wzmocnienia K_{kr} oraz częstotliwość drgań układu na granicy stabilności. Wartości te zależą od doboru stałych czasowych poszczególnych elementów całego układu; współczynnik krytyczny rośnie wraz ze wzrostem stałych czasowych, natomiast częstotliwość drgań własnych maleje.

Stabilna praca układu zależy więc od doboru stałych czasowych poszczególnych elementów. W opisanym urządzeniu uzyskano to przez zastosowanie w stopniu wzmacniającym, ujemnego sprzężenia zwrotnego o regulowanej stałej czasowej τ . Stała czasowa całego stopnia wynosi wówczas $k\tau$ [1], gdzie k — współczynnik wzmocnienia tego stopnia.

Zastosowane rozwiązanie daje następujące korzyści:

a) Sprzężenie zwrotne nie zmienia wielkości wzmocnienia elementu wzmacniającego dla napięcia stałego, natomiast zmniejsza wzmocnienie parazytowych napięć zmiennych.

b) Potrzebne w pewnych przypadkach duże stałe czasowe elementu wzmacniającego można osiągnąć za pomocą sprzężenia zwrotnego RC o stosunkowo małej stałej czasowej.

4. Stabilizacja generatorów prądu zmiennego

Obwód automatycznej regulacji napięcia generatora prądu zmiennego różni się tym od obwodu generatora prądu stałego, że występuje w nim dodatkowo przed elementem wzmacniającym i baterią odniesienia element prostujący. Generator i wzbudnica napędzane są przy tym motorem prądu stałego zasilanym ze stabilizowanej sieci prądu stałego, co zapewnia również stabilizację częstotliwości.

BIBLIOGRAFIA

- [1] S. Węgrzyn, *Regulacja stałej czasowej wzmacniaczy napięcia stałego oraz jej zastosowanie w elektronowych układach stabilizacyjnych*, „Przegląd Telekomunikacyjny“ Nr 2, 1952.