



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 3527

(13) U

(51) 7 H02P9/14

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС

ДО ДЕКЛАРАЦІЙНОГО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ ГЕНЕРАТОРА

1

2

(21) 2004042553

(22) 06.04.2004

(24) 15.11.2004

(46) 15.11.2004, Бюл. № 11, 2004 р.

(72) Тронь Юрій Опанасович, Збруцький Олександр Васильович, Прохорчук Олександр Віталійович

(73) НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ "КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

(57) Спосіб автоматичного регулювання напруги генератора, який полягає в тому, що формують сигнал завдання, пропорційний заданій напрузі генератора, вимірюють напругу на виході генератора, отримане значення порівнюють з сигналом завдання і формують сигнал похибки регулювання, який **відрізняється** тим, що результат порівняння подають на вхід моделі, сигнал, пропорційний сигналу на виході моделі, алгебраїчно підсумовують із сигналом завдання, результат порівняння підсилюють і формують додаткову час-

тоту обертання, пропорційну отриманому сигналу, а частоту обертання генератора одержують як алгебраїчну суму основної постійної частоти обертання і додаткової регульованої частоти обертання генератора, причому коефіцієнт пропорційності дорівнює

$$\beta = \frac{1}{K},$$

де K - коефіцієнт передачі по керуючому впливу, а коефіцієнт підсилення моделі задають у вигляді

$$K_M = \frac{I_H \cdot K_c \cdot \delta \cdot K \cdot \varepsilon}{\delta \cdot K \cdot \varepsilon},$$

де ε - сигнал завдання;

I_H - значення номінального навантаження;

K_c - коефіцієнт, що визначає статизм зовнішньої характеристики генератора;

δ - необхідний статизм системи.

Корисна модель відноситься до області електроенергетики і може бути використаний для стабілізації напруги генератора з лінійною зовнішньою характеристикою.

Відомий спосіб регулювання напруги генератора шляхом зміни струму в обмотці збудження [1, 2]. Недолік цього способу полягає в тому, що алгоритм керування виробляється тільки на основі заданого алгоритму функціонування і не контролюється іншими факторами - збурюваннями.

Відомий спосіб регулювання напруги генератора, який полягає в тому, що вимірюють напругу генератора, отримане значення порівнюють із заданим, результат порівняння підсилюють і змінюють струм в обмотці збудження пропорційно отриманій різниці [3], прототип. Недолік відомого способу полягає в зменшенні потужності електричної енергії, що подається на навантаження.

Розглянемо цей недолік. Зовнішня природна характеристика генератора при розімкнутому зворотному зв'язку має вигляд

$$U_r = K \cdot U - K_i \cdot I$$

поз. 1, Фіг. 1,

де U_r - напруга генератора;

I - струм навантаження (збурюючий фактор);

U - сигнал керування;

K - коефіцієнт пропорційності за керуючим впливом;

K_i - коефіцієнт пропорційності по струму навантаження (по збурюванню).

Як видно з поз. 1, Фіг. 1, регулювання напруги відбувається зі значною статичною помилкою.

При замиканні системи від'ємним зворотнім зв'язком згідно відомому способу, статична помилка зменшується, поз. 2, Фіг. 1. При цьому зовнішня характеристика генератора має вигляд

$$U_r = \frac{K}{1+K \cdot K_0} \varepsilon - \frac{K_i}{1+K \cdot K_0} I$$

де ε - задаючий сигнал;

(13) U

(11) 3527

(19) UA

K_0 - коефіцієнт передачі зворотного перетворення.

Очевидно, що коефіцієнт передачі по збудуванню зменшився в $1+K_{K_0}$ раз, але в стільки ж раз зменшилася напруга генератора.

Ця обставина, відповідно до виразу

$$P = U_{\Gamma} \cdot I$$

природно зменшує потужність електричного струму генератора. Ще один недолік зв'язаний зі зменшенням швидкодії процесу регулювання напруги генератора внаслідок інтегрування сигналу похибки, що в

свою чергу зменшує запас стійкості системи [4, 5].

Задача корисної моделі - підвищення потужності генератора і збільшення швидкодії процесу регулювання напруги.

Поставлена задача досягається тим, що в способі регулювання напруги генератора шляхом формування сигналу завдання пропорційного заданій напрузі генератора, вимірюють напругу на виході генератора, отримане значення порівнюють з сигналом завдання і формують сигнал похибки регулювання, новим є те, що результат порівняння подають на вхід моделі, сигнал, пропорційний сигналу на виході моделі алгебраїчно підсумовують із сигналом завдання, результат порівняння підсилюють і формують додаткову частоту обертання, пропорційну отриманому сигналу, а частоту обертання генератора одержують як алгебраїчну суму основної постійної частоти обертання і додаткової регульованої частоти обертання генератора, причому коефіцієнт пропорційності дорівнює

$$\beta = \frac{1}{K}$$

де K - коефіцієнт передачі по керуючому впливові,

а коефіцієнт підсилення моделі задають у вигляді

$$K_M = \frac{I_H \cdot K_C - \delta \cdot K \cdot \varepsilon}{\delta \cdot K \cdot \varepsilon}$$

де ε - сигнал завдання;

I_H - значення номінального навантаження;

K_C - коефіцієнт, що визначає статизм зовнішньої характеристики генератора;

δ - необхідний етатизм системи;

K_M - коефіцієнт передачі моделі.

На Фіг. 2 представлена структурна схема для реалізації способу, а на Фіг. 3 - сімейство зовнішніх характеристик генератора, одержуваних при реалізації способу.

Пристрій для реалізації способу містить перший і другий суматори 1, 2, причому перші входи першого і другого суматорів об'єднані і утворюють вхід пристрою, підсилювач 3, електропривод 4, диференціал 5, генератор 6, датчик напруги 7, модель 8, у якості якої використовується підсилювач, масштабні перетворювачі 9 і 10.

Спосіб автоматичного регулювання напруги генератора здійснюється таким чином.

Рівняння зовнішньої характеристики генератора з лінійною залежністю між напругою і струмом

навантаження має вигляд

$$U_{\Gamma} = K_{\omega} \cdot \omega_{\Gamma} - K_i \cdot I \quad (1)$$

де U_{Γ} ; ω_{Γ} ; I - напруга, частота обертання і струм навантаження, відповідно;

K_{ω} - коефіцієнт передачі по частоті обертання генератора;

K_i - коефіцієнт передачі по збудуючому впливові (току навантаження).

Частота обертання генератора формується, як алгебраїчна сума основної постійної частоти ω_0 і додаткової регульованої ω_{∂} , відповідно до рівняння

$$\omega_{\Gamma} = \omega_0 + \omega_{\partial} \quad (2)$$

де ω_0 - основна, постійна частота обертання;

ω_{∂} - додаткова, регульована частота обертання.

Тоді

$$U_{\Gamma} = K_{\omega} \cdot (\omega_0 + \omega_{\partial}) - K_i \cdot I \quad (3)$$

Для здійснення запропонованого способу формують сигнал ε пропорційний заданій напрузі, вимірюють напругу генератора відповідно до рівняння

$$u_{\Gamma} = K_n \cdot U_{\Gamma} \quad (4)$$

де K_n - коефіцієнт пропорційності перетворювача.

Далі, сигнал ε порівнюють з сигналом, який є пропорційним напрузі генератора, результат порівняння підсилюють відповідно до рівняння

$$U_M = K_M \cdot (\varepsilon - \beta \cdot U_{\Gamma}) \quad (5)$$

де ε - сигнал завдання;

U_M - сигнал з виходу моделі;

K_M - коефіцієнт передачі моделі;

β - масштабний коефіцієнт блоку 9.

Сигнал ε пропорційний напрузі генератора алгебраїчно підсумовують із сигналом U_M на виході моделі, результат підсилюють і формують додаткову частоту обертання генератора відповідно до рівняння

$$\omega_{\partial} = K_3 \cdot K_4 \cdot (\varepsilon + \beta_M \cdot U_M) \quad (6)$$

де K_3 - коефіцієнт підсилення;

K_4 - коефіцієнт передачі електропривода;

β_M - коефіцієнт передачі масштабного перетворювача.

На підставі (1)-(6) одержуємо систему 2-х координатне взаємозалежних рівнянь

$$\omega - K \cdot \beta_M \cdot U_M = K \cdot \varepsilon - K_i \cdot I \quad (7)$$

$$K_M \cdot \beta \cdot U_{\Gamma} + U_M = K_M \cdot \varepsilon \quad (8)$$

де K - коефіцієнт передачі прямого перетворення.

Систему (7)-(8) можна представити в матричній формі

$$\begin{bmatrix} 1 & -K\beta_M \\ K_M\beta & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega \\ U_M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K \\ K_M \end{bmatrix} \varepsilon - \begin{bmatrix} K_i \\ 0 \end{bmatrix} I \quad (9)$$

Розв'язуючи систему (9) одержують систему 2-

х параметрично взаємозалежних рівнянь

$$\omega(1+K \cdot K_M \cdot \beta \cdot \beta_M) = K(1+K_M \cdot \beta_M) \varepsilon - K_i \cdot I \quad (10)$$

$$U_M(1+K \cdot K_M \cdot \beta \cdot \beta_M) = K_M(1+K \cdot \beta) \varepsilon - K_M \cdot K_i \cdot \beta \cdot I \quad (11)$$

Із системи рівнянь (8)-(9) можна одержати

$$\omega = \frac{K(1+K_M \cdot \beta_M)}{1+K \cdot K_M \cdot \beta \cdot \beta_M} \varepsilon - \frac{K_i}{1+K \cdot K_M \cdot \beta \cdot \beta_M} I \quad (12)$$

$$U_M = \frac{K_M(1-K \cdot \beta)}{1+K \cdot K_M \cdot \beta \cdot \beta_M} \varepsilon + \frac{K_M \cdot K_i \cdot \beta}{1+K \cdot K_M \cdot \beta \cdot \beta_M} I \quad (13)$$

Таким чином, у результаті реалізації пропонованого способу, отримано два параметрично залежні функціональні перетворення, одне з яких визначає залежність додаткової частоти обертання генератора від сигналу завдання ε і зовнішнього навантаження I і друге - залежність сигналу U_M на виході моделі 8 від сигналу завдання ε і навантаження I , обумовлені функціональними перетвореннями (12)-(13). Ці функціональні перетворення визначають рефлексивне керування об'єктом, при якому об'єкт взаємодіє з моделлю, а модель взаємодіє з об'єктом. При цьому, зв'язки 7-9 і 8-10 називаються рефлексивними. При виконанні умови

$$K \cdot \beta = 1 \quad (14)$$

що досягається настроюванням першого масштабного перетворювача 10, а саме, вибором $\beta = \frac{1}{K}$ рівняння (12)-(13) будуть відповідати наступним виразам

$$\omega = K \cdot \varepsilon - \frac{K_i}{1+K_M \beta_M} I \quad (15)$$

$$U_M = \frac{K_M \cdot K_i \cdot \beta}{1+K_M \cdot \beta_M} I \quad (16)$$

а рівняння (1) буде відповідати наступному виразу

$$U_T = \omega_0 + K \cdot \varepsilon - \frac{K_i}{1+K_M \beta_M} \cdot I \quad (14)$$

З рівняння (14) випливає, що зовнішня характеристика проходить через крапку $\omega_0 + \omega_\varepsilon$, що відповідає $I=0$ природної зовнішньої характеристики, а необхідний статизм системи досягається вибором коефіцієнта передачі K_M моделі, а з рівняння (16) випливає, що сигнал U_M на виході моделі пропорційний зовнішньому збурюванню та інваріантний до сигналу завдання ε .

При цьому етатизм системи визначається рівнянням

$$\delta = \frac{K_i \cdot I}{K \cdot (1+K_M \cdot \beta_M) \cdot \varepsilon} \quad (17)$$

звідки може бути отримане рівняння для визначення значення коефіцієнта передачі моделі K_M , відповідно заданому значенню статизма зовнішньої характеристики

$$K_M = \frac{K_i \cdot I_T - K \cdot \delta \cdot \varepsilon}{K \cdot \beta \cdot \delta \cdot \varepsilon} \quad (18)$$

де I_T - номінальний струм навантаження;

δ - необхідний етатизм системи.

На Фіг. 3 приведені сімейство зовнішніх характеристик, отриманих при різних значеннях коефіцієнта K_M : $K_{M1} < K_{M2} < K_{M3}$.

З приведених характеристик випливає, що запропонований спосіб дозволяє збільшити потужність генератора як добуток напруги на струм навантаження

$$P = U_T \cdot I. \quad (19)$$

Пристрій автоматичного регулювання напруги генератора працює таким чином.

Нехай на виході генератора установився статичний режим, що відповідає номінальному струму навантаження I_H і відповідає рівнянню (14). При цьому, сигнал U_M з виходу моделі 8 пропорційний току навантаження I_H . При зростанні струму навантаження на величину ΔI , Фіг. 3 відбувається спадання напруги на величину ΔU . Сигнал з датчика напруги 7 масштабується в блоці 9 і порівнюється із сигналом завдання ε на суматорі 2, внаслідок чого сигнал U_M з виходу моделі 8 збільшується на величину пропорційну збурюванню ΔI і відповідний рівнянню 16. Сигнал U_M подається на суматор 1, де відбувається алгебраїчне підсумовування сигналів ε і U_M . Це приводить до збільшення сигналу керування, і на виході генератора установиться напруга U_3 пропорційна сигналу завдання, Фіг. 3. Цей сигнал подається на електропривод. Далі відбувається збільшення додаткової частоти ω_g відновлення напруги генератора до колишнього рівня U_3 . Таким чином, відбувається компенсація зовнішнього збурювання і відновлення заданої напруги генератора, Фіг. 3, поз. 4.

При зменшенні струму навантаження на величину ΔI відбувається збільшення напруги на навантаженні на величину U_3 , при цьому, процеси автоматичного регулювання напруги протікають аналогічно вищевикладеному, а саме, відбувається зменшення сигналу з виходу моделі U_M , зменшення сигналу керування, зменшення додаткової частоти обертання ω_g і зменшення напруги генератора до величини U_3 .

Таким чином, запропонований спосіб, у порівнянні з прототипом, забезпечує астатичне регулювання напруги генератора на рівні природної зовнішньої характеристики, тобто на більш високому рівні генеруємої напруги, що підвищує потужність електричного струму, що віддається в мережу.

Крім того, збільшується діапазон збурюючих факторів, що може "прийняти" на себе генератор.

Запропонований спосіб забезпечує астатичне регулювання при відсутності інтегратора в ланцюзі прямого перетворення, що, природно, підвищує швидкість процесу регулювання.

Література:

1. Справочное пособие по электротехнике и основам электроники. М., Высшая школа, 1986, с. 209.

2. Волков Н.И. Миловзоров В.П. Электрома-
шинные устройства автоматики. Издание второе,
переработанное и дополненное. М., Высшая шко-
ла, 1986, с. 20.

3. Теория автоматического регулирования в
двух частях. Под редакцией академика А.А. Воро-
нова. Часть первая. Теория линейных систем ав-
томатического управления. М., Высшая школа,

1986, с. 21-23.

4. Макаров И.М., Менский Б.М. Линейные ав-
томатические системы. М., Машиностроение,
1977, с. 298.

5. Бесекерский В. А. Лекции по теории автома-
тического регулирования. ЛКВВИА, Ленинград,
1962, с. 243.

