ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1974

Seria: Elektryka z. 46 Nr kol. 427

Zbigniew Mantorski, Roman Nowak,
Zbigniew Olszewski

Instytut Podstawowych Problemów
Elektrotechniki i Energoelektroniki

AUTOMATYCZNY TYRYSTOROWY UKŁAD DWUSTREFOWEJ REGULACJI PRĘDKOŚCI OBROTOWEJ SILNIKÓW PRĄDU STAŁEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono tyrystorowy układ dwustrefowej regulacji prędkości obrotowej silnika prądu stałego pozwalający na automatyczne przejście do drugiej strefy regulacji przy obciążeniu na wale silnika mniejszym od znamionowego. Omówiono metodę pomiaru momentu obciążenia silnika na drodze elektrycznej i sposób automatycznego przejścia do drugiej strefy regulacji.

1. Wstęp

Szereg urządzeń przemysłowych w celu osiągnięcia wysokiej wydajności wymaga pełnego wykorzystania silnika ze względu na moc, niezależnie od wielkości momentu obciążenia na wale. Dobre wykorzystanie silnika obcowzbudnego prądu stałego przede wszystkim pod względem cieplnym uzyskuje się przy pracy silnika w układzie z regulacją dwustrefową. W pierwszej strefie regulacji prędkość obrotowa jest regulowana przez zmianę napięcia zasilającego twornik silnika przy stałym strumieniu głównym silnika. W drugiej strefie prędkość jest regulowana powyżej wartości znamionowej przez osłabienie strumienia wzbudzenia silnika, przy niezmienionym napięciu zasilania o wartości równej napięciu znamionowemu. Prędkość obrotowa silnika w drugiej strefie regulacji powinna odpowiadać takiej wartości, aby silnik pracował przy mocy równej znamionowej. Układy regulacji dwustrefowej zapewniają sterowanie napędem za pomocą tylko jednego sygnału, a mianowicie sygnału z zadajnika prędkości. Jednakże takie układy posiadają dość złożoną strukturę, ponieważ przy pracy w drugiej strefie regulacji na przebieg procesów przejściowych mają wpływ zarówno elementy znajdujące się w obwodzie regulacji prędkości napięciem twornika (I strefa) a także elementy będące w obwodzie regulacji prędkości przy pomocy osłabienia strumienia wzbudzenia (II strefa), które są związane ze sobą wspólnym obiektem - silnikiem.

2. Układ napędowy z dwustrefową regulacją prędkości obrotowej

Na rys. 1 pokazano schemat blokowy jednego z możliwych układów regulacji dwustrefowej.

Zadawanie określonej wartości prędkości obrotowej odbywa się w układzie automatycznej regulacji za pomocą zadajnika (1). Sygnał z selsynowego zadajnika jest podawany na układ formujący (2), w którym można regulować przyspieszenie i opóźnienie układu napędowego. Szybkość narastania sygnału zadającego powinna zapewnić właściwe narastanie prądu w silniku. Ze względu na komutację maksymalna prędkość zmian prądu jest ograniczona i wynosi (jarzmo masywne)

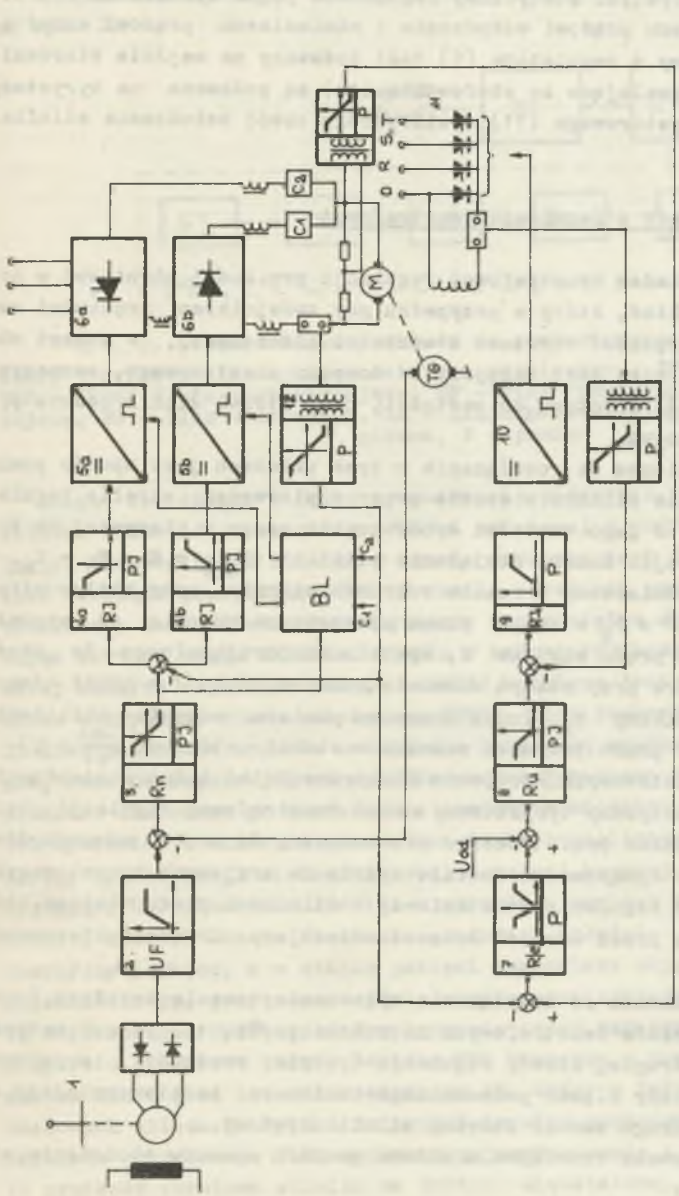
$$\left(\frac{di}{dt}\right)_{max} = (15 \div 10)\, I_n \left[A/s\right]$$

Porównywanie wartości sygnału zadającego prędkość obrotową z sygnałem o wartości proporcjonalnej do rzeczywistej wartości prędkości obrotowej mierzonej za pomocą tachogeneratora następuje na wejściu regulatora prędkości (3). Regulator prędkości jest regulatorem o charakterystyce dynamicznej typu PI i charakterystyce statycznej nieliniowej z nasyceniem, z możliwością nastawienia wartości nasycenia. Sygnał wyjściowy z regulatora prędkości jest podawany na wejście regulatorów prądu (4). Na wejściach regulatorów prądu (4) zostaje porównana wartość sygnału z regulatora prędkości (3) z rzeczywistą wartością prądu pomierzonego za pomocą układu pomiaru prądu (12). Regulatory prądu są typu PI. Maksymalną wartość prądu silnika można nastawiać w układzie regulacji poprzez zmianę wartości nasycenia charakterystyki statycznej regulatora prędkości. Sygnały wyjściowe z regulatorów prądu zostają podane na wejścia sterowników (5) i regulują kąt opóźnienia załączenia tyrystorów.

Jeżeli sygnałem z zadajnika (1) zada się prędkość obrotową większą od znamionowej, to układ regulacji prędkości obrotowej działa następująco: do wartości znamionowej prędkość jest zwiększana przez zmianę napięcia zasilającego silnik, przy strumieniu wzbudzenia równym znamionowemu (I strefa regulacji). Po osiągnięciu napięcia znamionowego zaczyna działać układ stabilizacji siły elektromotorycznej twornika silnika, który nie pozwala na dalszy wzrost napięcia zasilającego silnik.

Układ stabilizacji utrzymuje stałą wartość siły elektromotorycznej silnika poprzez stopniowe obniżanie prądu wzbudzenia silnika. Obniżenie strumienia wzbudzenia silnika powoduje zwiększenie prędkości obrotowej silnika. Układ stabilizacji SEM silnika tak długo obniża strumień wzbudzenia, aż prędkość silnika osiągnie wartość nastawioną zadajnikiem prędkości (1).

W obwód stabilizacji SEM silnika wchodzi regulator modułu siły elektromotorycznej (7) i regulator napięcia. Sygnał wyjściowy z regulatora napięcia (8) jest porównywany na wejściu regulatora prądu wzbudzenia (9) z sygnałem proporcjonalnym do wartości prądu wzbudzenia silnika. Wartości



Rys. 1. Schemat blokowy tyrystorowego układu dwustrefowej regulacji prędkości obrotowej silnika obcowzbudnego prądu stałego

1 - selsynowy zadajnik prędkości, 2 - układ formujący, 3 - regulator prędkości, 4 - regulatory prądu, 5 - sterowniki, 6 - trójfazowe mostki tyrystorowe, 7 - regulator modułu sem, 8 - regulator napięcia, 9 - regulator prądu wzbudzenia, 10 - sterownik, 11 - przekształtnik tyrystorowy zasilający obwód wzbudzenia silnika

nasycenia charakterystyki statycznej regulatora prądu wzbudzenia (9) odpowiadają znamionowemu prądowi wzbudzenia i minimalnemu prądowi wzbudzenia. Sygnał wyjściowy z regulatora (9) jest podawany na wejście sterownika (10). Impulsy wyzwalające ze sterownika (10) są podawane na tyrystory przekształtnika tyrystorowego (11) zasilającego obwód wzbudzenia silnika.

3. Automatyczne układy o regulacji dwustrefowej

Automatycznym układem dwustrefowej regulacji prędkości obrotowej w artykule nazywa się układ, który w przypadku gdy zadajnikiem prędkości zostanie nastawiona prędkość obrotowa o wartości znamionowej, a moment obciążenia na wale silnika jest mniejszy od momentu znamionowego, samoczynnie zwiększy prędkość obrotową do wartości, przy której silnik będzie pracował z mocą znamionową.

Podstawowym problemem do rozwiązania w tych układach jest sposób pomiaru momentu obciążenia silnika w czasie pracy w pierwszej strefie regulacji i w zależności od jego wartości wybór punktu pracy w pierwszej lub drugiej strefie regulacji. Moment obciążenia silnika ($M_{obc} = M - M_d = K_{mI} - J\frac{d\omega}{dt}$) może być pomierzony w czasie rozruchu silnika przy stałym strumieniu wzbudzenia $\Phi = \Phi_N = const$ przez elektryczne odjęcie od sygnału proporcjonalnego do prądu wirnika I, sygnału proporcjonalnego do przyspieszenia $\frac{d\omega}{dt}$, które przy stałym momencie bezwładności $J = const$ odwzorowuje moment dynamiczny M_d. Innym sposobem pomiaru momentu obciążenia silnika jest pomiar prądu twornika silnika w stanie ustalonym ($\frac{d\omega}{dt} = 0$).

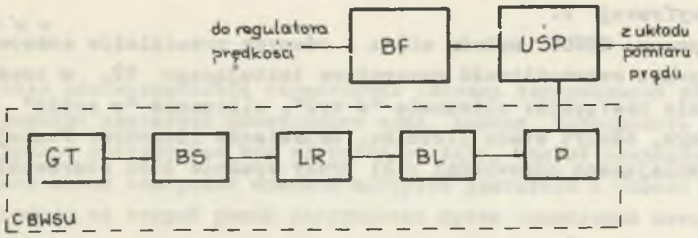
W Instytucie Podstawowych Problemów Elektrotechniki i Energoelektroniki opracowano automatyczny tyrystorowy układ dwustrefowej regulacji prędkości obrotowej silnika prądu stałego przeznaczony do napędu wciągarki dźwignicy kontenerowej. Opracowanie zostało oparte na krajowych tyrystorowych nawrotnych układach regulacji dwustrefowej z silnikami prądu stałego, które będą produkowane przez Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Urządzeń Sterowania Napędów w Toruniu.

Podstawowym problemem do rozwiązania było zaadaptowanie zwykłych (nieautomatycznych) układów dwustrefowych na automatyczne, tj. z automatycznym przejściem do drugiej strefy regulacji (powyżej prędkości znamionowej) w przypadku kiedy ciężar podnoszonego kontenera będzie mniejszy od nominalnego, do którego został dobrany silnik napędowy.

Adaptacja obejmowała rozwiązanie układu pomiaru momentu obciążenia, którego zadaniem jest:

- pomierzyć w sposób elektryczny moment obciążenia silnika w czasie pracy w pierwszej strefie regulacji,
- podać na regulator prędkości obrotowej sygnał zadający określoną prędkość obrotową w drugiej strefie regulacji.

Schemat funkcjonalny układu pomiaru momentu obciążenia przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Schemat blokowy układu do pomiaru momentu obciążenia
CBWSU - cyfrowy blok wykrywania stanu ustalonego, BF - blok funkcyjny, USP - układ śledząco-pamiętający, BF - blok funkcyjny, GT - generator taktujący, BS - blok sterowania, LR - licznik rewersyjny, BL - bramka logiczna, P - pamięć

Moment obciążenia silnika wyznacza się pośrednio poprzez pomiar prądu silnika w chwili uzyskania prędkości ustalonej w pierwszej strefie regulacji. Wartość prądu silnika w czasie rozruchu jest śledzona poprzez układ śledząco pamiętający USP. W chwili uzyskania przez silnik prędkości ustalonej, układ śledząco-pamiętający przechodzi w stan pamięci, zapamiętując wartość prądu silnika. Chwila w której prędkość obrotowa w pierwszej strefie regulacji osiąga wartość ustaloną jest wykrywana w cyfrowym bloku wykrywania stanu ustalonego CBWSU. Blok funkcyjny BF realizuje nieliniową zależność sygnału zadającego dodatkową prędkość obrotową w drugiej strefie regulacji, od sygnału proporcjonalnego do momentu obciążenia silnika. Zbudowano go w oparciu o scalony wzmacniacz operacyjny MAA501 (firmy Tesla) w układzie generatora funkcji nieliniowej pracującego na zasadzie aproksymacji wieloodcinkowej dowolnej krzywej. Układ śledząco pamiętający USP zbudowano również w oparciu o scalony wzmacniacz operacyjny MAA501, który w stanie śledzenia pracuje w układzie realizującym element inercyjny I-rzędu, a w stanie pamięci wzmacniacz objęty jest sprzężeniem pojemnościowym, przy czym wejście wzmacniacza zostaje odłączone od sygnału wejściowego. Cyfrowy blok wykrywania stanu ustalonego CBWSU zbudowano w oparciu o cyfrowe układy scalone TTL dostępne w kraju. Podstawowym elementem CBWSU jest licznik rewersyjny LR, który w jednakowych przedziałach czasowych zlicza "w tył" i "w przód" impulsy pochodzące z przetwornika impulsowo-obrotowego PIO, sprzężonego mechanicznie z wałem silnika. Jeżeli prędkość obrotowa silnika ma wartość nieustaloną, to w dwóch kolejnych równych przedziałach czasowych $t_1 = t_2$ ilość impulsów zliczona przez licznik "w tył" i "w przód" nie będzie równa, a zatem po ukończeniu zliczania LR nie osiągnie stanu wyjściowego (np. stan jedynkowy licznika). W przypadku kiedy prędkość obrotowa w dwóch kolejnych, równych przedziałach czasowych $t_1 = t_2$ będzie jednakowa, wtedy ilość impulsów zliczona

przez licznik "w tył" i "w przód" będzie jednakowa, a zatem licznik po ukończeniu cyklu zliczania osiągnie stan wyjściowy (jedynkowy). Jedynkowy stan licznika LR jest wykrywany w bloku logicznym BL i zapisywany do pamięci cyfrowej P.

Cykl pracy CBWSU składa się z 4 równych przedziałów czasowych wyznaczonych przez częstotliwość generatora taktującego GT, w czasie których odpowiednio następuje: zliczanie "w tył", zliczanie "w przód" w liczniku rewersyjnym, odczyt stanu licznika, ustawienie licznika. Funkcję sterowania zapewniającego odpowiedni cykl pracy spełnia blok sterowania BS.

Wnioski końcowe

1. Zastosowanie automatycznych układów o dwustrefowej regulacji prędkości obrotowej pozwala na optymalne wykorzystanie mocy silnika napędowego oraz zwiększenie wydajności urządzenia napędzającego.

2. Przedstawiony w artykule układ automatyczny zapewnia samoczynne przejście do drugiej strefy regulacji przy obciążeniu mniejszym od znamionowego.

LITERATURA

[1] Carbon L.: Elektrische Ausrüstungen für Containerkrane "Siemens - Z" 1972 Nr 1.

[2] Hager K.: Elektrische Ausrüstung von Containerkranen in den Seehafen Bremen und Bremerhaven, BBC-Nachrichten 1970 Nr 5-6.

[3] Szipiłło W.P.: Awtomatizirowannyj Wientilnyj elektroprivod "Energija" - Moskwa 1969.

[4] Lebiediew E.D. i inni: Uprawlenije wentilnymi elektroprivodami postojannogo toka ENERGIJA - Moskwa 1970.

Przyjęto do druku w maju 1974.

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ТИРИСТОРНАЯ СИСТЕМА ДВУХРЕЖИМНОЙ РЕГУЛИРОВКИ СКОРОСТИ ВРАЩЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Р е з ю м е

В статье рассматривается тиристорная система двухрежимной регулировки скорости вращения двигателя постоянного тока, дающая возможность перехода на второй предел регулировки при нагрузке на валу, меньше номинальной.

Изложен метод измерения момента нагрузки двигателя и способ автоматического перехода на второй режим регулировки путем ослабления потока возбуждения двигателя.

AUTOMATIC THYRISTOR SYSTEM FOR TWO - ZONE RATATIONAL SPEED CONTROL OF THE d.c. MOTORS

S u m m a r y

The thyristor system controlling d.c. motor rotational speed allowing the automatic passage to the second control zone when the motor load is less than the rated one is presented in the paper. The electric method of measurement of the motor load torque and the way of automatic passage to the second control zone is described.