RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **226422** (13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **401664**

(22) Data zgłoszenia: **19.11.2012**

(51) Int.Cl.
H02P 25/08 (2016.01)
H02P 8/12 (2006.01)

(54) **Sposób sterowania wysokoobrotowego silnika reluktancyjnego i układ do sterowania wysokoobrotowego silnika reluktancyjnego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
26.05.2014 BUP 11/14

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
31.07.2017 WUP 07/17

(73) Uprawniony z patentu:
AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE, Kraków, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
ALEKSANDER DZIADECKI, Kraków, PL
JANUSZ GRZEGORSKI, Kraków, PL
JÓZEF SKOTNICZNY, Kraków, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Alina Magońska

PL 226422 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób sterowania wysokoobrotowego silnika reluktancyjnego oraz układ przeznaczony do sterowania wysokoobrotowego silnika reluktancyjnego mający zastosowanie w elektrycznych urządzeniach napędowych.

Bezszczotkowe silniki prądu stałego stopniowo wypierają tradycyjne silniki indukcyjne. Przykładowo, wyposażone w magnesy trwałe silniki hybrydowe są powszechnie stosowane w urządzeniach biurowych takich jak kserokopiarki i drukarki. Wysoka skala produkcji wymienionych urządzeń wymusiła opracowanie dla silników bezszczotkowych monolitycznych obwodów, które kontrolują główne parametry tych silników takie jak kontrola prędkości obrotowej, kontrola prądu zasilania sterowanie procesem komutacji. Dzięki umiejscowieniu układów komutujących w bezpośrednim sąsiedztwie silnika możliwe jest zastosowanie uzwojeń roboczych silnika o małej indukcyjności, z drugiej strony, ponieważ proces kontroli prądu w tych silnikach realizuje się metodą impulsową możliwe jest uzyskanie szerokiego zakresu dynamiki w procesie kontroli prądu zasilania i tym samym kontroli prędkości w szerokim zakresie.

Silniki reluktancyjne, nie zawierające magnesów trwałych, stanowią alternatywę dla hybrydowych silników prądu stałego. Dzięki wyeliminowaniu magnesów z części wirujących silnika reluktancyjnego możliwa jest znaczna poprawa niezawodności i trwałości, ponieważ wykonany z jednorodnego materiału magnetycznego wirnik silnika reluktancyjnego jest bardziej odporny na wysokie przeciążenia mechaniczne, podwyższoną temperaturę pracy oraz niekorzystne czynniki środowiskowe, takie jak zawilgocenie i zasolenie. Dodatkową korzystną właściwością silników reluktancyjnych jest możliwość wykorzystania głównych uzwojeń roboczych silnika do ustalenia położenia kątowego wirnika względem stojana. Dzięki temu możliwe jest wyeliminowanie enkoderów hallotronowych, co sprzyja dalszej poprawie niezawodności, ponieważ w bliskim otoczeniu wirnika nie ma wrażliwych na temperaturę elementów półprzewodnikowych. Jednakże detekcja położenia kątowego wirnika względem stojana za pośrednictwem uzwojeń roboczych nie zapewnia tej samej precyzji co encodery optyczne czy enkodery hallotronowe. Z tego względu prowadzi się prace badawcze mające na celu zwiększenie precyzji ustalania położenia wirnika za pośrednictwem elementów indukcyjnych. Tym bardziej, że silniki reluktancyjne są adresowane dla specyficznych urządzeń wymagających szczególnie wysokiego poziomu niezawodności, takich jak serwomechanizmy statków powietrznych, czy napędy elektrycznych pojazdów samochodowych.

Znany jest z amerykańskiego opisu patentowego nr US 6107772 (A), sposób sterowania przełączalnego silnika reluktancyjnego nie wymagający stosowania czujnika położenia wirnika. Sposób polega na tym, że po zapewnieniu odpowiedniej wartości prądu w uzwojeniu pierwszej fazy silnika w uzwojeniu drugiej fazy silnika mierzy się czas narastania prądu pomiędzy dwoma określonymi poziomami. Ponieważ czas narastania prądu jest proporcjonalny do indukcyjności fazy, to na tej podstawie ustala się położenie wirnika. Prądem roboczym zasila się, więc uzwojenie pierwszej fazy, a w drugiej fazie przeprowadza się pomiar czasu narastania prądu na podstawie, którego otrzymuje się kolejne przedziały przewodzenia w fazach zgodnych z położeniem wirnika.

Znany jest także z amerykańskiego opisu patentowego nr US5589751 sposób sterowania przełączalnego silnika reluktancyjnego, który polega na tym, że do kolejnych faz silnika załącza się impulsy napięcia i w każdej z tych faz oddzielnie mierzy się wartości pochodnych prądu, które porównuje, za pomocą komparatorów, z ustalonymi dla każdej fazy wartościami referencyjnymi. Otrzymane w wyniku porównań sygnały wykorzystuje się do sterowania łącznikami energoelektronicznymi w celu komutacji prądu pomiędzy uzwojeniami silnika.

Znany jest z polskiego zgłoszenia patentowego nr P-396979 sposób bezczujnikowego sterowania wysokoobrotowego przełączalnego silnika reluktancyjnego oraz układ przeznaczony do bezczujnikowego sterowania wysokoobrotowego przełączalnego silnika reluktancyjnego. Sposób sterowania polega na tym, że śledzi się szybkości zmian wartości prądu w uzwojeniu roboczym poprzez pomiary chwilowych wartości pochodnych prądu oddzielnie dla procesu narastania prądu oraz procesu opadania prądu, a następnie porównuje się otrzymane wartości pochodnych prądu z ustalonymi granicznymi wartościami zadanymi. Jeżeli którakolwiek ze zmierzonych bezwzględnych wartości pochodnej prądu w uzwojeniu roboczym jest mniejsza od odpowiadającej jej ustalonej zadanej wartości granicznej, to dokonuje się przełączenia uzwojeń roboczych silnika. Przy czym ostatnią zmierzoną dla każdego procesu narastania lub opadania prądu wartość jego pochodnej rejestruje się w bloku pamięci po-

chodnej. W oparciu o zarejestrowaną wartość pochodnej prądu wyznacza się nową skorygowaną wartość graniczną dla pochodnej prądu.

W wymienionych rozwiązaniach wykorzystuje się efekt zmiany wartości indukcyjności uzwojenia w zależności od kątowego położenia wirnika względem stojana. Wartość indukcyjności uzwojenia najkorzystniej określa się poprzez pomiar szybkości narastania prądu w uzwojeniu. Zazwyczaj wykorzystuje się pomiar szybkości narastania i szybkości opadania prądu w uzwojeniu. W silnikach reluktancyjnych prąd zasilania uzwojeń roboczych zwykle jest stabilizowany metodą impulsową poprzez cykliczne załączanie uzwojenia i odłączanie od źródła napięcia stałego. Ta okoliczność sprawia, że do pomiaru wartości indukcyjności uzwojenia możliwe jest wykorzystanie już istniejących obwodów, które służą do stabilizacji prądu roboczego. Upraszcza to zasadniczo obwód sterujący i poprawia jego niezawodność, jednakże nieuchronna obecność stanów nieustalonych wynikająca z cyklicznego załączania i odłączania uzwojenia od źródła napięcia stałego powoduje silnie zniekształcenia przebiegów narastania i opadania prądu podczas procesu stabilizacji prądu zasilania. Ponieważ, z drugiej strony, w oparciu o szybkości narastania i opadania prądu w uzwojeniu roboczym silnika następuje wyznaczanie położenia kątowego wirnika względem stojana silnika w celu określenia momentów komutacji uzwojeń roboczych, precyzyjne ustalenie optymalnych momentów komutacji, w oparciu o tę metodę, jest trudne do realizacji.

Rozwiązanie według wynalazku umożliwia rozwiązanie tego problemu.

Istota sposobu sterowania wysokoobrotowego silnika reluktancyjnego polega na tym, że procesy pomiaru szybkości narastania i opadania prądu w wybranym uzwojeniu silnika realizuje się wielokrotnie i synchronicznie z procesem kontroli prądu w tym samym wybranym uzwojeniu silnika aż do momentu gdy przekroczona zostanie graniczna wartość pochodnej prądu dla narastania prądu lub graniczna wartość pochodnej prądu dla opadania prądu, przy czym procesy pomiaru szybkości narastania i opadania prądu rozpoczyna się z opóźnieniem w stosunku do momentów załączenia lub odłączenia uzwojenia roboczego od źródła napięcia stałego.

Proces pomiaru szybkości narastania prądu w wybranym uzwojeniu roboczym silnika rozpoczyna się z opóźnieniem w stosunku do momentu załączenia tego uzwojenia do źródła napięcia stałego, przy czym wartość tego opóźnienia jest parametrem zmiennym zależnym od prędkości obrotowej wirnika i powiększa się ze wzrostem prędkości obrotowej wirnika.

Proces pomiaru szybkości opadania prądu w wybranym uzwojeniu roboczym silnika rozpoczyna się z opóźnieniem w stosunku do momentu odłączenia tego uzwojenia od źródła napięcia stałego, przy czym wartość tego opóźnienia jest parametrem zmiennym zależnym od prędkości obrotowej wirnika i maleje ze wzrostem prędkości obrotowej wirnika.

Układ do bezczujnikowego sterowania wysokoobrotowego przełączalnego silnika reluktancyjnego według wynalazku ma blok komparatora prądu połączony z układem blokady pomiaru pochodnej dodatniej oraz układem blokady pomiaru pochodnej ujemnej, które z kolei połączone są odpowiednio z blokiem wyznaczania pochodnej dodatniej prądu i blokiem wyznaczania pochodnej ujemnej prądu. Ponadto, układ blokady pomiaru pochodnej dodatniej oraz układ blokady pomiaru pochodnej ujemnej połączone są z blokiem kontrolno-sterującym. Sygnał proporcjonalny do wartości prądu zasilania doprowadzony jest do bloku komparatora prądu, bloku wyznaczania pochodnej dodatniej prądu, bloku wyznaczania pochodnej ujemnej prądu oraz bloku kontrolno sterującego.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania uwidoczniono na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia blokowy schemat układu sterującego silnikiem reluktancyjnym, Fig. 2 schemat połączeń zasilania uzwojeń fazowych silnika reluktancyjnego.

Przykładowy opis procesu sterowania przełączalnego silnika reluktancyjnego posiadającego trzy pary biegunów stojana.

Proces sterowania silnika polega na tym, że do jednego z uzwojeń stojana dołącza się napięcie zasilające. Od tego momentu odlicza się czas blokowania pomiaru dodatniej pochodnej rosnącego wówczas prądu. Po jego upływie w uzwojeniu tym mierzy się wartość pochodnej narastającego prądu i porównuje z ją z wartością progu odniesienia pochodnej dodatniej. Jednocześnie za pośrednictwem bloku kontroli prądu zasilania kontroluje się chwilową wartość prądu płynącego w uzwojeniu i jeśli przekroczy ona górny próg regulatora dwupołożeniowego odłącza się napięcie zasilające od danego uzwojenia. Od tego momentu odlicza się czas blokowania pomiaru pochodnej ujemnej malejącego wówczas prądu. Wartość tego czasu uzależnia się od aktualnej prędkości obrotowej i pomniejsza się ją ze wzrostem tej prędkości. Po jego upływie mierzy się w danym uzwojeniu wartość pochodnej malejącego prądu i porównuje z ją z wartością progu odniesienia pochodnej ujemnej. W dalszym ciągu

w znany sposób kontroluje się chwilową wartość prądu płynącego w uzwojeniu i jeśli przekroczy ona dolny próg regulatora dwupołożeniowego załącza się ponownie napięcie zasilające do danego uzwojenia. Podobnie jak przy załączeniu, od tego momentu odlicza się czas blokowania pomiaru dodatniej pochodnej rosnącego wówczas prądu. Wartość tego czasu uzależnia się od aktualnej prędkości obrotowej i powiększa się ją ze wzrostem tej prędkości. Po jego upływie mierzy się w danym uzwojeniu wartość pochodnej rosnącego prądu i porównuje z ją z wartością progu odniesienia pochodnej dodatniej. Wymienione czynności wykonuje się cyklicznie do momentu, w którym jedna z kontrolowanych pochodnych prądu nie obniży swojej wartości poniżej wartości odpowiadającego jej progu odniesienia, czyli pochodna rosnącego prądu poniżej wartości progu odniesienia pochodnej dodatniej lub pochodna malejącego prądu poniżej wartości progu odniesienia pochodnej ujemnej. Wówczas odłącza się napięcie zasilania od dotychczas zasilanego uzwojenia stojana silnika i załącza do następnego, wynikającego z przyjętej sekwencji wirowania, uzwojenia stojana, w którym cyklicznie wykonuje się pomiary pochodnych prądów w celu wyznaczenia kolejnego momentu, w którym należy przełączyć napięcie zasilające do kolejnego następnego, wynikającego z przyjętej sekwencji wirowania, uzwojenia stojana silnika.

Układ do bezczujnikowego sterowania wysokoobrotowego przełączalnego silnika reluktancyjnego według wynalazku ma blok kontrolno-sterujący 1, którego wejścia są połączone: pierwsze z wyjściem komparatora pochodnej dodatniej prądu 2; drugie z wyjściem komparatora pochodnej ujemnej prądu 3; trzecie z sygnałem pomiarowym chwilowej wartości prądu I; czwarte z wyjściem bloku kontroli prądu zasilania 8. Z kolei wyjścia bloku kontrolno-sterującego 1 są połączone: pierwsze z wejściem obwodu wyznaczania pochodnej dodatniej prądu 6; drugie z wejściem obwodu wyznaczania pochodnej ujemnej prądu 7, trzecie z wejściem komparatora pochodnej dodatniej prądu 2; czwarte z wejściem komparatora pochodnej ujemnej prądu 3, piąte z wejściem układu blokady pomiaru pochodnej dodatniej 10, szóste z wejściem układu blokady pomiaru pochodnej ujemnej 11 oraz kolejne siódme wyjście sterujące jest połączone do wejścia bloku rozdzielacza impulsów sterujących 9. Sygnał wyjściowy z bloku kontroli prądu zasilania 8 jest ponadto doprowadzony do obwodu wyznaczania pochodnej dodatniej prądu 6, do obwodu wyznaczania pochodnej ujemnej prądu 7, do bloku pamięci pochodnej dodatniej prądu 4, do bloku pamięci pochodnej ujemnej prądu 5, do układu blokady pomiaru pochodnej dodatniej 10, do układu blokady pomiaru pochodnej ujemnej 11 oraz do bloku rozdzielacza impulsów sterujących 9. Wyjście układu blokady pomiaru pochodnej dodatniej 10 jest połączone z wejściem obwodu wyznaczania pochodnej dodatniej prądu 6, a wyjście układu blokady pomiaru pochodnej ujemnej 11 jest połączone z wejściem obwodu wyznaczania pochodnej ujemnej prądu 7. Wyjście obwodu wyznaczania pochodnej dodatniej prądu 6 jest połączone z wejściem komparatora pochodnej dodatniej prądu 2 poprzez blok pamięci pochodnej dodatniej prądu 4, a wyjście obwodu wyznaczania pochodnej ujemnej prądu 7 jest połączone z wejściem komparatora pochodnej ujemnej prądu 3 poprzez blok pamięci pochodnej ujemnej prądu 5. Sygnał pomiarowy chwilowej wartości prądu I jest doprowadzony również do wejścia obwodu wyznaczania pochodnej dodatniej prądu 6 i do wejścia obwodu wyznaczania pochodnej ujemnej prądu 7 oraz do wejścia bloku kontroli prądu zasilania 8, do którego doprowadzony jest również sygnał prądu zadanego I_{zad}. Blok rozdzielacza impulsów sterujących 9 ma sześć wyjść dla sygnałów wyjściowych T1, T2, T3, T4, T5 i T6 sterującymi kluczami w obwodzie zasilania uzwojeń fazowych silnika.

Opis działania układu.

Schemat blokowy bezczujnikowego sterowania wysokoobrotowego przełączalnego silnika reluktancyjnego według wynalazku układu pokazano na Fig.1 a na Fig. 2 schemat połączeń zasilania uzwojeń fazowych silnika reluktancyjnego. Jeżeli sygnał zadający prąd I_{zad} ma wartość większą od wartości napięcia na rezystorze R (Fig. 2), która jest proporcjonalna do chwilowej wartości prądu mierzonego I, to sygnał wyjściowy bloku kontroli prądu zasilania 8 przyjmuje wartość jedynki logicznej. Jeśli wtedy sygnał wyjściowy bloku kontrolno-sterującego 1, dołączany do bloku rozdzielacza impulsów sterujących 9, jest aktywny to klucze T1 i T2 (fig. 2) zostają zamknięte. Uzwojenie fazy L1 (Fig.2) zostaje załączone do napięcia zasilającego Uz, prąd płynący przez to uzwojenie zwiększa swą wartość. Jednocześnie działanie obwodu wyznaczania pochodnej dodatniej prądu 6 zostaje zablokowane przez układ blokady pomiaru pochodnej dodatniej 10 na czas określony wielkością pierwszego parametru czasowego. Po upływie czasu wyznaczonego przez ten parametr na wyjściu obwodu wyznaczania pochodnej dodatniej prądu 6 pojawia się sygnał pochodnej dodatniej prądu, który poprzez blok pamięci pochodnej dodatniej prądu 4 dołączony do komparatora pochodnej dodatniej prądu 2 jest porównywany z wartością progu odniesienia pochodnej dodatniej P_{dzad} obliczoną w układzie kontrolno-

sterującym 1 na postawie bieżącej chwilowej wartości prądu I, chwilowej wartości prędkości obrotowej ω i napięcia zasilającego Uz. Wzrost wartości prądu I w uzwojeniu L1 silnika do górnego progu bloku kontroli prądu zasilania 8 powoduje zmianę jego sygnału wyjściowego. W wyniku tego klucz T1 zostaje otwarty i prąd uzwojenia L1 płynąc w obwodzie utworzonym przez diodę D1 zmniejsza swą wartość. Ostatnia zmierzona wartość sygnału pochodnej dodatniej zostaje zapamiętana w bloku pamięci pochodnej dodatniej prądu 4. Jednocześnie działanie obwodu wyznaczania pochodnej ujemnej prądu 7 zostaje zablokowane przez układ blokady pomiaru pochodnej ujemnej 11 na czas określony wielkością drugiego parametru czasowego. Po upływie czasu wyznaczonego przez ten parametr na wyjściu obwodu wyznaczania pochodnej ujemnej prądu 7 pojawia się sygnał pochodnej ujemnej prądu, który poprzez blok pamięci pochodnej ujemnej prądu 5 doprowadzony do komparatora pochodnej ujemnej prądu 3 jest porównywany z wartością progu odniesienia pochodnej ujemnej P_{uzad} obliczoną w układzie kontrolno-sterującym 1 na postawie bieżącej chwilowej wartości prądu I oraz chwilowej wartości prędkości obrotowej ω. Obniżenie wartości prądu I uzwojenia L1 poniżej dolnego progu ustalonego dla bloku kontroli prądu zasilania 8 powoduje zmianę jego sygnału wyjściowego, włączenie klucza T1 i ponownie prąd I w uzwojeniu L1 zaczyna zwiększać swą wartość. Ostatnia zmierzona wartość sygnału pochodnej ujemnej zostaje zapamiętana w bloku pamięci pochodnej ujemnej 5. Cała procedura pomiaru wartości pochodnych prądu roboczego powtarza się cyklicznie. Blok kontroli prądu zasilania 8 utrzymuje średnią wartość prądu uzwojenia L1 na zadanym poziomie I_{zad}, przez załączanie i wyłączanie klucza T1, do momentu, w którym wartość jednej z pochodnych nie zmniejszy się poniżej odpowiadającego jej progu odniesienia.

Następuje wówczas zadziałanie jednego z komparatorów: pochodnej dodatniej prądu 2 lub pochodnej ujemnej prądu 3 i na podstawie sygnału wyjściowego komparatora blok kontrolno-sterujący 1 zmienia stan sygnału wyjściowego i w rezultacie uzwojenie fazy L1 silnika jest wyłączone z pracy, bo klucze T1, T2 zostają otwarte, a następuje zamknięcie kluczy T3, T4 i załączenie prądu roboczego do uzwojenia L2. W wyniku tego prąd I w tym uzwojeniu narasta pod wpływem napięcia zasilającego Uz, do wartości kontrolowanej przez biok kontroli prądu zasilania 8. Podobnie jak poprzednio działanie obwodu wyznaczania pochodnej dodatniej prądu 6 zostaje zablokowane przez układ blokady pomiaru pochodnej dodatniej 10 na czas określony wielkością pierwszego parametru czasowego. Po upływie czasu wyznaczonego przez ten parametr na wyjściu obwodu wyznaczania pochodnej dodatniej prądu 6 pojawia się sygnał pochodnej dodatniej prądu, który poprzez blok pamięci pochodnej dodatniej prądu 4 dołączony do komparatora pochodnej dodatniej prądu 2 jest porównywany z wartością progu odniesienia pochodnej dodatniej P_{dzad} obliczoną w układzie kontrolno-sterującym 1 na postawie bieżącej chwilowej wartości prądu I, chwilowej wartości prędkości obrotowej ω i napięcia zasilającego Uz. Wzrost wartości prądu I w uzwojeniu L2 silnika do górnego progu bloku kontroli prądu zasilania 8 powoduje zmianę jego sygnału wyjściowego. W wyniku tego klucz T3 zostaje otwarty i prąd uzwojenia L2 płynąc w obwodzie utworzonym przez diodę D3 zmniejsza swą wartość. Ostatnia zmierzona wartość sygnału pochodnej dodatniej zostaje zapamiętana w bloku pamięci pochodnej dodatniej prądu 4. Jednocześnie działanie obwodu wyznaczania pochodnej ujemnej prądu 7 zostaje zablokowane przez układ blokady pomiaru pochodnej ujemnej 11 na czas określony wielkością drugiego parametru czasowego. Po upływie czasu wyznaczonego przez ten parametr na wyjściu obwodu wyznaczania pochodnej ujemnej prądu 7 pojawia się sygnał pochodnej ujemnej prądu, który poprzez blok pamięci pochodnej ujemnej prądu 5 doprowadzony do komparatora pochodnej ujemnej prądu 3 jest porównywany z wartością progu odniesienia pochodnej ujemnej P_{uzad} obliczoną w układzie kontrolno-sterującym 1 na postawie bieżącej chwilowej wartości prądu I oraz chwilowej wartości prędkości obrotowej ω. Obniżenie wartości prądu I uzwojenia L2 poniżej dolnego progu ustalonego dla bloku kontroli prądu zasilania 8 powoduje zmianę jego sygnału wyjściowego, włączenie klucza T3 i ponownie prąd I w uzwojeniu L2 zaczyna zwiększać swą wartość. Ostatnia zmierzona wartość sygnału pochodnej ujemnej zostaje zapamiętana w bloku pamięci pochodnej ujemnej 5. Cała procedura pomiaru wartości pochodnych prądu roboczego, podobnie jak to miało miejsce w przypadku uzwojenia L1, powtarza się cyklicznie. Blok kontroli prądu zasilania 8 utrzymuje średnią wartość prądu uzwojenia L2 na zadanym poziomie I_{zad}, przez załączanie i wyłączanie klucza T3, do momentu, w którym wartość jednej z pochodnych nie zmniejszy się poniżej odpowiadającego jej progu odniesienia. Cały proces kluczowania prądu I przez blok kontroli zasilania 8 i kontroli wartości pochodnych prądu przez komparatory pochodnej ujemnej prądu 3 i pochodnej dodatniej prądu 2 powtarza się cyklicznie w każdym z załączanych do pracy, wynikających z przyjętej sekwencji wirowania, uzwojeń fazowych silnika. W każdym z opisanych cykli pomiarowych pochodnych prądu roboczego silnika wykorzystuje się blokowanie

pomiarów tych pochodnych na czas wyznaczony wartością pierwszego lub drugiego parametru czasowego. Z kolei wartości tych parametrów czasowych na bieżąco uzależnia się od aktualnej wartości prędkości obrotowej silnika. Dla silnika reluktancyjnego zasilanego z napięcia stałego o wartości 110 V i prądzie roboczym równym 6 A przy prędkości obrotowej bliskiej zeru wartość pierwszego parametru czasowego przyjmowano się na poziomie rzędu kilku mikrosekund, a wartość drugiego parametru czasowego na poziomie kilkunastu mikrosekund. Ze wzrostem prędkości obrotowej silnika do nominalnej powiększano się wartość pierwszego parametru czasowego do poziomu kilkunastu mikrosekund i jednocześnie zmniejszano wartość drugiego parametru czasowego do poziomu rzędu kilku mikrosekund.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób sterowania wysokoobrotowego silnika reluktancyjnego w którym średnie wartości prądów w uzwojeniach roboczych kontroluje się metodą impulsową, natomiast położenie kątowe wirnika względem stojana określa się w oparciu o szybkości narastania i opadania prądów w uzwojeniach roboczych silnika, **znamienny tym**, że procesy pomiaru szybkości narastania i opadania prądu w wybranym uzwojeniu silnika realizuje się wielokrotnie i synchronicznie z procesem kontroli prądu w tym samym wybranym uzwojeniu silnika aż do momentu gdy przekroczona zostanie graniczna wartość pochodnej prądu dla narastania prądu lub graniczna wartość pochodnej prądu dla opadania prądu, przy czym procesy pomiaru szybkości narastania i opadania prądu rozpoczyna się z opóźnieniem w stosunku do momentów załączenia lub odłączenia uzwojenia roboczego od źródła napięcia stałego.
2. Sposób sterowania wysokoobrotowego silnika reluktancyjnego według zastrz. 1 **znamienny tym**, że proces pomiaru szybkości narastania prądu w wybranym uzwojeniu roboczym silnika rozpoczyna się z opóźnieniem w stosunku do momentu załączenia tego uzwojenia do źródła napięcia stałego, przy czym wartość tego opóźnienia jest parametrem zmiennym zależnym od prędkości obrotowej wirnika i powiększa się ze wzrostem prędkości obrotowej wirnika.
3. Sposób sterowania wysokoobrotowego silnika reluktancyjnego według zastrz. 1 **znamienny tym**, że proces pomiaru szybkości opadania prądu w wybranym uzwojeniu roboczym silnika rozpoczyna się z opóźnieniem w stosunku do momentu odłączenia tego uzwojenia od źródła napięcia stałego, przy czym wartość tego opóźnienia jest parametrem zmiennym zależnym od prędkości obrotowej wirnika i maleje ze wzrostem prędkości obrotowej wirnika.
4. Układ sterowania wysokoobrotowego silnika reluktancyjnego wyposażony w elektroniczny blok kontrolno-sterujący, blok komutacyjny i blok impulsowej kontroli prądu zasilania **znamienny tym**, że ma blok komparatora prądu (8) połączony z układem blokady pomiaru pochodnej dodatniej (10) oraz układem blokady pomiaru pochodnej ujemnej (11), które z kolei połączone są odpowiednio z blokiem wyznaczania pochodnej dodatniej prądu (6) i blokiem wyznaczania pochodnej ujemnej prądu (7), ponadto układ blokady pomiaru pochodnej dodatniej (10) oraz układ blokady pomiaru pochodnej ujemnej (11) połączone są z blokiem kontrolno-sterującym (1), ponadto sygnał proporcjonalny do wartości prądu zasilania (I) doprowadzony jest do bloku komparatora prądu (8), bloku wyznaczania pochodnej dodatniej prądu (6), bloku wyznaczania pochodnej ujemnej prądu (7) oraz bloku kontrolno sterującego (1).

Rysunki

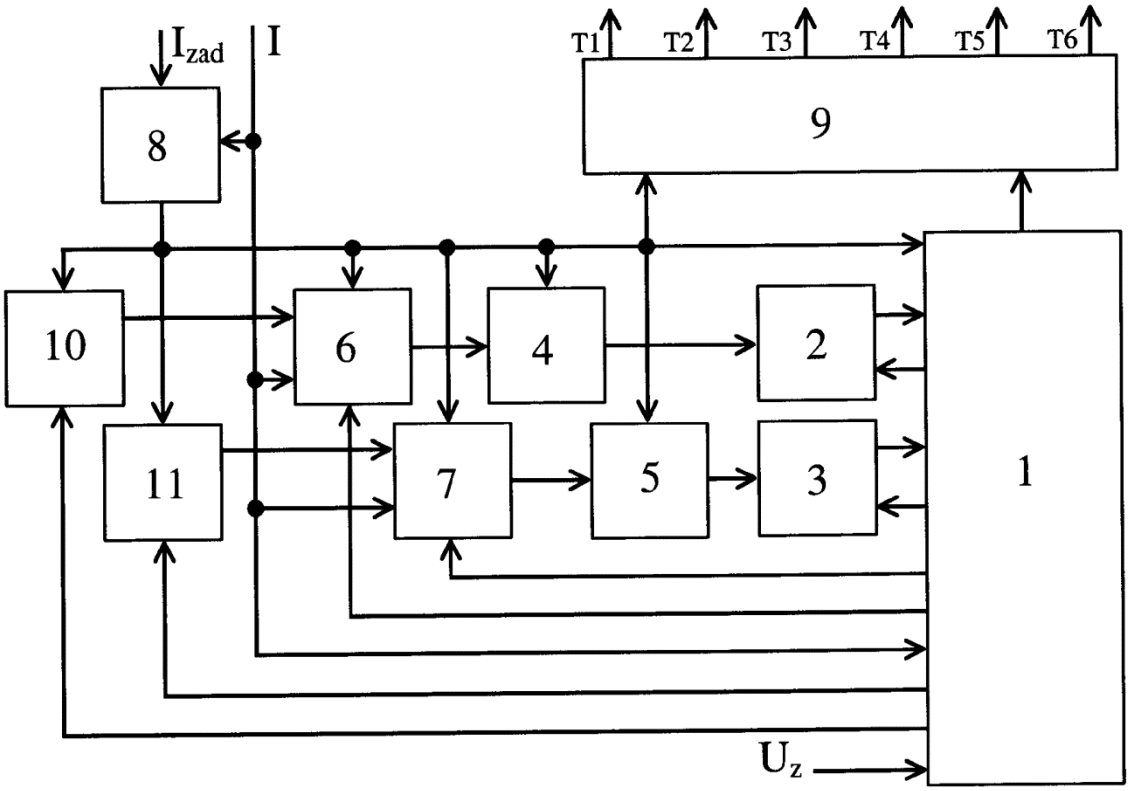

Fig. 1

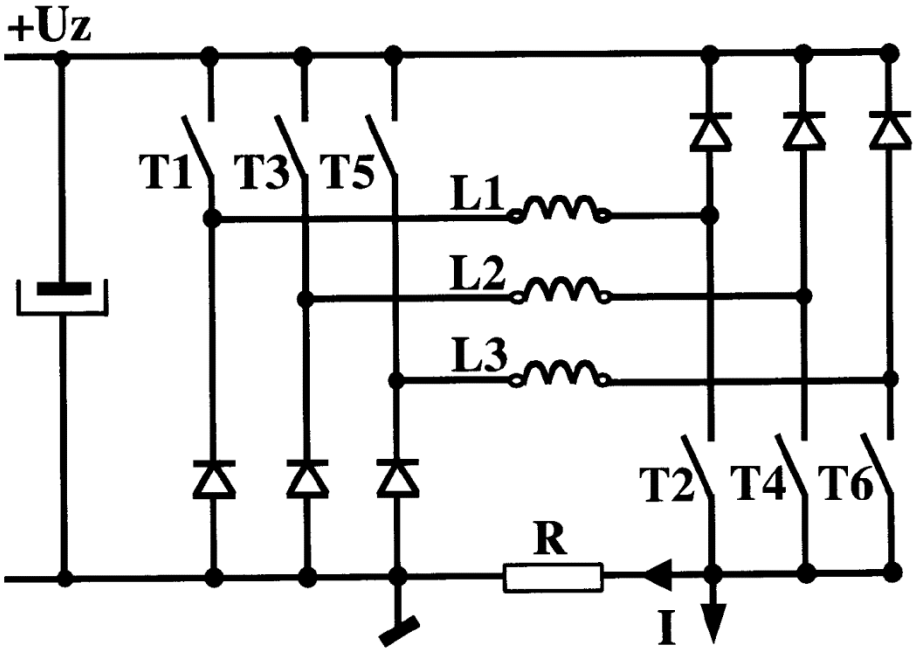

Fig.2

Departament Wydawnictw UPRP
Cena 2,46 zł (w tym 23% VAT)