RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **226690** (13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **400634**

(22) Data zgłoszenia: **03.09.2012**

(51) Int.Cl.
H02P 25/08 (2006.01)
H02P 6/18 (2006.01)

(54) **Sposób kondycjonowania sygnałów w procesie sterowania silnika reluktancyjnego i sterownik silnika reluktancyjnego z układem kondycjonowania sygnałów**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
17.03.2014 BUP 06/14

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
31.08.2017 WUP 08/17

(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 226690 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób kondycjonowania sygnałów w procesie sterowania silnika reluktancyjnego i sterownik silnika reluktancyjnego z układem kondycjonowania sygnałów w procesie sterowania silnika reluktancyjnego, w którym, dla określenia położenia wirnika względem stojana, stosuje się pomiar szybkości narastania prądu w uzwojeniu silnika.

Precyzyjne określenie położenia kątowego wirnika względem stojana jest niezbędne dla procesów optymalnej komutacji głównych uzwojeń roboczych silników reluktancyjnych. Ponieważ funkcję sensorów ustalających kątowe położenie wirnika względem stojana mogą także pełnić główne uzwojenia robocze silnika możliwe jest wyeliminowanie sensorów optycznych lub hallotronowych. Dzięki temu uzyskuje się znaczne zwiększenie niezawodności i odporności kompletnego układu napędowego na czynniki środowiskowe takie jak: wibracje, wilgotność, zapylenie, zasolenie, temperatura. W bezsensorowych układach sterowania silników reluktancyjnych wykorzystuje się efekt zmiany wartości indukcyjności uzwojenia w zależności od kątowego położenia wirnika względem stojana. W silnikach reluktancyjnych ruchomy element magnetyczny – wirnik i nieruchomy element magnetyczny – stator posiadają różne ilości nabiegunników, przykładowo odpowiednio sześć i osiem. Taka konfiguracja sprawia, że podczas gdy w jednym miejscu nabiegunniki rotora są zbliżone do nabiegunników statora to w innym są oddalone. Podczas obrotu wirnika, w miarę zbliżania się nabiegunników wirnika do nabiegunników statora, maleje reluktancja magnetyczna lokalnego obwodu magnetycznego. Jeżeli ten lokalny obwód magnetyczny obejmuje strumień magnetyczny wytworzony przez wybrane uzwojenie to wartość indukcyjności wybranego uzwojenia będzie uzależniona od położenia kątowego wirnika. Metoda ta umożliwia określenie położenia kątowego wirnika względem stojana. Wartość indukcyjności uzwojenia najkorzystniej wyznacza się poprzez pomiar szybkości narastania prądu w uzwojeniu. Możliwe jest również łączne wykorzystywanie pomiaru szybkości narastania i szybkości opadania prądu w uzwojeniu. W silnikach reluktancyjnych prąd zasilania uzwojeń roboczych zazwyczaj stabilizowany jest 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. Znakomicie upraszcza to obwód sterujący i poprawia jego niezawodność, ponieważ najbardziej narażona na czynniki środowiskowe wykonawcza część układu napędowego nie zawiera wrażliwych elementów optycznych lub elektronicznych.

Znany z amerykańskiego opisu patentowego nr US 5589751 sposób sterowania przełączalnego silnika reluktancyjnego 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 się 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 maszyny.

Znany jest z amerykańskiego zgłoszenia patentowego nr US2009/0218973 bezczujnikowy sposób sterowania silnika reluktancyjnego, którego stojan silnika wyposażony jest w dwa uzwojenia, które częściowo się pokrywają, czyli część zębów stojana jest obejmowana przez oba uzwojenia, dzięki czemu indukcyjność wzajemna obu uzwojeń silnie zależy od położenia wirnika. W czasie pracy napędu kontroluje się w uzwojeniach wartości prądów, pochodnych prądów i indukowanych w tych uzwojeniach napięć. Dzięki oddziaływaniu pochodnej prądu w jednym uzwojeniu powodującym powstanie siły elektromotorycznej w drugim uzwojeniu, uzyskuje się możliwość ustalenia położenia wirnika.

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 pochodnej.

Znany z artykułu *Bezczujnikowe sterowanie napędem SRM* opublikowanym w Przeglądzie Elektrotechnicznym nr 12/2011 sposób sterowania polega na wyznaczaniu pomiarowym, w trakcie pracy, indukcyjności faz poprzez wyznaczenie czasu narastania lub czasu opadania zadawanego prądu pomiarowego w wybranej fazie silnika. Przy czym pomiaru tego dokonuje się wtedy, gdy wybrana faza nie znajduje się w stanie wytwarzania momentu roboczego silnika. Przyłącza się wówczas do niej łącznikami energoelektronicznymi napięcie U_p o stałej wartości, kontrolując maksymalną wielkość prądu pomiarowego i_p. Po osiągnięciu przez ten prąd maksymalnej zadanej wartości biegunowość napięcia pomiarowego U_p zmienia się na przeciwną do czasu, aż wartość prądu i_p płynącego w uzwojeniu zmniejszy się do zera. Pomiarowo wyznaczany może być czas narastania lub czas opadania, a także można mierzyć łączny czas narastania i opadania prądu od wartości zerowej do wartości maksymalnej i od wartości maksymalnej do zerowej, otrzymując ostatecznie czas trwania impulsu prądu pomiarowego. Indukcyjność fazy w stanie pomiarowym określa się na podstawie zmierzonego czasu wykorzystując do tego celu równanie napięciowe każdego z uzwojeń.

Znany z artykułu *Metoda bezczujnikowego sterowania napędem SRM* opublikowanym w Przeglądzie Elektrotechnicznym nr 8/2012 sposób sterowania polega na odpowiednim skracaniu czasu trwania cyklu pomiarowego podczas, którego włączany jest prąd pomiarowy do wybranej fazie silnika w celu dokonania pomiaru jej indukcyjności, a tym samym ustalenia położenia wału silnika. Pierwsza metoda bazuje na koncepcji ograniczania czasu trwania impulsu pomiarowego w sytuacji, gdy staje się wiadomym, że czas odpowiadający granicznej wartości długości impulsu na pewno zostanie przekroczony. Druga metoda polega na tym, że pomiaru nie dokonuje się w całym obszarze pracy fazy pomiarowej, ale w ograniczonym na przykład do około ¼ całego obszaru pracy fazy pomiarowej. Według niej w zupełności wystarczy, jeżeli pomiar będzie wykonywany jedynie w stosunkowo wąskim obszarze przed spodziewanym punktem względem, którego wyznacza się konieczność przełączenia prądu roboczego do kolejnego uzwojenia silnika.

Metoda, w której wykorzystuje się korelację pomiędzy położeniem kątowym wirnika a szybkością narastania prądu w uzwojeniu silnika nie zapewnia dostatecznej precyzji, ponieważ wartość szybkości narastania, bądź opadania prądu w uzwojeniu roboczym uzależniona jest nie tylko od wartości reluktancji obwodu magnetycznego, lecz także od rezystancji uzwojenia, indukcyjności rozproszonej uzwojenia, strat energii w obwodzie magnetycznym. Te niekorzystne zjawiska są źródłem zniekształceń sygnału w czasie pomiaru szybkości narastania prądu w uzwojeniu silnika, które w konsekwencji uniemożliwiają prawidłowe określenie położenia wirnika względem stojana. Ta cecha sprawia, że konieczne jest wprowadzenie dodatkowej korekty w procesie dynamicznej kontroli wartości prądu roboczego silnika reluktancyjnego.

Rozwiązanie według wynalazku umożliwia rozwiązanie tego problemu.

Istotą wynalazku jest sposób kondycjonowania sygnałów w procesie sterowania silnika reluktancyjnego, w którym, dla określenia położenia wirnika względem stojana, stosuje się pomiar szybkości narastania prądu w uzwojeniu roboczym silnika polegający na tym, że symultanicznie z procesem pomiaru bieżących wartości prądu i szybkości narastania prądu w uzwojeniu roboczym dokonuje się korekcji, która polega na wypracowaniu sygnału narastania prądu, którego przebieg w funkcji czasu jest zbliżony do przebiegu liniowego i w którym od aktualnie zmierzonego sygnału bieżących wartości prądu odejmuje się przeskalowane wartości trzech sygnałów kompensujących, przy czym pierwszy sygnał kompensujący uzyskuje się przez uformowanie sygnału proporcjonalnego do wartości napięcia zasilającego uzwojenie robocze, drugi sygnał kompensujący uzyskuje się w procesie filtrowania sygnału proporcjonalnego do wartości napięcia na uzwojeniu roboczym, przy czym sygnał ten filtruje się za pośrednictwem obwodu, którego wartość stałej czasowej jest nie większa niż 10 μs i nie mniejsza niż 1 μs, a trzeci sygnał kompensujący uzyskuje się w procesie filtrowania sygnału proporcjonalnego do wartości napięcia na uzwojeniu roboczym, przy czym sygnał ten filtruje się za pośrednictwem obwodu, którego wartość stałej czasowej jest nie większa niż 60 μs i nie mniejsza niż 20 μs.

Sterownik silnika reluktancyjnego ma blok wyznaczania pochodnych prądu połączony z blokiem komparatorów pochodnych prądu, który z kolei połączony jest z blokiem kontrolno-sterującym, przy czym blok wyznaczania pochodnych prądu połączony jest także z blokiem korekcji prądu, który z kolei połączony jest z blokiem pomiaru napięcia posiadającym połączenia z uzwojeniami silnika L1, L2, L3 oraz rezystorem pomiaru prądu roboczego silnika Rp.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania uwidoczniono na rysunku, na którym:

Fig. 1 przedstawia blokowy schemat układu sterującego silnikiem reluktancyjnym;

Fig. 2 przedstawia następujące przebiegi w funkcji czasu:

przebieg (1) – narastania prądu w uzwojeniu roboczym silnika,
przebieg (2) – napięcia na uzwojeniu roboczym silnika,
przebieg (3) – napięcia na uzwojeniu roboczym silnika po procesie kondycjonowania przez obwód o stałej czasowej 6 μs,
przebieg (4) – napięcia na uzwojeniu silnika roboczym po procesie kondycjonowania przez obwód o stałej czasowej 30 μs,

Fig. 3 przedstawia przebieg (5) zmian sumarycznego sygnału kompensującego,

Fig. 4 przedstawia skorygowany przebieg (6) narastania prądu w uzwojeniu silnika.

Proces sterowania silnika polega na tym, że do jednego z uzwojeń roboczych stojana dołącza się napięcie zasilające. W uzwojeniu tym mierzy się wartość narastającego prądu i za pośrednictwem bloku kontroli prądu zasilania 4 kontroluje się chwilową wartość prądu płynącego w uzwojeniu. Jeśli przekroczy ona górny próg regulatora dwupołożeniowego odłącza się napięcie zasilające od danego uzwojenia, a jeśli zmniejszy się ona poniżej dolnego progu regulatora dwupołożeniowego to załącza się napięcie zasilające do danego uzwojenia.

Jednocześnie aktywne uzwojenie robocze silnika wykorzystuje się dla ustalenia aktualnego położenia wirnika względem stojana silnika, a tym samym wyznaczenia optymalnego momentu, w którym należy przełączyć prąd do następnego uzwojenia. W tym celu śledzi się zmiany szybkości narastania prądu w aktywnym uzwojeniu roboczym spowodowane zmianą położenia wirnika względem stojana. Pomiary wartości pochodnej prądu wykonuje się dla każdego cyklu, w którym uzwojenie robocze jest połączone z napięciem zasilającym do momentu, w którym wartość pochodnej prądu nie będzie mniejsza od wartości ustalonego progu dla wartości minimalnej lub większa od ustalonego progu dla wartości maksymalnej. Wówczas odłącza się napięcie zasilania od dotychczas zasilanego uzwojenia stojana silnika i załącza do wybranego, w zależności od wyniku komparacji, uzwojenia sąsiedniego. W nowo załączonym uzwojeniu cyklicznie wykonuje się pomiary prądu roboczego uzwojenia silnika i wartości napięcia dołączanego do tego uzwojenia, na podstawie, których wyznacza się wartości skorygowanego prądu roboczego uzwojenia silnika i jego pochodnych w celu wyznaczenia kolejnego momentu, w którym należy przełączyć napięcie zasilające do kolejnego następnego, wynikającego z przyjętej sekwencji wirowania, uzwojenia stojana silnika. Wartości progów odniesienia pochodnej dodatniej i pochodnej ujemnej ustala się dla takiego położenia wirnika względem stojana silnika, w którym, biorąc pod uwagę najbardziej optymalne warunki dla wytworzenia przez silnik maksymalnej wartości momentu elektromechanicznego, powinna następować komutacja prądu z danej fazy silnika do jego następnej fazy wynikającej z przyjętej sekwencji wirowania.

W rzeczywistym uzwojeniu silnika, na skutek strat elektrycznych, magnetycznych, a także indukcyjności rozproszenia przebieg narastania prądu w uzwojeniu pomiarowym w funkcji czasu wykazuje odkształcenie od liniowości. Odkształcony przebieg narastania prądu uniemożliwia precyzyjne określenie położenia kątowego wirnika względem stojana i tym samym ustalenie optymalnych momentów dla procesu komutacji uzwojeń roboczych. W celu linearyzacji fazy narastania prądu w uzwojeniu pomiarowym wykorzystuje się proces superpozycji, którym na sygnał przedstawiający aktualnie zmierzone chwilowe wartości prądu w uzwojeniu (przebieg (1)) nakłada się odwrócony sygnał proporcjonalny do: napięcia na badanym uzwojeniu pomiarowym, a także dwa sygnały pochodne, które otrzymuje za pośrednictwem obwodów, których stałe czasowe wynoszą 6 μs i 30 μs.

Przebieg (5) zmian sumarycznego sygnału kompensującego jest sumą sygnałów przebiegu (2), przebiegu (3) i przebiegu (4). Skorygowany przebieg (6) narastania prądu w uzwojeniu silnika otrzymuje się jako różnicę sygnałów przebieg (1) i przebieg (5).

W wyniku kombinacji zmierzonego sygnału przebieg (1) z sygnałem kompensującym przebieg (5) możliwe jest takie ukształtowanie sygnału wyjściowego przebieg (6), że przy ustalonym położeniu wirnika względem stojana, przekształcony sygnał pomiarowy przebieg (6) ma niezmienną szybkość narastania, czyli stałą wartość pierwszej pochodnej sygnału pomiarowego w funkcji czasu. Jeżeli w przedziale czasowym, w którym mierzony jest czas narastania prądu (to jest pomiędzy punktem A i punktem B) zmieni się położenie wirnika względem stojana na skutek zbliżenia lub oddalenia nabiegunników rotora od nabiegunników statora zmieni się wartość indukcyjności uzwojenia i tym samym ulegnie zmianie skompensowany sygnał wyjściowy, który wykaże wzrost wartości pierwszej pochodnej skompensowanego sygnału pomiarowego przy oddaleniu nabiegunników rotora i statora, natomiast w sytuacji odwrotnej wykaże spadek wartości pierwszej pochodnej skompensowanego sygnału pomiarowego. Dzięki temu sposób według wynalazku umożliwia znaczne zwiększenie precyzji w procesie ustalania położenia kątowego wirnika, co skutkuje płynną pracą silnika, mniejszym poborem mocy

elektrycznej i jednocześnie zapewnia, że w zestawie cykli komutacyjnych obejmujących pełny obrót wirnika nie występują punkty martwe (tj. takie, w których żadne uzwojenie robocze nie jest aktywne).

Przykładowe czasowe przebiegi elektryczne sygnałów prądu i sygnałów korekcji prądu zostały zarejestrowane przy zasilaniu uzwojeń roboczych silnika U_Z napięciem 110 V i prądem nominalnym równym 6 A. Skala wzmocnienia dla sygnałów oznaczonych cyfrą 1 i 6 wynosi 0.4 A/działkę, a dla pozostałych sygnałów 0.1 A/działkę, przy podstawie czasu wynoszącej 10 μs/działkę. Sygnał proporcjonalny do wartości napięcia na uzwojeniu silnika (przebieg (2)) po procesie filtracji przez obwód o stałej czasowej 6 μs przedstawia przebieg (3), natomiast ten sam sygnał po procesie filtracji przez obwód o stałej czasowej 30 μs przedstawia przebieg (4). Przedstawione przebiegi elektryczne zostały pokazane przy zmianach wynikających z działania bloku kontroli prądu zasilania 4. Literą A zaznaczono moment załączenia napięcia zasilającego do uzwojenia, czyli załączenie łącznika T1 i T2 lub łącznika T3 i T4 lub łącznika T5 i T6. Literą B zaznaczono moment odłączenia uzwojenia silnika od tego napięcia, czyli wyłączenie łącznika T1 przy zamkniętym łączniku T2 lub wyłączenie łącznika T3 przy zamkniętym łączniku T4 lub wyłączenie łącznika T5 przy zamkniętym łączniku T6.

Sterownik silnika reluktancyjnego z układem kondycjonowania sygnałów według wynalazku ma blok kontrolno-sterujący 1, którego wejścia są połączone następująco: pierwsze z wyjściem bloku komparatorów pochodnych prądu 2; drugie z wyjściem bloku kontroli prądu zasilania 4; trzecie z rezystorem pomiaru prądu roboczego silnika R_P oraz wejście czwarte połączone ze źródłem napięcia zasilania U_Z. Z kolei wyjścia bloku kontrolno-sterującego 1 są połączone: pierwsze z wejściem bloku wyznaczania pochodnych prądu 3; drugie z wejściem bloku rozdzielacza impulsów sterujących 7, trzecie z wejściem bloku komparatorów pochodnych prądu 2. Ponadto, sygnał wyjściowy z bloku kontroli prądu zasilania 4 jest doprowadzony do bloku wyznaczania pochodnych prądu 3 i do bloku rozdzielacza impulsów sterujących 7. Sygnał pomiarowy chwilowej wartości prądu I, zmierzony za pośrednictwem rezystora pomiaru prądu roboczego silnika R_P, jest doprowadzony również do wejścia bloku korekcji prądu 5 oraz do wejścia bloku kontroli prądu zasilania 4, do którego doprowadzony jest również sygnał prądu zadanego I_{zad}. Blok rozdzielacza impulsów sterujących 7 ma sześć wyjść, z których trzy dołączone są do wejść sterujących łączników T1, T3, T5, a pozostałe trzy są dołączone do wejść sterujących łączników T2, T4, T6 oraz do wejść bloku pomiaru napięcia 6, którego wyjście jest połączone z wejściem bloku korekcji prądu 5. Wyjście bloku korekcji prądu 5 jest połączone z wejściem bloku wyznaczania pochodnych prądu 3. Pierwsze uzwojenie fazowe L1 przełączalnego silnika reluktancyjnego jest połączone jednym końcem do anody diody D2 i łącznika T2, a drugim końcem do katody diody D1, łącznika T1 i wejścia bloku pomiaru napięcia 6. Drugie uzwojenie fazowe L2 przełączalnego silnika reluktancyjnego jest połączone jednym końcem do anody diody D4 i łącznika T4, a drugim końcem do katody diody D3, łącznika T3 i wejścia bloku pomiaru napięcia 6. Trzecie uzwojenie fazowe L3 przełączalnego silnika reluktancyjnego jest połączone jednym końcem do anody diody D6 i łącznika T6, a drugim końcem do katody diody D5, łącznika T5 i wejścia bloku pomiaru napięcia 6. Łączniki T1, T3, T5 oraz katody diod D2, D4, D6 są połączone z dodatnim biegunem źródła zasilania U_Z. Łączniki: T2, T4, T6 są połączone z wejściem bloku pomiaru napięcia 6 oraz, poprzez rezystor pomiarowy R_P, z ujemnym biegunem zasilania M. Z ujemnym biegunem zasilania M połączone są również anody diod D1, D3, D5.

Sygnał prądu roboczego I fazy L1 silnika doprowadzono również do bloku kontroli prądu zasilania 4, który realizując procedurę regulatora histerezowego ma za zadanie utrzymywać średnią wartość prądu fazy L1 na zadanym poziomie I_{zad}, przez załączanie łącznika T1, generując na swoim wyjściu sygnał jedynki logicznej i wyłączanie łącznika T1 przy generacji na wyjściu sygnału zera logicznego.

W wyniku tego, jeśli do pracy ma zostać załączona faza L1 silnika, sygnał wyjściowy bloku kontrolno-sterującego 1 za pośrednictwem bloku rozdzielacza impulsów sterujących 7 załącza łączniki T1 i T2, uzwojenie fazy L1 zostaje dołączone do napięcia zasilającego U_Z i prąd płynący przez to uzwojenie zwiększa swą wartość. Blok pomiaru napięcia 6 przekazuje do bloku korekcji prądu 5 sygnał proporcjonalny do wartości napięcia fazy L1, a w bloku wyznaczania pochodnych prądu 3 zostaje zainicjowana procedura wyznaczania pochodnej dodatniej prądu na podstawie sygnału wyjściowego bloku korekcji prądu 5. Sygnał prądu roboczego I fazy L1 silnika, otrzymany z rezystora pomiarowego R_P, jest doprowadzony do bloku kontrolno-sterującego 1 i jest jednym ze składników na podstawie których w bloku tym wyznaczane są wartości progów odniesienia dla pochodnych: dodatniej i ujemnej. Sygnał prądu roboczego I fazy L1 silnika doprowadzono również do bloku kontroli prądu zasilania 4, który ma za zadanie utrzymywać średnią wartość prądu fazy L1 na zadanym poziomie I_{zad}, przez załączanie i wyłączanie łącznika T1.

Działania opisane powyżej są kontynuowane do momentu, w którym kontrolowana w danym stanie czyli wzrostu lub zmniejszania się prądu, wartość jednej z pochodnych nie zmniejszy się poniżej odpowiadającego jej progu odniesienia, przekroczenie którego sygnalizuje konieczność przełączenia prądu roboczego do następnej fazy silnika.

Trzecim blokiem do którego jest dołączony sygnał prądu I jest blok korekcji prądu 5. Napięcie dołączane do jego wejścia z wyjścia bloku pomiaru napięcia 6 jest proporcjonalne do napięcia zasilania U_Z, gdy łączniki T1 i T2 są zamknięte lub do napięcia przewodzenia diody D1, gdy łącznik T1 zostaje otwarty i prąd fazy L1 płynie w obwodzie utworzonym przez tę diodę. W bloku korekcji prądu 5, na podstawie aktualnej wartości napięcia na włączonej do pracy fazie L1 silnika są wytwarzane symultanicznie z procesem pomiaru bieżących wartości prądu i szybkości narastania prądu w uzwojeniu roboczym trzy dodatkowe sygnały kompensujące: jeden proporcjonalny i dwa o charakterze inercyjnym o stałych czasowych różniących się między sobą kilkukrotnie i które pomniejszają zmierzony sygnał prądu roboczego I silnika. Ich wagi są tak dobrane, aby po zsumowaniu i odjęciu od sygnału mierzonego prądu I otrzymywany przebieg był zbliżony do przebiegu liniowego w funkcji czasu. Tak skorygowany, za pośrednictwem bloku korekcji prądu 5, sygnału mierzonego prądu I wprowadza się do bloku wyznaczania pochodnych prądu 3, który wyprowadza na wyjściu sygnał pochodnej dodatniej jeśli następuje wzrost wartości prądu roboczego fazy L1, czyli łączniki T1 i T2 są zamknięte lub sygnał pochodnej ujemnej, gdy łącznik T1 zostaje otwarty i prąd fazy L1 płynąc w obwodzie utworzonym przez diodę D1 zmniejsza swą wartość. Przełączenie prądu roboczego do następnej, wynikającej z przyjętej sekwencji wirowania, fazy silnika następuje, gdy bieżąca wartość sygnału pochodnej prądu przekroczy jeden z wyznaczonych przez blok kontrolno-sterujący 1 progów odniesienia zadanej wartości pochodnej dodatniej lub pochodnej ujemnej prądu. Jeśli w wyniku komparacji następną fazą silnika, która ma zostać załączona jest faza L2, to sygnał wyjściowy bloku kontrolno-sterującego 1 za pośrednictwem bloku rozdzielacza impulsów sterujących 7 załącza łączniki T3 i T4. W wyniku tego uzwojenie tej fazy zostaje dołączone do napięcia zasilającego U_Z. Cała procedura kluczowania prądu roboczego w fazie silnika opisana dla fazy L1 powtarza się, a elementem kluczującym, który ma za zadanie utrzymywać średnią wartość prądu I fazy L2 na zadanym poziomie I_{zad}, jest w tym przypadku łącznik T3. Podobnie jak poprzednio, blok korekcji prądu 5, w oparciu o sygnał proporcjonalny do aktualnej wartości napięcia na włączonej do pracy fazie czyli L2 silnika, otrzymany z bloku pomiaru napięcia 6, dokonuje korekcji zmierzonych wartości prądu, a skorygowany sygnał wyjściowy wprowadzany jest do bloku wyznaczania pochodnych prądu 3. Analogicznie działania są wykonywane przez sterownik w przypadku załączenia do pracy fazy L3 silnika, czyli dołączenia jej do napięcia zasilającego U_Z przez załączenie łączników T5 i T6. Kluczowanie łącznika T5 utrzymuje jest średnią wartość prądu I fazy L3 na zadanym poziomie I_{zad}. Podobnie jak poprzednio, blok korekcji prądu 5, dokonuje korekcji sygnału wprowadzanego na wejście bloku wyznaczania pochodnych prądu 3, na podstawie sygnału proporcjonalnego do aktualnej wartości napięcia na włączonej do pracy fazie czyli L3 silnika, otrzymanego z bloku pomiaru napięcia 6.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób kondycjonowania sygnałów w procesie sterowania silnika reluktancyjnego, w którym, dla określenia położenia wirnika względem stojana, stosuje się pomiar szybkości narastania prądu w uzwojeniu roboczym silnika, **znamienny tym**, że symultanicznie z procesem pomiaru bieżących wartości prądu i szybkości narastania prądu w uzwojeniu roboczym dokonuje się korekcji, która polega na wypracowaniu sygnału narastania prądu, którego przebieg w funkcji czasu jest zbliżony do przebiegu liniowego i w którym od aktualnie zmierzonego sygnału bieżących wartości prądu odejmuje się przeskalowane wartości trzech sygnałów kompensujących, przy czym pierwszy sygnał kompensujący uzyskuje się przez uformowanie sygnału proporcjonalnego do wartości napięcia zasilającego uzwojenie robocze, drugi sygnał kompensujący uzyskuje się w procesie filtrowania sygnału proporcjonalnego do wartości napięcia na uzwojeniu roboczym, przy czym sygnał ten filtruje się za pośrednictwem obwodu, którego wartość stałej czasowej jest nie większa niż 10 μs i nie mniejsza niż 1 μs, a trzeci sygnał kompensujący uzyskuje się w procesie filtrowania sygnału proporcjonalnego do wartości napięcia na uzwojeniu roboczym, przy czym sygnał ten filtruje się za pośrednictwem obwodu, którego wartość stałej czasowej jest nie większa niż 60 μs i nie mniejsza niż 20 μs.

2. Sterownik silnika reluktancyjnego z układem kondycjonowania sygnałów zawierający: blok kontrolno-sterujący, blok kontroli prądu zasilania, blok rozdzielacza impulsów sterujących oraz zespół sterowanych łączników energoelektronicznych, **znamienny tym**, że ma blok wyznaczania pochodnych prądu 3 połączony z blokiem komparatorów pochodnych prądu 2, który z kolei połączony jest z blokiem kontrolno-sterującym 1, przy czym blok wyznaczania pochodnych prądu 3 połączony jest także z blokiem korekcji prądu 5, który z kolei połączony jest z blokiem pomiaru napięcia 6 posiadającym połączenia z uzwojeniami silnika L1, L2, L3 oraz rezystorem pomiaru prądu roboczego silnika R_P.

Rysunki

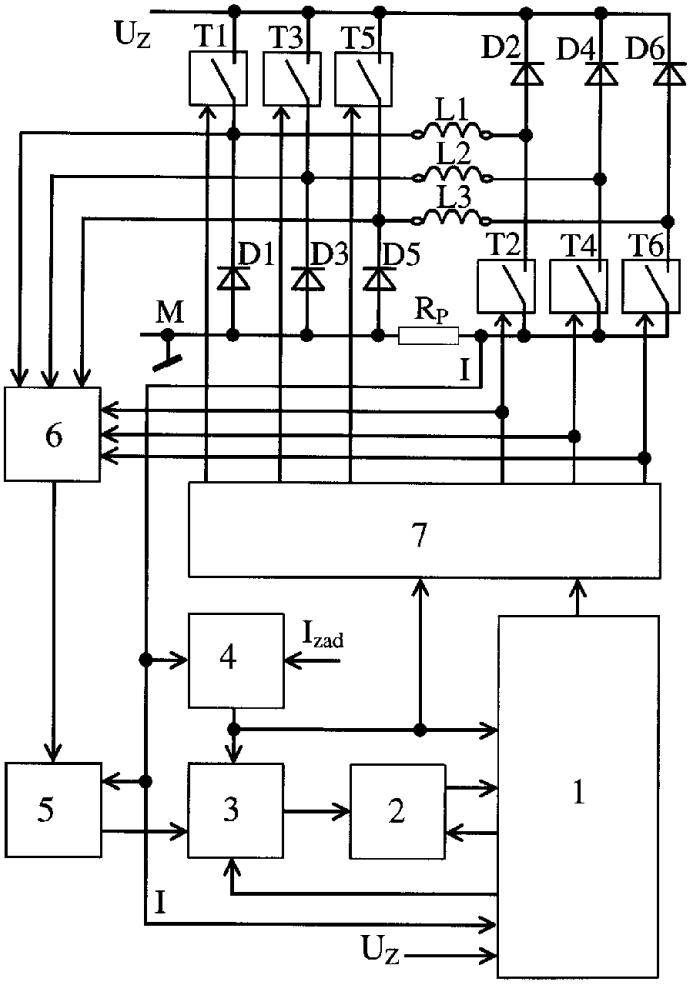

Fig. 1

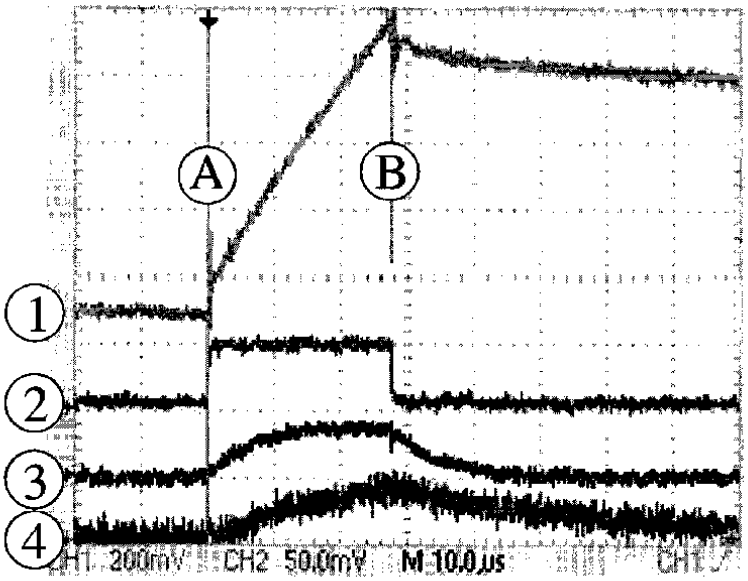
A
B
1
2
3
4
CH1 200mV
CH2 50.0mV
M 10.0µs

Fig. 2

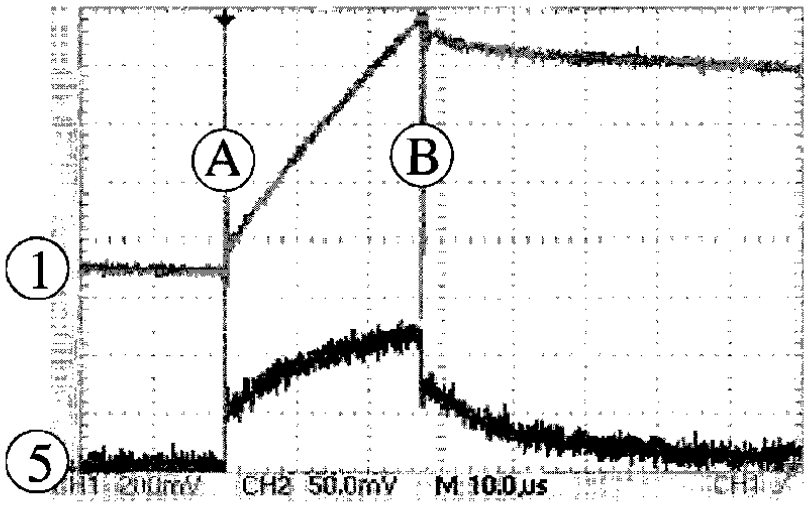
A
B
1
5
CH1 200mV
CH2 50.0mV
M 10.0µs

Fig. 3

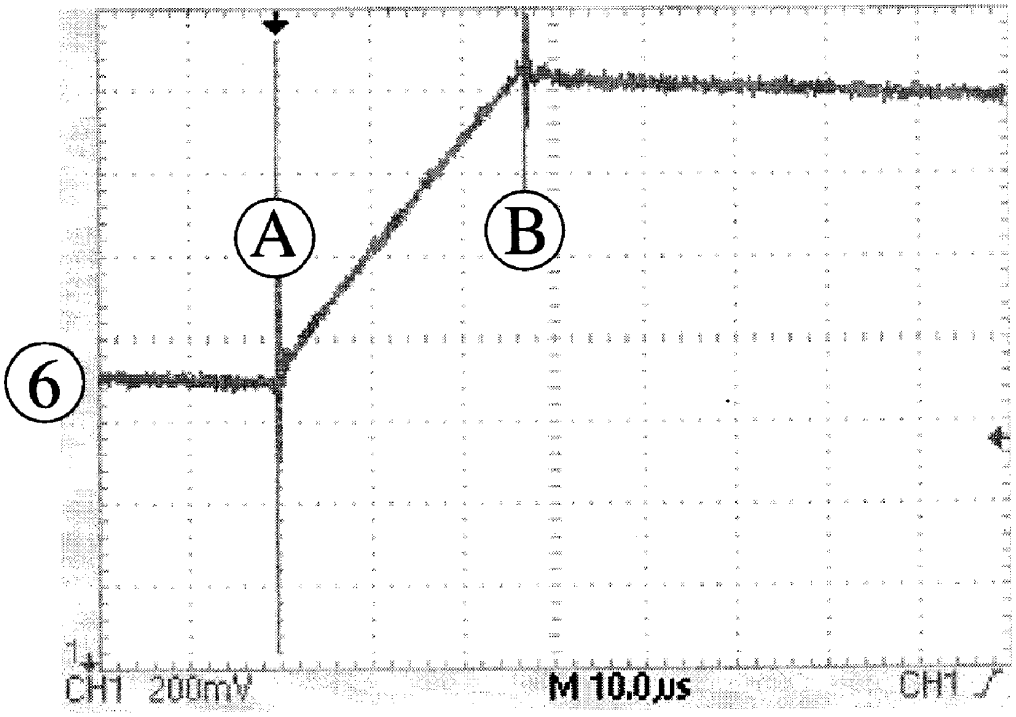

Fig. 4

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