

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **221398**
(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **396511**

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

(22) Data zgłoszenia: **03.10.2011**

(54)

**Sposób sterowania przełączalnego silnika reluktancyjnego
i układ sterowania przełączalnego silnika reluktancyjnego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

15.04.2013 BUP 08/13

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

29.04.2016 WUP 04/16

(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 221398 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób sterowania przełączalnego silnika reluktancyjnego i układ sterowania przełączalnego silnika reluktancyjnego mający zastosowanie w elektrycznych urządzeniach napędowych.

Silniki reluktancyjne należą do najbardziej niezawodnych i odpornych na czynniki środowiskowe elektrycznych urządzeń napędowych. Wysoka trwałość i niezawodność silników reluktancyjnych wynika z prostej budowy wirnika, który nie posiada uzwojeń w części wirnikowej oraz elementów komutacyjnych w sąsiedztwie wirnika. Wykonany jest z jednorodnego materiału wirnik silnika charakteryzuje się dużą wytrzymałością mechaniczną. Silniki reluktancyjne zazwyczaj wyposaża się w elektroniczne obwody komutacyjne, które korzystnie umieszcza się poza korpusem silnika. Sterowanie elektronicznym obwodem komutacyjnym, zwłaszcza w urządzeniach dużej mocy, realizuje się w oparciu o czujniki magnetyczne umiejscowione na statorze. Funkcje tę mogą pełnić naprzemiennie uzwojenia robocze silnika reluktancyjnego.

Z polskiego zgłoszenia patentowego nr P-392873 znany jest sposób sterowania silnika reluktancyjnego polegający na tym, że jednorazowo dla danego silnika określa się pierwszy stały parametr czasowy dla impulsu prądu, który wyznacza się przy takiej pozycji wirnika, gdy jeden z jego biegunów znajduje się pomiędzy dwoma biegunami stojana, następnie określa się drugi stały parametr czasowy, który korzystnie jest większy od pierwszego stałego parametru czasowego. Następnie do jednego dowolnie wybranego uzwojenia stojana silnika załącza się prąd roboczy, po czym mierzy się czas narastania prądu w uzwojeniu pomiarowym, który stanowi trzeci bieżący parametr czasowy impulsu prądowego i porównuje jego wartość z wartością drugiego stałego parametru czasowego. Proces ten realizuje się cyklicznie tak długo jak długo wartość trzeciego bieżącego parametru czasowego jest mniejsza od wartości drugiego stałego parametru czasowego. Z chwilą, gdy wartość trzeciego bieżącego parametru czasowego jest większa od wartości drugiego stałego parametru czasowego przełącza się prąd roboczy do kolejnego uzwojenia i jednocześnie przenosi się proces wyznaczania trzeciego bieżącego parametru czasowego na kolejne uzwojenie.

Z polskiego zgłoszenia patentowego nr P-393329 znany jest sposób sterowania przełączalnego silnika reluktancyjnego, który polega na tym, że poprzez śledzenie wartości trzeciego bieżącego parametru czasowego dokonuje się określenia położenia wirnika względem stojana a także pomiaru prędkości obrotowej wirnika, przy czym w momencie zrównania wartości trzeciego bieżącego parametru czasowego z wartością drugiego stałego parametru czasowego przenosi się proces wyznaczania trzeciego bieżącego parametru czasowego na kolejne uzwojenie, ponadto mierzy się okresy czasowe pomiędzy kolejnymi momentami zrównania wartości trzeciego bieżącego parametru czasowego z drugim parametrem czasowym i w oparciu o te pomiary wyznacza się czwarty bieżący parametr czasowy, który jest miarą prędkości obrotowej. Następnie z bloku pamięci odczytuje się wartość czasu wyprzedzenia dla ostatnio zmierzonego czwartego parametru czasowego i aktualnej wartości prądu roboczego, po czym odejmuje się od wartości czwartego parametru czasowego odczytaną wartość czasu wyprzedzenia i w oparciu o tak określony piąty parametr czasowy ustala się czas kolejnego przełączenia uzwojeń roboczych, który odmierza się od momentu ostatniego zrównania drugiego i trzeciego parametru czasowego, przy czym w dalszym ciągu, przełączeń uzwojeń pomiarowych dokonuje się w momentach zrównania drugiego i trzeciego parametru czasowego.

W wymienionych sposobach sterowania wartość indukcyjności, która służy do wyznaczenia położenia kąowego wirnika względem stojana, wyznacza się poprzez pomiar czasu narastania prądu w uzwojeniu pomiarowym do ustalonej wartości zadanej, po przekroczeniu której następuje zmiana polaryzacji uzwojenia pomiarowego i w konsekwencji zanik prądu w uzwojeniu pomiarowym. Ponieważ prąd płynący przez uzwojenie pomiarowe wytwarza również strumień magnetyczny, który nie jest skorelowany ze strumieniami uzwojeń roboczych, powoduje to niekorzystne modulacje momentu obrotowego silnika. Modulacje te są najsilniejsze wówczas, gdy czas narastania prądu w uzwojeniu pomiarowym wydłuża się wskutek zbliżenia nabiegunnika rotora do nabiegunnika uzwojenia pomiarowego. Ponieważ przełączenie uzwojeń pomiarowych następuje w momentach gdy nabiegunnik rotora znajduje się pomiędzy sąsiednimi nabiegunnikami statora, korzystne jest zmniejszenie szczytowych wartości prądów dla tych momentów w których nabiegunniki rotora i uzwojenia pomiarowego są zbliżone lub pokrywają się.

W zgłoszeniu patentowym nr P-395882 zminimalizowano zakłócenia momentu obrotowego wprowadzane przez uzwojenie pomiarowe poprzez ograniczenie przedziału czasowego dla którego

dokonywane pomiaru czasu narastania prądu w obwodzie uzwojenia pomiarowego. Innymi słowy dla tych pozycji wirnika w których można się spodziewać wydłużonego czasu narastania prądu w uzwojeniu pomiarowym nie realizuje się pełnego cyklu pomiaru czasu narastania prądu, lecz przerywa się proces pomiaru czasu narastania prądu z chwilą gdy przekroczona zostanie ustalona wartość zadana czasu i jest oczywiste, że w wyniku kontynuacji procesu pomiaru nie uzyskuje się wartości mierzonego parametru który wymagany jest do inicjacji procesu komutacji.

Sposób minimalizacji zakłóceń momentu obrotowego przez uzwojenie pomiarowe według niniejszego wynalazku jest rozwiązaniem alternatywnym przedstawionego problemu.

Istota sposobu sterowania silnika reluktancyjnego polega na tym, że aktywację uzwojenia pomiarowego polegającą na realizacji cykli pomiarowych czasu narastania i opadania prądu rozpoczyna się z opóźnieniem czasowym w stosunku do momentu czasowego w którym nastąpiło przełączenie procedury pomiaru wartości sumy czasu narastania i opadania impulsu prądu pomiarowego na kolejne uzwojenie, czyli ostatniego momentu czasowego dla którego zmierzona wartość czasu narastania prądu była większa lub równa ustalonej wartości granicznej, przy czym wartość czasu opóźnienia dobiera się w oparciu o dane zapisane w bloku opóźnienia zależne od prędkości obrotowej wirnika, którą określa się na podstawie uśrednionych pomiarów przedziału czasowego pomiędzy wcześniejszymi następującymi po sobie momentami dla których zmierzona wartość sumy czasu narastania i opadania prądu była większa lub równa ustalonej wartości granicznej.

Układ sterowania silnika reluktancyjnego według wynalazku ma blok generatora napięciowych impulsów pomiarowych połączony z blokiem pomiaru czasu trwania impulsów i blokiem opóźnienia pomiaru. Blok pamięci czasu przełączania połączony jest z blokiem pomiaru czasu, który połączony z blokiem opóźnienia pomiaru.

Zaletą zaproponowanego sposobu jest zmniejszenie wartości momentu, wytwarzanego przez prąd płynący w uzwojeniach pomiarowych, który na ogół jest nieskorelowany w stosunku do momentu wytwarzanego przez uzwojenie robocze.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania uwidocznił na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia blokowy schemat układu sterującego silnikiem reluktancyjnym, fig. 2 przedstawia poprzeczny przekrój silnika reluktancyjnego posiadającego cztery pary biegunów stojana i wirnik wyposażony w trzy pary biegunów, fig. 3 przedstawia przebiegi czasowe impulsów prądowych uzwojeniach pomiarowych na tle prądów w uzwojeniach roboczych.

Układ sterujący silnikiem reluktancyjnym 8 ma główny blok kontroli 3 oraz blok sterowania 5, który steruje blokiem komutacyjnym 6 oraz blokiem generacji napięciowych impulsów pomiarowych 4 w oparciu o sygnały dostarczone z bloku komparacji, który otrzymuje sygnał do komparacji z bloku pomiaru czasu trwania impulsów 2 i porównuje go z sygnałem otrzymanym z bloku pamięci czasu przełączania 7. Blok pamięci czasu przełączania 7 połączony jest z blokiem pomiaru czasu 9, którego wyjście połączone jest z wejściem bloku opóźnienia pomiaru 1. Blok opóźnienia pomiaru 1 steruje pracą generatora napięciowych impulsów pomiarowych 4.

W procesie sterowania główny blok kontroli 3 za pośrednictwem bloku sterowania 5 i bloku komutacyjnego 6 dołącza do jednego z uzwojeń stojana napięcie zasilania U_z , natomiast do kolejnego uzwojenia wybranego zgodnie z zamierzonym kierunkiem obrotów załącza blok generatora napięciowych impulsów pomiarowych 4, w którym polaryzację impulsów napięciowych zmienia się po przekroczeniu ustalonej progowej wartości prądu. Przy czym, blok generatora napięciowych impulsów pomiarowych 4 aktywuje się z opóźnieniem czasowym, które ustala się za pośrednictwem bloku opóźnienia pomiaru 1. Dopóki w wyniku pomiaru indukcyjności uzwojenia, do którego został dołączony impuls napięciowy, suma czasu narastania i opadania prądu w uzwojeniu pomiarowym jest większa od zadanej wartości dokonuje się cyklicznych pomiarów sumy czasu narastania i opadania prądu i jednocześnie utrzymuje w stanie załączonym zasilane uzwojenie robocze. Jeżeli natomiast zmierzona wartość sumy czasu narastania i opadania prądu jest równa lub mniejsza od zadanej wartości to wówczas główny blok kontroli 3 za pośrednictwem bloku komutacyjnego 6 dokonuje przełączenia bloku generatora impulsów pomiarowych 4 do kolejnego uzwojenia wybranego zgodnie z zamierzonym kierunkiem obrotów silnika reluktancyjnego i jednocześnie utrzymuje się w stanie załączonym uzwojenie robocze. Jednocześnie dokonuje się pomiaru okresu repetycji momentów czasowych, w których następuje zrównanie wartości sumy czasu narastania i opadania prądu w uzwojeniu pomiarowym z zadaną wartością i na podstawie uśrednionej, z kilku ostatnich pomiarów, wartości określa się i śledzi prędkość obrotową wirnika. Na podstawie tej prędkości zadaje się optymalną wartość czasu opóźnienia dla aktywacji bloku generatora napięciowych impulsów pomiarowych 4.

Kolejne momenty aktywacji bloku generatora napięciowych impulsów pomiarowych 4 ustala się uwzględniając prędkość obrotową i przypisaną tej wartości prędkości optymalną wartość opóźnienia czasowego ustalonego za pośrednictwem bloku opóźnienia 1.

P r z y k ł a d wykonania.

W przełączalnym silniku reluktancyjnym wyposażonym w cztery pary biegunów stojana i wirnik zawierający trzy pary biegunów w oparciu o wcześniejsze badania charakterystyk zmian indukcyjności w funkcji położenia kąтового wirnika przyjęto zadaną wartość dla czasu narastania równą $95\ \mu\text{s}$ przy impulsach napięciowych o amplitudzie $175\ \text{V}$ i granicznej wartości prądu pomiarowego równej $1.6\ \text{A}$, przy nominalnej wartości prądu dla uzwojenia roboczego równej $24\ \text{A}$.

P r z y k ł a d sterowania.

Przykładowo: przy położeniu wirnika W jak pokazano na fig. 2 oraz przy założeniu, że prąd roboczy został właśnie załączony do uzwojenia 3-3' i narasta w nim, a maleje w uzwojeniu 2-2', do uzwojenia 4-4' załącza się impulsy napięciowe o amplitudzie $175\ \text{V}$. Z chwilą gdy zostanie przekroczona graniczna wartość prądu $1.6\ \text{A}$ zmienia się polaryzację napięcia polaryzującego. Proces ten prowadzi się tak długo aż nastąpi zrównanie wartości sumy czasu narastania i opadania prądu w uzwojeniu pomiarowym 4-4' z wartością ustalonego parametru czasowego określającego położenie kątowe wirnika. Po czym przełącza się prąd roboczy na kolejne uzwojenia i przełącza się proces pomiaru czasu narastania prądu na kolejne uzwojenie pomiarowe. Jednakże, impulsy napięciowe o amplitudzie $175\ \text{V}$ załącza się do uzwojenia pomiarowego z opóźnieniem w stosunku do ostatniego momentu w którym nastąpiło zrównanie wartości czasu narastania prądu w uzwojeniu pomiarowym z wartością ustalonego parametru czasowego określającego położenie kątowe wirnika. Przy czym, wartość czasu opóźnienia oblicza się jako różnicę pomiędzy, uśrednioną wartością z kilku ostatnich pomiarów odcinka czasu wyznaczonego przez kolejne momenty w których nastąpiło zrównanie wartości sumy czasu narastania i opadania prądu w uzwojeniu pomiarowym z wartością ustalonego parametru czasowego, a ustalonym czasem trwania serii impulsów pomiarowych. Zrównanie wartości sumy czasu narastania i opadania prądu pojedynczego impulsu prądowego z wartością zadaną ustalającą kątowe położenie wirnik względem stojana inicjuje kolejny cykl komutacyjny i kolejny cykl pomiarowy.

Skrócony czas realizacji każdorazowego cyklu pomiaru indukcyjności, przy ustalonej prędkości obrotowej wirnika, zmniejsza zakłócenia momentu obrotowego wirnika wytwarzanego przez uzwojenia robocze i tym samym umożliwia uzyskanie stabilnej prędkości obrotowej wirnika.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób sterowania przełączalnego silnika reluktancyjnego polegający na wyznaczaniu położenia rotora względem stojana w oparciu o pomiar indukcyjności jednego z uzwojeń stojana, której wartość wyznacza się poprzez cykliczne pomiary wartości sumy czasu narastania i opadania prądu w aktualnym uzwojeniu pomiarowym, **znamienny tym**, że aktywację uzwojenia pomiarowego polegającą na realizacji sekwencji cykli pomiarowych czasu narastania i opadania prądu rozpoczyna się z opóźnieniem czasowym w stosunku do momentu czasowego, w którym nastąpiło przełączenie procedury pomiaru wartości sumy czasu narastania i opadania prądu na kolejne uzwojenie, czyli ostatniego momentu czasowego dla którego zmierzona wartość sumy czasu narastania i opadania prądu była większa lub równa ustalonej wartości granicznej, przy czym wartość czasu opóźnienia dobiera się w oparciu o dane zapisane w bloku opóźnienia pomiaru (1) zależne od prędkości obrotowej wirnika, którą określa się na podstawie uśrednionych pomiarów przedziału czasowego pomiędzy wcześniejszymi następującymi po sobie momentami dla których zmierzona wartość sumy czasu narastania i opadania prądu była większa lub równa ustalonej wartości granicznej.

2. Układ sterowania przełączalnego silnika reluktancyjnego zawierający główny blok kontroli połączony z blokiem sterowania, który z kolei połączony jest z blokiem komutacyjnym, **znamienny tym**, że ma blok generatora napięciowych impulsów pomiarowych (4) połączony z blokiem pomiaru czasu trwania impulsów (2) i blokiem opóźnienia pomiaru (1), ponadto ma blok pamięci czasu przełączania (7), który połączony jest z blokiem pomiaru czasu (9), który z kolei połączony jest z blokiem opóźnienia pomiaru (1).

Rysunki

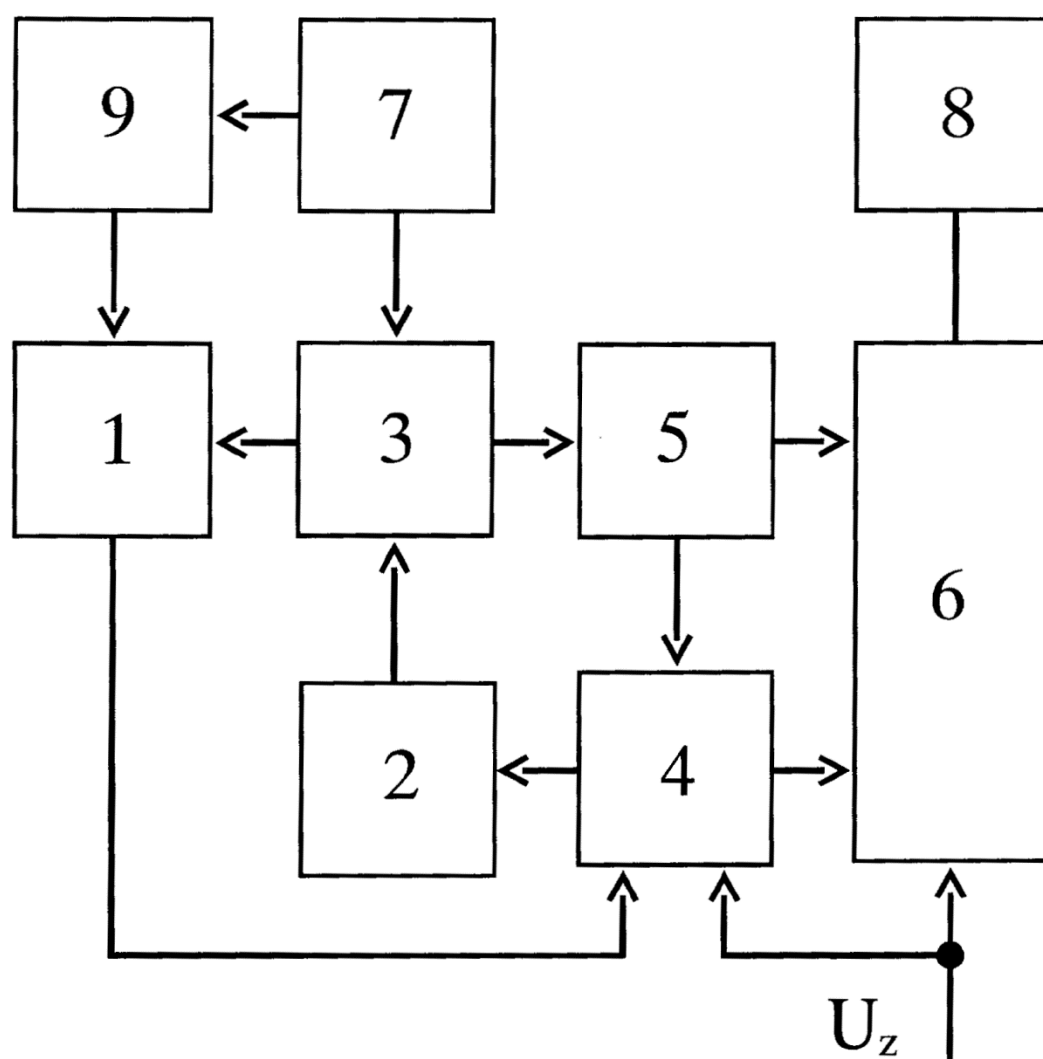


fig. 1

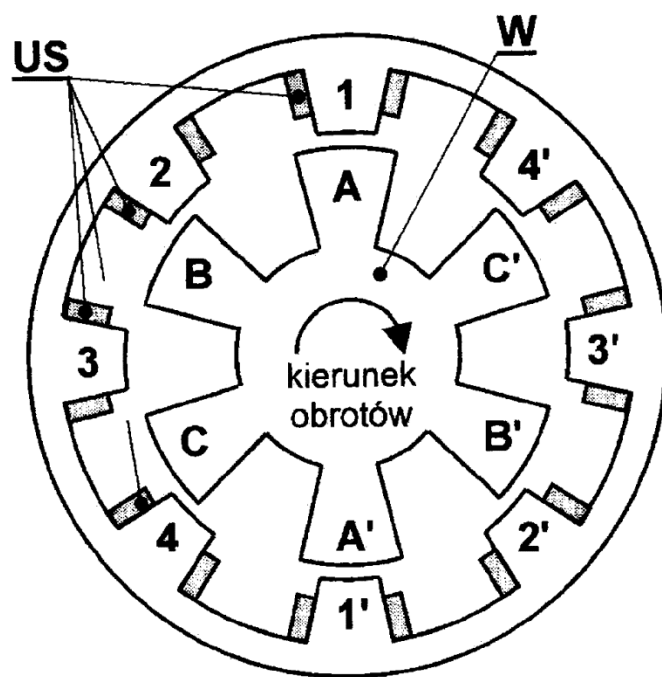


fig. 2

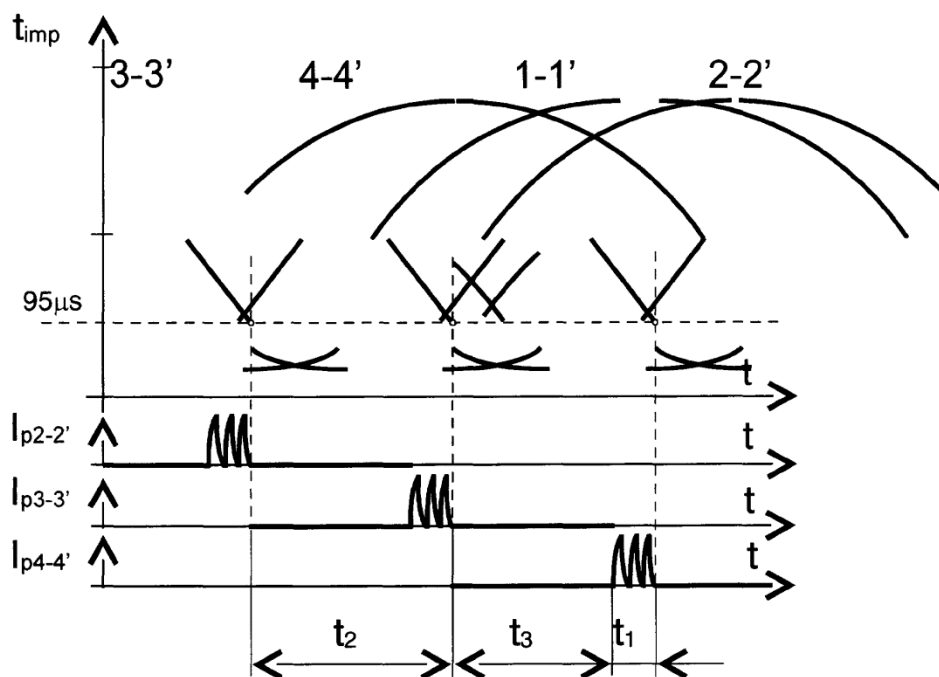


fig. 3