

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **221694**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **397538**

(51) Int.Cl.  
**G01R 31/34 (2006.01)**

(22) Data zgłoszenia: **22.12.2011**

(54)

**Sposób diagnostyki przełączalnego silnika reluktancyjnego**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**24.06.2013 BUP 13/13**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**31.05.2016 WUP 05/16**

(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 221694 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób diagnostyki przełączalnego silnika reluktancyjnego.

Silniki reluktancyjne z uwagi na wysoki stopień niezawodności oraz odporność na czynniki środowiskowe nie tylko skutecznie wpierają standardowe silniki indukcyjne lub bez-szczotkowe silniki prądu stałego, lecz również znajdują zastosowania w nowych obszarach techniki. Przykładowo, z amerykańskiego opisu patentowego nr US 8,006,789 znane jest zastosowanie silnika reluktancyjnego do napędu pojazdów samochodowych, z kolei z opisu patentowego nr US 6,865,888 znane jest zastosowanie silnika reluktancyjnego w układzie turboładowania dla silnika spalinowego. W tym przypadku silnik reluktancyjny nie tylko musi niezawodnie dostarczyć odpowiedniej mocy rzędu kilku kW, lecz również zapewnić niezawodną pracę przy prędkościach obrotowych rzędu 120 000 obrotów na minutę. Z uwagi na wymagane wysokie prędkości obrotowe silniki wysokoobrotowe wymagają nie tylko precyzyjnego wyważenia dynamicznego rotora, lecz również zapewnienia wysokiej odporności wirnika na przeciążenia mechaniczne, będące skutkiem odśrodkowych sił rozciągających. Silne naprężenia mechaniczne występują również w nieruchomym stojanie silnika reluktancyjnego. Na skutek sekwencyjnej aktywacji przeciwległych uzwojeń roboczych stojana w obwodzie magnetycznym wirnika generowane są znaczne radialne siły rozciągające, natomiast w obwodzie magnetycznym stojana siły dążące do spłaszczenia zewnętrznego obwodu magnetycznego stojana. Powoduje to deformacje kołowego obwodu magnetycznego stojana, który przyjmuje kształt eliptyczny. Po wyłączeniu uzwojeń wzbudzających, na skutek sprężystości materiału, następuje odkształcenie obwodu magnetycznego w kierunku przeciwnym, prowadzi to do generacji drgań mechanicznych, które skutkują modulacją szczeliny magnetycznej pomiędzy nabiegownikami wirnika i nabiegownikami stojana oraz generacją hałasu. W miarę wzbudzania kolejnych uzwojeń stojana odkształcenia eliptyczne przemieszczają się po obwodzie stojana. Silne deformacje mechaniczne w elementach mechanicznych silnika mogą prowadzić do zmęczenia materiałowego i w konsekwencji do uszkodzenia silnika.

Diagnostyka silnika umożliwia wcześniejsze rozpoznanie krytycznego stopnia degradacji silnika. Metoda oceny stopnia degradacji części mechanicznych silnika nie wymagająca demontażu lub rozbioru silnika jest szczególnie korzystna, ponieważ nie istnieje ryzyko potencjalnego uszkodzenia w czasie przeglądu technicznego oraz zminimalizowane są koszty diagnozy.

Istota sposobu diagnostyki przełączalnego silnika reluktancyjnego posiadającego, co najmniej trzy pary biegunów stojana, w którym uzwojenia każdej pary są połączone równolegle, ponadto szeregowo z każdym uzwojeniem połączony jest czujnik prądowy, polega na tym, że w każdej parze uzwojeń umieszczonych na przeciwległych biegunach stojana mierzy się symultanicznie chwilowe wartości prądów, następnie wyznacza się chwilowe wartości pochodnych prądów, które porównuje się ze sobą i na podstawie względnej różnicy zmierzonych wartości dokonuje się oceny stopnia degradacji silnika. Wymienione pomiary dokonuje się dla wszystkich możliwych położeń kątowych wirnika względem stojana, przy których istnieje maksymalne zbliżenie każdej wybranej pary nabiegowników stojana za każdą wybraną parą nabiegowników rotora.

Przedmiot wynalazku w przykładzie wykonania uwidocznił na rysunku, na których fig. 1 przedstawia blokowy schemat układu diagnostyki silnika reluktancyjnego, fig. 2 przekrój poprzeczny przełączalnego silnika reluktancyjnego posiadającego trzy pary biegunów stojana i dwie pary biegunów wirnika. Mechaniczny proces degradacji silnika zazwyczaj objawia się w postaci zmiany położenia wirnika względem stojana lub takiego stopnia deformacji jednego z wymienionych elementów, który grozi katastroficznym uszkodzeniem elektrycznego urządzenia napędowego. Na fig. 2 zaznaczono literą „s” odległość między czołami nabiegowników stojana i wirnika, w przypadku, gdy oś obrotu wirnika pokrywa się z osią symetrii stojana. Linia kropkowaną pokazano przykładowo położenie wirnika w przypadku przesunięcia o odległość „p” osi obrotu wirnika względem osi symetrii stojana silnika. Wówczas odległość między czołem nabiegownika stojana, na którym zostało nawinięte uzwojenie L1a stojana i czołem nabiegownika wirnika zwiększa się o „p”, natomiast, że odległość między czołem nabiegownika stojana, na którym jest nawinięte uzwojenie L1b stojana i czołem nabiegownika wirnika zmniejsza się o „p”. W tej sytuacji indukcyjność uzwojenia L1a zmaleje, natomiast indukcyjność uzwojenia L1b wzrośnie i w konsekwencji ulegną zmianie wartości pochodnych prądu, przy tych samych warunkach zasilania. Wartość pochodnej prądu uzwojeniu L1a będzie większa od wartości pochodnej prądu w uzwojeniu L1b. W przełączalnym silniku reluktancyjnym posiadającym trzy pary biegunów stojana i dwie pary biegunów wirnika, którego średnica wirnika wynosi 25 mm, długość jarzma wirnika 60 mm i szczelina między nabiegownikami stojana i wirnika 0.5 mm, przesunięcie osi obrotu wirnika

względem osi symetrii stojana w przybliżeniu o połowę szerokości szczeliny daje w efekcie różnicę między indukcyjnościami uzwojeń fazowych stojana silnika rzędu kilkunastu procent. Z uwagi na jednakowe warunki zasilania obu połączonych równolegle sekcji uzwojeń każdej z faz silnika pochodne prądów w nich płynących również różnią między sobą w takim samym stopniu jak indukcyjności uzwojeń. Zatem, nadzorując wartość różnicy pochodnych tych prądów otrzymuje się pośrednio informację o stanie mechanicznym silnika. Wyłączenie silnika z pracy następuje wskutek działania nadrzędnego układu sterowania i regulacji napędu, nie pokazanego na rysunku, po pojawieniu się sygnału jedynek logicznej na wyjściu jednego z komparatorów 6 lub 7. Dobierając w komparatorach 6 i 7 odpowiednie wagi sygnałów: wartości bezwzględnej różnicy pochodnych otrzymanego z bloku wyznaczania wartości bezwzględnej 3 porównywanego w pierwszym komparatorze 6 z wartością bezwzględną sygnału pochodnej prądu P1a uzyskaną w bloku wyznaczania wartości bezwzględnej 4 i w drugim komparatorze 7 z wartością bezwzględną sygnału pochodnej prądu P1b uzyskaną w bloku wyznaczania wartości bezwzględnej (5) można w przybliżeniu ocenić stopień degradacji, lub mechanicznego uszkodzenia.

Układ do diagnostyki przełączalnego silnika reluktancyjnego wyposażonego w trzy pary biegunów stojana i dwie pary biegunów wirnika posiada układy pomiarowe prądu w każdej z połączonych równolegle sekcji uzwojeń fazowych. W uzwojeniach roboczych pierwszej fazy L1a, L1b mierzone są prądy I1a, I1b; w uzwojeniach roboczych drugiej fazy L2a, L2b mierzone są prądy I2a, I2b; w uzwojeniach roboczych trzeciej fazy L3a, L3b mierzone są prądy I3a, I3b. Sygnały pomiarowe prądów I1a, I1b, I2a, I2b, I3a, I3b są doprowadzone do wejść bloku wyznaczania pochodnych prądów 1. Z bloku wyznaczania pochodnych prądów 1 wychodzą dwa sygnały: pierwszy proporcjonalny do pochodnej prądu P1a z sekcji uzwojenia L1a lub L2a lub L3a i drugi proporcjonalny do wartości pochodnej prądu P1b z sekcji uzwojenia L1b lub L2b lub L3b. Oba sygnały są doprowadzone do wejść bloku wyznaczania różnicy sygnałów 2, który następnie połączony jest poprzez blok wyznaczania wartości bezwzględnej 3 do wejść komparatorów 6 i 7. Drugie wejście komparatora 6 połączone jest z blokiem wyznaczania wartości bezwzględnej 4 sygnału P1a z sekcji uzwojenia L1a lub L2a lub L3a. Natomiast, drugie wejście komparatora 7 połączone jest z blokiem wyznaczania wartości bezwzględnej 5 sygnału P1b z sekcji uzwojenia L1a lub L2a lub L3a.

Po załączeniu łączników W1, W4 w uzwojeniach L1a, L1b płyną prądy odpowiednio I1a, I1b na podstawie, których w bloku wyznaczania pochodnych prądów 1 są określane wartości pochodnych tych prądów odpowiednio P1a, P1b. W bloku wyznaczania różnicy sygnałów 2 dokonuje się operacji odejmowania wartości jednego od wartości drugiego sygnału. Następnie w bloku wyznaczania wartości bezwzględnej 3 obliczana jest wartość bezwzględna różnicy sygnałów. Jest ona następnie porównywana, z odpowiednią wagą, w pierwszym komparatorze 6 z wartością bezwzględną sygnału pochodnej prądu P1a uzyskaną w bloku wyznaczania wartości bezwzględnej 4 i w drugim komparatorze 7 z wartością bezwzględną sygnału pochodnej prądu P1b uzyskaną w bloku wyznaczania wartości bezwzględnej 5. Analogiczne działania są podejmowane przy przepływie prądu przez uzwojenia drugiej fazy silnika L2a, L2b oraz trzeciej fazy silnika L3a, L3b.

### Zastrzeżenie patentowe

Sposób diagnostyki przełączalnego silnika reluktancyjnego wykorzystujący pomiary parametrów elektrycznych silnika do oceny jego stopnia degradacji, **znamienny tym**, że w każdej parze uzwojeń umieszczonych na przeciwległych biegunach stojana mierzy się symultanicznie chwilowe wartości prądów, następnie wyznacza się chwilowe wartości pochodnych prądów, które porównuje się ze sobą i na podstawie względnej różnicy zmierzonych wartości dokonuje się oceny stopnia degradacji silnika, przy czym wymienione pomiary dokonuje się dla wszystkich możliwych położań kątowych wirnika względem stojana przy których istnieje maksymalne zbliżenie każdej wybranej pary nabiegunków stojana za każdą wybraną parą nabiegunków rotora.

## Rysunki

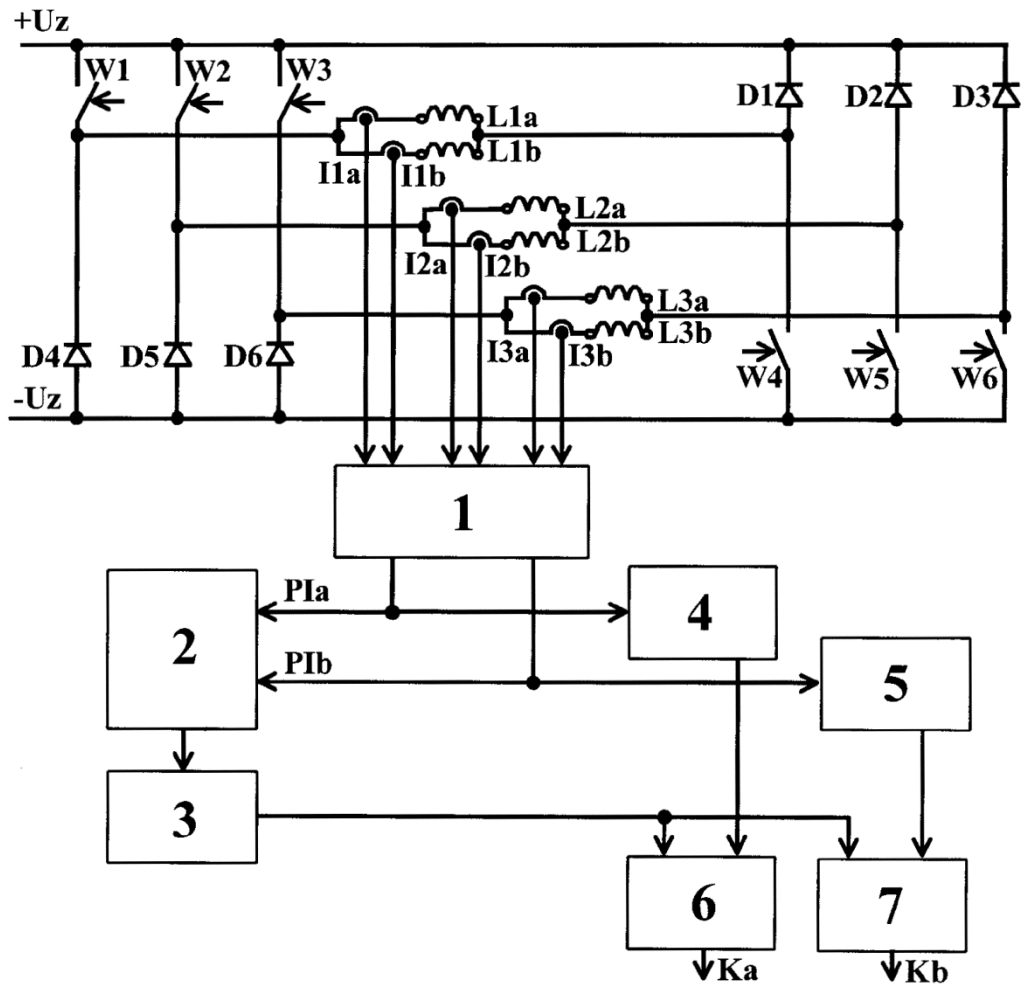


fig. 1

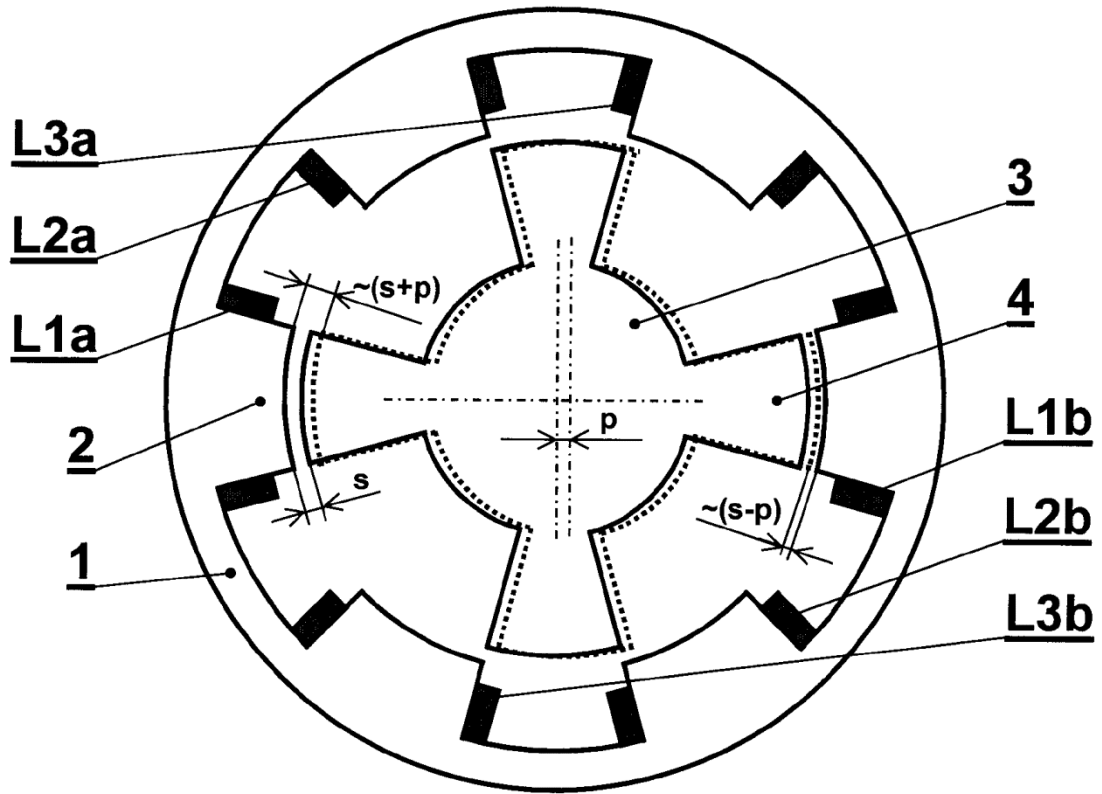


fig. 2

