

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **235653**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **427051**

(51) Int.Cl.

**H02P 6/16 (2016.01)**

(22) Data zgłoszenia: **13.09.2018**

---

(54) **Sposób pomiaru położenia kąтового wału bezszczotkowego silnika prądu stałego z czujnikami położenia wału**

---

(43) Zgłoszenie ogłoszono:  
**11.03.2019 BUP 06/19**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:  
**21.09.2020 WUP 14/20**

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA LUBELSKA, Lublin, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**KRZYSZTOF KOLANO, Lublin, PL**

(74) Pełnomocnik:

**recz. pat. Maciej Nowicki**

---

**PL 235653 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób pomiaru położenia kąтового wału bezszczotkowego silnika prądu stałego z czujnikami położenia wału.

Dotychczas znany jest z opisu patentowego nr US4086519 (A) układ określania położenia wału silnika oparty o namagnesowany naprzemiennie magnes wirujący wraz z wirnikiem oraz czujniki pola, których zmiana stanu jest informacją o przesunięciu kątowym wirnika względem czujnika.

Z opisu zgłoszenia patentowego DE19949106 (A1) znany jest sposób pomiaru prędkości i położenia polegający na umieszczeniu czujników położenia wału z różnym przesunięciem kątowym, których sygnały stanowią informację o położeniu kątowym i mogą służyć do obliczenia prędkości obrotowej silnika.

Znany jest również z opisu patentowego nr PL 223772 (B1) sposób pomiaru prędkości obrotowej silnika elektrycznego, zwłaszcza silnika bezszczotkowego prądu stałego z kompensacją niedokładności rozmieszczenia czujników. Polega on na obliczeniu różnic pomiędzy czasami zmierzonymi przy stałej prędkości obrotowej silnika, pomiędzy kolejnymi stanami czujników położenia wału silnika i zapisaniu ich do pamięci urządzenia sterującego. Na ich podstawie określa się procentowy błąd rozmieszczenia czujników położenia wału silnika, zaś prędkość wału silnika określa się na podstawie czasu zmierzonego pomiędzy kolejnymi stanami czujników położenia wału silnika, z uwzględnieniem zmierzonych wartości korygujących.

W artykule pt. „*Calculation of the brushless dc motor shaftspeed with allowances for incorrect alignment of sensors*”, Metrology and Measurement Systems Volume 22, Issue 3, 1 September 2015, strony 393–402 opisane są zagadnienia dotyczące pomiarów prędkości wielobiegunowych silników BLDC. Wskazują one na rosnącą wraz z liczbą par biegunów rozdzielczość odczytu prędkości możliwą dla każdego sektora pomiarowego. Wskazano w nim na podstawowe metody pomiaru prędkości silników BLDC z wykorzystaniem ich czujników położenia. Dodatkowo określono liczbę możliwych punktów pomiaru prędkości na obrót mechaniczny wału na  $p \cdot 6$ , gdzie  $p$  – to liczba par biegunów. W badanym silniku liczba par biegunów wynosi 4, więc liczba punktów pomiaru prędkości (sektorów) wynosi  $4 \cdot 6 = 24$ .

Problemem do rozwiązania jest określenie pozycji mechanicznej kątowej wału silnika w szczególności bezszczotkowego silnika prądu stałego – BLDC o liczbie par biegunów powyżej jednego na podstawie stanu czujników Halla komutatora elektronicznego.

Dotychczasowe znane sposoby sterowania umożliwiają określenie pozycji mechanicznej wału silnika na podstawie czujników Halla jedynie dla silników o jednej parze biegunów – takich, w których stan czujników Halla jednoznacznie determinuje położenie wirnika. W przypadku maszyn o liczbie par biegunów równych  $p$ , ten sam stan czujników powtarza się kilkukrotnie na jeden pełny obrót mechaniczny wału silnika, co uniemożliwia określenie pozycji mechanicznej wirnika silnika.

Celem wynalazku jest wyznaczenie położenia kątoowego silnika po każdorazowym jego uruchomieniu.

Istotą sposobu pomiaru położenia kątoowego wału bezszczotkowego silnika prądu stałego z czujnikami położenia wału, poprzez pomiar czasu przy stałej prędkości obrotowej silnika pomiędzy kolejnymi stanami czujników położenia wału jest to, że uruchamia się bezszczotkowy silnik prądu stałego i doprowadza do stałej prędkości i mierzy się pierwsze czasy pomiędzy kolejnymi stanami czujników położenia wału dla pełnego obrotu mechanicznego wału, które zapisuje się w pamięci urządzenia sterującego w tablicy wartości i przez podzielenie ich przez wartość średnią czasu zmiany stanu czujników Halla wyznacza się pierwsze – referencyjne błędy rozmieszczenia czujników, po czym zatrzymuje się bezszczotkowy silnik prądu stałego. Następnie uruchamia się bezszczotkowy silnik prądu stałego ze stałą prędkością i ponownie dokonuje się pomiaru błędów rozmieszczenia czujników i dla wybranej kombinacji stanu czujników Halla odejmuje się od pierwszych referencyjnych błędów rozmieszczenia czujników wartości błędów zmierzonych podczas drugiego uruchomienia silnika. W przypadku gdy różnice są równe zero to otrzymuje się wynik przesunięcia wirnika silnika względem położenia referencyjnego wyrażony w sektorach. Natomiast w przypadku różnicy różnej od zero dokonuje się obrotu tablicy wartości zmierzonych podczas drugiego uruchomienia i odejmuje się od czasów z pośród pierwszych referencyjnych czasów kolejne czasy zmierzone podczas drugiego uruchomienia silnika i czynność tą powtarza się do uzyskania różnic równych zero.

Korzystnym skutkiem zastosowania wynalazku jest to, że stosując zaproponowany sposób możliwe staje się określenie pozycji wirnika silnika o liczbie par biegunów powyżej jednej bez koniecz-

ności stosowania dodatkowych czujników położenia absolutnego wirnika. Analiza rozkładu błędów rozmieszczenia czujników Halla silnika w szczególności BLDC i porównanie go z zapisanym w pamięci rozkładem, umożliwia określenie rzeczywistej pozycji kątowej wirnika w odniesieniu do tej zapisanej w pamięci urządzenia sterującego. Jest to kluczowe dla wielu aplikacji przemysłowych, które wymagają powtarzalności ustawienia wału urządzenia w określonych stanach pracy.

Przedmiot wynalazku w przykładzie realizacji jest uwidoczniony na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia rozkład błędów silnika BLDC o czterech parach biegunów fig. 2 – rozkłady błędów dla stanu czujników (H1=0, H2=0, H3=1) dla silnika BLDC o czterech parach biegunów, fig. 3 – sektory pomiaru prędkości silnika Anaheim Automation typ BLY343S-48V-4200.

Sposób pomiaru położenia kątowego wału bezszczotkowego silnika prądu stałego z czujnikami położenia wału w przykładzie wykonania został zrealizowany z wykorzystaniem silnika BLDC-firmy Anaheim Automation typ BLY343S-48V-4200 o czterech parach biegunów wyposażonego w standardowe czujniki położenia wału. Uruchomiono silnik, doprowadzono do prędkości znamionowej (3000 obr./min), po czym zmierzono czasy T1 pomiędzy zmianami stanów czujników Halla, które przedstawiono w tabeli 1. Na ich podstawie obliczono prędkość dla każdego przedziału dla zadanej prędkości obrotowej silnika i porównano z wartością znamionową prędkości określając błędy obliczania prędkości dla poszczególnych sektorów, które przedstawione są na fig. 1 rysunku. Powtórzono tę procedurę 20 razy. W zależności od początkowego położenia wału (które było przypadkowe) rozkład błędów dla znanego stanu czujników (H1=0, H2=0, H3=1) przyjmował jeden z czterech rozkładów, które przedstawiono na fig. 2 rysunku. Po analizie rozkładu błędów wywnioskowano, że wirnik jest przesunięty względem rozkładu zapisanego w pamięci urządzenia sterującego dla rozkładu 1 o 0° dla rozkładu 2 o 90°, dla rozkładu 3 o 180°, a dla rozkładu 4 o 270°. Pozwoliło to na określenie położenia mechanicznego wirnika silnika BLDC.

Tabela 1

Stan czujników Halla			Numer sektora	Zmierzona wartość czasu T1 sektora [μs]	Obliczona wartość średnia czasu T2 sektora [μs]	Obliczony błąd rozmieszczenia czujników Halla E1 [%]	Możliwe do uzyskania rozkłady błędów rozmieszczenia czujników E2			
H1	H2	H3					Rozkł. 1	Rozkł. 2	Rozkł. 3	Rozkł. 4
0	0	1	1	503	745,15	32,5	2,2	27,4	19,5	32,5
0	1	1	2	1050		-40,9	-19,9	-4,1	-9,0	-40,9
0	1	0	3	744		0,1	14,4	-16,9	7,8	0,1
1	1	0	4	518		30,5	-4,1	19,5	34,8	30,5
1	0	0	5	871		-16,9	-24,6	-9,0	-40,9	-16,9
1	0	1	6	649		12,9	8,7	-22,9	-0,9	12,9
0	0	1	7	729		2,2	27,4	19,5	32,5	2,2
0	1	1	8	893		-19,9	-4,1	-9,0	-40,9	-19,9
0	1	0	9	638		14,4	-16,9	7,8	0,1	14,4
1	1	0	10	776		-4,1	19,5	34,8	30,5	-4,1
1	0	0	11	928		-24,6	-9,0	-40,9	-16,9	-24,6
1	0	1	12	680		8,7	-22,9	-0,9	12,9	8,7
0	0	1	13	541		27,4	19,5	32,5	2,2	27,4
0	1	1	14	776		-4,1	-9,0	-40,9	-19,9	-4,1
0	1	0	15	871		-16,9	7,8	0,1	14,4	-16,9
1	1	0	16	600		19,5	34,8	30,5	-4,1	19,5
1	0	0	17	812		-9,0	-40,9	-16,9	-24,6	-9,0
1	0	1	18	916		-22,9	-0,9	12,9	8,7	-22,9
0	0	1	19	600		19,5	32,5	2,2	27,4	19,5
0	1	1	20	812		-9,0	-40,9	-19,9	-4,1	-9,0
0	1	0	21	687		7,8	0,1	14,4	-16,9	7,8
1	1	0	22	486		34,8	30,5	-4,1	19,5	34,8
1	0	0	23	1050		-40,9	-16,9	-24,6	-9,0	-40,9
1	0	1	24	752		-0,9	12,9	8,7	-22,9	-0,9

## Zastrzeżenie patentowe

1. Sposób pomiaru położenia kąowego wału bezszczotkowego silnika prądu stałego z czujnikami położenia wału, poprzez pomiar czasu przy stałej prędkości obrotowej silnika pomiędzy kolejnymi stanami czujników położenia wału, **znamienny tym**, że uruchamia się bezszczotkowy silnik prądu stałego i doprowadza do stałej prędkości i mierzy się pierwsze czasy (T1) pomiędzy kolejnymi stanami czujników położenia wału dla pełnego obrotu mechanicznego wału, które zapisuje się w pamięci urządzenia sterującego w tablicy wartości i przez podzielenie ich przez wartość średnią czasu (T2) zmiany stanu czujników Halla wyznacza się pierwsze – referencyjne błędy (E1) rozmieszczenia czujników, po czym zatrzymuje się bezszczotkowy silnik prądu stałego, następnie uruchamia się bezszczotkowy silnik prądu stałego ze stałą prędkością i ponownie dokonuje się pomiaru błędu rozmieszczenia czujników (E2) i dla wybranej kombinacji stanu czujników Halla odejmuje się od pierwszych referencyjnych błędów rozmieszczenia czujników (E1) wartości błędów zmierzonych podczas drugiego uruchomienia silnika i w przypadku gdy różnice są równe zero to otrzymuje się wynik przesunięcia wirnika silnika względem położenia referencyjnego wyrażony w sektorach, natomiast w przypadku różnicy różnej od zero dokonuje się obrotu tablicy wartości zmierzonych podczas drugiego uruchomienia i odejmuje się od czasów z pośród pierwszych referencyjnych czasów (T1) kolejne czasy zmierzone podczas drugiego uruchomienia silnika i czynność tą powtarza się do uzyskaniu różnic równych zero.

Rysunki

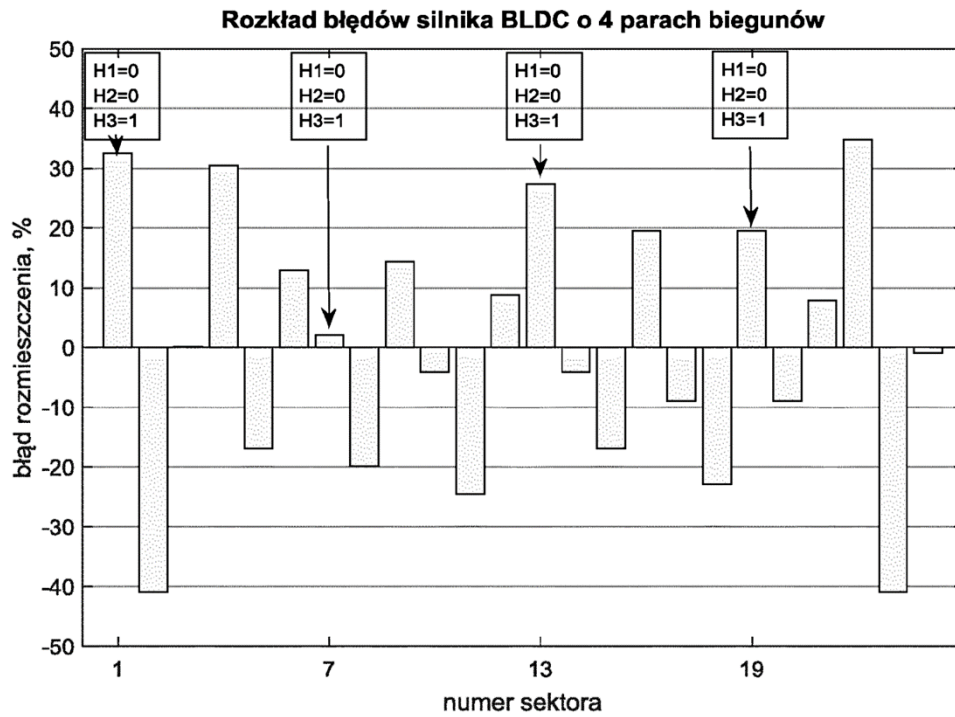


Fig. 1

Rozkłady błędów dla stanu czujników H1=0;H2=0;H3=1,  
dla silnika BLDC czterech parach biegunów

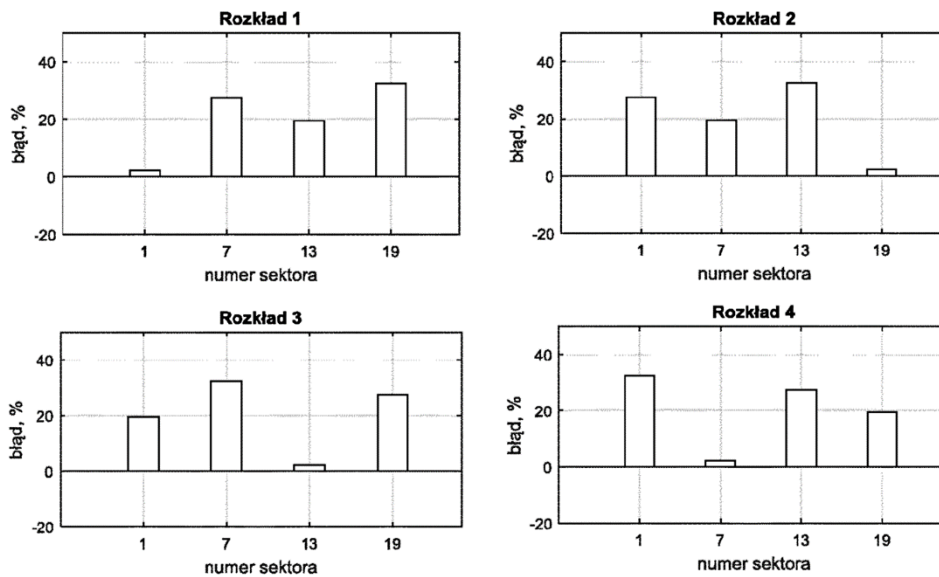


Fig. 2

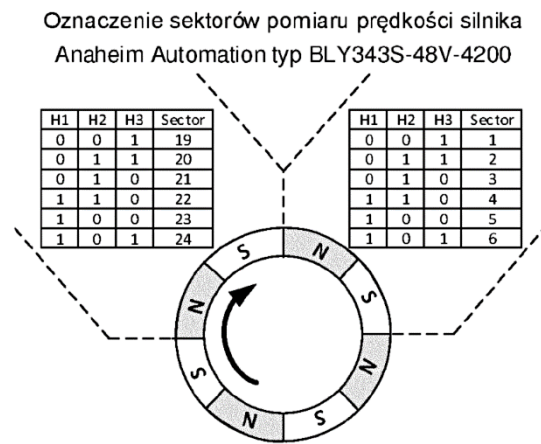


Fig. 3