



(54)

Układ sterowania bezszczotkowego silnika prądu stałego

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

22.08.2005 BUP 17/05

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

31.12.2008 WUP 12/08

(73) Uprawniony z patentu:

Politechnika Śląska, Gliwice, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

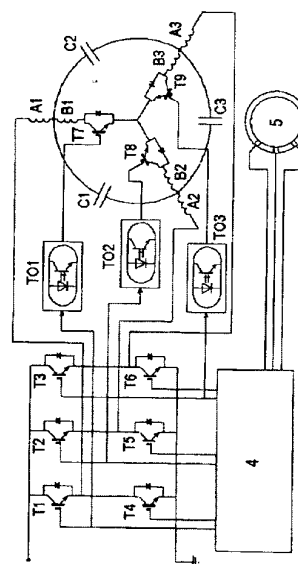
Tadeusz Glinka, Gliwice, PL

Aleksander Fręchowicz, Gliwice, PL

(74) Pełnomocnik:

Ziółkowska Urszula, Politechnika Śląska

(57) Układ sterowania bezszczotkowego silnika prądu stałego z uzwojeniem $m \geq 2$ pasmowym podzielonym co najmniej na dwie części korzystnie dwie cewki połączone w szereg i pasmach uzwojenia połączonych w gwiazdę charakteryzuje się tym, że między punktami łączącymi cewki A i B pasm uzwojenia 1, 2, 3 są włączone kondensatory (C1, C2, C3).



Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest układ sterowania bezszczotkowego silnika prądu stałego wzbudzanego magnesami trwałymi.

Znane są układy sterowania silników prądu stałego, w których nastawianie prędkości obrotowej odbywa się poprzez zmianę napięcia zasilającego uzwojenie twornika silnika przy stałym wzbudzeniu (jest to tzw. pierwszy zakres regulacji lub zakres „stałego momentu”) oraz układy sterowania prędkością obrotową silników prądu stałego, pracujące przy nastawianiu prędkości obrotowej poprzez odwzbudzenie silnika (tzw. drugi zakres regulacji czyli w zakres „stałej mocy”). Te dwa zakresy regulacji prędkości obrotowej mogą być stosowane wyłącznie w silnikach ze wzbudzeniem elektromagnetycznym. W rodzinie silników prądu stałego z komutatorem elektronicznym i sterowanych trapezowe (*ang. brushless DC motor*), można realizować regulację prędkości obrotowej tylko w pierwszym zakresie, to jest poprzez regulację napięcia twornika.

Znane jest także z opisu patentowego polskiego nr 195 447 rozwiązanie układu sterowania prędkości obrotowej silnika bezszczotkowego z uzwojeniem podzielonym na dwie części, przy czym każda z tych części ma niezależny komutator elektroniczny, a dodatkowo punkt gwiazdowy pasm uzwojenia jest utworzony poprzez łącznik energoelektroniczny.

Znane są również układy sterowania prędkością obrotową silników prądu stałego z komutacją elektroniczną, sterowanych sinusoidalnie (w literaturze noszą również nazwę silników synchronicznych z magnesami trwałymi - *ang. synchronous PM machine*). Regulację prędkości w zakresie „stałego momentu” realizuje się poprzez zmianę napięcia. Regulację w zakresie „stałej mocy” uzyskuje się jedną z dwóch metod. Pierwsza metoda polega na takim sterowaniu zaworami, aby otrzymać wyprzedzenie fazowe prądów stojana. W szczelinie magnetycznej silnika pojawia się składowa oddziaływania twornika odmagnesowująca, która osłabia pole magnesów trwałych. Skutkiem tego wirnik maszyny zwiększa prędkość, przy stałej mocy napędu. Metoda ta ma ograniczony zakres regulacji prędkości obrotowej. Dodatkową wadą osłabiania pola za pomocą oddziaływania twornika, jest możliwość trwałego rozmagnesowania magnesów trwałych. Druga metoda bazuje na zastosowaniu przełączalnego uzwojenia stojana. Najczęściej stosowana jest klasyczna zmiana układu połączeń pasm uzwojenia z gwiazdy (Y) na trójkąt (Δ). Jeśli uzwojenia pasm są podzielone na kilka części możliwe jest także przełączanie cewek z układu szeregowego na równoległy. Każde przełączenie cewek uzwojenia na następny układ powoduje zwiększenie prędkości, przy równoczesnym zmniejszeniu maksymalnego momentu silnika. Układy z przełączanymi uzwojeniami twornika wymagają stosowania dużej liczby elementów przełączających, a przełączenie z układu na układ nie może być wykonywane w sposób płynny, ale musi być przeprowadzane w sekwencji: odłączenie prądu, zmiana układu, ponowne załączenie prądu. Przerwa w prądzie silnika, oznacza przerwę w momencie obrotowym silnika. Jest to przyczyną szarpnięć napędu, wygenerowanych przez moment dynamiczny i może spowodować uszkodzenia mechaniczne.

Układ bezszczotkowego silnika prądu stałego z uzwojeniem $m \geq 2$ pasmowym podzielonym co najmniej na dwie części połączone w szereg i pasmach uzwojenia połączonych w gwiazdę według wynalazku, charakteryzuje się tym, że między punktami łączącymi części pasm uzwojenia są włączalne kondensatory. Ponadto w układzie według wynalazku punkt wspólny pasm uzwojenia utworzony jest poprzez klucze energoelektroniczne, składające się z elementu sterowanego korzystnie tranzystora i diody połączonych równoległe, przeciwsobnie.

Przedmiot wynalazku pokazano w przykładzie wykonania na rysunku, który przedstawia schemat ideowy układu sterowania prędkością obrotową bezszczotkowego silnika prądu stałego. Trójfazowe $m = 3$ uzwojenie stojana 1, 2, 3 silnika wykonane jest jako dzielone A, B. Pasma pierwsze składa się z połączonych szeregowo cewek A1 i B1, pasmo drugie z cewek A2 i B2, a pasmo trzecie z cewek A3 i B3. Między punkty wspólne cewek A i B pasm uzwojenia 1, 2, 3 są włączone kondensatory C1, C2, C3. Kondensatory C1, C2, C3 mogą być połączone w układ trójkąta lub układ gwiazdy. Na rysunku przedstawiono połączenie kondensatorów C1, C2, C3 w trójkąt. Uzwojenie zasilane jest napięciem stałym V poprzez trójfazowy falownik, składający się z kluczy T1 do T6. Uzwojenia trzech pasm 1, 2, 3 połączone są w gwiazdę za pomocą kluczy T7, T8, T9. Klucze składają się z tranzystorów i diod włączonych przeciwsobnie. Układ sterowania 4 kluczy falownika T1 do T6 i kluczy gwiazdy T7, T8, T9 jest wspólny. Separację galwaniczną bramek sterujących kluczy T7, T8, T9, od bramek sterujących kluczy T1 do T6 zapewniają transoptory TO1, TO2, TO3. Tranzystory sterowane są sygnałami z elektronicznego sterownika 4 w takt zmian sygnałów z enkodera 5, określającego położenie

wirnika względem stojana w taki sam sposób, jak odbywa się to w klasycznym sterowniku silnika bezszczotkowego prądu stałego.

Działanie układu jest następujące. Podczas rozruchu i przy małej prędkości wirowania, czas przeładowywania kondensatorów C1, C2, C3 jest na tyle krótki, że nie wpływa na sposób pracy układu. Zakładając, że pasma uzwojeń składają się z dwóch cewek A i B o jednakowej liczbie zwojów i że w pewnej chwili czasu przewodzą klucze falownika T1 i T6, to w układzie bez kondensatorów, przez cewki A1, B1, B2 i A2 popłynąłby jednakowy prąd. Ponieważ jednak środki cewek są zbocznikowane przez kondensatory, po załączeniu kluczy T1 i T6, popłynie większy prąd przez górne części cewek A1 i A2 i mniejszy przez dolne części B1 i B2. Po chwili kondensator naładuje się, i prądy w obu połówkach cewek A1 i A2 oraz B1 i B2 wyrównają się. Przez cały ten czas wypadkowy moment działający na wirnik pozostaje taki sam i silnik pracuje tak samo jak klasyczny silnik bezszczotkowy. Jedyną możliwością wpływania na zmianę prędkości obrotowej jest bądź odpowiednie sterowanie szerokościami impulsów sterujących bramkami tranzystorów T1 do T6 mostka falownika, bądź zmiana napięcia stałego U zasilającego falownik. W tym etapie silnik pracuje w zakresie „stałego momentu”. Po osiągnięciu pewnej bazowej prędkości (zależnej od napięcia zasilającego, momentu obciążenia i pojemności kondensatorów) okresy, w których kondensatory C1, C2, C3 zwierają środki pasm stają się porównywalne z okresem komutacji prądu w pasmach 1, 2, 3 uzwojenia silnika i w czasie, w którym górna połowa uzwojenia twornika (np. cewki A1 i A2) jest jeszcze zwarta przez przeładowywany kondensator, prąd płynący przez dolną połowę uzwojeń (cewki B1 i B2) zdąży zgasnąć. Indukowana w dolnych cewkach siła elektromotoryczna nie zdoła jednak wzniecić prądu hamującego, bowiem wyłączone są tranzystory kluczy T8 i T9 a diody w tych kluczach są włączone w kierunku zaporowym. Od tego czasu dalszy wzrost prądu w górnych częściach uzwojeń nie jest kompensowany zmniejszaniem się prądu w dolnych częściach uzwojeń i silnik zaczyna przyspieszać, aby ostatecznie osiągnąć prędkość równą dwukrotnej prędkości bazowej. Należy zwrócić uwagę, że tak sterownik 4 jak i układ enkodera 5 są identyczne jak w klasycznym układzie sterowania silnika bezszczotkowego, a cały proces wzrostu prędkości obrotowej od zera, poprzez zakres „stałego momentu” i zakres „stałej mocy” zachodzi samoczynnie, podobnie jak w silniku prądu stałego o wzbudzeniu elektromagnetycznym, szeregowym.

Układ sterowania bezszczotkowego silnika prądu stałego jest prosty w realizacji, a jego działanie jest samoczynne. Klucze T7, T8, T9 są sterowane tymi samymi impulsami, co górne klucze T1, T2, T3 falownika. Ich zadaniem jest zapobieżenie sytuacji, w której prąd płynący przez dolne części cewek mógłby zmienić znak i hamować ruch wirnika. Natomiast zadaniem kondensatorów C1, C2, C3 jest zwiększenie prądu płynącego przez górne części cewek dzięki czemu powstaje nadwyżka momentu, pozwalająca na przyspieszenie silnika do prędkości wyższej niż prędkość bazowa. Zasada działania układu jest prosta. Przy małej prędkości silnika okresy, w których środki pasm są zwarte przez kondensatory C1, C2, C3 (czyli czas przeładowania kondensatora), są krótkie w porównaniu z okresem komutacji (okresem, w którym prąd płynie przez te same tranzystory falownika), tak że przez większość czasu prąd płynie przez obie połówki pasma i silnik jest w stanie rozwijać moment o wartości maksymalnej. Natomiast kiedy silnik wiruje z dużą szybkością, okresy czasu, w których kondensatory zwierają środki pasm 1, 2, 3 uzwojenia są porównywalne z okresem komutacji i prąd płynie głównie przez połowę A uzwojenia 1, 2, 3, co zapewnia większą prędkość przy zmniejszonym momencie obrotowym silnika. Układ nie wymaga żadnych dodatkowych podzespołów sterujących, a przejście z pracy całego uzwojenia do pracy połowy uzwojenia zachodzi samoczynnie.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ sterowania bezszczotkowego silnika prądu stałego, z uzwojeniem $m \geq 2$ pasmowym podzielonym co najmniej na dwie części korzystnie dwie cewki połączone w szereg i pasmach uzwojenia połączonych w gwiazdę, **znamienny tym**, że między punktami łączącymi cewki (A) i (B) pasm uzwojenia (1, 2, 3) są włączone kondensatory (C1, C2, C3).

2. Układ sterowania bezszczotkowego silnika prądu stałego według zastrz. 1, **znamienny tym**, że punkt wspólny pasm (1, 2, 3) uzwojenia, utworzony jest poprzez klucze energoelektroniczne (T7, T8, T9) składające się z elementu sterowanego korzystnie tranzystora i diody, połączonych przeciwsośnie.

Rysunek

