



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

21 Numer zgłoszenia: 306497

51 IntCl⁶:
H02P 1/04
H02P 7/05

22 Data zgłoszenia: 22.12.1994

54

Sposób i układ do wyznaczania czasu wyprzedzenia załączania impulsów sterujących zaworami falownika prądu zasilającego silnik reluktancyjny

43

Zgłoszenie ogłoszono:
24.06.1996 BUP 13/96

45

O udzieleniu patentu ogłoszono:
31.12.1998 WUP 12/98

73

Uprawniony z patentu:
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica, Kraków, PL

72

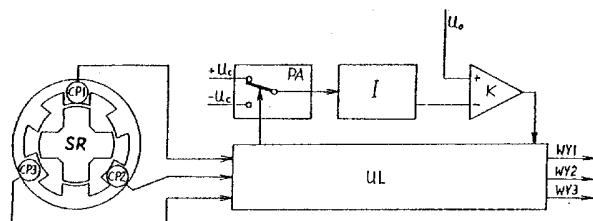
Twórcy wynalazku:
Jacek Zarudzki, Kraków, PL
Józef Skotniczny, Kraków, PL
Janusz Grzegorski, Kraków, PL

74

Pełnomocnik:
Postołek Elżbieta, Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica

57

1. Sposób wyznaczania czasu wyprzedzenia załączania impulsów sterujących zaworami falownika prądu zasilającego silnik reluktancyjny, umożliwiający uzyskanie maksymalnego momentu silnika, a polegający na określeniu położenia biegunów wirnika względem biegunów stojana silnika, którego stojan i wirnik posiadają odpowiednio trzy i dwie pary biegunów, za pomocą trzech impulsowych czujników położenia, rozmieszczonych równomiernie na obwodzie stojana oraz wypracowaniu za pomocą układu logicznego sygnałów sterujących zaworami falownika prądu przemiennika częstotliwości zasilającego silnik, **znamienny tym**, że na podstawie sygnałów logicznych uzyskiwanych za pomocą trzech impulsowych czujników położenia (CP1-CP3), a wyznaczających poprzez zmianę poziomu sygnału moment rozpoczęcia nachodzenia na siebie biegunów wirnika i stojana silnika (SR), wypracowuje się za pomocą układu logicznego (UL) sygnał logiczny o współczynniku wypełnienia 0,5 i okresie równym 1/12 okresu obrotu wirnika, a następnie za pomocą tego sygnału kluczuje się sygnały z pomocniczych źródeł napięcia analogowego o różnych znakach (+U_C, -U_C), zaś uzyskany sygnał logiczny poddaje się całkowaniu w integratorze (I) tak, że w pierwszej fazie całkowania wymusza się liniowy wzrost jego sygnału wyjściowego od wartości równej zero, a w drugiej fazie całkowania wymusza się liniowe zmniejszanie jego sygnału wyjściowego z taką samą stałą czasową do wartości równej zero, przy czym w czasie trwania drugiej fazy całkowania sygnał wyjściowy z integratora (I) porównuje się równocześnie w komparatorze (K) z wartością napięcia odniesienia (U₀), którego wartość jest proporcjonalna do żadanego czasu wyprzedzenia, po czym sygnał uzyskany na wyjściu komparatora (K) kojarzy się w układzie logicznym (UL) z sygnałami z odpowiednich czujników położenia (CP1-CP3), a otrzymanymi sygnałami steruje się odpowiednio zawory falownika prądu przemiennika częstotliwości zasilającego silnik reluktancyjny (SR).



Sposób i układ do wyznaczania czasu wyprzedzenia załączania impulsów sterujących zaworami falownika prądu zasilającego silnik reluktancyjny

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wyznaczania czasu wyprzedzenia załączania impulsów sterujących zaworami falownika prądu zasilającego silnik reluktancyjny, umożliwiający uzyskanie maksymalnego momentu silnika, a polegający na określeniu położenia biegunów wirnika względem biegunów stojana silnika, którego stojan i wirnik posiadają odpowiednio trzy i dwie pary biegunów, za pomocą trzech impulsowych czujników położenia, rozmieszczonych równomiernie na obwodzie stojana oraz wypracowaniu za pomocą układu logicznego sygnałów sterujących zaworami falownika prądu przemiennika częstotliwości zasilającego silnik, **znamienny tym**, że na podstawie sygnałów logicznych uzyskiwanych za pomocą trzech impulsowych czujników położenia (**CP1-CP3**), a wyznaczających poprzez zmianę poziomu sygnału moment rozpoczęcia nachodzenia na siebie biegunów wirnika i stojana silnika (**SR**), wypracowuje się za pomocą układu logicznego (**UL**) sygnał logiczny o współczynniku wypełnienia 0,5 i okresie równym 1/12 okresu obrotu wirnika, a następnie za pomocą tego sygnału kluczuje się sygnały z pomocniczych źródeł napięcia analogowego o różnych znakach ($+U_C$, $-U_C$), zaś uzyskany sygnał logiczny poddaje się całkowaniu w integratorze (**I**) tak, że w pierwszej fazie całkowania wymusza się liniowy wzrost jego sygnału wyjściowego od wartości równej zero, a w drugiej fazie całkowania wymusza się liniowe zmniejszanie jego sygnału wyjściowego z taką samą stałą czasową do wartości równej zero, przy czym w czasie trwania drugiej fazy całkowania sygnał wyjściowy z integratora (**I**) porównuje się równocześnie w komparatorze (**K**) z wartością napięcia odniesienia (U_0), którego wartość jest proporcjonalna do żadanego czasu wyprzedzenia, po czym sygnał uzyskany na wyjściu komparatora (**K**) kojarzy się w układzie logicznym (**UL**) z sygnałami z odpowiednich czujników położenia (**CP1-CP3**), a otrzymanymi sygnałami steruje się odpowiednie zawory falownika prądu przemiennika częstotliwości zasilającego silnik reluktancyjny (**SR**).

2. Układ do wyznaczania czasu wyprzedzenia załączania impulsów sterujących zaworami falownika prądu zasilającego silnik reluktancyjny, umożliwiający uzyskanie maksymalnego momentu silnika, a zawierający trzy impulsowe czujniki położenia biegunów wirnika względem biegunów stojana, rozmieszczone równomiernie na obwodzie stojana i połączone z oddzielnymi wejściami układu logicznego, którego wyjścia połączone są z układami wyzwalającymi zawory falownika prądu przemiennika częstotliwości zasilającego silnik, **znamienny tym**, że wyjście kluczujące układu logicznego (**UL**) jest połączone z wejściem sterującym przełącznika analogowego (**PA**), do którego oddzielnych wejść sygnałowych przyłączone są odpowiednio źródła napięcia pomocniczego o różnych znakach ($+U_C$) i ($-U_C$), a wyjście przełącznika analogowego (**PA**) poprzez integrator (**I**) połączone jest z odwracającym wejściem komparatora (**K**), którego wejście nieodwracające jest połączone ze źródłem napięcia odniesienia (U_0), zaś wyjście komparatora (**K**) jest połączone z kolejnym wejściem układu logicznego (**UL**).

* * *

Przedmiotem wynalazku jest sposób i układ do wyznaczania czasu wyprzedzenia załączania impulsów sterujących zaworami falownika prądu zasilającego silnik reluktancyjny, znajdujący zastosowanie w układach sterowania napędów z silnikiem reluktancyjnym zasilanym z przemiennika częstotliwości z falownikiem prądu, zwłaszcza w trakcji elektrycznej.

Znany z praktycznego stosowania sposób wyznaczania czasu wyprzedzenia załącznika impulsów sterujących zaworami falownika prądu zasilającego silnik reluktancyjny, w stosunku do momentu największej chwilowej zmiany reluktancji w obwodzie magnetycznym silnika, wy-

stępującej w momencie rozpoczęcia nachodzenia bieguna wirnika na biegun stojana, polega na dokonywaniu mechanicznie przez obsługę zmiany położenia względem stojana silnika układu trzech impulsowych czujników położenia, rozmieszczonych równomiernie na obwodzie stojana, w zależności od prędkości silnika. Ze wzrostem prędkości obrotowej wirnika zmiana położenia czujników i odpowiedni kąt w zależności od wartości prędkości w kierunku przeciwnym do wirowania wirnika powoduje uzyskanie sterowania zaworów falownika prądu ze stałym czasem wyprzedzenia względem największej chwilowej zmiany reluktancji w obwodzie magnetycznym silnika, czyli względem momentu rozpoczęcia nachodzenia bieguna wirnika na biegun stojana silnika. Następnie na podstawie sygnałów z impulsowych czujników położenia wyznaczających położenie biegunów wirnika względem biegunów stojana silnika oraz aktualnej prędkości silnika wypracowuje się w układzie logicznym sygnały sterujące pracą zaworów falownika prądu przemiennika częstotliwości zasilającego silnik.

Znany układ do wyznaczania czasu wyprzedzenia załączania impulsów sterujących zaworami falownika prądu zasilającego silnik reluktancyjny, zawiera sprzężony mechanicznie ze stojanem, układ trzech impulsowych czujników położenia, rozmieszczonych równomiernie na jego obwodzie. Wyjścia czujników połączone są z układem logicznym, którego wyjścia połączone są poprzez układy wyzwalające z zaworami falowania prądu przemiennika częstotliwości, zasilającego silnik reluktancyjny.

Sposób według wynalazku, umożliwiający uzyskanie maksymalnego momentu silnika, a polegający na określeniu położenia biegunów wirnika względem biegunów stojana silnika, którego stojan i wirnik posiadają odpowiednio trzy i dwie pary biegunów, za pomocą trzech impulsowych czujników położenia, rozmieszczonych równomiernie na obwodzie stojana oraz wypracowaniu za pomocą układu logicznego sygnałów sterujących zaworami falownika prądu przemiennika częstotliwości zasilającego silnik, charakteryzuje się tym, że na podstawie sygnałów logicznych uzyskiwanych za pomocą trzech impulsowych czujników położenia, a wyznaczających poprzez zmianę poziomu sygnału moment rozpoczęcia nachodzenia na siebie biegunów wirnika i stojana silnika, wypracowuje się za pomocą układu logicznego sygnał logiczny o współczynniku wypełnienia 0,5 i okresie równym $1/12$ okresu obrotu wirnika, a następnie za pomocą tego sygnału kluczuje się sygnały z pomocniczych źródeł napięcia analogowego o różnych znakach. Następnie uzyskany sygnał logiczny poddaje się całkowaniu w integratorze tak, że w pierwszej fazie całkowania wymusza się liniowy wzrost jego sygnału wyjściowego od wartości równej zero, a w drugiej fazie całkowania wymusza się liniowe zmniejszenie jego sygnału wyjściowego z taką samą stałą czasową do wartości równej zero, przy czym w czasie trwania drugiej fazy całkowania sygnał wyjściowy z integratora porównuje się równocześnie w komparatorze z wartością napięcia odniesienia, którego wartość jest proporcjonalna do żądanego czasu wyprzedzenia. Uzyskany sygnał na wyjściu komparatora kojarzy się w układzie logicznym z sygnałami z odpowiednich czujników położenia, a otrzymanymi sygnałami steruje się odpowiednimi zaworami falownika prądu przemiennika częstotliwości zasilającego silnik reluktancyjny.

Układ, według wynalazku, umożliwiający uzyskanie maksymalnego momentu silnika, a zawierający trzy impulsowe czujniki położenia biegunów wirnika względem biegunów stojana, rozmieszczone równomiernie na obwodzie stojana i połączone z oddzielnymi wejściami układu logicznego, którego wyjścia połączone są z układami wyzwalającymi zawory falownika prądu przemiennika częstotliwości zasilającego silnik, charakteryzuje się tym, że wyjście kluczujące układu logicznego jest połączone z wejściem sterującym przełącznika analogowego AP, do którego oddzielnych wejść sygnałowych przyłączone są odpowiednio źródła napięcia pomocniczego o różnych znakach, a wyjście przełącznika analogowego poprzez integrator połączone jest z odwracającym wejściem komparatora, którego wejście nieodwracające jest połączone ze źródłem napięcia odniesienia. Wyjście komparatora jest połączone z kolejnym wejściem układu logicznego.

Zaletą sposobu i układu według wynalazku jest możliwość sterowania zmianą czasu wyprzedzenia załączania impulsów sterujących zaworami falownika prądu przemiennika częstotliwości zasilającego silnik reluktancyjny za pomocą sygnału pomocniczego napięcia stałego przy

jednocześnie bardzo prostym, bo zawierającym tylko trzy czujniki położenia, pomiarze położenia rotora względem statora. Dokładność wyznaczania wspomnianego czasu jest limitowana jedynie tolerancją i rozzerowaniami użytych elementów. Kolejną zaletą sposobu i układu jest zastosowanie do odmierzenia czasu wyprzedzenia tylko jednego integratora, co eliminuje błędy w wyznaczeniu tego czasu dla poszczególnych faz zasilanego statora.

Przedmiot wynalazku jest uwidoczniony w przykładowym wykonaniu na rysunku, który przedstawia schemat blokowy układu.

Sposób, według wynalazku, polega na tym, że na podstawie sygnałów logicznych uzyskiwanych za pomocą trzech impulsowych czujników położenia **CP1-CP3**, rozmieszczonych równomiernie na obwodzie stojana, a wyznaczających poprzez zmianę poziomu sygnału moment rozpoczęcia nachodzenia na siebie biegunów wirnika i stojana silnika **SR**, wypracowuje się za pomocą układu logicznego **UL** sygnał logiczny o współczynniku wypełnienia 0,5 i okresie równym $1/12$ okresu obrotu wirnika. Następnie za pomocą tego sygnału kluczuje się sygnały z pomocniczych źródeł napięcia analogowego o równych wartościach i różnych znakach ($+U_C$, $-U_C$). Uzyskany sygnał logiczny poddaje się całkowaniu w integratorze **I** tak, że w pierwszej fazie całkowania wymusza się liniowy wzrost jego sygnału wyjściowego od wartości równej zero, a w drugiej fazie całkowania wymusza się liniowe zmniejszanie jego sygnału wyjściowego z taką samą stałą czasową do wartości równej zero, przy czym w czasie trwania drugiej fazy całkowania sygnał wyjściowy z integratora **I** porównuje się równocześnie w komparatorze **K** z wartością napięcia odniesienia U_O , którego wartość jest proporcjonalna dożądanego czasu wyprzedzenia. Sygnał uzyskany na wyjściu komparatora **K** kojarzy się w układzie logicznym **UL** z sygnałami z odpowiednich czujników położenia **CP1-CP3**, a otrzymanymi sygnałami steruje się odpowiednio zawory falownika prądu przemiennika częstotliwości zasilającego silnik reluktancyjny **SR**.

Układ, według wynalazku, umożliwiający uzyskanie maksymalnego momentu silnika reluktancyjnego, którego stojan i wirnik posiadają odpowiednio trzy i dwie pary biegunów, a zasilanego z falownika prądu przemiennika częstotliwości, zawiera trzy impulsowe czujniki położenia **CP1-CP3** biegunów wirnika względem biegunów stojana, rozmieszczone równomiernie na obwodzie stojana. Czujniki **CP1-CP3** połączone są z oddzielnymi wejściami układu logicznego **UL**. Wyjście kluczujące układu logicznego **UL** jest połączone z wejściem sterującym przełącznika analogowego **PA**, do którego oddzielnych wejść sygnałowych przyłączone są odpowiednio źródła napięcia pomocniczego o równych wartościach napięcia i różnych znakach $+U_C$ i $-U_C$. Wyjście przełącznika analogowego **PA** poprzez integrator **I** połączone jest z odwracającym wejściem komparatora **K**, którego wejście nieodwracające jest połączone ze źródłem napięcia odniesienia U_O . Wyjście komparatora **K** jest połączone z kolejnym wejściem układu logicznego **UL**, którego trzy wyjścia **WY1-WY3** są połączone ze znanymi, nie uwidocznionymi na rysunku, układami wyzwajającymi zaworów falownika prądu przemiennika częstotliwości zasilającego silnik reluktancyjny **SR**.

Działanie układu jest następujące. Stojan silnika reluktancyjnego **SR** posiada trzy pary biegunów. Umieszczone są na nim trzy czujniki położenia **CP1-CP3**, które znajdują się na jego obwodzie co $2/3\pi$. Wirnik silnika **SR** posiada dwie pary biegunów. Sygnał z każdego czujnika położenia **CP1-CP3** wirnika przyjmuje wartość jedynki logicznej cztery razy na jeden obrót wirnika i za każdym razem jest utrzymywany na tym poziomie przez $\pi/4$ obrotu. Przy odpowiednio ustawionych czujnikach **CP1-CP3** dla danego kierunku wirowania pojawienie się sygnału jedynki logicznej występuje z chwilą, gdy biegun wirnika nachodzi na biegun stojana. Impuls z następnego czujnika **CP1-CP3** umieszczonego zgodnie z kierunkiem wirowania wirnika pojawia się w stosunku do sygnału z poprzedniego czujnika **CP1-CP3** po obrocie wirnika o kąt $\pi/6$. Na podstawie impulsów z czujników położenia **CP1-CP3**, w układzie logicznym **UL** otrzymuje się sygnał logiczny, w którym jedynka logiczna trwa przez $\pi/12$ obrotu wirnika, po czym przez następne $\pi/12$ obrotu sygnał ten przyjmuje wartość zera logicznego.

Otrzymanym w ten sposób ciągiem impulsów zero-jedynkowych, w którym jedynka logiczna trwa taką samą część obrotu wirnika co zero logiczne, sterowany jest integrator **I**. Odbywa się to w ten sposób, że wyjściowy sygnał jedynki logicznej powoduje wzrost jego napięciowego

sygnału wyjściowego od zera, a wejściowy sygnał zera logicznego powoduje zmniejszanie tego sygnału do zera, przy czym wartości szybkości narastania i zmniejszania się napięciowego sygnału wyjściowego integratora **I** różnią się względem siebie tylko znakiem. Tak więc minimalna wartość analogowego sygnału wyjściowego, integratora **I** jest zawsze równa zero, a maksymalna jest zależna od czasu całkowania, czyli czasu trwania jedynki logicznej logicznego sygnału sterującego pracą przełącznika **PA**. Ponieważ czas narostu od zera do chwilowej wartości maksymalnej napięciowego sygnału wyjściowego integratora **I** jest równy czasowi jego zmniejszania się do zera, to wobec tego napięciowy sygnał wyjściowy mierzony na wyjściu integratora **I** podczas tego zmniejszania się jest wprost proporcjonalny od czasu jaki pozostaje do osiągnięcia przez ten sygnał wartości zerowej. W tej sytuacji porównanie w komparatorze **K** napięciowego sygnału wyjściowego integratora **I** wtedy, gdy jego wartość ulega - zmniejszaniu się, z dodatnim napięciem odniesienia U_0 pozwala określić czas wyprzedzenia w stosunku do następnego impulsu jedynki logicznej z czujnika położenia **CP1-CP3**, który to czas jest proporcjonalny do wartości napięcia odniesienia U_0 . Ponieważ stała całkowania integratora **I** nie zależy od prędkości obrotowej wirnika, tak więc czas wyprzedzenia, wyznaczony w ten sposób, jest niezależny od prędkości wirnika. Z uwagi na techniczne rozwiązanie czas wyprzedzenia w ten sposób wyznaczony nie może być dłuższy od czasu w jakim napięciowy sygnał wyjściowy integratora **I** rośnie od zera do wartości napięcia nasycenia wzmacniacza operacyjnego tego integratora **I**, co ma znaczenie w zakresie niskich prędkości obrotowych silnika reluktancyjnego **SR**. Natomiast w zakresie dużych prędkości obrotowych maksymalny czas wyprzedzenia, jaki można osiągnąć przy danej prędkości obrotowej ω nie może być większy niż $\pi/12 \cdot 1/\omega$ [s].

