

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **239127**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **432761**

(22) Data zgłoszenia: **30.01.2020**

(51) Int.Cl.

H02K 21/46 (2006.01)

H02K 21/14 (2006.01)

H02K 1/27 (2006.01)

(54) **Silnik synchroniczny wzbudzany magnesami trwałymi z rozruchem asynchronicznym**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

16.11.2020 BUP 24/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

08.11.2021 WUP 32/21

(73) Uprawniony z patentu:

**SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ-INSTYTUT
NAPĘDÓW I MASZYN ELEKTRYCZNYCH
KOMEL, Katowice, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**TADEUSZ GLINKA, Gliwice, PL
STANISŁAW GAWRON, Tychy, PL
JAKUB BERNATT, Tychy, PL**

PL 239127 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest silnik synchroniczny z magnesami trwałymi z rozruchem asynchronicznym, który pracuje przy zasilaniu napięciem z sieci elektroenergetycznej o stałej wartości i stałej częstotliwości.

Znane są silniki asynchroniczne synchronizowane, tzw. SASy, są to silniki indukcyjne pierścieniowe. Rozruch silników odbywa się przy pomocy rezystorów rozruchowych włączanych w obwód uzwojenia wirnika poprzez pierścienie ślizgowe i szczotki. Prąd rozruchowy zwykle nie przekracza dwukrotnej wartości prądu znamionowego, przy czym moment rozruchowy jest znacząco większy od momentu znamionowego. Po rozruchu uzwojenie wirnika jest zasilane prądem stałym i silnik się samoczynnie synchronizuje, a po synchronizacji pracuje jako silnik synchroniczny. Zaletą tych silników, w stosunku do silników indukcyjnych pierścieniowych realizujących to samo zadanie, jest wyższa sprawność i $\cos \varphi$ pojemnościowy. Silniki te są stosowane w napędach dużej mocy i są zasilane bezpośrednio z sieci elektroenergetycznej napięcie 6 kV lub 10 kV. Niedogodnością tego rozwiązania jest układ wzbudzenia, straty mocy w obwodzie wzbudzenia obniżają sprawność układu napędowego, ponadto pierścienie wymagają okresowego przeglądu i czyszczenia, a szczotki ścierają się i należy je wymieniać.

Znane jest rozwiązanie silnika synchronicznego z magnesami trwałymi z rozruchem asynchronicznym (Patent RP nr 218489, opubl. 31.12.2014 r.) według którego wirnik silnika ma zarówno magnesy trwałe jak i uzwojenie klatkowe. Magnesy trwałe są umieszczone w szczelinach w środku jarzma wirnika, a uzwojenie klatkowe składa się z prętów miedzianych nieizolowanych umieszczonych w żłobkach na obwodzie zewnętrznym wirnika zwartych pierścieniami na czołach. Uzwojenie klatkowe służy do rozruchu asynchronicznego silnika. Gdy wirnik w czasie rozruchu osiągnie prędkość obrotową podsynchroniczną, to strumień magnetyczny magnesów trwałych samoczynnie synchronizuje go i silnik pracuje jako synchroniczny, jednak w czasie rozruchu moment elektromagnetyczny asynchroniczny, generowany przez uzwojenie klatkowe, przy prędkościach od zera do około połowy prędkości znamionowej ($0 \leq n \approx 0,5n_N$), jest znacząco mniejszy od momentu znamionowego silnika, przy czym prąd rozruchowy jest od 5 do 7 razy większy od prądu znamionowego. W czasie pierwszego półokresu po załączeniu napięcia występuje prąd udarowy i moment udarowy, które przy niekorzystnej chwili załączenia napięcia, są znacznie większe. Ponadto w klatce wirnika wydzielą się ciepło równe w przybliżeniu energii kinetycznej wszystkich mas wirujących sprzęgniętych z wałem silnika. Ciepło to powoduje wzrost temperatury klatki wirnika i zagraża rozmagnesowaniu termicznemu magnesów trwałych. Rozmagnesowanie następuje już w temperaturze ($120^\circ\text{--}150^\circ\text{C}$) i oczywiście wyższej.

Podobne rozwiązanie wirnika przedstawiono w opisie: US 2017/0264179 A1 silnika pompy głębinowej. Wirnik silnika ma magnesy trwałe i uzwojenie klatkowe. W uzwojeniu klatkowym liczba żłobków może być dowolna, pręty uzwojenia umieszczone w żłobkach nie są izolowane i są zwarte na czołach pierścieniami. Pompa głębinowa wraz z silnikiem jest wpuszczana do rury o stosunkowo małej średnicy. Moment bezwładności wirnika jest mały, rozruch silnika trwa co najwyżej kilka sekund.

Silniki z uzwojeniem klatkowym mogą być stosowane do napędu urządzeń mechanicznych i maszyn roboczych o krótkich czasach rozruchu, np. do napędu pomp, w których moment bezwładności jest mały, a moment obciążenia jest kwadratową funkcją prędkości obrotowej. Jednak wiele maszyn roboczych ma duży moment rozruchowy, niejednokrotnie większy od momentu znamionowego, przykładem są: taśmociągi z załadowaną taśmą, zasypane młyny węglowe w elektrowniach i elektrociepłowniach i w zakładach wzbogacania rud miedzi. Urządzenia mechaniczne i maszyny robocze o dużym momencie bezwładności charakteryzują się długimi czasami rozruchu, są to np. duże wentylatory przewietrzania kopalń, wentylatory wydmuchu spalin w elektrowniach i elektrociepłowniach i inne. Do napędu wymienionych urządzeń mechanicznych i maszyn roboczych nie można zastosować silnika z wirnikiem z magnesami trwałymi i uzwojeniem klatkowym. Problem rozruchu rozwiązuje uzwojenie rozruchowe pierścieniowe znane z opisu PL 226639 (ogłoszono 31.08.2017 r.). W rozwiązaniu tym magnesy trwałe są umieszczone w szczelinach w jarzmie wirnika, a uzwojenie jest umieszczone w żłobkach na obwodzie wirnika. Uzwojenie jest trójfazowe wykonane z drutu miedzianego izolowanego i jest połączone w gwiazdę bądź w trójkąt, a końce faz są dołączone do trzech pierścieni ślizgowych umieszczonych na wale wirnika.

Przy pracy synchronicznej, silniki wykonane według wymienionych patentów, są dużej mocy i pracują przy zasilaniu napięciem bezpośrednio z sieci elektroenergetycznej np. 6 kV lub 10 kV i mają, w stosunku do silników indukcyjnych realizujących to samo zadanie, większą sprawność energetyczną

i współczynnik mocy $\cos\varphi \approx 1$, lecz ich przeciążalność momentem przy pracy synchronicznej jest mała i mają tendencję wypadania z synchronizmu. Celem wynalazku jest zwiększyć przeciążalność momentem silników przy pracy synchronicznej i zachowaniu uzwojenia rozruchowego pierścieniowego.

Według wynalazku silnik synchroniczny wzbudzany magnesami trwałymi z rozruchem asynchronicznym ma magnesy trwałe umieszczone w gniazdach na obwodzie zewnętrznym jarzma wirnika. Między magnesami różnej biegunowości są zęby jarzma wirnika. Uzwojenie rozruchowe m fazowe pierścieniowe jest umieszczone w żłobkach pod magnesami trwałymi. Magnesy trwałe każdego bieguna korzystnie składają się z n segmentów rozłożonych na łuku obwodowym jarzma wirnika, a każdy z segmentów jest umieszczony we własnym gnieździe, przy czym między segmentami są zęby jarzma wirnika.

Przedmiot wynalazku jest zilustrowany przykładem rozwiązania na rysunkach przedstawiających: fig. 1 schemat ogólny silnika, fig. 2 wycinek dwubiegunowy jarzma wirnika z magnesami trwałymi niedzielnymi ($n = 1$) i trzema żłobkami, fig. 3 wycinek dwubiegunowy jarzma wirnika z magnesami trwałymi niedzielnymi ($n = 1$) i dwoma żłobkami, fig. 4 wycinek dwubiegunowy jarzma wirnika z magnesami trwałymi podzielonymi na dwa segmenty ($n = 2$) i jednym żłobku pod każdym segmentem oraz fig. 5 wycinek dwubiegunowy jarzma wirnika z magnesami trwałymi podzielonymi na trzy segmenty ($n = 3$) i jednym żłobku pod każdym segmentem.

Silnik synchroniczny wzbudzany magnesami trwałymi z rozruchem asynchronicznym jest zilustrowany na rysunku fig. 1. Silnik ma magnesy trwałe **3** umieszczone w gniazdach na obwodzie zewnętrznym jarzma wirnika **4**. Między magnesami **3** różnej biegunowości są zęby jarzma wirnika **4**. Uzwojenie **2** rozruchowe m fazowe pierścieniowe jest umieszczone w żłobkach **6** pod magnesami trwałymi **3**. Wzajemne usytuowanie magnesów trwałych **3** i uzwojenia jest pokazane na rysunkach fig. 2 do fig. 5. Na rysunku fig. 2 pokazano wycinek **5** dwubiegunowy jarzma wirnika **4** z magnesami trwałymi **3** niedzielnymi ($n = 1$). Magnesy trwałe **3** są umieszczone w gniazdach. Pod każdym magnesem **3** są trzy żłobki **6**. W żłobkach **6** pod magnesami **3** korzystnie jest umieścić uzwojenie trójfazowe ($m = 3$). W jednym żłobku **6** umieszczony jest bok uzwojenia **2** jednej fazy. Jest to uzwojenie **2** pierścieniowe trójfazowe. Końcówki uzwojenia **2** są wyprowadzone na trzy pierścienie ślizgowe **8**. Pierścienie **8** są osadzone na tulei izolacyjnej **9**, która jest umieszczona na wale **7** silnika, jak to pokazano na rysunku fig. 1. Uzwojenie pierścieniowe **2** jest korzystne, gdyż rozruch silnika jest łagodny, wykonuje się go rezystorami rozruchowymi włączanymi poprzez szczotki i pierścienie **8**, identycznie jak w silnikach indukcyjnych pierścieniowych. Po rozruchu szczotki są podnoszone. W silnikach stosowanych do napędów maszyn roboczych o krótkim czasie rozruchu uzwojenie może być klatkowe. Na rysunku fig. 3 przedstawiono wycinek **5** dwubiegunowy jarzma wirnika **4** z magnesami trwałymi **3** niedzielnymi ($n = 1$). Magnesy trwałe **3** są umieszczone w gniazdach. Między biegunami magnesów są zęby jarzma wirnika **4**. Pod każdym magnesem **3** są dwa żłobki. W żłobkach **6** pod magnesami **3** korzystnie jest umieścić uzwojenie dwufazowe ($m = 2$). W jednym żłobku **6** jest umieszczony bok uzwojenia jednej fazy. Jest to uzwojenie **2** dwufazowe pierścieniowe. Końcówki uzwojenia **2** są wówczas wyprowadzone na dwa pierścienie ślizgowe **8**. Dla silników przeznaczonych do napędów maszyn roboczych o krótkim czasie rozruchu w żłobkach **6** można umieścić uzwojenie klatkowe. Na rysunku fig. 4 przedstawiono wycinek **5** dwubiegunowy jarzma wirnika **4** z magnesami trwałymi **3** podzielonymi na łuku obwodu jarzma na dwa segmenty ($n = 2$). Każdy z segmentów jest umieszczony we własnym gnieździe. Pod każdym segmentem jest żłobek **6**. Między segmentami magnesów trwałych **3** o tej samej biegunowości jest ząb jarzma wirnika **4**. W żłobkach **6** pod magnesami **3** korzystnie jest umieścić uzwojenie dwufazowe ($m = 2$). W jednym żłobku **6** znajduje się bok uzwojenia **2** jednej fazy. Końcówki uzwojenia **2** należy połączyć z pierścieniami ślizgowymi. Jest to uzwojenie **2** dwufazowe pierścieniowe. Zamiast uzwojenia pierścieniowego może być wykonane uzwojenie klatkowe. Na rysunku fig. 5 przedstawiono wycinek **5** dwubiegunowy jarzma wirnika **4** z magnesem trwałym **3** podzielonym na łuku obwodu jarzma na trzy segmenty ($n = 3$). Każdy z segmentów jest umieszczony we własnym gnieździe. Pod każdym z tych segmentów jest żłobek **6**. Między segmentami magnesów trwałych **3** o tej samej biegunowości jest ząb jarzma wirnika **4**. W żłobkach **6** pod magnesami **3** korzystnie jest umieścić uzwojenie **2** trójfazowe ($m = 3$). W jednym żłobku **6** jest umieszczony bok uzwojenia **2** jednej fazy. Końcówki uzwojenia należy połączyć z trzema pierścieniami ślizgowymi, jak na rysunku fig. 1. Jest to uzwojenie **2** trójfazowe pierścieniowe. Zamiast uzwojenia **2** pierścieniowego może być wykonane także uzwojenie klatkowe.

Silnik synchroniczny wzbudzany magnesami trwałymi **3** umieszczone na zewnętrznym obwodzie wirnika ma małą szczelinę powietrzną między stojanem i wirnikiem. Szczelina powietrzna jest determinowana wyłącznie względami mechanicznymi. Wirnik w czasie rozruchu i pracy synchronicznej

nie może ocierać się o stojan. W czasie rozruchu moment asynchroniczny determinują prądy w uzwojeniu stojana **1** i uzwojeniu wirnika **2**, które można regulować rezystorami włączanymi w obwód uzwojenia wirnika **2** poprzez pierścienie ślizgowe **8**. Charakterystyka asynchroniczna w funkcji prędkości obrotowej jest kształtowana przez rezystancję rezystorów, którą można tak zmieniać aby prąd rozruchowy nie przekraczał wartości dopuszczalnej w danym punkcie przyłączenia silnika do sieci elektroenergetycznej. Rozruch taki można stosować do silników o długim czasie rozruchu. Przy prędkości pod synchronicznej następuje samosynchronizacja wirnika strumieniem magnetycznym magnesów trwałych **3**. Po synchronizacji silnik pracuje jak silnik synchroniczny. Uzwojenie wirnika **2** zostaje zwarte i pełni funkcję uzwojenia tłumiącego kołysania wirnika. Przy pracy synchronicznej moment maksymalny silnika jest proporcjonalny do strumienia wzbudzenia. Strumień wzbudzenia, przy magnesach na powierzchni wirnika i małej szczelinie, jest większy niż przy magnesach umieszczonych w jarzmie wirnika. Większa jest zatem przeciążalność momentem silnika przy pracy synchronicznej.

Zastrzeżenia patentowe

1. Silnik synchroniczny wzbudzany magnesami trwałymi z rozruchem asynchronicznym z uzwojeniem rozruchowym umieszczonym na wirniku w żłobkach, **znamienny tym**, że magnesy trwałe (3) są umieszczone w gniazdach jarzma na obwodzie zewnętrznym wirnika (4), przy czym między magnesami (3) różnej biegunowości są zęby jarzma wirnika (4), a pod magnesami trwałymi (3) są żłobki (6) w których jest umieszczone uzwojenie (2) *m* fazowe pierścieniowe.
2. Silnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że magnesy trwałe (3) każdego bieguna korzystnie składają się z *n* segmentów rozłożonych na łuku obwodowym jarzma wirnika (4), a każdy z segmentów jest umieszczony we własnym gnieździe, przy czym między segmentami są zęby jarzma wirnika (4).

Rysunki

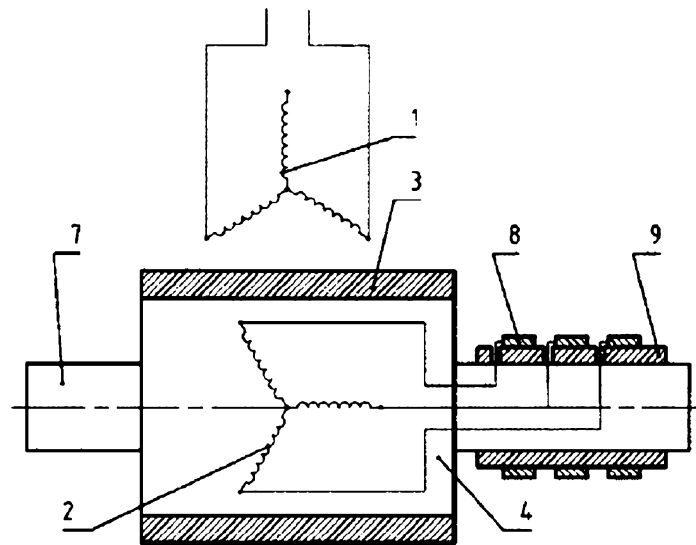


Fig. 1

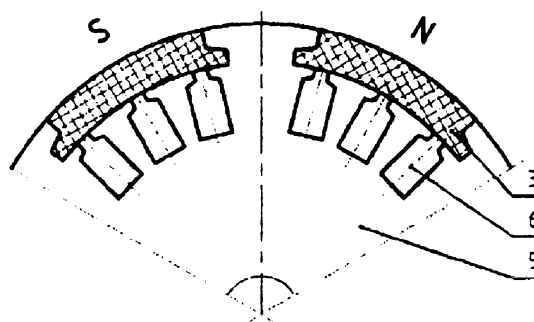


Fig. 2

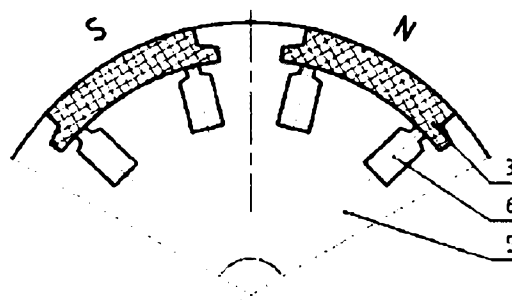


Fig. 3

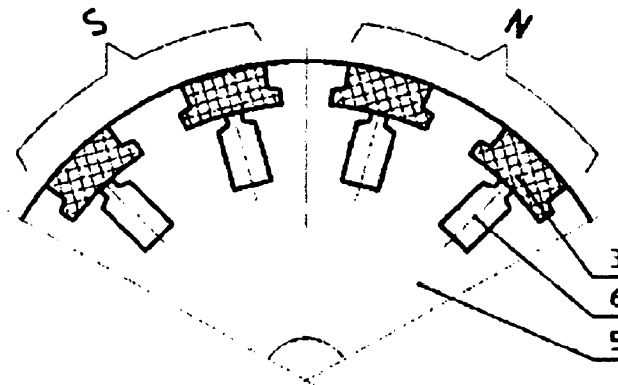


Fig. 4

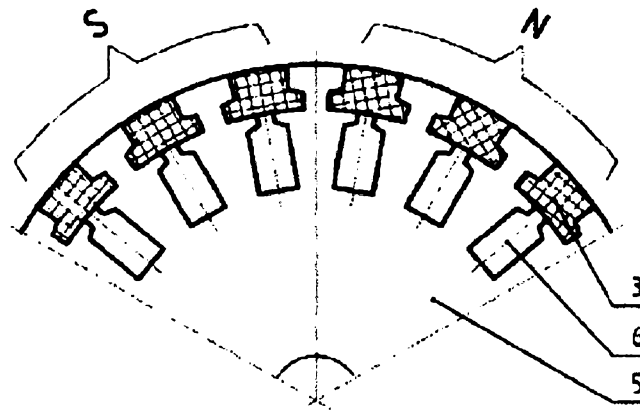


Fig. 5