

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL** (11) **237220**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **428432**

(22) Data zgłoszenia: **31.12.2018**

(51) Int. Cl.

H02K 17/16 (2006.01)

H02K 1/26 (2006.01)

H02K 1/16 (2006.01)

(54)

Obwód elektromagnetyczny silnika indukcyjnego klasy sprawności IE4

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

13.07.2020 BUP 15/20

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

22.03.2021 WUP 06/21

(73) Uprawniony z patentu:

**AKADEMIA GÓRNICZO-HUTNICZA
IM. STANISŁAWA STASZICA W KRAKOWIE,
Kraków, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

WIESŁAW JAŹDŻYŃSKI, Kraków, PL

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Patrycja Rosół

PL 237220 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest konstrukcja obwodu elektromagnetycznego silnika indukcyjnego o danych wejściowych $U_N=400$ V, $P_N=0.55$ kW, $f_N=50$ Hz, $2p=4$. Silniki elektryczne zużywają ok. 50% całej energii zużywanej w gospodarce. Wszelkie działania zmierzające do efektywnego wykorzystania energii pobieranej przez silniki są ważne dla środowiska naturalnego oraz przynoszą korzyści ekonomiczne użytkownikom silników elektrycznych. Silniki indukcyjne stanowią ponad 90% wszystkich eksploatowanych maszyn w przemyśle silników elektrycznych. Decydują o tym zalety silników indukcyjnych takie jak prosta konstrukcja (najprostsza spośród wszystkich rodzajów maszyn elektrycznych), niezawodne działanie, niski koszt produkcji i eksploatacji, niewielka zmienność prędkości obrotowej przy zmianach obciążenia w dużym zakresie, duża przeciążalność, prosty i łatwy do automatyzacji rozruch. Zalety silników indukcyjnych przeważają nad ich wadami do których należy zaliczyć duży prąd rozruchowy, mały współczynnik mocy i niska sprawność przy małym obciążeniu, duży wpływ wahań napięcia na moment obrotowy silnika oraz trudną regulację prędkości obrotowej.

Obwód elektromagnetyczny silnika indukcyjnego składa się z 2 podstawowych części: nieruchomego obwodu magnetycznego stojana, wykonanego w postaci pakietu ferromagnetycznych blach elektrotechnicznych z odpowiednio wyciętymi otworami żłobków na cewki uzwojenia, oraz ruchomego obwodu magnetycznego wirnika również wykonanego w postaci pakietu ferromagnetycznych blach elektrotechnicznych z odpowiednio wyciętymi otworami żłobków w których umieszczone jest uzwojenie.

Przemienny prąd w symetrycznym, wielofazowym uzwojeniu stojana powoduje powstanie w maszynie zmiennego pola magnetycznego od każdej z faz w taki sposób, że wypadkowe pole jest tzw. polem wirującym, wirującym wzdłuż obwodu maszyny, czyli wokół wirnika. Pole to w wyniku indukcji elektromagnetycznej powoduje powstanie sił elektromotorycznych w uzwojeniu wirnika, pod wpływem których płyną tam prądy elektryczne, które powodują powstanie magnetycznego pola wirującego wirnika. Oddziaływanie wirujących pól magnetycznych: od stojana i od wirnika wywołuje powstanie momentu elektromagnetycznego działającego na wirnik i, w konsekwencji, momentu obrotowego odpowiedzialnego za ruch wirnika. Uzwojenia wirnika są wewnętrznie połączone (zwarłe – silnik zwarty) lub ich końcówki są przyłączone do pierścieni ślizgowych przekazujących przez szczotki prąd na zewnątrz silnika (silnik pierścieniowy). Przeważającym typem silnika zwarłego obecnie produkowanym są silniki klatkowe. Silnik klatkowy charakteryzuje wyjątkowo wysoka trwałość, brak przekazywania prądu do części ruchomych przez styki eliminuje iskrzenie i zużywanie się szczotek. Jedynymi elementami podlegającymi zużyciu są w nim łożyska. Jego wadą jest trudny rozruch: przy dużym (bliskim znamionowemu) obciążeniu, silnik może w ogóle nie ruszyć z miejsca, natomiast przy niewielkim lub przy braku obciążenia rusza bardzo gwałtownie.

Uzyskanie wysokiej sprawności klatkowego silnika indukcyjnego oraz wysokiego współczynnika mocy, które charakteryzują wersję energooszczędną, związane jest z reguły ze zwiększeniem jego masy i znacznym wzrostem kosztów materiałowych. Urzeczywistnienie wersji energooszczędnej klatkowego silnika indukcyjnego bez zwiększenia jego masy i znacznego wzrostu kosztów materiałowych wymaga ukształtowania odpowiedniego obwodu elektromagnetycznego. Wysokosprawny klatkowy silnik indukcyjny o wielkości 80, klasie sprawności IE4 i mocy 0,55 KW, z klatką odlewaną z aluminium o wysokim współczynniku mocy i kosztach produkcji porównywalnych z wersją nie energooszczędną nie jest oferowany przez firmy produkujące silniki. Jako alternatywę stosuje się silniki z klatką odlewaną z miedzi, silniki LSPMSM lub SRM (silniki reluktancyjne przełączalne).

W publikacji autorstwa A. Bogliettiego z zespołem p.t. „Energetic Considerations About the Use of Cast Copper Squirrel Cage Induction Motors” stanowiącej referat na 34 konferencji IKEE w Taopei / Tajwan 5–8.11.2007 r. analizowany jest problem zwiększenia sprawności silnika poprzez zastosowanie klatki odlewanej z miedzi. Osiągnięcie wysokiej sprawności jest w ten sposób prostsze niż w przypadku klatek odlewanych z aluminium (mniejsze straty elektryczne w wirniku, mniejszy poślizg znamionowy), ale korzyści nie są spektakularne a wymaga to stosowania trudnej, drogiej technologii wykonywania odlewów z miedzi (temperatura topnienia miedzi jest wyższa niż aluminium i istnieje groźba przekroczenia punktu Curie dla blachy prądnicowej w rdzeniach). Praktycznie bez wyjątku kryterium wysokiej sprawności i dużego współczynnika mocy spełniają silniki LSPMSM, jednak ich produkcja jest droga ze względu na wysoki koszt magnesów trwałych używanych do ich wykonania. Wysoką sprawność osiągną również silniki SRM, ale problemem jest ich głośna praca.

Prace konstrukcyjne nad nowymi energooszczędnymi wersjami silników indukcyjnych, koncentrują się nad takim doбором parametrów silnika, aby zapewnić maksymalną sprawność znamionową, a równocześnie maksymalny moment elektromagnetyczny, przy minimalizacji wymiarów silnika oraz uproszczeniu rozwiązań technologicznych.

Podstawowym kierunkiem prac konstrukcyjnych jest opracowanie właściwych wymiarów poszczególnych elementów wirnika i stojana tak, aby uzyskać optymalny rozkład pola elektromagnetycznego i możliwie najmniejsze wymiary konstrukcji (koszt silnika) przy założonych danych wejściowych silnika takich jak U_N , P_N , f_N , $2p$ oraz utrzymanie silnika w założonej klasie sprawności. Inne podejście polega np. na wyznaczeniu wymiarów konstrukcji tak, aby była maksymalna sprawność, przy spełnieniu narzuconych wymagań projektowych, fizycznych, geometrycznych, technologicznych, ekonomicznych i innych.

Przykładem drugiego z wymienionych wyżej podejść jest chiński patent o numerze CN 103647414, którego przedmiotem jest inny typ silnika a mianowicie trójfazowy silnik asynchroniczny o mocy 5500 W. Patent polega na odpowiednim ukształtowaniu elementów blach stojana i wirnika oraz określeniu takich ich wymiarów, które w efekcie pozwoliły na zmniejszenie całkowitej ilości strat energii o 33.1% oraz na wzrost sprawności konwersji energii o ponad 2.5% co pozwoliło jak to określa patent na zbudowanie trójfazowego silnika asynchronicznego o mocy 5500 W jako silnika o ultra wysokiej wydajności i oszczędności energii. Z przeglądu literatury firmowej czołowych producentów silników indukcyjnych (Siemens, ABB) wynika, że silniki o mocy 0.55 kW o wielkości 80 nie są produkowane.

Problemem wynalazczym jest opracowanie nowej konstrukcji klatkowego silnika indukcyjnego o nowym usytuowaniu wzajemnym elementów wirnika i stojana oraz o właściwych ich wymiarach, w celu uzyskaniu maksymalnej sprawności i efektywności rozwiązania oraz zmniejszenia jego wymiarów i kosztów wytwarzania przy utrzymaniu wielkości silnika równej 80, klasie sprawności IE4 i mocy 0.55 KW, z klatką odlewaną z aluminium o wysokim współczynniku mocy i kosztach produkcji – nie odbiegającej znacznie od wersji o niższej klasie sprawności.

Celem rozwiązania jest konstrukcja klatkowego silnika indukcyjnego, o nowej geometrii blach wirnika, mającej na celu uzyskaniu maksymalnej sprawności, przy zachowaniu narzuconych wymogów wytrzymałościowych i eksploatacyjnych, w szczególności przeciążalności.

Cel ten został zrealizowany w przedmiotowym wynalazku, w którym obwód elektromagnetyczny klatkowego silnika indukcyjnego, o danych wejściowych $U_N=400$ V, $P_N=0.55$ kW, $f_N=50$ Hz, $2p=4$, posiada rdzeń stojana złożony z jednakowo wykrojonych blach prądnicowych o kształcie pierścienia z wycięciami technologicznymi, z równomiernie rozłożonymi na obwodzie rdzenia półzamkniętymi żłobkami, w których jest umieszczone uzwojenie stojana, oraz rdzeń wirnika złożony z jednakowo wykrojonych blach prądnicowych, z otworami żłobków ze skosem równym jednej podziałce żłobkowej, w których umieszczona jest klatka wirnika. Rdzeń wirnika zbudowany w ten sposób, że w blachach prądnicowych rdzenia wirnika z którego jest on złożony, wycięte są 22, jednakowe i równomiernie rozłożone na obwodzie rdzenia, otwory zamkniętych żłobków o kształcie kropli, w których po złożeniu blach i uformowaniu rdzenia umieszczone są odlane z aluminium, pręty uzwojenia klatkowego wirnika, o wymiarach:

- szerokość zęba wirnika (b_{zr}) w przedziale [4.25 – 4.35] mm, korzystnie 4.31 mm,
- średnica zaokrąglenia górnego (b_{r2}) w przedziale [5.65 – 5.75] mm, korzystnie 5.70 mm,
- średnica zaokrąglenia dolnego (b_{r3}) w przedziale [4.50 – 4.60] mm, korzystnie 4.55 mm,
- wysokość części aktywnej żłobka (h_{zr}) w przedziale [9.10 – 9.20] mm, korzystnie 9.16 mm, przy zachowaniu nadrzędnego warunku, aby podwójna szerokość szczeliny powietrznej równa (d_s-d_r) była w przedziale [0.45 – 0.55] mm, korzystnie 0.5 mm,
- skos żłobków wirnika równy jednej podziałce żłobkowej

oraz o średnicy zewnętrznej (d_r) o wymiarach w przedziale [76.45 – 76.55] mm, korzystnie 76.5 mm, i średnicy wewnętrznej (d_i) o wymiarach w przedziale [26.0 – 26.1] mm, korzystnie 26.0 mm, odpowiadającej średnicy wału (5) silnika, a także średnicą (d_{rz}) oparcia dna żłobków w przedziale [57.45 – 57.55] mm, korzystnie 57.5 mm.

W 22-ch zamkniętych żłobkach wirnika o skosie równym jednej podziałce żłobkowej umieszczone są pręty uzwojenia klatkowego odlanego z aluminium, z jednakowymi pierścieniami zwierającymi wszystkie pręty uzwojenia klatkowego po obu stronach rdzenia wirnika. Wysokości przekroju pierścienia wynosi 19.9 mm a szerokości przekroju wynosi 6.9 mm, a średnica zewnętrzna (d_r) rdzenia wirnika jest równa średnicy zewnętrznej pierścienia klatki (d_{pr}), po operacji szlifowania powierzchni cylindrycznej

wirnika w celu uzyskania wymaganej szerokości szczeliny powietrznej stojan-wirnik o szerokości 0.5 mm.

Rdzeń stojana, złożony jest z jednakowo wyciętych blach prądnicowych, o średnicy zewnętrznej (d_{se}), której wymiar mieści się przedziale [119.8 – 120.0] mm, korzystnie 120 mm, z wycięciami technologicznymi na zewnętrznym obwodzie rdzenia stojana o głębokości nie większej niż 1.5 mm, do trwałego umocowania rdzenia w obudowie oraz pozycjonującego względem obudowy. Wymiar średnicy wewnętrznej (d_s) mieści się w przedziale [76.9 – 77.1] mm, korzystnie 77.0 mm, zaś 24 jednakowe i równomiernie rozłożone na obwodzie rdzenia półzamknięte żłobki (2), w których, po złożeniu blach i uformowaniu rdzenia jest umieszczone uzwojenie stojana, mają wymiary:

- szerokość zęba stojana (b_{ds}) – w przedziale [3.95 – 4.05] mm, korzystnie 4.00 mm,
- szerokość podstawy żłobka (b_{3s}) – w przedziale [8.90 – 9.00] mm, korzystnie 8.95 mm,
- szerokość przyszczelinowej części żłobka (b_{2s}) – w przedziale [6.25 – 6.35] mm, korzystnie 6.31 mm,
- szerokość otwarcia żłobka (b_{1s}) – w przedziale [2.3 – 2.4] mm, korzystnie 2.3 mm,
- wysokości strefy domknięcia żłobka (h_{1s}) – w przedziale [0.35 – 0.45] mm, korzystnie 0.4 mm, oraz (h_{2s}) – w przedziale [0.35 – 0.45] mm, korzystnie 0.4 mm,
- wysokość aktywnej części żłobka (h_{23s}) – w przedziale [9.60 – 9.70] mm, korzystnie 9.66 mm,
- promień zaokrągleń technologicznych ($R1,0$) – w przedziale [0.9 – 1.1] mm, korzystnie 1.0 mm, ($R0,2$) – w przedziale [0.15 – 0.25] mm, korzystnie 2 mm, oraz ($R0,5$) – w przedziale [0.45 – 0.55] mm, korzystnie 0.5 mm.

Obwód elektromagnetyczny silnika indukcyjnego według wynalazku charakteryzuje się tym, że w żłobkach stojana jest umieszczone uzwojenie 3-fazowe jednowarstwowe, wzornikowe i średnicowe o danych: $Z = 24$, $2p = 4$, $y = 6$, $q = 2$.

Obwód elektromagnetyczny silnika indukcyjnego według wynalazku charakteryzuje się również tym, że podwójna szerokość szczeliny powietrznej pomiędzy wirnikiem a stojanem równa ($d_s - d_i$) ma wymiar w przedziale [0.45 – 0.55] mm, korzystnie 0.5 mm.

Obwód elektromagnetyczny silnika indukcyjnego według wynalazku umożliwia uzyskanie wzniosu osi wału w wielkości 80 mm natomiast przy stosunku średnicy zewnętrznej do wewnętrznej rdzenia stojana równej $d_{se}/d_s=120/77$, oraz wymiarach elementów obwodu opisanych w istocie wynalazku, stosunek długości rdzenia stojana do jego średnicy zewnętrznej jest nie mniejszy od wartości $l_s/d_{se}=1.25$.

Silnik indukcyjny o obwodzie elektromagnetycznym według wynalazku, posiadającym konstrukcję i wymiary przedstawione powyżej w istocie wynalazku, pozwala uzyskać sprawność znamionową 84.0%, co kwalifikuje go z nadstatkiem do klasy sprawności IE 4 w normie IEC 60034-30-1. Silnik posiada m. innymi własności eksploatacyjne: przeciążalność 2.53, względny moment rozruchowy 1.80 i względny prąd rozruchowy 5.0. W silniku według wynalazku uzyskano zmniejszenie strat w stosunku do silników indukcyjnych aktualnie produkowanych o tych samych danych wejściowych silnika U_N , P_N , f_N , $2p$ o klasie sprawności IE 3 dostępnej na rynku, wynoszące ok. 3.2% mocy znamionowej, czyli ok. 18 W. Kolejną korzyścią silnika według wynalazku jest uzyskanie maksymalnego osiągalnego współczynnika mocy w tej konstrukcji, który wynosi 0.776%. Obie powyższe własności powodują, że silnik według wynalazku jest tzw. konstrukcją energooszczędną, która jest efektywniejsza pod względem energooszczędności od wszystkich innych silników wysokosprawnych o tych samych danych wejściowych dostępnych na rynku. W efekcie, ze względu na możliwość powszechnego zastosowania silnika według wynalazku, należy oczekiwać istotnego zmniejszenia zapotrzebowania na energię elektryczną przez urządzenia wykorzystujące napęd elektryczny, co w efekcie przyczyni się do ograniczenia zanieczyszczenia środowiska i redukcji emisji CO₂. Dodatkową korzyścią jest osiągnięcie celu wynalazku przy niższym koszcie produkcji niż silniki indukcyjne z kłatką miedzianą czy LSPMSM, dzięki zastosowaniu standardowej technologii odlewania kłatek z aluminium. W efekcie uzyskano skrócenie czasu zwrotu powiększenia kosztu spowodowanego podwyższeniem sprawności i współczynnika mocy. Żłobki wirnika o kształcie kropkowym w silniku wg wynalazku zapewniają kompromis między stratami w rdzeniu wirnika, a np. przeciążalnością.

Przedmiot wynalazku jest przedstawiony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia schematyczny widok przekroju obwodu elektromagnetycznego silnika indukcyjnego, Fig. 2 – widok wykroju blachy stojana, Fig. 3 – widok strefy zębowej stojana, Fig. 4 – widok wykroju blachy wirnika, Fig. 5 – widok strefy zębowej wirnika.

Wykonany, w przykładzie realizacji, obwód elektromagnetyczny silnika indukcyjnego jest przeznaczony dla silnika o danych: $U_N=400$ V, $P_N=0.55$ kW, $f_N=50$ Hz, $2p=4$. Składa się on z rdzenia wirnika (3) o długości w przedziale [150 – 180] mm, korzystnie 180.0 mm, który jest złożony z [300 – 360], korzystnie 360 jednakowo wyciętych blach prądnicowych M 470 – 50 A o grubości 0.5 mm o średnicy zewnętrznej (d_r) równej 76.5 mm, oraz o średnicy wewnętrznej (d_{ri}) równej 26.0 mm, odpowiadającej średnicy wału (5) silnika oraz średnicą (d_{rz}) oparcia dna żłobków w przedziale o wymiarze 57.5 mm, z 22-ma jednakowymi i równomiernie rozłożonymi na obwodzie rdzenia (3) żłobkami (4) ze skosem równym jednej podziałce żłobkowej, zamkniętymi w kształcie kropli, w których, po złożeniu blach i uformowaniu rdzenia są odlane z aluminium pręty uzwojenia klatkowego wirnika, o wymiarach strefy zębowej jak na rys. 4 i wartościach:

- szerokość zęba wirnika (b_{zr}) wynosi 4.3 mm,
- średnica zaokrąglenia górnego (b_{r2}) wynosi 5.70 mm,
- średnica zaokrąglenia dolnego (b_{r3}) wynosi 4.55 mm,
- wysokość części aktywnej żłobka (h_{zr}) wynosi 9.16 mm, przy zachowaniu nadrzędnego warunku, aby podwójna szerokość szczeliny powietrznej równa (d_s-d_r) wynosiła 0.5 mm.

Drugim elementem obwodu magnetycznego przeznaczonym dla silnika indukcyjnego o danych: $U_N=400$ V, $P_N=0.55$ kW, $f_N=50$ Hz, $2p=4$, jest rdzeń stojana o takiej samej długości jak rdzeń wirnika w przedziale [150 – 180] mm, korzystnie 180.0 mm, który jest złożony z [300 – 360], korzystnie 360 jednakowo wyciętych blach prądnicowych M 470-50 A o grubości 0.5 mm, o średnicy zewnętrznej (d_{se}) równej 120 mm, z wycięciami technologicznymi o głębokości 1.5 mm: (7) i (8) – do trwałego umocowania rdzenia w, nieujawnionej na rysunku, obudowie oraz (6) – pozycjonującego rdzeń względem obudowy.

Stojan (1) ma średnicę wewnętrzną (d_s) równą 77,0 mm i posiada 24 jednakowe i równomiernie rozłożone na obwodzie wewnętrznym rdzenia (1) półzamknięte żłobki (2), w których po złożeniu blach i uformowaniu rdzenia jest umieszczone uzwojenie stojana. Poszczególne elementy żłobka stojana mają wymiary:

- szerokość zęba stojana (b_{ds}) wynosi 4.0 mm,
- szerokość podstawy żłobka (b_{3s}) wynosi 8.95 mm,
- szerokość przyszczelinowej części żłobka (b_{2s}) wynosi 6.31 mm,
- szerokość otwarcia żłobka (b_{1s}) wynosi 2.3 mm,
- wysokości strefy domknięcia żłobka (h_{1s}) wynosi 0.4 mm, oraz (h_{2s}) wynosi 0.4 mm,
- wysokość aktywnej części żłobka (h_{23s}) wynosi 9.66 mm,
- promień zaokrąglenia technologicznych ($R_{1,0}$) wynosi 1.0 mm, ($R_{0,2}$) – wynosi 0.2 mm, oraz ($R_{0,5}$) wynosi 0.5 mm.

W półzamkniętych żłobkach stojanych (2) jest umieszczone 3-fazowe uzwojenie (jednowarstwowe, wzornikowe i średnicowe) o danych: $Z = 24$, $2p = 4$, $y = 6$, $q = 2$, i własnościach:

- napięcie znamionowe – $U_N=400$ [V] dla uzwojeń fazowych stojana połączonych w gwiazdę
- częstotliwość – $f_N=50$ [Hz]
- liczba biegów silnika – 1
- liczba żłobków stojana – $Z_s = 24$
- liczba biegunów – $2p = 4$
- przewód nawojowy emaliowany miedziany DNE 155
- średnica znamionowa żyły przewodu gołego – $d_{el} = [0.500 – 0.600]$ [mm]
- ilość zwojów szeregowych na fazę – $z_s = [400 – 500]$

Pozostałe elementy silnika takie jak: obudowa, wał, łożyska z gniazdami łożyskowymi, skrzynka przyłączeniowa, wentylator, a także technologie ich wykonania są takie jak w produkowanym silniku indukcyjnym, typu 3SIE80-4B, z tym, że długości obudowy i wału zostały dostosowane do większej długości silnika indukcyjnego według wynalazku.

Proces technologiczny wykonania silnika indukcyjnego wg zgłoszenia praktycznie nie różni się od wykonania odpowiedniego silnika indukcyjnego nie charakteryzującego się energooszczędnością. Silnik wykonany wedle wynalazku osiąga wyższe parametry energooszczędnościowe (sprawność znamionowa 84.0%, $\cos\varphi=0.776$) od podanej w normie sprawności 80.8% dla silnika indukcyjnego wysokosprawnego klasy IE3, z tym zaznaczeniem, że silniki klasy IE3 o danych wejściowych silnika wg zgłoszenia nie są produkowane w kraju. Firma ABB oferuje podobny silnik (M3BP 80MLD 4) o sprawności 82.9%, $\cos\varphi=0.810$ jako silnik klasy IE3.

Jedną z podstawowych zalet silnika według wynalazku jest wybór minimalnego „wzniosu wału”, czyli odległości osi wirnika od podstawy fundamentu silnika. Odległość ta równa 80 mm pozwala, co jest niezwykle ważne w zastosowaniach komercyjnych, na zwiększenie stopnia kompaktowania urządzeń, w których silniki indukcyjne znajdują zastosowanie. Silnik nadaje się do wszelkiego rodzaju napędów, jednak swoje własności manifestuje szczególnie w napędach stosowanych w ruchu ciągłym, zwłaszcza pracujących w trybie 24/7, np. w napędach wentylatorowych, pomp itp.

Zastrzeżenia patentowe

1. Obwód elektromagnetyczny klatkowego silnika indukcyjnego o danych wejściowych $U_N=400$ V, $P_N=0.55$ kW, $f_N=50$ Hz, $2p=4$ posiadający rdzeń stojana złożony z jednakowo wykrojonych blach prądnicowych o kształcie pierścienia z wycięciami technologicznymi, z równomiernie rozłożonymi na obwodzie rdzenia półzamkniętymi żłobkami, w których jest umieszczone uzwojenie stojana, oraz rdzeń wirnika złożony z jednakowo wykrojonych blach prądnicowych, z otworami żłobków ze skosem równym jednej podziałce żłobkowej, w których umieszczona jest klatka wirnika, **znamienny tym**, że rdzeń wirnika (3) złożony jest z blach prądnicowych, w których wycięte są 22, jednakowe i równomiernie rozłożone na obwodzie rdzenia (3), otwory zamkniętych żłobków (4) o kształcie kropli, w których po złożeniu blach i uformowaniu rdzenia umieszczone są, odlane z aluminium, pręty uzwojenia klatkowego wirnika, o wymiarach:
 - szerokość zęba wirnika (b_{zr}) w przedziale [4.25 – 4.35] mm, korzystnie 4.31 mm,
 - średnica zaokrąglenia górnego (b_{r2}) w przedziale [5.65 – 5.75] mm, korzystnie 5.70 mm,
 - średnica zaokrąglenia dolnego (b_{r3}) w przedziale [4.50 – 4.60] mm, korzystnie 4.55 mm,
 - wysokość części aktywnej żłobka (h_{zr}) w przedziale [9.10 – 9.20] mm, korzystnie 9.16 mm przy zachowaniu nadrzędnego warunku, aby podwójna szerokość szczeliny powietrznej równa (d_s-d_r) była w przedziale [0.45 – 0.55] mm, korzystnie 0.5 mm, oraz o średnicy zewnętrznej (d_r) o wymiarach w przedziale [76.45 – 76.55] mm, korzystnie 76.5 mm, i średnicy wewnętrznej (d_{ri}) o wymiarach w przedziale [26.0 – 26.1] mm, korzystnie 26.0 mm, odpowiadającej średnicy wału (5) silnika, a także średnicą (d_{rz}) oparcia dna żłobków w przedziale [57.45 – 57.55] mm, korzystnie 57.5 mm.
2. Obwód elektromagnetyczny klatkowego silnika indukcyjnego według zastrzeżenia 1, **znamienny tym**, że w 22-ch żłobkach (4) wirnika (3) są umieszczone pręty uzwojenia klatkowego odlanego z aluminium, z jednakowymi pierścieniami zwierającymi po obu stronach rdzenia wirnika, o wysokości przekroju pierścienia w przedziale [19.8 – 20.0] mm, korzystnie 19.9 mm oraz szerokości przekroju w przedziale [6.8 – 7.0] mm, korzystnie 6.9 mm, zaś średnica zewnętrzna (d_r) rdzenia wirnika (3) jest równa średnicy zewnętrznej pierścienia klatki (d_{pr}).
3. Obwód elektromagnetyczny klatkowego silnika indukcyjnego według zastrzeżenia 1, **znamienny tym**, że rdzeń stojana (1), złożony jest z jednakowo wyciętych blach prądnicowych, o średnicy zewnętrznej (d_{se}) w przedziale [119.8 – 120.0] mm, korzystnie 120 mm, z wycięciami technologicznymi o głębokości nie większej niż 1.5 mm, do trwałego umocowania rdzenia w obudowie (7) i (8) oraz pozycjonującego względem obudowy (6), oraz o średnicy wewnętrznej (d_s) w przedziale [76.9 – 77.1] mm, korzystnie 77.0 mm, z 24 jednakowymi i równomiernie rozłożonymi na obwodzie rdzenia (1) półzamkniętymi żłobkami (2), – o wymiarach:
 - szerokość zęba stojana (b_{ds}) – w przedziale [3.95 – 4.05] mm, korzystnie 4.00 mm,
 - szerokość podstawy żłobka (b_{3s}) – w przedziale [8.90 – 9.00] mm, korzystnie 8.95 mm,
 - szerokość przyszczelinowej części żłobka (b_{2s}) – w przedziale [6.25 – 6.35] mm, korzystnie 6.31 mm,
 - szerokość otwarcia żłobka (b_{1s}) – w przedziale [2.3 – 2.4] mm, korzystnie 2.3 mm,
 - wysokości strefy domknięcia żłobka (h_{1s}) – w przedziale [0.35 – 0.45] mm, korzystnie 0.4 mm, oraz (h_{2s}) – w przedziale [0.35 – 0.45] mm, korzystnie 0.4 mm,
 - wysokość aktywnej części żłobka (h_{23s}) – w przedziale [9.60 – 9.70] mm, korzystnie 9.66 mm,
 - promień zaokrąglenia technologicznego ($R1,0$) – w przedziale [0.9 – 1.1] mm, korzystnie 1.0 mm, ($R0,2$) – w przedziale [0.15 – 0.25] mm, korzystnie 0.2 mm, oraz ($R0,5$) – w przedziale [0.45 – 0.55] mm, korzystnie 0.5 mm.

4. Obwód elektromagnetyczny silnika indukcyjnego według zastrzeżenia 1, **znamienny tym**, że w żłobkach stojana (2) jest umieszczone uzwojenie 3-fazowe jednowarstwowe, wzornikowe i średnicowe o danych: $Z = 24$, $2p = 4$, $y = 6$, $q = 2$.
5. Obwód elektromagnetyczny silnika indukcyjnego według zastrzeżenia 1, **znamienny tym**, że podwójna szerokość szczeliny powietrznej pomiędzy wirnikiem a stojanem równa $(d_s - d_r)$ ma wymiar w przedziale $[0.45 - 0.55]$ mm, korzystnie 0.5 mm.
6. Obwód elektromagnetyczny silnika indukcyjnego według zastrzeżenia 1, **znamienny tym**, że przy wzniosie osi wału 80 mm, stosunku średnicy zewnętrznej do wewnętrznej rdzenia stojana równej $d_{se}/d_s = 120/77$, oraz wymiarach podanych w zastrzeżeniach 1–5, stosunek długości rdzenia stojana do jego średnicy zewnętrznej jest nie mniejszy od wartości $l/d_{se} = 1.15$.

Rysunki

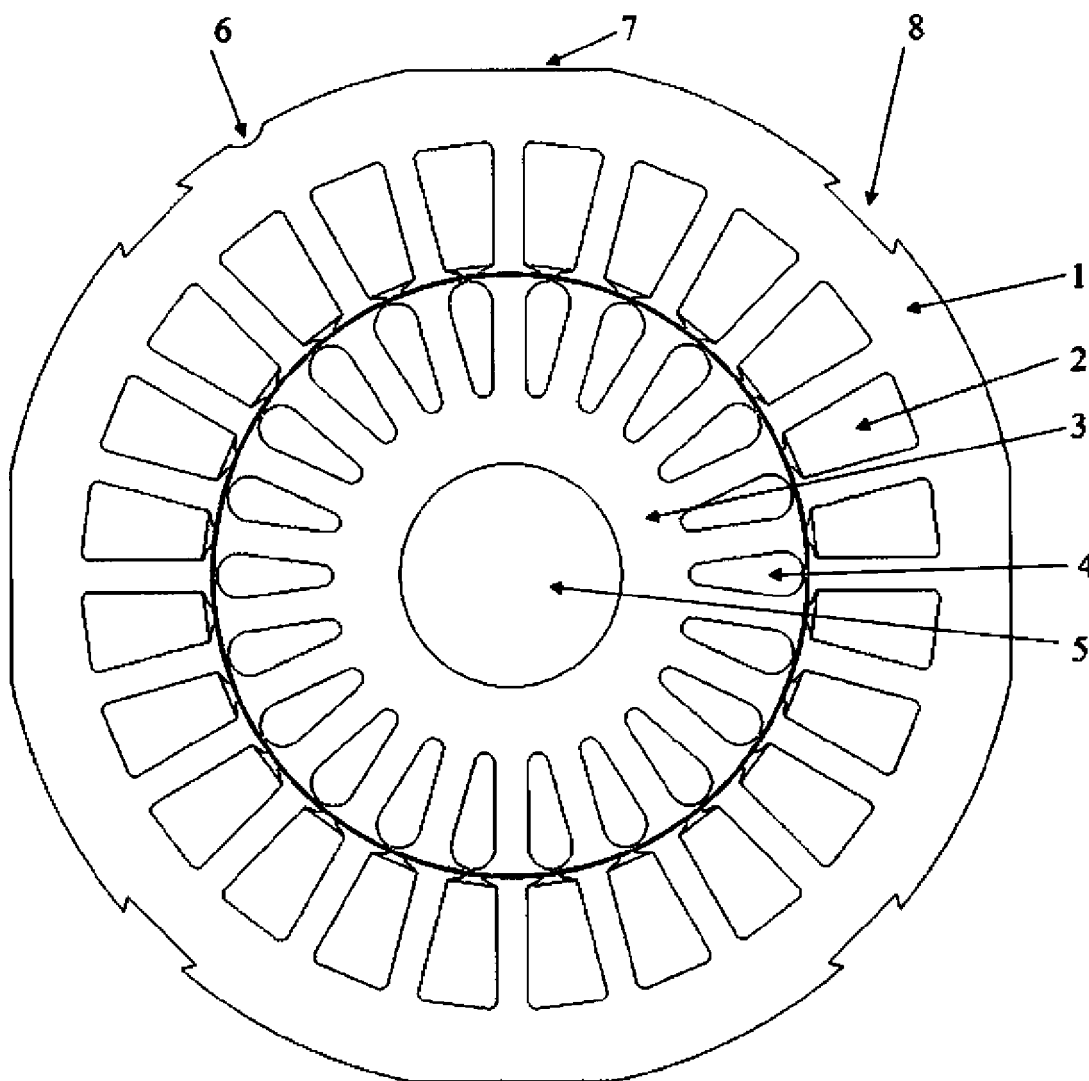
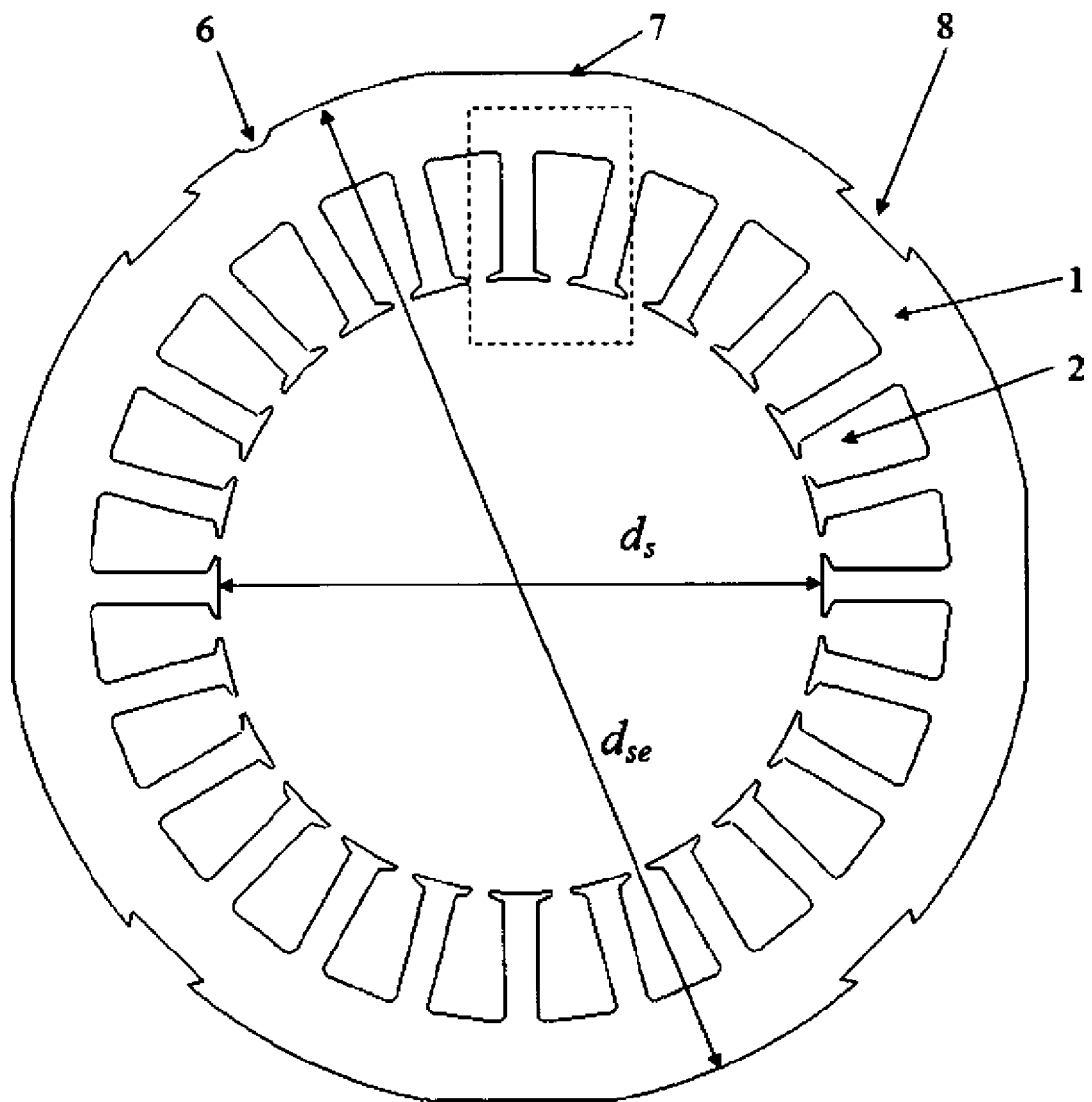


Fig. 1

**Fig. 2**

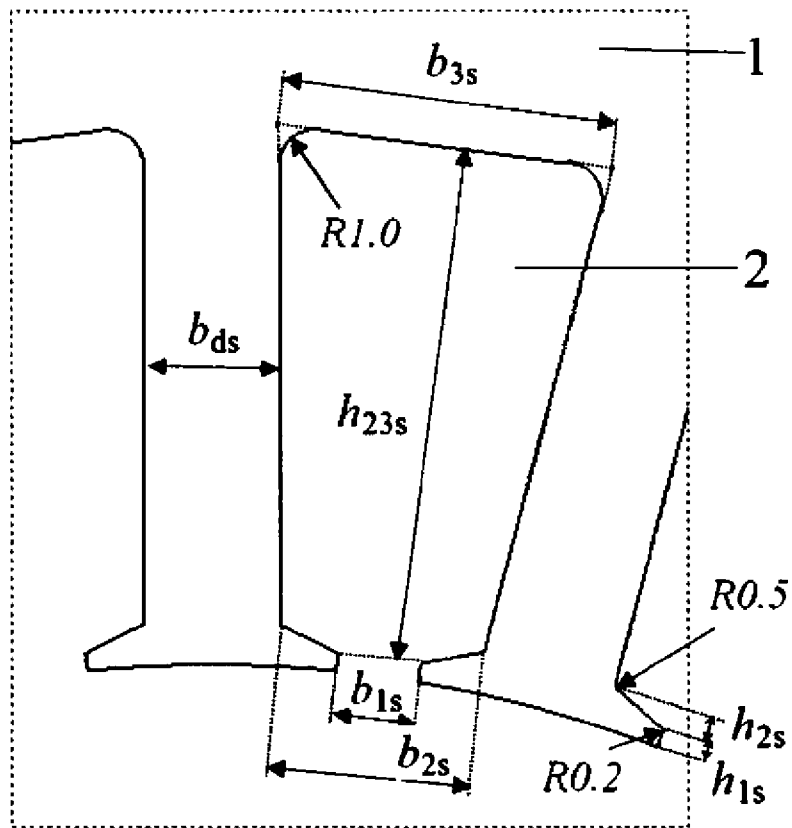
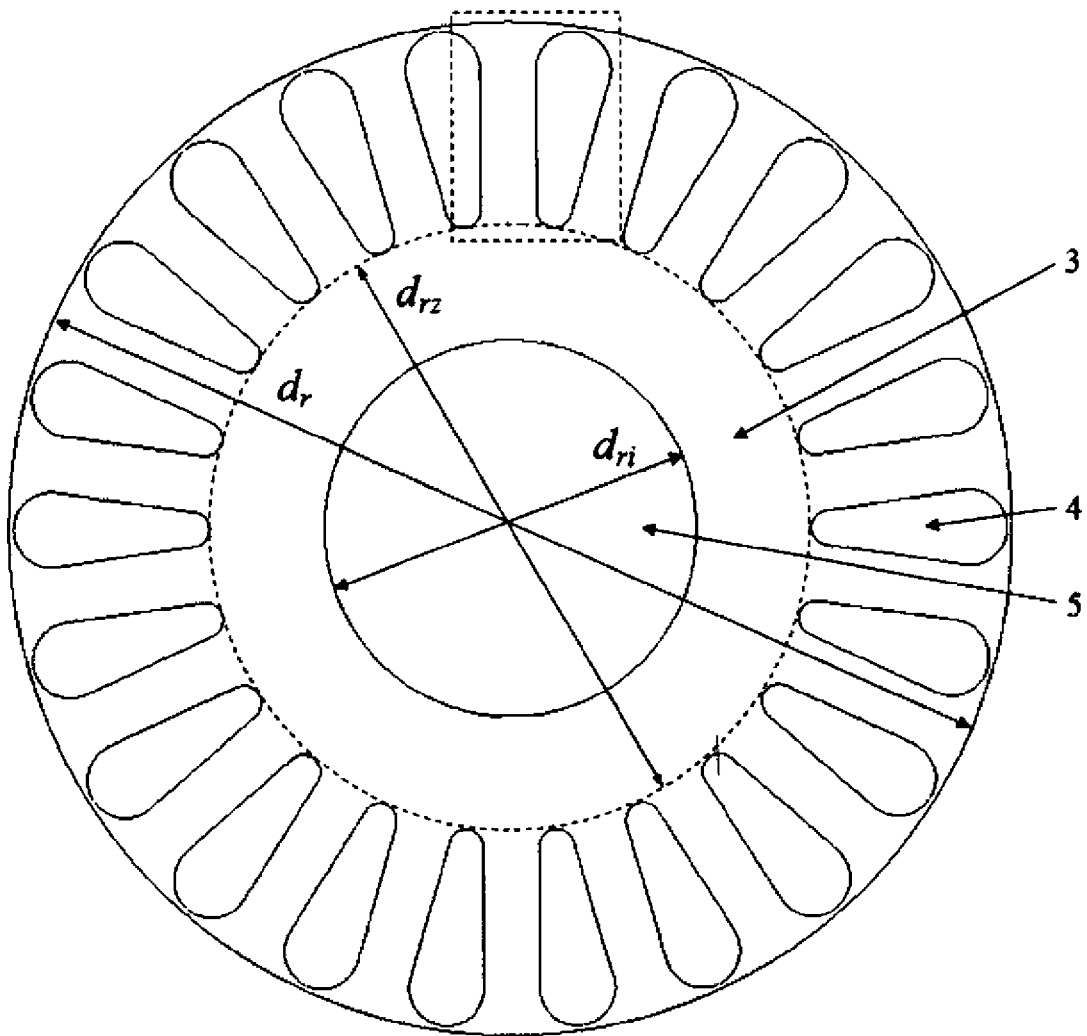


Fig. 3

**Fig. 4**

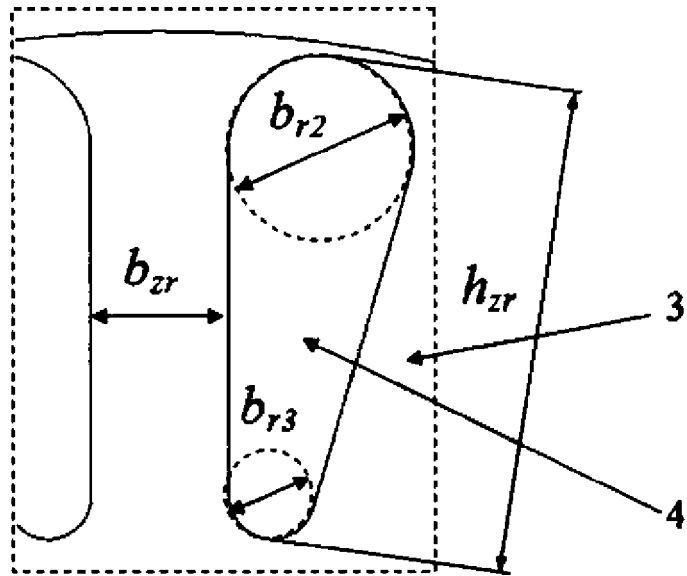


Fig. 5