

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **235130**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **430452**

(22) Data zgłoszenia: **01.07.2019**

(51) Int.Cl.

H02K 21/14 (2006.01)

H02K 21/04 (2006.01)

(54)

Prądnica synchroniczna ze wzbudzeniem hybrydowym

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

02.12.2019 BUP 25/19

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

01.06.2020 WUP 06/20

(73) Uprawniony z patentu:

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

(72) Twórca(y) wynalazku:

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

PL 235130 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest prądnica synchroniczna ze wzbudzeniem hybrydowym, wielobiegunowa. Prądnica przeznaczona jest do zainstalowania w odnawialnych źródłach energii, w szczególności w: elektrowniach wiatrowych i elektrowniach wodnych.

Znane są rozwiązania prądnic ze wzbudzeniem hybrydowym, to znaczy połączenie wzbudzenia magnesami trwałymi ze wzbudzeniem elektromagnetycznym. Znane są obwody magnetyczne maszyn w których siła magnetomotoryczna magnesów trwałych i siła magnetomotoryczna uzwojenia wzbudzenia działają szeregowo bądź równolegle. Rozwiązanie szeregowe wzbudzenia nie jest ekonomiczne, gdyż przenikalność względna magnesów trwałych wynosi w przybliżeniu 1,06 i magnes trwały o grubości kilku milimetrów dla wzbudzenia elektromagnetycznego ma dużą reluktancję i aby efektywnie do wzbudzać obwód magnetyczny lub go od wzbudzać konieczna jest duża siła magnetomotoryczna.

Znany jest z polskiego opisu patentowego 207551 generator elektryczny synchroniczny ze wzbudzeniem hybrydowym równoległym w którym wirnik jest podzielony wzdłużnie na dwie części: część dłuższą z zabudowanymi magnesami trwałymi i część krótszą wzbudzaną elektromagnetycznie. Zaletą takiego rozwiązania jest prosta technologia, obydwie części wirnika wykonuje się niezależnie, a następnie montuje się na wspólnym wale. Rozwiązanie to jest korzystne w maszynach dwubiegunowych.

W literaturze spotyka się także propozycje szeregowo-równoległego wzbudzenia hybrydowego. Jednym z nich jest maszyna synchroniczna jawnobiegunowa o parzystej liczbie par biegunów, w której magnesy trwałe umieszcza się na co drugim biegunie i są jednakowo zorientowane względem szczeliny, a uzwojenie wzbudzenia jest cewką okrągłą umieszczoną koncentrycznie na wale bądź dwoma takimi cewkami umieszczonymi z dwóch stron wału. Siła magnetomotoryczna wzbudzenia elektromagnetycznego działa unipolarnie w obwodzie magnetycznym maszyny. Rozwiązanie to nie jest korzystne, gdyż magnesuje wał i jarzmo stojana stałym strumieniem magnetycznym oraz wzbudza niesymetryczny rozkład pola magnetycznego pod biegunami N i S. Jak dotychczas nie wzbudziło ono zainteresowania producentów maszyn elektrycznych. Drugim wariantem rozwiązania szeregowo-równoległego jest, gdy magnesy trwałe są umieszczone na części każdego z biegunów wirnika, a uzwojenie wzbudzenia obejmuje cały biegun. W rozwiązaniu tym uzwojenie wzbudzenia ma objętość i masę taką jak w maszynie synchronicznej bez magnesów trwałych, a strumień magnetyczny generowany przez to uzwojenie jest proporcjonalny do powierzchni nabiegunnika nie objętego działaniem magnesu trwałego. W uzwojeniu wzbudzenia wydzielają się większe straty mocy i istnieją problemy ciepłno-wentylacyjne maszyny.

Celem wynalazku jest opracowanie rozwiązania konstrukcyjnego prądnicy synchronicznej jawnobiegunowej, o liczbie par biegunów $p \geq 2$, ze wzbudzeniem hybrydowym równoległym.

Według wynalazku prądnica synchroniczna ze wzbudzeniem hybrydowym wielobiegunowa o liczbie par biegunów p ma na wirniku (p_{PM}) par biegunów z magnesami trwałymi i (p_{EI}) par biegunów ze wzbudzeniem elektromagnetycznym, a uzwojenie twornika ma $p = (p_{PM} + p_{EI})$ par biegunów. Rozłożenie biegunów ($2p_{EI}$) ze wzbudzeniem elektromagnetycznym na obwodzie wirnika korzystnie jest równomierne i symetryczne. Uzwojenie twornika korzystnie jest sześciofazowe bez grup równoległych, przy czym jedno uzwojenie A1B1C1 jest trójfazowe połączone w gwiazdę, a drugie uzwojenie A2B2C2 jest trójfazowe połączone w trójkąt, przy czym końcówki wyjściowe uzwojeń gwiazdowego A1B1C1 i trójkątnego A2B2C2 są odpowiednio połączone A1A2, B1B2, C1C2 i na wyjściu prądnicy tworzą układ trójfazowy. Uzwojenie twornika może być także sześciofazowe jednorodne, utworzone, przez dwa układy uzwojeń trójfazowych połączonych w gwiazdy bądź w trójkąt. W tym rozwiązaniu przesunięcia fazowe między napięciami dwóch sąsiednich faz mają kąty: $\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{6}$. Uzwojenie wzbudzenia o liczbie par biegunów (p_{EI}) korzystnie jest połączone ze wzbudnicą wirującą, a jeśli nie ma wzbudnicy wirującej, to uzwojenia wzbudzenia o liczbie par biegunów (p_{EI}) jest połączone z pierścieniami ślizgowymi umieszczonymi na wale.

Przedmiot wynalazku jest objaśniony w przykładzie rozwiązania i zilustrowany na rysunkach na których przedstawiono: fig. 1 – przekrój poprzeczny wirnika o liczbie par biegunów $p = 6$, fig. 2 – schemat elektryczny uzwojenia twornika o liczbie faz 2×3 przy czym uzwojenie A1 B1 C1 jest połączone w gwiazdę, a uzwojenie A2B2C2 jest połączone w trójkąt, fig. 3 – wykres wskazowy napięć indukowanych w uzwojeniach połączonych w gwiazdę i w trójkąt, fig. 4 – schemat połączenia uzwojenia 2×3

fazowego twornika w układ dwóch gwiazd połączonych z uzwojeniami transformatora trójuzwojowego Yy0d11 i fig. 5 – wykres wskazowy napięć międzyprzewodowych indukowanych w uzwojeniu 2 x 3 fazowym twornika połączonym w dwie gwiazdy.

Prądnica synchroniczna ze wzbudzeniem hybrydowym wielobiegunowa o liczbie par biegunów p ma na wirniku p_{PM} par biegunów wzbudzanych magnesami trwałymi i p_{EI} par biegunów ze wzbudzeniem elektromagnetycznym. Na rysunku fig. 1 przedstawiono wirnik w przekroju poprzecznym do osi wału o liczbie par biegunów $p = 6$, w tym $p_{PM} = 4$ i $p_{EI} = 2$. Rozłożenie biegunów ze wzbudzeniem elektromagnetycznym $2p_{EI}$ na obwodzie wirnika 1 korzystnie jest równomierne i symetryczne. Bieguny wzbudzone elektromagnetycznie składają się z pieńków 3 i nabiegunnika 5. Na pieńkach 3 biegunów jest umieszczone uzwojenie 7 wzbudzenia. Bieguny wzbudzone magnesami trwałymi 6 składają się także z pieńków 2 i nabiegunników 4. Na nabiegunnikach są umieszczone magnesy trwałe 6. Przy liczbie par biegunów $p_{EI} = 2$ kąt między osiami biegunów 3 wzbudzanych elektromagnetycznie wynosi 90° . Uzwojenie twornika A1B1C1, A2B2C2 prądnicy G ma $p = p_{PM} + p_{EI}$ par biegunów równą liczbie par biegunów wirnika, w prezentowanym przykładzie $p = 6$. Uzwojenie twornika A1B1C1, A2B2C2 korzystnie jest sześciofazowe, przy czym jedno uzwojenie A1B1C1 jest trójfazowe połączone w gwiazdę, a drugie uzwojenie A2B2C2 trójfazowe jest połączone w trójkąt. Uzwojenie twornika prądnicy G korzystnie nie ma grup równoległych, gdyż przy regulacji strumienia magnetycznego uzwojeniem wzbudzenia, strumień magnetyczny w szczelinie pod biegunami 5 wzbudzanych elektromagnetycznie i magnesami trwałymi 6 może mieć różną wartość. Końcówki wyjściowe uzwojeń gwiazdowego A1B1C1 i trójkątnego A2B2C2 są odpowiednio połączone A1A2, B1B2, C1C2 i na wyjściu prądnicy tworzą układ trójfazowy. Takie połączenie uzwojeń można zrealizować tylko wówczas, gdy osie uzwojenia połączonego w gwiazdę A1B1C1 tworzą z osiami uzwojenia połączonego w trójkąt A2B2C2 kąt elektryczny 30° , pokazano to na schemacie uzwojenia fig. 2. Przy kącie elektrycznym 30° , przesunięcia między osiami uzwojeń A1B1C1 i A2B2C2, napięcia międzyfazowe uzwojenia połączonego w gwiazdę: $E_{A1B1} = E_{A1} \mp E_{B1}$, $E_{B1C2} = E_{B1} \mp E_{C1}$, $E_{C1A1} = E_{C1} \mp E_{A1}$ i uzwojenia połączonego w trójkąt E_{A2}, E_{B2}, E_{C2} są dokładnie w fazie, jak to pokazano na wykresie wskazowym na rysunku fig. 3. Te dwa uzwojenia A1 B1C1 i A2B2C2 można zatem połączyć równolegle, jak na rysunku fig. 2. Efektem tego jest zmniejszenie współczynnika rozłożenia uzwojenia w żłobkach o 3,4% w stosunku do uzwojenia jednorodnego trójfazowego w układzie gwiazdy lub trójkąta. Ponadto w układzie tym harmoniczne $\nu = 5$ i $\nu = 7$ w napięciach fazowych kompensują się i nie występują w napięciu międzyfazowym. Drugim wariantem rozwiązania uzwojenia twornika prądnicy G jest uzwojenie sześciofazowe jednorodne. Na rysunku fig. 4 uzwojenie sześciofazowe prądnicy G składa się z dwóch uzwojeń trójfazowych połączonych w gwiazdy. Uzwojenie może być także połączone w układy dwóch trójkątów. Kąty przesunięcia fazowego między napięciami dwóch sąsiednich faz są równe kolejno: $\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2}$. Wykres wskazowy napięć indukowanych w uzwojeniu prądnicy G jest przedstawiony na rysunku fig. 5. Napięcie sześciofazowe korzystnie jest zamieniane na napięcie trójfazowe przez transformator Tr trójuzwojowy Yy0d11, który ma dwa uzwojenia pierwotne y i d oraz jedno uzwojenie wtórne Y, jest to uzwojenie wyjściowe dlatego oznaczone jest dużą literą. Uzwojenia pierwotne transformatora Tr, z którymi są połączone uzwojenia prądnicy G, jedno jest połączone w gwiazdę y, a drugie w trójkąt d. Kąt godzinowy między napięciami na wymienionych uzwojeniach y i d transformatora Tr powinien być równy jednej godzinie, to jest 30° . Uzwojenie Y transformatora Tr może być połączone w gwiazdę bądź w trójkąt, na rysunku fig. 4 uzwojenie Y jest połączone w gwiazdę. Schemat połączenia uzwojeń prądnicy G z uzwojeniami transformatora Tr jest przedstawiony na rysunku fig. 4. W układzie tym są korzystnie eliminowane, w napięciu wyjściowym transformatora Tr, harmoniczne $\nu = 5$ i $\nu = 7$. tym samym uzyskuje się sinusoidalny przebieg napięcia wyjściowego. Uzwojenie sześciofazowe ma o 3,4% większy współczynnik rozłożenia w stosunku do uzwojenia trójfazowego, Uzwojenie wzbudzenia o liczbie par biegunów p_{EI} jest uzwojeniem wirującym i może być zasilane ze wzbudnicy wirującej umieszczonej, na wale prądnicy bądź poprzez pierścienie ślizgowe i szczotki ze wzbudnicy statycznej. Zasilanie uzwojenia wzbudzenia 7, o liczbie par biegunów p_{EI} , z przetwornicy wirującej jest korzystne gdyż nie ma pierścieni ślizgowych i szczotek. Mniejsze są koszty związane z wymianą szczotek i zwiększa jest niezawodność pracy prądnicy.

Prądnica ze wzbudzeniem hybrydowym przy pracy samotnej ma niemożliwość płynnej stabilizacji napięcia przy zmianach mocy obciążenia. Prądnica przy pracy na sieć elektroenergetyczną może być synchronizowana z siecią jak każda maszyna ze wzbudzeniem elektromagnetycznym, a w czasie pracy ustalonej umożliwia regulację, w sposób ciągły, mocy biernej przekazywanej do sieci. Moc czynną reguluje się turbiną: parową, wodną lub wiatrową. Uzwojenie wzbudzenia 7 ma małą masę miedzi, tym samym straty mocy w uzwojeniu wzbudzenia 7 są małe.

Zastrzeżenia patentowe

1. Prądnica synchroniczna ze wzbudzeniem hybrydowym, wielobiegunowa o liczbie par biegunów p , **znamienna tym**, że na wirniku jest umieszczonych (p_{PM}) par biegunów (4) z magnesami trwałymi (6) i (p_{EI}) par biegunów (5) ze wzbudzeniem elektromagnetycznym (7), a uzwojenie twornika A1B1C1 i A2B2C2 ma $p = (p_{PM} + p_{EI})$ par biegunów.
2. Prądnica według zastrz. 1, **znamienna tym**, że rozłożenie biegunów (5) ze wzbudzeniem elektromagnetycznym (7) na obwodzie wirnika korzystnie jest równomierne i symetryczne.
3. Prądnica według zastrz. 1 i 2, **znamienna tym**, że uzwojenie twornika korzystnie jest sześciofazowe bez grup równoległych, przy czym jedno uzwojenie A1B1C1 jest trójfazowe połączone w gwiazdę, a drugie uzwojenie A2B2C2 trójfazowe jest połączone w trójkąt, przy czym końcówki wyjściowe uzwojeń gwiazdowego A1B1C1 i trójkątnego A2B2C2 są odpowiednio połączone A1A2, B1B2, C1C2 i na wyjściu prądnicy tworzą układ trójfazowy.
4. Prądnica według zastrz. 1 i 2, **znamienna tym**, że uzwojenie twornika jest sześciofazowe utworzone przez dwa układy uzwojeń A1B1C1 i A2B2C2 trójfazowych połączonych w gwiazdy bądź w trójkąty z przesunięciem fazowym między napięciami dwóch sąsiednich faz kolejno o kąty: $\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{6}$.
5. Prądnica według zastrz. 1 i 2, **znamienna tym**, że uzwojenie wzbudzenia (7) o liczbie par biegunów (p_{EI}) korzystnie jest połączone ze wzbudnicą wirującą.
6. Prądnica według zastrz. 1 i 2, **znamienna tym**, że uzwojenia wzbudzenia (7) o liczbie par biegunów (p_{EI}) jest połączone z pierścieniami ślizgowymi umieszczonymi na wale.

Rysunki

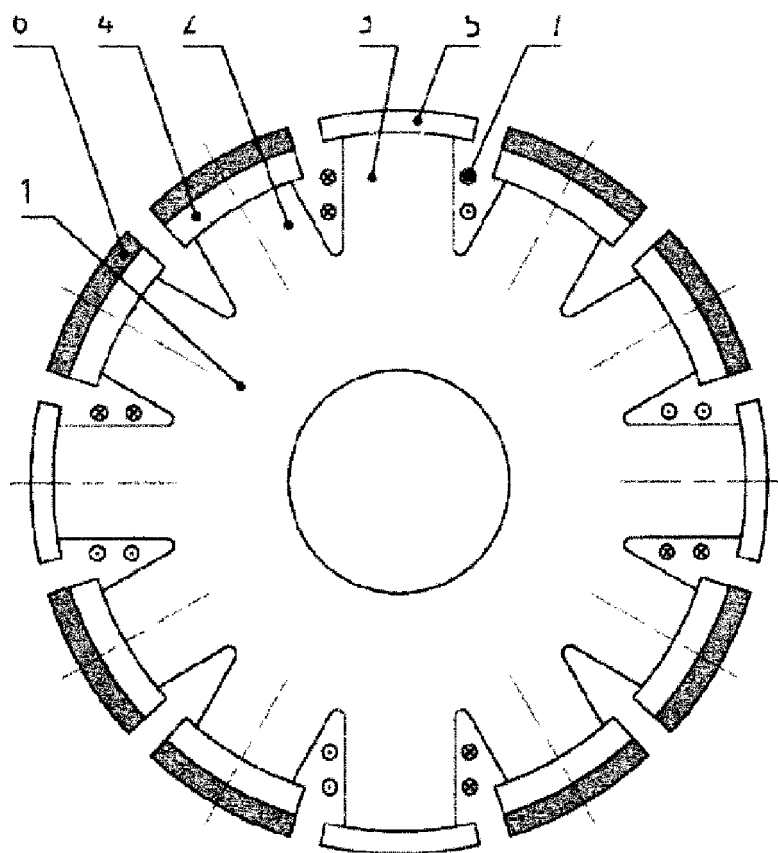


Fig. 1

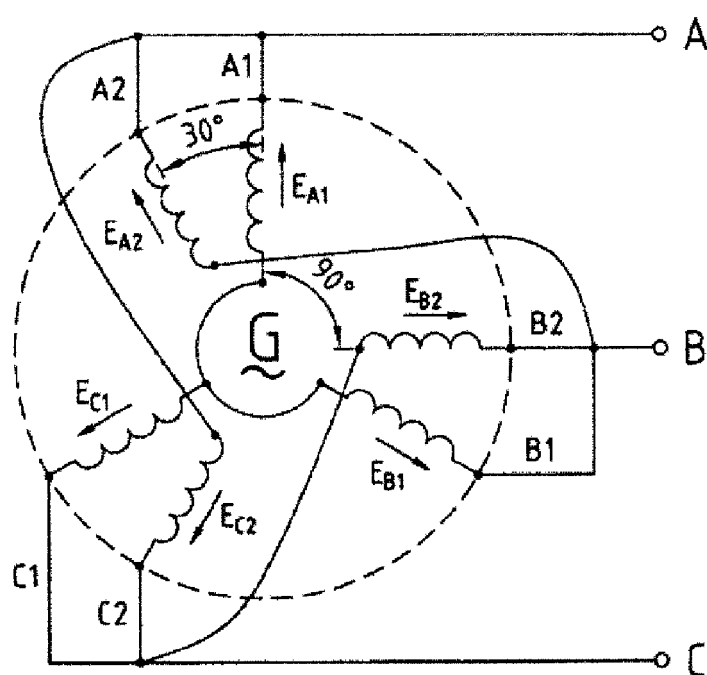


Fig. 2

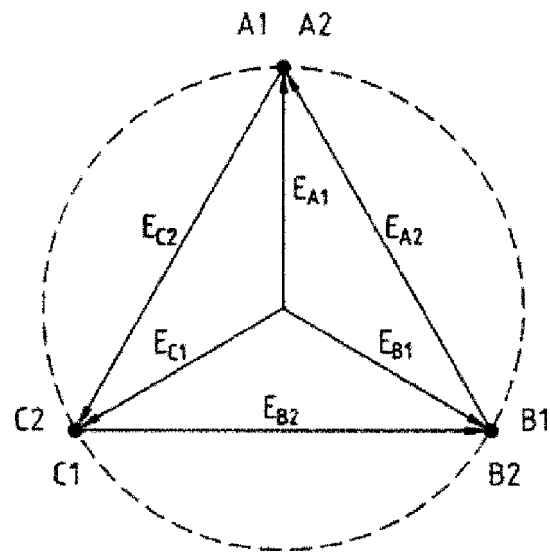


Fig. 3

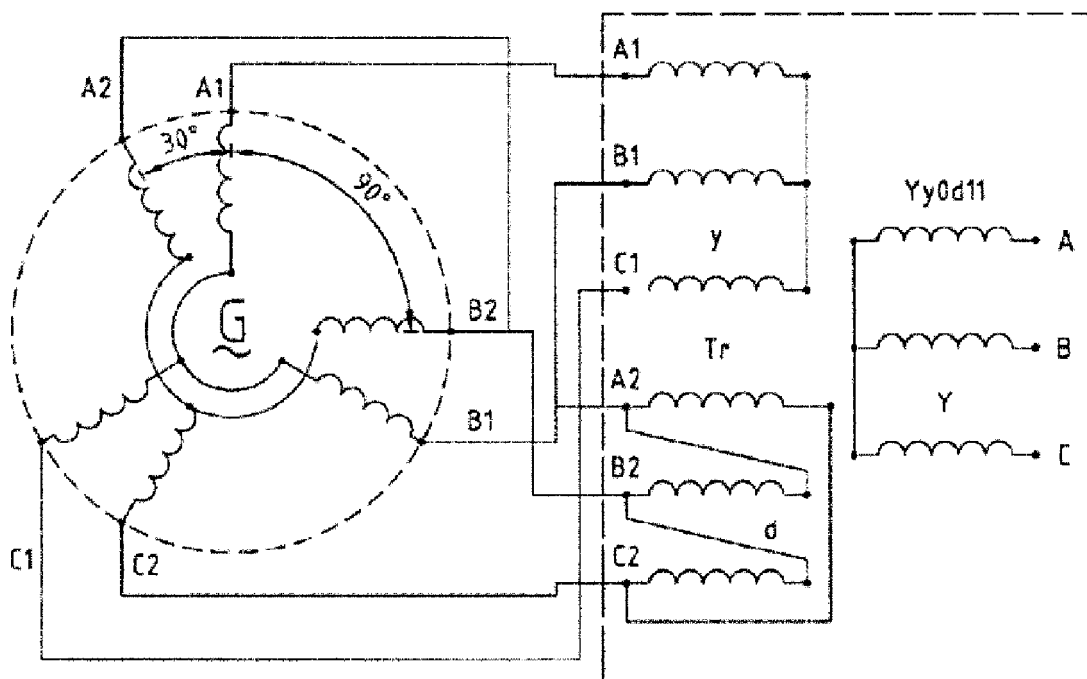


Fig. 4

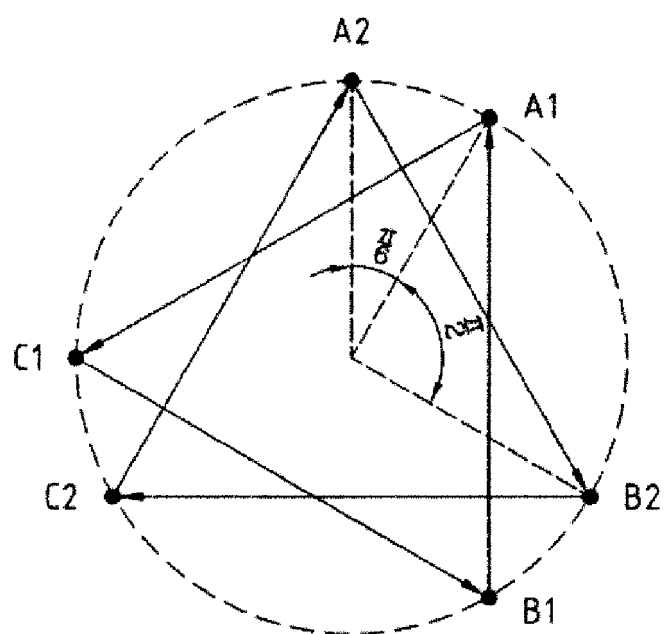


Fig. 5