

Prądnica synchroniczna ze wzbudzeniem hybrydowym

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 równoległe. 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 dowzbudzać obwód magnetyczny lub go odwzbudzać konieczna jest duża siła magnetomotoryczna.

Znany jest z patentu RP 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 umieszczono 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 uzwojenia wzbudzenia ma objętość i masę taką jak w maszynie synchronicznej bez magnesów trwałych, a strumień magnetyczny generowany przez to uzwojenie jest proporcjonalny do powierzchni

nabiegownika 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 jawobiegunowej, 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. Korzystne jest równomierne i symetryczne rozłożenie biegunów ($2p_{EI}$) ze wzbudzeniem elektromagnetycznym na obwodzie wirnika. Korzystne jest, aby uzwojenie twornika nie miało grup równoległych. Korzystne jest, aby uzwojenie twornika było sześciofazowe, przy czym jedno uzwojenie jest trójfazowe połączone w gwiazdę, a drugie uzwojenie trójfazowe jest połączone w trójkąt, przy czym końcówki wyjściowe uzwojeń gwiazdowego A1, B1, C1 i trójkątnego A2, B2, C2 są odpowiednio połączone A1A2, B1B2, C1C2 i na wyjściu prądnicy tworzą układ trójfazowy. Korzystne jest, aby uzwojenie twornika było sześciofazowe utworzone przez dwa układy uzwojeń trójfazowych połączonych w gwiazdy bądź w trójkąty z przesunięciem fazowym między napięciami dwóch sąsiednich faz kolejno o kąty: 90° , 30° , 90° , 30° , 90° , 30° . 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 A2, B2, C2 jest połączone 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 z uzwojeniami transformatora trójuzwojeniowego i fig. 5 - wykres wskazowy napięć indukowanych w uzwojeniu 2×3 fazowym twornika.

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 wału o liczbie par biegunów $p = 6$, w tym $p_{PM} = 4$, a $p_{El} = 2$. Uzwojenie twornika ma $p = (p_{PM} + p_{El})$ par biegunów równą liczbie par biegunów wirnika, w prezentowanym przykładzie ($p = 6$). Korzystne jest równomierne i symetryczne rozłożenie biegunów ($2p_{El}$) ze wzbudzeniem elektromagnetycznym na obwodzie wirnika. Przy liczbie par biegunów $p_{El} = 2$ kąt między osiami biegunów wzbudzanych elektromagnetycznie wynosi 90° . Korzystne jest, aby uzwojenie twornika nie miało grup równoległych, gdyż przy regulacji strumienia magnetycznego uzwojeniem wzbudzenia, strumień magnetyczny w szczelinie pod biegunami wzbudzany elektromagnetycznie i magnesami trwałymi może mieć różną wartość. Korzystne jest, aby uzwojenie twornika było sześciofazowe, przy czym jedno uzwojenie jest trójfazowe połączone w gwiazdę, a drugie uzwojenie trójfazowe jest połączone w trójkąt, przy czym końcówki wyjściowe uzwojeń gwiazdowego A1, B1, C1 i trójkątnego A2, B2, C2 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 A1, B1, C1 tworzą z osiami uzwojenia połączonego w trójkąt A2B2, B2C2, C2A2 kąt 30° . Przy tym kącie przesunięcia osi uzwojeń napięcie międzyfazowe uzwojenia połączonego w gwiazdę nie ma przesunięcia fazowego względem napięcia międzyprzewodowego uzwojenia połączonego w trójkąt. Te dwa uzwojenia można połączyć równolegle. Efektem tego jest zmniejszenie współczynnika rozłożenia uzwojenia w złóbkach o 3,4% w stosunku do uzwojenia jednorodnego w układzie gwiazdy lub trójkąta. Drugim także korzystnym wariantem rozwiązania uzwojenia twornika jest uzwojenie sześciofazowe, utworzone przez dwa układy uzwojeń trójfazowych połączonych w gwiazdy bądź w trójkąty z przesunięciem fazowym między napięciami dwóch sąsiednich faz kolejno o kąty: $90^\circ, 30^\circ, 90^\circ, 30^\circ, 90^\circ, 30^\circ$. Napięcie sześciofazowe jest zamieniane na napięcie trójfazowe przez transformator trójuzwojeniowy, który ma dwa uzwojenia pierwotne i jedno uzwojenie wtórne. Uzwojenia pierwotne transformatora, z którymi są połączone uzwojenia prądnicy, jedno jest połączone w gwiazdę, a drugie w trójkąt. Kąt godzinowy między napięciami na wymienionych uzwojeniach transformatora powinien być równy jednej godzinie, to jest 30° . Uzwojenie wtórne transformatora (uzwojenie wyjściowe) może być połączone w gwiazdę bądź w trójkąt. Układ taki jest przedstawiony na rysunku fig. 4, a wykres wskazowy napięć na rysunku fig. 5. W układzie tym są korzystnie eliminowane w napięciu wyjściowym transformatora 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, o liczbie par biegunów (p_{EI}), z przetwornicy wirującej jest korzystne, jeśli nie ma pierścieni ślizgowych i szczotek, to zmniejszają się koszty związane z wymianą szczotek i zwiększa się niezawodność pracy prądnicy.

Prądnica ze wzbudzeniem hybrydowym przy pracy samotnej ma możliwość 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 ma małą masę miedzi, tym samym straty mocy w uzwojeniu wzbudzenia są małe.

DYREKTOR

dr hab. inż. Jakub Bernatt
prof. KOMEL