

Dwustronnie zasilany generator indukcyjny o wielofazowym wzbudzeniu

Przedmiotem wynalazku jest generator indukcyjny dwustronnie zasilany o wielofazowym uzwojeniu wirnika do zastosowania w turbinie wiatrowej.

Wytwarzanie energii elektrycznej z wiatru jest sprawdzonym i powszechnie stosowanym sposobem pozyskiwania energii elektrycznej bez szkodliwej emisji dwutlenku węgla. Turbiny o mocach dochodzących do pojedynczych megawatów są powszechnie stosowane. Jako przetworniki elektromechaniczne stosuje się klasyczne generatory synchroniczne, generatory synchroniczne z magnesami trwałymi oraz generatory indukcyjne. Alternatywą dla generatorów z magnesami są generatory synchroniczne bez magnesów. Ze względu na charakter pracy turbiny wiatrowej poszukiwane są rozwiązania, które pozwolą na wydajne i niezawodne wytwarzanie energii elektrycznej w szerokim zakresie prędkości obrotowej. W związku z tym w turbinach wiatrowych popularnym rozwiązaniem jest generator indukcyjny dwustronnie zasilany, który z powodzeniem może być zastosowany w turbinie wiatrowej lub innych przemysłowych rozwiązaniach.

Znane są dwustronnie zasilane generatory indukcyjne, które składają się z dwóch głównych obwodów: obwodu stojana z uzwojeniem trójfazowym oraz ruchomym obwodem wirnika z trójfazowym uzwojeniem podłączonym z trzema pierścieniami ślizgowymi. Uzwojenie stojana podłączone jest bezpośrednio do trójfazowej sieci zasilającej. Uzwojenie wirnika jest zasilane z sieci poprzez trójfazowy przekształtnik energoelektroniczny o dwukierunkowym przepływie mocy.

Pomimo opisanego rozwiązania dotyczącego uzwojeń wykonanych jako wielofazowe, dotyczą one konstrukcji w których zmienia się konfigurację połączeń w celu uzyskania zmiany liczby par biegunów maszyny (zmiana prędkości obrotowej). W znanych rozwiązaniach na stojanie jest uzwojenie trójfazowe, które także można sklasyfikować jako wielofazowe ponieważ liczba faz jest większa od 1. Jednakże obecnie w teorii maszyn elektrycznych przyjmuje się coraz częściej, że uzwojenie wielofazowe to uzwojenie o liczbie faz większej niż 3.

Ważną zaletą generatora indukcyjnego podwójnie zasilanego jest możliwość niezależnej kontroli mocy czynnej i biernej po stronie wirnika oraz przekazywanej do sieci mocy czynnej i biernej po stronie stojana. Drugą ważną zaletą jest stosunek mocy oddawanej do sieci z uzwojenia stojana do mocy uzwojenia wirnika zasilanego z przekształtnika, która wynosi typowo 3:1, co z kolei przekłada się na mniejszą moc przekształtnika w stosunku do innych rozwiązań generatorów pracujących ze zmienną prędkością obrotową. Bezsprzecznie największą zaletą generatora indukcyjnego dwustronnie zasilanego jest możliwość pracy w szerokim zakresie obrotów wału maszyny (typowo od 0,7 do 1,3 prędkości synchronicznej) oraz dobre parametry techniczne jakości energii przekazywanej do sieci. Funkcje te są bardzo korzystne ze względu na maksymalizację energii pozyskiwanej z wiatru szczególnie dla generatorów dużej mocy. Dużą wadą takiego generatora jest czułość na zakłócenia napięcia po stronie stojana oraz brak możliwości kontynuowania pracy w przypadku wystąpienia awarii w chociaż jednej z gałęzi przekształtnika zasilającego obwód wirnika. Z tego względu wciąż poszukuje się lepszych rozwiązań pozbawionych tych niedogodności, co stanowiło cel wynalazku.

Opisywany wynalazek bazuje na znanej przedstawionej wyżej konstrukcji generatora indukcyjnego podwójnie zasilanego, jednakże umożliwia zastosowanie w konstrukcji wynalazku pięciofazowego uzwojenia wirnika. Uzwojenie to jest zasilane poprzez dedykowany pięciofazowy przekształtnik energoelektroniczny.

Dzięki zastosowaniu uzwojenia pięciofazowego na wirniku maszyny, zamiast trójfazowego, uzyskuje się zwiększoną niezawodność generatora, a tym samym niższe koszty serwisu i przeglądów. Układ jest w stanie pracować nawet przy uszkodzonych dwóch fazach uzwojenia zasilania wirnika. Wynalazek cechuje również mała czułość na zakłócenia napięcia po stronie stojana.

Kolejną ważną zaletą jest niska wrażliwość na asymetrię przy zasilaniu z sieci energetycznej, a co za tym idzie, również niskie drgania wynikające z pulsacji elektromagnetycznego momentu obrotowego. Zastosowanie uzwojenia pięciofazowego jest również związane z niższą wartością prądów fazowych

płynących w wirniku, co przekłada się na zmniejszenie wymiarów geometrycznych styków ślizgowych. Generator z uzwojeniem pięciofazowym w wirniku cechuje się również lepszymi parametrami jakości energii przekazywanej do sieci w stosunku do rozwiązania standardowego z uwagi na możliwość generowania dodatkowych harmonicznego napięcia po stronie stojana w celu kompensacji zakłóceń pochodzących z sieci zasilającej lub asymetrii obwodu magnetycznego maszyny.

Rozwiązanie według wynalazku zostało zilustrowane w przykładzie wykonania i na rysunku, gdzie Fig.1 przedstawia przekrój poprzeczny generatora.

Przykład

Jak pokazano na Fig. 1, generator indukcyjny podwójnie zasilany ma konstrukcję cylindryczną i jest zbudowany z następujących elementów konstrukcyjnych: stojan 1, wirnik 2, pierścienie ślizgowe w liczbie pięć wraz ze szczotkami i szczotkotrzymaczami 3, przekształtnik energoelektroniczny 4, wał wirnika 5.

Szczotkotrzymacz 3 stanowi inaczej uchwyt, który służy do montażu szczotek mających bezpośredni kontakt z wirującymi pierścieniami ślizgowymi.

Szczotki wykonane są z grafitu i są nieruchome względem pierścieni ślizgowych.

Jest pięć szczotek grafitowych umieszczonych w szczotkotrzymaczu 3 które wraz z pierścieniami ślizgowymi tworzą styki ślizgowe.

Stojan 1 jest elementem nieruchomym maszyny. Rdzeń magnetyczny stojana wykonany jest z pakietów blach elektrotechnicznych. W żłobkach stojana o liczbie Q_s , rozmieszczone jest klasyczne uzwojenie trójfazowe wykonane z miedzi. Istotnym jest fakt, aby liczba żłobków wirnika Q_w , była podzielna bez reszty przez liczby naturalne 3 i 5 oraz aby była różna od liczby żłobków stojana Q_s . W teorii maszyn elektrycznych oznaczenie typu Q_s jest stosowanie standardowo i dotyczy ilości żłobków stojana rozmieszczonych na obwodzie pakietu blach elektrotechnicznych.

W tym przykładzie liczba żłobków stojana Q_s jest równa 36, natomiast liczba żłobków wirnika Q_w wynosi 30.

Początek i koniec uzwojenia stojana wyprowadzone jest na tabliczkę zaciskową umiejscowioną na obudowie maszyny. Trójfazowe uzwojenie stojana jest podłączone do sieci elektroenergetycznej.

Wirnik 2 jest to element wirujący maszyny. Rdzeń magnetyczny wirnika wykonany jest z pakietów blach elektrotechnicznych. W żłobkach wirnika o liczbie Q_w , umieszczone jest uzwojenie pięciofazowe i jest wykonane z miedzi. Początki poszczególnych faz uzwojenia wirnika są podłączone do kolejnych pierścieni ślizgowych 3. Natomiast końce wszystkich faz uzwojenia wirnika są ze sobą połączone w sposób trwały. Ilość pierścieni ślizgowych w proponowanym rozwiązaniu jest równa ilości uzwojeń fazowych wirnika i wynosi 5. Pierścienie ślizgowe wykonane są z mosiądzu lub innego materiału przewodzącego.

Oba elementy wirnik 2 i pierścienie ślizgowe 3 są osadzone na wspólnym wale 5. Z uwagi na zasadę działania generator indukcyjnego podwójnie zasilanego z wielofazowym uzwojeniem wirnika energia elektryczna na stronę wirnika dostarczana jest poprzez przekształtnik energoelektryczny 4.

Przekształtnik energoelektroniczny 4, stanowi w zależności od przyjętej konfiguracji regulowane źródło napięcia lub prądu zasilające pięciofazowy obwód wirnika poprzez styki ślizgowe 5 będące w kontakcie z wirującymi pierścieniami 3, umieszczonymi na wale generatora. Przekształtnik energoelektroniczny w obwodzie wirnika składa się zasadniczo z dwóch przemienników częstotliwości, maszynowego oraz sieciowego, łączących trójfazową sieć elektryczną o stałej częstotliwości napięcia równej 50Hz z pięciofazowym obwodem wirnika generatora w którym sygnały elektryczne charakteryzują się zmienną częstotliwością. Zadaniem przekształtnika jest zasilanie obwodu wirnika poprzez zmianę wartości napięcia lub prądu na zaciskach wirnika z uwzględnieniem zmian częstotliwości sygnałów elektrycznych wynikających z zasady działania generatora oraz zmieniającej się prędkości obrotowej wału generatora. Cechą charakterystyczną przekształtnika energoelektronicznego jest praca czterokwadrantowa, co wiąże się z koniecznością przepływu energii elektrycznej w kierunku od sieci do wirnika maszyny oraz od wirnika do sieci elektrycznej. Stan ten determinowany jest punktem pracy generatora. W zakresie pracy generatorowej w obwodzie stojana kierunek prądu i_s jest niezmienny tzn. od

generatora do sieci elektrycznej, natomiast kierunek przepływu prądu wirnika i_r , a tym samym prądu przekształtnika sieciowego i_{ps} , zależy od aktualnej prędkości wirowania wału generatora względem pola magnetycznego stojana.