

Warszawa, dnia 20 czerwca 1953 r.

H02k 15/00



POLSKIEJ RZECZYPOSPOLITEJ LUDOWEJ

OPIS PATENTOWY

Nr 35178

Kl. 21 d', 51

Paul Hoffman
(Neunegg, Szwajcaria)

Sposób zaoszczędzania miedzi twornikowej i osiągania większej obciążalności przy danej mocy i sprawności maszyn elektrycznych

Udzielono patentu z mocą od dnia 16 listopada 1950 r.

Pierwszeństwo: 19 listopada 1949 r. (Szwajcaria)

Wynalazek dotyczy sposobu zaoszczędzania miedzi twornikowej oraz uzyskiwania większej obciążalności przy danej mocy i sprawności maszyn elektrycznych i charakteryzuje się tym, że dla danej maszyny elektrycznej określa się przebieg wzrostu strat omowych, występujących wraz ze stopniowym zmniejszaniem przekroju przewodów twornikowych i z równoczesnym zmniejszaniem się strat pośrednich, zachodzącym przy stopniowym przemieszczaniu się przewodnika twornikowego w żłobku w kierunku obszaru linii sił o małej krzywiznie, po czym ustala się stan warunków optymalnych.

Rozwój techniki budowy maszyn elektrycznych doprowadził do stosowania coraz to większej gęstości prądu. Niezależnie od stosowania lepszych materiałów na obudowę, mianowicie zamiast żeliwa, staliwa lub stali walcowanej, coraz racjonalniejsze wykorzystanie przestrzeni w żłobkach twornika zajętej przez uzwojenie, doprowadziło do coraz korzystniejszego stosunku mocy

maszyny do jej ogólnego ciężaru, pozwalając na uzyskanie znacznej oszczędności materiału. Przez zastosowanie miedzi profilowej zwiększono moc maszyny w granicach dopuszczalnego jej nagrzewania. Na podstawie dotychczas stosowanych metod pomiarowych powstał pogląd, że poza stratami dającymi się zmierzyć bezpośrednio występują jeszcze pewne straty dodatkowe.

Zgodnie z pomiarami pośrednimi owe straty dodatkowe wynoszą naogół 0—1% zwiększonej w powyższy sposób mocy. Dzięki zastosowaniu prętów siatkowych powstające straty dodatkowe obniżono jeszcze bardziej. Według danych z praktyki, w większych maszynach np. w maszynie o mocy 35 kw, straty dodatkowe wynoszą 0,5%. Pod tym kątem widzenia obliczano i budowano dotychczas maszyny elektryczne. Wynika stąd określone zużycie materiału w stosunku do osiągniętej mocy maszyny.

Wieloletnie badania nad istotą zjawiska indukcji doprowadziły do stwierdzenia, że rzeczy-

wiste straty dodatkowe, które wespół ze stratami omowymi powodują nagrzewanie uzwojenia twornika, muszą być znacznie większe.

Dzięki nowym metodom określania rzeczywistych strat dodatkowych w maszynach elektrycznych, stwierdzono istotnie ich większą wartość, niż to wynikało z dotychczasowych sposobów ich określania.

Dalsze badania przebiegu linii sił w żłobku twornika dały jednoznaczne wyniki odnośnie znacznych strat dodatkowych, ustalonych dzięki nowym metodom pomiarowym. Linie sił w żłobkach twornika przebiegają nie prostoliniowo, lecz krzywoliniowo. Przebieg linii sił jest zasadniczo zależny od stopnia nasycenia magnetycznego żelaza twornika, od wielkości szczeliny powietrznej, od wymiarów żłobka, a także od szerokości zęba twornika przy wierzchołku i u podstawy. Wynika stąd stosunek podziałowy między średnicą twornika i wymiarami twornika.

Wysokie straty dodatkowe przyczyniają się w znacznym stopniu do nagrzewania uzwojenia twornika, czego nie można było dokładnie stwierdzić na podstawie dotychczasowych metod pomiarowych, przy czym nagrzewanie to było do tej pory przypisywane prawie całkowicie stratom omowym. Przyczyna tego stanu tkwiła w okoliczności, że straty dodatkowe były kompensowane działaniem jakiegoś dotąd nieznanego zjawiska, pozostającego w związku przyczynowym z tymi stratami oraz z prądem twornika.

W celu usunięcia przynajmniej częściowo strat dodatkowych, przewody twornika winny być dobrane w ten sposób, aby uniknąć powstawania w nich prądów wyrównawczych. Należy zatem ułożyć w określonym żłobku twornika tylko tę ich część, która wykazuje najmniejsze różnice napięć w danym układzie linii sił. Następnie zaleca się dobrać w ten sposób miedź profilową, aby jej kształt odpowiadał przebiegowi linii sił.

Prowadzi to do stosowania mniejszych przekrojów przewodów oraz do jedynie częściowego wykorzystania przestrzeni nawojowej w żłobku twornika. Dzięki wyeliminowaniu w ten sposób znacznej części strat dodatkowych, uzyskuje się możliwość wydatnego zwiększenia gęstości prądu w tworniku. Osiąga się zatem w praktyce tę zaletę, że przy znacznie mniejszej ilości miedzi twornika można uzyskać taką samą lub nawet większą moc maszyny, przy tej samej lub nawet wyższej sprawności. Sposób ten daje się zastosować wszędzie tam, gdzie występuje zjawisko in-

dukcji wzajemnej. Największe możliwości dają maszyny elektryczne prądu stałego, lub zmiennego, między innymi maszyny o wirniku zwartym.

Szczegółowy sposób według wynalazku są objaśnione bliżej w oparciu o rysunek, na którym fig. 1—4 przedstawiają różne przebiegi linii sił w żłobku twornika, fig. 5 zaś przedstawia wykres zależności średnicy twornika od współczynnika wzrostu obciążalności.

Linie sił w żłobkach twornika nie przebiegają prostoliniowo jak to uwidoczniło na fig. 1, lecz tworzą linie krzywe uwidocznione na fig. 1a, co jest zresztą rzeczą znaną. Jeżeli linie sił przebiegają np. prostoliniowo i równolegle, jak to wynika z fig. 2 albo, jeszcze lepiej, w kierunku promieniowym, to ułożony w żłobku twornika przewód przecina linie sił pod kątem prostym, w związku z czym nie mogą powstawać praktycznie biorąc żadne straty dodatkowe.

W tym przypadku, który praktycznie jest jednak nieosiągalny, występują w przewodzie, przez który przepływa prąd, jedynie straty omowe.

W rzeczywistości linie sił przebiegają tak, jak to przedstawia fig. 2a. Przewód twornika nie przecina więc linii sił pod kątem prostym. Jeżeli rozpatrzyć, jak to wskazuje fig. 2b, przewód 1 twornika (fig. 2a i 2b) to można wyraźnie stwierdzić, że w każdym punkcie tego przewodu występuje inny potencjał, naskutek czego powstają w nim szkodliwe prądy wyrównawcze. Wyznacza się je za pomocą pośrednich metod pomiarowych, przy czym określa się je w bilansie energetycznym maszyn elektrycznych jako straty dodatkowe. Jeżeli założyć prawidłowość dotychczasowej pośredniej metody określania strat dodatkowych w maszynach elektrycznych, wówczas przewody twornika są nagrzewane przy pełnym obciążeniu maszyny stratami omowymi oraz owym 0—1% strat dodatkowych odniesionych do określonej mocy maszyny.

Nowe metody pomiarowe, jak również badania nad przebiegiem linii sił w żłobku twornika w czasie indukcji wykazały, że straty dodatkowe w przewodzie twornika przyczyniają się w znacznie większym stopniu do nagrzewania przewodu twornikowego, niż to dotychczas sądzono. W celu uniknięcia tych znacznych strat dodatkowych, należy dążyć do tego, aby krzywizna linii sił w obrębie żłobka twornika była możliwie jak najmniejsza. Można to osiągnąć przez wywołanie w normalnych warunkach pracy maszyny elektrycznej nasycenia albo jeszcze lepiej nadmier-

nego nasycenia żelaza u podstawy zęba. Również szczelina powietrzna, a więc odległość między twornikiem i magniesnicą, posiada zasadniczy wpływ na wielkość krzywizny linii sił w obrębie żłobka twornika. Szerokość szczeliny powietrznej może wynosić najwyżej 6% średnicy twornika. Przy większej szerokości szczeliny powietrznej można osiągnąć żądany przebieg linii sił, jednak uzyskana oszczędność będzie wówczas znacznie mniejsza, na skutek wyższych strat w uzwojeniu wzbudzenia i większych wymiarów jarzma biegunowego.

Z nasycenia podstawy zęba twornika i szczeliny powietrznej wynika, zgodnie ze znanym sposobem obliczania, najbardziej celowa szerokość i głębokość żłobka. Za pomocą wyżej podanych środków, przy dobrym współczynniku wypełnienia w żłobku twornika — a więc przy pełnym wykorzystaniu przestrzeni nawinięcia — uzyskuje się to, że straty dodatkowe, określone w sposób pośredni, redukuje się do zera.

W celu usunięcia głównej części istotnie występujących strat dodatkowych przewód twornikowy należy umieścić w żłobku twornika jedynie w tej części, a której współczynnik krzywizny w procesie indukcyjnym jest najmniejszy.

Przy budowie maszyn elektrycznych liczba żłobków, jak również ich szerokość i głębokość dobiera się tak, aby przy prawidłowej szczelinie powietrznej i odpowiednim stopniu nasycenia linii sił przebiegały w sposób, pokazany na fig. 3. Przy normalnym wypełnieniu żłobków powstają, jak to pokazano na fig. 3a, w pobliżu ścianek żłobka największe straty dodatkowe, ponieważ linii sił wykazują tam największą krzywiznę. Jeżeli natomiast, jak to pokazano na fig. 3b, poprzeczny przekrój zmniejsza się o połowę i przewód twornikowy układa się do połowy żłobka twornika, wówczas główna część linii sił o dużym współczynniku krzywizny, szkodliwych dla dodatkowych strat, zostaje wyłączona, a przewód twornikowy obciążany jest wówczas znacznie więcej. Większa część dodatkowych strat, powodujących nagrzewanie przewodu zostaje usunięta.

Poniżej podany jest przykład liczbowy.

Maszyna prądu stałego o zwykłej budowie posiada ząb twornika i żłobek twornikowy z normalnym nawinięciem według fig. 4. Gęstość pola, szczelina powietrzna, ilość żłobków oraz ich szerokość i głębokość warunkują przebieg linii sił, jak to wyjaśnia fig. 4. W maszynie tej dodatkowe straty zostały określone jako prawie równe

zeru za pomocą pośredniej metody pomiarowej. Gęstość prądu przy 57° temperatury wynosi 4,6 A/mm².

Na podstawie niedawno powstałej bezpośredniej metody pomiarowej, stosowanej do określania rzeczywiste występujących w przewodzie twornikowym strat dodatkowych, zostały one określone na 8% przy gęstości prądu wynoszącego 4,6 A/mm². Przez zmniejszenie przekroju przewodu twornikowego o 45% (1,9 mm x 5,5 mm) i wstawienia cewek zwojowych do środka żłobka twornika (32% wypełnienia), jak to pokazano na fig. 4a, istotnie występujące straty dodatkowe zostają zmniejszone z 8% na 5%, ponieważ w procesie indukcyjnym linii sił przecinają najkorzystniej przewód twornikowy i w ten sposób stosunek strat dodatkowych do strat omowych staje się stosunkiem optymalnym, odnośnie danej mocy maszyny. Ponieważ po przewinięciu istotnie występujące straty dodatkowe zostały prawie usunięte, nowo dobrany przekrój przewodu twornikowego obciążono prądem 11 A/mm², nie przekraczając przez to najwyższej dopuszczalnej temperatury 60° i nie zmniejszając mocy. Moc wzrasta na podstawie dotychczas nieznanego prawa, znajdującego się w związku przyczynowym z dodatkowymi stratami i prądem twornikowym.

Pewna maszyna przy dotychczasowym sposobie nawinięcia mogła być obciążona prądem 155 przy 230 V. Po przewinięciu jak to wskazuje fig. 4a, maszynę na 230 woltów i tej samej liczbie obrotów oraz tej samej wentylacji obciążono prądem 215 A, nie przekraczając przez to 60° temperatury, co wynosi 1,4-krotne obciążenie maszyny.

Na fig. 5 przedstawiono zależność średnicy twornika od współczynnika wzrostu obciążenia. Według otrzymanej charakterystyki maszyna omówiona w powyższym przykładzie, której średnica twornika wynosiła 280 mm, winna wykazywać po przewinięciu 1,4-krotną obciążalność w porównaniu z maszyną nie przewiniętą.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób zaoszczędzania miedzi twornikowej i osiągania większej obciążalności przy danej mocy i sprawności maszyn elektrycznych, znamienny tym, że dla danej maszyny elektrycznej określa się przebieg wzrostu strat omowych, występującego wraz ze stopniowym zmniejszaniem przekroju przewodu twornikowego, przy jednoczesnym zmniejsza-

niu się stracił pośrednich w związku ze stopniową zmianą położenia przewodu twornikowego w żłobku w stosunku do linii sił o małej krzywiznie, wyznaczając na tej podstawie wielkość stosunku optymalnego.

2. Sposób według zastrz. 1, znamienny tym, że zmiany położenia przewodu twornikowego w żłobku, związane z wypełnieniem żłobka przez przewód twornikowy są tego rodzaju, iż odnośne straty dodatkowe wynoszą co najwyżej 1,5%.
3. Sposób według zastrz. 1, znamienny tym, że

przewód twornikowy wypełnia tylko tę część żłobka, która odpowiada najmniejszemu rozproszeniu magnetycznemu.

4. Sposób według zastrz. 1, znamienny tym, że profil przewodu twornikowego dobiera się tak, by jego kształt był dostosowany do przebiegu linii sił, na skutek czego te ostatnie są przecinane przez przewód pod kątem, zbliżonym jak najbardziej do kąta prostego.

Paul Hoffmann

Zastępca: Kolegium Rzeczników Patentowych



