

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 242554 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **438154**

(22) Data zgłoszenia: **2021.06.14**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2021.12.20 BUP 38/2021**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.03.13 WUP 11/2023**

(51) MKP:

H02K 16/00 (2006.01)

H02K 7/18 (2006.01)

F03D 9/25 (2016.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA,
Częstochowa, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**MAREK LIS, Częstochowa, PL
ANDRZEJ POPENDA, Częstochowa, PL**

(54) Tytuł:

Generator elektryczny z wewnętrznym powielaczem częstotliwości

PL 242554 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest generator elektryczny z wewnętrznym powielaczem częstotliwości.

Typowa maszyna elektryczna zawiera zespół stojana, który jest konstrukcją stacjonarną, oraz zespół wirnika wraz z wałem napędowym, który porusza się ruchem obrotowym względem zespołu stojana. Stojan konwencjonalnej maszyny prądu przemiennego, indukcyjnej lub synchronicznej, zawiera uzwojenia, podczas gdy wirnik, w zależności od typu maszyny, zawiera magnesy trwałe lub elektromagnesy albo uzwojenia w postaci cewek lub klatki. Znane są również maszyny elektryczne o odwróconych rolach stojana i wirnika, do których należy zaliczyć m. in. konwencjonalne maszyny prądu stałego. Stojan i wirnik maszyny synchronicznej lub indukcyjnej są skonfigurowane do współpracy ze sobą w celu wytwarzania wirującego pola magnetycznego, które indukuje napięcia w uzwojeniach maszyny.

Jedną z wad konwencjonalnych maszyn elektrycznych prądu przemiennego jest to, że napięcie indukowane w uzwojeniach oraz jego częstotliwość są bezpośrednio lub blisko skorelowane z prędkością obrotową wirnika, co oznacza, że w celu zwiększenia wartości napięć indukowanych oraz ich częstotliwości należy stosować maszyny o znacznej prędkości obrotowej, co pociąga za sobą wzrost energii mechanicznej dostarczanej do wału i może przyczynić się do spadku sprawności maszyny elektrycznej. Analogiczne problemy związane z korelacją prędkości obrotowej i napięcia indukowanego dotyczą maszyn prądu stałego. Inną wadą jest to, że sterowanie wysokoobrotowymi maszynami elektrycznymi jest skomplikowane, ponieważ im wyższa prędkość obrotowa, tym bardziej skomplikowana jest jej regulacja i/lub utrzymywanie na stałym poziomie.

Znane są również napędy generatorów elektrycznych, np. turbiny wiatrowe, które charakteryzują się niską prędkością obrotową i w celu jej podwyższenia trzeba stosować przekładnię mechaniczną. Istnieje zatem zapotrzebowanie na maszyny elektryczne, które umożliwiają generowanie napięć o odpowiedniej wartości i częstotliwości przy niskich prędkościach obrotowych.

Oprócz opisanych maszyn jednowirnikowych o zwiększonej prędkości obrotowej znane są również z opisów patentowych dwuwirnikowe maszyny elektryczne np. z DE10002092, w których występuje efekt zwiększenia napięcia indukowanego w uzwojeniach oraz jego częstotliwości. Są to maszyny napędzane przeciwbieżnie dwiema niezależnymi turbinami np. GB2447283, DE 19543458 czy w lub przekazujące napęd z wału jednego wirnika na drugi za pośrednictwem przekładni mechanicznej np. w WO2019142221 i US2012068472. W drugim rozwiązaniu efekt zwiększenia napięcia indukowanego w uzwojeniach oraz jego częstotliwości osiągnięto poprzez zastosowanie rotacji przeciwnej między przewodem a polem magnetycznym, zwiększając w ten sposób prędkość względną, przy jednoczesnym utrzymaniu niskiej prędkości wału. W związku z tym, poprzez obrót w przeciwnych kierunkach, zwiększono wydajność maszyny ze względu na to, że to samo napięcie wyjściowe jest wytwarzane przy niższej prędkości wejściowej. Wprowadzenie opartego na przekładni mechanicznej zespołu napędowego do generatora dwuwirnikowego o jednym wale napędowym zapewniło uzyskanie większej prędkości względnej obu wirników w porównaniu do prędkości względnej między stojanem a wirnikiem w generatorze konwencjonalnego typu, przy zachowaniu tej samej prędkości obrotowej wału napędowego. Jednocześnie zwiększona prędkość względna wirników w generatorze dwuwirnikowym, przy zachowaniu równoważnego momentu obrotowego na wale generatorów obu typów, zwiększyła moc wyjściową generatora dwuwirnikowego w porównaniu z generatorem konwencjonalnym.

Niniejszy wynalazek pozwala zwiększyć wydajność maszyny w sposób wyłącznie elektryczny, tj. bez potrzeby stosowania podwójnego napędu zewnętrznego lub przekładni mechanicznej. Zastąpienie przekładni mechanicznej napędem elektrycznym skutkuje redukcją niekorzystnych zjawisk związanych z zastosowaniem przekładni mechanicznej, np. luzów czy strat energii w przekładni, szczególnie przy podwyższaniu prędkości. Ogólnie wiadomo, że zwiększenie napięcia maszyn elektrycznych prądu przemiennego, powiązane z jednoczesnym zwiększeniem częstotliwości, pozwala na uzyskanie większej mocy wyjściowej przy zachowaniu tych samych parametrów konstrukcyjnych obwodu magnetycznego oraz uzwojenia twornika, tj. liczby zwojów i przekroju przewodów, a w rezultacie nie ulegają zmianie wymiary geometryczne maszyny.

Celem wynalazku jest opracowanie takiej konstrukcji generatora elektrycznego z wewnętrznym powielaczem częstotliwości, który będzie miał wyższą wydajność w porównaniu z konwencjonalnymi generatorami prądu przemiennego, polegającej na uzyskaniu wyższych wartości generowanego napięcia i częstotliwości bez konieczności podwyższania prędkości obrotowej wału lub na uzyskaniu tego samego napięcia i częstotliwości przy niższej prędkości wejściowej, oraz o odmiennym sposobie uzyskania wyższej wydajności niż w generatorach dwuwirnikowych znanych z opisów patentowych.

Istotą wynalazku jest generator elektryczny z wewnętrznym powielaczem częstotliwości charakteryzujący się tym, że na wale generatora z jedną końcówką napędową jest zamocowany nieruchomo względem wału, w zależności od wariantu, pakietowany rdzeń wirnika lub prądnicy elektrycznej prądu przemiennego (synchronicznej, asynchronicznej lub indukcyjnej) z trójfazowym uzwojeniem osadzonym w żłobkach (fig. 1, 2, 3) albo lity rdzeń wirnika z magnesami trwałymi (fig. 4) albo pakietowany rdzeń wirnika uzwojeniem klatkowym (fig. 5). Wokół wirnika prądnicy osadzony jest nieruchomo w korpusie generatora, w zależności od wariantu, lity rdzeń stojana prądnicy synchronicznej z magnesami trwałymi (fig. 1) lub pakietowany rdzeń stojana prądnicy asynchronicznej z uzwojeniem trójfazowym (fig. 2) lub pakietowany rdzeń stojana prądnicy indukcyjnej z uzwojeniem klatkowym (fig. 3) lub pakietowany rdzeń stojana prądnicy synchronicznej z uzwojeniem trójfazowym (fig. 4) lub pakietowany rdzeń stojana prądnicy indukcyjnej z uzwojeniem trójfazowym (fig. 5). Obok wirnika prądnicy na wale jest zamocowany nieruchomo względem wału pakietowany rdzeń wirnika (fig. 1, 2, 3) lub (fig. 4, 5) pierwszego stopnia wewnętrznego powielacza częstotliwości z trójfazowym uzwojeniem, odpowiednio, wokół wirnika pierwszego stopnia wewnętrznego powielacza częstotliwości osadzony jest nieruchomo w korpusie generatora pakietowany rdzeń stojana (fig. 1, 2, 3 lub fig. 4, 5) pierwszego stopnia powielacza z trójfazowym uzwojeniem. Obok wirnika pierwszego stopnia powielacza częstotliwości na wale jest zamocowany nieruchomo względem wału pakietowany rdzeń wirnika drugiego stopnia powielacza częstotliwości z trójfazowym uzwojeniem (fig. 1, 2, 3). Wokół wirnika drugiego stopnia powielacza częstotliwości osadzony jest nieruchomo w korpusie generatora pakietowany rdzeń stojana drugiego stopnia powielacza z trójfazowym uzwojeniem (fig. 1, 2, 3). Obok wirników prądnicy i kolejnych stopni powielacza częstotliwości na wale jest zamocowany nieruchomo względem wału pakietowany rdzeń wirnika k-tego stopnia powielacza częstotliwości z trójfazowym uzwojeniem. Wokół wirnika k-tego stopnia powielacza częstotliwości osadzony jest nieruchomo w korpusie generatora pakietowany rdzeń 2 k-tego stopnia powielacza z trójfazowym uzwojeniem, którego przewody zasilające są wyprowadzone na zewnątrz korpusu generatora. Korzystnie trójfazowe uzwojenie osadzone w żłobkach pakietowanego rdzenia wirnika (fig. 1, 2, 3) albo trójfazowe uzwojenie osadzone w żłobkach pakietowanego rdzenia stojana (fig. 4, 5) prądnicy prądu przemiennego (synchronicznej, asynchronicznej lub indukcyjnej) połączone jest elektrycznie trzema przewodami, z trójfazowym uzwojeniem, ułożonym w żłobkach pakietowanego rdzenia wirnika (fig. 1, 2, 3) lub pakietowanego rdzenia stojana (fig. 4, 5) pierwszego stopnia wielostopniowego powielacza częstotliwości, posiadającego analogiczne połączenia między stopniami, jak połączenie między prądnicą a pierwszym stopniem powielacza, co skutkuje: (a) zwielokrotnieniem częstotliwości napięcia indukowanego w uzwojeniu k-tego stopnia powielacza częstotliwości w stosunku do częstotliwości napięcia indukowanego w uzwojeniu prądnicy prądu przemiennego, zależnym od parametrów konstrukcyjnych prądnicy i poszczególnych stopni powielacza częstotliwości oraz ich ilości, jak również (b) napięciem indukowanym w uzwojeniu proporcjonalnym do zwielokrotnionej częstotliwości. Zwielokrotnione wartości generowanego napięcia i częstotliwości w porównaniu z konwencjonalnymi generatorami prądu przemiennego uzyskuje się wskutek zwiększenia prędkości wirowania pola magnetycznego w kolejnych stopniach powielacza częstotliwości, które to zwiększenie nie jest wynikiem podwyższenia prędkości obrotowej wału. Korzystnie generator posiada jeden wał napędowy oraz $k+1$ wirników osadzonych na tym wale, należących odpowiednio do prądnicy prądu przemiennego i kolejnych stopni powielacza częstotliwości, które wirują współbieżnie z jednakową prędkością obrotową.

Generator elektryczny z wewnętrznym powielaczem częstotliwości, będący przedmiotem wynalazku, jest maszyną elektryczną wielostrukturalną o jednym wale, z jedną strukturą prądnicową i wieloma strukturami przetwarzającymi częstotliwość. Struktura prądnicowa jest prądnicą elektryczną prądu przemiennego, na przykład prądnicą synchroniczną, prądnicą asynchroniczną lub prądnicą indukcyjną.

Istotą rozwiązania jest uzyskanie wielokrotnie wyższych wartości generowanego napięcia i częstotliwości w stosunku do napięcia i częstotliwości konwencjonalnych generatorów elektrycznych prądu przemiennego bez konieczności podwyższania prędkości obrotowej wału.

Wynalazek został uwidoczniiony na rysunku na którym fig. 1 przedstawia generator elektryczny z nieparzystą liczbą stopni powielacza, z wewnętrznym powielaczem częstotliwości może być wykonany jako trójfazowy lub o innej liczbie faz, wariant z prądnicą synchroniczną fig. 2 generator elektryczny – z prądnicą asynchroniczną, fig. 3 generator elektryczny – wariant z prądnicą indukcyjną klatkową, a fig. 4 i 5 generator elektryczny z parzystą liczbą stopni powielacza częstotliwości.

Generator elektryczny z wewnętrznym powielaczem częstotliwości może być wykonany jako trójfazowy lub o innej liczbie faz. Ponadto może działać jako generator lub silnik.

Przykład I

Prądnicę synchroniczną (fig. 1) tworzą pakietowany rdzeń wirnika 14 z uzwojeniem trójfazowym 15 osadzony na wale 13 oraz lity rdzeń stojana 10 z magnesami trwałymi 11 osadzony w korpusie 16 generatora. Pierwszy stopień wewnętrznego powielacza częstotliwości tworzą pakietowany rdzeń 8 z uzwojeniem trójfazowym 7 osadzony w stojanie oraz pakietowany rdzeń 18 z uzwojeniem trójfazowym 17 osadzony na wale 13 wirnika. Drugi stopień wewnętrznego powielacza częstotliwości tworzą pakietowany rdzeń 4 z uzwojeniem trójfazowym 5 osadzony w stojanie oraz pakietowany rdzeń 20 z uzwojeniem trójfazowym 19 osadzony na wale 13 wirnika. Stopień k-ty wewnętrznego powielacza częstotliwości tworzą pakietowany rdzeń 2 z uzwojeniem trójfazowym 1 osadzony w stojanie oraz pakietowany rdzeń 21 z uzwojeniem trójfazowym 22 osadzony na wale 13 wirnika. Wspólny wał 13 prądnicy i powielacza częstotliwości jest osadzony obrotowo w łożyskach 12.

Pakietowany rdzeń wirnika 14 jest oddzielony szczeliną powietrzną od litego rdzenia stojana 10 z magnesami trwałymi 11. W trójfazowym uzwojeniu 15, poruszającym się ruchem obrotowym w stałym polu magnetycznym wzbudzonym magnesami trwałymi 11, indukują się napięcia o częstotliwości $f_1 = p_1 n_1 / 60$, gdzie n_1 – prędkość obrotowa wału 13 generatora, p_1 – liczba par biegunów prądnicy synchronicznej. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 15 jest proporcjonalna do prędkości n_1 . Uzwojenie trójfazowe 15 jest połączone elektrycznie trzema przewodami łączącymi 9 z uzwojeniem trójfazowym 17. Napięcie z uzwojenia trójfazowego 15 jest doprowadzone poprzez te przewody do uzwojenia trójfazowego 17, które wytwarza pole magnetyczne wirujące względem stojana z prędkością $n_1 + n_2$, gdzie n_2 – prędkość wirowania pola względem wału, $n_2 = 60 f_1 / p_2$, p_2 – liczba par biegunów pierwszego stopnia powielacza częstotliwości. Pakietowany rdzeń 18 z uzwojeniem trójfazowym 17 jest oddzielony szczeliną powietrzną od pakietowanego rdzenia 8 z uzwojeniem 7. Pole wirujące indukuje w uzwojeniu trójfazowym 7 napięcia o częstotliwości $f_2 = p_2 (n_1 + n_2) / 60 = (p_1 + p_2) n_1 / 60$. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 7 jest proporcjonalna do sumy prędkości $n_1 + n_2$.

Uzwojenie trójfazowe 7 jest połączone elektrycznie trzema przewodami łączącymi 6 z uzwojeniem trójfazowym 5. Napięcie z uzwojenia trójfazowego 7 jest doprowadzone poprzez te przewody do uzwojenia trójfazowego 5, które wytwarza pole magnetyczne wirujące względem stojana z prędkością $n_1 + n_3$, gdzie n_3 – prędkość wirowania pola względem wału, $n_3 = 60 f_2 / p_3$, p_3 – liczba par biegunów drugiego stopnia powielacza częstotliwości. Pakietowany rdzeń 4 z uzwojeniem trójfazowym 5 jest oddzielony szczeliną powietrzną od pakietowanego rdzenia 20 z uzwojeniem 19. Pole wirujące indukuje w uzwojeniu trójfazowym 19 napięcia o częstotliwości $f_3 = p_3 (n_1 + n_3) / 60 = (p_1 + p_2 + p_3) n_1 / 60$. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 7 jest proporcjonalna do sumy prędkości $n_1 + n_3$.

Uzwojenie trójfazowe 19 jest połączone elektrycznie trzema przewodami łączącymi z uzwojeniem trójfazowym trzeciego stopnia powielacza częstotliwości. Napięcie z uzwojenia trójfazowego 19 jest doprowadzone poprzez te przewody do uzwojenia trójfazowego trzeciego stopnia powielacza częstotliwości, które wytwarza pole magnetyczne wirujące z prędkością $n_1 + n_4$, gdzie $n_4 = 60 f_3 / p_4$, p_4 – liczba par biegunów trzeciego stopnia powielacza częstotliwości. W przypadku kolejnych stopni powielacza częstotliwości proces elektromechanicznego przetwarzania energii przebiega analogicznie. Częstotliwość napięcia indukowanego w uzwojeniu 1 wynosi $f_{k+1} = (p_1 + p_2 + \dots + p_{k+1}) n_1 / 60$, a wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 1 jest proporcjonalna do tej częstotliwości.

W przypadku $p_1 = p_2 = \dots = p_{k+1}$ częstotliwość f_{k+1} napięcia na wyjściu powielacza ulega $k+1$ -krotnemu zwiększeniu w stosunku do częstotliwości f_1 prądnicy synchronicznej, natomiast napięcie na wyjściu powielacza zależy zarówno od częstotliwości f_{k+1} jak i przekładni jego poszczególnych stopni. W przypadku przekładni jednostkowych, napięcie także ulega $k+1$ -krotnemu zwiększeniu w stosunku do napięcia prądnicy synchronicznej.

W przypadku 4-biegunowej prądnicy synchronicznej oraz 4-biegunowych stopni powielacza częstotliwości dla uzyskania częstotliwości wyjściowej generatora równej 50 Hz należy napędzać jego wirnik z prędkością $1500 / (k+1)$ obr/min. W przypadku trójstopniowego powielacza częstotliwości prędkość ta jest równa 375 obr/min. To jedna czwarta prędkości z jaką należy napędzać wirnik prądnicy synchronicznej w celu uzyskania napięcia o takiej samej częstotliwości. W zależności od wymaganej prędkości można zaoszczędzić na przekładni mechanicznej lub zainstalować przekładnię o niższym przełożeniu, a tym samym o wyższej wydajności. Ma to znaczenie w przypadku napędów o niskiej prędkości, np. turbin siłowni wiatrowych.

Zastępując generator elektryczny z wewnętrznym powielaczem częstotliwości, będący przedmiotem wynalazku, wieloma maszynami elektrycznymi w ilości $k + 1$ nie można osiągnąć optymalnej pracy tak utworzonego generatora elektrycznego z powodu istotnych wad jego konstrukcji, w szczególności:

większej objętości i ciężaru, wyższych kosztów oraz większej złożoności konstrukcji i częstszej konserwacji. W niniejszym wynalazku nie występują na przykład pierścienie ślizgowe i szczotki, które komplikują konstrukcję, ulegają stosunkowo szybkiemu zużyciu oraz wymagają częstej konserwacji.

Przykład II

Prądnicę asynchroniczną (fig. 2) tworzą pakietowany rdzeń wirnika 15b z uzwojeniem trójfazowym 14b osadzony na wale 13 oraz pakietowany rdzeń stojana 10b z uzwojeniem trójfazowym 11b osadzony w korpusie 16 generatora. Pakietowany rdzeń wirnika 15b jest oddzielony szczeliną powietrzną od pakietowanego rdzenia stojana 10b. W trójfazowym uzwojeniu 14b, poruszającym się ruchem obrotowym w wirującym polu magnetycznym wzbudzonym przez uzwojenie 11b zasilane z przeziennika częstotliwości 23, indukują się napięcia o częstotliwości $f_1 = p_1 n_1 / 60 \pm f_{inv}$, gdzie n_1 – prędkość obrotowa wału 13 generatora, p_1 – liczba par biegunów prądnicy asynchronicznej, f_{inv} – częstotliwość zasilania prądnicy z przeziennika częstotliwości. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 14b jest proporcjonalna do częstotliwości f_1 . Uzwojenie trójfazowe 14b jest połączone elektrycznie trzema przewodami łączącymi z uzwojeniem trójfazowym 17. Napięcie z uzwojenia trójfazowego 14b jest doprowadzone poprzez te przewody do uzwojenia trójfazowego 17, które wytwarza pole magnetyczne wirujące z prędkością $n_1 \pm 60 f_{inv} / p_1 + n_2$, gdzie $n_2 = 60 f_1 / p_2$, p_2 – liczba par biegunów pierwszego stopnia powielacza częstotliwości. Pakietowany rdzeń 18 z uzwojeniem trójfazowym 17 jest oddzielony szczeliną powietrzną od pakietowanego rdzenia 8 z uzwojeniem 7. Pole wirujące indukuje w uzwojeniu trójfazowym 7 napięcia o częstotliwości $f_2 = f_1 (1 + p_2 / p_1)$. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 7 jest proporcjonalna do częstotliwości f_2 .

Uzwojenie trójfazowe 7 jest połączone elektrycznie trzema przewodami łączącymi 6 z uzwojeniem trójfazowym 5. Napięcie z uzwojenia trójfazowego 7 jest doprowadzone poprzez te przewody do uzwojenia trójfazowego 5, które wytwarza pole magnetyczne wirujące z prędkością $n_1 + n_3$, gdzie $n_3 = 60 f_2 / p_3$, p_3 – liczba par biegunów drugiego stopnia powielacza częstotliwości. Pakietowany rdzeń 4 z uzwojeniem trójfazowym 5 jest oddzielony szczeliną powietrzną od pakietowanego rdzenia 20 z uzwojeniem 19. Pole wirujące indukuje w uzwojeniu trójfazowym 19 napięcia o częstotliwości $f_3 = p_3 (n_1 + n_3) / 60 = (p_1 + p_2 + p_3) n_1 / 60$. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 7 jest proporcjonalna do sumy prędkości $n_1 + n_3$. Uzwojenie trójfazowe 19 jest połączone elektrycznie trzema przewodami łączącymi z uzwojeniem trójfazowym trzeciego stopnia powielacza częstotliwości. Napięcie z uzwojenia trójfazowego 19 jest doprowadzone poprzez te przewody do uzwojenia trójfazowego trzeciego stopnia powielacza częstotliwości, które wytwarza pole magnetyczne wirujące z prędkością $n_1 + n_4$, gdzie $n_4 = 60 f_3 / p_4$, p_4 – liczba par biegunów trzeciego stopnia powielacza częstotliwości. W przypadku kolejnych stopni powielacza częstotliwości proces przebiega analogicznie. Częstotliwość napięcia indukowanego w uzwojeniu 1 wynosi $f_{k+1} = (p_1 + p_2 + \dots + p_{k+1}) n_1 / 60$, a wartość napięcia indukowanego w tym uzwojeniu jest proporcjonalna do tej częstotliwości.

W przypadku $p_1 = p_2 = \dots = p_{k+1}$ częstotliwość f_{k+1} napięcia na wyjściu powielacza ulega $k+1$ -krotnemu zwiększeniu w stosunku do częstotliwości f_i prądnicy asynchronicznej, natomiast napięcie na wyjściu powielacza zależy zarówno od częstotliwości f_{k+1} jak i przekładni jego poszczególnych stopni. W przypadku przekładni jednostkowych, napięcie także ulega $k+1$ -krotnemu zwiększeniu w stosunku do napięcia prądnicy asynchronicznej.

Przykład III

Prądnicę indukcyjną (fig. 3) tworzą pakietowany rdzeń wirnika 14c z uzwojeniem trójfazowym 15c osadzony na wale 13 oraz pakietowany rdzeń stojana 10c z uzwojeniem klatkowym 11c osadzony w korpusie 16 generatora. Pakietowany rdzeń wirnika 14c jest oddzielony szczeliną powietrzną od pakietowanego rdzenia stojana 10c. W trójfazowym uzwojeniu 15c, poruszającym się ruchem obrotowym w wirującym polu magnetycznym wzbudzonym przez to uzwojenie zasilane z uzwojenia 17, indukują się napięcia o częstotliwości $f_1 = p_1 n_1 / 60 (1 + s)$, gdzie n_1 – prędkość obrotowa wału 13 generatora, p_1 – liczba par biegunów prądnicy indukcyjnej, s – poślizg. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 15c jest proporcjonalna do częstotliwości f_1 . Jednocześnie, wskutek oddziaływania tego samego pola wirującego, indukują się napięcia i płyną prądy w zamkniętych obwodach uzwojenia klatkowego 11c, które wytwarza własne pole wirujące. W wyniku oddziaływania pól magnetycznych powstaje moment elektromagnetyczny, który przeciwdziała momentowi napędowemu, przyłożonemu do wału 13 generatora.

Uzwojenie trójfazowe 15c jest połączone elektrycznie trzema przewodami łączącymi 9 z uzwojeniem trójfazowym 17. Napięcie z uzwojenia trójfazowego 15c jest doprowadzone poprzez te przewody do uzwojenia trójfazowego 17, które wytwarza pole magnetyczne wirujące z prędkością $n_1 / (1 + s) + n_2$, gdzie $n_2 = 60 f_1 / p_2$, p_2 – liczba par biegunów pierwszego stopnia powielacza częstotliwości. Pakietowany

rdzeń 18 z uzwojeniem trójfazowym 17 jest oddzielony szczeliną powietrzną od pakietowanego rdzenia 8 z uzwojeniem 7. Pole wirujące indukuje w uzwojeniu trójfazowym 7 napięcia o częstotliwości $f_2 = f_1(1 + p_2/p_1)$. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 7 jest proporcjonalna do częstotliwości f_2 . Uzwojenie trójfazowe 7 jest połączone elektrycznie trzema przewodami łączącymi 6 z uzwojeniem trójfazowym 5. Napięcie z uzwojenia trójfazowego 7 jest doprowadzone poprzez te przewody do uzwojenia trójfazowego 5, które wytwarza pole magnetyczne wirujące z prędkością $n_1 + n_3$, gdzie $n_3 = 60f_2/p_3$, p_3 – liczba par biegunów drugiego stopnia powielacza częstotliwości. Pakietowany rdzeń 4 z uzwojeniem trójfazowym 5 jest oddzielony szczeliną powietrzną od pakietowanego rdzenia 20 z uzwojeniem 19. Pole wirujące indukuje w uzwojeniu trójfazowym 19 napięcia o częstotliwości $f_3 = p_3(n_1 + n_3)/60 = (p_1 + p_2 + p_3)n_1/60$. Wartość napięcia indukowanego w uzwojeniu 7 jest proporcjonalna do sumy prędkości $n_1 + n_3$. Uzwojenie trójfazowe 19 jest połączone elektrycznie trzema przewodami łączącymi z uzwojeniem trójfazowym trzeciego stopnia powielacza częstotliwości. Napięcie z uzwojenia trójfazowego 19 jest doprowadzone poprzez te przewody do uzwojenia trójfazowego trzeciego stopnia powielacza częstotliwości, które wytwarza pole magnetyczne wirujące z prędkością $n_1 + n_4$, gdzie $n_4 = 60f_3/p_4$, p_4 – liczba par biegunów kolejnego stopnia powielacza częstotliwości. W przypadku kolejnych stopni powielacza częstotliwości proces przebiega analogicznie. Częstotliwość napięcia indukowanego w uzwojeniu 1 wynosi $f_{k+1} = (p_1 + p_2 + \dots + p_{k+1})n_1/60$, a wartość napięcia indukowanego w tym uzwojeniu jest proporcjonalna do tej częstotliwości.

W przypadku $p_1 = p_2 = \dots = p_{k+1}$ częstotliwość f_{k+1} napięcia na wyjściu powielacza ulega $k+1$ -krotnemu zwiększeniu w stosunku do częstotliwości f_1 prądnicy indukcyjnej, natomiast napięcie na wyjściu powielacza zależy zarówno od częstotliwości f_{k+1} jak i przekładni jego poszczególnych stopni. W przypadku przekładni jednostkowych, napięcie także ulega $k+1$ -krotnemu zwiększeniu w stosunku do napięcia prądnicy indukcyjnej.

Przykład IV

Konstrukcja i funkcjonowanie generatora z parzystą liczbą stopni powielacza częstotliwości (fig. 4 i 5) są analogiczne jak w przypadku opisanego wcześniej generatora z nieparzystą liczbą stopni powielacza (fig. 1).

Zastrzeżenia patentowe

Generator elektryczny z wewnętrznym powielaczem częstotliwości **znamienny tym**, że na wale 13 generatora z jedną końcówką napędową jest zamocowany nieruchomo względem wału pakietowany rdzeń wirnika 14, 15b lub 14c prądnicy elektrycznej prądu przemiennego odpowiednio synchronicznej, asynchronicznej lub indukcyjnej, z trójfazowym uzwojeniem 15, 14b lub 15c osadzonym w żłobkach albo lity rdzeń wirnika 10a z magnesami trwałymi 11a albo pakietowany rdzeń wirnika 10c uzwojeniem klatkowym 11c, a wokół wirnika prądnicy osadzony jest nieruchomo w korpusie generatora 16 lity rdzeń 10 stojana prądnicy synchronicznej z magnesami trwałymi 11 lub pakietowany rdzeń 10b stojana prądnicy asynchronicznej z uzwojeniem trójfazowym 11b lub pakietowany rdzeń 10c stojana prądnicy indukcyjnej z uzwojeniem klatkowym 11c lub pakietowany rdzeń stojana 15a prądnicy synchronicznej z uzwojeniem trójfazowym 14a lub pakietowany rdzeń stojana 15c prądnicy indukcyjnej z uzwojeniem trójfazowym 14c, natomiast obok wirnika prądnicy na wale 13 jest zamocowany nieruchomo względem wału pakietowany rdzeń wirnika 18 lub 20 pierwszego stopnia wewnętrznego powielacza częstotliwości z trójfazowym uzwojeniem, zaś wokół wirnika pierwszego stopnia wewnętrznego powielacza częstotliwości osadzony jest nieruchomo w korpusie generatora 16 pakietowany rdzeń stojana 8 lub 4 pierwszego stopnia powielacza z trójfazowym uzwojeniem, odpowiednio, 7 lub 5, a obok wirnika pierwszego stopnia powielacza częstotliwości na wale 13 jest zamocowany nieruchomo względem wału pakietowany rdzeń wirnika 20 drugiego stopnia powielacza częstotliwości z trójfazowym uzwojeniem 19 i wokół wirnika drugiego stopnia powielacza częstotliwości osadzony jest nieruchomo w korpusie generatora 16 pakietowany rdzeń stojana 4 drugiego stopnia powielacza z trójfazowym uzwojeniem 5, obok wirników prądnicy i kolejnych stopni powielacza częstotliwości na wale 13 jest zamocowany nieruchomo względem wału pakietowany rdzeń wirnika 21 k-tego stopnia powielacza częstotliwości z trójfazowym uzwojeniem 22 a wokół wirnika k-tego stopnia powielacza częstotliwości osadzony jest nieruchomo w korpusie generatora 16 pakietowany rdzeń stojana 2

k-tego stopnia powielacza z trójfazowym uzwojeniem 1, którego przewody zasilające 3 są wyprowadzone na zewnątrz korpusu generatora 16.

1. Generator wg zastrz. 1 **znamienny tym**, że trójfazowe uzwojenie 15, 14b lub 15c osadzone w żłobkach pakietowanego rdzenia wirnika 14, 15b lub 14c albo trójfazowe uzwojenie 14a lub 14c osadzone w żłobkach pakietowanego rdzenia stojana 15a lub 15c prądnicy prądu przemiennego synchronicznej, asynchronicznej lub indukcyjnej, połączone jest elektrycznie trzema przewodami 9 lub 6 z trójfazowym uzwojeniem, 17 lub 5 ułożonym w żłobkach pakietowanego rdzenia wirnika 18 lub pakietowanego rdzenia stojana 4 pierwszego stopnia wielostopniowego powielacza częstotliwości, posiadającego analogiczne połączenia między stopniami, jak połączenie między prądnicą a pierwszym stopniem powielacza.
2. Generator wg zastrz. 1 i 2 **znamienny tym**, że posiada jeden wał napędowy oraz $k+1$ wirników osadzonych na tym wale, należących odpowiednio do prądnicy prądu przemiennego i kolejnych stopni powielacza częstotliwości, które wirują współbieżnie z jednakową prędkością obrotową.

Rysunki

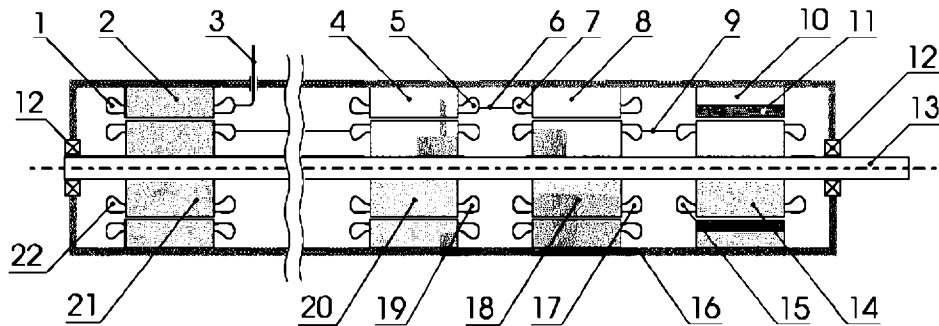


Fig.1

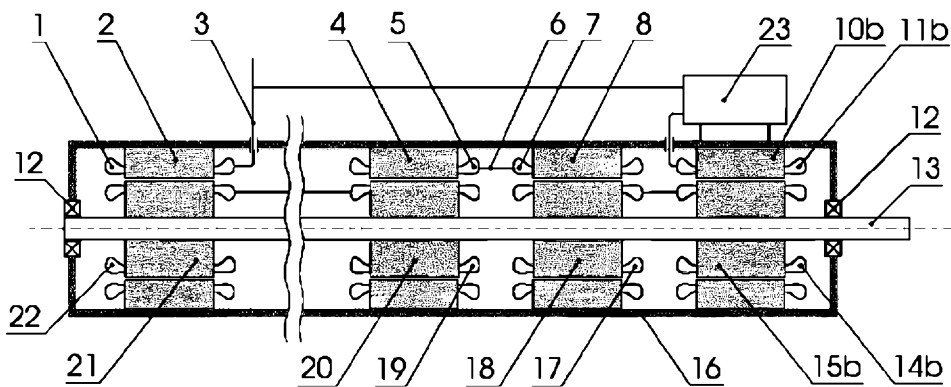


Fig.2

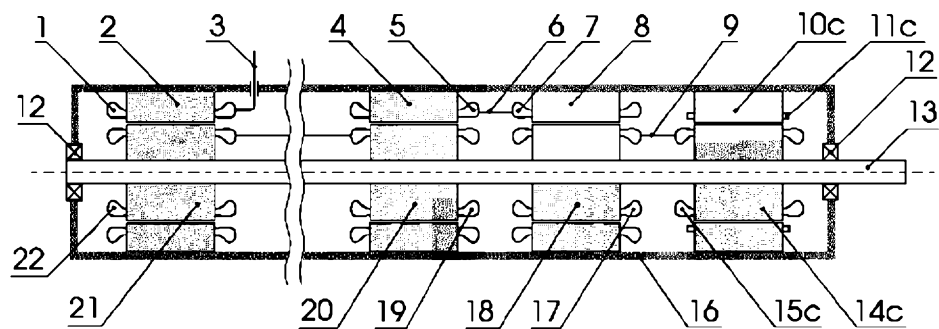


Fig.3

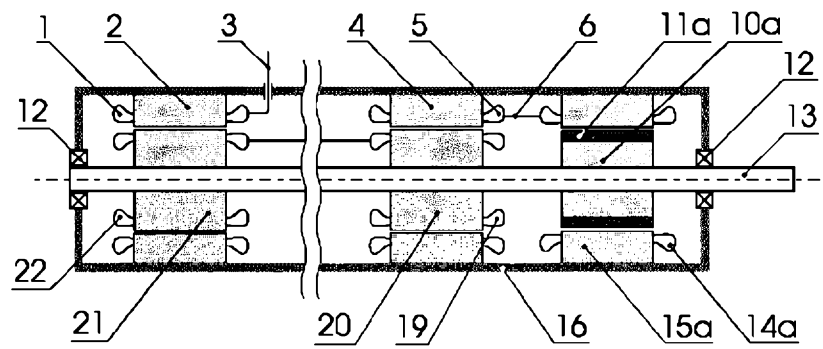


Fig.4

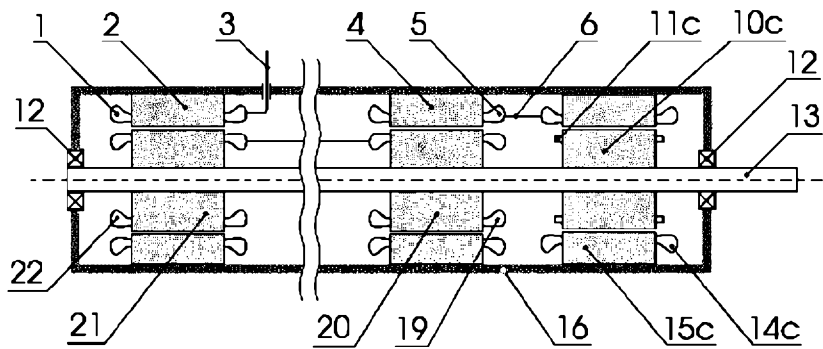


Fig.5