



H02P 9/42

POLSKIEJ RZECZYPOSPOLITEJ LUDOWEJ

OPIS PATENTOWY

Nr 35103

Kl. 21 c, 64/57

Główny Instytut Elektrotechniki

(Warszawa, Polska)

Urządzenie do wytwarzania prądu zmiennego o stałej częstotliwości w przypadku zmiennych obrotów silnika napędowego

Udzielono patentu z mocą od dnia 31 marca 1950 r

Wynalazek dotyczy urządzenia do wytwarzania prądu zmiennego, w którym w celu otrzymania stałej częstotliwości wyjściowej przy zmiennych obrotach silnika napędowego jest napędzany stojan prądnicy z przełączanymi biegunami.

W urządzeniach napędzanych silnikami, które oprócz wytwarzania trójfazowego prądu zmiennego dostarczają również mechanicznej energii innym odbiornikom, często się zdarza, że obroty silnika napędowego ulegają mniejszym lub większym wahaniom. Wahania te są spowodowane zmiennym obciążeniem urządzenia.

W większości przypadków można jednak przyjąć założenie, że normalna praca urządzenia odbywa się przy największych obrotach i że tylko w krótkich okresach czasu silnik napędowy obraca się wolniej. Wahania obrotów silnika napędowego, które w dalszej części opisu nazwano spadkiem obrotów, mogą być różne dla różnych typów silnika napędowego; np. dla silnika lotniczego spadek obrotów wynosi 50% i więcej (spadek obrotów ze 100% na 50%). W urządzeniach do wytwarzania prądu stałego skutki wa-

hania obrotów mogą być wyrównane za pomocą regulacji pola. W urządzeniach do wytwarzania trójfazowego prądu zmiennego, np. na pokładzie samolotu, zastosowanie takiego sposobu nie jest możliwe, gdyż spadek obrotów silnika napędowego powoduje zmianę częstotliwości prądnicy. W takich przypadkach próbowano zastosować dodatkowe urządzenie regulujące częstotliwość, przyłączone do zacisków wyjściowych prądnicy. Przy małych wahaniami częstotliwości urządzenia zastosowanie tego sposobu nie przedstawia trudności, gdyż moc, doprowadzona w tym przypadku do dodatkowego urządzenia regulującego częstotliwość, jest mała, a spadek obrotów mieści się wtedy w wąskich granicach. Gdy natomiast spadek obrotów wynosi jak dla silników lotniczych 50% i więcej, wówczas urządzenie, regulujące częstotliwość, będzie wymagało dostarczenia mocy napędowej, wynoszącej 50% mocy elektrycznej urządzenia głównego. Urządzenie takie posiadało tę wadę, że jest ciężkie i przy normalnej pracy, tzn. przy pełnych obrotach, w ogóle nie będzie wykorzystane.

W celu podwyższenia sprawności urządzenia próbowano regulować częstotliwość prądnicy w ten sposób, że przy małych obrotach silnika napędowego jest napędzany stojan prądnicy w kierunku przeciwnym do wirnika. Urządzenie to jest szczególnie korzystne ze względu na dużą sprawność, wymaga jednak specjalnego rozwiązania konstrukcyjnego, gdyż wytworzona energia elektryczna musi być odprowadzona z wirującego generatora za pośrednictwem pierścieni ślizgowych i musi być przewidziane odprowadzenie mocy napędowej do stojana za pomocą przekładni. Dla mocy i obrotów, doprowadzonych do stojana prądnicy, obowiązują te same prawa, które odnoszą się do dodatkowego urządzenia regulującego częstotliwość. Dla wspomnianych urządzeń można wyprowadzić zależności między liczbą obrotów, liczbą par biegunów i częstotliwością z jednej strony, a mocą, liczbą par biegunów i liczbą obrotów z drugiej strony. Wynalazek usuwa wyżej wspomniane wady. W urządzeniu według wynalazku zastosowano prądnicę z przełączanymi biegunami oraz wyżej wymienione sposoby regulacji częstotliwości, np. napęd stojana prądnicy lub dodatkowe urządzenie, służące do tego celu (transformator wirujący lub przemiennik częstotliwości).

• W przypadku zastosowania w urządzeniu według wynalazku napędu stojana prądnicy lub transformatora wirującego, ze względów technicznych i ekonomicznych dąży się do tego, aby moc pobierana przez stojan prądnicy lub transformator była jak najmniejsza. Natomiast w przypadku zastosowania przemiennika częstotliwości możliwość przełączania biegunów prądnicy ma takie zalety, że pozwala uniknąć określonych częstotliwości, występujących w całym zakresie spadku obrotów silnika napędowego i koniecznych w innych przypadkach zastosowania określonych przekładni częstotliwości. Ograniczenie liczby przekładni częstotliwości ma dla urządzenia według wynalazku poważne znaczenie, wiadomo bowiem, że dla wszystkich przemienników częstotliwości przy określonej przekładni występują trudności techniczne prostowania i sterowania prądu. Poza wspomnianymi zaletami przemiennik częstotliwości daje tę korzyść, że częstotliwość prądnicy jest niezależna od częstotliwości sieci zasilającej urządzenie. Zaleta ta polega na tym, że przemiennik częstotliwości nie wymaga dodatkowego zasilania, jak to ma miejsce w innych urządzeniach zmieniających częstotliwość. Zatem zastosowanie przemiennika częstotliwo-

ści upraszcza konstrukcję urządzenia i stwarza korzystniejsze warunki jego eksploatacji.

Na rysunku fig. 1 przedstawia schematycznie urządzenie według wynalazku, fig. 2—4 oraz fig. 6—8 przedstawiają wykresy zmiany liczby obrotów stojana prądnicy w funkcji czasu, a fig. 5 przedstawia zestawienie tych wykresów w przypadku różnych rodzajów napędu.

Fig. 1 przedstawia silnik napędowy M , który napędza wirnik L prądnicy G z przełączanymi biegunami. Stojan S prądnicy G jest napędzany przez silnik M za pośrednictwem regulowanej przekładni R , przy czym liczba obrotów i ich kierunek mogą być dowolne. Przekładnia R może być mechaniczną, hydrauliczną lub elektryczną, np. w układzie Leonarda. Umożliwia ona doprowadzenie do stojana S dowolnego momentu obrotowego przy dowolnych obrotach i kierunku wirowania silnika M .

Urządzenie według wynalazku jest w stanie, dla całego występującego w praktyce zakresu spadku obrotów, oddać pełną określoną moc i zachować przy tym stałą częstotliwość i napięcie. Warunek stałego napięcia wyjściowego będzie spełniony, jeżeli dla poszczególnych liczb biegunów zostaną wyregulowane odpowiednie wartości prądu wzbudzenia. Stałą częstotliwość wyjściową urządzenia osiąga się przez odpowiednie dobranie liczby obrotów stojana S i wirnika L . W zależności od warunków pracy urządzenia ustala się jedną lub dwie liczby obrotów silnika napędowego M , przy których urządzenie może być napędzane możliwie bez dostarczania lub odprowadzania energii ze stojana S prądnicy trójfazowej G . Natomiast w zależności od rodzaju krzywej sprawności dla poszczególnych typów regulowanych przekładni R wybiera się taką, aby w przypadku zastosowania w prądnicę G jednej lub dwóch par biegunów można było pokryć przy jej pomocy duży zakres obrotów; ewentualnie stosuje się większą liczbę par biegunów w celu zastosowania regulowanej przekładni R o prostszej konstrukcji i większej sprawności. Wreszcie możliwe jest również, w zależności od konstrukcji przekładni R , przystosowanie stojana S prądnicy trójfazowej G do odbioru i odprowadzenia energii.

Fig. 2 wyjaśnia warunki pracy stojana S w zakresie spadku obrotów silnika napędowego M w założeniu, że prądnica G jest zaopatrzona w dwie pary biegunów. Przyjęto, że spadek obrotów silnika napędowego M będzie miał w funkcji czasu przebieg prostoliniowy (mocno wyciągnięta prosta n_M). Na lewej rzędnej wykresu odłożono pełne obroty silnika napędowego

M , na prawej natomiast dla przykładu tylko 50% tej wartości.

Obroty silnika napędowego M , przeniesione do stojana S za pośrednictwem przekładni R , zgodnie z wyżej podanymi założeniami, są przedstawione za pomocą linii 1, 2, 3, 4. Prosta 1 wykreslono w założeniu, że prądnica G jest nieprzełączalna. Prosta 1 wykazuje, że wraz ze spadkiem obrotów silnika M wzrastają obroty stojana S do wartości, równej połowie wartości szczytowej obrotów silnika M , przy czym za dodatni kierunek obrotów stojana S przyjęto uważać odwrotny kierunek wirnika L , a zatem prosta obrotów stojana S przebiega równolegle do prostej obrotów silnika M . Odległość między prostymi jest względną liczbą obrotów między silnikiem M a stojanem S , a więc jest miarą częstotliwości.

Linia łamana 2 przedstawia przebieg liczby obrotów stojana S w założeniu, że prądnica prądu zmiennego G jest zaopatrzona w przełączalną liczbę biegunów w stosunku 1:2, a przekładnia R umożliwia dowolne przenoszenie obrotów i mocy między stojanem S a silnikiem napędowym M . Po opadnięciu obrotów silnika M do wartości równej 75% wartości szczytowej zostaje dokonane przełączenie biegunów i równocześnie zostaje zmieniony na przeciwny kierunek obrotów stojana S . W prawej połowie wykresu obroty stojana S maleją podobnie do obrotów silnika M . Dla drugiej pary biegunów otrzymuje się drugą charakterystykę obrotów, której odległość od charakterystyki n_M obrotów silnika M jest określona przez stosunek liczby par biegunów po przełączeniu do liczby par biegunów przed przełączeniem.

Proste 3 i 4 przedstawiają charakterystykę urządzenia według wynalazku w ruchu, w założeniu, że przekładnia R umożliwia doprowadzenie energii do stojana S (prosta 3) lub też odprowadzenie energii ze stojana S prądnicy G (prosta 4). Przełączanie biegunów w tych przypadkach musi następować w krańcowych punktach zakresu spadku obrotów. W wyżej wymienionych przypadkach zostało przyjęte założenie, że ze względu na dużą sprawność przekładni musi być możliwa praca urządzenia przy nieruchomym stojanie S dla krańcowych wartości obrotów napędowych. W wielu przypadkach dla najmniejszej liczby obrotów silnika M ograniczenie to można pominąć, gdyż praca urządzenia w takich warunkach nie trwa długo, a nawet przy nieruchomym stojanie S urządzenie posiada dostateczną moc napędową.

Fig. 3 przedstawia charakterystykę obrotów

stojana S , prądnicy G z przełączanymi biegunami w stosunku 1:2 i przy spadku obrotów silnika M w stosunku 100:50 oraz dla warunków, że w przypadku krańcowych wartości w zakresie spadku obrotów silnika M stojan S będzie się obracał. Wówczas, jak wykazuje linia łamana 5, punkt przełączenia leży w środku spadku obrotów, przy czym zakres obrotów stojana S , a przez to i przekładnia R , ulegają zmniejszeniu. Dla porównania z poprzednim przypadkiem została naniesiona linia 2 z fig. 2. W przypadku zastosowania prądnicy G , przełączanej na więcej niż dwie liczby par biegunów, odpowiednio stosunki można wyprowadzić analogicznie bez żadnych trudności.

Fig. 4 przedstawia charakterystykę obrotów stojana S dla prądnicy G o trzech liczbach par biegunów i spadku obrotów silnika M w stosunku 100:25 (linia 7). Linia 8 nakreślono w oparciu o założenia, jak w przypadku wykreślenia linii 2 na fig. 2. Linia 7 wykazuje, że w tym przypadku obroty stojana S są małe i istnieją również dla krańcowych wartości zakresu spadku obrotów silnika napędowego M (odpowiednio do linii 5 na fig. 3).

Fig. 5 przedstawia schematycznie osiem wykresów zmiany liczby obrotów stojana S dla dwunastu najważniejszych rodzajów napędu, przy założeniu trzech przełączeń biegunów w prądnicy G ($P = 3$). Dla każdego przypadku jest podany wzór na liczbę zakresów pracy A , w zależności od liczby par biegunów P . Jako zakres pracy został oznaczony taki obszar, w którym przy wykorzystaniu jednej pary biegunów, stojan S przyjmuje wszystkie obroty (od zera do maksymalnych), np. między punktami t_1 a t_2 , t_2 a t_3 , t_3 a t_4 (fig. 4). W powyższych rozważaniach obojętna jest wielkość spadku obrotów silnika napędowego M i dlatego nie została podana, określa bowiem tylko bezwzględną wartość maksymalnej liczby obrotów stojana S , nie wpływa jednak na wzajemny stosunek tych wielkości przy różnych rozwiązaniach.

Przy ustaleniu zależności między spadkiem obrotów, liczbą par biegunów, liczbą obrotów stojana i przekładnią należy założyć, że w rozpatrywanych układach warunki graniczne, tzn. kierunek przenoszenia energii i liczba obrotów stojana S , umożliwiają jednoznaczne optymalne rozwiązanie, że skoki liczby obrotów stojana S , występujące przy większej liczbie przełączeń biegunów, winny być wszystkie jednakowo duże, następnie że przy dowolnym kierunku przenoszenia energii za pomocą przekładni R , skoki liczby obrotów stojana S przy przełączaniu bie-

gunów prądnicy G muszą leżeć symetrycznie do osi czasu i że rozporządza się takimi liczbami par biegunów, iż punkty przełączenia mogą być rozłożone na osi czasu w jednakowych odstępach.

Maksymalną liczbę n_{Smax} obrotów stojana S można określić bezpośrednio z fig. 2:

$$n_{Smax} = (n_{Mmax} - n_{Mmin}) \cdot \frac{1}{A}$$

przy czym

n_{Smax} — oznacza szczytową liczbę obrotów stojana

n_{Mmax} — szczytową liczbę obrotów silnika,

n_{Mmin} — najniższą liczbę obrotów silnika,

A — liczbę zakresów pracy.

Z powyższego wynika, że maksymalna liczba obrotów stojana S jest wprost proporcjonalna do spadku obrotów silnika napędowego M i odwrotnie proporcjonalna do liczby stosowanych zakresów pracy A . Wartość maksymalnej liczby obrotów stojana S warunkują również względy konstrukcyjne, przy czym zależy ona od liczby przełączeń biegunów, kierunku przenoszenia energii za pomocą przekładni R i możliwości pracy urządzenia przy wirującym stojanie S w przypadkach krańcowych wartości obrotów silnika napędowego M .

Fig. 5 wyjaśnia, że zbyt duże zwiększenie liczby zakresów pracy A powoduje zwiększenie kosztów produkcji urządzenia, spowodowanych względami konstrukcyjnymi i techniką sterowania.

Fig. 6 przedstawia część wykresu obrotów stojana S w zmienionej postaci przy założeniu pięciu przełączeń biegunów (6 par biegunów). Najwyżej położona linia n_M jest wykresem obrotów silnika M przy spadku obrotów 100 : 33 (do około $\frac{1}{3}$ wartości szczytowej). Charakterystyki obrotów stojana S dla różnych liczb biegunów prądnicy G , oznaczone przez n_{p1} do n_{p6} , są podane w zakresie dodatnich wartości obrotów wirnika L i przebiegają równolegle do prostej obrotów silnika M .

Odległość charakterystyk obrotów stojana S od prostej obrotów silnika M otrzymuje się, mnożąc częstotliwość wyjściową urządzenia przez odpowiednią liczbę par biegunów i pewną stałą. Natomiast odległości charakterystyk obrotów stojana S są względem siebie w stosunku $k \cdot a$, a ich odległości od charakterystyki silnika M w stosunku $k_1 \cdot a$. Stosunki te muszą być liczbami całkowitymi, gdyż pary biegunów są liczbami całkowitymi. W związku z tym odległości charakterystyk obrotów stojana S wzglę-

dem siebie i względem prostej obrotów silnika można przedstawić jako wielokrotność wartości k , k_1 i pewnej stałej a , przy czym wartości k i k_1 są liczbami całkowitymi.

Na fig. 6 odstepy te zostały podane dla przypadku, w którym silnik pracuje przy największych i najmniejszych obrotach przy nieruchomym stojanie S prądnicy G . W tym przypadku liczba obrotów stojana S prądnicy G z jedną parą lub sześcioma parami biegunów, odpowiednio przy największych i najmniejszych obrotach silnika M , jest równa zeru.

Fig. 7 przedstawia te same zależności dla przypadku napędzania stojana S przy największych obrotach silnika M w założeniu 4 par biegunów w prądnicy G .

Analogicznie fig. 8 przedstawia przypadek z napędzanym stojanem S przy najmniejszej liczbie obrotów silnika M .

Z podanych wyżej założeń wynika, że gdy odległości między poszczególnymi przełączeniami wynoszą $k \cdot a$, wówczas odległość najwyższej i najniższej charakterystyki obrotów stojana S od punktu zerowego musi wynosić $k \cdot \frac{a}{2}$ (fig. 7 i 8). Dla przypadków pracy urządzenia przy jednym kierunku przekazywania energii za pomocą przekładni R łatwo zauważyć z fig. 5, że dają się one wszystkie sprowadzić do wykresów, przedstawionych na fig. 6.

W przypadkach pracy urządzenia, przedstawionych na fig. 6, 7 i 8, warunki na liczbę par biegunów dają się ująć we wzory.

Dla przypadku nieruchomego stojana S prądnicy G (fig. 6):

$$(P - 1) \cdot k \cdot a + k_1 \cdot a = n_{Mmax}$$

Dla przypadku napędzanego stojana S przy największej i najmniejszej liczbie obrotów silnika M (fig. 7, 8):

$$(P - 1) \cdot k \cdot a + k \cdot \frac{a}{2} + k_1 \cdot a = n_{Mmax},$$

przy czym P , k , k_1 są liczbami całkowitymi,

$$a \cdot k_1 \cdot a = n_{Mmax} - n_{Mmin}$$

Przy założeniu stałej mocy prądnicy G i jednakowej jej sprawności, przy wszystkich liczbach par biegunów, moment obrotowy M_n stojana S , a więc dostarczony przez przekładnię R przy pewnej liczbie par biegunów P_n z momentu obrotowego M_1 przy najniższej liczbie par biegunów P_1 (liczba obrotów silnika n_{M1} — przy nieruchomym stojanie S) wyraża się wzorem:

$$M_n = M_1 \cdot \frac{P_n}{P_1}$$

W celu określenia momentu szczytowego najprościej jest wyjść ze stałości mocy przy najwyższej liczbie obrotów silnika M . Dla przypadku, przedstawionego na fig. 6, a więc przy nieruchomym stojanie S stosunek mocy

$$\frac{M_{\max}}{M_{\min}} = \frac{n_{M\max}}{n_{M\min}} = 1 + (P-1) \cdot \frac{k}{k_1}$$

W przypadku napędzanego stojana S muszą być wzięte pod uwagę jego obroty przy najwyższej i najniższej liczbie obrotów silnika M .

Dla najwyższej liczby obrotów silnika M stosunek mocy

$$\frac{M_{\max}}{M_{\min}} = \frac{n_{M\max} + k \cdot \frac{a}{2}}{n_{M\min}} = 1 + \frac{k}{k_1} \cdot (P-0,5)$$

Dla najniższej liczby obrotów silnika M stosunek mocy

$$\frac{M_{\max}}{M_{\min}} = \frac{n_{M\max}}{n_{M\min} + k \cdot \frac{a}{2}} = \frac{k_1 + k \cdot (P-0,5)}{k_1 + 0,5 \cdot k}$$

W celu określenia względnej mocy przekładni regulowanej R moc przekładni N_G sprowadza się do mocy potrzebnej do napędu prądnicy G .

Ponieważ

$$N_G = c \cdot M_{\max} \cdot n_{S\max}$$

gdzie

N_G — jest to moc przekładni R ,

$M_{\max}$ — szczytowy moment (moment stojana S prądnicy G),

$n_{S\max}$ — szczytowa liczba obrotów stojana S oraz

$$N_{e_1} = c \cdot M_{\min} \cdot n_{M\max}$$

gdzie

N_{e_1} — jest to moc prądnicy przy wszystkich obrotach silnika M ,

$M_{\min}$ — najmniejszy moment napędowy,

$n_{M\max}$ — szczytowa liczba obrotów napędowych wirnika L prądnicy G .

Dla wszystkich przypadków, dla których przy

najwyższej i najniższej liczbie obrotów silnika napędowego M stojan S jest nieruchomy

$$M_{\max} = M_{\min} \cdot \frac{n_{M\max}}{n_{M\min}} \quad i$$

$$n_{S\max} = \frac{n_{M\max} - n_{M\min}}{A}$$

Zatem moc względem N_R przekładni R wyraża się wzorem:

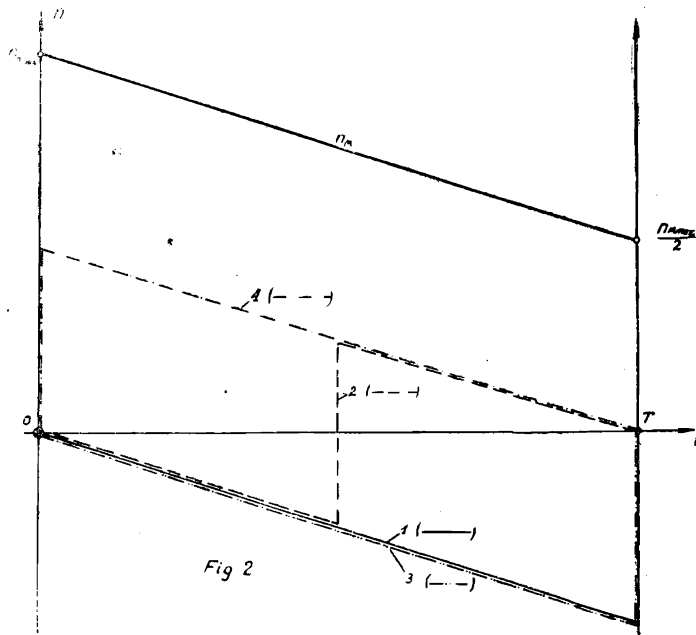
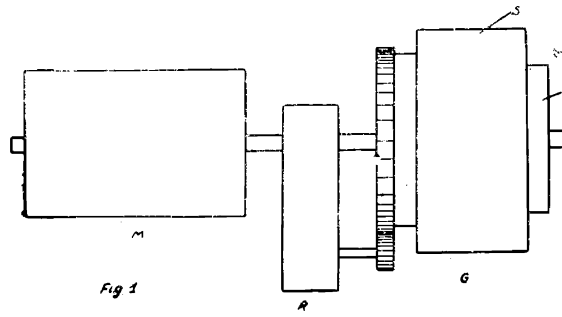
$$N_R = \frac{N_G}{N_{e_1}} = \frac{1}{A} \left(\frac{n_{M\max}}{n_{M\min}} - 1 \right)$$

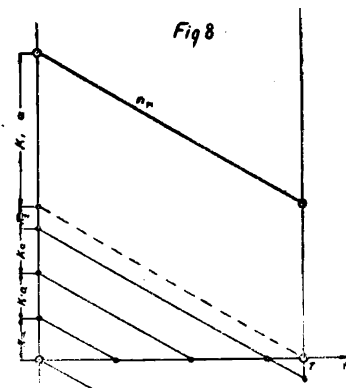
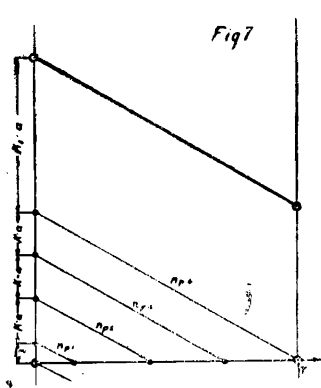
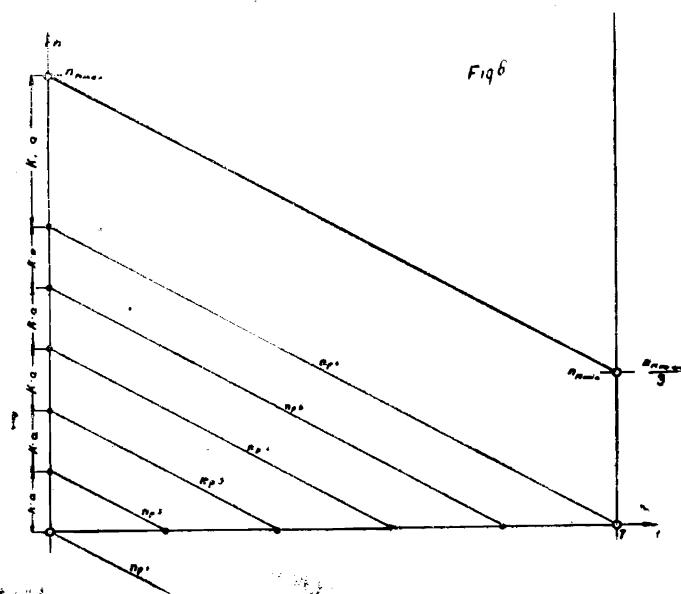
Do zakresu pracy A (wchodzącego w skład wzoru na moc przekładni R) odnoszą się wskazówki, podane na fig. 5 w kolumnie pierwszej, gdzie n_s równa się zero przy $n_{\max}$ i $n_{\min}$ silnika. Dla przypadków podanych w następnych kolumnach moc przekładni najłatwiej obliczyć, gdy (dla drugiej i trzeciej kolumny) jako $n_{\max}$ przyjmuje się punkt na charakterystyce obrotów silnika M , odpowiadający przejściu charakterystyki n_s po raz pierwszy przez zero. Natomiast dla czwartej kolumny $n_{\max}$ wyznacza się jak poprzednio, a $n_{\min}$ przyjmuje się dla przejścia charakterystyki n_s po raz ostatni przez zero.

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do wytwarzania prądu zmiennego o stałej częstotliwości w przypadku zmiennych obrotów silnika napędowego, znamienne tym, że w układzie dla wyrównania wahań częstotliwości zastosowano prądnicę z przełączalnymi biegunami.
2. Urządzenie według zastrz. 1, znamienne tym, że prądnica z przełączalnymi biegunami współpracuje z transformatorem wirującym.
3. Urządzenie według zastrz. 1, znamienne tym, że prądnica z przełączalnymi biegunami współpracuje z przemiennikiem częstotliwości.
4. Urządzenie według zastrz. 1, znamienne tym, że stojan prądnicy z przełączalnymi biegunami jest napędzany za pomocą silnika, napędzającego wirnik prądnicy.

Główny Instytut
Elektrotechniki





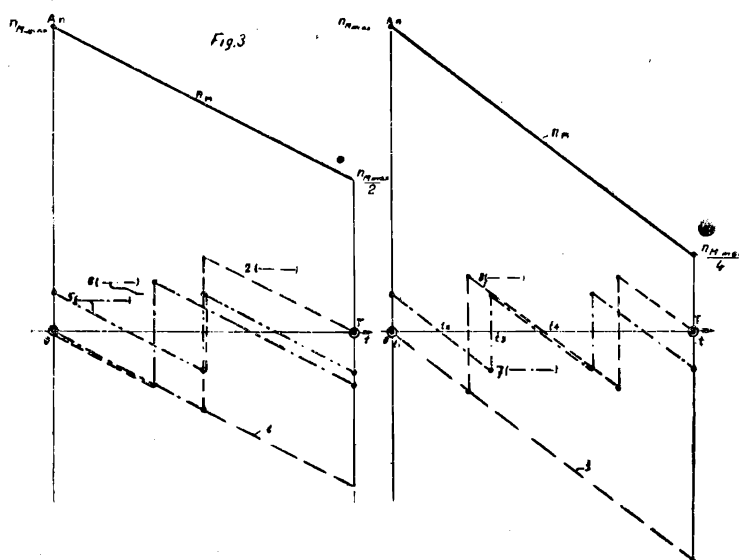


Fig 5

No pory	η_{max}	0	> 0	0	> 0
	η_{min}	0	0	< 0	< 0
odprowadzenie energii					
dekorowanie energii					
dekorowanie energii					