

2

POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY

48872

Patent dodatko-
wy do patentu: _____

Zgłoszono: 31. XII. 1962 (P 100 465)

Pierwszeństwo: _____

Opublikowano: 26. I. 1965

Kl. 21d², 54

MKP H 01 f 29/02

UKD

Twórca wynalazku: mgr inż. Aleksander Straszewski

Właściciel patentu: Instytut Elektrotechniki, Warszawa (Polska)

Transformator regulacyjny jednofazowy oraz układ złożony z kilku takich transformatorów

1

Istnieją transformatory i autotransformatory z regulacją napięcia za pomocą przełączania zaczepów. Regulacja taka jest niedogodna, ponieważ odbywa się skokami, a przełączniki zaczepów są skomplikowane i kosztowne. Ponadto duża liczba wyprowadzeń komplikuje budowę uzwojeń transformatora, szczególnie w transformatorach energetycznych najwyższych napięć. Wykorzystywane do celów płynnej regulacji napięcia regulatory indukcyjne, wykonane w postaci maszyn asynchronicznych z zahamowanym wirnikiem, nadają się ze względu na ograniczone miejsce w żłobkach tylko dla niezbyt wysokich napięć, nie przekraczających 30 kV.

Istnieją również jednofazowe regulatory indukcyjne obrotowe z bezstopniową i bezskokową regulacją napięcia z uzwojeniem pierwotnym i wtórnym umieszczonym na stojanie oraz z uzwojeniem zwartym umieszczonym na wirniku. Moc z uzwojenia pierwotnego do wtórnego przekazywana jest za pośrednictwem uzwojenia zwartego na wirniku, co powoduje dodatkowe straty w uzwojeniu pośredniczącym wirnika.

Przedmiotem wynalazku jest transformator regulacyjny, który może być wykonany na dowolne napięcie, w którym regulacja odbywa się całkowicie płynnie i w którym nie ma uzwojenia pośredniczącego.

Transformator ten składa się z nieruchomego blachowanego rdzenia z jarzmem zewnętrznym

2

wewnątrz którego są umieszczone cztery zęby. Między tymi zębami obraca się rdzeń ruchomy o dwóch zębach posiadających skos względem zębów rdzenia nieruchomego. Między zębami rdzenia nieruchomego są umieszczone krzyżujące się ze sobą uzwojenia pierwotne i wtórne. Zmienny strumień magnetyczny wytwarzany przez uzwojenie pierwotne zasilane napięciem zmiennym rozdzielany jest za pomocą zębów rdzenia nieruchomego i ruchomego na dwie części i kierowany przez uzwojenia wtórne w taki sposób, że obydwie części strumienia przepływają przez uzwojenie wtórne w kierunku przeciwnym do siebie, wobec czego na uzwojenia wtórne działa wypadkowa tych dwóch strumieni równa ich różnicy. Przez zmianę wartości dwóch części strumienia drogą odpowiedniego ustawienia rdzenia ruchomego względem nieruchomego uzyskuje się regulację wypadkowego strumienia w przedziale od 0 do wartości maksymalnej, a tym samym i odpowiednią regulację napięcia w uzwojeniu wtórnym.

Przekrój przez transformator według wynalazku przedstawiony jest na fig. 1. Blachowany rdzeń nieruchomy 1 transformatora wykonany jest w postaci kwadratu. Może on mieć również kształt prostokąta, wielokąta lub koła.

Rdzeń nieruchomy 1 posiada wewnątrz cztery zęby 2₁, 2₂, 2₃ i 2₄. Między tymi zębami obraca się ruchomy rdzeń 3 o dwóch zębach 4₁ i 4₂, oddzielony od rdzenia nieruchomego szczeliną powietrzną.

Podziałka zębowa rdzenia ruchomego τ_2 jest równa dwóm podziałkom zębowym τ_1 , rdzenia nieruchomego czyli $\tau_2 = 2 \tau_1$.

Rdzeń nieruchomy posiada cztery okna a , b , c i d , w których umieszczone są uzwojenia. W dwóch przeciwnych oknach, np. b i d umieszczone jest uzwojenie pierwotne 5, a w pozostałych dwóch np. a i c uzwojenie wtórne 6.

Ze względów konstrukcyjnych może wyniknąć większe zapotrzebowanie miejsca na uzwojenie pierwotne niż na uzwojenie wtórne lub odwrotnie. W takich przypadkach okna transformatora b i d (fig. 1) mogą być wykonane większe niż okna a i c lub odwrotnie.

Na fig. 2 pokazany jest transformator według fig. 1, lecz w stanie rozwiniętym. Szerokość zębów 2 rdzenia nieruchomego 1 jest równa szerokości zębów 4 rdzenia ruchomego 3 i odstępowi między poszczególnymi zębami na obwodzie rdzenia nieruchomego. W ten sposób jeden ząb 2 zajmuje na obwodzie wewnętrznym rdzenia nieruchomego $1/8$ części obwodu. Tyle samo miejsca na obwodzie zajmuje przerwa między zębami 2. Szerokość b_{21} zęba 2 rdzenia nieruchomego 1 jest równa szerokości b_{22} zęba 4 rdzenia ruchomego jak również połowie podziałki zębowej τ_1 , rdzenia nieruchomego 1, lub $1/4$ podziałki zębowej rdzenia ruchomego 3, czyli $b_{21} = b_{22} = 0,5 \tau_1 = 0,25 \tau_2$. Praktycznie mogą istnieć pewne odchylenia od tej zasady i szerokość zębów 2 i 4 może być nieco mniejsza od połowy podziałki zębowej τ_1 , lub $1/4$ podziałki τ_2 .

Zęby 4 rdzenia ruchomego 3 posiadają skos b względem zębów 2 rdzenia nieruchomego 1 równy całej podziałce zębowej τ_1 rdzenia nieruchomego lub połowie podziałki zębowej τ_2 rdzenia ruchomego, czyli $b = \tau_1 = 0,5 \tau_2$. Transformator może być również wykonany w postaci płaskiej jak na fig. 2. Wówczas rdzeń ruchomy powinien być ustawiony na prowadnicach i przesuwany przed rdzeniem nieruchomym w taki sposób, ażeby zachowana została przez cały czas równość szczeliny powietrznej między rdzeniem stałym i ruchomym.

Można również wykonać transformator w postaci segmentu koła, przy czym rdzeń ruchomy, zamocowany na osi i obracany, będzie się przesuwał w stosunku do rdzenia nieruchomego przy zachowaniu stałej wartości szczeliny.

Jednakże transformator o kształcie płaskim lub segmentowym ma większe rozproszenie od transformatora obrotowego według fig. 1.

Zasada działania transformatora według wynalazku jest następująca, gdy uzwojenie pierwotne 5 jest zasilane napięciem zmiennym z sieci, w zębach rdzenia nieruchomego objętych cewką tego uzwojenia przepływa strumień zmienny Φ . Strumień ten przepływa zależnie od położenia zębów 4 rdzenia ruchomego 3 względem zębów 2 rdzenia nieruchomego 1, przez jeden ząb — jak w położeniu według fig. 2b albo przez dwa zęby 2 jak w położeniu według fig. 2a. Te dwa charakterystyczne położenia powstają naprzemian co każde 45° obrotu rdzenia ruchomego 3. Do regulacji wykorzystywany jest tylko jeden przedział między tymi położeniami, czyli 45° obwodu. Droga przepływu strumienia Φ

w położeniu według fig. 2b jest następująca (fig. 3b), ząb 2₂, szczelina powietrzna δ , ząb 4₁, jarzmo 3, ząb 4₂, szczelina δ , ząb 2₄, jarzmo 1. W położeniu według fig. 2a istnieją dwie drogi przepływu strumienia (fig. 3a), a mianowicie jedna taka sama jak w położeniu według fig. 2b z tym jednak, że strumień przepływa tylko przez połowę długości zębów 4₁ i 4₂, a druga następująca: ząb 2₃, szczelina δ , ząb 4₂, (druga połowa długości zęba), jarzmo 3, ząb 4₁, (druga połowa długości zęba), szczelina δ , ząb 2₁, jarzmo 1. Strumień Φ rozdziela się więc na dwie części $\Phi_{1,3}$ i $\Phi_{2,4}$ (fig. 3a).

Powierzchnie wzajemnego pokrywania się zębów rdzenia nieruchomego i ruchomego w szczelinie przez które przechodzi strumień magnetyczny równe są w położeniu według fig. 2b (zakreskowane powierzchnie S_{22} i S_{24}) połowie powierzchni całkowitej jednego zęba 2, a w położeniu według fig. 2a (zakreskowane powierzchnie S_{21} , S_{22} , S_{23} i S_{24}) — po $1/4$ powierzchni całkowitej jednego zęba 2 dla każdej z dróg zamykania się strumienia magnetycznego.

Oprócz opisanych dwóch charakterystycznych położenia rdzenia ruchomego 3 względem nieruchomego 1 istnieją jeszcze położenia pośrednie gdy zęby 4₁ i 4₂ przesuwają się w kierunku wskazanym strzałką na fig. 2a. Wówczas powierzchnie S_{21} i S_{23} maleją, a powierzchnie S_{22} i S_{24} zwiększają się do czasu dojścia do położenia według fig. 2b, w którym powierzchnie S_{21} i S_{23} stają się równe zeru a powierzchnie S_{22} i S_{24} wzrastają do wartości równej połowie powierzchni całkowitej zęba 2.

Regulacja napięcia transformatora odbywa się jak wspomniano w zakresie obrotu rdzenia ruchomego o 45° między położeniami według fig. 2a i 2b. Gdy rdzeń zaczyna się obracać z położenia według fig. 2a w kierunku położenia według fig. 2b, wówczas strumień $\Phi_{1,3}$ maleje a strumień $\Phi_{2,4}$ rośnie.

Przez cewki 6a i 6b uzwojenia wtórnego przepływa strumień wypadkowy Φ_w , równy różnicy strumieni $\Phi_{2,4}$ i $\Phi_{1,3}$, czyli $\Phi_w = \Phi_{2,4} - \Phi_{1,3}$. W miarę obracania rdzenia ruchomego 3 w kierunku wskazanym na fig. 2a strzałką, strumień wypadkowy Φ_w wzrasta, aż w położeniu według fig. 2b staje się równy strumieniowi Φ wytworzonemu przez uzwojenie pierwotne 5, czyli $\Phi_w = \Phi$.

W ten sposób transformator przechodzi od stanu jałowego (fig. 2a) do stanu pełnego obciążenia (fig. 2b).

Na fig. 3 przedstawiony jest przekrój przez transformator według fig. 2, a na fig. 4 — układ połączeń uzwojeń 5 i 6.

Zmienność poszczególnych powierzchni zębów 2, pokrytych zębami 4 podczas obracania się rdzenia ruchomego w przedziale między położeniami według — fig. 2a i 2b odbywa się według równania paraboli. Parabole te przedstawione są na fig. 5. Parabola P_1 oznacza zmienność powierzchni S_{21} , parabola P_2 — zmienność powierzchni S_{22} , a parabola P_3 — zmienność powierzchni S_{23} .

Strumień Φ wytworzony przez uzwojenie pierwotne 5 proporcjonalny jest do sumy powierzchni $S_{22} + S_{23}$, czyli do sumy równań paraboli P_2 i P_3 . Suma równań jest linią prostą wyrażoną równa-

niem $y = b_{z1}^2 \operatorname{tg} \alpha$. Oznacza to, że strumień Φ nie ulega zmianie podczas obracania się rdzenia ruchomego 3.

Strumień wypadkowy Φ_w przechodzący przez uzwojenie wtórne 6 proporcjonalny jest do różnicy powierzchni $S_{22}-S_{21}$, a więc do różnicy równań parabol P_2 i P_1 . Różnica tych równań — krzywa P_4 (fig. 5), która jest również parabolą, wyrażona jest równaniem $y = -\operatorname{tg} \alpha (x - b_{z1})^2 + \operatorname{tg} \alpha b_{z1}^2$.

Regulacja napięcia w uzwojeniu wtórnym transformatora odbywa się na jednej gałęzi tej paraboli w przedziale $0 < x < b_{z1}$, czyli w zakresie przesunięcia rdzenia ruchomego o jedną szerokość zęba, tzn. o $1/4$ podziałki zębowej rdzenia ruchomego. Wartość $x = 0$ odpowiada położeniu według fig. 2a gdy napięcie w uzwojeniu wtórnym jest równe zeru a wartość $x = b_{z1}$ odpowiada położeniu według fig. 2b, gdy w uzwojeniu wtórnym indukuje się napięcie maksymalne.

Regulacja według krzywej o kształcie parabolicznym ma miejsce wówczas, gdy zarówno krawędzie skośnych zębów 4 rdzenia ruchomego 3 jak i krawędzie prostych zębów 2 rdzenia nieruchomego 1 są liniami prostymi jak np. na fig. 2. Chcąc uzyskać inny kształt linii regulacji napięcia, odmienny od paraboli, można nadawać zębom jednego z rdzeni, np. ruchomego, kształt wykrzywiony. Wówczas zmienność powierzchni $S_{21}-S_{24}$ będzie podlegać innym prawom niż równaniom paraboli. Równocześnie jednak będą występowały zmiany w przewodności magnetycznej w czasie obrotu rdzenia ruchomego, co powinno być brane pod uwagę przy ustalaniu zakresu odchylenia kształtu linii, tworzącej krawędź zębów, od linii prostej.

Transformator regulacyjny jednofazowy według fig. 1, 2 i 3 może być stosowany w układzie transformatorowym (fig. 6) lub autotransformatorowym (fig. 7). W układzie transformatorowym (fig. 6) — regulacja napięcia po stronie wtórnej odbywa się w przedziale od 0 do ϑU , przy czym wartość napięcia ϑU wynika z pełnej przekładni transformato-

tora ϑ , czyli ze stosunku liczb zwojów $\frac{W_2}{W_1}$ uzwojenia wtórnego 6 i pierwotnego 5. W układzie autotransformatorowym (fig. 7) regulacja odbywa się w zakresie $U_2 = U_1 + \Delta U$ przy czym $\Delta U = \vartheta U$ zmienia się w przedziale od 0 do wartości maksymalnej, wynikającej w przekładni transformatora ϑ , czyli ze stosunku liczb zwojów $\frac{W_2}{W_1}$.

Trzy transformatory regulacyjne jednofazowe mogą być połączone w układ trójfazowy. Konieczne jest przy tym aby rdzenie ruchome wszystkich trzech transformatorów miały wspólny napęd i były obracane równocześnie o jednakowy kąt obrotu.

Na fig. 8 przedstawiony jest ideowy schemat połączeń trzech transformatorów jednofazowych w trójfazowym układzie transformatorowym, a na fig. 9 — w układzie autotransformatorowym. Trójfazowe układy transformatorów regulacyjnych mogą być stosowane do bezstopniowej regulacji napięcia w transformatorach głównych. W tym celu

mogą one być stosowane bądź w postaci oddzielnych jednostek z chłodzeniem powietrznym lub olejowym bądź też jako człony regulacyjne wbudowane do wspólnej kadzi z transformatorami głównymi. Układ połączeń takiego transformatora przedstawiają fig. 10 i fig. 11. Przedstawiono na nich transformator główny Tr_g i transformator dodawczy regulacyjny Tr_d . Na obu figurach transformator regulacyjny jest złożony z trzech transformatorów jednofazowych i połączony w układ autotransformatorowy. Na fig. 10 uzwojenie wtórne transformatora Tr_d jest zasilane napięciem z uzwojenia wtórnego transformatora głównego Tr_g , a na fig. 11 — z uzwojenia pierwotnego tego samego transformatora.

Transformator regulacyjny jednofazowy według wynalazku lub grupę złożoną z dwóch lub większej liczby takich transformatorów można zastosować w połączeniu z prostownikiem w charakterze źródła prądu stałego o napięciu regulowanym.

Zastrzeżenia patentowe

1. Transformator regulacyjny jednofazowy składający się z rdzenia blachowanego nieruchomego o jarzmie zewnętrznym z umieszczonymi wewnątrz niego czterema zębami i żłobkami, zaopatrzonego w dwa uzwojenia — pierwotne i wtórne umieszczone każde w dwóch przeciwnych żłobkach i przesunięte względem siebie o 90° , oraz z rdzenia blachowanego ruchomego bez uzwojenia, obrotowego lub przesuwanego o dwóch zębach, oddzielonego od rdzenia nieruchomego szczeliną powietrzną, znamienne tym, że szerokość zęba (2) rdzenia nieruchomego (1) i szerokość przerwy między zębami (2) licząc na wewnętrznej powierzchni zębów w szczelinie powietrznej jest równa w przybliżeniu jednej ósmej części obwodu koła, a szerokość zęba (4) rdzenia ruchomego (3) jest równa szerokości zęba (2) rdzenia nieruchomego (1), przy czym zęby rdzenia nieruchomego i ruchomego posiadają względem siebie skos równy w przybliżeniu połowie podziałki zębowej τ_2 rdzenia ruchomego (3) lub całej podziałki zębowej τ_1 rdzenia nieruchomego (fig. 1).
2. Transformator według zastrz. 1, znamienne tym, że posiada blachowany nieruchomy rdzeń (1) w kształcie zewnętrznym kwadratowym, prostokątnym, wielokątnym lub okrągłym.
3. Transformator według zastrz. 1 i 2, znamienne tym, że krawędzie zębów posiadających skos tworzą linię odmienną od linii prostej w celu wpłynięcia na kształt krzywej regulacji napięcia w zależności od kąta obrotu rdzenia ruchomego.
4. Transformator według zastrz. 1—3, znamienne tym, że zęby (2) rdzenia nieruchomego (1) mają nierówną szerokość, przy czym szersza jest głowica zęba przy szczelinie powietrznej, a trzonek między głowicą zęba i jarzmem jest węższy (fig. 1).
5. Transformator według zastrz. 1—4, znamienne tym, że jego uzwojenia pierwotne i wtórne są

połączone w układzie transformatorowym (fig. 5) lub w układzie autotransformatorowym (fig. 6).

6. Odrębiana transformatora według zastrz. 1—5, 5
znamienna tym, że transformator posiada konstrukcję rozwiniętą płaską (fig. 2 i 3) przy czym jego rdzeń przesuwany (3) posiada swobodę ruchu względem rdzenia nieruchomego (1) przy ruchu prostoliniowym wzdłuż rdzenia nieruchomego (1) i przy niezmienniej szczeliny δ w zakresie 0,25 podziałki zębowej τ_2 rdzenia ruchomego (3). 10
7. Transformator według zastrz. 1—5, znamienny 15
tym, że posiada konstrukcję rozwiniętą segmentową, przy czym jego rdzeń ruchomy posiada swobodę ruchu w zakresie obrotu o kąt odpowiadający 0,25 podziałki zębowej τ_2 rdzenia ruchomego. 20
8. Układ złożony z dwóch lub większej liczby 25
transformatorów według zastrz. 1—7, znamienny tym, że uzwojenia pojedynczych transformatorów połączone są w układ wielofazowy,

np. w układ trzech transformatorów z uzwojeniami, połączonymi w układ trójfazowy transformatorowy (fig. 8) lub autotransformatorowy (fig. 9).

9. Układ według zastrz. 8, znamienny tym, że 5
jest wbudowany we wspólnej kadzi z transformatorem głównym olejowym lub ustawiony oddzielnie w kadzi lub jako suchy z chłodzeniem powietrznym i stanowi wraz z transformatorem głównym wspólną jednostkę z regulacją napięcia, przy czym przez uzwojenie wtórne transformatora regulacyjnego przepływa prąd główny transformatora głównego a uzwojenie pierwotne transformatora regulacyjnego zasilane jest bądź z zacisków uzwojenia wtórnego transformatora głównego (fig. 10), 10
bądź z zacisków uzwojenia pierwotnego tegoż transformatora (fig. 11).
10. Transformator według zastrz. 1—7 lub układ 15
transformatorów według zastrz. 8 i 9, znamienny tym, że połączony jest z prostownikiem, z którym tworzy źródło napięcia stałego o wartości regulowanej.

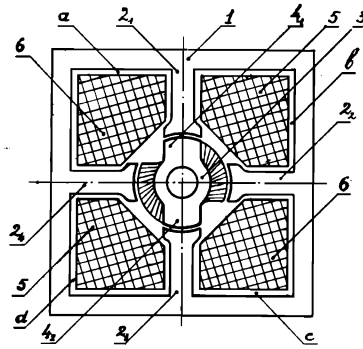


Fig. 1

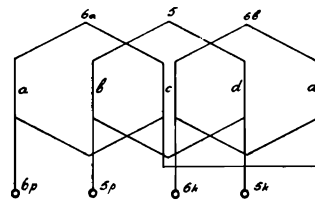
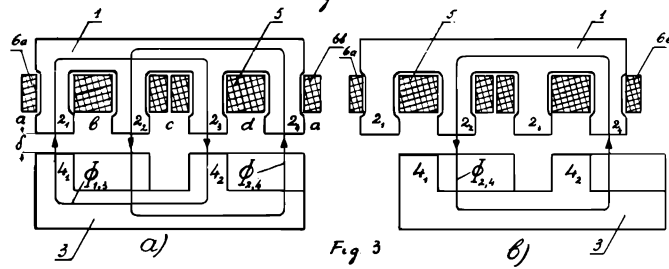
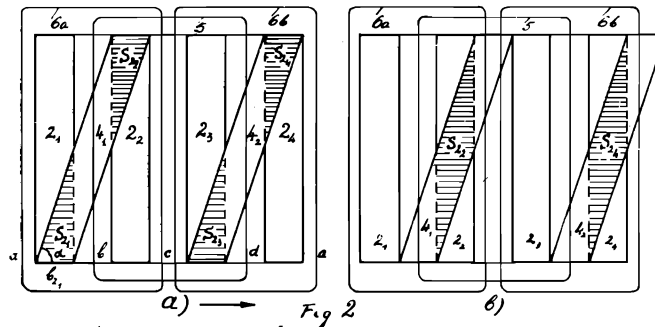


Fig. 4

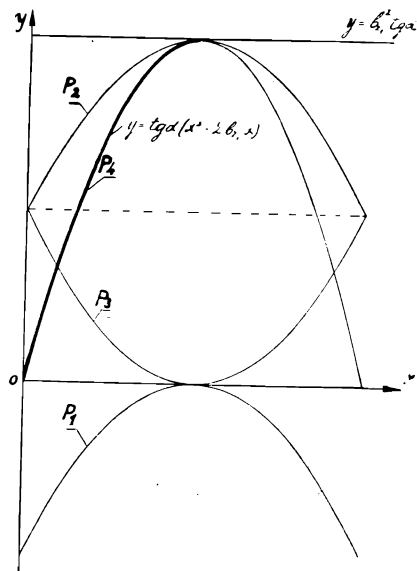


Fig 5

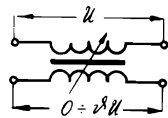


Fig 6



Fig 7

