

Zbigniew ŚMIGIEL

Instytut Podstawowych Problemów
Elektrotechniki i Energoelektroniki
Politechniki Śląskiej

MAGNETYCZNE KONWERTORY PARAMETRYCZNE

Streszczenie. Podano przyczyny wprowadzenia wielofunkcyjnych elementów magnetycznych stosowanych najczęściej w zasilaczach i przytoczono własności tych elementów. Porównano tradycyjne układy zasilania aparatury elektronicznej z konwertorami magnetycznymi. Przytoczono przykłady ortogonalnych konwertorów parametrycznych.

1. Wstęp

Intensywne wprowadzanie mikroelektroniki do różnych urządzeń zwiększyło wymagania stawiane aparaturze elektronicznej i zmusiło do poprawy wskaźników techniczno-ekonomicznych tej aparatury. Zwiększenie pewności oraz zmniejszenie masy i gabarytów części funkcyjnej aparatury elektronicznej uzyskano przez wprowadzanie układów scalonych i zintegrowanych układów scalonych. Postęp w polepszaniu wskaźników części zasilającej jest jednak nieznaczny, ponieważ trudno miniaturyzować transformatory, dławiki czy kondensatory. W rezultacie gabaryty zasilaczy stanowią nadal około 50% całości aparatury. Niewielkie efekty daje stosowanie nowych technologii czy konstrukcji zasilaczy. Perspektywiczne staje się konstruowanie wielofunkcyjnych elementów magnetycznych spełniających kilka funkcji dzięki równoczesnemu wykorzystaniu różnych zjawisk i efektów fizycznych.

2. Tradycyjne układy zasilania [1]

Dotychczasowe układy zasilające z niesterowanymi zaworami oparte są na stabilizacji liniowej bądź przełączeniowej i mogą ponadto wykorzystywać pośrednie przekształcanie częstotliwościowe. Tradycyjny zasilacz z liniową stabilizacją ma duże gabaryty, co wiąże się z masą transformatora, filtru i stabilizatora oraz niską sprawność szczególnie przy niskich napięciach wyjściowych (poniżej 6V) i dużych prądach obciążenia (powyżej 2-3A). Niska sprawność ($\eta < 0,5$) związana jest z zastosowaniem tranzystora jako elementu regulacyjnego. Tranzystor ten spełnia rolę sterowanej rezystan-

cji, na której wydziela się tracona moc. Jednostkowa moc takiego zasilacza wynosi około 20 W/dm^3 . W zasilaczu ze stabilizacją przełączeniową szeregowy element regulacyjny pracuje jak przełącznik i poprzez regulację czasu pracy stabilizatora steruje wartością średnią mocy w obciążeniu. Przy tej samej mocy transformatora zasilacz ze stabilizacją przełączeniową jest około 3-krotnie mniejszy i siedmiokrotnie lżejszy. Sprawność jego jest rzędu $\eta \approx 0,7$, a moc jednostkowa 30 W/dm^3 . Wadami stabilizacji przełączeniowej są duże pulsacje napięcia wyjściowego, znaczny poziom zakłóceń, zła praca przy zmiennym obciążeniu i mniejsza pewność. Ponadto cena tego zasilacza jest dużo wyższa niż zasilacza ze stabilizacją liniową. Wyównanie cen następuje przy mocach około 1 kW. Najślabszym elementem zasilaczy budowanych według tradycyjnych schematów jest stabilizator. Dlatego w ostatnich latach pojawiło się nowe rozwiązanie. Polega ono na wprowadzeniu wstępnej stabilizacji na elementach pasywnych, co pozwala ponadto uzyskiwać dwustronne powiązanie wejścia i wyjścia, niemożliwe w układach tradycyjnych.

3. Wielofunkcyjne elementy magnetyczne (WEM)

Wykorzystanie zasady fizycznej integracji, pozwalające na jednoczesne spełnianie wielu funkcji przez pasywny element magnetyczny o specyficznej konfiguracji rdzeni, otwiera szerokie perspektywy dla nowych konstrukcji układów zasilania. Analiza rozwoju WEM wskazuje na coraz większą liczbę firm zagranicznych zajmujących się opracowaniami, badaniami i budową układów zasilających na bazie WEM, czyli konwertorami magnetycznymi. Konwertor magnetyczny można traktować jako wielofunkcyjny zasilacz, czyli urządzenie przekazujące energię ze źródła do odbiornika poprzez przekształcanie parametrów wyjściowych z jednoczesnym wielofunkcyjnym działaniem. Przykładem może być zasilacz z jednoczesną stabilizacją, filtracją, zabezpieczeniem przeciążeniowym i zmianą częstotliwości.

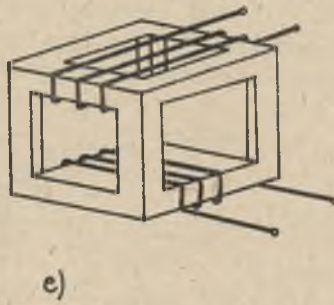
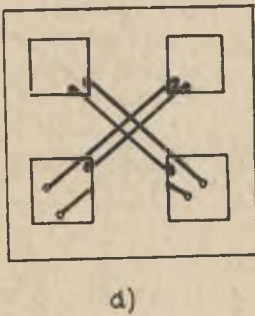
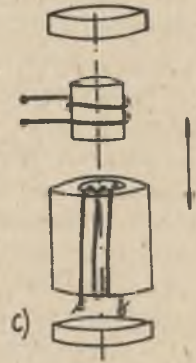
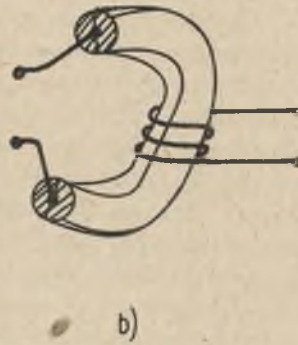
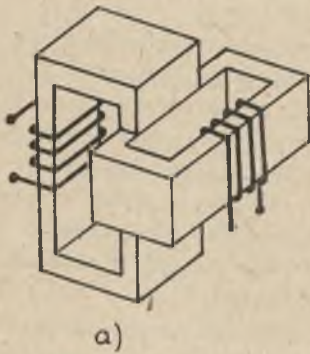
W porównaniu z zasilaczami tradycyjnymi konwertory magnetyczne zbudowane na bazie WEM posiadają dobre wskaźniki elektryczne, składają się z mniejszej liczby elementów, są tańsze w produkcji i eksploatacji. Określa to perspektywy rozwoju WEM przy obciążeniach powyżej 20-30 W.

Do WEM zalicza się:

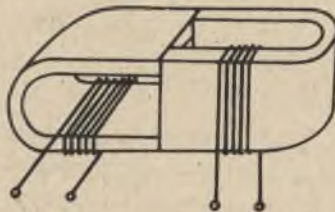
- a) PARAFORMER - transformator parametryczny,
- b) KONTROFLUKSOR - transformator ferorezonansowy sterowany strumieniem,
- c) FLUKSOTRAN - transformator ferorezonansowy.

3.1. Transformator parametryczny (TP)

W nieliniowych obwodach magnetycznych mogą powstawać drgania parametryczne przy wymuszaniu w części oscylacyjnej obwodu zmiany reaktancji L lub C . Zmianę indukcyjności można uzyskać wykorzystując interakcję między



f)



Rys. 1

polami magnetycznymi dwóch nieruchomych obwodów z rdzeniami ferromagnetycznymi. Urządzenie takie, nazwane transformatorem parametrycznym, pracuje przy równoległych strumieniach magnetycznych, przecinających się a w szczególności nawet prostopadłych.

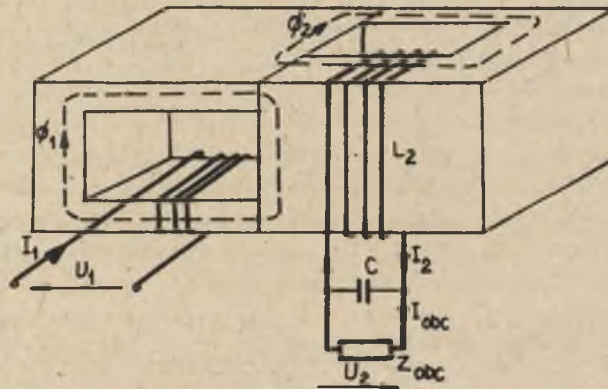
Konstrukcje niektórych rdzeni magnetycznych i rozłożenie uzwojeń w TP o prostopadłych strumieniach pokazuje rys. 1.

Klasycznym przykładem TP o równoległych strumieniach magnetycznych jest dobrze znany i opisany parametron. TP z równoległymi strumieniami posiada wiele zalet w porównaniu z TP o prostopadłych strumieniach [5,6,7] m.in. przy tej samej objętości żelaza może przekazywać 3-krotnie większą moc, minimalna rezystancja obciążenia jest dziesięciokrotnie mniejsza.

Do wad zalicza się: konieczność użycia w obwodzie wtórnym kondensatora o dużej pojemności, niezadawalający kształt napięcia wyjściowego.

Oba typy TP posiadają jednak zbieżne charakterystyki i własności, ponieważ działają na tych samych zasadach fizycznych.

Opierając się na przeprowadzonych eksperymentach można wykazać, że z sześciu konstrukcji TP o prostopadłych strumieniach najlepsze charakterystyki posiadają TP zbudowane na rdzeniach d, e, f (rys. 1). Najczęściej buduje się obecnie konwertory magnetyczne na rdzeniach skojarzonych, tak jak na rys. 2. Warto więc przytoczyć kilka podstawowych własności i charakterystyk tego układu [2,4,7,11]. Taki układ TP, zbudowany po raz pierwszy w 1967 roku w USA przez S.D. Wanlassa, nosi nazwę paraformera.

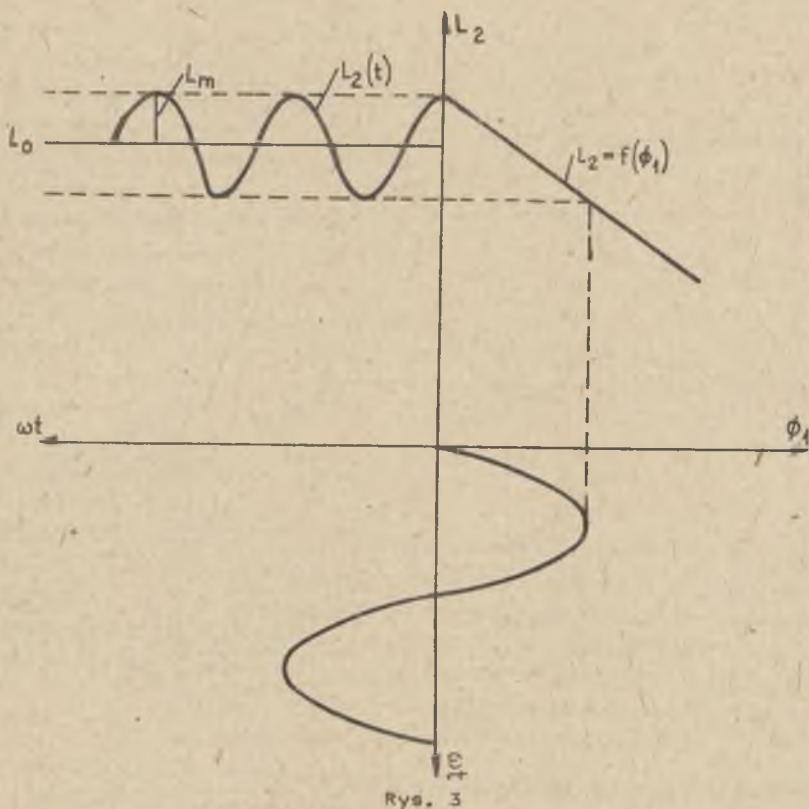


Rys. 2

Paraformer zapewnia jednocześnie: transformację napięcia, galvaniczne rozłączenie, stabilizację napięcia wyjściowego, filtrację, zabezpieczenie przetężeniowe obciążenia, przesunięcie napięcia wyjściowego o 90° względem wejściowego. Może być również statycznym powielaczem lub podzielnikiem częstotliwości. W paraformerze, jak w każdym TP, skuteczność działania polega na głębokości zmian indukcyjności L_2 w obwodzie oscylacyjnym.

Trudno analitycznie przedstawić zależność zmian $L_2(t)$, ponieważ $L_2 = F(\phi_1, \phi_2)$ jest funkcją obu strumieni, a co za tym idzie - parametrów geometrycznych i elektrycznych obwodów nieliniowych. Ponadto wpływ na L_2 ma też sprzężenie zwrotne pomiędzy obwodem wtórnym i pierwotnym. Można w różnych wersjach znajdować przybliżoną postać $L_2(t)$ i $L_2 = F(\phi_1, \phi_2)$ lub tylko $L_2 = f(\phi_1)$, lecz najczęściej korzysta się z eksperymentalnej krzywej transinduktancji wyrażającej zależność L_2 od zmian ϕ_1 .

Zlinearyzowana krzywa transinduktancji [4] ma postać podaną na rys. 3.



Sinusoidalny strumień ϕ_1 o częstotliwości f moduluje indukcyjność obwodu wtórnego L_2 z podwójną częstotliwością $2f$

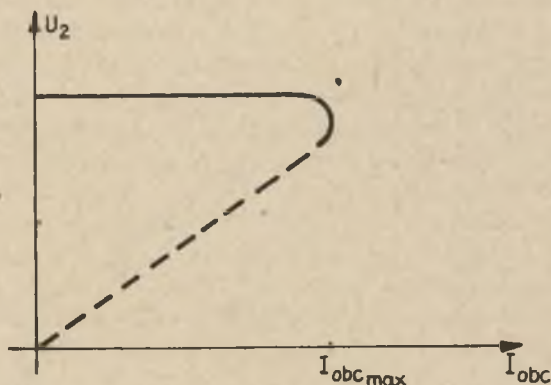
$$L_2 = L_0(1 + m \cos 2\omega t) \quad (1)$$

gdzie

$$m = \frac{L_m}{L_0} - \text{współczynnik modulacji.}$$

Współczynnik ten decyduje m.in. o wielkości mocy przenoszonej do obwodu wtórnego, a tym samym o sprawności paraformera.

Indukcyjność $L_2(t)$ jest modulowana z podwójną częstotliwością zmian strumienia Φ_1 , ale w zależności od kształtu napięcia zasilającego, rodzaju materiału i wymiarów geometrycznych rdzeni, liczby zwojów itp. może być odkształcona. Na wskutek odkształcenia (od sinusoidy o pulsacji 2ω) przebieg zawiera w rozkładzie Fouriera również inne harmoniczne. Kondensator C w obwodzie wtórnym należy dobrać do wartości L_0 i pierwszej harmonicznej napięcia zasilającego, co daje w efekcie oscylacje o częstotliwości f .



Rys. 4

Jeżeli jednak w rozkładzie Fouriera $L_2(t)$ jej 4 harmoniczna ma duży udział, to dostrajając C do L_1 i $2h$ otrzymamy na wyjściu napięcie U_2 o częstotliwości $2f$. Paraformer działa wtedy jak podwajacz częstotliwości, lecz jego sprawność jest tym mniejsza, im mniejszy jest udział 4 harmonicznej w przebiegu $L_2(t)$.

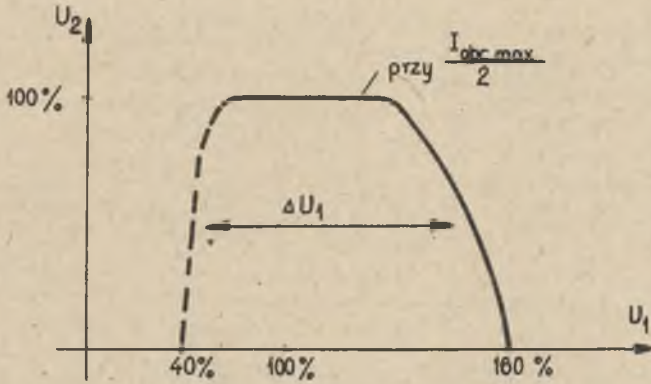
Napięcie wyjściowe $U_2(t)$ paraformera jest bardziej niezależne od harmonicznych napięcia wejściowego $U_1(t)$

niż w transformatorze konwencjonalnym i w TP o równolegle sprzężonych strumieniach. Ta własność czyni paraformer przydatnym w roli filtru.

Charakterystyka zewnętrzna przytoczona jest na rys. 4. Widać z niej, że paraformer działa jak stabilizator z jednoczesnym zabezpieczeniem przeciążeniowym. Odchyłki od wielkości stabilizowanego napięcia [4] wynoszą około 4,5% przy obciążeniu RL, 3% przy R i 0,2% przy RC.

Można obliczyć wartość impedancji obciążenia ($Z_{obc_{min}}$), przy której następuje zerwanie oscylacji i impedancja wejściowa osiąga największą wartość [4, 11]. Paraformer zachowuje swoje własności stabilizujące w dużym przedziale zmian obciążenia. Zmiana stabilizowanego napięcia U_2 nie jest płynna, a ustalenie nowej stabilizowanej wielkości U_2 wymaga obliczeń i zmiany parametrów układu. Zmienia się wtedy również $Z_{obc_{min}}$.

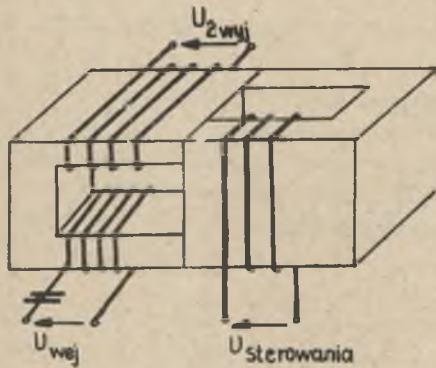
Napięcie U_2 jest stabilizowane również w szerokim zakresie zmian napięcia wejściowego U_1 (rys. 5). Ta własność czyni paraformer regulatorem napięcia U_2 z zabezpieczeniem pod- i nadnapięciowym od zmian napięcia wejściowego U_1 . Wartość ΔU_1 - zmian napięcia wejściowego - przy której zachodzi stabilizacja U_2 , zależy od obciążenia paraformera. Przy $I_{obc} = \text{const}$ ΔU_1 zależy przede wszystkim od współczynnika modulacji.



Rys. 5

3.2. Kontrofluksor - sterowany strumieniem transformator ferrorezonansowy (rys. 6) [1]

Układ ten jest niewrażliwy na znaczne zmiany napięcia wejściowego częstotliwości i prądu obciążenia. Podobnie jak paraformer, zawiera statyczne elementy magnetyczne zapewniające dobrą stabilizację napięcia, zabezpieczenie przeciążeniowe obciążenia i zabezpieczenie podnapięciowe.



Rys. 6

Przesunięcie fazowe napięć wyjścia i wejścia wynosi 70° przy pełnym obciążeniu i 20° bez obciążenia. Układ wymaga dość złożonego aktywnego bloku sterowania. Kontrofluksory pracują w stanie nasycenia, a napięcie na cewce wyjściowej ma kształt bliski prostokątnemu.

3.3. Fluksotran - transformator ferrorezonansowy

Kształt napięcia wyjściowego fluksotranu zbliżony jest do prostokąta, co ułatwia następnie prostowanie i filtrację. Konwertyory na bazie fluksotranów są proste, pewne i tanie. Zapewniają również zabezpieczenie od przeciążeń bez pomocy dodatkowych urządzeń.

Tabela 1

Własności wielofunkcyjnych elementów magnetycznych [1]

Własność	Transf. normalny	Fluksotran	Paraformer	Kontrofluksor
Tylko elementy pasywne	tak	tak	tak	tak
Elementy	2 cewki rdzeń	3 cewki, rdzeń, kondensator	2 cewki, rdzeń, kondensator	3 cewki, rdzeń, kondensator, blok sterow. aktywny (30 elementów)
Stabilizacja napięcia	nie	$\pm 1\%$	$\pm 0,25\%$	$\pm 0,25\%$
Filtracja zakłóceń	nie	nie duża	tłumienie > 50 dB	dobra przy częstotliwościach bliskich częst. zasilania
Zabezpieczenie przeciążeniowe	nie	częściowe	tak	tak
Zabezp. podnap. wejścia	nie	nie	tak	tak
Przesunięcie fazowe	180°	zależy od obciąż.	90°	20° bez obciąż. 70° pełne obciążenie

4. Ortogonalne konwertyory parametryczne

Wiele firm amerykańskich, japońskich i francuskich (m.in. Westinghouse Elec. Co, Advanced Power Inc., Wanlass Elec. Co, Kepco, Adtech Power Inc. Sintra) opatentowało niektóre rozwiązania i wypuściło na rynek gotowe, sprawdzone konwertyory. Inne modele pozostają w stadium intensywnych badań, opracowań i przygotowań do produkcji seryjnej.

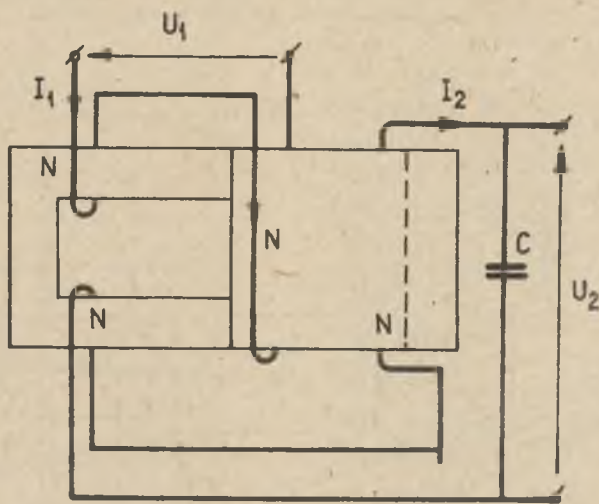
Konwertyory budowane są na wielu WEM, z różną modyfikacją i konfiguracją uzwojeń, z wieloraką nadbudową elektroniczną. Realizują przekształcanie energii ($=/=$, $=/\sim$, $\sim/=$, \sim/\sim) i ponadto mogą być jednocześnie wielolaczami lub podzielnikami częstotliwości.

Najczęściej stosowanym w konwertyorach WEM jest paraformer. Ze względu na sporą liczbę patentów i rozwiązań przytoczono tylko niektóre możliwości wykorzystania paraformera.

4.1. Parametryczne konwertyory magnetyczne na bazie paraformera

4.1.1. Paraformer krzyżowy

Paraformer o izotropowych rdzeniach nie posiada w zasadzie sprzężenia indukcyjnego pomiędzy cewkami. Jeżeli rdzenie są zbudowane z materiału anizotropowego, to sprzężenie to już jest nie do pominięcia i wnosi istot-



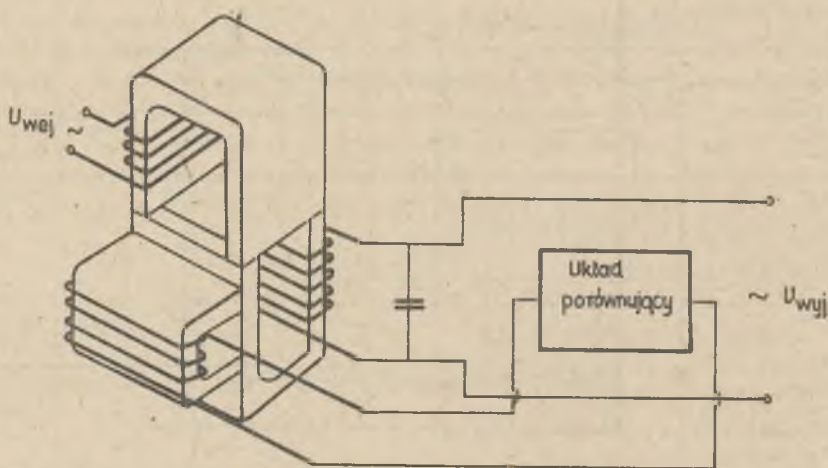
Rys. 7

te zmiany w pracy konwertyora. Zamiast konstruowania trudnego w obliczeniach paraformera anizotropowego, zastosowano zmodyfikowany, krzyżowy sposób nawinięcia cewek (rys. 7). W układzie takim wykorzystuje się równocześnie prostopadłe i wzdłużne sprzężenia strumieni, czyli mieszany mechanizm przesyłu mocy, za pomocą parametrycznego i jednocześnie transformatorowego sprzężenia. Porównując paraformer normalny i krzyżowy o takich samych rdzeniach i liczbach zwojów [8] uzyskano dla paraformera krzyżowego większy współczynnik modulacji, lepszą sprawność (o 20%), wyższy współczynnik mocy (0,015), większą moc wyjściową (3-krotnie), lepszy efekt stabilizacji napięcia, zwiększenie przedziału obciążalności. Ale jednocześnie większy udział wyższych harmonicznych w napięciu wyjściowym (o 10%), a ponadto musiano użyć kondensatora o dużo większej pojemności (ponad 3-krotnie).

4.1.2. Paraformer ze sterowanym strumieniem

Firma Wanlass Electric Co. przedstawiła sposób realizacji dodatkowego sprzężenia zwrotnego w konwertyorze, podany na rys. 8. Uzwojenie sterujące powiązane jest z układem porównującym. W czasie pracy konwertyora prąd poprzez uzwojenie sterujące zmienia reluktancję rdzenia tak, że pojawia się efekt stabilizujący.

Zaletą tego stabilizatora jest nieczułość na zmiany częstotliwości, obciążenia i napięcia wejściowego. Stabilizacja częstotliwościowa polega na tym, że przy obniżeniu częstotliwości sieci zasilającej obniża się również napięcie i prąd w uzwojeniu sterującym, co powoduje zmniejszenie reluktancji rdzenia wtórnego, a tym samym zwiększenie stabilizowanego na-



Rys. 8

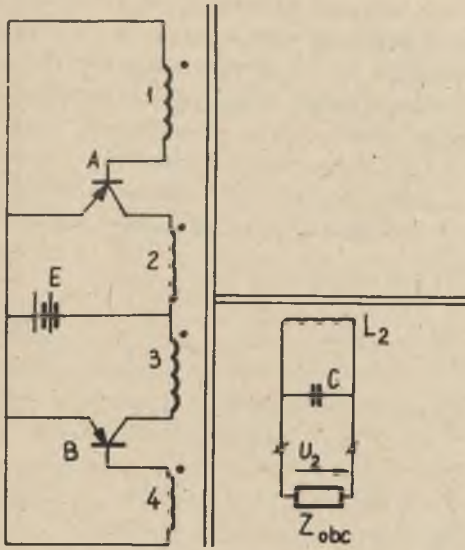
pięcia wyjściowego. Przy dostatecznie dużej indukcyjności uzwojenia sprzężenia zwrotnego sterowanie można realizować również za pomocą modulacji szerokoimpulsowej, co zwiększa stabilność i polepsza charakterystyki dynamiczne.

4.1.3. Konwertyor ($=/\omega$) o regulowanej częstotliwości

Interesująca wydaje się propozycja budowy konwertyora parametrycznego, napięcie stałe - napięcie sinusoidalne o regulowanej częstotliwości, na rdzeniach paraformera (rys. 9).

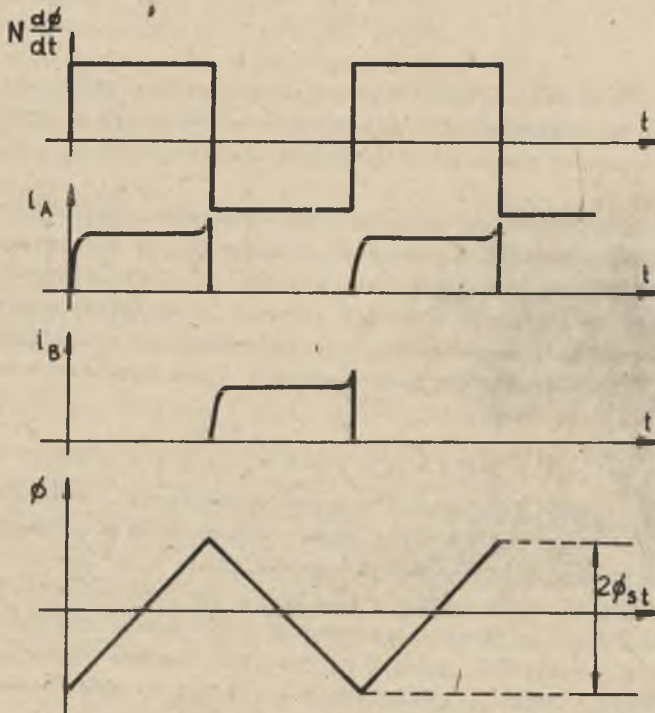
Na pierwotnym rdzeniu o kształcie C, najlepiej o prostokątnej pętli histerezy, usytuowany jest układ Royera. Dwa tranzystory PNP użyte jako kontrolowane przełączniki, cewki 1 i 4 o małej liczbie zwojów służące do sterowania tranzystorami oraz cewki robocze 2 i 3 o jednakowej liczbie zwojów tworzą podstawowy układ konwertyora napięciowo-częstotliwościowego. Na drugim rdzeniu o kształcie C umieszczony jest obwód oscylacyjny. Tranzystory A i B przełączają na przemian stałe napięcie E na cewki 2 i 3, powodując cykliczne zmiany strumienia w rdzeniu pomiędzy nasyceniami $\pm \phi_B$. Wypadkowe napięcie na rdzeniu pierwotnym ma kształt zbliżony do prostokąta.

Jeżeli przewodzi tranzystor A, to na cewce 2 pojawia się napięcie E. Napięcia o odpowiedniej polaryzacji pojawiają się we wszystkich uzwojeniach na rdzeniu. Indukowane napięcie w cewce 1 polaryzuje ujemnie bazę tranzystora A względem emitera i tranzystor przewodzi przy bardzo małym spadku napięcia U_{CE} . Tranzystor B jest zablokowany, ponieważ jego baza jest spolaryzowana przez uzwojenie 4 dodatnio. Tranzystor A przewodzi,



ys. 9

dopóki strumień nie osiągnie wartości nasycenia $+\phi_s$. Przy nasyceniu pojawia się wiele efektów równocześnie. Prąd kolektorowy rośnie gwałtownie do wartości narzuconej przez polaryzację bazy. Napięcie na cewkach maleje, a na tranzystorach rośnie. Zanik polaryzacji bazy tranzystora A powoduje jego blokadę i w konsekwencji otwieranie obwodu cewki 2. Strumień zmniejsza się nieznacznie, co indukuje w uzwojeniach małe napięcie o przeciwnej polaryzacji. Daje to ujemną polaryzację bazy tranzystora B, który zaczyna przewodzić, co powoduje, że strumień maleje nadal i cykl odwraca się. Napięcie wyjściowe E jest teraz załączone na cewkę 3. Stru-



Rys. 10.

mień w rdzeniu maleje liniowo, dopóki nie osiągnie nasycenia $-\phi_s$, co zamyka cykl. Idealizowane przebiegi czasowe napięcia wypadkowego, prądów kolektorowych i strumienia w rdzeniu w układzie Royera przedstawia rys. 10.

Napięcie wypadkowe działające na pierwotny rdzeń jest falą prostokątną lub jest do niej zbliżone. Czas trwania połowy cyklu określony jest przejściem strumienia od $-\phi_s$ do $+\phi_s$ i zależy od parametrów rdzenia i napięcia wejściowego E . Przy pominięciu spadków napięć na tranzystorach i przyjęciu jednakowej liczby zwojów N w cewkach 2 i 3 wypadkowe napięcie E pojawia się na cewce o N zwojach

$$E = N \frac{d\phi}{dt} \quad (2)$$

Całkując tę relację za $1/2$ okresu otrzymamy

$$\int_0^{T/2} E dt = \int_{-\phi_s}^{+\phi_s} N d\phi \quad (3)$$

Ze wzoru (3) wynika

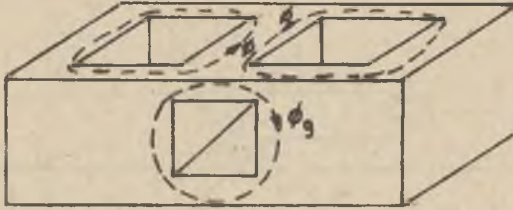
$$f = \frac{E}{4N\phi_s} \quad (4)$$

Z relacji (4) widać, że częstotliwość zmian napięcia prostokątnego jest proporcjonalna do wielkości stałego napięcia wejściowego E . Strumień pierwotny moduluje zmianę indukcyjności obwodu oscylacyjnego L_2 z podwójną częstotliwością f .

W obwodzie oscylacyjnym uzyskiwane jest napięcie sinusoidalne, stabilizowane o regulowanej częstotliwości f zależnej od parametrów obwodu a przede wszystkim od wartości napięcia stałego E . Częstotliwość maksymalna jest zdeterminowana przez straty w rdzeniu. W zmodernizowanym układzie Royera na jednym rdzeniu uzyskiwano częstotliwości w przedziale od 10 Hz do 1 MHz, co rokuje uzyskanie tych własności i dla konwertora na paraformerze.

4.1.4. Powielacze częstotliwości

Rozbudowując układ paraformera poprzez dostawianie większej liczby rdzeni kształtu C z różnie nawiniętymi cewkami wraz z podmagnesowaniem prądem stałym uzyskuje się konwertory powielające $2k$ lub $(2k - 1)f$ częstotliwość napięcia zasilającego [10]. $2k$ -liczba dostawianych jednakowych rdzeni C . Rozpatrzmy najprostszy konwertor tego typu, zbudowany na rdzeniu ferrytowym o kształcie podanym na rys. 11, będący podwajaczem częstotliwości. Schemat ideowy i idealizowane przebiegi czasowe konwertora przedstawia rys. 12.



Rys. 11

Cewki N_1 i N_2 załączone są na sinusoidalne napięcie zasilania U_1 o częstotliwości f . Obwód podmagnesowania składa się z prostownika, cewki N_0 i impedancji Z_0 wygładzającej i ustalającej wielkość prostowanego prądu P_0 . Po załączeniu napięcia U_1 na skutek podmagnesowania rdzenia, na którym nawinięta jest cewka N_1 , na cewce tej pojawia się napięcie $N_1 \frac{d\phi_1}{dt}$ (rys. 12). Kształt tego napięcia zależy od wartości prądu podmagnesowania. Jeżeli konwertyor ma działać jako podwajacz częstotliwości, optymalny kształt tego napięcia jest taki, jak na rys. 12.

Na cewce N_2 pojawi się napięcie $U_1 - N_1 \frac{d\phi_1}{dt} = N_2 \frac{d\phi_2}{dt}$.

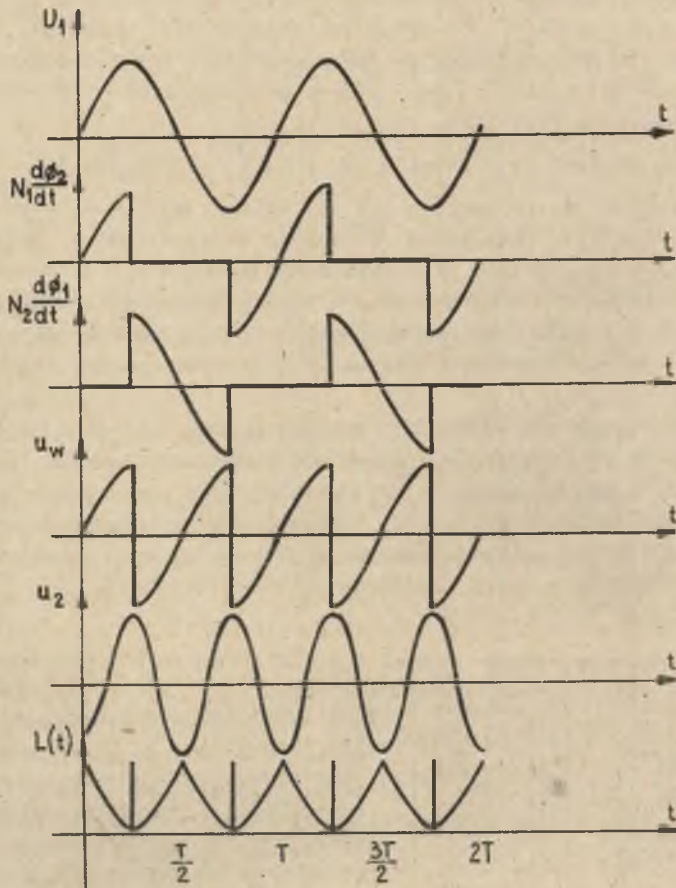
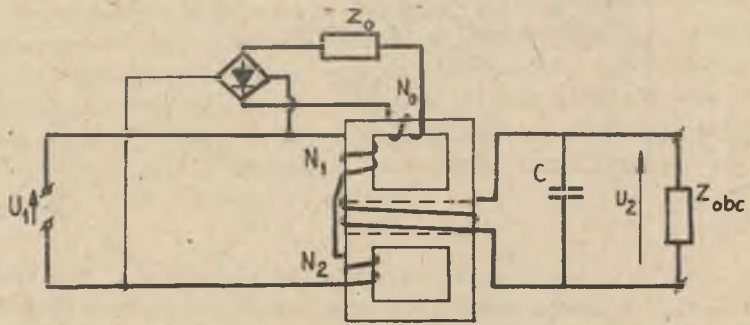
Działanie napięć, pojawiających się na cewkach N_1 i N_2 , na rdzeń główny, na którym nawinięta jest cewka N obwodu oscylacyjnego, jest przeciwnie. Na rdzeń główny działa więc wypadkowe napięcie U_w , które moduluje zmianę indukcyjności L obwodu oscylacyjnego z począwną częstotliwością $4f$ napięcia zasilającego. Daje to w obwodzie oscylacyjnym drgania o częstotliwości $2f$. Układ zachowuje własności paraformera, lecz jego sprawność jest bardzo niska.

Powiększając liczbę dostawianych rdzeni o kształcie C i zmieniając wielkości przepływów podmagnesowujących w tych rdzeniach, można kształtować przebieg wypadkowego napięcia U_w działającego na rdzeń główny. Dla potrójca częstotliwości na rys. 13 pokazano przekształcenie napięcia wejściowego U_1 na napięcie wypadkowe U_w .

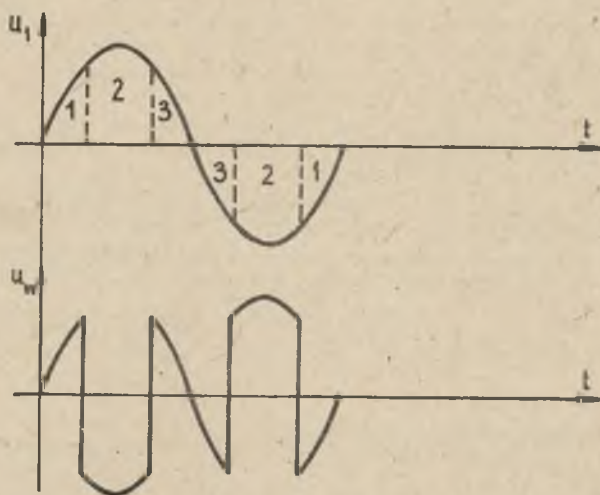
4.1.5. Inne rozwiązania

Paraformer można stosować również w konwertyorach z pośrednim przekształcaniem częstotliwości. Buduje się konwertyory z niesymetrycznymi rdzeniami paraformera lub ze szczelinami. Wprowadzenie szczeliny powietrznej na styku rdzeni poprawia kształt napięcia wyjściowego, nie pogarszając stabilności jego amplitudy. Przytacza się wyniki badań paraformera z rdzeniami typu most i równoważne układy mostkowe z liniowymi indukcyjnościami. Charakterystyki i własności tych układów są zbliżone z własnościami paraformera.

Wykorzystując 90° przesunięcie fazowe pomiędzy napięciami wyjścia i wejścia, można zbudować konwertyor przekształcający napięcie jednofazowe na układ trójfazowy i odwrotnie.



Rys. 12



Rys. 13

5. Podsumowanie

Budowa konwertyorów magnetycznych na bazie wielofunkcyjnych elementów magnetycznych pozwala na 3-krotne obniżenie objętości w porównaniu z zasilaczami tradycyjnymi i znaczne podwyższenie sprawności.

Obniża się cena, pracochłonność produkcji i koszty eksploatacji. Poprawia się stabilizacja, stabilność temperaturowa i pewność działania dzięki znacznemu zmniejszeniu liczby elementów.

LITERATURA

- [1] Zadieriej G.P.: Mnogofunkcjonalnyje magnitnyje radiokomponenty w sowriemiennych ustrojstwach pitanijs radioelektronnoj aparatury. Zarubieznaja radioelektronika No 7 1978.
- [2] Śmigiel Z.: Własności transformatora parametrycznego o prostopadłym sprzężeniu strumieni. Zeszyty Naukowe Pol.Śl. Elektryka z. 64, 1979.
- [3] Bojarczenkow M.A.: Magnitnyje elementy awtomatiki i wyczislennoj tiechniki. Moskwa - Wysszaja Szkoła 1976.
- [4] Fam W.Z et. al.: Theory and performance of parametric transformers. IEEE Winter Meeting, New York Jan. 30 Feb 4 1972. Paper 572-080-5.
- [5] Meiksin Z.M.: Comparison of orthogonal parallel flux variable inductore - IEEE Trans. on Industry Application, 1974, v. IA-10 No 3 p. 417-423.
- [6] Meiksin Z.M.: Parallel - flux parametric voltage regulator and comparison with orthogonal-flux parametric voltage regulator. IEEE Trans. on Ind. Apl. 1974, V. IA-10 No 3, p. 428-430.

- [7] Meiksin Z.M.: Orthogonal flux parametric voltage regulator - IEEE Trans. on Ind. Apl. 1974 v. IA-10 No 3, p. 424-427.
- [8] Fan W.Z. Bahl G.K.: Two related types of parametric transformers - IEEE Trans. on Mag. 1974, v. Mag - 10 No 3.
- [9] Murakami K. Miyazawa: A New DC-AC Converter by a Combination of Royer's circuit and Parametric Excitation - IEEE Trans. on Magnetics, Vol. Mag-10 No 4, p. 1129-1132.
- [10] Murakami K. Ohno K.: A New Frequency Multiplier Made of Magnetic Core with Multiple Holes - IEEE Trans. on Mag. v Mag-12 No 6 1976.
- [11] Burian K.: Theory and analysis of a parametrically excited passive power converter - IEEE Trans. Ind. Apl. vol. IA-8 1972 p. 278-282.

Przyjęto do druku w maju 1979 r.

МАГНИТНЫЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КОНВЕРТЕРЫ

Р е з ю м е

В статье представлены причины применения многофункциональных магнитных элементов, используемых чаще всего в питающих устройствах и указаны качества этих элементов. Сопоставлены традиционные системы питания электронной аппаратуры с магнитными конвертерами. Даны примеры ортогональных параметрических конвертеров.

MAGNETIC TIME-VARYING CONVERTERS

S u m m a r y

The paper discusses performance of multifunctional magnetic elements often applied in feeders as well as the reasons for their introduction. The traditional methods of feeding electronic devices have been compared with magnetic converters. Examples of orthogonal time-varying converters have been supplied.