



**URZĄD
PATENTOWY
PRL**

Patent tymczasowy dodatkowy
do patentu nr ———

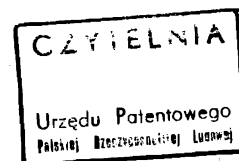
Int. Cl.³ H02M 5/45

Zgłoszono: 82 08 18 (P. 237955)

Pierwszeństwo: 81 08 20 Czechosłowacja

Zgłoszenie ogłoszono: 83 04 11

Opis patentowy opublikowano: 1987 03 31



Twórca wynalazku ———

Uprawniony z patentu tymczasowego: CKD Praha oborový podnik,
Praga (Czechosłowacja)

Układ przemiennika częstotliwości z własną komutacją

Przedmiotem wynalazku jest układ przemiennika częstotliwości z własną komutacją, stosowany dla napędów jedno- i wielosilnikowych z silnikami asynchronicznymi i synchronicznymi, jak również dla innych rodzajów obciążeń.

Przemiennik częstotliwości stanowi korzystne rozwiązanie dla sterowania częstotliwości, zwłaszcza silników asynchronicznych. Stosowana w przemienniku częstotliwości tak zwana komutacja trójstopniowa umożliwia maksymalną niezależność efektów komutacji w przemienniku od warunków obciążenia. Dzięki trójstopniowej komutacji za pomocą tego samego przekształtnika można realizować napędy jedno- i wielosilnikowe złożone z silników asynchronicznych. Przy przemiennikach z trójstopniową komutacją ważne jest odprowadzenie tak zwanej mocy magazynowanej z kondensatora magazynującego przekształtnika. Przemienniki częstotliwości z trójstopniową komutacją są w większości wyposażone w tak zwany człon magazynujący prądu stałego, który przeważnie utworzony jest z prostownika diodowego i kondensatora filtru. Moc magazynowana, która przechodzi na kondensator z silnika poprzez prostownik, musi być odprowadzana ze względu na utrzymywanie równowagi napięcia na tym kondensatorze. Moc ta stanowi w praktyce 5–20% mocy przemiennika według obciążenia i stanów dynamicznych silnika. Pożądane jest odprowadzenie tej mocy bez strat, mianowicie do sieci zasilającej, do pośredniego obwodu prądu stałego lub do silnika. Dotychczas znane rozwiązania przemienników częstotliwości z trójstopniową komutacją rozwiązują ten problem przez odprowadzanie mocy poprzez indukcyjność wygładzającą, przemiennik z zewnętrzną komutacją oraz transformator do sieci zasilającej. Innym stosowanym rozwiązaniem jest rozładowanie kondensatora przez specjalny przekształtnik w pośrednim obwodzie prądu stałego.

Rozwiązanie z transformatorem wymaga ciężkich dławików i transformatora, a rozwiązanie z przekształtnikiem w pośrednim obwodzie prądu stałego uniemożliwia dobre opanowanie mocy uderowych przy szybkich dynamicznych zmianach prędkości obrotowej i momentu silnika.

Układ przemiennika częstotliwości z własną komutacją, zasilany przez sterowany prostownik tyrystorowy i indukcyjność wygładzającą, który zawiera prostownik magazynujący, falownik, prostownik tyrystorowy, pomocniczy regulator prądu stałego i źródło impulsów prądowych komutacji, według wynalazku charakteryzuje się tym, że falownik dołączony poprzez zaciski stało-

prądowe przez indukcyjność wygładzającą do zacisków stałoprądowych sterowanego prostownika tyrystorowego jest poprzez zaciski przemiennoprądowe połączony z obciążeniem, do którego równolegle dołączone są prostownik magazynujący i przeciwnie zorientowany prostownik tyrystorowy. Odpowiednie zaciski stałoprądowe prostownika magazynującego i prostownika tyrystorowego są wzajemnie połączone przeciwstawnie poprzez pierwszą i drugą impedancję, a równolegle do zacisków stałoprądowych prostownika tyrystorowego dołączone są dwie gałęzie z szeregowo połączonymi tyrystorami komutacji. Wspólne punkty pierwszego i drugiego tyrystora komutacji oraz trzeciego i czwartego tyrystora komutacji obu tych gałęzi są połączone poprzez źródło prądowych impulsów komutacji utworzone z szeregowo połączonej indukcyjności komutacji z kondensatorem komutacji. Ponadto pierwszy zacisk stałoprądowy falownika jest poprzez pierwszą diodę komutacji połączony ze wspólnym punktem anod pierwszego i czwartego tyrystora komutacji, a wspólny punkt katod drugiego i trzeciego tyrystora komutacji jest poprzez drugą diodę komutacji połączony z drugim zaciskiem stałoprądowym falownika. Do zacisków stałoprądowych prostownika magazynującego dołączony jest kondensator magazynujący, który jest połączony szeregowo z pomocniczym regulatorem prądu stałego, którego pierwszy zacisk wejściowy jest poprzez diodę ograniczającą połączony z drugim zaciskiem prądu stałego falownika, którego drugi zacisk stałoprądowy jest poprzez drugą diodę ograniczającą połączony z katodą diody rozdzielającej, która jest połączona z anodą w pierwszym zacisku stałoprądowym prostownika tyrystorowego. Szeregowo z diodą rozdzielającą połączony jest kondensator doładowujący, do którego dołączone jest równolegle pomocnicze źródło doładowania. Ponadto katoda diody rozdzielającej jest poprzez szeregowy obwód złożony z indukcyjności i tyrystora połączona z zaciskiem wejściowym źródła prądowych impulsów komutacji, który to zacisk jest połączony z jednym biegunem kondensatora komutacji.

Pomocniczy regulator prądu stałego zawiera tyrystor główny, którego katoda jest połączona z pierwszym zaciskiem, a anoda jest poprzez impedancję zwalniania połączona z drugim zaciskiem pomocniczego regulatora prądu stałego. Równolegle do tego tyrystora głównego dołączony jest obwód szeregowy złożony z indukcyjności, kondensatora i pierwszej diody pomocniczej. Ponadto przeciwrownolegle do tyrystora głównego i do impedancji zwalniania dołączona jest druga dioda pomocnicza.

Układ przemiennika częstotliwości według wynalazku z własną komutacją odprowadza energię z kondensatora magazynującego bez strat do silnika poprzez specjalny przekształtnik z własną komutacją. Obwody własnej komutacji są wspólne dla tego specjalnego przekształtnika i dla właściwego przemiennika częstotliwości.

Rozwiązanie według wynalazku objaśniono w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat zasadniczy układu, a fig. 2 — poszczególne fazy komutacji na schematach obwodów zastępczych.

Falownik 2^0 zasilany jest przez sterowany prostownik tyrystorowy 1^0 i indukcyjność wygładzającą $L1$. Wyjściem przemiennoprądowym falownika 2^0 jest obciążenie 8^0 . Równolegle do obciążenia 8^0 dołączony jest prostownik magazynujący 3^0 i przeciwnie zorientowany prostownik tyrystorowy 4^0 . Strony stałoprądowe prostownika magazynującego 3^0 i prostownika tyrystorowego 4^0 są połączone poprzez impedancje $Z1, Z2$ utworzone z rezystora, indukcyjności lub kombinacji rezystancji i indukcyjności. Obwód komutacji falownika 2^0 utworzony jest przez tyrystory komutacji $21, 22, 31$ i 32 , diody komutacji $91, 92$ i źródło prądowych impulsów komutacji 6^0 , które utworzone jest z szeregowego obwodu złożonego z indukcyjności komutacji $L4$ i kondensatora komutacji $C4$. Na zaciskach stałoprądowych $3.1, 3.2$ prostownika magazynującego 3^0 dołączony jest kondensator magazynujący $C1$, do którego dołączony jest szeregowy obwód pomocniczego regulatora prądu stałego 5^0 .

Ten regulator prądu stałego 5^0 złożony jest z tyrystora głównego 50 , członu komutacji $L2, C3$ tyrystora pomocniczego 51 i diod pomocniczych 78 i 77 . Ponadto pomocniczy regulator prądu stałego 5^0 ma w obwodzie szeregowym z tyrystorem głównym 50 impedancję zwalniania $Z3$ dla zadowalającego wyłączania tyrystora 50 . Dla ograniczania przepięcia na tyrystorach zastosowano diody ograniczające $93, 94$ i kondensator doładowujący $C2$ z diodą rozdzielającą 95 . Doładowanie kondensatora komutacji $C4$ zapewnia tyrystor 41 z indukcyjnością $L3$ i kondensatorem doładowujący $C2$. Napięcie początkowe na kondensatorze doładowującym $C2$ zapewnia pomocnicze źródło

doładowania 7^0 , które zawiera transformator jedno lub trójfazowy i prostownik diodowy. Właściwe rozładowanie kondensatora magazynującego $C1$ zapewnione jest przez sześć tyrystorów prostownika tyrystorowego 4^0 . Poniżej opisane zostanie działanie przemiennika częstotliwości według wynalazku.

Założmy, że należy przeprowadzić komutację prądu z tyrystora głównego 12 falownika 2^0 do tyrystora 14 , to znaczy komutację prądu fazy T do fazy R . Prąd w nie komutowanej fazie S nie zmienia się. W chwili komutacji polaryzacja dodatnia kondensatora komutacji $C4$ źródła prądowych impulsów komutacji 6^0 występuje na zacisku 6.1 . Przez włączenie pierwszego i trzeciego tyrystora komutacji 21 , 31 prądowy impuls komutacji podany zostaje na tyrystor główny 12 falownika 2^0 . Przechodzi on przez trzeci tyrystor komutacji 31 , impedancję $Z2$ diodę 72 prostownika magazynującego 3^0 do tyrystora głównego 12 , poprzez pierwszą diodę komutacji 91 i pierwszy tyrystor komutacji 21 z powrotem do zacisku 62 źródła prądowych impulsów komutacji 6^0 . Przez przełączenie tyrystorów komutacji 21 , 31 prądowych impulsów komutacji wyłącza również wszystkie przewodzące tyrystory prostownika tyrystorowego 4^0 . Droga wyłączania tyrystorów 61 , 63 , 65 prostownika tyrystorowego prowadzi poprzez trzeci tyrystor komutacji 31 do katod tyrystorów 61 , 63 , 65 poprzez diody 71 , 73 , 75 prostownika magazynującego 3^0 i pierwszą impedancję $Z1$ oraz poprzez pierwszy tyrystor komutacji 21 z powrotem do zacisku 6.2 źródła prądowych impulsów, komutacji 6^0 . Droga wyłączania tyrystorów 64 , 66 , 62 prostownika tyrystorowego 4^0 prowadzi podobnie do źródła prądowych impulsów komutacji 6^0 poprzez trzeci tyrystor komutacji 31 , drugą impedancję $Z2$, diody 74 , 76 i 72 do włączonych tyrystorów 64 , 63 , 62 i poprzez pierwszy tyrystor komutacji 21 do źródła prądowych impulsów komutacji 6^0 . Widać zatem, że przez przełączenie pierwszego i trzeciego tyrystora komutacji 21 , 31 z polaryzacją dodatnią na zacisku 6.1 następuje wyłączenie nie tylko tyrystorów głównych falownika 2^0 lecz również przewodzących prąd tyrystorów prostownika tyrystorowego 4^0 . Po wyłączeniu tyrystora 12 prąd w fazie T przepływa nadal przez obciążenie 8^0 , poprzez pierwszą diodę komutacji 91 , pierwszy tyrystor komutacji 21 , źródło prądowych impulsów komutacji 6^0 , trzeci tyrystor komutacji 31 , drugą impedancję $Z2$ i diodę 72 prostownika magazynującego 3^0 . Kondensator komutacji $C4$ ładuje się prądem obciążenia do przeciwnej biegunowości. Niezależnie od prądu obciążenia (a więc również na biegu luzem) kondensator komutacji $C4$ przeładowuje się przez prąd relaksacyjny poprzez indukcyjność komutacji $L4$, trzeci tyrystor komutacji 31 , drugą impedancję $Z2$, diody 71 , 78 prostownika magazynującego 3^0 , pierwszą impedancję $Z1$ i pierwszy tyrystor komutacji 21 . Po określonym czasie, który zadany jest przez parametry obwodu drgań CL , kondensator komutacji $C4$ przeładowuje się do przeciwnej biegunowości (biegunowość dodatnia na zacisku 6.2). Prąd obciążenia komutowany jest do obwodu tyrystora 14 falownika 2^0 i w fazie R . Rozpoczyna się trzeci stopień komutacji przy przemienniku częstotliwości z komutacją trójstopniową, gdzie w poprzedniej fazie (faza T) prąd gaśnie na skutek tego, że w tej poprzedniej fazie kondensator magazynujący $C1$ jest poprzez diody 71 , 72 dołączony tak, że jego biegunowość tłumi prąd w poprzedniej fazie T . W nowej fazie R prąd płynie ze źródła poprzez włączony tyrystor 14 . Pierwsza i druga impedancja $Z1$ i $Z2$ są w stosunku do impedancji źródła prądowych impulsów komutacji 6^0 małe. W celu wyłączenia tyrystora 12 spadek napięcia na pierwszej impedancji $Z1$ podawany jest na tyrystor w kierunku zaporowym, co odnawia właściwości blokujące tyrystora. Przy gaszeniu jednego z tyrystorów 61 , 63 , 65 prostownika tyrystorowego 4^0 podawane jest na niego napięcie blokowania ze spadku na drugiej impedancji $Z2$, a podobnie działa spadek napięcia na pierwszej impedancji $Z1$.

Dotychczasowy opis działania dotyczył początku badanej chwili podczas gaszenia tyrystora głównego, a więc przy przełączeniu pierwszego i trzeciego tyrystora komutacji 21 , 31 . Na skutek komutacji pomiędzy fazami powstaje określona energia, która z komutowanych faz T i R przechodzi do kondensatora magazynującego $C1$, którego napięcie wzrasta o ΔU . Dla zachowania równowagi konieczne jest aż do następnej komutacji rozładowanie tego kondensatora o to napięcie ΔU . Przy przemienniku częstotliwości według fig. 1 rozładowanie kondensatora realizowane jest przez tyrystory 61 – 66 prostownika tyrystorowego 4^0 . Przed wyłączeniem tyrystora głównego 12 tyrystory 64 , 65 przełączają wcześniej o określony interwał czasowy Δt i wprowadzają pomiędzy fazy R i T napięcie kondensatora magazynującego $C1$ o takiej biegunowości, że kondensator magazynujący $C1$, który jest teraz źródłem, powoduje wzrost prądu w fazie R (nowa faza) i skasowanie prądu w fazie T (poprzednia faza). W ten sposób kondensator magazynujący $C1$ rozła-

dowuje się bezpośrednio w fazy silnika, a mianowicie bez strat. Ponadto jest to rozładowanie funkcjonalne, to znaczy również podczas rozładowania kondensatora magazynującego C1 zachodzi komutacja prądu pomiędzy fazami T i R. Można również powiedzieć, że komutacja prądu pomiędzy fazami rozpoczyna się w chwili przełączenia tyrystorów 64, 65 i tyrystora głównego 50 pomocniczego regulatora prądu stałego 5⁰, który jest połączony szeregowo z kondensatorem magazynującym C1.

Działanie przemiennika częstotliwości zilustrowano na fig. 2. Fig. 2a przedstawia stan przed przełączeniem tyrystorów 64, 65. Prąd płynie poprzez tyrystor główny 12 falownika 2⁰ w fazie T (poprzednia faza) i przepływa poprzez tyrystor główny 13 przemiennika częstotliwości z fazy S (faza niekomutowana). W chwili $\omega t = -\gamma/2$, przy czym γ oznacza kąt komutacji, patrz fig. 2b) zostają przełączone tyrystory prostownika tyrystorowego 4⁰, a mianowicie para tyrystorów, która przełącza kondensator magazynujący C1 pomiędzy poprzednią a nową fazą tak, że w poprzedniej fazie prąd gaśnie, a w nowej fazie prąd wzrasta. Komutacja prądu w fazach rozpoczyna się więc jeszcze przed wyłączeniem tyrystora głównego 12 falownika 2⁰, a równocześnie powstający prąd fazy R rozładowuje kondensator magazynujący C1. Przed właściwą komutacją tyrystora głównego 12, a więc przed przełączeniem pierwszego i trzeciego tyrystora komutacji 21, 31 musi być wyłączony tyrystor główny 50 pomocniczego regulatora prądu stałego 5⁰, który jest połączony szeregowo z tyrystorami 64, 65. Następuje to około 100–200 μ s przed przełączeniem pierwszego i trzeciego tyrystora komutacji 21, 31. na skutek tego, że przełącza się tyrystor pomocniczy 51 pomocniczego regulatora prądu stałego 5⁰. Powstają drgania relaksacyjne kondensatora C3 poprzez tyrystor pomocniczy i tyrystor główny 51. 50 oraz indukcyjność L2 do przeciwniej biegunowości, a w końcu powrotne drgania relaksacyjne kondensatora C3 poprzez pierwszą diodę pomocniczą 77, impedancję spadku Z3 i drugą diodę pomocniczą 78. Te powrotne drgania relaksacyjne gaszą tyrystor główny 50. Pomocniczy regulator prądu stałego 5⁰ wyłącza tyrystor 50 jeszcze przed komutacją w chwili $t=0$. Pomocniczy regulator prądu stałego służy zatem temu, aby przy przełączaniu pierwszego i trzeciego tyrystora komutacji 21, 31 impuls prądowy komutacji ze źródła 6⁰ nie przepływał przez zacisk 6.1 elementy 31, Z2, Z3, 50, C1, Z1, 21 i zacisk 6.2. Dochodzi do wzrostu napięcia (tak zwany szczyt napięcia) na kondensatorze komutacji C4 i w końcu może dojść do przebicia napięciowego. Wkrótce po zakończeniu wyłączania tyrystora głównego 50 przełączane są pierwszy i trzeci tyrystor komutacji 21, 31. Chwilę tę wybiera się praktycznie jako chwilę $T=0$. Stan po wyłączeniu tyrystora głównego 12 falownika 2⁰ przedstawiony jest na fig. 2c. Prąd przepływa przez poprzednią fazę T do nowej fazy R tak, że w przybliżeniu połowa komutacji pomiędzy fazami jest już zakończona, to znaczy, że w poprzedniej fazie T płynie tylko połowa prądu, a poprzez nową fazę R płynie już połowa prądu I_d . Po wyłączeniu tyrystora głównego 12 falownika 2⁰ prąd ze źródła płynie poprzez obwód komutacji złożony z elementów 91, 21, C4, L4, Z2 i rozgałęzia się poprzez diody 72, 74 prostownika magazynującego 3⁰ na fazy T i R. Prąd płynie z powrotem z fazy S (faza niekomutowana) poprzez tyrystor główny 13 falownika 2⁰. Równocześnie w interwale 0– t_1 powstaje przeładowanie kondensatora komutacji C4 poprzez indukcyjność komutacji L4 i dalej poprzez elementy 31, 32 diody prostownika magazynującego 3⁰, Z1, 21 z powrotem do kondensatora komutacji C4. Czas t_1 określony przez parametry elementów L1, C4 mieści się w zakresie 100–200 μ s zgodnie z czasem wyłączenia tyrystorów falownika 2⁰ i prostownika tyrystorowego 4⁰. Po zakończeniu przeładowania i zmianie biegunowości kondensatora komutacji C4 zostaje włączony nowy tyrystor główny 14, który podaje prąd do nowej fazy R (fig. 2d). W tej chwili poprzednia faza T ma prąd, który jest w przybliżeniu równy połowie prądu I_d , a poprzez nową fazę R płynie już połowa prądu I_d . Na fig. 2 przedstawiono, że poprzez rezystor główny 14 płynie prąd I_d w nowej fazie R, a poprzez diody 71, 72, 77 i kondensator magazynujący C1 płynie prąd w poprzedniej fazie T. Do chwili $\gamma/2$ prąd w poprzedniej fazie T zanika, a w nowej fazie R narasta do wartości I_d .

Z opisu działania przemiennika częstotliwości przy komutacji z fazy T do fazy R widać, że rozładowanie kondensatora magazynującego C1 i jego naładowanie stanowi zjawisko symetryczne, które zapewnia równowagę napięcia na kondensatorze. Rozładowanie i ładowanie kondensatora magazynującego C1 przebiega przy tym przy komutacji prądu pomiędzy fazami wyjścia. Dla przemiennika częstotliwości niebezpieczne są stany przepięcia. Dla ograniczania przepięcia na tyrystorach komutacyjnych 21, 22, 31, 32, 41, 51 służy zabezpieczenie przepięciowe, np. warystory lub człony RC. Dla ograniczania przepięcia na tyrystorach głównych falownika 2⁰ służą diody

ograniczające 93, 94, które współpracują z diodami prostownika magazynującego 3⁰ oraz z kondensatorem magazynującym C1 i kondensatorem doładowującym C2. Na przykład przy wyłączaniu tyrystora głównego 12 falownika 2⁰ przepięcia na tym tyrystorze ogranicza dioda 75 kondensatora magazynującego C1 i pierwsza dioda ograniczająca 93, do poziomu kondensatora magazynującego C1.

Do kondensatora doładowującego C2 dołączone jest równolegle pomocnicze źródło doładowania 7⁰ tak, że kondensator doładowujący C2 ma napięcie również przy niższych obrotach lub na biegu luzem. Poprzez tyrystor 41 i indukcyjność L3 napięcie to podawane jest na kondensator komutacji C4. Obwód zamyka się dalej poprzez indukcyjność komutacji L4 i trzeci tyrystor komutacji 31 do zacisku kondensatora doładowującego C2. Dzięki temu uzyskuje się wystarczającą zdolność przemiennika częstotliwości do komutacji również przy niskich prędkościach obrotowych silnika i przy dużych prądach rozruchowych. Dioda rozdzielająca 95 oddziela poziom napięcia kondensatora magazynującego C1 i kondensatora doładowującego C2, zwłaszcza przy małych prędkościach obrotowych, kiedy napięcie na kondensatorze doładowującym C2 jest większe niż na kondensatorze magazynującym C1. Wyrównanie napięć obu kondensatorów powodowałoby obciążenie pomocniczego źródła doładowania 7⁰ dużą mocą.

Z a s t r z e ż e n i a p a t e n t o w e

1. Układ przemiennika częstotliwości z własną komutacją, zasilany przez sterowany prostownik tyrystorowy i indukcyjność wygładzającą i który zawiera prostownik magazynujący, falownik, prostownik tyrystorowy, pomocniczy regulator prądu stałego i źródła impulsów prądowych komutacji, **znamienny tym**, że falownik (2⁰) dołączony poprzez zaciski stałoprądowe (2.1, 2.2) przez indukcyjność wygładzającą (L1) do zacisków stałoprądowych (1.1, 1.2) sterowanego prostownika tyrystorowego (1⁰) jest poprzez zaciski przemiennoprądowe (2.3, 2.4, 2.5) połączony z obciążeniem (8⁰), do którego równolegle dołączone są prostownik magazynujący (3⁰) i przeciwnie zorientowany prostownik tyrystorowy (4⁰), przy czym odpowiednie zaciski stałoprądowe (3.1, 4.1) i (3.2, 4.2) prostownika magazynującego i prostownika tyrystorowego (3⁰ i 4⁰) są wzajemnie połączone przeciwstawnie poprzez pierwszą i drugą impedancję (Z1 i Z2), a równolegle do zacisków stałoprądowych (4.1, 4.2) prostownika tyrystorowego (4⁰) dołączone są dwie gałęzie z szeregowo połączonymi tyrystorami komutacji (21, 22 i 31, 32), przy czym wspólne punkty pierwszego i drugiego tyrystora komutacji (21 i 22) oraz trzeciego i czwartego tyrystora komutacji (31 i 32) obu tych gałęzi są połączone poprzez źródło prądowych impulsów komutacji (6⁰) utworzone z szeregowo połączonych indukcyjności komutacji (L4) i kondensatora komutacji (C4), a ponadto pierwszy zacisk stałoprądowy (2.1) falownika (2⁰) jest poprzez pierwszą diodę komutacji (91) połączony ze wspólnym punktem anod pierwszego i czwartego tyrystora komutacji (21 i 32), a wspólny punkt katod drugiego i trzeciego tyrystora komutacji (22 i 31) jest poprzez drugą diodę komutacji (92) połączony z drugim zaciskiem stałoprądowym (2.2) falownika (2⁰), przy czym do zacisków stałoprądowych (3.1, 3.2) prostownika magazynującego (3⁰) dołączony jest kondensator magazynujący (C1), który jest połączony szeregowo z pomocniczym regulatorem prądu stałego (5⁰), którego pierwszy zacisk wejściowy (5.1) jest poprzez diodę ograniczającą (93) połączony z drugim zaciskiem prądu stałego (2.1) falownika (2⁰), którego drugi zacisk stałoprądowy (2.2) jest poprzez drugą diodę ograniczającą 94 połączony z katodą diody rozdzielającej (95), która jest połączona z anodą w pierwszym zacisku stałoprądowym (4.1) prostownika tyrystorowego (4⁰), przy czym szeregowo z diodą rozdzielającą (95) połączony jest kondensator doładowujący (C2), do którego dołączone jest równolegle pomocnicze źródło doładowania (7⁰), a ponadto katoda diody rozdzielającej (95) jest poprzez szeregowy obwód złożony z indukcyjności (L3) i tyrystora (41) połączona z zaciskiem wejściowym (6.2) źródła prądowych impulsów komutacji (6⁰), który to zacisk jest połączony z jednym biegunem kondensatora komutacji (C4).

2. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pomocniczy regulator prądu stałego (5⁰) zawiera tyrystor główny (50), którego katoda jest połączona z pierwszym zaciskiem (5.1), a anoda jest poprzez impedancję zwalniania (Z3) połączona z drugim zaciskiem (5.2) pomocniczego regulatora prądu stałego (5⁰), przy czym równolegle do tego tyrystora głównego (50) dołączony jest obwód szeregowy złożony z indukcyjności (L2), kondensatora (51) i pierwszej diody pomocniczej (78), a

ponadto przeciwnoległe do tyrystora głównego (50) i do impedancji zwalniania (Z3) dołączona jest druga dioda pomocnicza (77).

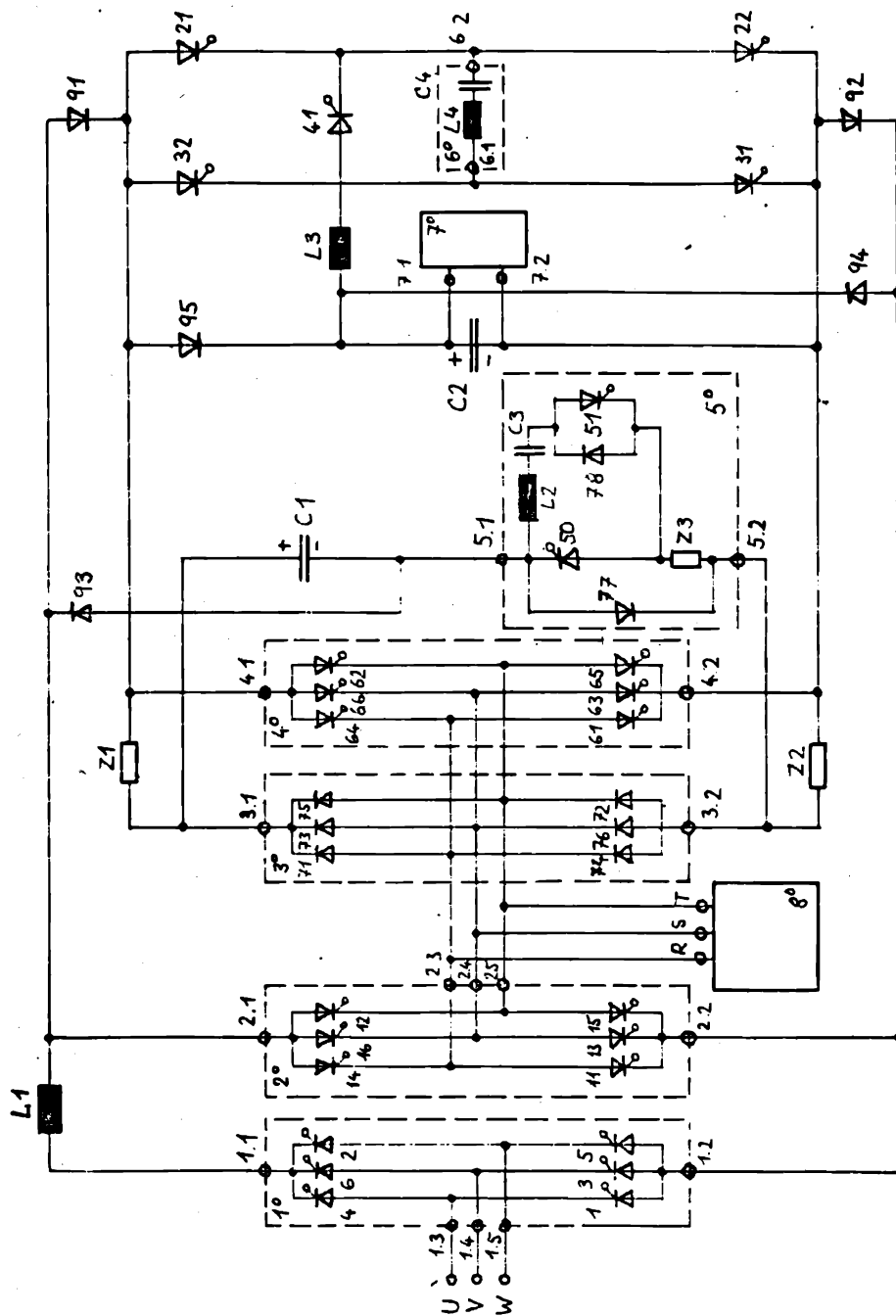


Fig. 1

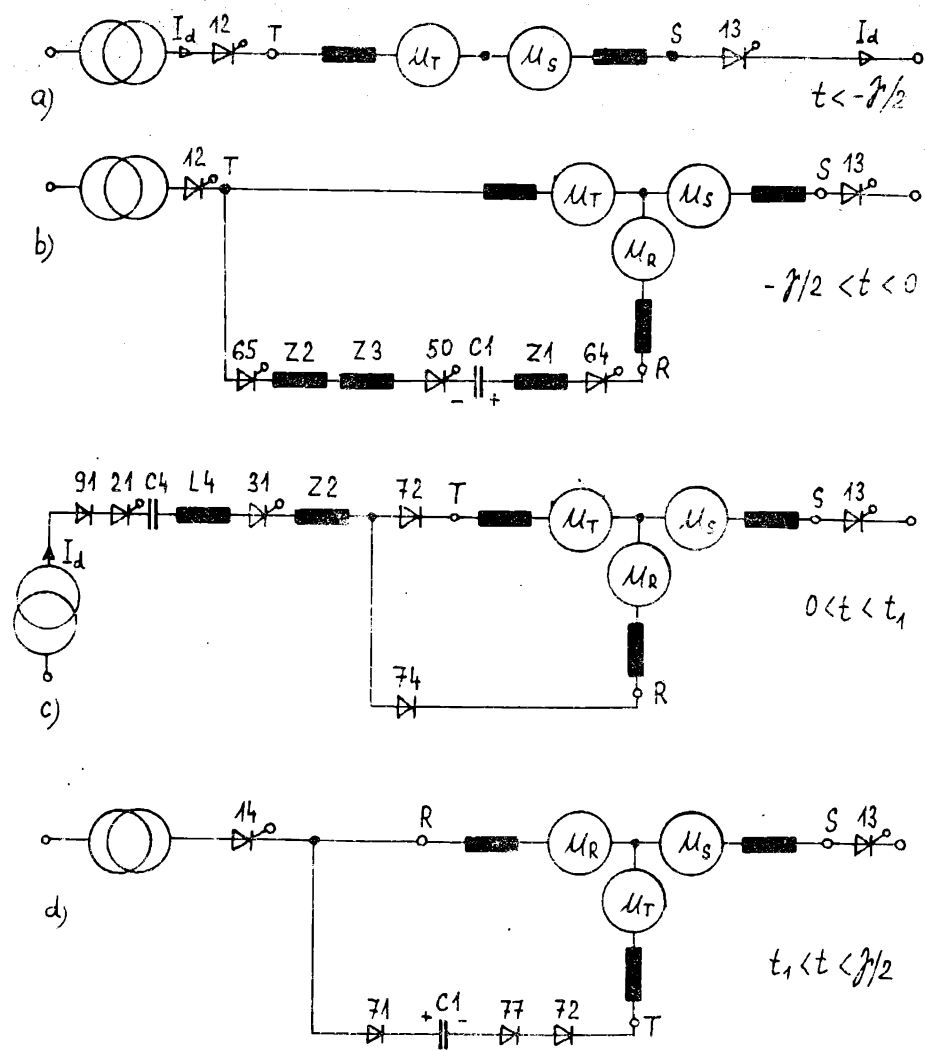


Fig. 2