

LABORATORIUM PODSTAW ELEKTRONIKI I ENERGIELEKTRONIKI

INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA NR 1

„Jednofazowy falownik prądu”

**KATEDRA ELEKTRONIKI
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI**

WPROWADZENIE

Układy przekształtnikowe w których przeprowadzany jest proces przekształcania energii źródła napięcia lub prądu stałego w energię napięcia lub prądu przemiennego nazywa się falownikami niezależnymi.

Źródłem napięcia nazywamy przekształtnik, który po stronie DC jest zrównoleglony kondensatorem (niska impedancja źródła). Źródłem prądu nazywamy przekształtnik, w którym odbiornik ze źródłem napięcia połączony jest poprzez szeregowy dławik. Połączenie : źródło napięcia plus dławik o znacznej indukcyjności na wyjściu dławika posiada cechy źródła prądu (wyjście prądowe o wysokiej impedancji).

Przekształcanie napięcia lub prądu stałego na napięcie lub prąd przemienny odbywa się przez cykliczne przełączanie zacisków odbiornika do różnych biegunów źródła napięcia lub prądu stałego (klucze półprzewodnikowe)

Klucze półprzewodnikowe mogą być w pełni sterowalne : tranzystory mocy IGBT i tyrystory GTO.

Wtedy struktura przekształtnika jest najprostsza . Falowniki o dużych mocach wyjściowych są budowane przy zastosowaniu szybkich tyrystorów zwykłych. Wtedy, do wyłączania tyrystorów wykorzystuje się napięcie przemiennie powstające na zaciskach odbiornika (falowniki o komutacji zewnętrznej, falowniki o komutacji obciążeniem) lub wprowadza się specjalne obwody komutacyjne (falownik o komutacji wewnętrznej), Rodzaj zastosowanego obwodu komutacyjnego decyduje o topologii przekształtnika ,maksymalnej częstotliwości łączy, sprawności energetycznej, kształcie napięcia (prądu) na wyjściu (dodatkowo zależy od sposobu sterowania kluczy)

Ze względu na rodzaj zasilania, wyróżniamy falowniki napięcia oraz falowniki prądu .Napięcie wyjściowe falowników niezależnych może być jednofazowe i trójfazowe.

Falowniki niezależne o sterowaniu wielopulsowym ,wykorzystujące różne techniki modulacji szerokości impulsów napięcia lub prądu wyjściowego zawierają się w klasie przekształtników impulsowych.

W ćwiczeniu, przedmiotem badań jest jednofazowy falownik prądu.

Falowniki prądu służą do przekształcania prądu stałego (jednokierunkowego) w prąd przemienny jedno bądź wielofazowy o regulowanej wartości i częstotliwości. Prąd w obwodzie wyjściowym falownika ma kształt zbliżony do prostokątnego, natomiast kształt i wartość napięcia na zaciskach wyjściowych zależą od parametrów odbiornika.

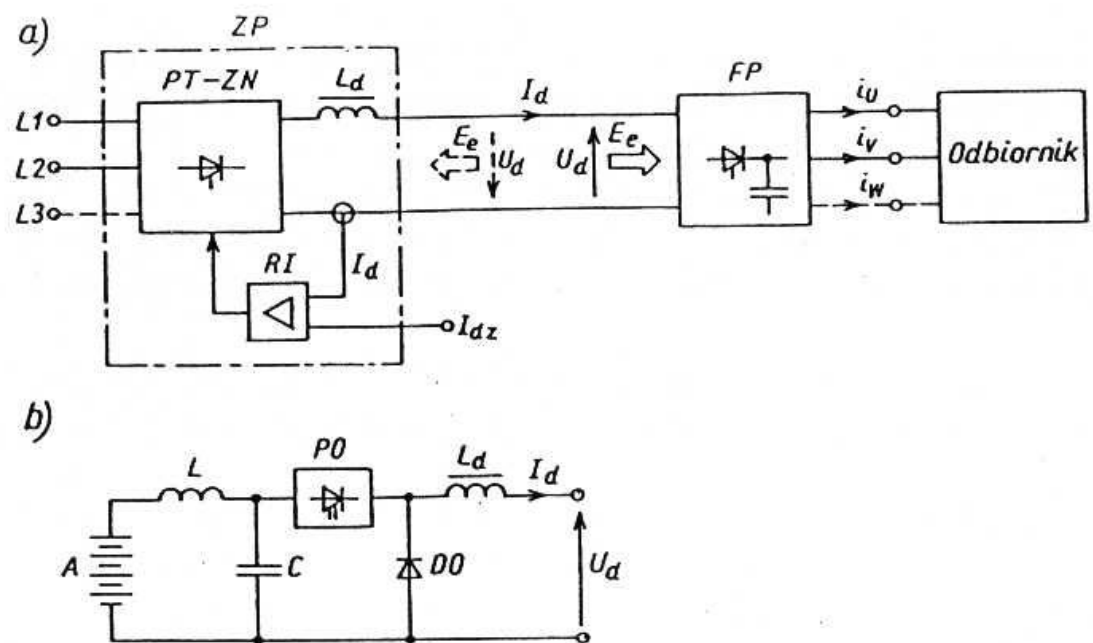
Cechy przekształtnika źródła prądu: prąd jednokierunkowy zasilający falownik:regulowane źródło napięcia (prostownik sterowany fazowo), połączone szeregowo z dławikiem.

Dławik stanowi filtr minimalizujący tętnienia prądu zasilania falownika, nazywany dławikiem wygładzającym. Zwrot energii elektrycznej do odbiornika (np. maszyny prądu przemiennego)poprzez falownik i obwód pośredniczący prądu stałego do linii zasilającej następuje wskutek zmiany znaku napięcia na zaciskach wejściowych falownika przy ustalonym kierunku przepływu prądu zasilania. W falownikach napięcia natomiast, zwrot energii do linii zasilającej może być przeprowadzony w przypadku zmiany kierunku prądu wejściowego falownika przy ustalonej polaryzacji napięcia.

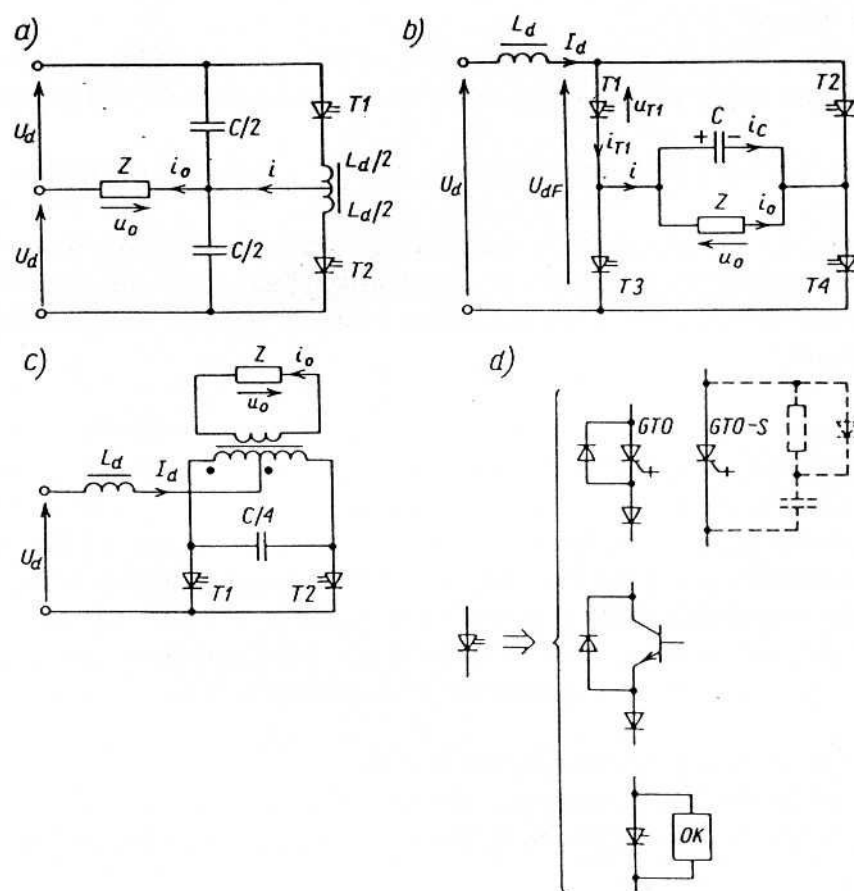
Cecha topologiczna, charakterystyczna dla falowników :

- falownik prądu nie zawiera diod zwrotnych: dławik w obwodzie wejściowym- brak diod zwrotnych
- falownik napięcia zawiera diody zwrotne, pozbawiony jest dławika – niezbędność diod zwrotnych

Układy przekształtników w których regulowanym źródłem napięcia jest przekształtnik AC/DC sterowany fazowo, i poprzez dławik zasilający falownik prądu nazywa się pośrednim przekształtnikiem prądu przemiennego z pośredniczącym obwodem prądu stałego.



Rys2. Przekształcenie prądu jednokierunkowego I_d w prąd przemienny



Rys.3. Podstawowe struktury jednofazowych równoległych falowników prądu

Zastosowanie falownika prądu : napęd elektryczny prądu przemiennego, kompensatory mocy biernej , statyczne sprzęgła elektryczne (przekaz energii za pomocą prądu stałego),grzejnictwo indukcyjne. Układy o komutacji zewnętrznej – tyrystory konwencjonalne. Wyłączanie tyrystorów odbywa się na skutek napięć występujących na zaciskach wyjściowych falownika . Oznacza to ,że przebieg czasowy napięcia wyjściowego falownika musi być opóźniony względem przebiegu prądu wyjściowego o czas dłuższy lub co najmniej równy czasowi wyłączania tyrystorów. Generacja opóźnienia jest możliwa wtedy ,gdy obwód odbiornika jest w stanie dostarczyć odpowiednią wartość mocy biernej pojemnościowej , stąd nazwa „ układy falowników prądu komutowane odbiornikiem ”

W praktyce ,typowymi odbiornikami są ; R lub R-L. W tych przypadkach moc bierną pojemnościową uzyskuje się przez włączenie kondensatora równolegle do odbiornika. W przypadku , kiedy odbiornikiem jest odpowiednio wzbudzona maszyna synchroniczna, będąca w stanie generacji mocy biernej pojemnościowej, to także zaistnieje proces zewnętrznej komutacji tyrystorów, ale tylko dla przypadku falowników trójfazowych.

Układy jednofazowe.

Podstawowe struktury jednofazowych falowników prądu ,których charakterystyczną cechą topologiczną jest występowanie kondensatorów włączonych równolegle do odbiornika, nazywa się „falownikami równoległymi ”. Ich zadaniem jest kompensacja mocy biernej odbiornika, dostarczanie mocy biernej pojemnościowej do komutacji zewnętrznej tyrystorów (zapewnienie odpowiedniego czasu dysponowanego) , dla przyrządów w pełni sterowalnych, kondensator przejmując energię magazynowaną w indukcyjności obciążenia, zapobiega pojawianiu przepięć podczas przełączania łączników, odpowiednio dobrana ,może wpłynąć na zredukowanie łączeniowych strat mocy, także mają wpływ na poprawę kształtu prądu odbiornika. Przy danym prądzie wyjściowym, kształt ,wartość napięcia, wartość prądu odbiornika zależą od wzajemnych relacji między parametrami odbiornika(R,L),pojemnością kondensatora C.

Dla dużych mocy wyjściowych stosowane są układy tyrystorowe. Wtedy także falowniki prądu wyposaża się w obwody komutacji wewnętrznej o różnych strukturach.

Jeżeli kondensatory komutacyjne poza przedziałami komutacji nie są połączone równolegle z odbiornikiem, to częstotliwość prądu wyjściowego tych falowników może być zmieniana w szerokich granicach , wtedy kondensator komutacyjny przestaje pełnić funkcję kompensatora mocy biernej odbiornika.

Falownik prądu o tzw komutacji hybrydowej . W początkowym etapie każdego procesu komutacyjnego kondensatory komutacyjne są włączone szeregowo z obciążeniem, a następnie równolegle do niego. Poza przedziałami komutacji są separowane od odbiornika, zachowując stałą, maksymalną chwilową wartość napięcia odbiornika.

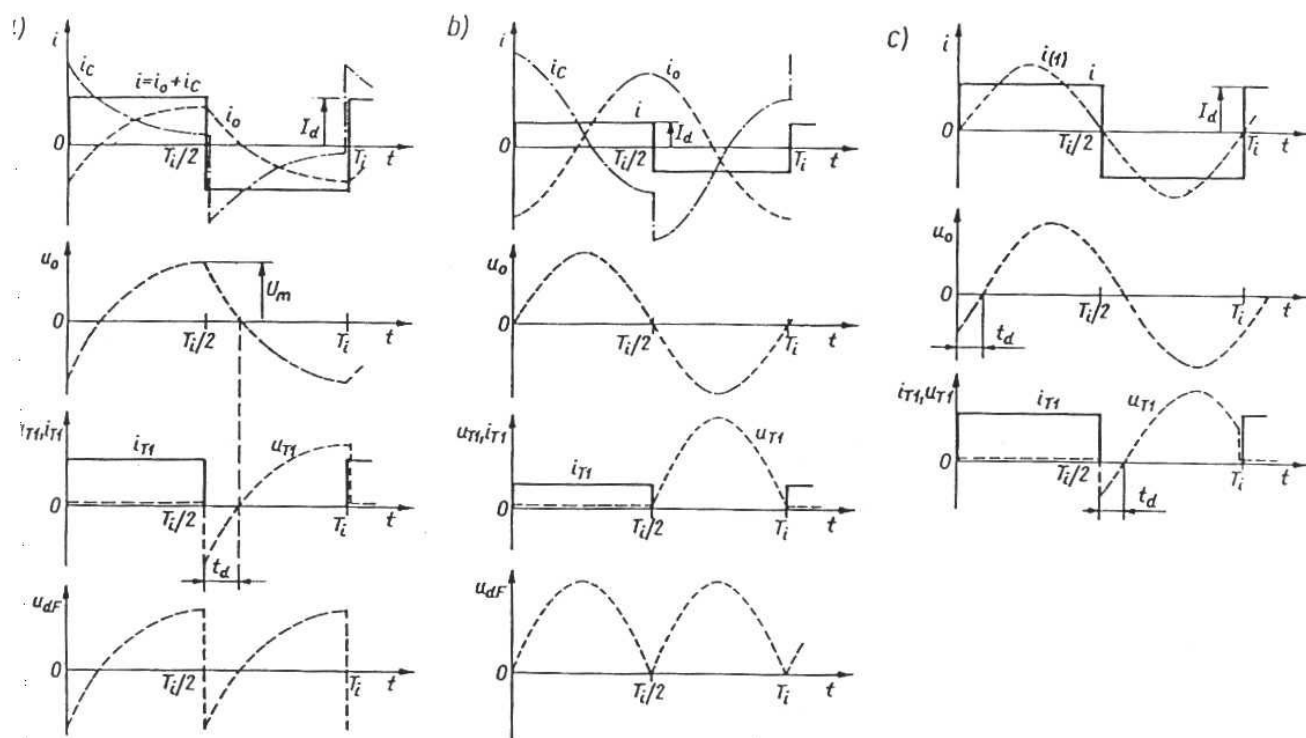
Napięcie kondensatorów komutacyjnych jest wykorzystywane do wstecznej polaryzacji wyłączanych tyrystorów. W wyniku dużej wartości tego napięcia, układ charakteryzuje się niezawodnym wyłączaniem tyrystorów w szerokim zakresie zmian częstotliwości łącheń tyrystorów oraz przy zmianach wielkości charakteru obciążenia.

W czasie komutacji prąd w zaworach uprzednio przewodzących praktycznie natychmiastowo zanika, jednocześnie jest przejmowany przez nowo utworzoną gałąź. Kondensatory komutacyjne są przeładowywane stałym prądem I_d tak, że napięcie na nich zmienia się liniowo w czasie.

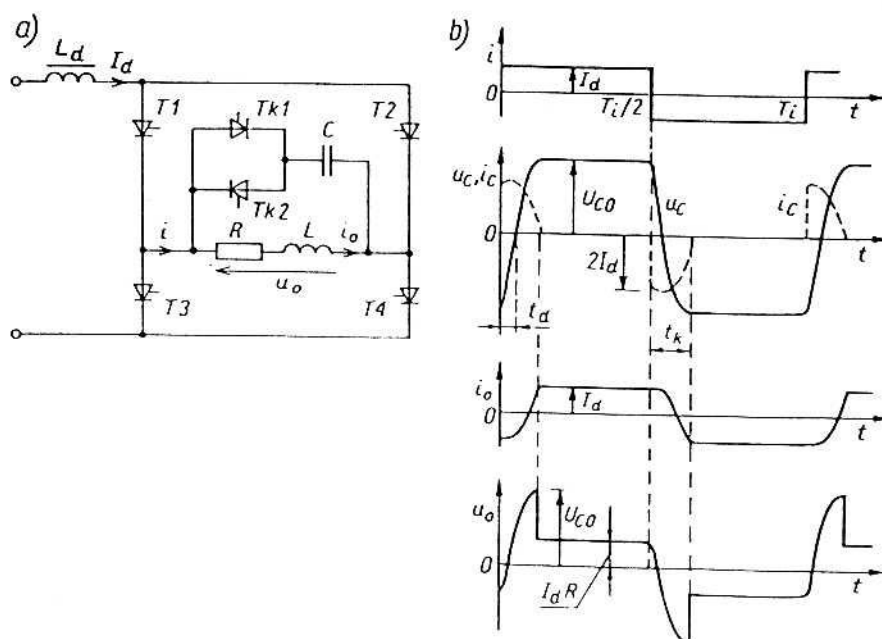
Innymi odmianami falowników prądu o komutacji hybrydowej są:

- falownik prądu o wewnętrznej dwustopniowej komutacji hybrydowej z tyrystorami pomocniczymi.

Dwustopniowy proces komutacji: I etap – prąd obciążenia przyjmują tyrystory komutacyjne, II etap – prąd obciążenia przyjmuje para tyrystorów głównych.



Rys4.Przebiegi czasowe napięć i prądów w jednofazowym równoległym falowniku prądu. dla obciążenia typu R,R-L przy $\omega r = \omega$; R-L przy $\omega r < \omega$



Rys5.Jednofazowy falownik prądu o komutacji wewnętrznej

PRZEBIEG ĆWICZENIA

Celem ćwiczenia jest podsumowanie wiedzy z zakresu przekształcania jednokierunkowego prądu stałego na prąd przemienny jednofazowy o regulowanej wartości i częstotliwości. Należy więc, w oparciu o prezentowany w ćwiczeniu układ połączeń, z możliwością bieżącej identyfikacji zjawisk w trakcie wykonywania ćwiczenia, odpowiedzieć na szereg pytań.

Od strony zasilania falownika prądu najczęściej wprowadza się regulowane źródło napięcia. Wymień kilka odmian źródeł napięcia; układów przekształtników mocy, zawierających zarówno tyrystory jak i nowoczesne elementy IGBT.

Jaką zasadniczą własność posiada prostownik niesterowany, od strony linii zasilającej przekształtnik, że w wielu konstrukcjach sterowanego źródła napięcia wykorzystuje się prostownik diodowy, natomiast kolejny moduł sterowanego źródła napięcia wyposażony jest w układ obniżający napięcie, o sterowanych łącznikach mocy metodą PWM, zawierający także dławik energetyczny.

Który z elementów konstrukcyjnych przekształtnika posiada największą objętość, przy jednocześnie niekorzystnej z punktu widzenia niezawodności układu, własności polegającej na bezwzględnym spełnieniu warunku ciągłości prądu. Każde odstępstwo od niespełnienia powyższego warunku wywołuje przepięcie niszczące łącznik i nie tylko.

Co to jest postęp techniczny. Technika tyrystorowa osiągnęła szczyt swoich możliwości pod koniec lat siedemdziesiątych, wtedy zaczęły pojawiać się tranzystory bipolarne mocy. Ale problem grzania indukcyjnego dużych mocy wtedy mógł być rozwiązany w oparciu o ówczesną bazę elementową, natomiast myśl techniczna pozostała. Nowoczesna baza elementowa, to także nowe możliwości rozwiązania problemu między innymi grzania indukcyjnego. Stąd też, jeżeli zasadniczym problemem techniki tyrystorowej było źródło prądu (dławik energetyczny), to jego eliminacja wymaga rezygnacji z koncepcji źródła prądu, zatem narzuca konieczność przejścia na źródło napięcia. Czy w oparciu o powyższe ćwiczenie można sformułować przesłanki umożliwiające takie przejście.

Amplituda i wartość skuteczna podstawowej harmonicznej prądu wyjściowego wyznacza się następująco:

$$I_{m1}=4/\pi I_d; \quad I_1 \text{ (rms)} = 2 \sqrt{2} / \pi * I_d; \quad \text{przy} \quad I_T(\text{av}) = 1/2 I_d; \quad I_T \text{ (rms)} = 1/\sqrt{2} I_d;$$

Czy amplituda podstawowej harmonicznej prądu wyjściowego jest zależna od parametrów odbiornika, również od wartości sterowanego źródła napięcia. Sposoby regulacji amplitudy podstawowej harmonicznej prądu.

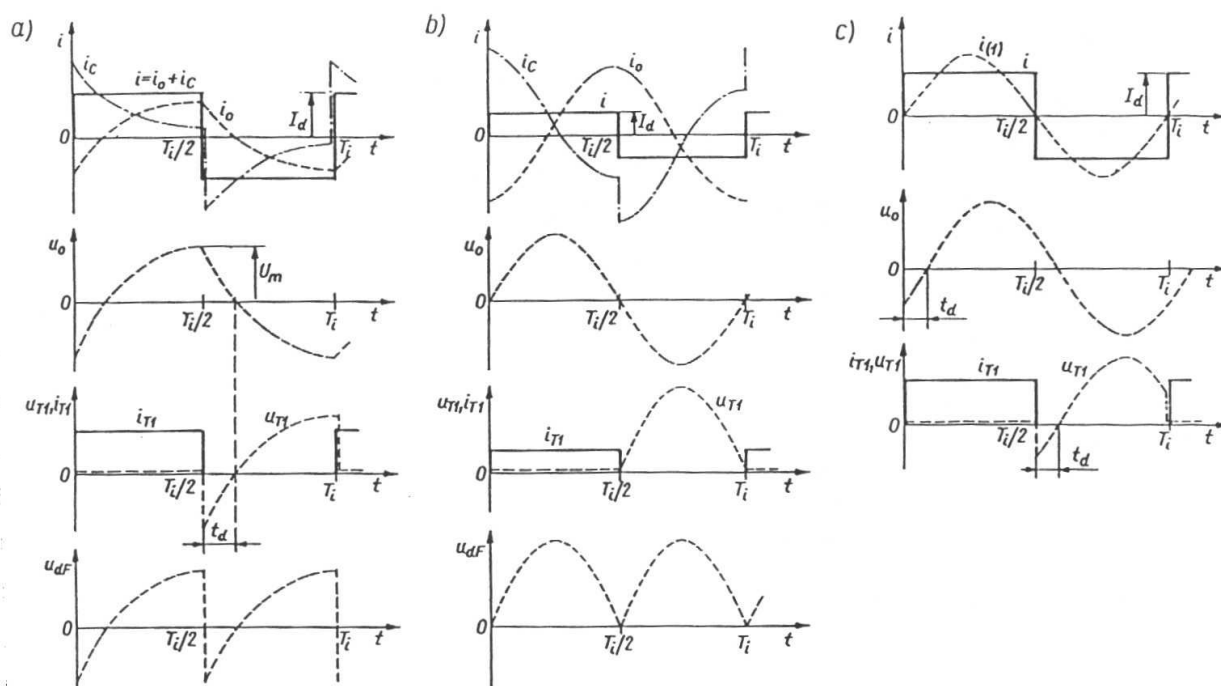
Jak nazywa się proces przejmowania prądu z jednej gałęzi przekształtnika do drugiej. (Obserwacja napięcia na ekranie oscyloskopu z boczników: Rb_T; Rb_P).

Czy źródło zasilające rzeczywiście generuje prąd stały (bocznik Rb_Id).

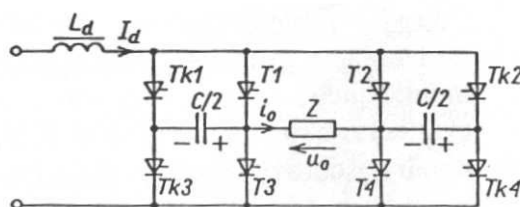
Czy w przekątnej mostka prąd Id jest przemienny (bocznik Rb_P).

Czy kondensator C_o pełni funkcję elementu różniczkującego (bocznik Rb_C).

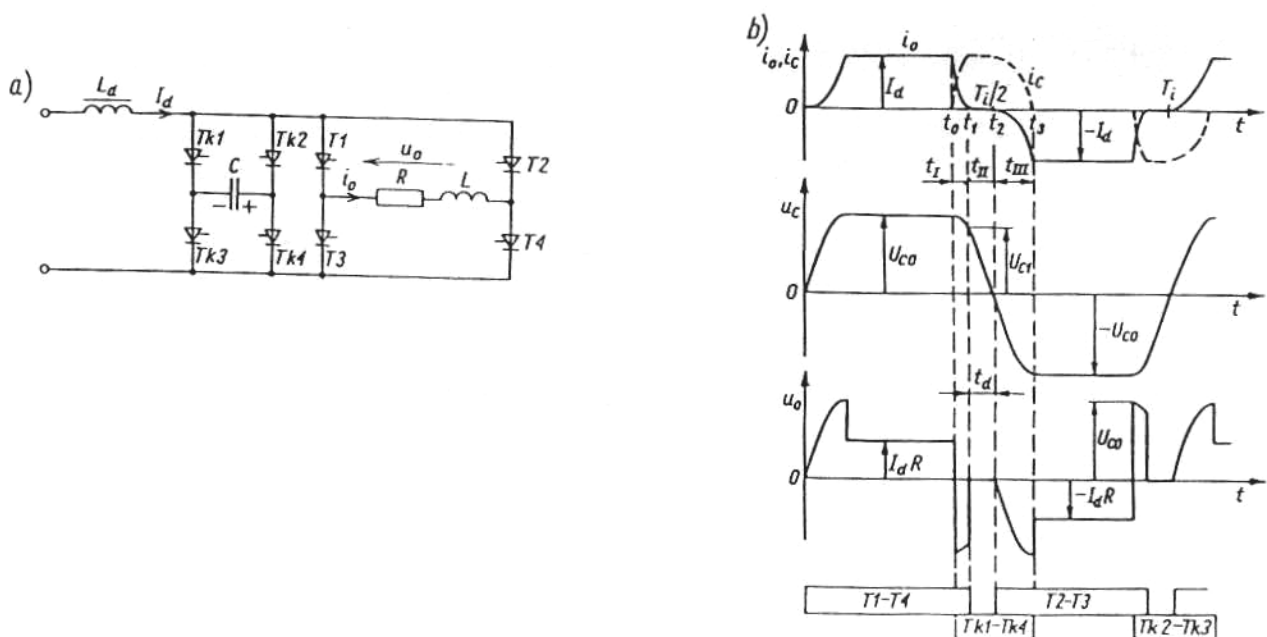
Czy suma prądów płynących przez kondensator i obciążenie jest różna od prądu przemiennego obserwowanego na boczniku Rb_P.



Rys6 . Jednofazowy falownik prądu z diodami odcinającymi o komutacji hybrydowej



Rys7. Falownik prądu o wewnętrznej dwustopniowej komutacji hybrydowej z tyrystorami pomocniczymi



Rys8. Falownik prądu o wewnętrznej komutacji dwustopniowej

Czy w procesie komutacji wymuszonej tyrystorów prąd I_d jest niezmienny, co się dzieje z napięciem na zaciskach mostka w fazie komutacji.

Z jakich powodów obwód komutacji wymuszonej tyrystorów musi zawierać: kondensator komutacyjny jako źródło napięcia z warunkami początkowymi U_{co} ; element ograniczający prąd przeładowania kondensatora (rezystor ograniczający R_K w niektórych rozwiązaniach wystarcza obciążenie R_0 lub prąd obciążenia I_0 ; dławik komutacyjny L_K); dodatkową gałąź zawierającą tyrystor pomocniczy.

W ćwiczeniu metoda sterowania tyrystorami polega na równoczesnym kluczkowaniu par tyrystorów $T1$ i $T2$ oraz $T3$ i $T4$. Jeżeli załączona jest pierwsza para, to załączanie drugiej powoduje wyłączenie ostatnio przewodzącej pary. Czy w układzie można wyróżnić typ komutacji i nadać jej nazwę, fazowa lub wzajemna?

Dlaczego w układzie falownika prądu obwód komutacyjny nie zawiera wydzielonego rezystora R_K lub dławika komutacyjnego L_K , które w sposób jawny występują w układach falowników napięcia.

Jeżeli pierwsza para tyrystorów przewodzi, to załączanie drugiej powoduje wystąpienie stanu układu, w którym przewodzą wszystkie tyrystory. Przypadek powyższy można uznać za stan zwarcia. W jakim czasie on się utrzyma, co się dzieje z energią zgromadzoną na okładkach kondensatora, z prądem przeładowania kondensatora. Czy przedział ten można nazwać Etapem I przedziału komutacji. Zaobserwuj to:

Jeżeli wyróżniono Etap I, to co się dzieje w Etapie II.

Czy poprawna jest interpretacja zjawisk występujących w procesie komutacji. W stanie zwarcia układu -Etap I, ma miejsce proces przejścia prądu w funkcji skoku jednostkowego z gałęzi uprzednio przewodzącej do kolejnej gałęzi wchodzącej w stan przewodzenia. Powyższy proces nieznacznie pomniejsza energię kondensatora. Po fazie przejścia prądu, na zaciskach tyrystorów uprzednio przewodzących także w funkcji skoku jednostkowego pojawia się napięcie wsteczne o wartości odpowiadającej nowym warunkom początkowym kondensatora. Powstaje kolejne pytanie, jak długo ono się utrzyma. W tym momencie warto zwrócić uwagę na prąd przeładowania kondensatora. Warto też wykorzystać podstawową własność kondensatora, mówiącą, że napięcie na jego zaciskach może ulec zmianie jedynie pod wpływem prądu (warunek ciągłości napięcia, przy możliwej skokowej zmianie prądu). Maksymalna wartość tego prądu równa jest I_d , w pozostałym przedziale czasu zależna jest od parametrów obciążenia, zgodnie z rozplywem prądów: suma prądów – odbiornika i kondensatora równa jest prądowi źródła I_d . Zatem wykazaliśmy, że w procesie komutacji przez kondensator płynie prąd. Jeśli tak, to magazyn energii kondensatora jest pomniejszony (w początkowym momencie kondensator jest źródłem napięcia) wtedy również i napięcie na zaciskach kondensatora ulega redukcji, tym samym napięcie wsteczne na wyłączonych tyrystora maleje w kierunku wartości zerowych.

Co to jest czas dysponowany na wyłączenie tyrystora. Przedział czasu otrzymany od chwili wystąpienia maksymalnej ujemnej wartości napięcia na tyrystorze do chwili przyjęcia przez to napięcie wartości zerowej jest nazywany czasem dysponowanym t_d . Ponieważ załączenie kolejnej pary tyrystorów jest związane z odwróceniem polaryzacji napięcia na odbiorniku, po przejściu przez zero napięcie na kondensatorze w warunkach ustalonych, przyjmie nową wartość, nazwaną warunkami początkowymi do kolejnego cyklu wyłączenia pary tyrystorów uprzednio znajdujących w stanie przewodzenia.

$t_d = \tau \ln \left[\frac{2}{1 + \exp(-T_i/2\tau)} \right]$; gdzie τ – iloczyn rezystancji odbiornika i pojemności kondensatora;
 T_i – okres impulsowania;

Jaka własność tyrystora wymusza konieczność stosowania dławika energetycznego w badanym ćwiczeniu.

Jeżeli tyrystor zastąpimy łącznikiem w pełni sterowalnym, to czy w przebiegach wyjściowych tym samym wprowadzimy jakieś modyfikacje, jeżeli nie, to czy dławik energetyczny może być usunięty, jeżeli tak to przesłaliśmy ze źródła prądu na źródło napięcia.

Czy w oparciu o regulowane źródło napięcia i prezentowany w ćwiczeniu mostek ale IGBT, uzupełniony diodami zwrotnymi, można rozwiązać problem kształtowania przebiegu mocy o regulowanej częstotliwości i amplitudzie pierwszej harmonicznej prądu. Zaproponuj rozwiązania.

Wykaz przyrządów :

V_{avzn} - woltomierz wartości średniej źródła napięcia zasilania,

V_{avf} – woltomierz wartości średniej napięcia na zaciskach tyrystorowych mostka,

A_{avf} – amperomierz wartości średniej prądu źródła,

A_{rmso} – amperomierz wartości skutecznej prądu odbiornika,

V_{avo} – woltomierz wartości średniej napięcia na odbiorniku (zerowa wartość dla przebiegów symetrycznych)

V_{rmso} – woltomierz wartości skutecznej prądu odbiornika $R_b I_d$; $R_b T$; $R_b P$; $R_b C$ – boczniki do obserwacji prądów na oscyloskopie, W – szybki wyłącznik prądu (przeciwzwarciaowy)

B- bezpiecznik topikowy (dodatkowe zabezpieczenie prądowe).

W ćwiczeniu należy dokonać obserwacji oraz pomiarów napięć i prądów dla obciążenia R (rezystor suwakowy), wyznaczając charakterystyki:

1/ obciążenia $U = f(I)$ dla $f = \text{const}$ dla dwóch wybranych częstotliwości

2/ częstotliwościową $U = f(f)$ przy $I = \text{const}$ Częstotliwość zmieniamy w zakresie 100 – 550 Hz dokonując zmiany przez ustawienie generatora.

Wyniki pomiarów notujemy w tabeli i na ich podstawie wykreślamy charakterystyki

Proponowana tabela gromadzenia wyników. Jednofazowy falownik prądu

V avzn			
V avf			
A avf			
Moc pobrania ze źródła			
Moc na zaciskach Mostka			
V rmso			
A rmso			
Moc dostarczona do odbiornika			
Sprawność układu			
V avo			
Częstotliwość impulsowania			
Czas dysponowany td			
Przebiegi			
Przebiegi			
Inne	Obciążenie 1	Obciążenie 2	Obciążenie N

