

LABORATORIUM PODSTAW ELEKTRONIKI I ENERGIELEKTRONIKI

INSTRUKCJA DO ĆWICZENIA NR 3

„Prostowniki sterowane trójpulsowe”

**KATEDRA ELEKTRONIKI
WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI I INFORMATYKI**

WPROWADZENIE

Celem ćwiczenia jest ugruntowanie wiadomości nabytych w trakcie wykładu jak również samodzielnego studiowania literatury z zakresu konwersji mocy prądu przemiennego na obwód prądu stałego, o regulowanej wartości średniej napięcia DC, z możliwością zmiany znaku tego napięcia.

Układy przekształtników współpracujące bezpośrednio z siecią napięcia przemiennego nazywa się przekształtnikami prądu przemiennego lub przekształtnikami sieciowymi. Stanowią one największą grupę przekształtników, do których zalicza się: prostowniki, falowniki o komutacji sieciowej; sterowniki napięcia przemiennego; bezpośrednie przemienniki częstotliwości.

W ćwiczeniu jest badany prostownik trójpulsowy. Jego nazwa powiązana jest z liczbą tętnień „określającą liczbę impulsów napięcia wyjściowego, przypadającą na okres napięcia przemiennego wejściowego. Inną nazwą jest układ jednokierunkowy z powodu kształtu prądu wejściowego od strony linii zasilającej napięcia przemiennego, ponieważ kształt prądu posiada jednokierunkowy przebieg czasowy (dodatni lub ujemny).

Podobnie jak w ćwiczeniach omawiających prostowniki niesterowane, wyróżniono trzy problemy:

1. Transformator: moc typowa transformatora dla kąta wysterowania tyrystorów 0° ; układ połączeń strony pierwotnej; połączenie uzwojeń gwiazdowe, przepływ nieskompensowany transformatora; połączenie uzwojeń w trójkąt; kształt prądów płynących przez uzwojenia transformatora (strona pierwotna, strona wtórna); kształt prądów linii zasilającej transformator.
2. Tyrystorowa jednostka komutacyjna trójpulsowa .

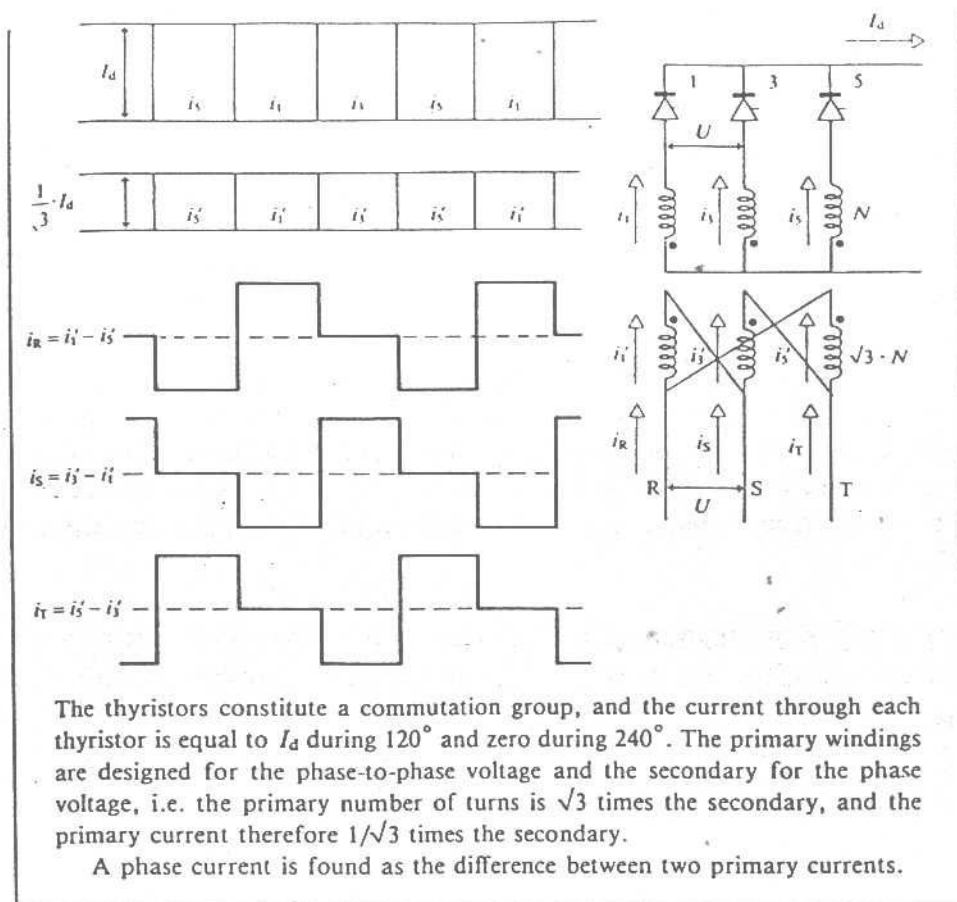
Faza lub opóźnienie załączania tyrystora jest to przedział fazy zawarty pomiędzy punktem naturalnej komutacji równoważnego przekształtnika diodowego a chwilą podania impulsu bramkowego tyrystora (jego wyzwolenia).

Stabilnym punktem naturalnej komutacji jest α_0 , dla którego opóźnienie załączania tyrystora α przyjmuje zerową wartość (moment wyzwolenia wystąpi w chwili komutacji naturalnej równoważnego układu diodowego) $\alpha = 0$, nazywaną α_0 .

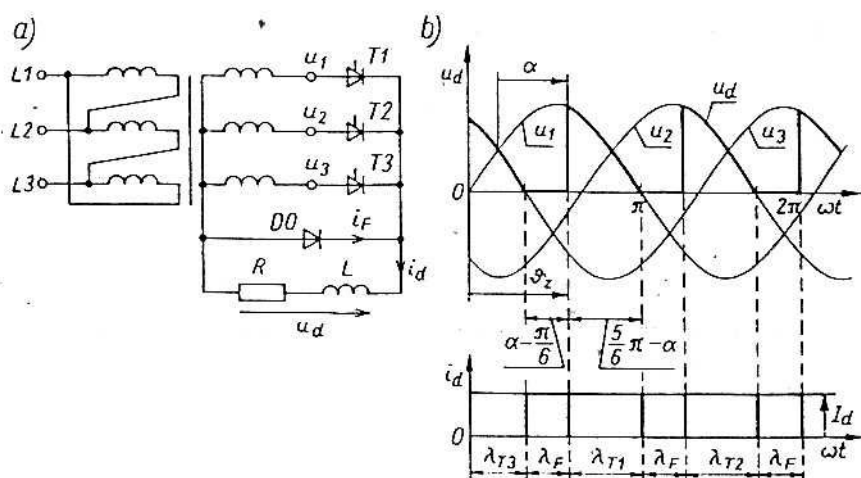
Możliwy przedział zmian kąta α jest ograniczony od strony niskich wartości parametrem $\alpha_{\min}$; o minimalnej wartości α_0 ; od strony górnych wartości parametrem $\alpha_{\max}$, o maksymalnej teoretycznej wartości $\alpha_{\max}=\pi$, typowej rzeczywistej wartości $\alpha_{\max}=150^\circ$.

Typowa metoda sterowania fazowego tyrystorowej grupy komutacyjnej polega na porównaniu w komparatorze analogowym lub cyfrowym dwóch przebiegów : narastającego w czasie przebiegu o ustalonym kształcie, wyzwalanego synchronicznie w punkcie naturalnej komutacji α_0 z wartością przebiegu odniesienia (referencyjnego); o polu napięć (wartości) definiowanym przez wartości graniczne odpowiednie dla $\alpha_{\min}$; $\alpha_{\max}$. Kształt przebiegu narastającego może być liniowy, może być kosinusoidalny , wtedy metodę sterowania nazywa się metodą z poziomowaniem kosinusoidy. Tak generowane opóźnienie α jest uzyskane dla pojedynczego tyrystora; dla grup komutacyjnych przekształtnika, rozwiązanie jest powielane p-razy, czyli zależnie od liczby pulsacyjnej; dla każdego tyrystora oddzielnie.

Sygnał aktywny z komputera jest wzmacniany w układzie wzmacniaczy prądów bramek tyrystorów przekształtnika; typowym rozwiązaniem jest układ typu multipuls.



Rys.2.1 Schemat ideowy przekształtnika tójpulsowego z uwzględnieniem rozplywu prądów po stronie pierwotnej i wtórnej transformatora przekształtnikowego



Rys 2.2 Przekształtnik trójpulsowy z diodą zerową, przebiegi czasowe prądów i napięć przy pominięciu procesów komutacyjnych i przy odbiorniku silnie indukcyjnym

2.1. Tyristor. Przyrząd półprzewodnikowy znajdujący szerokie zastosowanie w przekształtnikach o sterowaniu fazowym. Osiągane typowe częstotliwości przełączeń do 1 kHz, wytrzymałość napięciowa do 10 kV, może przewodzić wartości średnie prądów do kilku kA. Zastosowania: napędy przekształtnikowe wielkich mocy, w sprzęgach i liniach przesyłowych sieci elektroenergetycznych z obwodami prądu stałego, falownikach rezonansowych wielkich mocy do grzania indukcyjnego.

Jest to element trójzaczaskowy, o wyprowadzeniach: A; K; G.

Stan zaworowy tyristora jest wtedy, jeżeli anoda jest na potencjale ujemnym, katoda – dodatnim.

Stan blokowania tyristora odpowiada następującej polaryzacji: Anoda jest na potencjale dodatnim, katoda ujemnym i pod warunkiem, że przez zaciski A-K płynie prąd mniejszy od wartości I_h , gdzie I_h – prąd podtrzymania tyristora lub prąd wyłączania tyristora.

Stan przewodzenia. Występuje wtedy, jeżeli prąd główny tyristora jest większy od I_h .

Parametry obwodu głównego tyristora są definiowane podobnie jak dla diody mocy, z rozróżnieniem stanu zaworowego i stanu blokowania tyristora.

Parametry obwodu bramki tyristora:

I_{GT} – prąd bramki przełączający

U_{GT} – napięcie bramki przełączające

U_{GD} – maksymalne napięcie nieprzełączające bramki

I_{FGM} – maksymalna dopuszczalna wartość prądu bramki

U_{FGM} – maksymalna dopuszczalna wartość napięcia

P_{GM} – wartość maksymalna mocy admisyjnej obwodu bramki

$P_{G(AV)}$ – wartość średnia mocy wydzielonej w bramce

Obszary obwodu bramki: Obszar nieprzełączania, obszar możliwych przełączeń, obszar pewnych załączeń.

Specjalne odmiany tyristorów.

Dioda Shockley'a (dynistor) – tyristor bez wyprowadzenia bramki.

Dwukierunkowa dioda Shockley'a (diak) – Załączenie następuje po przekroczeniu pewnej wartości napięcia dla dowolnej polaryzacji, prąd może być dwukierunkowy.

Tyristor dwukierunkowy (triak) – układ odwrotnie równoległy tyristorów w jednej strukturze

Tyristor asymetryczny (ASCR) - dla układów przełączających o $f > 1\text{ kHz}$

Tyristor przewodzący wstecznie (ACT) – zbudowany na bazie tyristora asymetrycznego, zawiera diodę zwrotną, własność: skrócenie czasu wyłączania

Tyristor o wspomaganym wyłączaniu (GATT) – dla dużych częstotliwości łącheń, możliwa polaryzacja bramki napięciem ujemnym, skrócenie czasu wyłączania poniżej $10\mu\text{s}$

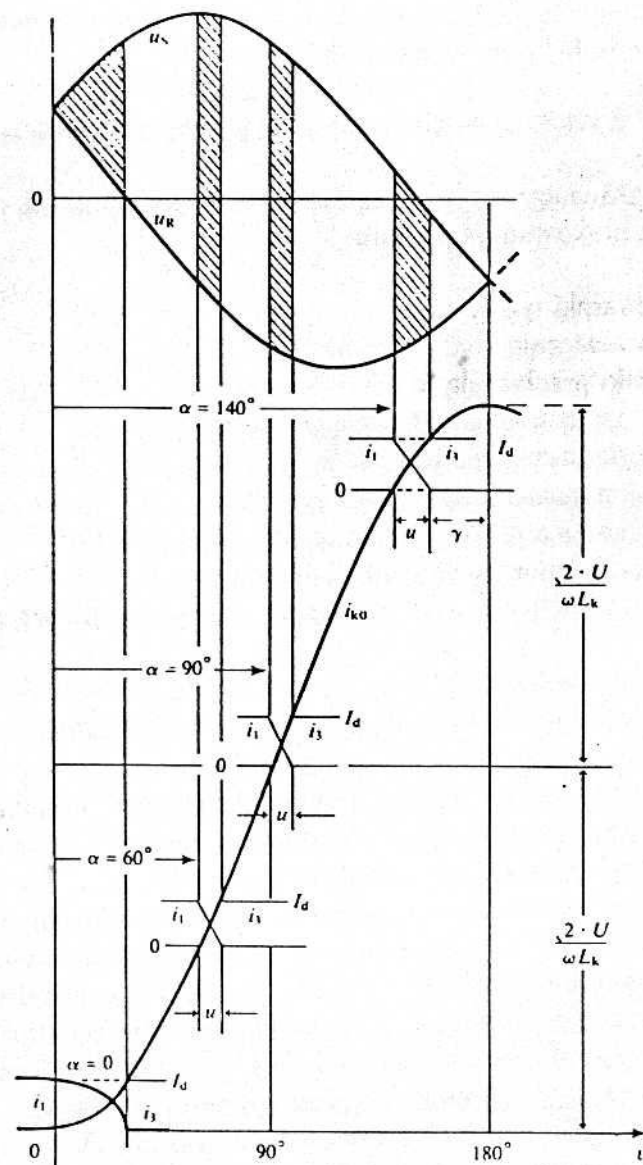
Tyristor wyłączany przy zerze prądu (ZTO) – przyrząd pośredni, łączący zalety zwykłego tyristora i tyristora GTO. Duże częstotliwości łącheń powyżej 10kHz.

Tyristor wyłączany prądem bramki (GTO) – jeden z ważniejszych przyrządów mocy, zastępuje tyristor.

Tyristor sterowany tranzystorami MOS (MCT) – stanowi on połączenie klasycznego tyristora z dwoma tranzystorami MOS, z kanałami N i P. Posiada budowę komórkową, posiada bardzo dobre własności dynamiczne.

Tyristor polowy (SITH) – jest przyrządem unipolarnym (polowym). Posiada własności tyristora wyłączanego prądem bramki (GTO). Wada: duży spadek napięcia w stanie przewodzenia 3-4V.

U_K – napięcie komutacyjne; różnica chwilowych wartości napięć źródłowych dwóch komutujących faz. Wartość skuteczna U_K - równa napięciu międzyprzewodowemu.



Rys 2.3 Ilustracja graficzna procesu komutacji dla trójpulsowej jednostki komutacyjnej

Prąd w tyrystorze przejmującym przewodzenie prądu odbiornika jest fragmentem przebiegu czasowego prądu zwarcia I_k . Stąd też, dla znanej wartości U_k , I_k , I_d , w prosty sposób można wyznaczyć wartość przedziału komutacji μ jak również kształt prądu tyrystora w przedziale komutacji. Czas trwania procesu komutacji i odpowiadający mu kąt komutacji μ zmienia się w funkcji kąta α i zwiększa się wraz ze wzrostem L_k i I_d . Dla $\alpha = 0$, $\mu = \mu_0$ – początkowy kąt komutacji. Kąt komutacji w praktyce nie przekracza wartości $\pi/6$.

Chwilowa strata napięcia ΔU_{dk} w przedziale komutacji jest równa polu napięć ograniczonemu przez teoretyczną krzywą napięcia danej komutującej fazy i krzywą wyznaczoną z wartości średniej sumy algebraicznej napięć fazowych, umiejscowionych w obwodach komutujących ramion zaworowych.

Wyróżnia się średnią stratę napięcia spowodowaną komutacją, odniesioną do okresu częstotliwości sieci, z uwzględnieniem liczby pulsacyjnej.

3. Odwód prądu stałego, strona DC.

Przewodzenie ciągle występuje wtedy, jeśli w okresie napięcia sieci, chwilowe wartości prądu odbiornika są dodatnie. Oznacza to również, że występuje komutacja.

Granica przewodzenia ciągłego i impulsowego jest wtedy, jeżeli prąd odbiornika przyjmuje wartość zerową w punkcie, przy czym w otoczeniu wyróżnionego punktu, dla granicy lewo i prawostronnej, wartości prądu odbiornika są dodatnie.

Przewodzenie impulsowe nazywane także przewodzeniem nieciągłym występuje wtedy, jeżeli chwilowe wartości prądu odbiornika w pewnym przedziale czasu przyjmują wartości zerowe. Przewodzenie impulsowe charakteryzuje się brakiem komutacji.

Wartość średnia napięcia na odbiorniku dla przewodzenia ciągłego jest równa wartości średniej napięcia sieci, o granicach całkowania wyznaczonych z jednej strony przez chwilę wejścia prądu płynącego przez zawór wstępujący w proces komutacji, z drugiej zaś przez chwilę czasu w której kolejny zawór jednostki komutacyjnej wchodzi w stan przewodzenia. Wyróżniony przedział czasu nazywany jest przedziałem przewodzenia λ zaworu i wynosi $2\pi/q$, gdzie q – liczba zaworów w jednostce komutacyjnej. Parametr λ może stanowić kryterium w procesie identyfikacji obszaru prądów ciągłych i przerywanych odbiornika. Wartość średnia napięcia na odbiorniku dla przewodzenia impulsowego jest odwrotnie proporcjonalna do λ , natomiast granice całkowania są determinowane z jednej strony przez wartość kąta opóźnienia α z drugiej zaś przez moment wejścia zaworu w stan blokowania, nazywany ϑ_g , lub kątem gaszenia zaworu. Dla obciążenia czysto rezystancyjnego, przyjmuje wartość $\vartheta_g = \pi$. Obciążenie: Wyróżnia się obciążenie czysto rezystancyjne, np. piec oporowy; typu R-L, gdzie indukcyjność stanowi filtr dolnoprzepustowy dla składowej zmiennej prądu odbiornika; obciążenie R-L-E typowym przykładem jest maszyna prądu stałego o sem twornika E, dławikiem wygładzającym L, rezystancją szeregową obwodu głównego R. W ćwiczeniu będą badane dwa rodzaje obciążeń: R oraz R-L.

Praca prostownikowa przekształtnika. Praca prostownikowa ma miejsce wtedy, jeżeli wartość średnia napięcia wyprostowanego jest dodatnia.

Praca falownikowa przekształtnika pojawia się w chwili zmiany znaku wartości średniej napięcia wyprostowanego z wartości dodatniej na ujemną. Jest to przypadek graniczny, w którym $\alpha = \pi/2$. Jeżeli $0 < \alpha < \pi/2$, to praca prostownikowa, jeżeli $\pi/2 < \alpha < \pi$, to praca falownikowa i przy warunku istnienia komutacji.

Przekształtnik o pracy falownikowej jest nazywany falownikiem o komutacji sieciowej (zewnętrznej). Podstawowym wymogiem pracy falownikowej jest wejście przekształtnika w obszar prądów ciągłych. Oznacza to, że prąd odbiornika powinien być podtrzymywany ze źródła prądu umiejscowionego po stronie odbiornika. Wtedy możliwy jest przepływ mocy od odbiornika do sieci zasilającej. Przykładem jest proces dynamicznego hamowania maszyny prądu stałego z jednoczesnym odzyskiem energii elektrokinetycznej maszyny napędowej.

Zmiana kierunku wirowania maszyny możliwa będzie dopiero w układzie przekształtnika rewersyjnego.

W niektórych aplikacjach, jak np. w układzie ładowania baterii akumulatorów, istnieje potrzeba ograniczania prądu za pomocą rezystora R , przy jednoczesnej filtracji tego prądu w oparciu o dławik L . Pożądaną wartością napięcia stałego są wartości dodatnie tego napięcia, występowanie chwilowych wartości ujemnych staje się niepożądane, nadto powodują one zmniejszenie wartości średniej napięcia i prądu odbiornika. To niekorzystne zjawisko można usunąć dzięki zastosowaniu tzw. diody zerowej lub innej diody rozładowczej, włączonej równolegle do zacisków wyjściowych przekształtnika i spolaryzowanej zaworowo.

Układ połączeń przekształtnika z aktywną diodą zerową od strony napięć wyjściowych posiada cechy przekształtnika z obciążeniem czysto rezystancyjnym, zaś dla kształtu prądu obciążenia, posiada cechy jak dla odbiornika typu R-L.

Jeżeli w układzie występuje prąd ciągły, to przedział przewodzenia tyrystorów w jednostce komutacyjnej jest równy przedziałowi czasu utrzymywania się wartości dodatnich napięć sieci zasilającej, jeżeli wartości chwilowe napięcia sieci są ujemne, to dioda zerowa wchodzi w stan przewodzenia. Zatem w chwili załączenia tyrystora, następuje komutacja tego tyrystora z diodą zerową, przy przejściu napięcia sieci przez wartość zerową, tyrystor przekazuje prąd do diody zerowej. W przypadku wystąpienia w układzie prądu przerywanego, ma miejsce proces swobodnego narastania prądu odbiornika od wartości zerowej w chwili wyzwolenia tyrystora, następnie przy przejściu napięcia sieci przez wartość zerową, przejęcie prądu przez diodę zerową, w której w przedziale czasu jej przewodzenia, prąd zanika od wartości początkowej w chwili komutacji do zera wg znanej funkcji.

PRZEBIEG ĆWICZENIA

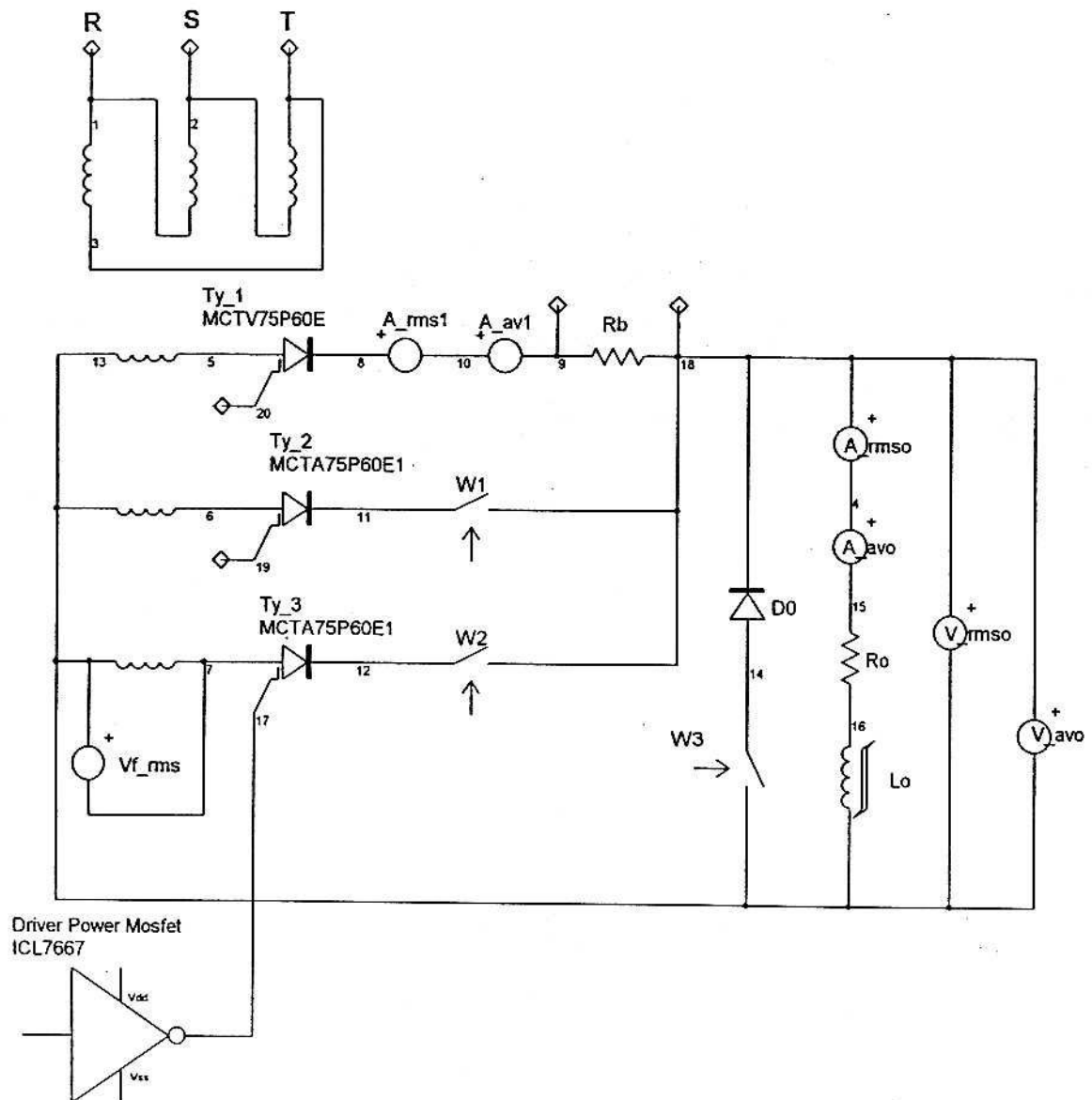
Celem ćwiczenia jest zobrazowanie na ekranie oscyloskopu wymienionych wyżej pojęć, definicji i właściwości podstawowej jednostki komutacyjnej, następnie na przyjęciu do wiadomości badanych zjawisk.

Warto w tym miejscu dokonać bilansu wiedzy dotyczącej przyszłości rozwiązań opartych na tyrystorach. Wydaje się, że właściwości tyrystora w sterowaniu fazowym są optymalnie wykorzystane i szczególnie w obszarze przekształtników energii dużych mocy typu AC/DC, metoda sterowania fazowego utrzyma się w przyszłości. Stąd też należy przyjąć powyższy cel ćwiczenia jako ważny i aktualny. Może być przydatny w praktyce zawodowej.

Zatem porządkowanie wiedzy może być dokonane w formie zagadnień, na które należy znać odpowiedź.

- zasada działania tyrystora; parametry statyczne, parametry dynamiczne; odmiany tyrystorów;
-
- komutacja naturalna, definicja, model matematyczny, przedział komutacji, komutacja prosta a komutacja złożona, wielkości występujące w procesie komutacji, oddziaływanie komutacji na napięcie wyjściowe przekształtnika, wpływ na zawartość wyższych harmonicznych w prądach liniowych sieci, wpływ na zakłócenia elektromagnetyczne (np. radiowe), inne.
- Jednostka komutacyjna; kiedy istnieje, jeżeli występuje, to dlaczego i jakie są jej szczególne właściwości.
- Obszar prądów ciągłych; dlaczego w układach rzeczywistych dąży się do poszerzenia tego obszaru; jaki wpływ wywiera ten obszar na wartość napięcia wyprostowanego.
- Obszar prądów przerywanych; jak cecha szczególna wyróżnia ten obszar; wpływ tego obszaru na napięcie wyjściowe przekształtnika; co się dzieje z impedancją wewnętrzną zastępczego sterowanego źródła napięcia, widziana od strony zacisków wyjściowych przekształtnika.
- Praca prostownikowa i jej obszar.
-

- Praca falownikowa, niezbędne warunki na jej zaistnienie, czy dla obciążenia typu R-L wystąpi, w jakim kwadrancie charakterystyki prądowo-napięciowej, jeżeli wystąpi, to ma miejsce; co oznacza termin „zwrot energii”, „przepływ jednokierunkowy.”
- Co to są charakterystyki sterowania, jak się je wyznacza dla obciążenia czysto rezystancyjnego.
- Właściwości diody zerowej. Czy jeżeli istnieje dioda zerowa i dla obciążenia typu R-L, napięcie wyjściowe przekształtnika jest identyczne jak dla obciążenia typu R, jaka jest różnica w kształcie prądu odbiornika, w których miejscach występuje komutacja i między jakimi elementami.

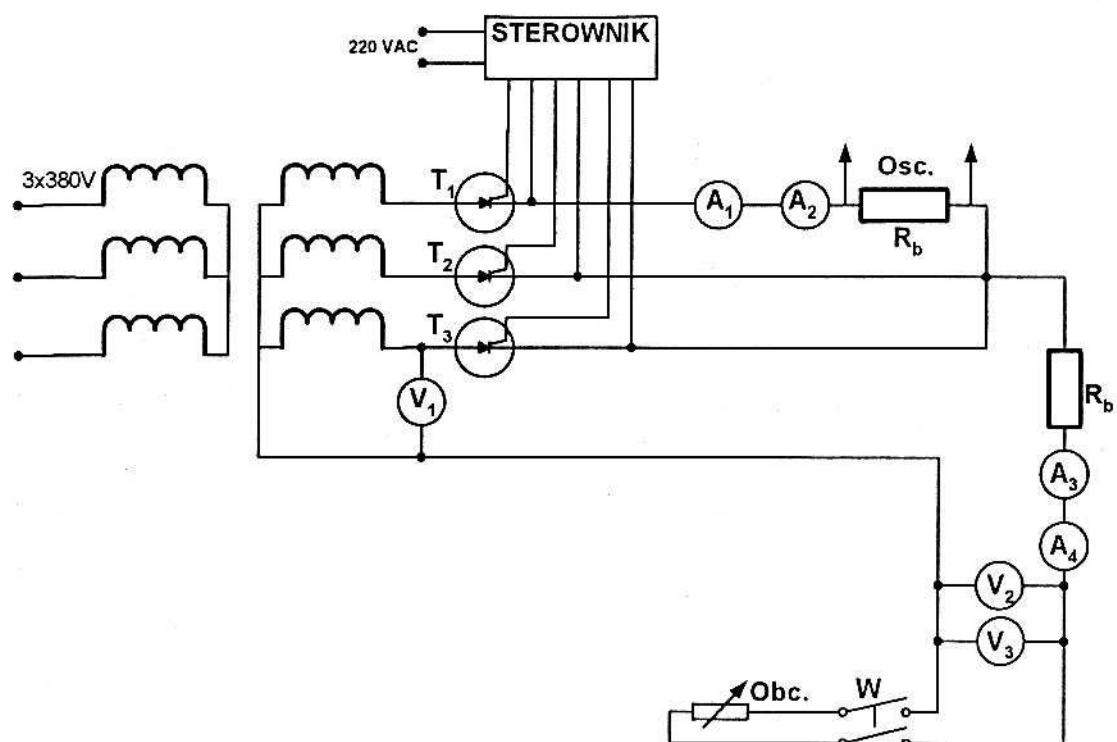


Rys3.4 Układ połączeń do badania przekształtnika tyrystorowego trójpulsowego, gdzie R_0 - rezystor wodny; L_0 - dławik energetyczny

Proponowany wzór tabeli do prezentacji wyników pomiaru. Układ sterowany trójpulsowy

A . rms 1			
A . av1			
Vf_rms			
A .rmso			
A.. avo			
V .rmso			
V_ avo			
Wyróżnione przebiegi na ekranie oscyloskopu			
Rodzaj obciążenia			
Dioda zerowa lub bez			
Przedział komutacji			
Prąd ciągły Prąd przerywny			
Moc czynna obwodu prądu stałego			
Parametr α			
Moc pozorna uzwojeń strony wtórnej transformatora			
Strata mocy w tyrystorze			
Inne	Obciążenie 1	Obciążenie 2	Obciążenie N

Jednokierunkowy prostownik sterowany 3-pulsowy.



Wykaz przyrządów:

A1, A3, V2 - mierniki magnetoelektryczne do pomiaru wartości średniej
A2, A4, V1, V3 - mierniki elektromagnetyczne do pomiaru wartości skutecznej

W - wyłącznik obciążenia prostownika

Obc. - obciążenie typu R lub RL o regulowanej wartości R

Tabela pomiarowa

V1	α	V2	V3	A1	A2	A3	A4
V	°	V	V	A	A	A	A

W ćwiczeniu należy dokonać pomiaru charakterystyk obciążenia dla charakteru odbiornika R i RL dla następujących kątów α : 0° , 30° , 60° , 90° oraz charakterystyki sterowania dla odbiornika typu R. Podczas ćwiczenia zaobserwować i zanotować przebiegi napięcia na obciążeniu, tyrystorze oraz przebiegi prądów prostownika w oparciu o rezystory bocznikowe R_b .

-

