

Zespół Szkół Technicznych w Radomiu
Pracownia energoelektroniczna

TEMAT :
BADANIE PROSTOWNIKÓW TRÓJFAZOWYCH
NIESTEROWANY.

RADOM 2006/07

1. WSTĘP.

Najszerzej stosowaną grupą przekształtników energoelektronicznych są prostowniki tj. układy przetwarzające prąd przemienny na stały

Podczas wcześniejszych zajęć zajmowaliśmy się badaniem układów prostowników 1-fazowych, które stosowane są powszechnie w układach zasilania odbiorników niezbyt dużej mocy (poniżej 2kW). Dla zasilania odbiorników wymagających zasilania prądem stałym i o dużym poborze mocy, stosuje się prostowniki 3-fazowe.

Z punktu widzenia sieci zasilającej stosowanie prostowników jest w ogóle niekorzystne, ponieważ zniekształcają one przebiegi prądów co oznacza, że wprowadzają one do sieci wyższe harmoniczne napięcia i prądu. Najgorzej ta sprawa przedstawia się z prostownikami jednofazowymi, zwłaszcza półokresowymi, które obciążają sieć niesymetrycznie i wprowadzają najwięcej zniekształceń. Co prawda, przy masowym stosowaniu takich prostowników, jak np. do zasilania odbiorników radiowych i telewizyjnych, rozkład obciążeń na trzy fazy sieci jest statystycznie równomierny, ale nie zapobiega to powstawaniu zniekształceń prądu w przewodach linii zasilających.

Dla samej sieci stosowanie układów prostowniczych trójfazowych zwłaszcza większej mocy, jest korzystniejsze ze względu na równomierność obciążenia wszystkich trzech faz, jak i na możliwości znacznego kompensowania się (znoszenia) powstających wyższych harmonicznych prądów (Składowe składowe sinusoidalne przebiegów niesinusoidalnych).

Dla samych układów prostowniczych zasilanie z sieci trójfazowej daje też bardzo poważne korzyści:

- wyższe (w stosunku do prostowników 1-fazowych) napięcie wyjściowe wyprostowane (średnie) U_0 dla takiego samego napięcia prostowanego (zasilającego),
- mniejsza stosunkowo amplituda i wartość skuteczna napięcia tętnień oraz większa częstotliwość napięcia tętnień, łatwiejsza do odfiltrowania (usunięcia z napięcia wyprostowanego),
- wyższa sprawność przetwarzania energii prądu przemiennego na energię prądu stałego.

Przy układach trójfazowych uzwojenie wtórne transformatora jest najczęściej połączone w gwiazdę lub układ pochodzący od gwiazdy. Uzwojenie pierwotne jest zazwyczaj połączone w trójkąt. Przy takich połączeniach, wyższe harmoniczne powstające w obwodzie wtórnym w dużej mierze wzajemnie się kompensują (znoszą) w uzwojeniu pierwotnym i w mniejszym stopniu przenikają do sieci zasilającej.

2. PROSTOWNIK TRÓJFAZOWY PÓŁFALOWY Z OBCIĄŻENIEM REZYSTANCYJNYM.

Prostowniki to układy przekształtnikowe złożone z półprzewodnikowych elementów mocy (diod, ewentualnie tyrystorów mocy) przeznaczone do przetwarzania energii elektrycznej prądu przemiennego na prąd stały, dla potrzeb różnego rodzaju odbiorników. Prostowanie oznacza tu zmianę parametrów energii elektrycznej w przekształtniku.

Pod określeniem „**parametry charakteryzujące energię elektryczną**” rozumiemy: rodzaj lub kształt prądu i napięcia (np. stały, przemienny, sinusoidalny, impulsowy), wartość napięcia (skuteczna lub średnia), częstotliwość i liczbę faz i inne.

. Element elektroniczny nazywamy prostowniczym, jeżeli jego podstawową cechą jest przewodnictwo jednokierunkowe. Przepuszcza on prąd bez większego spadku napięcia w jednym kierunku (od anody do katody), nie przepuszcza zaś prądu wcale lub w bardzo małym stopniu w kierunku przeciwnym (od katody do anody). W tym ostatnim przypadku element prostowniczy musi wytrzymać dość znaczne napięcia „zwrotne”-wsteczne, między anodą i katodą występujące podczas pracy w okresach nieprzewodzenia.

W prostowniku trójfazowym półfalowym z reguły trzeba stosować transformatory z uzwojeniem wtórnym połączonym w gwiazdę i dostępnym punktem neutralnym.

W trójfazowym, półfalowym prostowniku diodowym (rys.1) w każdej chwili przewodzi prąd tylko jedna dioda. Prąd do obciążenia płynie z tej linii (fazy), która ma najwyższe wartości chwilowe napięcia fazowego (dokładnie przy włączeniu diody jak na poniższym rysunku lub ujemne przy odwrotnych kierunkach włączenia diod). Przebiegi czasowe napięć w układzie rys. 1, przedstawione są na rys. 2.

Sposób pracy prostownika uzasadnia się następująco: jeżeli przewodzi dioda np. 1, to w punkcie połączenia katod wszystkich zaworów występuje napięcie U_{L1} (diodę 1 traktujemy jako idealną). Dioda D2 jest wtedy polaryzowana wstecznie napięciem międzyprzewodowym U_{L2L1} , natomiast dioda D3 napięciem U_{L3L1} . Obydwa te napięcia w czasie przewodzenia diody 1 mają ujemne wartości chwilowe w stosunku do katod diod i polaryzują wstecznie diody D2 i D3.

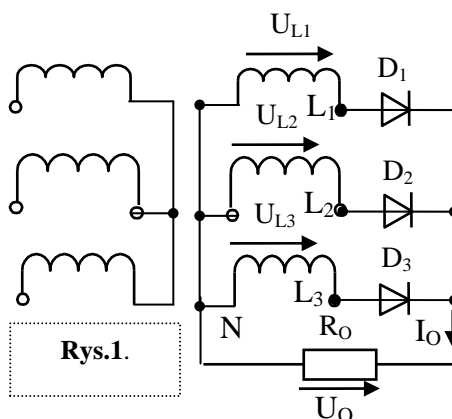
W chwili, kiedy napięcie międzyprzewodowe $u_{L1L2}(t)=0$ (gdy zachodzi zrównanie wartości chwilowych napięć fazowych $U_{L1}=U_{L2}$), występuje **proces zwany komutacją zewnętrzną (naturalną) zaworów (tu diod)**.

Tu komutacja naturalna to proces polegający na przekazaniu przewodzenia prądu odbiornika z D1 na D2 w wyniku naturalnej zmienności czasowej napięć fazowych. Dioda D1 przestaje przewodzić (zawór ustępujący), a dioda D2 rozpoczyna przewodzenie (zawór wstępujący). Tu w prostowniku diodowym chwile komutacji naturalnej występują trzy razy w jednym okresie napięcia zasilającego gdy : $u_{L2L1}(t)=0$, $u_{L2L3}(t)=0$, $u_{L3L1}(t)=0$.

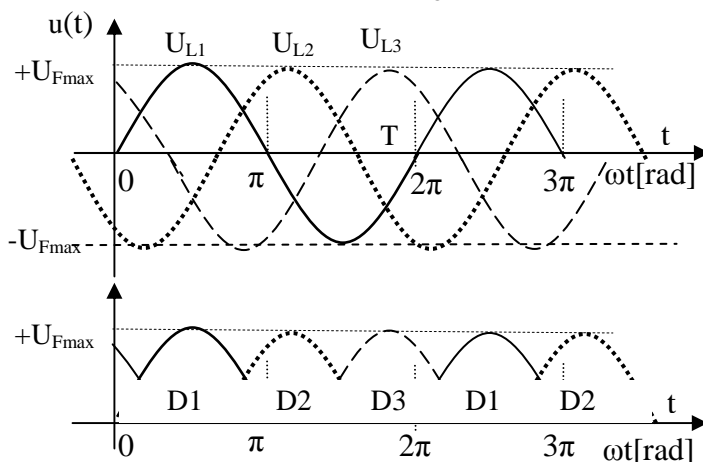
Prąd obciążenia w każdej chwili płynie w obwodzie złożonym z jednego z uzwojeń wtórnych transformatora, jednej diody i odbiornika R. Prąd ten jest wymuszony napięciami fazowymi U_{L1} , U_{L2} , U_{L3} . Ponieważ w chwili komutacji napięcie fazowe w oczku poprzednio przewodzącym prąd jest dodatnie i równe napięciu fazowemu w oczku, które podejmuje przewodzenie prądu, to prąd obciążenia nigdy nie maleje do zera.

W trójfazowym prostowniku 3-diodowym występuje przepływ ciągłego prądu obciążenia

Układ pracuje symetrycznie i każda z diod przewodzi impuls prądu o stromych zboczach, wierzchołku w kształcie wierzchołka sinusoidy i w czasie trwania odpowiadającym kątowi przepływu $\alpha=120^\circ$. Niestety w uzwojeniach wtórnych transformatora przepływa prąd jednokierunkowy co oznacza podmagnesowanie rdzenia trafo prądem stałym i gorsze warunki pracy transformatora. Wady tej nie posiada niżej opisany prostownik w układzie mostkowym.



Rys.1.



Rys.2. Przebiegi czasowe napięcia prostowanego oraz wyprostowanego w prostowniku 3- fazowym półfalowym

3. PROSTOWNIK 3-FAZOWY PEŁNOKRESOWY (MOSTKOWY).

Prostownik 3-fazowy pełnokresowy jest jednym z najbardziej użytecznych układów dla prostowników od średnich do dużych mocy. Grupy diod półprzewodnikowych w tym układzie muszą mieć odpowiednio izolowane radiatory odprowadzające ciepło.

Rys. 3 przedstawia schemat ideowy prostownika 3-fazowego w układzie mostkowym zasilanego ze źródła skojarzonego w gwiazdę.

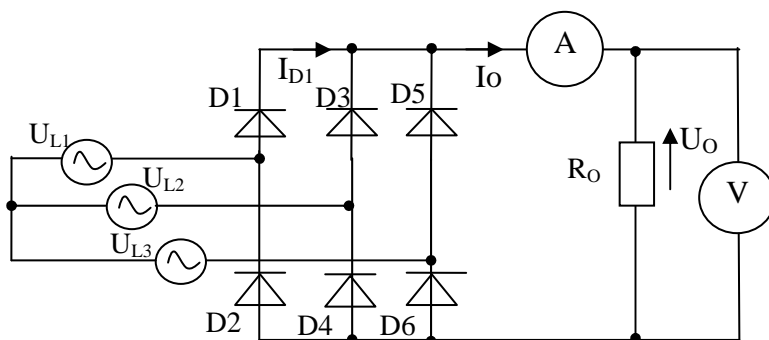
W układzie można wyróżnić dwie grupy zaworów: anodową - o zwartych anodach (D2, D4, D6) i katodową - o zwartych katodach (D1, D3, D5).

W prostowniku mostkowym prąd przepływa przez dwa zawory, od zacisku jednej z faz przez zawór grupy katodowej, obciążenie, jeden z zaworów grupy anodowej i do zacisku innej fazy. W trójfazowym mostku diodowym o komutacjach zaworów decyduje wyłącznie napięcie zasilające. Podobnie jak w poprzednio opisanym układzie jednokierunkowym w każdej chwili przewodzi jedna dioda z grupy katodowej połączona z fazą o największych chwilowych wartościach dodatnich napięcia fazowego oraz dioda z grupy anodowej, połączona z fazą o największych chwilowych wartościach ujemnych napięcia fazowego. Komutacja diod występuje w chwilach zrównania wartości chwilowych napięć fazowych (są to chwile, kiedy a) napięcia międzyprzewodowe przyjmują zerowe wartości chwilowe). W każdej z grup zaworów następują trzy komutacje w jednym okresie napięcia zasilającego (liczba komutacyjna $q=3$). Chwile komutacji w obu grupach zaworów są przesunięte względem siebie o 60° . Skutkiem tego obciążenie mostka trójfazowego jest przełączane przez przewodzące diody, sześć razy w jednym okresie do odpowiednich napięć międzyprzewodowych (wskaźnik tętnień $p=6$). Grupy diod mostka muszą mieć odpowiednio izolowane radiatory odprowadzające ciepło.

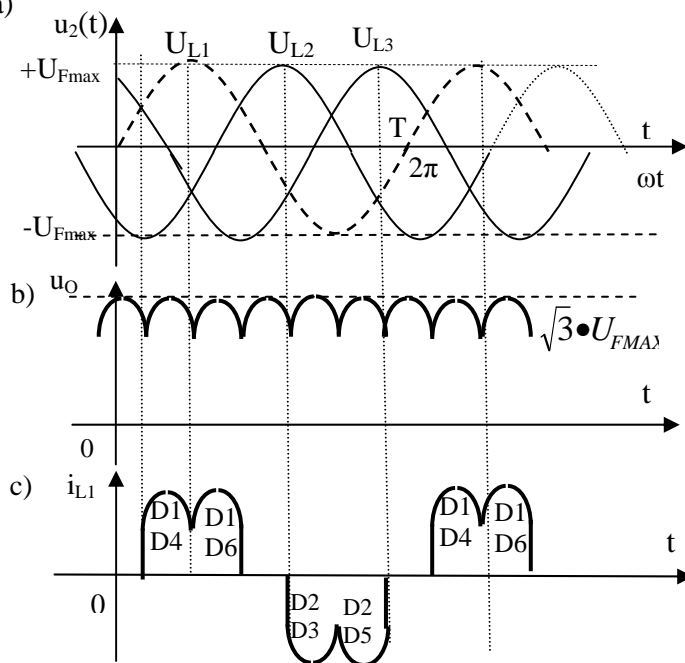
Rozpatrzmy przebiegi i zjawiska zachodzące w układzie rys.3. Ilustruje je rys. 4.

Jeśli napięcie fazy L1 jest najbardziej dodatnia, prostownik 1 zacznie przewodzić gdy $\omega t = \frac{\pi}{6}$.

Prąd płynie przez diodę D1 do obciążenia, a następnie wraca do transformatora przez diodę D5



Rys. 3. Schemat trójfazowego prostownika mostkowego (pełnokresowego).



Rys.4. Przebiegi napięcia i prądu w prostowniku 3-fazowym mostkowym. a)- napięcie zasilające czynnym, b)- napięcie wyprostowane, c)- przebieg prądu w linii zasilającej L1 przy obciążeniu rezystancyjnym.

lub D6, zależnie od tego, która z faz L2 lub L3 jest bardziej ujemna. Przy $\omega t = \frac{\pi}{6}$ faza L2 jest najbardziej ujemna, a więc prąd popłynie przez diodę D6 zamiast przez diodę D5. Przy $\omega t = 5\pi/6$, faza L2 staje się bardziej dodatnia i wskutek tego prąd nie będzie płynął przez diodę D1 lecz przez diodę D2.

W ten sposób każda dioda przewodzi prąd przez czas $T/3$ (120 stopni), prąd zaś jest przełączany (komutowany) co każde 60 stopni.

Analogicznie jak w jednofazowym układzie mostkowym, prąd płynie tu zawsze przez dwie diody jednocześnie.

Napięcie zwrotne (wsteczne) występujące na diodach wynosi:

$$U_{zwf} = 2,45U$$

Napięcie tętnień jest małe i wynosi: $U_t = 0,04U_0 = 4\%U_0$

Częstotliwość tętnień jest stosunkowo duża i wynosi:

$$f_t = 6f = 300\text{Hz}$$

Napięcie wyprostowane wynosi (wartość średnia):

$$U_0 = 2,34U$$

zaś

$$U = 0,428U_0$$

gdzie U – oznacza wartość skuteczną napięcia fazowego.

Układ ten ma najwyższy współczynnik wykorzystania transformatora spośród wszystkich układów prostowniczych i dzięki temu wymaga najmniejszej mocy uzwojeń (pierwotnego i wtórnego) dla wytworzenia określonej mocy wyprostowanej:

$$P_1 = P_2 = 1,05P_0$$

$$w_1 = w_2 = P_0 / P_1 = 0,95$$

Układ trójfazowy pełnookresowy mostkowy ma więc takie zalety, jak najniższe napięcie zwrotne występujące na każdej diodzie oraz najmniejszą potrzebną moc i najprostszy układ transformatora.

Układ mostkowy jest używany np. do ładowania baterii akumulatorów o wyższych napięciach, w przemyśle i elektrochemii, a przede wszystkim w urządzeniach zasilających aparaturę elektroniczną, średniej i dużej mocy. Nie jest on natomiast najlepszym układem w przypadku pobierania niskich napięć przy dużych natężeniach prądu wyprostowanego (ponieważ po dwie diody pracują w szeregu).

4. UKŁAD Z ODCZEPAMI ŚRODKOWYMI (transformatora).

Układ trójfazowy z odczepami środkowymi uzwojenia wtórnego transformatora, niekiedy nazywany układem średnicowym, pokazany jest na poniższym rysunku 6.

Odczepy środkowe od każdego z uzwojeń fazowych są połączone ze sobą i dzięki temu do prostowników dochodzi prąd sześciofazowy.

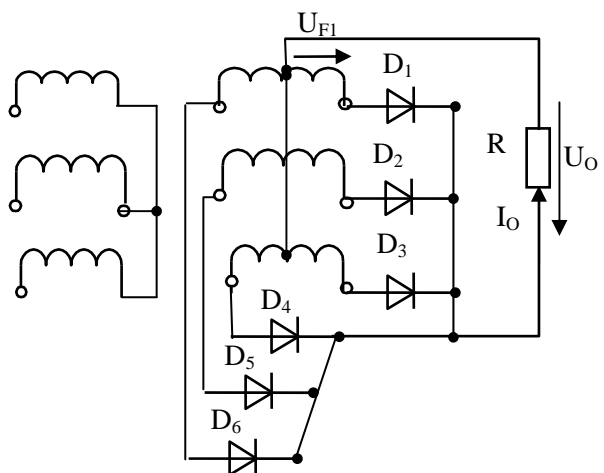
Każda z diod przewodzi przez okres 60° , a częstotliwość tętnień jest sześć razy większa od częstotliwości sieci zasilającej $f_t = 6f = 300\text{Hz}$.

Moce uzwojeń transformatora wynoszą tu (wyjście na indukcyjność):

$$P_1 = 1,28P_0$$

$$P_2 = 1,81P_0$$

i są najwyższe ze wszystkich układów trójfazowych, co nie jest zaletą układu, gdyż wymaga budowy transformatora o mocy prawie dwa razy większej w stosunku do mocy



Rys. 6. Prostownik 3-fazowy z odczepami środkowymi uzwojenia wtórnego transformatora

dostarczanej do odbiornika. Główną zaletą tego układu jest jego prostota oraz to, że katody wszystkich diod prostowniczych są ze sobą połączone i doprowadzone do dodatniej końcówki wyjścia co jest ułatwieniem konstrukcyjnym. Przy prostownikach półprzewodnikowych umożliwia to umieszczenie diod na wspólnym radiatorze chłodzącym. Ze względu na małą zdolność przetwarzania, nie ma technicznego sensu stosowania tego układu do prostowania większych mocy.

Zależności napięciowe w układzie: $U_0 = 1,35 U$ $U = 0,74 U_0$

$U_{zwr} = 2,09 U_0 = 2,83 U$ – napięcie zwrotne (wsteczne) diod, wymagana minimalna wartość dopuszczalnego napięcia wstecznego diod

Napięcie zwrotne jest więc dwa razy wyższe niż przy układzie mostkowym.
Tętnienia $f_t = 6f = 300 \text{ Hz}$, $U_t = 4\% U_0$.

Literatura:

1. Januszewski St., Pytlas A., Rosnowska-Nowaczyk M., Świątek H.- Urządzenia energoelektroniczne, WSiP, W-wa 1995.
2. Januszewski St., Pytlas A., Rosnowska-Nowaczyk M., Świątek H.- Napęd elektryczny, WSiP W-wa 1994.
3. Tunia H., Winiarski B.-Energoelektronika w pytaniach i odpowiedziach, WNT W-wa 1996.

BADANIE PROSTOWNIKÓW 3-FAZOWYCH NIESTEROWANYCH.

1. BADANIE PROSTOWNIKA 3 - FAZOWEGO PÓŁFALOWEGO Z OBCIĄŻENIEM REZYSTANCYJNYM.

Narysuj schemat i zestaw układ prostownika przedstawiony na str. 1 w części opisowej wykorzystując połowę napięcia zasilania w każdej z faz po stronie wtórnej transformatora. Obciążamy prostownik rezystorem $R=100-200\Omega$.

Wykorzystując dwa kanały oscyloskopu i separatory pomiarowe I/U i U/U zarejestruj w porządku chronologicznym (z zachowaniem czasowych zależności pomiędzy przebiegami):

- a). Oscylogramy napięć zasilających po stronie wtórnej trafo względem punktu neutralnego. Określ i zaznacz na oscylogramach wartości amplitud napięć w poszczególnych liniach zasilania oraz przesunięcia fazowe pomiędzy napięciami.
- b). Oscylogram napięcia wyprostowanego. Na oscylogramie określ i zaznacz min. i max. wartość napięcia oraz amplitudę wahań napięcia wyprostowanego.
- c). Przebiegi czasowe prądów diod i prądu odbiornika. Określ min i max wartość prądu wyprostowanego. Na przebiegu prądu odbiornika zaznacz i określ czasy przewodzenia poszczególnych diod w układzie dla 1 okresu napięcia zasilającego.
- d). Pomierz i porównaj wartości średnie napięcia i prądu wyprostowanego z wartościami obliczonymi (równanie 2 na str. opisu).

2. BADANIE PROSTOWNIKA 3 - FAZOWEGO PÓŁFALOWEGO Z OBCIĄŻENIEM SZEREGOWYM RL.

Zanotuj oscylogramy napięć zasilających, napięcia wyprostowanego, prądów diod i prądu obciążenia dla szeregowego odbiornika RL.

Porównaj przebiegi prądu odbiornika z punktu 1 i 2, wyjaśnij przyczyny zaobserwowanych różnic.

3. BADANIE PROSTOWNIKA 3 - FAZOWEGO PÓŁFALOWEGO Z OBCIĄŻENIEM RC.

Zanotuj oscylogramy napięć zasilających, napięcia wyprostowanego, prądów diod i obciążenia dla odbiornika RC.

Porównaj przebiegi prądu diod i odbiornika z punktu 1, 2 i 3, wyjaśnij przyczyny zaobserwowanych różnic.

4. BADANIE PROSTOWNIKA 3-FAZOWEGO Z OBCIĄŻENIEM REZYSTANCYJNYM w warunkach pracy awaryjnej.

- a). Zarejestruj oscylogramy napięcia zasilającego i wyprostowanego w przypadku przerwy w jednej z linii zasilających po stronie wtórnej transformatora (trafo).
- b). Zarejestruj oscylogramy napięcia zasilającego i wyprostowanego w przypadku przerwy w dwóch liniach zasilających po stronie wtórnej trafo.
- c). Zarejestruj oscylogramy napięcia zasilającego i wyprostowanego w przypadku przerwy w jednej z linii zasilających po stronie pierwotnej trafo.
- d). Zarejestruj oscylogramy napięcia zasilającego i wyprostowanego w przypadku przerwy w dwóch liniach zasilających po stronie pierwotnej trafo.

PODAJ UZASADNIENIE DLA UZYSKANYCH PRZEBIEGÓW NA PODSTAWIE ZALEŻNOŚCI ZACHODZĄCYCH W UKŁADZIE.

5. BADANIE PROSTOWNIKA 3-FAZOWEGO MOSTKOWEGO Z OBCIĄŻENIEM REZYSTANCYJNYM.

Narysuj schemat i zestaw układ prostownika przedstawiony na rys.3 w części opisowej wykorzystując połowę napięcia zasilania w każdej z faz po stronie wtórnej trafo. Obciążamy prostownik $R=200\Omega$.

Zarejestruj w porządku chronologicznym:

- a). Oscylogramy napięć zasilających po stronie wtórnej trafo względem punktu neutralnego. Określ i zaznacz na oscylogramach wartości amplitud napięć w poszczególnych liniach zasilania oraz przesunięcia fazowe pomiędzy napięciami.
- b). Oscylogram napięcia wyprostowanego. Na oscylogramie określ i zaznacz min. i max. wartość napięcia oraz amplitudę wahań napięcia wyprostowanego.
- c). Przebieg czasowy prądu wyprostowanego (korzystając z oscylogramu w p.b oraz z prawa Ohma). Określ min i max wartość prądu wyprostowanego. Na wykresie zaznacz czasy przewodzenia poszczególnych diod w układzie.

6. BADANIE PROSTOWNIKA 3-FAZOWEGO MOSTKOWEGO Z OBCIĄŻENIEM REZYSTANCYJNYM w warunkach pracy awaryjnej

- a). Zarejestruj oscylogramy napięcia zasilającego i wyprostowanego w przypadku przerwy w jednej z linii zasilających po stronie wtórnej trafo.
- b). Zarejestruj oscylogramy napięcia zasilającego i wyprostowanego w przypadku przerwy w dwóch liniach zasilających po stronie wtórnej trafo.
- c). Zarejestruj oscylogramy napięcia zasilającego i wyprostowanego w przypadku przerwy w jednej z linii zasilających po stronie pierwotnej trafo.
- d). Zarejestruj oscylogramy napięcia zasilającego i wyprostowanego w przypadku przerwy w dwóch liniach zasilających po stronie pierwotnej trafo.

7. PORÓWNANIE BADANYCH UKŁADÓW PROSTOWNIKOWYCH

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów badań porównaj i uzasadnij różnice:

- a). W wartości napięć uzyskanych po wyprostowaniu w prostownikach pół- i pełnofalowych,
- b). W wartości amplitud wahań (tętnień) napięcia wyprostowanego.
- c). Zachowanie się prostowników w sytuacjach awaryjnych.