

**UWAGA:**

1. Przy rozwiązywaniu każdego zdania należy podać kompletny schemat przekształtnika z opisanymi symbolicznie elementami oraz z zastrzałkowanymi i oznaczonymi symbolicznie wielkościami napięć i prądów
2. Jeżeli nie wyspecyfikowano w zadaniu wielkości do zobrazowania w formie przebiegów a zalecono podać „charakterystyczne przebiegi napięcia i prądu” należy na rysunku podać takie, które zdaniem Odpowiadającego najlepiej ilustrują funkcję i właściwości układu
3. Jeżeli nie podano inaczej w treści zadania przyrządy półprzewodnikowe należy traktować jako idealne

**Przekształtniki sieciowe 1-fazowe**

**PS1.** Prostownik diodowy zasilany z dwufazowego ( tzn. przesuniętego w fazie o  $\pi$ ) systemu źródeł napięć sinusoidalnych o częstotliwości 50 Hz i amplitudzie 10 V zasila odbiornik RLE. Charakterystyki napięciowo prądowe obu diod w stanie przewodzenia są opisane poprzez napięcie progowe  $U_{TO} = 0,5V$  i rezystancję dynamiczną  $r_F=0,1\Omega$ ). Narysuj:

- a) wyskalowaną charakterystykę napięciowo-prądową diody przy założeniu, że w stanie polaryzacji wstecznej prąd jest bliski zeru ( $I_R \approx 0$ )
- b) dokładne przebiegi czasowe (1,5 okresu) napięcia i prądu odbiornika i prądu i napięcia jednej z diod w przypadku gdy obowiązują następujące parametry:  $R=1\Omega$ ,  $E=5V$ ,  $L \approx 0$
- c) orientacyjne przebiegi czasowe (1,5 okresu) napięcia i prądu odbiornika i prądu i napięcia jednej z diod w przypadku gdy obowiązują następujące parametry:  $R=0$ ,  $E=9V$ ,  $L=1mH$ .

**PS2.** Źródło napięcia sinusoidalnego o amplitudzie 100V/50 Hz) połączone jest w obwodzie zawierającym także połączone szeregowo tyrystor, dławik – L, rezystancję - R i źródło napięcia stałego – E. Gałąź RLE może być traktowana jako odbiornik

- a) Narysuj charakterystykę napięciowo-prądową tyrystora z starając się zachować proporcje skali dla stanów blokowania, wstecznego i przewodzenia. Uwzględnij wpływ prądu bramki
- b) Narysuj charakterystyczne przebiegi napięcia i prądu dla przypadku odbiornika RE ( $L=0$ ) o parametrach  $R=20\Omega$  i  $E=50V$  przy kącie opóźnienia załączenia  $\vartheta_z=\pi/2$ .
- c) Narysuj charakterystyczne przebiegi napięcia i prądu dla przypadku odbiornika LE( $R \approx 0$ ) o parametrach  $L=1mH$  i  $E=25V$  przy kącie opóźnienia załączenia  $\vartheta_z=\pi$ .

**PS3.** Analizowany jest obwód jednofazowego niesterowanego prostownika jednopulsowego z obwodem wyjściowym w postaci filtru LC o rezystancji dławika filtru równej R i obciążony rezystorem  $R_o$  dołączonym równolegle do kondensatora. Napięcie źródła zasilającego prostownik jest określone jako  $u_L=U_m \sin(\omega t)$ .

- a) Zapisz równania opisujące zmienne stanu – prąd w dławiku i napięcie na kondensatorze. Podaj warunek określający przedział, w którym równanie ma poprawne rozwiązanie.
- b) Narysuj schemat obwodu z integratorami, rozwiązującego te równania dla wyznaczenia impulsu prądu.
- c) Narysuj charakterystyczne przebiegi napięć i prądów w obwodzie przy założeniu że w stanie ustalonym impuls prądu w diodzie charakteryzuje kąt przewodzenia  $\pi/3$ , rezystancja dławika jest pomijalna a pojemność kondensatora nieskończenie wielka.

**PS4.** Z sieci o napięciu przemiennym sinusoidalnie  $u_L$ , którego amplituda wynosi  $U_m$ , poprzez jednopulsowy prostownik tyrystorowy jest zasilany odbiornik prądu stałego RLE złożony z szeregowo połączonych: rezystora (R), dławika (L) i źródła napięcia stałego (E). Na podstawie sporządzonych charakterystycznych wykresów napięcia i prądu określ zakres możliwych zmian kąta załączenia  $\vartheta_z$  w przypadku gdy:

- a) napięcie źródłowe E ma zwrot przeciwny do kierunku prądu wyprostowanego i wynosi  $E=0,5U_m$  przy czym: a1)  $R = np. 10W$  a  $L \approx 0$ ; a2)  $R \approx 0$  a  $L = np 10 mH$ ; a3)  $R \approx 10W$ ,  $L = np 10 mH$
- b) napięcie źródłowe E ma zwrot zgodny z kierunkiem prądu wyprostowanego i wynosi  $E= -0,5U_m$  przy czym: b1)  $R \neq 0$  a  $L \approx 0$ ; b2)  $R \approx 0$  a  $L \neq 0$ . Uwaga: w przypadku b2 uwzględnić zjawisko „przewrotu falowniczego”
- c) Podaj jak w rozpatrywanym układzie przy ustalonym kącie opóźnienia załączenia  $\text{tg}\varphi = \omega L/R$  odbiornika prądu stałego wpływa na kąt przewodzenia tyrystora  $\lambda_T$ ?

**PS5.** Tyrystorowy sterownik napięcia przemiennego połączony szeregowo z dławikiem zastosowano jako regulator mocy bierny w układzie kompensatora pojemnościowego. Kompensator jest podłączony do linii napięcia przemiennego  $U=1500V/50Hz$  i składa się z wymienionego regulatora włączonego równolegle do baterii kondensatorów. Należy wyznaczyć:

- wartość indukcyjności dławika  $L$  wchodzącego w skład regulatora tyrystorowego jeśli ma on kompensować moc bierną osiągającą wartość  $Q=30kVAr$ ,
- przybliżoną wartość kąta załączania  $\alpha$  tyrystorów jaka zostanie nastawiona przez układ sterowania w przypadku gdy kompensowana moc bierna wynosi  $Q_k=15kVAr$  (przyjmując liniową zależność mocy bierny od kąta załączania  $\alpha$  w zakresie  $\pi/2 < \alpha < \pi$ ),
- przebiegi wartości chwilowych napięcia  $u_L$  i prądu  $i_L$  dławika w gałęzi regulatora tyrystorowego dla przypadku wg punktu b).

**PS6.** Podaj schematy dwupulsowych jednofazowych prostowników diodowych zasilanych z sieci napięcia przemiennego  $u_L = U_m \sin \omega t$  poprzez transformatory o przekładni napięciowej równej jedności. Dla przypadku, gdy odbiornikiem prądu stałego jest rezystor o rezystancji  $R$  dla obu wersji prostowników należy:

- Na podstawie narysowanych przebiegów wartości chwilowych napięć i prądów diod, porównać parametry prostownika (klasy napięciowe diod, napięcie wyjściowe)
- Na podstawie przebiegi wartości chwilowych napięć i prądów uzwojeń transformatorów wyznacz i porównaj moc pozorną transformatorów (Wartość średnia arytmetyczna mocy uzwojeń pierwotnych i wtórnych) w obu przypadkach.
- Podaj charakterystyczne przykłady zastosowań prostownika w dwóch podstawowych wersjach.

**PS7** Tyrystorowy dwupulsowy prostownik mostkowy jest obciążony rezystorem  $R_d = 10\Omega$ . Dane są następujące parametry i wielkości: - sinusoidalne napięcie zasilające ma amplitudę  $U_m = 325V$  i częstotliwość  $f = 50Hz$ , - tyrystory mają cechy identyczne charakterystyki napięciowo-prądowe, - kąt opóźnienia wysterowania tyrystorów  $\alpha = \pi/2$ ,

- Wyznacz wyskalowane (tzn. z podaniem jednostek na osi rzędnych i odciętych) przebiegi wartości chwilowych (zorientowane względem jednego okresu napięcia sieci) następujących wielkości: • prądu ( $i_d$ ) i napięcia wyprostowanego ( $u_d$ ), •• prądu pobieranego z linii zasilającej  $i_L$ , ••• napięcia  $u_T$  i prądu  $i_T$  wybranego tyrystora.
- Oblicz moc czynną pobieraną z sieci z pominięciem strat w łącznikach (traktujemy je jako idealne)
- Oblicz straty mocy w jednym z tyrystorów przy założeniu że prąd zaworowy i blokowania jest równy zero a charakterystyka w stanie przewodzenia jest opisana poprzez napięcie progowe  $U_{TO} = 1V$  i rezystancje  $r_T = 0.01\Omega$

**PS8** Tyrystorowy dwupulsowy prostownik mostkowy zasilany bezpośrednio z sieci o napięciu 230V (wartość skuteczna) jest obciążony odbiornikiem w postaci szeregowo połączonego rezystora  $R_d = 5\Omega$  i dławika  $L_d$  o bardzo dużej indukcyjności ( $\tan \theta = \omega L_d/R_d \rightarrow \infty$ ) tak, że tętnienia prądu wyprostowanego  $I_d$  mają pomijalnie małą wartość (odbiornik ma cech źródła prądu stałego). Kąt opóźnienia wysterowania tyrystorów  $\alpha = \pi/6$ . Należy:

- Przyjmując, że komutacja tyrystorów odbywa się w pomijalnie krótkim czasie oraz pomijając straty mocy w układzie należy wyznaczyć: • wartość średnią napięcia odbiornika ( $U_d$ ) •• wartość średnią prądu wyprostowanego ( $I_d$ ), ••• wartość skuteczną prądu linii zasilającej  $I_L$ ,
- Narysować wyskalowane (z podaniem jednostek na osi odciętych i rzędnych) przebiegi wartości chwilowych (zorientowane względem przebiegu napięcia sieci): - napięcia  $u_d$  i prądu  $i_d$  wyprostowanego// - napięcia  $u_T$  i prądu  $i_T$  wybranego tyrystora, - prądu  $i_L$  linii zasilającej,
- Obliczyć • współczynnik mocy  $\lambda$  prostownika, •• współczynnik  $THD_i$  zawartości wyższych harmonicznych prądu linii zasilającej.

**PS9** . Dławik  $L_d$  w obwodzie wyjściowym diodowego dwupulsowego prostownika mostkowego ma tak dużą indukcyjność, że wartość chwilową prądu wyprostowanego  $I_d$  można uznać za stałą. Należy

- Obliczyć wartość skuteczną sinusoidalnego napięcia (o częstotliwości  $f=50Hz$ ) zasilającego prostownik tak, aby uzyskać napięcie wyprostowane o wartości średniej 100V, jeżeli indukcyjność  $L_s$  obwodu prądu przemiennego (źródła napięcia zasilającego prostownik) w relacji do indukcyjności obwodu prądu wyprostowanego jest pomijalnie mała (komutacja natychmiastowa, tzn. kąt komutacji  $\mu=0$ ),
- Obliczyć wartość skuteczną sinusoidalnego napięcia w przypadku gdy iloczyn indukcyjności  $L_s$  obwodu prądu przemiennego i prądu wyprostowanego  $I_d$  wynosi  $L_s I_d = 0,05Vs$ ,

c) Narysować orientacyjne przebiegi wartości chwilowych napięcia wyprostowanego oraz wejściowego prądu przemiennego prostownika w obu przypadkach (a i b).

**PS10** Wartość chwilowa przemiennego napięcia wejściowego tyrystorowego prostownika mostkowego ma przebieg o kształcie dodatnich i ujemnych impulsów prostokątnych (każdy z impulsów trwa przez pół okresu) o wartościach  $U_m$  równych  $\pm 100V$ , powtarzających się z częstotliwością 1000 Hz. Prostownik jest obciążony odbiornikiem o charakterze źródła prądu stałego o wartości  $I_d = 100A$ . Dla dowolnie wybranego kąta opóźnienia załączenia tyrystorów należy:

- Dla przypadku jeśli źródło napięcia przemiennego jest idealne (pomijalnie mała impedancja wewnętrzna) na tle przebiegu napięcia zasilania narysować przebiegi wartości chwilowych: • napięcia wyprostowanego  $u_d$ ; •• prądu  $i_L$  pobieranego ze źródła napięcia przemiennego
- Narysować przebiegi jak w punkcie a) jeśli w obwodzie źródła zasilającego występuje indukcyjność  $L_k = 100\mu H$  (uwzględnić zjawisko komutacji),
- dla rozpatrywanego układu wyprowadzić ogólne zależności opisujące: • charakterystykę sterowania, tzn. zależność wartości średniej napięcia wyprostowanego  $U_d$  od kąta  $\alpha$ , •• kąt komutacji  $\mu$  jako funkcję indukcyjności  $L_k$ , napięcia  $U_m$  i prądu  $I_d$ , ••• stratę napięcia (wartość średnią)  $\Delta U_{dk}$  wywołaną komutacją jako funkcję kąta  $\mu$  i wartości napięcia  $U_m$ .

**PS11.** Układ ładowania akumulatora składa się z transformatora sieciowego i mostka diodowego. W szereg z akumulatorem o napięciu źródłowym  $E = 6V$  włączono rezystor  $R = 1\Omega$ . Jednofazowe napięcie sinusoidalnie przemiennie doprowadzone do prostownika mostkowego jest opisane wzorem  $u = 16\sin 100\pi t$ . Spadek napięcia na każdej przewodzącej diodzie wynosi  $\Delta U = 1V$ . Przy pominięciu spadków napięć na rezystancjach i indukcyjnościach połączeń należy:

- narysować wyskalowane (tzn. z podaniem jednostek na osi pionowej i poziomej) przebiegi wartości chwilowych napięcia i prądu wyprostowanego ( $u_d, i_d$ ), oraz na oddzielnym wykresie przebiegi wartości chwilowych prądu uzwojenia wtórnego transformatora ( $i_2$ ) oraz prądu jednej z diod ( $i_D$ )
- wyprowadzić wzór i obliczyć wartość średnią prądu ładowania akumulatora ( $I_d$ ).
- Obliczyć wartość średnią prądu ładowania akumulatora w przypadku gdy w szereg z rezystorem  $R$  zostanie włączony dławik o bardzo dużej indukcyjności ( $L = \infty$ ) i pomijalnej rezystancji.

**PS12.** Na przykładzie tyrystorowego prostownika jednofazowego dwupulsowego z transformatorem o dzielonym (dwusekcyjnym) uzwojeniu wtórnym należy:

- objaśnić zjawisko komutacji, poprzez podanie przebiegów wartości chwilowych napięcia ( $u_d$ ) i prądu ( $i_d$ ) odbiornika oraz prądów obu tyrystorów ( $i_{T1}$  i  $i_{T2}$ ) dla dwóch kątów załączania tyrystorów:  $\alpha_1 = 0^\circ$ el. oraz  $\alpha_2 = 90^\circ$ el. przy założeniu, że wartość chwilowa prądu wyprostowanego jest stała i taka sama dla obu wartości kąta  $\alpha$  (równa  $I_d$ ),
- przyjawszy, że wartość skuteczna napięcia każdej sekcji uzwojenia strony wtórnej transformatora wynosi  $U_2 = 115V$  a prąd odbiornika (o charakterze źródła prądu stałego) ma wartość stałą w czasie komutacji i równą  $I_d = 100A$ , należy obliczyć indukcyjność rozproszenia  $L_k$  (sprowadzoną do każdej sekcji uzwojenia wtórnego) transformatora wiedząc, że kąt komutacji przy  $\alpha = 90^\circ$ el. wynosi  $\mu = 6^\circ$ el. ( $333\mu s$ ),
- podać jakie warunki musi spełniać odbiornik aby przy kącie wysterowania  $\alpha = 90^\circ$ el. prąd wyprostowany był ciągły i zilustrować ten warunek wykresem przebiegów czasowych.

**PS13.** Jednofazowy mostkowy prostownik diodowy (układ Graetza) jest zasilany bezpośrednio z sieci o napięciu sinusoidalnym o wartości skutecznej 230V i częstotliwości 50 Hz.. Indukcyjność obwodu zasilania ma określoną wartość  $L_k$  (np.  $L_k = 500\mu H$ ). Równoległe do zacisków wyjściowych prostownika włączony jest kondensator  $C_d$  o bardzo dużej pojemności oraz (równoległy do kondensatora) odbiornik prądu stałego (np. rezystor  $R_d$ ). Duża pojemność kondensatora sprawia, że wartość chwilowa napięcia na zaciskach wyjściowych prostownika może być traktowana jako stała i równa 290V. Należy wyznaczyć zorientowane względem przebiegu źródłowego napięcia sieci (np. dla trzech półokresów).

- przebiegi wartości chwilowych napięcia ( $u_L$ ) i prądu ( $i_L$ , w sposób orientacyjny) wejściowego prostownika,
- przebiegi wartości chwilowych napięcia ( $u_d$ ) i prądu ( $i_d$ , w sposób orientacyjny) wyjściowego prostownika,
- przebiegi wartości chwilowych prądu ( $i_D$ ) i napięcia ( $u_D$ ) wybranej diody.

**PS14.** Do ładowania dużej baterii akumulatorów o napięciu nominalnym  $E_o=24V$  i rezystancji wewnętrznej  $R_o = 10m\Omega$  ma być zastosowany jednofazowy dwupulsowy prostownik tyrystorowy w układzie z transformatorem o dwusekcyjnym uzwojeniu wtórnym. Szeregowo z baterią akumulatorów będzie włączony dławik filtrujący o tak dużej indukcyjności  $L_o$ , że tętnienia prądu wyprostowanego można uznać za pomijalnie małe w całym zakresie pracy prostownika. Napięcie baterii akumulatorów może zmieniać się w zakresie  $\pm 20\%$  wartości nominalnej. Największa wartość prądu ładowania nie przekroczy  $I_{dmax} = 100A$ . Przy założeniu, że indukcyjność obwodu zasilania sprowadzona do każdej sekcji uzwojenia wtórnego transformatora wynosi  $L_k = 0,5$  mH należy:

- wyznaczyć wymaganą wartość przekładni napięciowej  $n$  transformatora, zapewniającą pełny ( $I_{dmax}$ ) prąd ładowania przy maksymalnym napięciu baterii (z uwzględnieniem zjawiska komutacji),
- zakładając nieznaczny wpływ kąta komutacji obliczyć wartość średnią ( $I_{T(AV)}$ ) i skuteczną ( $I_{T(RMS)}$ ) prądu w tyrystorach przy maksymalnym prądzie ładowania  $I_{dmax}$ ,
- przy założeniu jak w punkcie b) obliczyć współczynniki mocy  $\lambda$  dla przypadków, gdy napięcie baterii jest minimalne ( $E_{min}$ ) i maksymalne ( $E_{max}$ ) a prąd ładowania ma wartość  $I_{dmax}=100A$ .

### Przekształtniki 3-fazowe

**PS15.** Tyrystorowy prostownik trójpulsowy jest zasilany bezpośrednio z trójfazowej sieci prądu przemienego NN ( $3 \times 400V/50Hz$ , wartość skuteczna napięcia fazowego  $U_L=230V$ ). Należy:

- dla przypadku gdy odbiornikiem jest rezystor o rezystancji  $R=10\Omega$  a kąt opóźnienia załączenia  $\alpha=0^\circ$  el narysować wyskalowane przebiegi wartości chwilowych: •- napięć fazowych  $u_{L1}, u_{L2}, u_{L3}$  z zaznaczeniem napięcia wyprostowanego  $u_d$  i prądu wyprostowanego  $i_d$ ; •• - prądów poszczególnych faz i jednocześnie prądów tyrystorów,
- dla przypadku odbiornika jak w p. a) lecz przy kącie  $\alpha=60^\circ$  el. wyznaczyć: • - wartość średnią napięcia wyprostowanego, •• - wartość średnią prądu każdego z tyrystorów.
- przy odbiorniku złożonym z rezystora  $R=10\Omega$  i dławika o bardzo dużej indukcyjności ( $L=\infty$ ) i pomijalnej rezystancji oraz przy kącie  $\alpha=60^\circ$  el narysować przebiegi jak w punkcie .a)

**PS16.** Trójpulsowy przekształtnik tyrystorowy jest zasilany bezpośrednio z linii  $3 \times 400V/50Hz$  (wartość skuteczna napięcia fazowego  $230V$ ). Odbiornik, z uwagi na bardzo dużą indukcyjność, wykazuje charakter idealnego źródła prądu stałego o wartości  $I_d$ . Przy założeniu, że prądy w tyrystorach podczas komutacji zmieniają się liniowo należy:

- obliczyć przybliżoną wartość indukcyjności komutacyjnych  $L_k$  każdej fazy linii zasilającej jeśli dla prądu  $I_d = 10A$  przy kącie  $\alpha=30^\circ$  el. kąt komutacji  $\mu=5^\circ$  el.,
- obliczyć kąt komutacji  $\mu$  a następnie podać przebiegi wartości chwilowych napięcia odbiornika  $u_d$  oraz prądów w poszczególnych tyrystorach jeśli kąt wysterowania  $\alpha=90^\circ$  el a prąd odbiornika wynosi  $I_d = 50A$ . Narysować przebieg napięcia wyjściowego przekształtnika ilustrujący ten przypadek
- przy założeniu, że komutacja tyrystorów odbywa się natychmiastowo (kąt komutacji  $\mu=0$ ) oraz, że kąt wysterowania  $\alpha=60^\circ$  el. wyznaczyć: •- wartość skuteczną prądu pobieranego z linii  $I_L$  jako funkcję prądu  $I_d$ , •• - wartość skuteczną podstawowej harmonicznej  $I_{L(1)}$  prądu pobieranego z linii jako funkcję prądu  $I_d$  (wykorzystać bilans mocy czynnej pobieranej z sieci i mocy obwodu prądu stałego wiedząc, że kąt przesunięcia  $\varphi_1$  podstawowej harmonicznej prądu linii względem napięcia fazowego jest równy kątowi  $\alpha$ ), ••• - współczynnik mocy  $\lambda$  przekształtnika, •••• - wartość współczynnika odkształcenia prądu linii  $THD_i$ .

**PS17.** Tyrystorowy prostownik trójpulsowy jest zasilany poprzez transformator obniżający z sieci trójfazowej prądu przemienego NN ( $3 \times 400V/50Hz$ , wartość skuteczna napięcia fazowego  $U_1=230V$ ). Transformator ma uzwojenia pierwotne i wtórne połączone w gwiazdę a jego przekładnia napięciowa wynosi  $n=U_2/U_1 = 1/4$ . Kąt opóźnienia wysterowania  $\alpha = 30^\circ$  el.). Z uwagi na bardzo dużą indukcyjność odbiornika wartość chwilowa prądu wyprostowanego jest stała i równa  $I_d$ . Należy:

- podać na oddzielnych wykresach, zorientowane względem napięć fazowych uzwojeń wtórnych transformatora przebiegi wartości chwilowych: •- napięcia wyprostowanego  $u_d$  w czasie odpowiadającym trzem półokresom napięcia sieci, •• - prądu wybranej fazy uzwojenia wtórnego transformatora, ••• - prądu wybranej fazy uzwojenia pierwotnego transformatora (linii zasilającej),

- b) wyznaczyć zależności określające: • - wartość skuteczną prądu pobieranego z linii  $I_L$  jako funkcję prądu  $I_d$ , •• - wartość skuteczną podstawowej harmonicznej  $I_{L(1)}$  prądu pobieranego z linii jako funkcję prądu  $I_d$ , (wykorzystać bilans mocy czynnej pobieranej z linii i mocy wydzielanej w obwodzie prądu stałego wiedząc, że kąt przesunięcia  $\varphi_1$  między podstawową harmoniczną prądu a napięciem fazowym linii jest równy kątowi  $\alpha$ ),
- c) korzystając z zależności wyprowadzonych w p. b) wyznaczyć współczynnik mocy  $\lambda$  układu oraz współczynnik odkształcenia  $THD_i$  prądu pobieranego z linii.

**PS18.** Trójfazowy przekształtnik tyrystorowy jest zasilany z sieci trójfazowej o amplitudzie napięcia fazowego równej  $U_m$ . Kąt opóźnienia wysterowania tyrystorów wynosi  $\alpha=120^\circ$ el. Schemat zastępczy odbiornika składa się z szeregowo połączonego idealnego dławika  $L_o$  i źródła napięcia stałego  $E_o$ , przy czym kierunek tego napięcia jest zgodny z kierunkiem prądu wyprostowanego (np. maszyna obcowzbudna prądu stałego hamowana prądnicowo o pomijalnie małej rezystancji obwodu wirnika). Należy:

- a)) podać możliwie dokładnie przebiegi wartości chwilowych napięć fazowych z zaznaczeniem napięcia  $E_o$  oraz napięcia  $u_d$  i prądu  $i_d$  odbiornika jeśli stosunek  $E_o/U_m$  ma wartość ujemną i wynosi  $E_o/U_m = -0,2$  (prąd odbiornika ma przebieg impulsowy),
- b) wyznaczyć warunek (nierówność) jaką musi spełniać wartość stosunku  $E_o/U_m$ , przy którym dla  $\alpha=120^\circ$ el. wartość chwilowa prądu wyprostowanego  $i_d$  ma przebieg ciągły (praca falownikowa),
- c) dla przypadku jak w punkcie b), przy założeniu, że kąt komutacji  $\mu=10^\circ$ el., podać możliwie dokładnie: •- przebieg wartości chwilowej (zorientowany względem napięć fazowych) napięcia wyprostowanego  $u_d$  z zaznaczeniem wyznaczonej wartości  $E_o$ , •• - przebieg prądu odbiornika z zaznaczeniem fragmentów przewodzonych przez poszczególne tyrystory.

**PS19.** Prostownik diodowy mostkowy jest zasilany bezpośrednio z sieci trójfazowej  $3 \times 400V/50Hz$  o indukcyjności w każdej z faz  $L_k = 0,5mH$ . Równolegle do zacisków wyjściowych prostownika dołączony jest kondensator filtrujący oraz odbiornik prądu stałego. Dzięki bardzo dużej pojemności kondensatora wartość chwilowa napięcia wyjściowego prostownika może być traktowana jako stała i równa  $U_d=555V$ . Należy:

- a) narysować schemat z ponumerowanymi diodami (D1-D6) stosując standardowy sposób oznaczania diod grupy katodowej i anodowej odpowiadający kolejności komutacji
- b) narysować przebiegi wartości chwilowych trójfazowych sinusoidalnych napięć fazowych  $u_{L1}$ ,  $u_{L2}$ ,  $u_{L3}$  (np. trzy półokresy) z zaznaczeniem sześćdziesięciostopniowych przedziałów wyznaczających strefy przewodzenia poszczególnych diod
- c) podać na oddzielnych wykresach synchronizowane z przebiegami napięć fazowych typowe (orientacyjne) przebiegi wartości chwilowych: • - impulsowego prądu wyjściowego prostownika, •• - impulsowego prądu w przewodzie fazy L1 sieci zasilającej z zaznaczeniem numerów diod, przez które płyną poszczególne impulsy.

**PS20.** Mostek diodowy jest zasilany z trójfazowego źródła napięcia sinusoidalnego o częstotliwości 50Hz i o pomijalnie małej impedancji wewnętrznej. W obwodzie prądu wyprostowanego szeregowo z odbiornikiem jest włączony dławik  $L_d$  o bardzo dużej indukcyjności tak, że obwód ten ma charakter źródła prądu stałego o natężeniu  $I_d = 100A$ . Należy:

- a) obliczyć wymaganą wartość skuteczną  $U_L$  fazowego napięcia przemiennego jeżeli wartość średnia napięcia wyprostowanego ma wynosić  $U_d = 100V$ ,
- b) podać na oddzielnych wykresach synchronizowane z przebiegami napięć fazowych przebiegi wartości chwilowych prądów w poszczególnych przewodach fazowych z zaznaczeniem numerów diod, przez które przepływają sześćdziesięciostopniowe impulsy tych prądów,
- e) obliczyć: • - wartość średnią  $I_{F(AV)}$  i skuteczną  $I_{F(RMS)}$  prądu diody, •• - wartość skuteczną wejściowego prądu przewodowego  $I_L$ , ••• - wartość skuteczną podstawowej harmonicznej  $I_{L(1)}$  wejściowego prądu przewodowego, •••• - współczynnik zawartości wyższych harmonicznych  $THD_i$  wejściowego prądu przewodowego, ••••• - współczynnik mocy  $\lambda$  układu.

**PS21.** Tyrystorowy mostek zasilany z publicznej sieci trójfazowej o wartości skutecznej napięcia fazowego równej  $U_L$  pracuje przy kącie opóźnienia wysterowania tyrystorów  $\alpha=30^\circ$ el. Dana jest wartość chwilowa prądu odbiornika, która może być traktowana jako stała i równa  $I_d$ . Czas komutacji  $t_k \approx 0$ . Należy:

- a) na jednym wykresie podać przebiegi wartości chwilowych napięć fazowych z zaznaczeniem napięć wyprostowanych przez grupę anodową  $u_{NA}$  i katodową  $u_{KN}$  tyrystorów a na oddzielnych wykresach podać

- przebiegi wartości chwilowych (zorientowane względem przebiegów napięć fazowych) prądów płynących przez poszczególne tyrystory ( $i_{T1} \div i_{T6}$ ),
- b) na oddzielnych (zorientowany względem przebiegów napięć fazowych) wykresach podać przebiegi prądów płynących przez poszczególne tyrystory ( $i_{T1} \div i_{T6}$ ) oraz przebieg wartości chwilowej prądu płynącego w jednym z przewodów sieci zasilającej ( $i_L$ ),
- c) wyznaczyć jako funkcję prądu  $I_d$ : •-wartość średnią ( $I_{T(AV)}$ ) i skuteczną ( $I_{T(RMS)}$ ) prądu tyrystora, ••-wartość skuteczną  $I_L$  prądu pobieranego z sieci wartość skuteczną podstawowej harmonicznej (należy skorzystać z bilansu mocy). •••- współczynnik zawartości wyższych harmonicznych  $THD_i$  prądu  $i_L$  pobieranego z sieci,

**PS22.** Tyrystorowy trójfazowy przekształtnik mostkowy jest zasilany z sieci NN ( $3 \times 400V/50Hz$ ). Z uwagi na dużą indukcyjność odbiornika obwód wyjściowy prostownika zachowuje cechy idealnego źródła prądu stałego tak, że wartość chwilowa prądu wyprostowanego jest stała i nie ulega zmianie przy zmianach kąta  $\alpha$  wysterowania przekształtnika. Wypadkowa indukcyjność każdej fazy sieci zasilającej wynosi  $L_k = 1mH$ . Należy:

- a) wyznaczyć wyskalowane (i zorientowane względem przebiegów napięć fazowych) przebiegi wartości chwilowych napięcia  $u_k$  i prądu  $i_k$  w oczku z wybraną parą komutujących tyrystorów, przy czym na osi odciętych należy przyjąć  $\omega t = \alpha$ ,
- b) wyliczyć orientacyjną wartość  $I_d$  prądu wyprostowanego wiedząc, że w przypadku  $\alpha=90^\circ$ el. kąt komutacji  $\mu=6^\circ$ el.
- c) podać przebiegi wartości chwilowych napięcia odbiornika  $u_d$  i prądu w jednym z przewodów linii zasilającej w przypadkach, gdy kąty wysterowania przekształtnika wynoszą:  $\alpha_1=30^\circ$ el.,  $\alpha_2=90^\circ$ el. i  $\alpha_3=150^\circ$ el.

**PS23.** Trójfazowy tyrystorowy prostownik mostkowy jest zasilany z sieci o pomijalnie małej impedancji. Odbiornikiem prądu stałego jest rezystor  $R$ . Należy:

- a) dla kąta opóźnienia wysterowania  $\alpha = \pi/3$  •- na jednym wykresie podać przebiegi wartości chwilowych napięć fazowych (np. trzy półokresy) z zaznaczeniem napięć wyprostowanych przez grupę anodową  $u_{NA}$  i katodową  $u_{KN}$  tyrystorów; •• - podać przebieg napięcia wyprostowanego  $u_d$ , zorientowanego zgodnie z przebiegami napięć fazowych (strzałkami zaznaczyć chwile doprowadzenia impulsów bramkowych do tyrystorów należących do jednej gałęzi fazowej mostka)
- b) narysować zorientowane względem przebiegów napięć fazowych przebieg prądu w linii zasilającej w przypadku gdy kąt  $\alpha = 0$
- c) wyznaczyć moc czynną i pozorną pobieraną przez przekształtnik z sieci przy  $\alpha = 0$  i wyznaczyć współczynnik mocy odpowiadający takiemu przypadkowi.

**PS24.** Trójfazowy prostownik zbudowany z zastosowaniem łączników w pełni sterowanych (IGBT, GTO) i zapewniający formowanie metodą PWM na zaciskach wejściowych fali o amplitudzie podstawowej harmonicznej regulowanej w zakresie 0,7 – 1,3 wartości amplitudy nominalnego napięcia sieci (400V/230V 50 Hz). Harmoniczna ta jest synchronizowana z napięciem linii a przesunięcie fazowe może być nastawiane w zakresie  $-p/6 \dots +p/6$ . Kolejne znaczące harmoniczne w napięciu wejściowym falownika mają częstotliwość 1450 Hz i 1550 Hz i osiągają amplitudę równą 20%  $U_{Lm}$ . Dławiki sprzęgające przekształtnik z siecią mają indukcyjność 5 mH i pomijalną rezystancję. Należy

- a) Narysować wykres wskazowy dla prądu wejściowego oraz napięcia sieci i napięcia wejściowego przekształtnika dla przypadku gdy fala prąd pobieranego z sieci jest w fazie z falą napięcia sieci ( $\cos\varphi \cong 1$ ). Obliczyć dla tego przypadku wartość amplitudy podstawowej harmonicznej napięcia wejściowego przekształtnika oraz jej przesunięcie fazowe jeżeli moc czynna pobierana z sieci i oddawana do obwodu napięcia stałego ( odbiornika ) jest równa 30 KW.
- b) Narysować wykres wskazowy odpowiadający stanowi pracy przekształtnika przy którym pobierana moc czynna jest równa 0 a moc pobierana z sieci ma współczynnik mocy  $\cos\varphi \cong 1$  pojemnościowy. ( Fala prądu pobieranego z sieci wyprzedza o  $p/2$  falę napięcia
- c) obliczyć wartość skuteczną wyższych harmonicznych prądu mogących wystąpić a sieci z uwagi na wskazane w temacie maksymalne wartości wyższe harmoniczne w napięciu wejściowym przekształtnika ( 49 i 51 harmoniczna o amplitudzie 0,2  $U_{Lm}$  )