

UWAGA!

1. Przy rozwiązywaniu każdego zdania należy podać kompletny schemat przekształtnika wraz 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 DC/DC

PI_1. Rozróżnia się trzy podstawowe układy przekształtników impulsowych wywodzące się z tzw. postaci kanonicznej łącznika. Należy:

- a) narysować podstawowe wersje tych przekształtników zbudowanych z zastosowaniem tranzystora i diody
- b) narysować przebiegi napięcia i prądu, które najlepiej ilustrują zasadę pracy każdego z nich i wyprowadzić zależność wiążącą napięcie wyjściowe z wejściowym i współczynnikiem wypełnienia D wychodząc z warunku wartości średniej napięcia na indukcyjności w stanie ustalonym przy ciągłym prądzie dławika;
- c) podać zależności wskazujące jak obliczyć moc strat w tranzystorach stosowanych w przekształtnikach impulsowych

PI_2. Przekształtnik zasilany ze źródła napięcia stałego o wartości $E = 100 \text{ V}$ dostarcza napięcie jednokierunkowe U_o o wartości regulowanej w zakresie od zera do E (układ obniżający napięcie) do odbiornika złożonego z rezystancji, indukcyjności oraz źródła prądu stałego Należy:

- a) Przyjmując, że częstotliwość łączy jest równa 1 kHz a prąd odbiornika jest ciągły, dla współczynnika wypełnienia $D=0,4$ narysować orientacyjne przebiegi wartości chwilowych: • - napięcia u_o na odbiorniku rezystancyjno-indukcyjnym R-L, •• - prądu i_o odbiornika R-L, ••• - napięcia u_L na dławiku odbiornika, •••• - prądu i_{D0} diody rozładowczej.
- b) Przy rezystancji odbiornika $r_o = 5 \Omega$ i indukcyjności tak dużej, że tętnienia prądu są pomijalnie małe i przy współczynniku wypełnienia D jak w p.a) obliczyć moc strat przewodzenia w diodzie i tranzystorze przy założeniu, że charakterystyka napięciowo-prądowa diody jest opisana przez napięcie progowe $U_{TO} = 0,5 \text{ V}$ i rezystancję dynamiczną $5 \text{ m}\Omega$ a tranzystor typu MOSFET przez rezystancję kanału $r_{DS(on)} = 0,01 \Omega$.

PI_3. Przekształtnik impulsowy prądu stałego o właściwościach obniżających pracuje jako zasilacz stabilizowany z filtrem LC. Należy:

- a) Określić jaką częstotliwość łączy należy zapewnić aby przy indukcyjności filtra $L=2 \text{ mH}$ uzyskać tętnienia prądu w dławiku nie większe niż 2 A (odchyłka od wartości średniej) jeżeli napięcie stałe E na wejściu zmienia się w zakresie $150 - 300 \text{ V (DC)}$ a stabilizowane napięcie wyjściowe U_o jest stałe (tętnienia pomijalnie małe) i wynosi $U_o = 100 \text{ V}$.
- b) Wyznaczyć charakterystyczne przebiegi napięcia i prądu (napięcie na diodzie rozładowczej u_{D0} , napięcie dławika filtra u_L , prąd dławika i_L , prąd tranzystora i_T , prąd diody i_{D0}) dla przypadku maksymalnego napięcia E na wejściu i napięcia $U_o = 100 \text{ V}$ wyjściu przekształtnika jeśli prąd odbiornika wynosi $I_o = 20 \text{ A}$.

PI_4. Częstotliwość łączy tranzystora w układzie bezpośredniego przekształtnika obniżającego napięcie stałe wynosi 2 kHz . Napięcie wejściowe przekształtnika wynosi $E = 100 \text{ V}$. Współczynnik wypełnienia impulsów $D = 0,5$. Przyjmując, że okresy impulsowania zaczynają się z chwilą załączenia tranzystora i pomijając straty mocy w elementach przekształtnika wyznacz analitycznie i przedstaw na wykresach wyskalowane przebiegi wartości chwilowych prądów i napięć odbiornika bezpośrednio po załączeniu układu:

- a) w ciągu pierwszych czterech okresów po załączeniu w przypadku, gdy odbiornikiem jest rezystor $R = 1 \Omega$,

- b) w ciągu pierwszych czterech cykli, gdy odbiornikiem jest tylko dławik o indukcyjności $L=1\text{mH}$,
- c) wyznaczyć wartość średnią prądu odbiornika w stanie ustalonym dla przypadku a). oraz szybkość wzrastania wartości średniej prądu w przypadku b)

PI_5. Bateria dostarcza napięcie $12 \pm 3 \text{ V}$ a do zasilania aparatu pomiarowego konieczne jest stabilizowane napięcie 6V przy mocy pobieranej $P_o = 20 \text{ W}$. Tętnienia napięcia na wyjściu nie powinny przekraczać 2% a tętnienia prądu (wartość międzyszczytowa) w dławiku filtru nie powinny przekraczać 10% . Należy

- a) zaproponować parametry LC – filtru wyjściowego przy częstotliwości łączeń $f_s = 20 \text{ kHz}$. (przyjmując, że małe tętnienia napięcia wyjściowego nie wpływają na tętnienia prądu w dławiku filtru L a prąd odbiornika I_o jest stały - idealnie wyfiltrowany; w celu wyznaczenia relacji między tętniącym prądem i_C i napięciem u_C kondensatora filtru można przy obliczaniu całek skorzystać ze wzoru na pole powierzchni trójkąta),
- b) podać wyskalowane (z zaznaczeniem jednostek na osi odciętych i rzędnych) przebiegi napięć i prądów (napięcie na tranzystorze u_T , diodzie rozładowczej u_{D0} i dławiku filtru u_L oraz prąd tranzystora i_T , diody rozładowczej i_{D0} i dławika filtru i_L) w obwodzie przekształtnika, odpowiadające skrajnym wartościom napięć baterii E przy założeniu idealnych przyrządów półprzewodnikowych,
- c) przy pominięciu tętnień prądu dławika obliczyć wartości średnie i skuteczne prądu w tranzystorze ($I_{T(AV)}$, $I_{T(RMS)}$) i diodzie ($I_{F(AV)}$, $I_{F(RMS)}$), występujące w skrajnych warunkach zasilania.

PI_6. Odbiornik prądu stałego wymaga zasilania napięciem, którego wartość chwilowa jest stała (U_o) i nastawiana za pomocą odpowiedniego przekształtnika w zakresie od 20V do 30V . Do zasilania układu użyto akumulatora o napięciu $E = 12\text{V}$. Przyjmując to napięcie jako niezmienne i wybierając odpowiednią topologię przekształtnika, w której tranzystor może być przełączany z częstotliwością $f_s = 20\text{kHz}$, Należy:

- a) podać przebiegi wartości chwilowych napięcia u_L i prądu i_L dławika wejściowego w przypadku, gdy przy napięciu odbiornika ustalonym na poziomie $U_o = 24\text{V}$ wartość średnia prądu odbiornika wynosi $I_o = 5 \text{ A}$ a tętnienia prądu akumulatora $\Delta i = 1\text{A}$,
- b) przy pracy układu w warunkach jak w punkcie a) na podstawie wartości chwilowych napięcia u_L i prądu i_L (z uwzględnieniem tętnienia Δi prądu pobieranego z akumulatora) wyznaczyć wartość indukcyjności dławika, włączonego w obwodzie wejściowym przekształtnika,
- c) dla napięcia $U_o = 24\text{V}$ określić wartość średnią prądu odbiornika I_o , przy której wystąpi stan graniczny przewodzenia ciągłego i impulsowego prądu pobieranego z akumulatora.

PI_7. Przekształtnik impulsowy zasilany ze źródła napięcia stałego $E=3\text{V}$ ma dostarczać napięcie stałe U_o (o bardzo małym tętnieniu) nastawiane w zakresie od $1,5$ do 6V . Dla układu przekształtnika zapewniającego wymagany zakres napięcia wyjściowego należy:

- a) podać przebiegi wartości chwilowych napięcia u_L i prądu i_L dławika oraz prądów w łącznikach półprzewodnikowych (tzn. w tranzystorze i_T i diodzie i_D), odpowiadające dolnemu i górnemu zakresowi napięcia wyjściowego przy założeniu ciągłego prądu w dławiku
- c) obliczyć niezbędną wartość pojemności C filtrującego kondensatora wyjściowego jeżeli tętnienie napięcia wyjściowego ΔU_o (wartość międzyszczytowa) nie powinno przekroczyć 100mV przy prądzie odbiornika o stałej wartości chwilowej $I_o = 500\text{mA}$ i częstotliwości przełączeń tranzystora $f_s = 50 \text{ kHz}$. W obliczeniach pojemności C przyjąć, że tętnienia prądu w dławiku są pomijalne.

PI_8. Dopuszczalne tętnienia (wartość międzyszczytowa) napięcia wyjściowego w przekształtniku zasilanym z baterii $U_B=220\text{V}$ muszą być mniejsze niż 1% . Należy :

- a) Określić wymaganą częstotliwość przełączeń w przypadku, gdy można zastosować w filtrze wyjściowym, co najwyżej dławik o indukcyjności $L_F=10\text{mH}$ oraz kondensator $C_F=47\mu\text{F}$ przy mocy na wyjściu $P=500\text{W}$ osiąganą dla stałego prądu odbiornika wynoszącego $I_o= 10\text{A}$. Obliczenia należy przeprowadzić w oparciu o przebieg wartości chwilowej prądu kondensatora C_F .
- b) Narysować wyskalowane przebiegi napięć i prądów odzwierciedlających stan pracy przekształtnika określony w p. b)
- c) wyznaczyć minimalną wartość rezystancji opornika włączonego jako odbiornik na wyjściu układu przy której prąd w indukcyjności dławika jest prądem ciągłym o ile współczynnik D jest utrzymywany na wartości jak w punkcie a)

PI_9 Przekształtnik impulsowy podwyższający napięcie i pracuje przy częstotliwości łączeń 10 kHz i napięciu zasilania U_d zmieniającym się w przedziale 10-20 V. Napięciu wyjściowe jest utrzymywane na stałej wartości $U_o = 30V$, Należy:

- wyznaczyć indukcyjność L dławika jeżeli tętnienia prądu (wartość międzyszczytowa) tego dławika mają być mniejsze niż 0.2A.
- Dla przypadku, gdy $U_d=10V$ (prąd w dławiku ciągły o wartości średniej $I_o = 20A$) należy podać wyskalowane przebiegi wartości chwilowych: • - napięcia dławika (u_L), tranzystora (u_T) i diody (u_D), ••- prądu i_L , prądu i_T oraz prądu i_D wymienionych wyżej elementów.

PI_10. Impulsowy sterownik napięcia stałego służy do podwyższenia napięcia z $U_d=200 V$ do $U_o=300V$. Częstotliwość przełączeń tranzystora wynosi $f_s=20 kHz$. Przy założeniu, że tętnienia napięcia odbiornika nie wpływają na tętnienia prądu oraz, że prąd dławika jest ciągły i ma wartość średnią 10A, należy:

- wyznaczyć wartość indukcyjności dławika L , przy której tętnienia (wartość międzyszczytowa) ΔI_L prądu dławika będzie równa 2A.
- obliczyć konieczną pojemność kondensatora wyjściowego przy której tętnienia napięcia będą nie większe niż 2V.
- podać w miarę dokładne przebiegi wartości chwilowych prądów i napięć w układzie (napięcie tranzystora u_T , napięcie diody u_D , napięcie u_L i prąd i_L dławika, prąd i_C kondensatora wyjściowego oraz prąd wejściowy

Falowniki (DC/AC)

PI_11. Falownik zasilany ze źródła o napięciu 24 V zrealizowany przy użyciu dwóch tranzystorów MOS (zawierających zintegrowane diody zwrotne) z zastosowaniem idealnego transformatora o dwusekcyjnym uzwojeniu pierwotnym (tzw. układ push-pull) i przekładni napięciowej podwyższającej $n =4:1$ pracuje z częstotliwością 1 kHz formując na wyjściu napięcie o przebiegu prostokątnym . Należy:

- podać przebiegi wartości chwilowych napięcia i prądu odbiornika oraz prądu w tranzystorach i zintegrowanych z nimi diodach w stanie ustalonym dla przypadku, gdy odbiornik dołączony do uzwojenia wtórnego transformatora (rozpatrywanego w zadaniu jako idealny) to dławik o indukcyjności 1mH i pomijalnie małej rezystancji.
- dla przypadku w p. a) obliczyć wartość maksymalną i średnią prądu tranzystora.
- określić moc czynną pobieraną w rozpatrywanym przypadku ze źródła napięcia stałego

PI_12 Napięcie wyjściowe jednofazowego mostkowego falownika napięcia ma przebieg w kształcie impulsów prostokątnych o poziomach $\pm 100V$ i częstotliwości 400 Hz. Odbiornikiem falownika jest szeregowy obwód RLC znajdujący się w stanie rezonansu. Dana jest wartość rezystancji $R=1\Omega$ i indukcyjności $L=5mH$. Wiedząc, że częstotliwość przełączeń łączników falownika równa się częstotliwości rezonansowej obwodu odbiornika należy:

- wyznaczyć pojemność kondensatora C obwodu odbiornika,
- przedstawić na wykresach, z zachowaniem przybliżonej skali, przebiegi wartości chwilowych napięć na elementach obwodu odbiornika (u_L , u_C , u_R) oraz prądu odbiornika i_o (przy wyznaczaniu napięć u_L i u_C wykorzystać zależności odnoszące się do harmonicznym podstawowych),
- wyznaczyć wartość maksymalną prądu tranzystorów ($I_{T(M)}$) i wartość średnią prądu diod zwrotnych ($I_{D(AV)}$).

PI_13. Wartość średnia prądu każdego z tranzystorów jednogłęziowego falownika napięcia sterowanego sygnałem prostokątnym o wypełnieniu 50% i częstotliwości $f_s=10kHz$ wynosi $I_{T(AV)} = 5A$. Falownik jest zasilany napięciem dwusekcyjnym, wynikającym z równego podziału napięcia zasilania $E=600V$ za pomocą dzielnika pojemnościowego, złożonego z dwóch połączonych szeregowo kondensatorów Odbiornikiem jest znajdujący się w stanie pracy jałowej transformator, który może być traktowany jako dławik o określonej indukcyjności L . Należy:

- podać wyskalowane przebiegi wartości chwilowych napięcia u_o i prądu i_o odbiornika,
- wyznaczyć wartość indukcyjności L odbiornika.

PI_14. Falownik jednofazowy mostkowy sterowany za pomocą komparacyjnej metody PWM z sinusoidalną funkcją modulującą o częstotliwości 50Hz pracuje przy pełnym wysterowaniu ($m=1$).

Częstotliwość przełączeń łączników falownika wynosi $f_s=2$ kHz. Napięcie wyjściowe falownika jest doprowadzane do odbiornika rezystancyjnego zasilanego napięciem sinusoidalnym 230V za pośrednictwem filtru LC (kształtu gama). Indukcyjność dławika tego filtru wynosi $L_F=1$ mH a prąd płynący przez niego równy jest $100A_{(RMS)}$. Należy:

- wyznaczyć wartość pojemności kondensatora filtru, jeżeli wiadomo, że częstotliwość rezonansowa filtru ma być co najmniej czterokrotnie niższa od częstotliwości przełączeń łączników falownika.
- narysować wykres wskazowy uwzględniający prąd wyjściowy falownika (prąd dławika), prąd odbiornika i prąd kondensatora oraz podstawową harmoniczną napięcia wyjściowego falownika i napięcie odbiornika.
- na podstawie sporządzonego wykresu obliczyć wartość napięcia stałego zasilającego falownik (U_d)

PI_15. Jednofazowy mostkowy falownik napięcia sterowany przy użyciu metody modulacji szerokości impulsów (PWM) jest zasilany napięciem stałym $E=400V$. Wyjście falownika jest połączone poprzez dławik $L_s=5$ mH z siecią 50 Hz/230V_{RMS} (równanie napięcia sieci $u_s = U_m \cdot \sin \omega t$). Współczynnik głębokości modulacji (odpowiadający względnej amplitudzie sygnału modulującego) jest określony wzorem $m=k \cdot (230\sqrt{2}/400)$. Podstawowa harmoniczna napięcia wyjściowego falownika, proporcjonalna do sygnału modulującego, jest opisana funkcją $u_{F(1)} = m \cdot E \cdot \sin(\omega t + \psi)$. Należy

- podać wyskalowane wykresy wskazowe prądu wejściowego i napięcia wejściowego przekształtnika względem napięcia sieci dla następujących przypadków **a1)** $k=0.9$; $\psi=0$, **a2)** $k=1,1$; $\psi=0$, **a3)** $k=1$; $\psi=+0.2$ (wartość kąta podana w radianach).
- oszacować dla każdego z przypadków (a_1, a_2, a_3) wartość współczynnika mocy przyjmując pomijalną wartość wyższych harmonicznnych w prądzie wejściowym ($g=1$).
- Narysować orientacyjny wykres spektralny napięcia wejściowego z zaznaczeniem rozłożenia słupków wyższych harmonicznnych do częstotliwości 10 kHz przy założeniu, że częstotliwość łączy tranzystorów falownika wynosi 2 kHz (należy przy tym wybrać i objaśnić sposób sterowania PWM gałęzi falownika!)

PI_16. Falownik trójfazowy – mostek trójgałęziowy-z 6 tranzystorów i 6 diod zwrotnych zasilany jest z źródła o napięciu 600V o znikomym tętnieniu. Odbiornik połączony jest w trójprzewodowo w gwiazdę. Sterowanie łączników zapewnia przewodzenie łączników każdej gałęzi przez półokresu (180° el). przy częstotliwości łączy 500 Hz. Należy:

- Narysować przebiegi napięcia i prądu jednej fazy odbiornika oraz prąd dla następujących rodzajów symetrycznego obciążenia: **a1/** rezystancyjnego (R); **a2/** indukcyjnego L (pomijalnie mała rezystancja zapewnia symetryzację prądów fazowych) **a3/** RLC szeregowo przy rezonansie $(1/2\pi\sqrt{LC}) = 500$ Hz
- Narysować napięcie na rezystorze R_0 łączącym punkt neutralny gwiazdy odbiornika z punktem środkowym źródła zasilania przy założeniu przy założeniu że ($R_0 \gg R$),
- Narysować wyskalowane wykresy spektralne napięcia fazowego i napięcia na rezystorze łączącym punkt neutralny z punktem środkowym źródła zasilania (jak w p. b). Należy uwzględnić prążki do 10 kHz.

PI_17 Falownik 3-fazowy sterowany metodą PWM jest wysterowany tak, że wskaz napięcia wyjściowego jest obrócony o 90 stopni względem osi fazy A i ma długość odpowiadającą 0,5 długości maksymalnej równej $U_d/2$. Należy :

- narysować dla cyklu odpowiadającego podanemu położeniu i długości wskaz przybliżone symetryczne cykle łączeniowe (wykresy napięć określających stany łączników) dla gałęzi 3 faz falownika przyjmując jako metodę modulacji naturalną modulację sinusoidalną
- wyznaczyć w cyklu jak w p. a) przebieg napięcie fazy A odbiornika połączonego w gwiazdę a także odpowiadającą mu składową tętnień prądu przyjmując, że napięcie na indukcyjności odbiornika jest równe różnicy wartościom chwilowych napięcia fazowego i wartości średniej napięcia fazowego w cyklu
- przyjmując, że prąd fazy A jest w analizowanym cyklu jest tylko dodatni i stanowi sumę wartości składowej stałej i składowej przemiennej wyznaczonej w p. b) składowej przemiennej narysować w tym cyklu prąd tranzystorów i diod zwrotnych w gałęzi fazy

PI_18. Przekształtnik 3-fazowy PWM (prostownik-falownik) sprzężony z siecią $3 \cdot 230V/50$ Hz za pośrednictwem 3 dławików o indukcyjności 2 mH ma pobierać z sieci prąd sinusoidalny 100 A_{RMS} w fazie z napięciem. Należy:

- a) Obliczyć jakie napięcie musi występować w obwodzie napięcia stałego, z którym przekształtnik współpracuje, aby przy modulacji z dodaniem harmonicznych zgodnych $0.155 \cdot m \sin(3\omega t)$ zapewnić wymagany prąd.
- b) narysować wykres wskazowy dla napięć i prądów obwodu wejściowego i obliczyć wartość kąta fazowego pomiędzy napięciem sieci i napięciem odpowiadającego nominalnemu prądowi ($100A_{RMS}$)

PI_19. Falownik tyrystorowy 1-fazowy mostkowy zasilany jest ze źródła napięcia 500V i dzięki pojemnościowemu charakterowi odbiornika RLC przy określonej częstotliwości ma zapewnione poprawne wyłączenie tyrystorów przy czasie dysponowanym na wyłączenie $t_d = 50\mu s$ przy czym kąt przesunięcia fazowego podstawowych harmonicznych napięcia i prądu odbiornika wynosi $\pi/3$. Dla tego przypadku należy

- a) obliczyć częstotliwość pracy falownika
- b) obliczyć przybliżoną wartość amplitudy prądu w odbiorniku przy założeniu że prąd w źródle zasilającym ma wartość średnią 100A.
- b) narysować dla przypadku przebiegi napięcia i prądu odbiornika oraz prądu w obwodzie zasilania

PI_20. Falownik tyrystorowy 1-fazowy mostkowy zasilany jest ze źródła prądu o wartości 100 A i dzięki pojemnościowemu charakterowi odbiornika RLC przy określonej częstotliwości zapewniona jest poprawne wyłączenie tyrystorów przy czasie dysponowanym na wyłączenie $t_d = 50\mu s$ przy czym $\cos\varphi_{o(po)} = \sqrt{2}/2$. Dla tego przypadku należy:

- a) obliczyć częstotliwość pracy falownika
- b) obliczyć przybliżoną wartość amplitudy napięcia na odbiorniku RL jeżeli napięcie źródła zasilającego ma wartość średnią $U_d = 600V$
- c) narysować j przebiegi napięcia i prądu odbiornika oraz napięcia na wejściu falownika