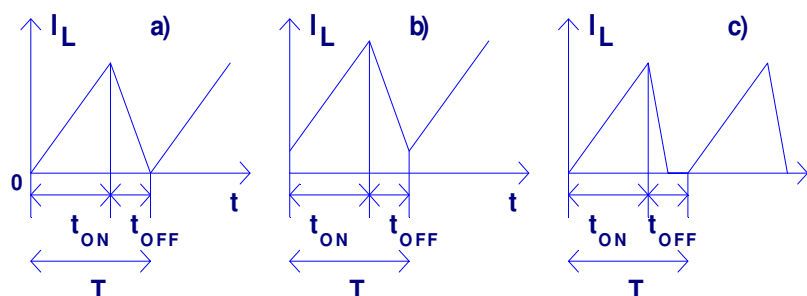


1. Cel ćwiczenia - wprowadzenie

Przetwornice impulsowe zmieniają napięcie stałe określonej wartości na napięcie stałe o innej wartości (lub biegunowości) za pośrednictwem zmiany napięcia stałego na ciąg impulsów, z których następnie odzyskuje się składową stałą.

Cechą charakterystyczną przetwornic dławikowych jest wykorzystanie elementu indukcyjnego (cewki, dławika) do gromadzenia energii w polu elektromagnetycznym, która następnie jest przekazywana do obciążenia. Ten proces może przebiegać różnie w zależności od parametrów układu, obciążenia i wysterowania – rys.1.1.



Rys. 1.1 Przebiegi prądu w dławiku: a) stan krytyczny, b) stan nadkrytyczny, c) stan podkrytyczny.

W stanie krytycznym energia pola elektromagnetycznego jest gromadzona w czasie t_{ON} (klucz włączony) i całkowicie przekazywana do obciążenia w czasie t_{OFF} (klucz wyłączony). Na końcu okresu impulsowania T prąd dławika, który miał wartość szczytową I_{Lpk} osiąga wartość zero.

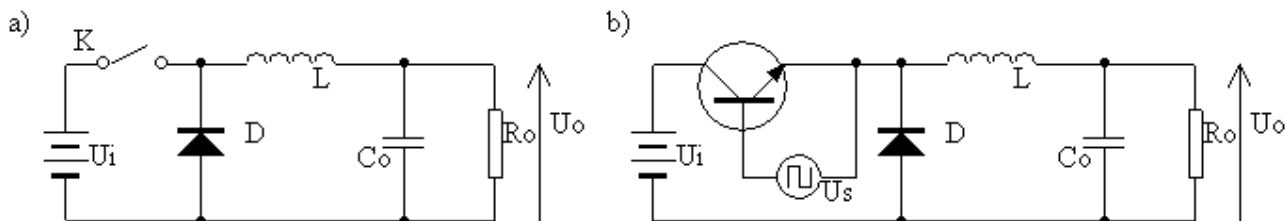
W stanie nadkrytycznym – rys.1.1b na końcu interwału czasowego t_{OFF} (klucz wyłączony) zgromadzona energia w czasie t_{ON} nie zostaje w pełni przekazana do obciążenia, a więc prąd dławika I_L nie osiąga na końcu interwału T wartości zero.

W odróżnieniu od wymienionych procesów w stanie podkrytycznym - rys.1.1c energia dławika jest szybciej przekazywana do obciążenia i wartość prądu dławika I_L osiąga wartość zero przed końcem okresu impulsowania T . Jest to tzw. praca nieciągła.

Rozróżnia się 3 podstawowe typy przetwornic dławikowych :

- układ obniżający napięcie (ang. step down),
- układ podwyższający napięcie (ang. step up),
- układ odwracający napięcie (ang. inverting converter).

1.1. Układ obniżający napięcie



Rys.1.2.Układ obniżający napięcie: a) schemat idealizowany b) rzeczywisty.

Elementy układu idealizowanego – rys.1.2a mają następujące właściwości: klucz w czasie t_{ON} – zwarcie ($R = 0$) a w czasie t_{OFF} - rozwarcie ($R = \infty$), dioda D jest bezinercyjnym prostownikiem – w stanie przewodzenia rezystancja diody $r_d = 0$ i spadek napięcia $U_D = U_F = 0$, natomiast w stanie zaporowym dioda nie przewodzi – $r_d = \infty$, dławik jest w idealnym elementem indukcyjnym, bezstratnym, liniowym, również kondensator C_o jest idealnym elementem pojemnościowym. Wprowadzając takie uproszczenia otrzymano podane poniżej zależności obowiązujące w warunkach stanu krytycznego – rys.1.1a.

1.1.1. Zasada pracy

Jeżeli klucz K – rys.1.2a – jest zwarty to prąd dławika I_L narasta liniowo w czasie t_{ON} do wartości szczytowej I_{Lpk} (dioda w tym interwale czasowym jest w stanie zaporowym). W momencie przzerwania prądu – klucz K rozwarty, energia pola elektromagnetycznego dławika indukuje SEM o przeciwnym znaku, dioda D zaczyna przewodzić i zgromadzona energia przechodzi do obciążenia R_o . Kondensator C_o działa jako filtr dolnoprzepustowy, zmniejsza napięcie tętnień U_t . Związek napięcia wyjściowego U_o z napięciem wejściowym (zasilającym) U_i

$$U_o = \gamma U_i \quad (1-1)$$

Gdzie:

$$\gamma = \frac{t_{ON}}{T} \quad (1-2)$$

współczynnik wypełnienia impulsu, a

$$T = t_{ON} + t_{OFF} \quad (1-3)$$

okres impulsowania.

Ponieważ $\gamma = \frac{t_{ON}}{t_{ON}+t_{OFF}} < 1$, to $U_o < U_i$, a więc jest to układ obniżający napięcie.

Wartość szczytową prądu dławika I_{Lpk} szacuje się następująco:

$$I_{Lpk} \cong 2I_o \quad (1-4)$$

gdzie $I_o = \frac{U_o}{R_o}$ - prąd obciążenia.

Wartość indukcyjności L dławika przybliża się wzorem:

$$L \cong \frac{U_i}{I_{Lpk}} t_{ON} \quad (1-5)$$

Projektując układ rzeczywisty (rys.1.2.b) należy wziąć pod uwagę, że na tranzystorze i diodzie w stanie przewodzenia są spadki napięć, odpowiednio: U_{CEsat} (około 0.5V – 1V) i $U_D = U_F \approx 0.4V$ (dioda Schottkyego) i ponadto występują straty mocy i opóźnienia podczas przełączania (proszę sobie przypomnieć modele wielkosygnałowe i zjawiska w półprzewodnikach podczas pracy impulsowej). Zwykle przetwornica pracuje jako stabilizator napięcia w określonym przedziale napięć wejściowych $U_{i min} \leq U_i \leq U_{i max}$, a stabilizacja (i regulacja) realizowana jest za pośrednictwem zmiany czasu trwania magazynowania energii w dławiku $t_{ON min} \leq t_{ON} \leq t_{ON max}$. W związku z tym szacuje się wartość szczytową prądu dławika

$$I_{Lpk} \cong 2I_{o max}, \quad (1-6)$$

gdzie $I_{o max}$ – maksymalny prąd obciążenia

i minimalną wartość indukcyjności dławika L_{min}

$$L_{min} \cong \frac{U_{imin} - U_{CEsat} - U_0}{I_{Lpk}} t_{ONmax}, \quad (1-7)$$

Gdzie:

$$t_{ONmax} = \frac{U_0}{U_{imin}} T \quad (1-8)$$

Dławik rzeczywisty to uzwojenie (cewka) na rdzeniu ferromagnetycznym, a więc trzeba wziąć pod uwagę straty omowe w przewodzie (zjawisko naskórkowości), pojemności między zwojami (drugorzędne gdy jest mało zwojów), pętlę histerezy, straty w materiale ferromagnetycznym i zjawisko zmniejszania się indukcyjności dławika w skutek podmagnesowania prądem stałym (nasycanie rdzenia). Zaleca się stosowanie magnetowodu otwartego lub zamkniętego z dużą szczeliną powietrzną.

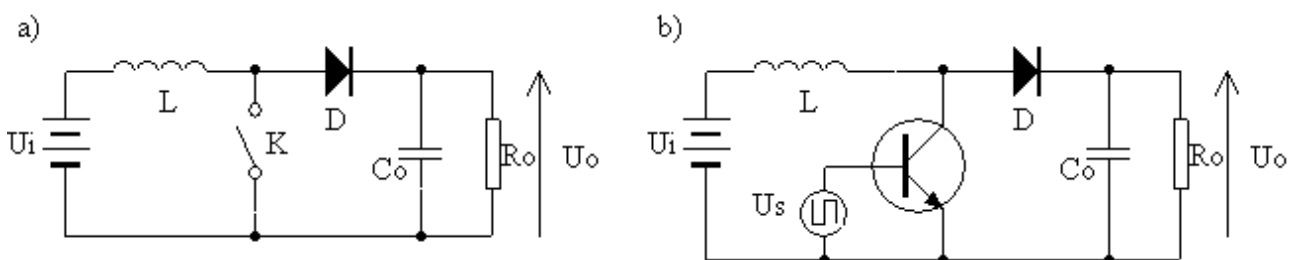
Wartość kondensatora filtrującego C_0 szacuje się następująco

$$C_0 \geq \frac{I_{Lpk} T}{8U_{tpp}}, \quad (1-9)$$

gdzie U_{tpp} – dopuszczalne napięcie tętnień – wartość międzyszczytowa (ang. peak to peak).

1.2. Układ podwyższający napięcie

Odpowiednie schematy przedstawiono na rys.1.3.



Rys.1.3. Układ podwyższający napięcie : a) schemat idealizowany, b) układ rzeczywisty.

1.2.1. Zasada pracy

Jeżeli klucz K – rys.1.3.a jest zwarty to prąd dławika I_L narasta liniowo i w końcu interwału czasowego t_{ON} osiąga wartość szczytową I_{Lpk} . W tym momencie zostaje przerwany przepływ prądu dławika I_L i zgromadzona energia w polu magnetycznym indukuje SEM, która dodaje się do napięcia zasilającego U_i . W związku z tym napięcie U_0 na kondensatorze C_0 i rezystorze R_o jest sumą napięć zasilającego U_i i SEM dławika (w idealnym modelu zjawiska spadek napięcia na diodzie pomijalny).

W idealizowanym przypadku – rys.1.3a zachodzą następujące relacje (stan krytyczny)

$$U_0 = \frac{U_i}{1-\gamma}, \quad \gamma = \frac{t_{ON}}{T} \quad (1-10)$$

wniosek – $U_0 \geq U_i$, czyli jest to układ podwyższający napięcie.

Szczytowa wartość prądu dławika

$$I_{Lpk} = 2I_{0max} \left(\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} + 1 \right) = 2I_{0max} \frac{U_0}{U_i} \quad (1-11)$$

Indukcyjność L dławika szacuje się następująco

$$L \cong \frac{U_i}{I_{Lpk}} t_{ON}. \quad (1-12)$$

Projektując układ rzeczywisty (rys.1.3b) należy wprowadzić korektę ze względu na zmiany napięcia zasilania.

Teraz

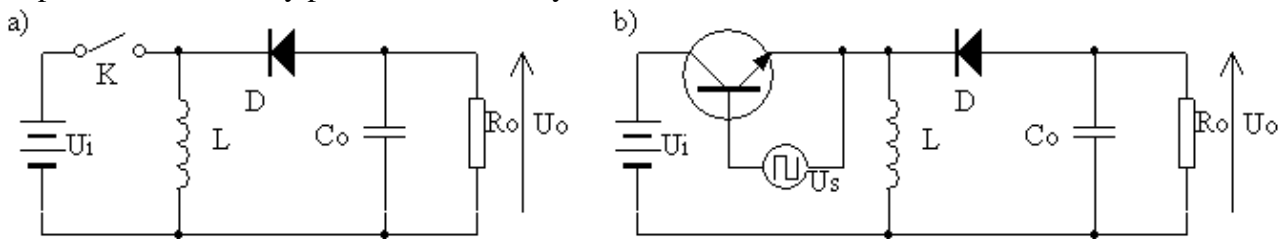
$$L_{min} = \frac{U_{imin} - U_{CRsat}}{I_{Lpk}} t_{ONmax}, \quad (1-13)$$

gdzie

$$t_{ONmax} = 1 - \frac{U_{imin}}{U_0} T. \quad (1-14)$$

1.3. Układ zmieniający polaryzację napięcia

Odpowiednie schematy przedstawiono na rys.1.4



Rys.1.4. Układ zmieniający polaryzację napięcia : a) schemat idealizowany b) układ rzeczywisty.

1.3.1. Zasada działania

Jeżeli klucz K – rys.1.4a jest zwarty, to prąd dławika I_L narasta liniowo i pod koniec interwału czasowego t_{ON} osiąga wartość szczytową I_{Lpk} (dioda D jest w stanie zaporowym). Gdy przepływ prądu zostaje przerwany na końcach dławika indukuje się SEM o przeciwnej polaryzacji, dioda D przechodzi w stan przewodzenia i następuje przepływ prądu przez obciążenie R_o .

Przy założeniu, że dławik pracuje w stanie krytycznym i elementy układu są idealizowane – rys.1.4a uzyskano następujące zależności

$$|U_0| = \frac{\gamma}{1 - \gamma}, \gamma = \frac{t_{ON}}{T} < 1, \quad (1-15)$$

lub

$$\frac{|U_0|}{U_i} = \frac{t_{ON}}{t_{OFF}} \quad (1-16)$$

$$I_{Lpk} = 2 I_{0max} \left(\frac{t_{ON}}{t_{OFF}} + 1 \right) \quad (1-17)$$

$$L \cong \frac{U_i}{I_{Lpk}} t_{ON} \quad (1-18)$$

Uwzględniając zakres zmian napięcia wejściowego U_i skorygowano zależności projektowe. Teraz

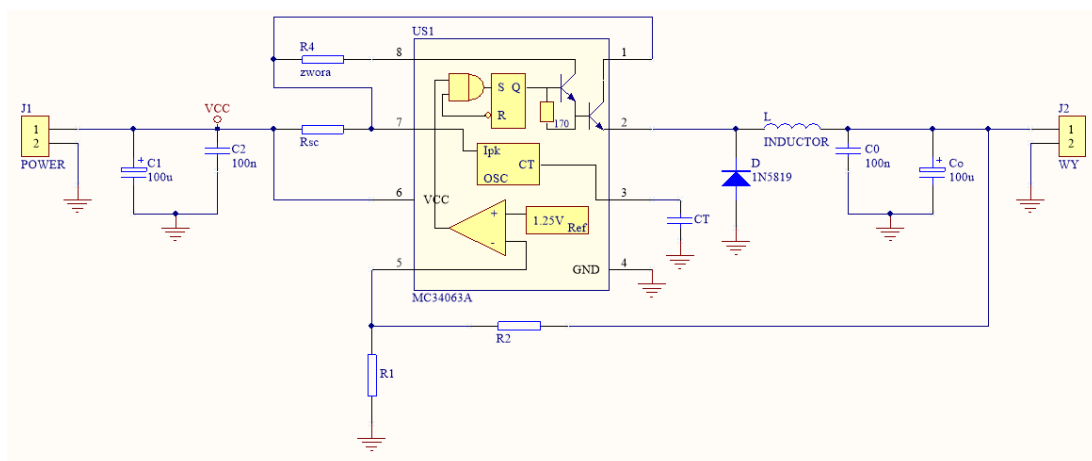
$$L_{min} \cong \frac{U_{imin} - U_{CEsat}}{I_{Lpk}} t_{ONmax} \quad (1-19)$$

gdzie

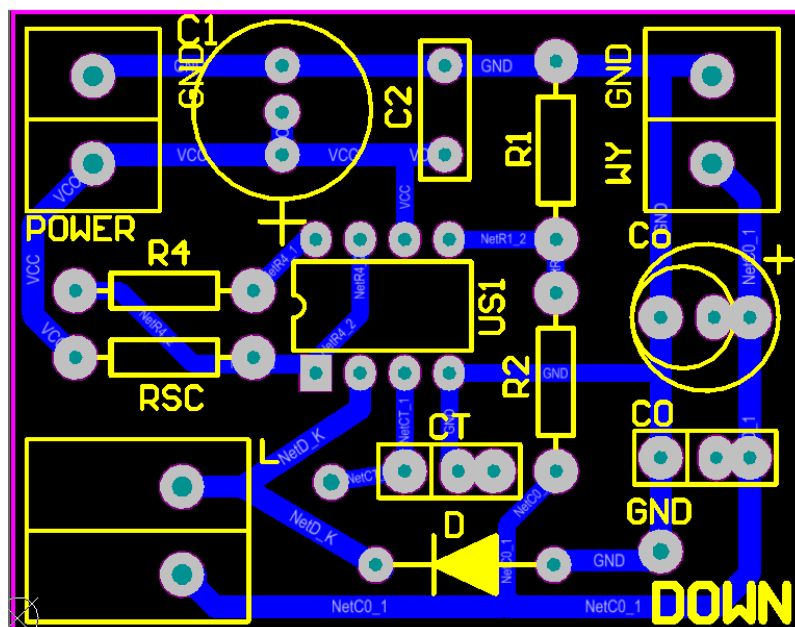
$$t_{ONmax} = \frac{|U_0|}{U_{imin} + |U_0|} T \quad (1-20)$$

2. Opis układów aplikacyjnych

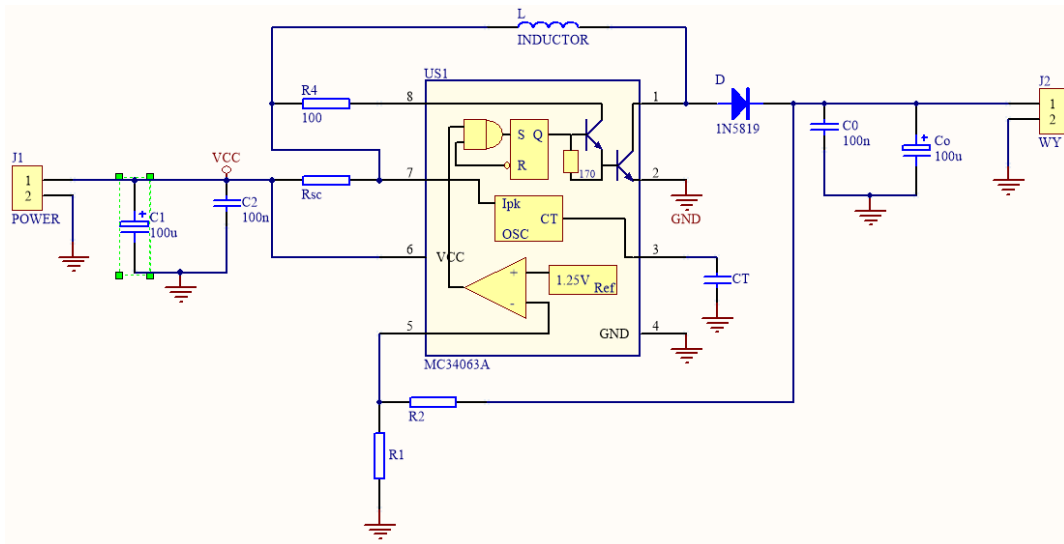
Poniżej podano schematy ideowe trzech układów przetwornic narysowanych na podstawie not aplikacyjnych układu scalonego (kontrolera) MC34063 firmy Motorola oraz obrazy płytek drukowanych.



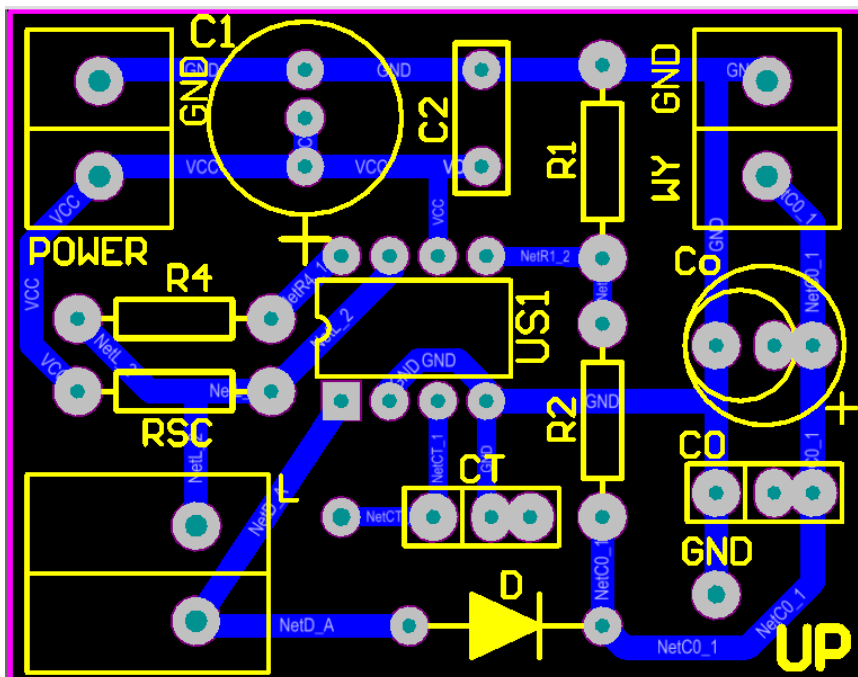
Rys.2.1 Schemat aplikacyjny kontrolera MC34063 w układzie obniżającym napięcie.



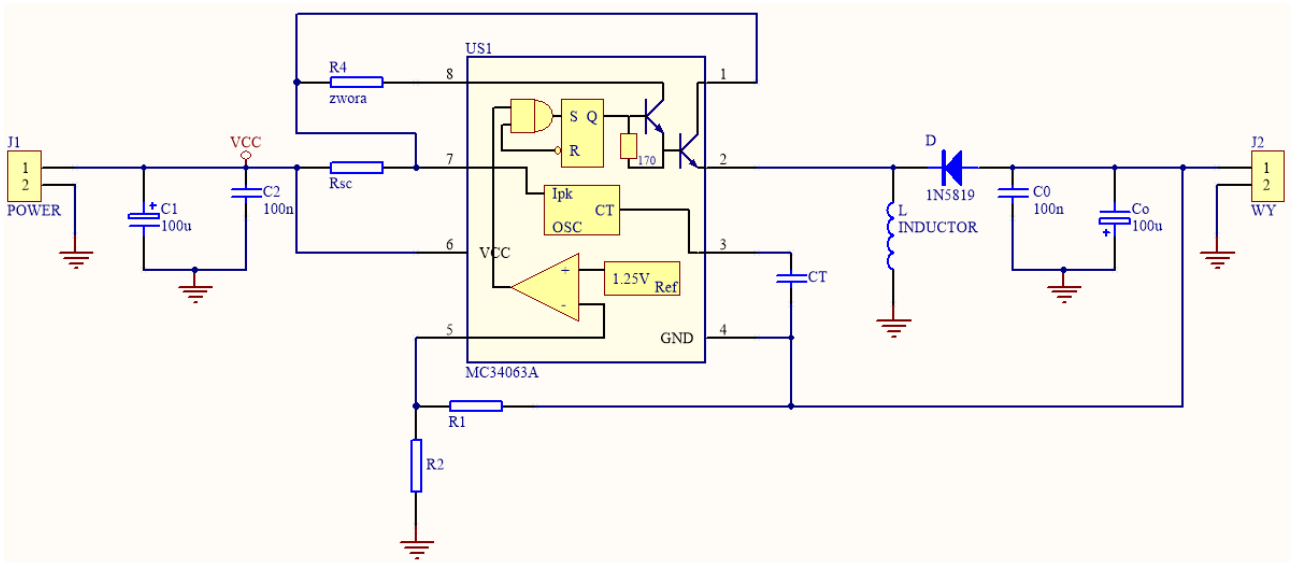
Rys.2.2 Widok płytki montażowej układu obniżającego („DOWN”) od strony elementów



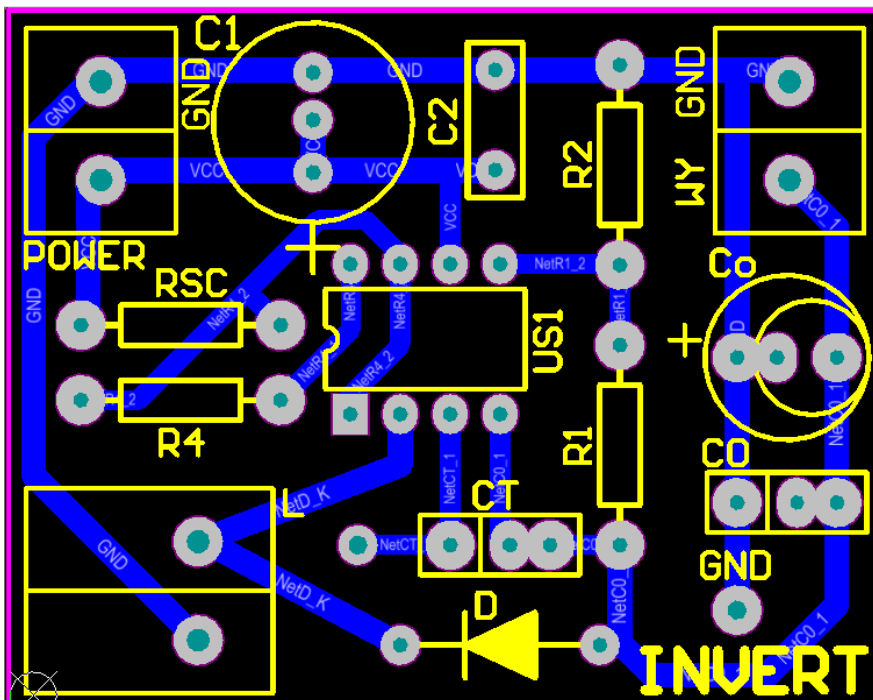
Rys.2.3 Schemat aplikacyjny kontrolera MC34063 w układzie podwyższającym napięcie.



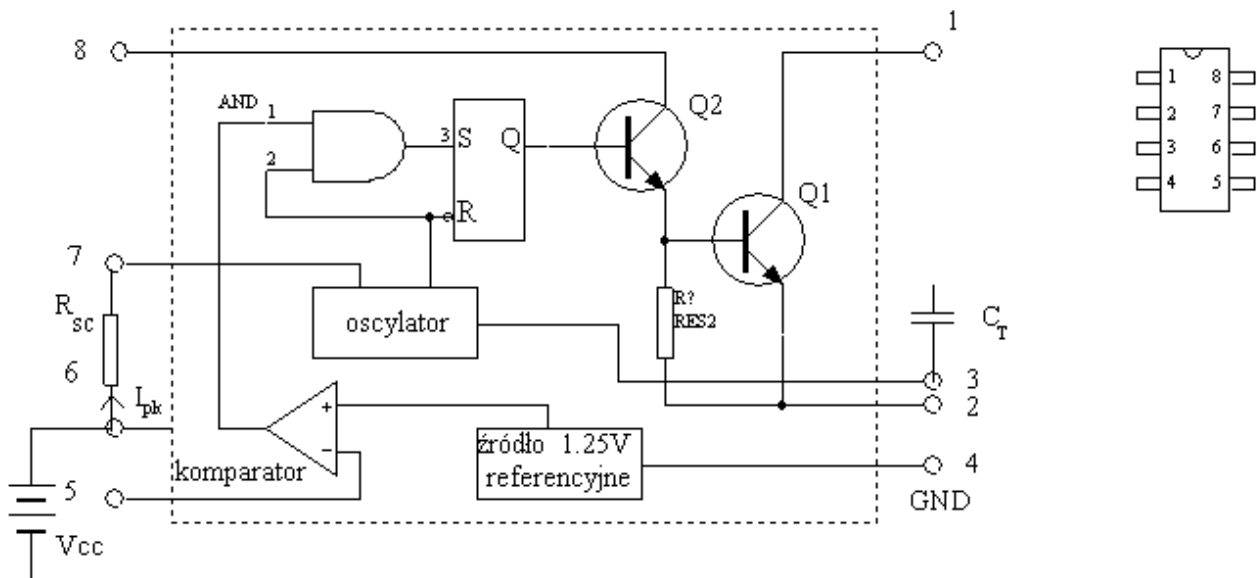
Rys.2.4 Widok płytki montażowej układu podwyższającego („UP”) od strony elementów



Rys.2.5 Schemat aplikacyjny kontrolera MC34063 w układzie odwracającym polaryzację napięcia.



Rys.2.6 Widok płytki montażowej układu odwracającego napięcie („INVERT”) od strony elementów



Rys.2.7. Schemat blokowy kontrolera MC34063

Kontroler MC34063 składa się ze źródła napięcia referencyjnego 1.25V, komparatora, oscylatora o regulowanym współczynniku wypełnienia δ , układu zabezpieczającego przed przekroczeniem dopuszczalnej wartości szczytowej prądu klucza (próbkowanie prądu I_{pk} za pośrednictwem rezystora R_{sc}) oraz elektronicznego klucza (przełącznika) złożonego z tranzystorów Q_1 i Q_2 w układzie Darlingtona.

Okres impulsowania T ustala się za pomocą zewnętrznego kondensatora C_T o odpowiedniej wartości. Producent kontrolera MC34063 dostosował układ do konstrukcji trzech podstawowych typów przetwornic dławikowych – rys.2.1, - 2.6.

2.1. Obliczenia projektowe

Na podstawie danych wejściowych:

- wartość napięcia stabilizowanego U_o i moc P_o na obciążeniu,
- zakres zmian napięć wejściowych $U_{i\min} \leq U_i \leq U_{i\max}$,
- dopuszczalne napięcie tętnień U_{tpp} ,

trzeba dobrać odpowiednią wartość indukcyjności L dławika dla założonej częstotliwości impulsowania $f = \frac{1}{T}$.

Odpowiednie zależności projektowe dla każdego typu przetwornicy zostaną podane w dalszym ciągu, natomiast poniżej podano wzory wspólne dla wszystkich.

Wartość rezystora próbkującego prąd źródła zasilającego (zabezpieczenie) oblicza się następująco:

$$R_{SC} = \frac{0.3V}{I_{pk}} \quad (3-1)$$

Jest to wzór empiryczny producenta, gdzie I_{pk} to wartość szczytowa prądu klucza – tu $I_{pk} = I_{Lpk}$.

Rezystory R_1 i R_2 próbkujące napięcie U_o na obciążeniu związane są z jego wartością zależnością

$$|U_o| = 1.25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right), \quad (3-2)$$

gdzie 1.25 – napięcie źródła referencyjnego w V.

Jeżeli przyjąć, dla uproszczenia, wartość R_1 to odpowiednią dla zadanego napięcia U_o wartość rezystora R_2 oblicza się następująco :

$$R_2 = R_1 \frac{|U_0| - 1.25V}{1.25V} \quad (3-3)$$

Producent podaje empiryczne zależności wiążące pojemność C_T :

$$C_T [pF] \approx 40 t_{ON} [\mu s] \quad (3-4)$$

i interwały czasowe t_{ON} i t_{OFF} w formie nomogramu.

2.2. Układ obniżający

Obliczyć maksymalną wartość prądu szczytowego I_{Lpk} dławika, przyjmując maksymalną wartość prądu obciążenia $I_{o max}$

$$I_{Lpk} = 2I_{o max} \quad (3-5)$$

dla założonej częstotliwości impulsowania obliczyć czas gromadzenia energii

$$t_{Onmax} = \frac{U_0}{U_{imin}} \quad (3-6)$$

obliczyć minimalną wartość indukcyjności L dławika

$$L_{min} \approx \left(\frac{U_{imin} - U_{CEsat} - U_0}{I_{Lpk}} \right) \frac{U_0}{U_{imin}} T \quad (3-7)$$

oszacować wartość pojemności C_0 kondensatora filtrującego

$$C_0 \geq \frac{I_{Lpk}}{8U_{tpp}} T \quad (3-8)$$

2.3. Układ podwyższający

Obliczyć wartość szczytową prądu dławika

$$I_{Lpk} = 2I_{o max} \frac{U_0}{U_i} \quad (3-9)$$

i minimalną wartość indukcyjności L dławika

$$L_{min} \approx \left(\frac{U_{imin} - U_{CEsat}}{I_{Lpk}} \right) \left(1 - \frac{U_{imin}}{U_0} \right) T \quad (3-10)$$

oraz wartość pojemności

$$C_0 \geq \frac{9I_0}{U_{tpp}} t_{ON} \quad (3-11)$$

2.4. Układ zmieniający polaryzację

Obliczyć odpowiednio wartości

$$I_{Lpk} = 2I_{o max} \left(1 + \frac{|U_0|}{U_i} \right) \quad (3-12)$$

$$L_{min} \approx \left(\frac{U_{imin} - U_{CEsat}}{I_{Lpk}} \right) \left(\frac{|U_0|}{U_{imin} + |U_0|} \right) T \quad (3-13)$$

$$C_0 \geq \frac{9I_0}{U_{tpp}} t_{ON} \quad (3-14)$$

3. Przygotowanie do ćwiczenia

3.1. Literatura

- [1] Materiały Laboratorium i Wykładów Zespołu Układów Elektronicznych oraz notatki z wykładów
- [2] U. Tietze, Ch. Schenk, Układy półprzewodnikowe, WNT, Warszawa, 1996, s. 586-611.
- [3] S. Kuta, Elementy i układy elektroniczne, AGH, 2000, s. 375-415.

3.2. Pytania kontrolne

1. Jaka jest zasada pracy przetwornicy obniżającej napięcie – uproszczone wyprowadzanie wzoru na napięcie wyjściowe; przebiegi czasowe napięć i prądów ?
2. Jaka jest zasada pracy przetwornicy podwyższającej napięcie – uproszczone wyprowadzanie wzoru na napięcie wyjściowe; przebiegi czasowe napięć i prądów ?
3. Jaka jest zasada pracy przetwornicy odwracającej napięcie – uproszczone wyprowadzanie wzoru na napięcie wyjściowe; przebiegi czasowe napięć i prądów ?
4. Jakie są kryteria doboru elementów układowych: dławika, tranzystora, diody i kondensatora wyjściowego C_0 ?
5. Dlaczego w układzie konieczny jest rezystor R_{SC} do próbkowania prądu zasilacza?

3.3. Przygotowanie do zajęć

Przeprowadzić symulacje komputerowe uproszczonych układów przetwornic – rys.1.2, 1.3 i 1.4 stosując przykładowo tranzystor 2N2369 lub podobny impulsowy odpowiedniej mocy i diodę Schottky'ego np.1N5819. Na początku symulacji proponuje się połączyć w szereg ze źródłem impulsów ($T_r = T_f = 50ns$, $V_{initial} = 0V$, $V_{on} = 5V$, $T_{on} = t_{ON}$, $T_{per} = T$, $R_{series} = 1k$) obciążenie $R_0 = 100-500\Omega$.

Zaobserwować przebiegi czasowe napięć i prądów i porównać wyniki symulacji z wartościami obliczonymi. Zastanowić się jak obliczyć sprawność układu wykorzystując możliwości programu. W trakcie symulacji dobrać wartości interwałów czasowych t_{ONmax} i t_{ONmin} dla napięć zasilających $U_{i min}$ i $U_{i max}$ takie, aby średnia wartość nominalnego napięcia wyjściowego U_o była w przybliżeniu stała. Zaobserwować jak zmieniły się przebiegi czasowe napięć i prądów –w szczególności zwrócić uwagę na kształt prądu dławika $I_L(t)$.

Przemyśleć sposób montażu układu i pomiarów (schematy płytek montażowych).

3.3.1. Założenia projektowe

Obliczyć wartości elementów L , R_1 , R_2 , R_{SC} , C_0 układów przetwornic dławikowych przyjmując wariant wskazany przez prowadzącego.

Na podstawie otrzymanych wyników dobrać typowe wartości elementów dostępnych w laboratorium. Do dyspozycji są dławiki $100\mu H$, $150\mu H$, $220\mu H$, $330\mu H$. Zaleca się wybór większej wartości niż obliczona w celu ograniczenia prądu szczytowego $I_{pk max}$.

Wartość kondensatora taktującego C_T dobierać z przedziału: $510\text{pF} \leq C_T \leq 1600\text{pF}$.

Doświadczalnie ustalono wartość okresu impulsów oscylatora w zależności od kondensatora C_T :

$$C_T = 560\text{pF} \quad T \approx 20\mu\text{s}$$

$$C_T = 1600\text{pF} \quad T \approx 40\mu\text{s}.$$

Zaleca się wybór rezystora $R_1 = 1.2 \text{ k}\Omega$ ponieważ dobrze się komponuje z wartościami R_2 z szeregu 5%.

4. Przebieg pomiarów

Przed wlutowaniem elementów zmierzyć rezystancję rezystorów i sprawdzić diody D i D2. Podczas montażu zwrócić uwagę na prawidłowe wlutowanie diod i kondensatora elektrolitycznego C2 (pomylenie biegunowości grozi eksplozją kondensatora).

Jeżeli używany zasilacz dysponuje dużym prądem to należy ustawić ograniczenie prądowe na poziomie **1A**.

Pomiary zaczynać od nominalnego dla badanego układu napięcia wejściowego U_i obserwując wartość pobieranego prądu.

Uwaga – w laboratorium używane są dwa warianty płytki montażowej – wariant z diodą D2 zabezpieczającą przed niewłaściwym podłączeniem napięcia zasilania i wariant – bez tej diody. Dlatego jako napięcie wejściowe U_i należy przyjąć napięcie mierzone na kondensatorze C2 (aby uniknąć spadku napięcia na diodzie D2).

Pomiary wykonywać za pomocą oscyloskopu i **sondy z dzielnikiem x10**. Sprawdzić czy oscyloskop jest wykalibrowany.

Połączyć odpowiednie obciążenie R_o za pomocą rezystora nastawnego dostępnego na stanowisku.

4.1. Pomiar częstotliwości impulsowania oscylatora

Ustawić napięcie wejściowe $U_i = U_{inom}$ i rezystancję obciążenia R_o na wartość nominalną a następnie za pomocą oscyloskopu oszacować wartość okresu impulsów oscylatora:

- układy: obniżający i podwyższający – obserwować napięcie na kondensatorze taktującym C_T (pin 3 US), układ odwracający – napięcie na dławiku (pin 2 US).

4.2. Pomiar stałości napięcia wyjściowego od zmian napięcia wejściowego (współczynnik stabilizacji)

Obciążenie nominalne $R_o = \text{const}$. Zmienić napięcie wejściowe w przedziale $U_{imin} \leq U_i \leq U_{imax}$ (zakres ustalić z prowadzącym) zmierzyć przyrost napięcia ΔU_o na obciążeniu.

1. Sporządzić wykres $U_o = U_o(U_i)$

2. Współczynnik stabilizacji w zakresie zmienności napięcia wejściowego U_i (w zakresie prawidłowej pracy układu) określić ze wzoru

$$S = \frac{\Delta U_o}{U_{imax} - U_{imin}} \cdot 100\%$$

4.3. Pomiar rezystancji wyjściowej oraz sprawności przetwornicy

Ustawić napięcie wejściowe U_{inom} zmieniając obciążenie R_o odczytać I_o .

Sporządzić wykres $U_o = U_o(I_o)$

Z wykresu (danych pomiarowych) oszacować ze wzoru $r_{wy} = \frac{\Delta U_o}{\Delta I_o}$ rezystancję wyjściową stabilizatora, gdzie: ΔU_o , ΔI_o – przyrosty napięcia i prądu po zmniejszeniu lub zwiększeniu wartości rezystora R_o w zakresie prawidłowej pracy układu.

