

Projekt indywidualny Ela 2 nr. 20

Michał Golec 331231

2.06.2025

Podstawowe wymogi układu:

Zasilanie z pojedynczego źródła napięcia o wartości 9 V, z którego wytworzymy 4 napięcia zasilające: 1 dla sekcji cyfrowej i 3 dla sekcji analogowych.

| Linia zasilająca | Napięcie | Pobór prądu |
|--------------------|----------|-------------|
| Sekcja cyfrowa | 5 V | 2 A |
| Sekcja analogowa 1 | 5 V | 500 mA |
| Sekcja analogowa 2 | 13 V | 250 mA |
| Sekcja analogowa 3 | -13 V | 250 mA |

Tab. 1 Wymogi projektu do każdej sekcji

Wyniki symulacji:

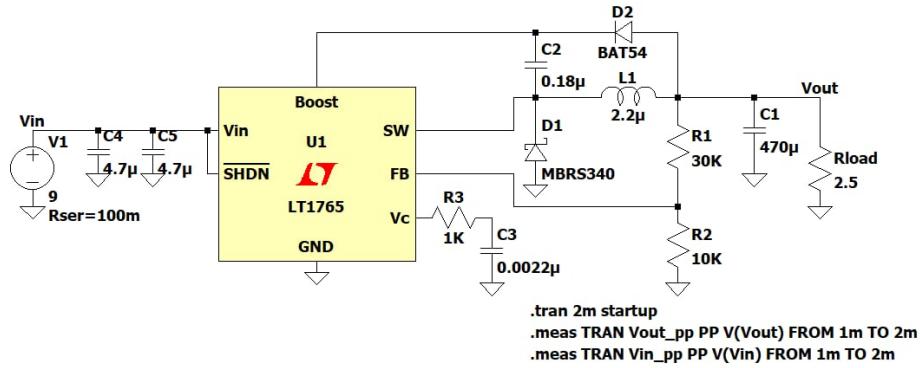
| Sekcja | Napięcie wyjściowe [V] | | Tętnienia napięcia wejściowego [mV] | Tętnienia napięcia wyjściowego [mV] | Sprawność [%] |
|--------------------|------------------------|---------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------|
| | dla $I = 0$ | dla I_{MAX} | | | |
| Sekcja cyfrowa | 5,0597 | 4,8027 | 315,6 | 219 | 88,82 |
| Sekcja analogowa 1 | 5,0918 | 5,0906 | 206,2 | 35,8 | 98,53 |
| Sekcja analogowa 2 | 13,241 | 12,703 | 3,7 | 58,7 | 93,10 |
| Sekcja analogowa 3 | -13,689 | -12,874 | 9,9 | 29,8 | 87,55 |

Tab. 2 Wyniki symulacji poszczególnych sekcji

Wszystkie wartości w tabeli zmierzono na podstawie pliku „ELA2_Projekt_FAQ.pdf”, a te które wymagały obliczeń policzono w arkuszu kalkulacyjnym „Obliczenia.xlsx”, który również załączono do projektu.

Wszystkie komponenty zewnętrzne użyte do konfiguracji przetwornic zostały wybrane z biblioteki rzeczywistych elementów LTspice. Ich noty katalogowe znajdują się razem z notami przetwornic w folderze „noty katalogowe”.

1. Sekcja cyfrowa



Rys. 1 Realizacja sekcji cyfrowej w LTspice

Do realizacji sekcji cyfrowej użyto przetwornicy LT1765 ze względu na wysoką wydajność prądową i niskie straty cieplne, co za tym idzie wysoką sprawność. Rezystory do dzielnika ustalającego napięcie wyjściowe dobrano na podstawie wzoru z noty katalogowej (Wzór 1) oraz by miały swoje wartości w szeregu E24.

$$R_1 = \frac{R_2(V_{OUT} - 1.2)}{1.2 - R_2(0.25\mu A)}$$

Wzór 1

Przy wyborze cewko ograniczeniem był jej prąd nasycenia.

Wartość indukcyjności musi być taka, żeby maksymalny prąd płynący przez cewkę (Wzór 2) nie był większy od prądu nasycenia. Resztę komponentów dobrano z uwzględnieniem spadków napięć, prądów oraz zaleceń z noty katalogowej (Tab. 3).

$$I_{PEAK} = I_{OUT} + \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{2(L)(f)(V_{IN})}$$

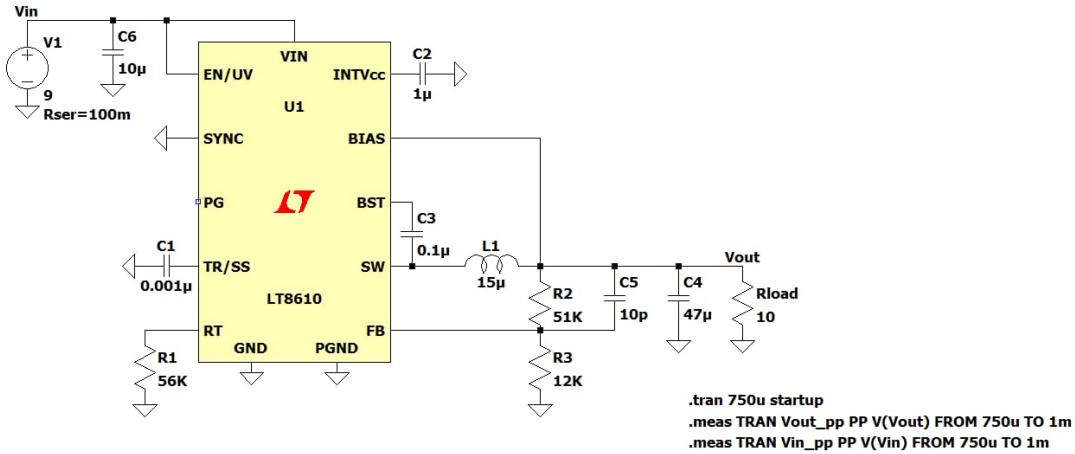
Wzór 2

V_{IN} = Maximum input voltage
 f = Switching frequency, 1.25MHz

| Kondensatory | | | Cewki | | |
|--------------|---------|----------------------------------|--------|---------|-------------------------------|
| Symbol | Wartość | Model | Symbol | Wartość | Model |
| C1 | 470uF | 597D Vishay | L1 | 2,2uH | 744062002 Würth Elektronik |
| C2 | 0,18uF | C1210 Kemet | Diody | | |
| C3 | 2,2nF | 885012207009 Würth Elektronik | Symbol | Wartość | Model |
| C4 | 4,7uF | 885012107013 Würth Elektronik | D1 | X | MFR340-889504 Fairchild |
| C5 | 4,7uF | 885012107013 Würth Elektronik | D2 | X | BAT54C-192576 Fairchild |

Tab. 3 Elementy pasywne do konfiguracji sekcji cyfrowej

2. Sekcja analogowa 1



Rys. 2 Realizacja sekcji analogowej 1 w LTspice

Do sekcji analogowej 1 użyto przetwornicy LT8610 ze względu na niski ripple napięcia. Rezystory ponownie dobrano na podstawie wzoru z katalogu (Wzór 3) i z szeregu E24. Kluczowym elementem jest również

$$R1=R2\left(\frac{V_{OUT}}{0.970V}-1\right)$$

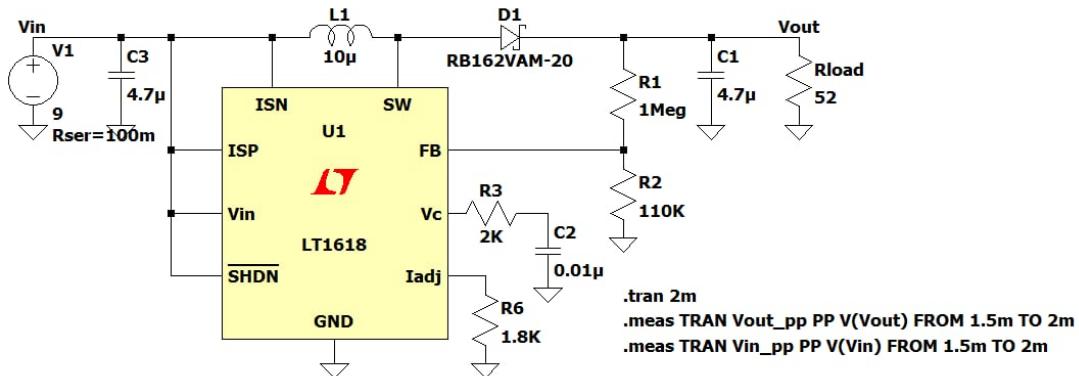
Wzór 3

kondensator C1, który zapewnia układowi soft start, pozwala uniknąć gwałtownych wzrostów prądu przy rozruchu. Istotny jest także rezistor R1, który umożliwia ustalenie częstotliwości przełączania. Oba te elementy zostały dobrane na podstawie zaleceń z noty katalogowej. Reszta elementów została dobrana poprzez uwzględnienie napięć i prądów oraz kwyteriów zawartych w nocy katalogowej (Tab. 4).

| Kondensatory | | | Cewki | | |
|--------------|---------|----------------------------------|--------|---------|--------------------------------|
| Symbol | Wartość | Model | Symbol | Wartość | Model |
| C1 | 1nF | 885012207086 Würth Elektronik | L1 | 15uH | 7447798151 Würth Elektronik |
| C2 | 1uF | 885012206052 Würth Elektronik | | | |
| C3 | 100nF | 885012207072 Würth Elektronik | | | |
| C4 | 47uf | 885012109007 Würth Elektronik | | | |
| C5 | 10pF | 885012008037 Würth Elektronik | | | |
| C6 | 10uF | 885012208041 Würth Elektronik | | | |

Tab. 4 Elementy pasywne do konfiguracji sekcji analogowej 1

3. Sekcja analogowa 2



Rys. 3 Realizacja sekcji analogowej 2 w LTspice

W realizacji sekcji analogowej drugiej wybrano przetwornicę LT1618, ponieważ ponieważ ma niski ripple napięcia, wysoką i stałą częstotliwość pracy oraz prostotę w konfiguracji. Ponownie producent podaje wzór na dobór dzielnika rezystancyjnego, ustalającego Uwyj (Wzór 4).

$$R1 = R2 \left(\frac{V_{OUT}}{1.263V} - 1 \right)$$

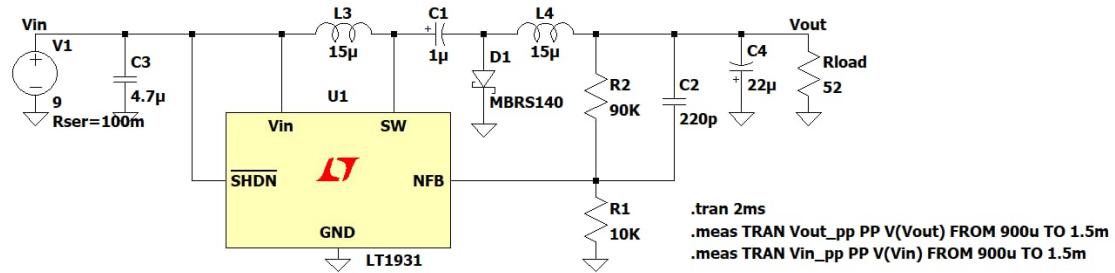
Wzór 4

Cewkę L1 dobrano spośród proponowanych w nocyce katalogowej, tak żeby wytrzymała prąd szczytowy bez nasycania się. Dobór reszty elementów był bezpośrednio wykonywany na podstawie noty katalogowej (Tab. 5).

| Kondensatory | | | Cewki | | |
|--------------|---------|----------------------------------|--------|---------|--------------------------|
| Symbol | Wartość | Model | Symbol | Wartość | Model |
| C1 | 4,7uF | 885012107018 Würth Elektronik | L1 | 10uH | LQH44PN100MJ0L Murata |
| C2 | 10nF | 885012206014 Würth Elektronik | Diody | | |
| C3 | 4,7uF | 885012108016 Würth Elektronik | D1 | X | rb162vam-20tr-e Rohm |

Tab. 5 Elementy pasywne do konfiguracji sekcji analogowej 2

4. Sekcja analogowa 3



Rys. 4 Realizacja sekcji analogowej 3 w LTspice

Do ostatniej sekcji została wykorzystana przetwornica inwertująca LT1931, nadaje się ona idealnie do tego przypadku, ponieważ nie tylko jest w stanie zapewnić odpowiednio niskie napięcie ujemne z dodatniego zasilania, ale również obsługuje wymagany prąd (250mA), co w tym przypadku nie było takie oczywiste patrząc na inne bardziej popularne przetwornice. Dodatkowo posiada również zalety takie jak niski ripple napięcia wyjściowego, pracuje na stałej częstotliwości 1,2MHz, co umożliwia dobranie małych cewek i kondensatorów oraz nie wymaga zbyt skomplikowanej konfiguracji. Do wyznaczania dzielnika rezystancyjnego, ustawiającego napięcie wyjściowe ponownie używamy wzory podanego przez producenta w nocy (Wzór 5).

$$R1 = \frac{|V_{OUT}| - 1.255}{\frac{1.255}{R2} + (4 \cdot 10^{-6})}$$

Wzór 5

W tym układzie była możliwość użycia sprzężonej cewki w celu zminimalizowania odchyłów pomiędzy elementami, natomiast w symulacji ostatecznie zdecydowano się na użycie dwóch oddzielnych identycznych cewek. Reszta elementów dobrano na podstawie wymogów karty katalogowej przetwornicy (Tab. 6).

| Kondensatory | | | Cewki | | |
|--------------|---------|-------------------------------|--------|---------|---------------------|
| Symbol | Wartość | Model | Symbol | Wartość | Model |
| C1 | 1uF | 885012106017 Würth Elektronik | L3 | 15uF | CTX15-1 Coiltronics |
| C2 | 220pF | 885012005033 Würth Elektronik | L4 | 15uF | CTX15-1 Coiltronics |
| C3 | 4,7uF | 885012108020 Würth Elektronik | Diody | | |
| C4 | 22uF | C5750X7S2A226M280KB TDK | D1 | X | MBRS140 Vishay |

Tab. 6 Elementy pasywne do konfiguracji sekcji analogowej 3

Podsumowanie:

Wszystkie symulacje zadziałyły poprawnie, każda sekcja spełniła w całkiem zadowalającym stopniu wymogi projektowe.

Bardzo przydatną rzeczą podczas projektowania układów jest, przy konfiguracji wybranej przetwornicy, korzystanie z komponentów, podanych jako rekomendowane, w ncie katalogowej przetwornicy. Ułatwia to projektowanie i pozwala uniknąć niespodziewanych problemów związanych z niekompatybilnością elementów.

Rozsądne wydaje się również podejście projektowe zakładające najpierw tworzenie układu z idealnych elementów, a dopiero podem uwzględnianie efektów pasożytniczych. Dzięki temu dużo łatwiej zapanować nad pracą oraz można łatwiej zrozumieć przyczynę powstałych niezgodności.

Symulacje wykonują się w rozsądnym czasie poza sekcją analogową 1, niestety po dodaniu efektów pasożytniczych do elementów zewnętrznych czas wykonywania symulacji drastycznie wzrósł. Prawdopodobnie wynika to z faktu, że do konfiguracji tej przetwornicy użyto największej liczby kondensatorów, ich indukcyjności i rezystancje pasożytnicze mogły skomplikować analizę obliczniową symulacji. Przetwornica jest również zaopatrzona w Soft-Start, sterowany pojemnością C1, to również wydłuża nieco symulacje. Ostatecznie symulacja sekcji analogowej 1 się wykonała i dała prawidłowe wyniki o zaskakujących parametrach.