

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:

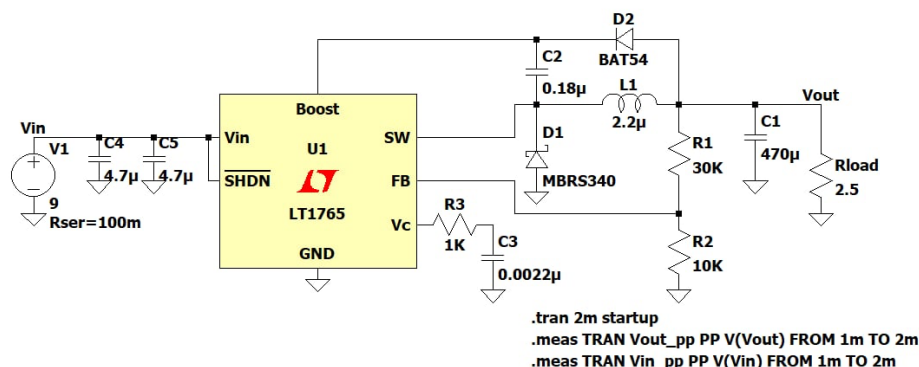
Sekcja	Napięcie wyjściowe [V]		Tętnienia napięcia wejściowego [mV]	Tętnienia napięcia wyjściowego [mV]	Sprawność [%]
	dla $I = 0$	dla I_{MAX}			
Sekcja cyfrowa	5.0597	4,8027	315,6	219	88,82
Sekcja analogowa 1	5,0918	5,0906	206,2	35,8	98,53
Sekcja analogowa 2	13,241	12,703	3,7	58,7	93,10
Sekcja analogowa 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.

$$R1 = \frac{R2(V_{OUT} - 1.2)}{1.2 - R2(0.25\mu A)}$$

Wzór 1

Przy wyborze cewki 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).

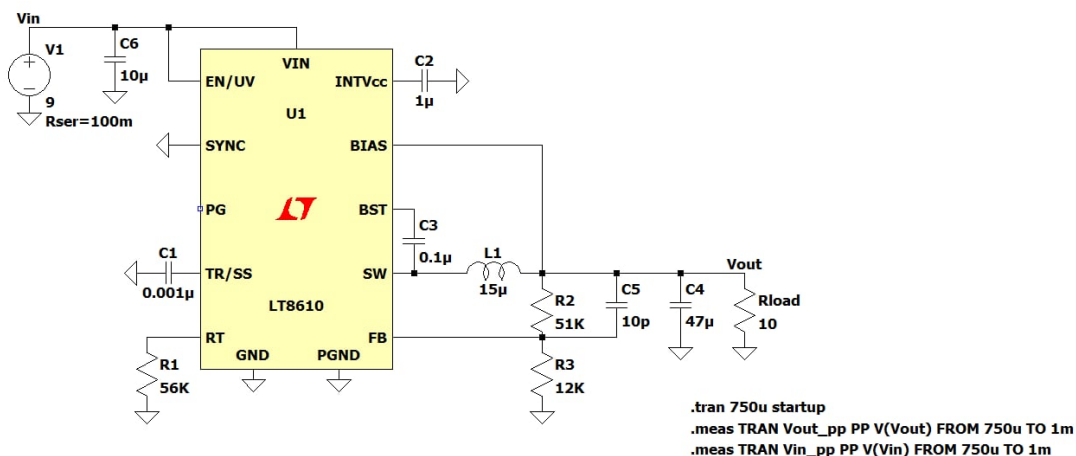
$$I_{PEAK} = I_{OUT} + \frac{V_{OUT}(V_{IN} - V_{OUT})}{2(L)(f)(V_{IN})}$$

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	MBRS340-889504 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 kondensator C1, który zapewnia układowi soft start, pozwala uniknąć gwałtownych wzrostów prądu przy rozruchu. Istotny jest także rezystor 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 kryteriów zawartych w notce katalogowej (Tab. 4).

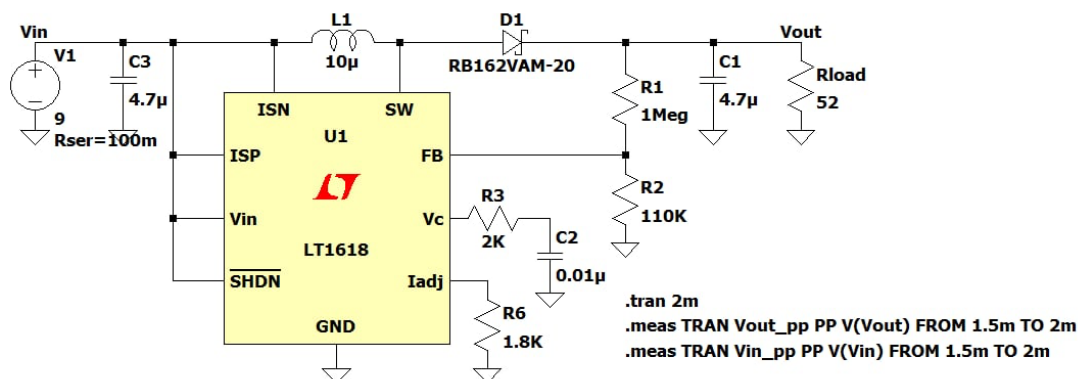
$$R1 = R2 \left(\frac{V_{OUT}}{0.970V} - 1 \right)$$

Wzór 3

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, ponownie ponieważ ma niski ripple napięcia, wysoką i stałą częstotliwość pracy oraz prostotę w konfiguracji. Ponownie producent podaje wzór na dobór dzielnika rezystancyjnego, ustalającego U_{wyj} (Wzór 4).

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

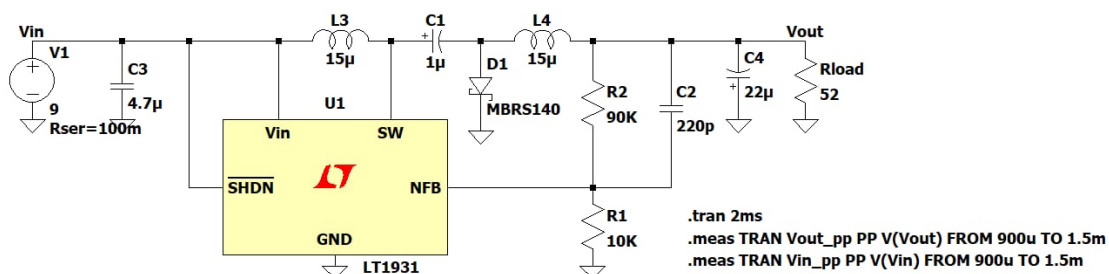
Wzór 4

Cewkę L1 dobrano spośród proponowanych w nocie 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 ostaniej 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 wyznaczenia dzielnika rezystancyjnego, ustawiającego napięcie wyjściowe ponownie używamy wzory podanego przez producenta w nocie (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 zadziałały poprawnie, każda sekcja spełniła w całym zadowalającym stopniu wymogi projektowe.

Bardzo przydatną rzeczą podczas projektowania układów jest, przy konfiguracji wybranej przetwornicy, korzystanie z komponentów, podanych jako rekomendowane, w nocie 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 potem 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 obliczeniową 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.