

Politechnika Warszawska

WYDZIAŁ ELEKTRONIKI
I TECHNIK INFORMACYJNYCH



Projekt Układu Zasilającego

wariant numer 62

Alicja Misterka
Numer indeksu: 324045

Warszawa, 30 maja 2024

Spis treści

1	Założenia projektowe	1
2	Układ cyfrowy - przetwornica LT8612	2
2.1	dobór elementów i schemat układu	2
2.2	Wyniki symulacji	3
2.2.1	Sprawność	3
3	Układ analogowy, wariant 1 - stabilizator LT3045	3
3.1	Dobór elementów i schemat układu	3
3.2	Wyniki symulacji	4
3.2.1	Napięcia wyjściowe oraz tętnienia	4
3.2.2	Sprawność	4
4	Układ analogowy, wariant 2 - przetwornica LT8338 i stabilizator LT3080	4
4.1	dobór elementów i schemat układu	4
4.1.1	Stabilizator napięcia LT3080	5
4.1.2	Przetwornica podwyższająca napięcie LT8338	5
4.1.3	Ostateczny układ	5
4.2	Wyniki symulacji	5
4.2.1	Napięcia wyjściowe oraz tętnienia	5
4.2.2	Sprawność	6
5	Układ analogowy, wariant 3 - przetwornica LT8362	6
5.1	dobór elementów i schemat układu	6
5.2	Wyniki symulacji	7
5.2.1	Napięcie wyjściowe oraz tętnienia	7
5.2.2	Sprawność układu	7
6	Wnioski	7

1 Założenia projektowe

Celem projektu jest zaprojektowanie układu zasilającego dla systemu elektronicznego, zasilanego z pojedynczego źródła napięcia 10 V. Układ ma generować 4 napięcia zasilające: jedno dla części cyfrowej i trzy dla części analogowej, zgodnie z tabelą przedstawiającą wymagane napięcia i maksymalny pobór prądu.

Cewki i kondensatory to rzeczywiste elementy, dobrano je odpowiednio z szeregów E6 i E12. ESR i ESL kondensatorów wyliczono za pomocą kalkulatora od firmy Murata Manufacturing

¹

zaś w przypadku cewek użyto specjalnej formuły, zdefiniowanej w instrukcji projektowej - ich dokumentacje zostały zawarte w plikach projektu. Układy zaprojektowano dla $f_{osc} = 1MHz$, uwzględniając spadek pojemności kondensatorów i uwzględniona została rezystancja generatora sygnału wejściowego wynosząca $100m\Omega$.

Linia zasilająca	Napięcie	Pobór prądu
cyfrowa	2.5 V	5.5 A
analogowa	7 V	200 mA
analogowa	19 V	450 mA
analogowa	-19 V	450 mA

Tabela 1: założenia projektowe

¹[Link do kalkulatora](#)

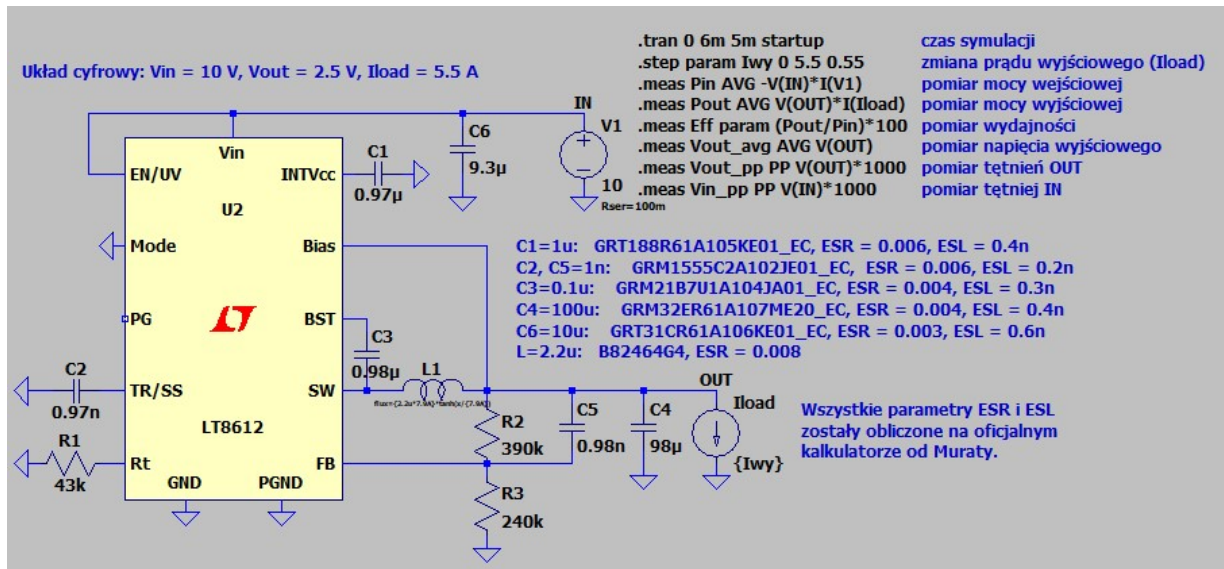
Niestety, z racji na bardzo zły sprzęt pomiarowy na którym operowałam, w przypadku układu analogowego numer 2, wymusiłam na programie LTSpice działanie w trybie ttol równym 10 do optymalizacji czasu symulacji, która w dalszym ciągu trwała trzy godziny. Pozostałe układy zostały przesymulowane na domyślnych ustawieniach programu.

W plikach projektu zamieszczone zostały także logi po symulacji.

2 Układ cyfrowy - przetwornica LT8612

2.1 dobór elementów i schemat układu

Aby zaprojektować układ zgodny z wymaganiami, wybrałam przetwornicę obniżającą napięcie LT8612, która obsługuje prąd większy niż 5.5A.



Rysunek 1: Schemat układu cyfrowego

Kondensatory C4, C5, C6 zostały dobrane, aby zapewnić maksymalną sprawność układu i najmniejsze tętnienia napięcia wyjściowego i wejściowego. Wartość rezystora R_T odczytałam z karty katalogowej dla częstotliwości 1 MHz. Stosunek rezystorów R2 i R3 obliczyłam ze wzoru:

$$R2 = R3 \cdot \left(\frac{V_{OUT}}{0.970V} - 1 \right) \approx 1.57 \cdot R3$$

Induktancję cewki wyliczyłam i dobrałam na podstawie wzorów dołączonych do karty katalogowej, z której wyliczyłam:

$$f_{SW} = \frac{46.5 - 5.2}{R_T} = 0.96 MHz$$

$$L = \frac{V_{OUT} + V_{SW(BOT)}}{f_{SW}} \cdot 0.7 \approx 1.8 \mu H \Rightarrow 2.2 \mu H$$

$$\Delta I_L = \frac{V_{OUT}}{L \cdot 0.96} \cdot \left(1 - \frac{V_{OUT}}{V_{IN(MAX)}} \right) = 0.85 A$$

$$I_{L(MAX)} > I_{LOAD} + \frac{1}{2} \Delta I_L = 6.35 A$$

R_T	R2	R3	L	C4	C5	C6
43kΩ	390kΩ	240kΩ	2.2μH	100μF	10pF	10μF

Tabela 2: Parametry elementów elektronicznych

2.2 Wyniki symulacji

V_{OUT} dla $I_{OUT} = 0A$	V_{OUT} dla $I_{OUT} = 5.5A$	Tętnienia V_{OUT}	Tętnienia V_{IN}
2.57 V	2.54 V	6.09 mV	0 mV

Tabela 3: Wyniki symulacji w programie LTSpice

2.2.1 Sprawność

Pobór prądu [A]	Sprawność układu [%]	Pobór prądu [A]	Sprawność układu [%]
0.55	95.19	3.3	92.99
1	95.74	3.85	92.16
1.65	95.36	4.4	91.25
2.2	94.66	4.95	90.35
2.75	93.86	5.5	89.52

Tabela 4: Pomiar sprawności - wyniki symulacji

Jak możemy zauważyć, kosztem tętnień napięcia wyjściowego, zwiększyliśmy sprawność całego układu. W przypadku układu cyfrowego jest kluczowe, dlatego zdecydowałam się na użycie przetwornicy obniżającej napięcie - układ działa stabilnie i zgodnie z moimi oczekiwaniami.

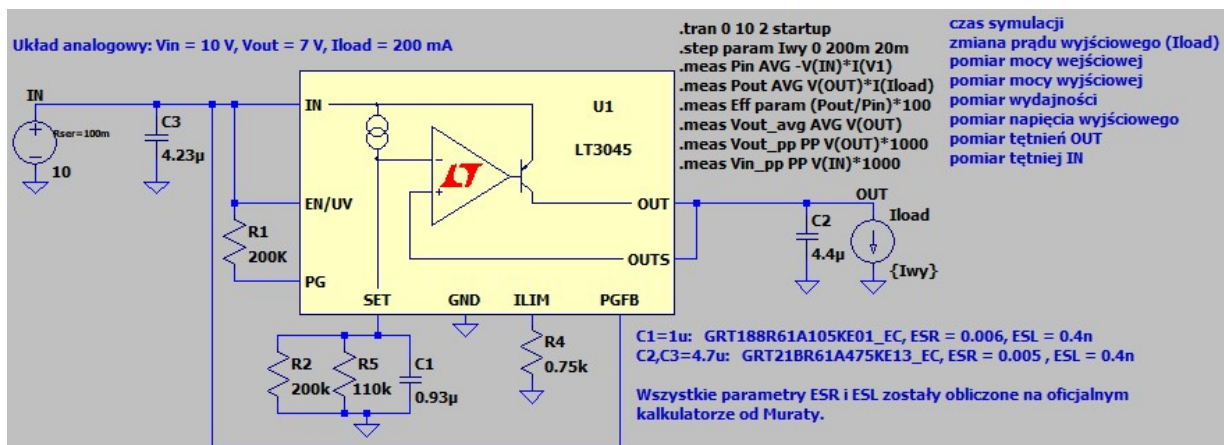
3 Układ analogowy, wariant 1 - stabilizator LT3045

3.1 Dobór elementów i schemat układu

Do wykonania układu analogowego, najważniejsze jest dla nas zachowanie jak najmniejszych tętnień, dlatego wybrałam prosty stabilizator LT3045. W tym układzie kluczowe było dobranie odpowiednich rezystorów w pinie SET, który bezpośrednio wpływa na napięcie wyjściowe. Aby uzyskać 7V, należy dołączyć rezystancję rzędu $70k\Omega$:

$$R2||R3 = 70k\Omega$$

Pozostałe elementy dobrane są zgodnie z zaleceniami producenta, uwzględniając wymagania dla kondensatora C2, który musi posiadać bardzo niski ESR, jak pokazano w tabeli 3.1.



Rysunek 2: Schemat układu analogowego, wariant 1

R2	R3	C1	C2	C3
200k Ω	110k Ω	1 μF	4.7 μF	4.7 μF

Tabela 5: Parametry elementów elektronicznych

3.2 Wyniki symulacji

3.2.1 Napięcia wyjściowe oraz tętnienia

V_{OUT} dla $I_{OUT} = 0A$	V_{OUT} dla $I_{OUT} = 5.5A$	Tętnienia V_{OUT}	Tętnienia V_{IN}
7.10 V	7.10 V	0.0005 mV	0 mV

Tabela 6: Wyniki symulacji w programie LTSpice

3.2.2 Sprawność

Pobór prądu [mA]	Sprawność układu [%]	Pobór prądu [mA]	Sprawność układu [%]
20	62.87	120	68.23
40	65.95	140	68.40
60	67.06	160	68.54
80	67.63	180	68.65
100	67.98	200	68.74

Tabela 7: Pomiar sprawności - wyniki symulacji

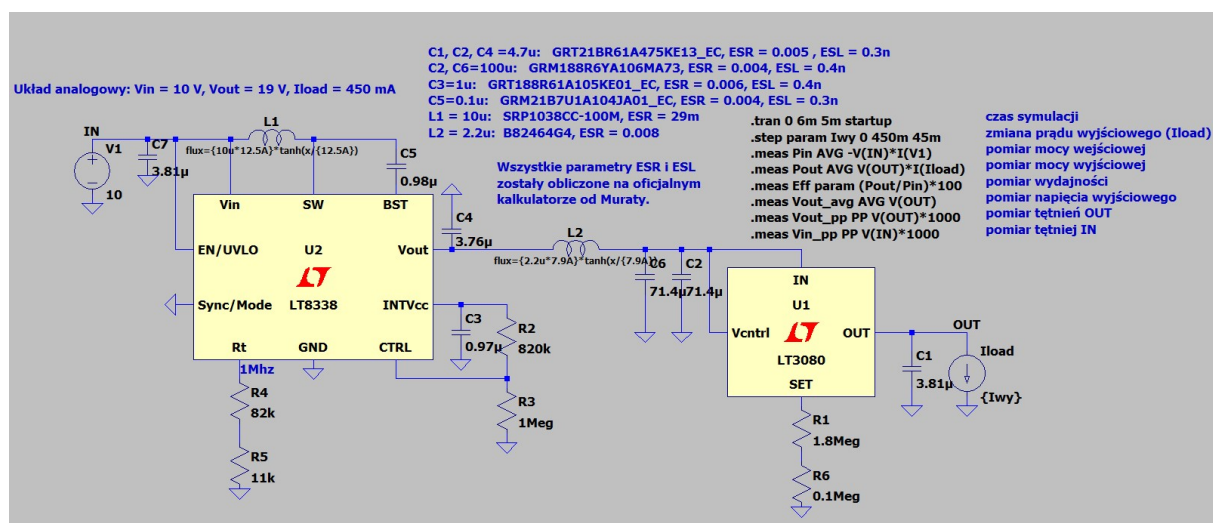
Jak możemy zauważyć, kosztem sprawności układu, zmniejszyliśmy tętnienia napięcia wyjściowego do bliskich zera. Wybór stabilizatora LT3045 zamiast przetwornicy pozwolił na uzyskanie niemal zerowych tętnień, na czym zależy nam w przypadku projektowania układów analogowych.

4 Układ analogowy, wariant 2 - przetwornica LT8338 i stabilizator LT3080

4.1 dobór elementów i schemat układu

W przypadku projektowania układu analogowego zależy nam na niskich tętnieniach układu. Nie byłam jednak w stanie znaleźć stabilizatora, który wzmacniłby napięcie wyjściowe z 10 V do 19 V. Dlatego, aby stworzyć układ, połączyłam:

- Przetwornicę podwyższającą napięcie LT8338
- Stabilizator LT3080, stabilizujący napięcie do 19 V.



Rysunek 3: Schemat układu analogowego, wariant 2

4.1.1 Stabilizator napięcia LT3080

W przypadku projektowania stabilizatora, należało ustawić napięcie wyjściowego za pomocą pinu SET korzystając ze wzoru zamieszczonego w dokumentacji:

$$V_{OUT} = R_{SET} \cdot 10^{-5}, \text{ czyli } R_{SET} = 1.9M\Omega$$

Z karty katalogowej odczytałam także drop-out, który dla maksymalnego poboru prądu (450 mA) wynosi niecałe 1.3 V. Oznacza to, że napięcie wejściowe stabilizatora, a zatem wyjściowe z przetwornicy, musi wynosić przynajmniej 20.3 V.

4.1.2 Przetwornica podwyższająca napięcie LT8338

Za pomocą pinu RT ustawiłam częstotliwość sygnału na 1Hz. Następnie za pomocą dwóch oporników w pinie CTRL ustawiłam napięcie wyjściowe przetwornicy na około 22 V za pomocą zależności: $V_{OUT} = 18 \cdot V_{CTRL}$.

W przypadku projektowania przetwornicy, istotne jest dobranie odpowiedniej cewki. Aby zrobić to właściwie, posiłkowałam się kartą katalogową:

$$D_{MAX} = \frac{V_{OUT} - V_{IN}}{V_{OUT}} = 0.54$$
$$L > \frac{V_{IN}}{0.2 \cdot f} \cdot D_{MAX} \rightarrow L > 2.7\mu H$$

oraz $I_L \approx 1.2A$ (co wyczytałam z karty katalogowej).

Na początku zastosowałam cewkę o indukcyjności $6.8\mu H$, jednak układ był bardzo powolny, dlatego postawiłam na znalezienie stosunkowo taniej, acz charakteryzującą się dużą indukcyjnością.

4.1.3 Ostateczny układ

Kondensatory przynależące do przetwornicy i stabilizatora dobrałam zgodnie z kartą katalogową pamiętając o maksymalnym napięciu znamionowym.

Bezpośrednie połączenie stabilizatora i przetwornicy (czy też przy użyciu jedynie kondensatora pełniącego funkcję wejściowego i wyjściowego jednocześnie) wiąże się z ogromnymi tętnieniami na wyjściu - w moim przypadku były to nawet 2.5 V. Aby temu zapobiec, dołączyłam do układu filtr LC dla 20kHz, dla którego wartość indukcyjności wyliczyłam ze związku:

$$f_c = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \text{ czyli, dobierając z szeregu, E6: } L = 2.2\mu H$$

Element elektroniczny	Wartość	Element elektroniczny	Wartość
R1	1.8 MΩ	C1, C2 C4	4.75 μF
R2	820 kΩ	C2, C6	100 μF
R3	1 MΩ	C3, C5	0.1 μF
R4	82 kΩ	L1	10 μH
R5	11 kΩ	L2	2.2 μH
R6	0.1 MΩ		

Tabela 8: Parametry elementów elektronicznych

4.2 Wyniki symulacji

4.2.1 Napięcia wyjściowe oraz tętnienia

V_{OUT} dla $I_{OUT} = 0A$	V_{OUT} dla $I_{OUT} = 450mA$	Tętnienia V_{OUT}	Tętnienia V_{IN}
19.01 V	18.999 V	0.41 mV	22.65 mV

Tabela 9: Wyniki symulacji w programie LTSpice

4.2.2 Sprawność

Pobór prądu [mA]	Sprawność układu [%]	Pobór prądu [mA]	Sprawność układu [%]
45	47.67	270	47.32
90	42.25	315	47.63
135	44.85	360	47.76
180	45.02	405	53.49
225	46.73	450	59.12

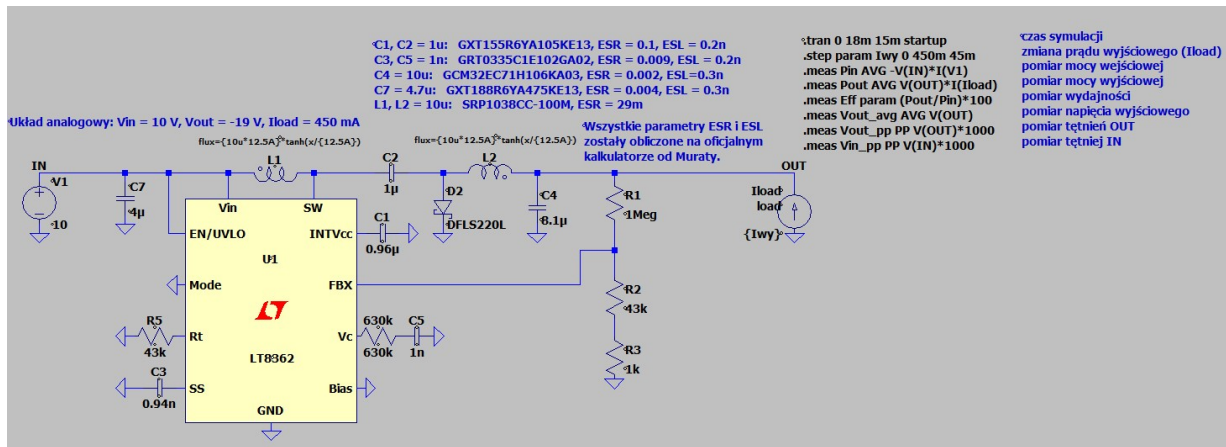
Tabela 10: Pomiar sprawności - wyniki symulacji

Jako że układ ma charakter analogowy i największą uwagę zwracamy na tętnienia które udało się zmniejszyć do rzędu niecałych mV, układ działa zgodnie z naszymi założeniami. Aby zmniejszyć ewentualnie tętnienia sygnału wejściowego i wyjściowego, mogłabym ewentualnie zwiększyć kondensatory wejściowe i wyjściowe.

5 Układ analogowy, wariant 3 - przetwornica LT8362

5.1 dobór elementów i schemat układu

Analogicznie, chcąc otrzymać napięcie ujemne na wyjściu w układzie analogowym, powinienam wybrać przetwornicę odwracającą i odpowiedni stabilizator jednak okazało się to niepotrzebne - na stronie analog.com znalazłam układ przetwornicy typu SEPIC, która przy swojej pracy dba również o zachowanie stosunkowo małych tętnień napięcia wyjściowego.



Rysunek 4: Schemat układu analogowego, wariant trzeci

Do poprawnego skonstruowania układu skorzystałam z noty katalogowej. Dobrałam odpowiednią rezystancję dla pinu RT określając działanie układu na 1MHz, a napięcie zdefiniowałam poprzez zastosowanie wzoru:

$$R1 = R2 \cdot \left(\frac{V_{OUT}}{1.6V} - 1 \right) = 10.875 \cdot R2$$

Kondensatory dobrałam zgodnie z zaleceniami producenta a przy doborze cewki kierowałam się własnościami zawartymi w notce:

$$D_{MAX} = \frac{V_{OUT} - V_{IN}}{V_{OUT}} = 0.47$$

$$L > \frac{V_{IN}}{\Delta I_{SW} \cdot f} \cdot D_{MAX} = 6.2$$

Z noty katalogowej odczytuję, że: $I_L = 3.1A$.

Korzystając z faktu, że wcześniej znalazłam bardzo dobrą cewkę, użyłam jej także do tego układu - bowiem spełniała wszystkie wymagania.

Element elektroniczny	Wartość	Element elektroniczny	Wartość
R1	1 M Ω	C1, C2	1 μ F
R2	43 k Ω	C3, C5	1 nF
R3	1 k Ω	C4	10 μ F
R_{VC}	630 k Ω	C7	4.7 μ H
R5	43 k Ω	L1, L2	10 μ H

Tabela 11: Parametry elementów elektronicznych

5.2 Wyniki symulacji

5.2.1 Napięcie wyjściowe oraz tętnienia

V_{OUT} dla $I_{OUT} = 0A$	V_{OUT} dla $I_{OUT} = 450mA$	Tętnienia V_{OUT}	Tętnienia V_{IN}
-19.10	-18.98 V	11.6 mV	19.46 mV

Tabela 12: Wyniki symulacji w programie LTSpice

5.2.2 Sprawność układu

Pobór prądu [mA]	Sprawność układu [%]	Pobór prądu [mA]	Sprawność układu [%]
45	95.74	270	94.66
90	96.13	315	94.59
135	95.99	360	94.44
180	96.12	405	94.29
225	94.64	450	94.10

Tabela 13: Pomiar sprawności - wyniki symulacji

Nieco zdziwiły mnie tak wysokie wyniki sprawności po dodaniu elementów rzeczywistych, ale powodem może być model diody ze SPICE'a. Wybrałam go zgodnie z zaleceniami producenta, ale mimo wszystko różni się od rzeczywistej.

Niemniej, układ działa zgodnie z założeniami - osiągnęliśmy stosunkowo małe tętnienia przy okazji otrzymując dobrą sprawność.

6 Wnioski

Projektowanie układów zasilających wiąże się z wyborem parametrów, które uważamy za istotne. Możemy łatwo zauważyć, że tętnienia napięcia wyjściowego wymieniają się na sprawność układu. Używanie rzeczywistych modeli kondensatorów i cewek doprowadziło do znacznego zwiększenia tętnień i spadku sprawności układu o czym należy pamiętać podczas projektowania prawdziwych układów.