

SPAWOZDANIE  
PROJEKT ELA2  
NUMER PROJEKTU 57

**PIOTR MALEC**

**19.05.2023**

## SPIS PLIKÓW I KATALOGÓW:

### Katalogi:

Każdy katalog zawiera plik ze schematem sekcji układu oraz pliki symulacji.

- SekcjaAnalogowa 1
- SekcjaAnalogowa 2
- SekcjaAnalogowa 3
- SekcjaCyfrowa 1

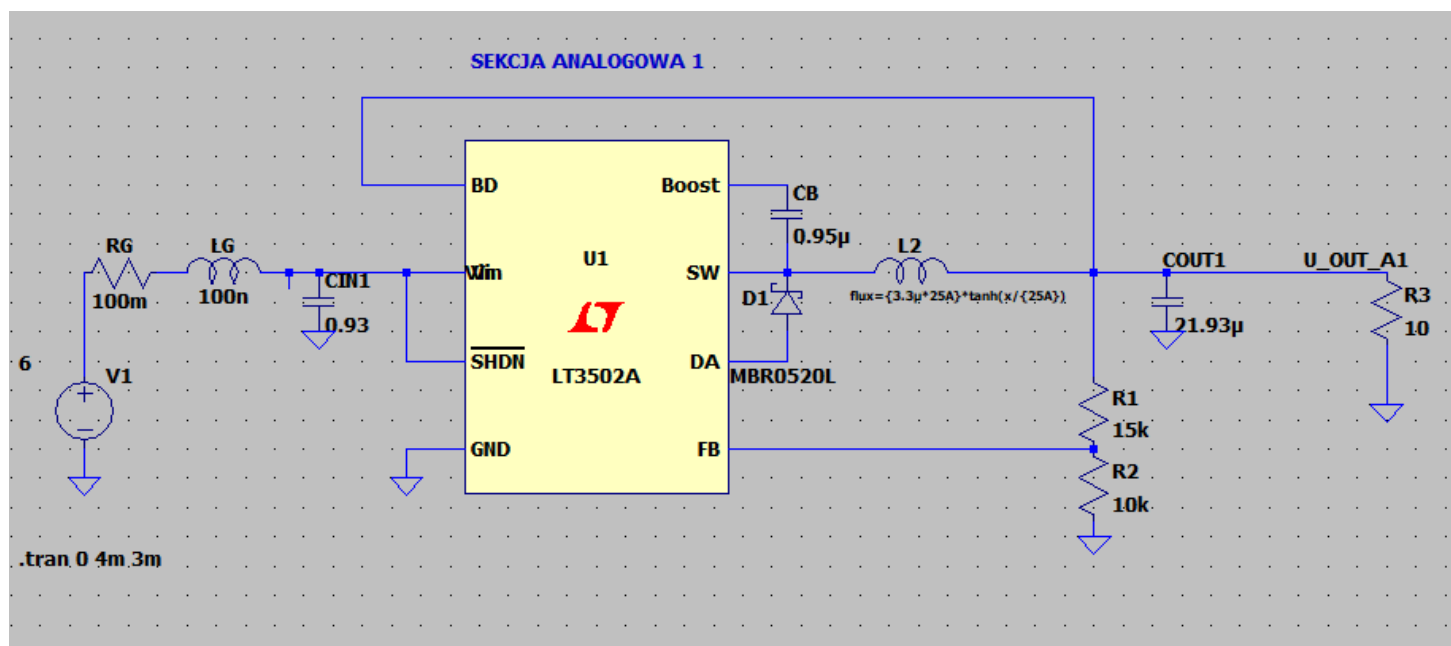
### UWAGI WSTĘPNE:

- W sprawozdaniu wpisano wartości znamionowe pojemności kondensatorów, natomiast w plikach ze schematami układów zostały użyte wartości pojemności, zgodne z zależnością napięciową podaną w pliku „ELA2\_PROJEKT\_FAQ”. Pojemność użyta w pliku ze schematami tu nazwana jest pojemnością efektywną.  
Wszystkie kondensatory, cewki oraz diody pochodzą z domyślnej biblioteki programu LTSPICE.
- Opisywane w dalszej części sprawozdania wartości tętnień napięć wejściowych oraz wyjściowych zostały są wartościami **międzyszczytowymi**.
- Oznaczanie elementów na schematach np. RX-Y  
gdzie X- oznaczenie porządkowe elementu w sekcji Y- oznaczenie sekcji np. A1,C1.
- Ze względu na bardzo dużą objętość plików symulacyjnych w symulacjach będą widoczne jedynie przebiegi po ustaleniu się napięcia wyjściowego.
- Szeregi wartości elementów: rezystory-E12,kondensatory-E6, cewki-E6.

### ZAŁOŻENIA PROJEKTOWE POSZCZEGÓLNYCH SEKCJI UKŁADU:

Linia zasilająca	Napięcie	Pobór prądu
Sekcja cyfrowa	5 V	3,5 A
Sekcja analogowa 1	2 V	400 mA
Sekcja analogowa 2	14 V	550 mA
Sekcja analogowa 3	-14 V	550 mA

### SEKCJA ANALOGOWA 1



## STEP-DOWN

Priorytetem przy projektowaniu tej sekcji układu było uzyskanie jak najniższych tętnień napięcia wyjściowego.

### Użyty sterownik: LT3502A

Zdecydowałem się na wybór tego układu, ponieważ według producenta zapewnia on parametry zgodne z założeniami projektowymi dla tej sekcji.

Maksymalne parametry dla tego układu:

- $I_{OUT} = 500 \text{ mA}$
- Zakres napięcia wejściowego 3V-40V

### Wykorzystane podzespoły wraz z uzasadnieniem wyboru:

#### Rezystory:

Na podstawie poniżej podanej zależności, oraz sugerowanej w nocie katalogowej wartości rezystora R1 i znanej wartości oczekiwanej wartości napięcia wyjściowego dobrałem wartość rezystorów równe:

**R1 = 10kΩ, R2 = 15kΩ**

$$R1 = R2 \left( \frac{V_{OUT}}{0,8 V} - 1 \right)$$

#### Dioda:

Dioda musi posiadać małą pojemność złączową oraz szybko się przełączać, preferowanym typem do tego zastosowania jest dioda Schottky'ego.

Napięcie przebicia diody musi być większe niż napięcie wyjściowe układu przetwornicy, oraz producent sugeruje diodę o średnim prądzie 500mA.

Zgodnie z tym mój wybór to dioda **MBR0520L**, o napięciu przebicia 20V.

#### Kondensatory:

Kondensator wyjściowy  $C_{OUT1}$ :

jest to kondensator ceramiczny o sugerowanym typie dielektryka (X7R), o wartości X zgodnej z równaniem  $C_{OUT} = 33 / U_{out} [\mu F]$  (wybrany najbliższy z szeregu), aby zapewnić jak najmniejsze tętnienia napięcia wyjściowego.

**C = 22μF ESL=1,058pF ESR=2.1mΩ  $U_{PRACY} = 16 \text{ V}$**

**Model: 8850121109010 WCAP-CSGP Producent: Wurth Elektronik**

**C efektywna = 20,625μF**

Kondensator wejściowy  $C_{IN1}$ :

o wartości 1 μF, ponieważ producent sugeruje, aby jego wartość była większa lub równa 1μF.

Zastosowałem dwa kondensatory, o niskich wartościach parametrów pasożytniczych, lecz również o niskim napięciu

**C = 1μF ESL=0nF ESR=8mΩ  $U_{Pracy} = 16 \text{ V}$**

**C efektywna = 0.81 μF**

Kondensator  $C_B$ :

**C = 0,1 μF (sugerowane przez producenta) ESL=310pF ESR=15.7mΩ**

**C efektywna = 0.94 μF**

Wartość cewki dobrano tak, aby była zgodna z zaleceniami producenta (równanie poniżej). Starałem się wybrać cewkę o małych wartościach składowych pasożytniczych oraz o dużym prądzie nasycenia rdzenia.

#### INDUKCYJNOŚĆ:

**L = 1,6\*( $V_{OUT} + V_D$ ) = 1,6\*(2+0,3 V) = 3,68 μH**

**$V_D$  – napięcie przewodzenia diody przełączającej (około 0,3V)**

Wybrałem  $L=3,3\mu F$  ze względu na możliwość użycia elementów z szeregu E6.

$$L = 3.3 \mu F$$

$$I_{SAT} = 25 A$$

**Model: 710-74439369033 Producent: Mouser**

**Wyniki symulacji:**

- **Sprawność 74%**
- **Tętnienia napięcia wyjściowego – 1 mV**
- **Tętnienia napięcia wejściowego – 6 mV**
- **Napięcie wyjściowe (układ obciążony) – 2,003 V**
- **Napięcie wyjściowe (układ nieobciążony) - 2.0614 V**

**Podsumowanie:**

Czy spełniono założenia projektowe?

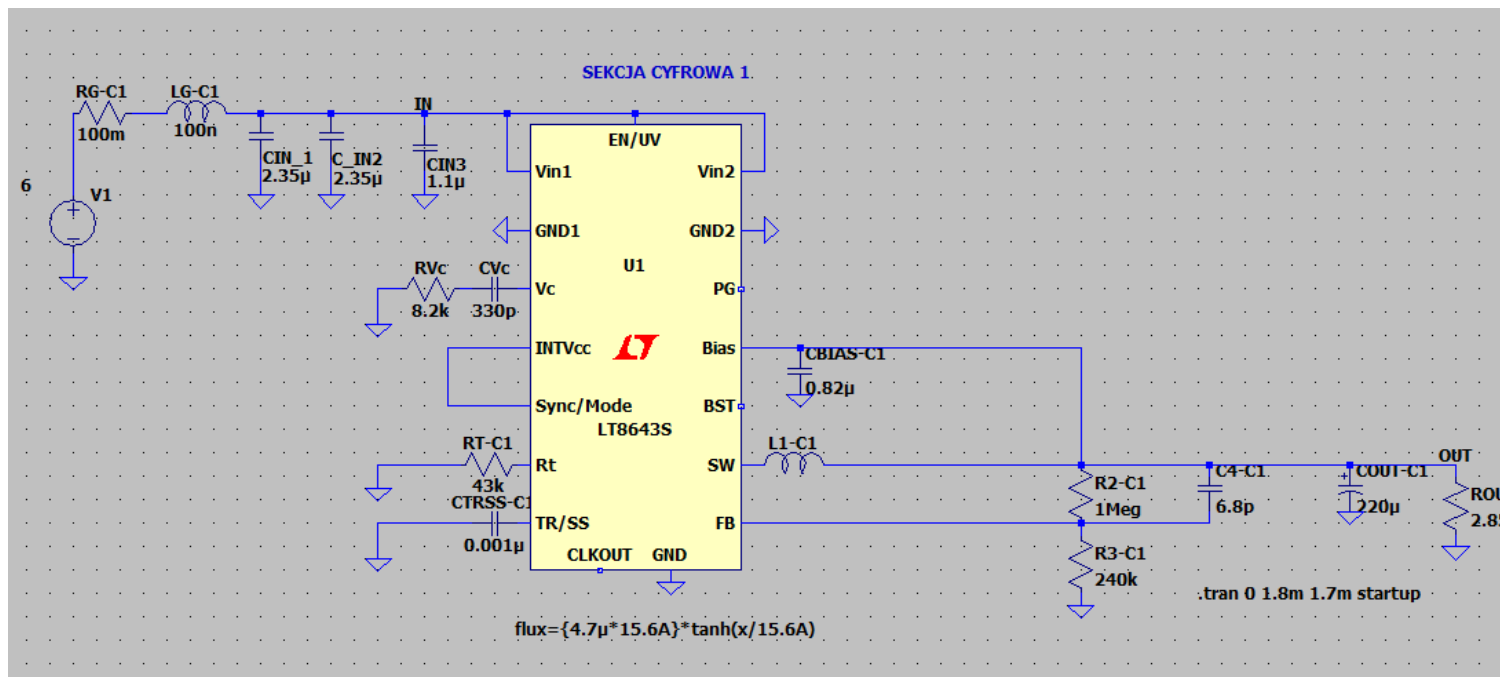
Tak, ponieważ wartość napięcia wyjściowego osiągnęła zamierzony poziom zarówno przypadku obciążonym i nieobciążonym, tętnienia wyjściowe są na poziomie mV, natomiast napięcie wejściowe nawet przy maksymalnych tętnieniach nie przekracza maksymalnej dopuszczalnej wartości.

Ze względu na zastosowanie przetwornicy napięcia, zamiast stabilizatora oprócz niskich tętnień uzyskano dodatkowo dość wysoką sprawność układu.

Kondensator wejściowy musiał odznaczać się szczególnie małą wartością ESL, aby ograniczać tętnienia napięcia wejściowego. Łatwo było wybrać spełniający swoją funkcję kondensator wyjściowy, ponieważ napięcie wyjściowe to zaledwie 2V(napięcie pracy kondensatora wyjściowego to 16V), więc wpływ napięcia na pojemność jest mniejszy niż np. w przypadku gdybyśmy podwyższali napięcie.



## SEKCJA CYFROWA 1



### STEP-DOWN

Priorytetem przy projektowaniu tej sekcji układu było uzyskanie jak najwyższej sprawności.

Przed początkiem prac projektowych założyłem, że sprawność ta na pewno nie może wynosić mniej niż 85%.

### Użyty sterownik: LT8643S

Zdecydowałem się na wybór tego układu, ponieważ według producenta zapewnia on parametry zgodne z założeniami projektowymi dla tej sekcji. Zapewnia dużą sprawność w odpowiednich warunkach nawet do 96%. Maksymalne parametry dla tego układu:

- $I_{OUT} = 6A$
- Zakres napięcia wejściowego 3V-42V

### Wykorzystane podzespoły wraz z uzasadnieniem wyboru:

#### Rezystory:

Na podstawie poniżej podanej zależności, oraz sugerowanej w notce katalogowej wartości rezystora R2 i znanej wartości oczekiwanej wartości napięcia wyjściowego dobrałem wartość rezystorów równe:

**R3 = 240 kΩ**- wartość dobrana na podstawie równania, **R2 = 1MΩ** - typowa wartość tego rezystora

$$R1 = R2 \left( \frac{V_{OUT}}{0,970 V} - 1 \right)$$

#### Kondensatory:

Kondensator wyjściowy COUT1: Tutaj umiejscowiłem kondensator elektrolityczny o dużej pojemności znamionowej 220 uF.

Kondensator wejściowy CN1: zgodnie z notą katalogową na wejściu powinny znajdować się trzy małe kondensatory elektrolityczne 1uF, 1uF, 2,2uF w małych obudowach 0402, 0603.

#### Wybranie częstotliwości kluczkowania:

Za pomocą rezystora RT o wartości 43kΩ ustawiłem częstotliwość kluczkowania na 1MHz, według noty katalogowej przy tej częstotliwości można uzyskiwać sprawności zbliżone do maksymalnych.

Na podstawie danych od producenta określiłem, że z tą częstotliwością układ będzie działał poprawnie.

#### Indukcyjność:

Korzystając z dwóch niżej opisanego równania wybrałem wartość indukcyjności cewki

$$L = \left( \frac{V_{out} + V_{SW(bot)}}{f_{sw}} \right) = 3,6 \mu H, \text{ zdecydowałem się jednak dać cewkę o indukcyjności większej tj. } 4,7 \mu H$$

**MODEL: 7443320470 PRODUCENT: WURTH ELEKTRONIK**

$L = 4,7\mu\text{H}$ ,  $I_{\text{sat}} = 15,6\text{ A}$   $I_{\text{max}} = 15,5\text{ A}$

Pozostałe kontakty: (zgodnie z aplikacją układu jako sterownik step-down)

Pg- nieużywany, Tr/SS – zwarty do masy poprzez kondensator o wartości 1pF, INTVcc-Sync/Mode – zwarte ze sobą. Vc – dołączone do masy poprzez rezystor 8.2k, kondensator 330 pF.

Wyniki symulacji:

- Sprawność 95%
- Tętnienia napięcia wyjściowego 213 mV
- Tętnienia napięcia wejściowego –
- Napięcie wyjściowe (układ obciążony) 4.986 V
- Napięcie wyjściowe (układ nieobciążony) 5,004 V

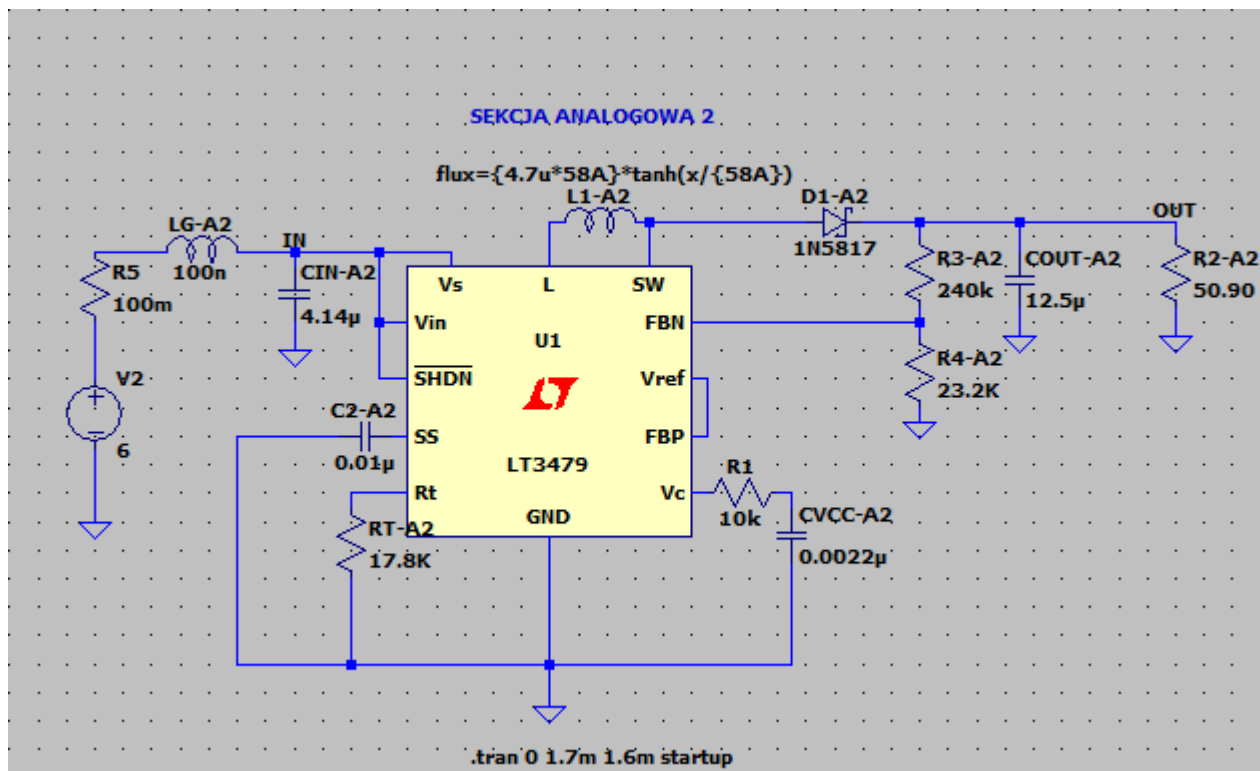
**Wnioski:**

Tętnienia napięcia wyjściowego są akceptowalne. Tętnienia napięcia wyjściowego są zbyt wysokie.

Sprawność osiągnęła zamierzony poziom, jednak należy zmodyfikować układ w celu minimalizacji tętnień napięcia wejściowego.

## SEKCJA ANALOGOWA 2

### Boost



Priorytetem przy projektowaniu tej sekcji układu było uzyskanie jak najniższych tętnień napięcia wyjściowego.

#### Użyty sterownik: LT3479

Zdecydowałem się na wybór tego układu, ponieważ według producenta zapewnia on parametry zgodne z założeniami projektowymi dla tej sekcji.

Maksymalne parametry dla tego układu:

- $I_{OUT} = 3A$
- Zakres napięcia wejściowego 3V-42V

#### Wykorzystane podzespoły wraz z uzasadnieniem wyboru:

##### Rezystory:

Na podstawie poniżej podanej zależności, oraz sugerowanej w nocie katalogowej wartości rezystora R1 i znanej wartości oczekiwanej wartości napięcia wyjściowego dobrałem wartość rezystorów równe:

**R1 = 22kΩ, R2 = 23.2kΩ (Szeregowe połączenie dwóch rezystorów z szeregu E24)**

$$V_{out} = 1,235 V \left(1 + \frac{R3}{R4}\right)$$

##### Dioda:

Wiedząc, że maksymalny średniego prądu diody musi być większy od prądu wyjściowego, oraz, że napięcie przebicia musi być większe od napięcia wejściowego zdecydowałem się na diodę:

**Model: 1N5817  $V_r = 20$   $I_{AVG} = 1A$**

##### Wybranie częstotliwości kluczowania:

Za pomocą rezystora RT o wartości 18kΩ ustawiłem częstotliwość kluczowania na 1MHz. Jest to typowa wartość w tego typu aplikacjach.

##### Indukcyjność:

Według producenta indukcyjność o wartości 4.7uH wystarcza do typowych aplikacji tego układu.

Wybrałem cewkę:

**Model: 74439370047 Producent: Würth Elektronik Indukcyjność 4.7uH**

Ma ona dużą wartość natężenia prądu nasycenia 58 A: co jest cechą pożądaną.

Podczas pomiarów w symulacji prąd cewki nie przekroczył wartości maksymalnej – 17A.



**Kondensatory:**

Kondensator wyjściowy  $C_{OUT1}$ :

**22uF**,  $C$  efektywna = 11uF,  $U_{PRACY} = 16\text{ V}$   $ESL=0.650\text{nH}$   $ESR=2\text{m}\Omega$

Kondensator wejściowy  $C_{IN1}$ : **4.7uF**,  $C$  efektywna = 4.14 uF  $U_{PRACY} = 25\text{ V}$   $ESL=1.2\text{nH}$   $ESR=8.9\text{m}\Omega$

Kondensator SS; **100pF** – „wysterowania soft startu” wartość z noty katalogowej.

Kontakty  $V_c, V_{ref}, FBP, FBN$ , zostały dołączone do reszty układu zgodnie z notą katalogową, dla układu „**5V-12V BOOST CONVERTER**”.

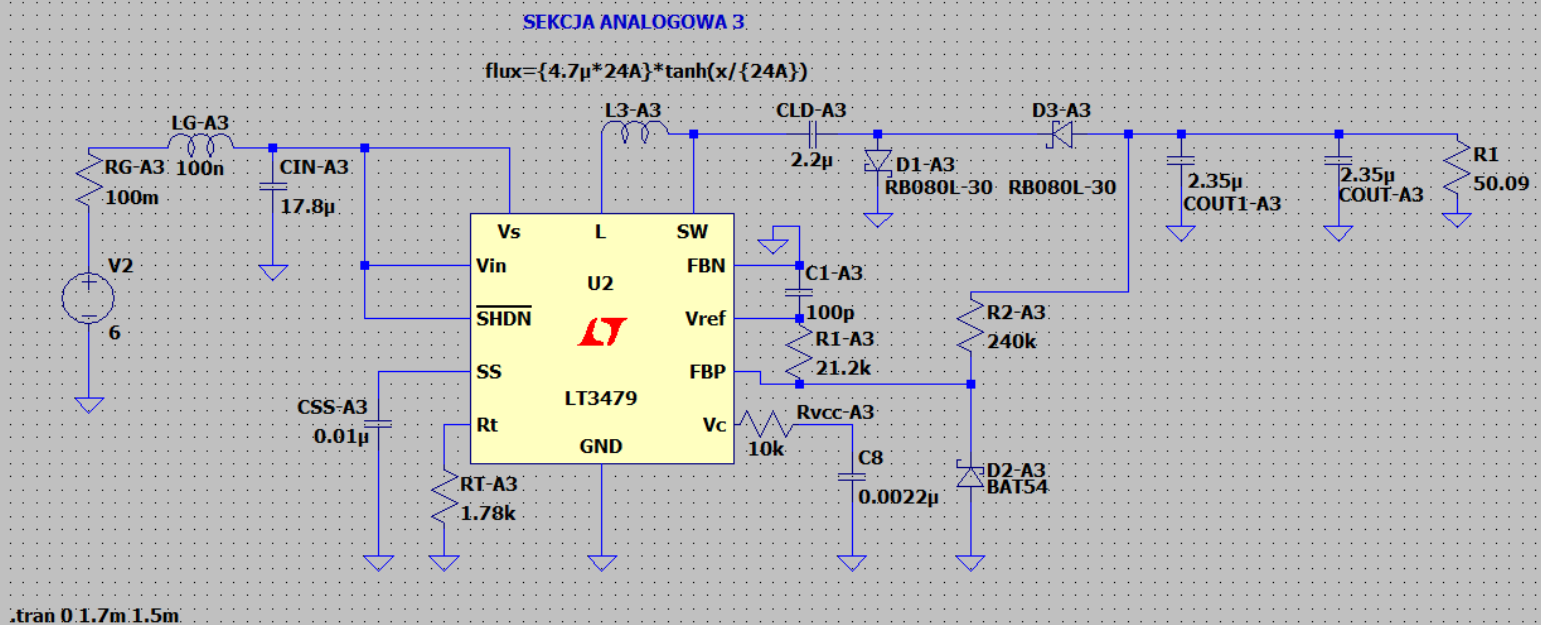
**Wyniki symulacji:**

- Sprawność 94,1%
- Tętnienia napięcia wyjściowego 21
- Tętnienia napięcia wejściowego 316mV
- Napięcie wyjściowe (układ obciążony) 13.992V
- Napięcie wyjściowe (układ nieobciążony) 14.654 V

**Wnioski:**

Układ działa poprawnie tętnienia są akceptowalne, zarówno wejściowe jak i wyjściowe, niestety napięcie układu nieobciążonego różni się o 0.6 V od napięcia wyjściowego układu nieobciążonego.

## SEKCCJA ANALOGOWA 3 INVERTING-BOOST



Priorytetem przy projektowaniu tej sekcji układu było uzyskanie jak najniższych tętnień napięcia wyjściowego.

### Użyty sterownik: LT3479

Zdecydowałem się na wybór tego układu, ponieważ według producenta zapewnia on parametry zgodne z założeniami projektowymi dla tej sekcji.

Maksymalne parametry dla tego układu:

- $I_{OUT} = 3A$
- Zakres napięcia wejściowego 3V-42V

### Wykorzystane podzespoły wraz z uzasadnieniem wyboru:

#### Rezystory:

Na podstawie poniżej podanej zależności, oraz sugerowanej w nocie katalogowej wartości rezystora R1 i znanej wartości oczekiwanej wartości napięcia wyjściowego dobrałem wartość rezystorów równe:

$$R1 = 21.2 \text{ k}\Omega, R2 = 240 \text{ k}\Omega$$

$$V_{out} = -1,235 \left( \frac{R2}{R1} \right)$$

#### Diody:

Napięcie przebicia diody powinno być większe lub równe od maksymalnego napięcia wyjściowego, ich maksymalny prąd średni powinien być większy od średniego prądu wyjściowego

Mój wybór to diody:

**MODEL:** RB80L-30,  $I_{AVG}=5A$ ,  $V_r=30V$

#### Indukcyjność:

Według producenta indukcyjność o wartości 4.7uH wystarcza do typowych aplikacji tego układu.

Wybrałem cewkę: **Model: 74439370047 Producent: Würth Elektronik Indukcyjność 4.7uH**

Ma ona dużą wartość natężenia prądu nasycenia 58 A: co jest cechą pożądaną

Podczas pomiarów w symulacji prąd cewki nie przekroczył wartości maksymalnej – 17A

#### Wybranie częstotliwości kluczowania:

Za pomocą rezystora RT o wartości 18kΩ ustawiłem częstotliwość kluczowania na 1MHz. Jest to typowa wartość w tego typu aplikacjach.

**Kondensatory:**

Kondensator wyjściowy  $C_{OUT1}$ : Dwa równoległe kondensatory o pojemnościach znamionowych 4.7uF i napięciu pracy 16 V, czyli  $C_{efektywna} = 2.35\mu F$ ,  $ESL = 259.969pH$   $ESR = 4.7m\Omega$

Kondensator wejściowy  $C_{IN}$ :

Kondensator SS; **100pF** – do wysterowania „soft startu” wartość pochodzi z noty aplikacyjnej.

**Wyniki symulacji:**

- Sprawność: 74%
- Tętnienia napięcia wyjściowego: 124mV
- Tętnienia napięcia wejściowego: 1 mV
- Napięcie wyjściowe (układ obciążony): -14.446 V
- Napięcie wyjściowe (układ nieobciążony): -13.953V

Kontakty:  $V_c$ ,  $V_{ref}$ ,  $FBP$ ,  $FBN$ , zostały dołączone do reszty układu tak jak pokazuje to nota katalogowa, dla układu 5V-5V SIMPLIFIER INVERTER.

**Wnioski:**

Układ działa poprawnie tętnienia są akceptowalne, zarówno wejściowe jak i wyjściowe, niestety napięcie wyjściowe dla układu z obciążeniem i bez różnią się dość znacząco.

**Podsumowanie:**

Podczas realizacji projektu zauważyłem, że dużą trudność sprawiło mi dobranie odpowiednich kondensatorów wyjściowych, ponieważ ESL,ESR często uniemożliwiały wygładzenie tętnień.

Również zastosowanie bardzo dużej pojemności nie było najlepszym pomysłem, ponieważ znacznie zwiększało czas potrzebny do ustabilizowania się napięcia wyjściowego. Jednocześnie wybór typu kondensatora nie był bez znaczenia, w większości używałem kondensatorów ceramicznych ze względu na ich niskie ESL,ESR.

Dobór cewki okazał się nieco łatwiejszy, ponieważ nie było narzuconych ograniczeń występujących w realnych zastosowaniach, takie jak wielkość oraz cena. Ważną rolę w stabilności układu odgrywa prąd nasycenia się rdzenia cewki(ogranicza jej efektywność przy dużych natężeniach prądu), oraz jej składowe pasożytnicze.

W każdej sekcji doбираłem model cewki tak, aby jej prąd maksymalny „**Peak current**” oraz „**Max avg current**” nie był przekroczony.