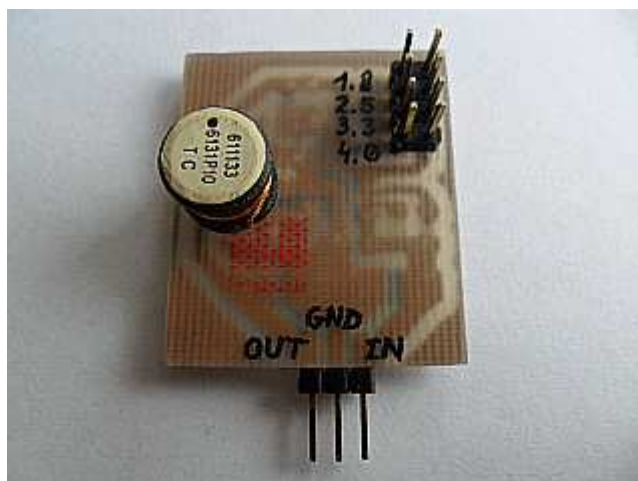


ModSDC 1.01

© 2022 by RomanWorkshop

<http://romanworkshop.blutu.pl/>

Moduł przetwornicy obniżającej napięcie



Jest to przetwornica obniżająca (step-down) napięcie wejściowe $V_{in}=3.6-18V$ do wartości $V_{out}=1.8/2.5/3.3/4/5V$ wybieranej zworką (zakres $V_{out}=0.8-V_{in}$), o wydajności prądowej do 2A. Moduł wykorzystuje układ LSP3130 firmy LiteOn (odpowiednik FSP3130 firmy FosLink), czyli kompletny regulator przełączający ze sterowaniem PWM (0-100%). Zawiera on wbudowane źródło napięcia odniesienia, oscylator przełączający (300 kHz), wzmacniacz błędów, tranzystor przełączający MOSFET-P (high-side switch), obwód miękkiego startu (soft-start), zabezpieczenie nadprądowe/zwarciowe (OCP/SCP), nisko-napięciowe (UVLO) i termiczne (TSD) oraz cyfrowe wejście włączające/wyłączające pracę przetwornicy.

Układ ten nie jest już produkowany, ale był montowany i można go znaleźć w starych urządzeniach elektronicznych (lata 2007-2011), takich jak: płyty główne komputerów PC, monitory LCD, karty graficzne, odtwarzacze DVD, sprzęt telekomunikacyjny, modemy ADSL, routery, drukarki i inne peryferia, tunery telewizyjne, źródła zasilania systemów mikroprocesorowych i sieciowych. Ja swój egzemplarz pozyskałem ze starego routera wifi (2009 rok), w którym znajdowały się dwa takie układy pracujące w przetwornicach o napięciu wyjściowym 1.8V i 3.3V.

Układ U1 pracuje w swojej typowej aplikacji, ale z dodanym obwodem wybierania wartości napięcia wyjściowego V_{out} zworkami J1-J4. Rezystory R1 ($R1||R1a||R1b||R1c||R1d$) i R2 ($R2a||R2b = 1938.75$ omów) ustalają napięcie wyjściowe V_{out} przetwornicy według wzoru: $V_{out} = V_{fb} \cdot (1 + R1/R2)$, gdzie V_{fb} to napięcie odniesienia ze źródła układu, wynoszące 0.784-0.816V (zwykle 0.8V) w zależności od egzemplarza układu (występuje na wejściu FB - pin 1). Przy wartości $R1=10k$ (brak założonych zworek) napięcie wyjściowe $V_{out}=4.92V$ (5V). Założenie zworki J1/J2/J3/J4 powoduje równoległe dołączenie rezystora R1a/R1b/R1c/R1d do rezystora R1, a tym samym zmniejszenie rezystancji wypadkowej R1 i obniżenie napięcia wyjściowego V_{out} do wartości 1.82V (1.8V)/2.47V (2.5V)/3.27V (3.3V)/3.96V (4V). Obliczona wartość napięcia wyjściowego V_{out} jest przybliżona i zależy od wartości napięcia V_{fb} układu, tolerancji rezystorów R1/R1a-R1d/R2a-R2b (najlepiej 1%) oraz prądu wyjściowego I_{out} przetwornicy. Jednocześnie tylko jedna zworka J1-J4 powinna być założona, aby uzyskać nominalne wartości napięcia wyjściowego V_{out} .

Dołączony równolegle do rezystora R1 kondensator C3 jest opcjonalny, ale zwiększa stabilność pracy przetwornicy przy niskich napięciach V_{in}/V_{out} , napięciu V_{out} powyżej 10V oraz w przypadku użycia kondensatorów wyjściowych, o niskiej rezystancji szeregowej ESR (np. tantalowych). Może to być kondensator dowolnego typu, ale lepiej nie stosować ceramicznego wykonanego z materiału Y5V/Z5U (ma bardzo niestabilne parametry).

Dioda D1 poprawia sprawność pracy przetwornicy dostarczając prąd do cewki L1, gdy tranzystor przełączający MOSFET jest wyłączony. Dioda ta powinna mieć możliwie krótki czas przełączania i niskie napięcie przewodzenia (V_f). Ponadto zaleca się, aby jej maksymalne napięcie wsteczne (V_r) i prąd przewodzenia (I_f) były o ok. 25% wyższe, niż maksymalne napięcie wejściowe V_{max} i prąd wyjściowy I_{max} przetwornicy. Dodatkowo, jeśli dioda ma wytrzymać ciągłe zwarcie wyjścia, to jej prąd przewodzenia (I_f) musi być równy maksymalnemu prądowi granicznemu I_{sd} przetwornicy, który jest ustawiany rezystorem R3. Najlepiej w tym zastosowaniu sprawdzają się diody Shottky. Płytką jest przystosowana do montażu diod SK/SL/SS 12/13/14 (20/30/40V 1A, SMA/DO-214AC), SK/SL/SS 22/23/24 (20/30/40V 2A, SMB/DO-214AA) lub LL/SM 5817/5818/5819 (20/30/40V 1A, MELF/DO-213AB). W modelowej przetwornicy użyłem diody SS24.

Cewka L1 gromadzi i dostarcza do obciążenia prąd wyjściowy I_{out} , którego tętnienia I_{rip} zależą od jej indukcyjności: im większa, tym mniejsze tętnienia prądu I_{out} i napięcia V_{out} . Jednak większa indukcyjność oznacza zwiększenie wymiarów i rezystancji cewki oraz zmniejszenie jej prądu nasycenia I_{sat} . Zaleca się obliczanie indukcyjności cewki L1 tak, aby powstające w niej tętnienia prądu wyjściowego stanowiły ok. 30% maksymalnego prądu wyjściowego I_{max} przetwornicy: $I_{rip} = I_{max} \cdot K_{rip}$, $L1 = V_{out} \cdot (1 - V_{out}/V_{max}) / (F_{sw} \cdot I_{rip})$, gdzie $K_{rip} = 0.3$ - współczynnik tętnienia prądu wyjściowego (30%), I_{max} - maksymalny prąd wyjściowy, V_{out} - napięcie wyjściowe, V_{max} - maksymalne napięcie wejściowe, F_{sw} - częstotliwość oscylatora przełączającego, wynosząca 240-360 kHz (zwykle 300 kHz) w zależności od egzemplarza układu. Maksymalny prąd szczytowy I_{pk} cewki L1 można obliczyć ze wzoru: $I_{pk} = I_{max} \cdot (1 + K_{rip}/2)$. Musi on być mniejszy niż maksymalny prąd graniczny I_{sd} przetwornicy, który jest ustawiany rezystorem R3. Prąd nasycenia I_{sat} użytej cewki L1 musi być większy, niż obliczony dla niej prąd szczytowy I_{pk} (cewka nie może się nasycać). Indukcyjność cewki L1 powinna wynosić 22-47uH, a jej rezystancja 50-150 miliomów. W modelowej przetwornicy użyłem cewki 33uH/2A.

Kondensatory C4 i C5 tworzą pojemność wyjściową C_{out} , wpływającą na tętnienia V_{rip} napięcia wyjściowego V_{out} , które można obliczyć ze wzoru: $V_{rip} = I_{rip} \cdot (C_{esr} + 1/(8 \cdot F_{sw} \cdot C_{out}))$, gdzie I_{rip} - tętnienia prądu wyjściowego, C_{esr} - rezystancja szeregową ESR pojemności wyjściowej, F_{sw} - częstotliwość oscylatora przełączającego, wynosząca 240-360 kHz (zwykle 300 kHz) w zależności od egzemplarza układu, C_{out} - pojemność wyjściowa. Ich nominalne napięcie pracy powinno być, co najmniej równe maksymalnemu napięciu wyjściowemu V_{out} przetwornicy. Zaleca się, aby pojemność wyjściowa C_{out} miała jak najmniejszą rezystancję szeregową ESR: im mniejsza, tym mniejsze tętnienia napięcia V_{out} . Najlepiej w tym zastosowaniu sprawdzają się kondensatory ceramiczne MLCC (Multi-Layer Ceramic Capacitor) wykonane z materiału X5R/X7R, które dodatkowo eliminują szумы wysokiej częstotliwości powstające podczas przełączania. Pojemność wyjściowa C_{out} powinna wynosić 100-470uF i mieć rezystancję szeregową ESR 100-250 miliomów.

Kondensatory C1 i C2 tworzą pojemność wejściową C_{in} , która zapewnia stabilne napięcie wejściowe V_{in} podczas przełączania. Ich nominalne napięcie pracy powinno być, co najmniej równe maksymalnemu napięciu wejściowemu V_{max} przetwornicy. Nominalny chwilowy prąd skuteczny (RMS ripple current) tych kondensatorów, powinien być większy od połowy maksymalnego prądu wyjściowego I_{max} przetwornicy. Zaleca się, aby pojemność wejściowa C_{in} miała jak najmniejszą rezystancję szeregową ESR. Najlepiej w tym zastosowaniu sprawdzają się kondensatory ceramiczne MLCC, wykonane z materiału X5R/X7R. Pojemność wejściowa C_{in} powinna wynosić 100-470uF i mieć rezystancję szeregową ESR 100-250 miliomów.

Rezystor R3 włączony między plusem napięcia wejściowego V_{in} i wejściem OC (pin 3) układu, ustala maksymalny prąd graniczny I_{sd} przetwornicy, po przekroczeniu którego włączy się zabezpieczenie nadprądowe OCP (Over Current Protection). Spowoduje ono obniżenie prądu wyjściowego przez zmniejszenie częstotliwości oscylatora przełączającego z 300 kHz do 50 kHz. Taki sam efekt wystąpi, gdy włączy się zabezpieczenie zwarcia SCP (Short Circuit Protection). Wartość prądu I_{sd} można obliczyć ze wzoru: $I_{sd} = (I_{oc} \cdot R3) / R_{on}$, gdzie I_{oc} to prąd odniesienia ze źródła układu, wynoszący 75-105uA (zwykle 90uA) w zależności od egzemplarza układu; R_{on} to rezystancja włączonego tranzystora przełączającego MOSFET, wynosząca 70-150 miliomów w zależności od napięcia V_{in} i egzemplarza układu (można przyjąć typowo 100 miliomów). Obliczona wartość prądu I_{sd} jest przybliżona i zależy od wartości prądu I_{oc} układu, rezystancji R_{on} włączonego tranzystora przełączającego MOSFET oraz tolerancji rezystora R3 (dla $R3=4.7k$ prąd I_{sd} wynosi ok. 2A). Prąd I_{oc} przepływający przez rezystor R3 powoduje powstawanie na nim spadku napięcia $V_{dr} = I_{oc} \cdot R3$, a tym samym ustalenie napięcia $V_{oc} = V_{in} - V_{dr}$ na wejściu OC układu. Jeśli napięcie sterujące PWM jest niższe od napięcia V_{oc} , włącza się zabezpieczenie nadprądowe OCP.

Wejście EN (pin 2) układu do włączania/wyłączania przetwornicy jest podciągnięte rezystorem R4 do plusa napięcia wejściowego V_{in} , aby wymusić na nim wysoki stan logiczny (minimum 2V, powyżej 20uA) i automatycznie rozpocząć działanie przetwornicy. Aby wyłączyć przetwornicę, należy na wejściu EN wymusić niski stan logiczny (maksymalnie 0.8V, powyżej 10uA), co spowoduje wyłączenie tranzystora przełączającego MOSFET oraz całkowite zatrzymanie działania przetwornicy (pobór

prądu przez układ spada do ok. 10uA). Podobny efekt wystąpi, gdy włączy się zabezpieczenie termiczne TSD (Thermal ShutDown) po osiągnięciu przez strukturę krzemową układu temperatury granicznej (Tsd), która wynosi ok. 150 stopni Celsjusza. Po obniżeniu się temperatury układu do ok. 125 stopni Celsjusza, przetwornica wróci do normalnej pracy. Jeśli napięcie wejściowe Vin spadnie poniżej 3.3V, włączy się zabezpieczenie nisko-napięciowe UVLO (Under Voltage LockOut). Spowoduje ono, że tranzystor przełączający MOSFET pozostanie wyłączony do momentu, gdy napięcie Vin osiągnie wartość powyżej 3.5V - wtedy przetwornica wróci do normalnej pracy.

Przy projektowaniu płytki drukowanej należy przestrzegać kilku zasad, które zmniejszą poziom zakłóceń emitowanych przez przetwornicę oraz zwiększą jej ogólną sprawność i niezawodność działania. Kondensator wejściowy/wyjściowy Cin/Cout, cewka L1, dioda D1 i rezystory R1/R2 powinny znajdować się jak najbliżej wyprowadzeń układu. Ścieżki łączące te elementy muszą być jak najkrótsze i możliwie szerokie. Dotyczy to zwłaszcza ścieżek VIN/SW/VOOUT, przez które przepływają duże prądy przemienne (AC).

Jeśli pojemność wejściową Cin tworzą dwa kondensatory, to ceramiczny 100nF trzeba umieścić jak najbliżej wyprowadzeń VIN/GND układu, a połączony z nim równolegle tantalowy/elektrolityczny może być bardziej oddalony. Rezystory R1/R2 oraz ścieżki łączące je z wyprowadzeniem FB układu i napięciem wyjściowym Vout, powinny znajdować się jak najdalej od cewki L1 oraz ścieżek napięcia wejściowego Vin i węzła przełączającego. Węzeł przełączający to ścieżka łącząca cewkę L1 i katodę diody D1 z wyprowadzeniem SW układu (powinna mieć jak najmniejszą powierzchnię). Jeśli pojemność wyjściową Cout tworzą dwa kondensatory, to ceramiczny 100nF trzeba umieścić jak najbliżej cewki L1 i wyprowadzenia GND układu, a połączony z nim równolegle tantalowy/elektrolityczny może być bardziej oddalony.

Sprawność opisywanej przetwornicy zależy od kilku czynników (napięcie Vin/Vout, prąd wyjściowy Iout), ale zwykle wynosi powyżej 80%. Moduł przetwornicy zmontowałem na płytce jednostronnej o wymiarach 30x35mm, wykonanej metodą transferu chemicznego.

Spis elementów:

REZYSTORY:

R1 - 10 kΩ
R1A, R2A - 3.3 kΩ
R1B - 6.8 kΩ
R1C - 15 kΩ
R1D - 33 kΩ
R2B, R3 - 4.7 kΩ
R4 - 47 kΩ

KONDENSATORY:

C1 - 100 uF/25V
C2 - 100 nF/25V
C3 - 1 nF (opcjonalny)
C4 - 100 nF/10V
C5 - 100 uF/10V

CEWKI:

L1 - 33uH (patrz opis)

DIODY:

D1 - SS24 (patrz opis)

UKŁADY SCALONE:

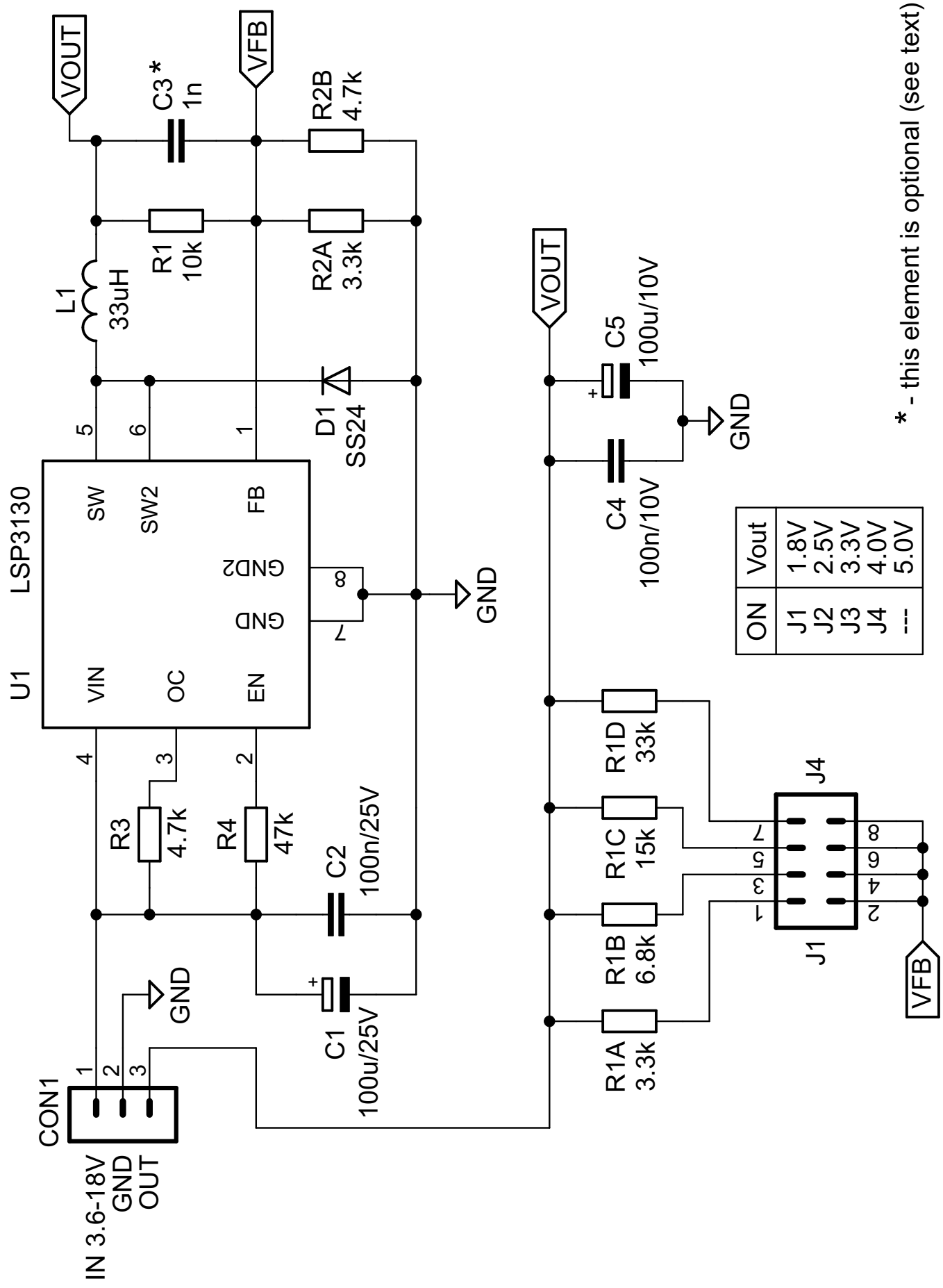
U1 - LSP3130 (SO8)

ZŁĄCZA:

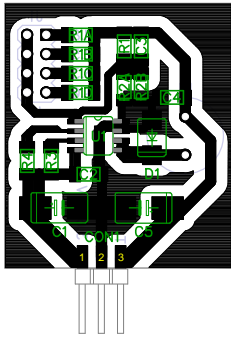
CON1 - goldpin 3x1 (męskie)

ZWORKI:

J1-J4 - goldpin 2x1 (męskie)



* - this element is optional (see text)



1 - IN
2 - GND
3 - OUT

