

1 Zadání

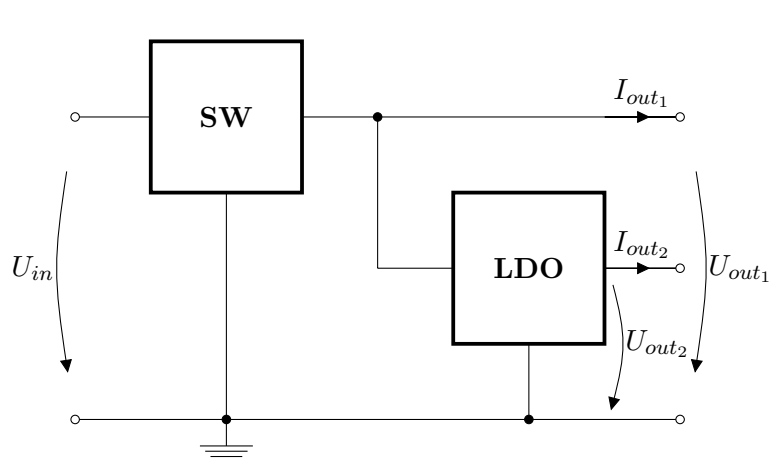
$$U_{in} = (18 \div 32) V$$

$$U_{out1} = 9 V$$

$$I_{out1} = 2,4 A$$

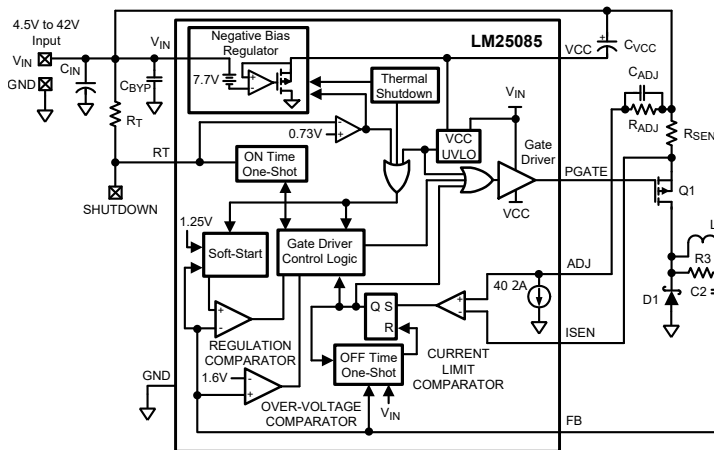
$$U_{out2} = 5 V$$

$$I_{out2} = 0,5 A$$

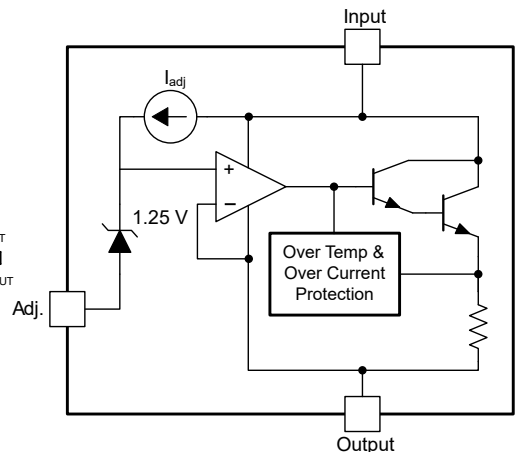


Obrázek 1: Blokové schéma zdroje

2 Vybrané integrované obvody



Obrázek 2: Blokové schéma LM25085

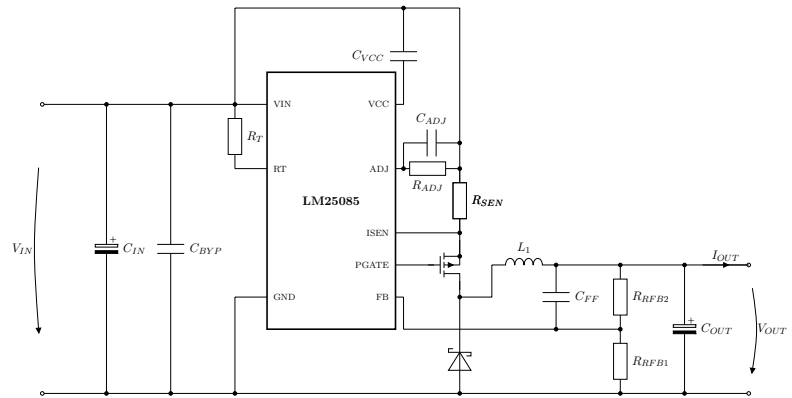


Obrázek 3: Blokové schéma LM317

LM25085 je regulátor PFET tranzistorů učený do spínaných snižujících měničů s vysokou účinností (buck). Naproti tomu LM317 je notoricky známý integrovaný obvod určený především jako lineární stabilizátor napětí, popřípadě drobnou úpravou okolních součástek a zapojení jako zdroj stabilního proudu.

3 Výpočty hodnot součástek pro LM25085 PFET kontrolér

$$\begin{aligned} V_{IN} &= (18 \div 32) V \\ V_{IN} &= \frac{18 + 32}{2} = 25 V \\ V_{OUT} &= 9 V \\ I_{OUT} &= I_{out1} + I_{out2} \\ I_{OUT} &= 2,4 + 0,5 \doteq 3 A \\ F_{SW} &= 300 kHz \\ V_{RIPPLE} &= 5 mV_{pp} \end{aligned}$$



Obrázek 4: Snižující spínaný měnič

Výpočet střídý spínání:

$$D = \frac{V_{OUT}}{V_{IN}} = \frac{t_{ON}}{t_{ON} + t_{OFF}} = t_{ON} \cdot F_S = \begin{cases} \frac{9}{18} = \underline{\underline{0,5}} \\ \frac{9}{25} = \underline{\underline{0,36}} \\ \frac{9}{32} \doteq \underline{\underline{0,28}} \end{cases}$$

Výpočet doby otevření PFETu:

$$t_{ON} = \frac{D}{F_S} = \frac{V_{OUT}}{V_{IN} \cdot F_S} \begin{cases} \frac{9}{18 \cdot 300 \cdot 10^3} \doteq \underline{\underline{1,667 \mu s}} \\ \frac{9}{25 \cdot 300 \cdot 10^3} = \underline{\underline{1,2 \mu s}} \\ \frac{9}{32 \cdot 300 \cdot 10^3} = \underline{\underline{937,5 ns}} \end{cases}$$

Výpočet děliče zpětné vazby: R_{FB1} zvolím $1 k\Omega$

$$R_{FB2} = \left(\frac{V_{OUT}}{1,25} - 1 \right) \cdot R_{FB1} = \left(\frac{9}{1,25} - 1 \right) \cdot 10^3 = \underline{\underline{6,2 k\Omega}}$$

Výpočet výstupního napětí:

$$V_{OUT} = 1,25 \cdot \left(\frac{R_{FB1} + R_{FB2}}{R_{FB1}} \right) = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{R_{FB2}}{R_{FB1}} \right) = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{6,2}{1} \right) = \underline{\underline{9 V}}$$

Výpočet kondenzátoru zpětné vazby:

$$C_{FF} = \frac{3 \cdot T_{on(max)}}{R_{BF1} \cdot R_{BF2}} = \frac{3 \cdot 1,667 \cdot 10^{-6}}{1 \cdot 10^3 \cdot 6,2 \cdot 10^3} = 5,8 nF \doteq \underline{\underline{6,8 nF}}$$

Velikost rezistoru R_T nastavuje spínací frekvenci: R_T je v $k\Omega$

$$\begin{aligned} R_T &= \frac{V_{OUT} \cdot (V_{IN} - 1,56)}{1,45 \cdot 10^{-7} \cdot V_{IN} \cdot F_S} - \frac{t_D \cdot (V_{IN} - 1,56)}{1,45 \cdot 10^{-7}} - 1,4 \\ R_T &= \frac{9 \cdot (25 - 1,56)}{1,45 \cdot 10^{-7} \cdot 25 \cdot 300 \cdot 10^3} - \frac{t_D \cdot (25 - 1,56)}{1,45 \cdot 10^{-7}} - 1,4 = 193,016 k\Omega \doteq \underline{\underline{180 k\Omega}} \end{aligned}$$

Výpočet vyhlazovací cívky:

$$L_1 = \frac{t_{ON(min)} \cdot (V_{IN(max)} - V_{OUT})}{0,2 \cdot I_{OUT}} = \frac{937,5 \cdot 10^{-9} \cdot (32 - 9)}{0,2 \cdot 3} \doteq \underline{\underline{36 \mu H}}$$

Vzhledem k toleranci nominální hodnoty vyráběných cívek zvolím cívku 47 μH abych měl rezervu, pokud bude hodnota cívky v dolní části tolerančního pásma.

Výpočet vyhlazovacího kondenzátoru:

$$C_{OUT} = \frac{0,2 \cdot I_{OUT}}{8 \cdot F_S \cdot V_{RIPPLE}} = \frac{0,2 \cdot 3}{8 \cdot 300 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = 50 \mu F \doteq \underline{\underline{68 \mu F}}$$

Vzhledem k tomu, že tento kondenzátor je na výstupu spínaného měniče kde se výstupní napětí pohybuje okolo 9 V, tak tento kondenzátor by měl být dimenzován minimálně na 16 V pro jistotu na 20 V.

Výpočet vstupního kondenzátoru:

$$C_{IN} + C_{BYP} = \frac{I_{OUT} \cdot t_{ON(max)}}{\Delta V} = \frac{3 \cdot 1,667 \cdot 10^{-6}}{0,5} \doteq \underline{\underline{10 \mu F}}$$

C_{BYP} zvolím podle doporučení datasheetu jako 1 μF a C_{IN} zvolím jako 10 μF na 50 V, protože vstupní napětí může být až 32 V.

Výpočet zvlnění proudu:

$$\Delta I = \frac{t_{ON(min)} \cdot (V_{IN(max)} - V_{OUT})}{L_1} = \frac{937,5 \cdot 10^{-9} \cdot (32 - 9)}{47 \cdot 10^{-6}} \doteq \underline{\underline{459 mA}}$$

Velikost minimální hodnoty proudové limitace:

$$I_{CL(min)} = I_{OUT} + \frac{\Delta I}{2} = 3 + \frac{0,459}{2} \doteq \underline{\underline{3,25 A}}$$

Výpočet minimálního proudového limitu se započítanou chybou offsetu komparátoru:

$$I_{CL(min)offset} = I_{CL(min)} + \frac{9 \cdot 10^{-3}}{R_{SEN}} = 3,25 + \frac{9 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-3}} = \underline{\underline{4,15 A}}$$

Výpočet rezistoru R_{ADJ} :

$$R_{ADJ} = \frac{I_{CL(min)offset} \cdot R_{SEN}}{I_{ADJ(min)}} = \frac{4,15 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{32 \cdot 10^{-6}} = 1297 \Omega \doteq \underline{\underline{1,5 k\Omega}}$$

$C_{ADJ} = 1 nF$ hodnota podle doporučení v datasheetu, filtruje šum s ADJ pinu, zabraňuje nechtěnému sepnutí komparátoru.

Velikost rezistoru R_{SEN} výrobce doporučuje 10 $m\Omega$, výkonová ztráta na rezistoru je:

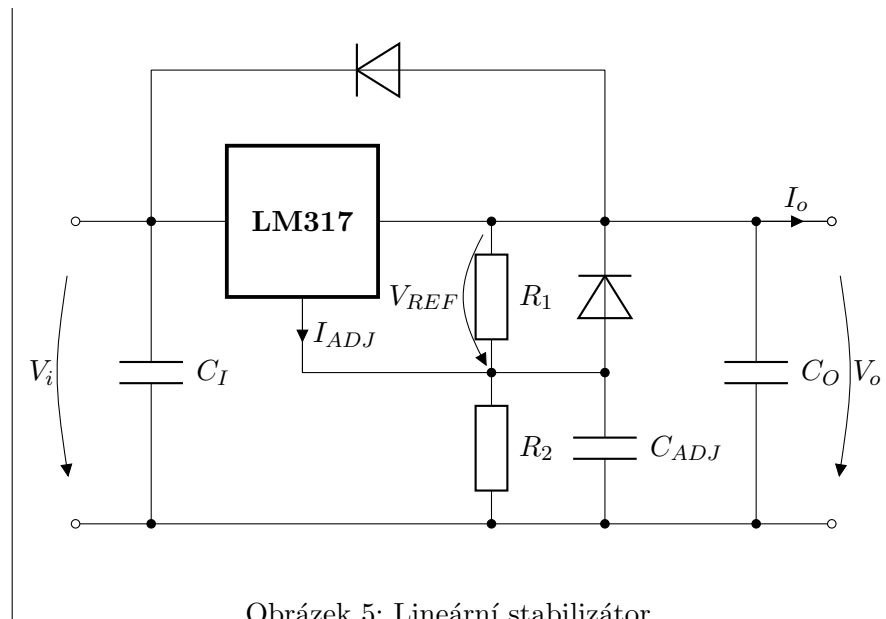
$$P_{R_{SEN}} = I_{CL(min)}^2 \cdot R_{SEN} = 3,25^2 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \doteq \underline{\underline{106 mW}}$$

Podle toho je důležité zvolit pouzdro, které snese takovéto zatížení. Vypočítané zatížení by snesl rezistor v pouzdro 0805, který vydrží 125 mW či pouzdro 1206 které vydrží do 250 mW , pro jistotu, ale volím pouzdro 1210, které vydrží výkon až 500 mW tím zajistím že součástka nebude na pokraji svých možností a bude mít dostatečnou životnost.

Hodnota kondenzátoru C_{VCC} je dle doporučení datasheetu 470 nF .

4 Výpočty hodnot součástek pro lineární stabilizátor s LM317

$$\begin{aligned} V_i &= 9 \text{ V} \\ V_o &= 4,5 \text{ V} \\ I_o &= 0,5 \text{ A} \\ V_{REF} &= 1,25 \text{ V} \\ I_{ADJ} &= 50 \text{ } \mu\text{A} \end{aligned}$$



Obrázek 5: Lineární stabilizátor

Výpočet zpětnovazebního děliče:

$$R_2 = \frac{V_o - V_{REF}}{\frac{V_{REF}}{R_1} + I_{ADJ}} = \frac{4,5 - 1,25}{\frac{1,25}{R_1} + 50 \cdot 10^{-6}}$$

K výpočtu nejpřesnější kombinace rezistorů R_1 a R_2 jsem napsal skript LM317.py, který vypočítá pro řady E3 ÷ E192 nejvhodnější kombinace rezistorů. Výsledek skriptu pro $V_o = 4,5 \text{ V}$ je uveden v tabulce.

Tabulka č. 1: Hodnoty zpětnovazebního děliče pro LM317

řada	R_1 [Ω]	R_2 [Ω]	V_o [V]
E3	100	220	4,0110
E6	680	1500	4,0824
E12	470	1200	4,5015
E24	510	1300	4,5013
E48	953	2370	4,4771
E96	562	1430	4,5021
E192	229	590	4,5000

Výpočet výstupního napětí:

$$V_o = V_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ} \cdot R_2 = 1,25 \cdot \left(1 + \frac{590}{229}\right) + 50 \cdot 10^{-6} \cdot 590 \doteq \underline{\underline{4,5 \text{ V}}}$$

Vstupní a výstupní kondenzátor mají hodnotu podle doporučení datasheetu a to: $C_i = 100 \text{ nF}$ a $C_o = 1 \text{ } \mu\text{F}$. Na C_o je možné ještě paralelně přiletovat C_{BYPASS} v pouzdru 0805 pro přemostění vysokofrekvenčního rušení. Kondenzátor pro stabilizaci napěťové reference má také hodnotu dle doporučení výrobce $C_{ADJ} = 10 \text{ } \mu\text{F}$.

5 Výpočty chlazení a výkonových ztrát

Výpočet výkonové ztráty na LM317:

$$P_{LM317} = (V_i - V_o) \cdot I_o = (9 - 4,5) \cdot 0,5 = \underline{\underline{2,25 \text{ W}}}$$

Výpočet výkonové ztráty na schottkyho diodě:

$$P_D = V_F \cdot I_{OUT} \cdot (1 - D_{(min)}) = 3 \cdot 0,455 \cdot (1 - 0,28) = \underline{\underline{962 \text{ mW}}}$$

Výpočet výkonové ztráty na PFETu:

$$P_{PFET} = V_{IN(max)} \cdot (Q_G \cdot F_S + I_{IN}) = 32 \cdot (24 \cdot 10^{-9} \cdot 300 \cdot 10^3 + 1,3 \cdot 10^{-3}) = \underline{\underline{272 \text{ mW}}}$$

Výpočet celkového tepelného odporu chlazení LM317:

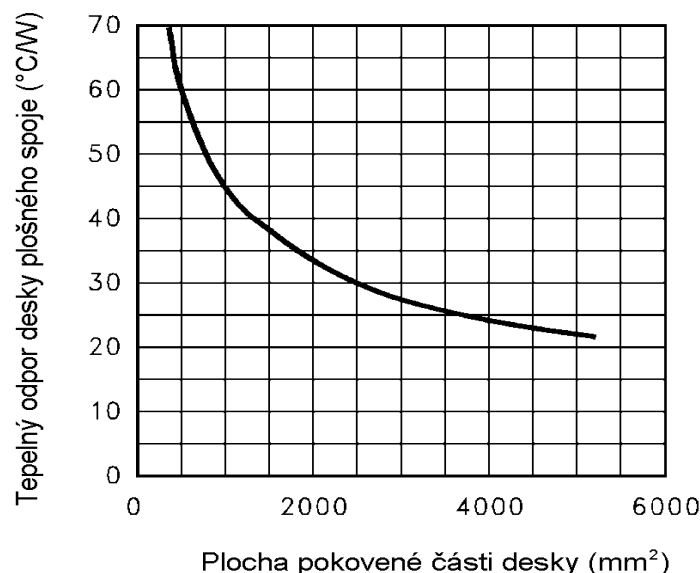
$$R_{thsys(LM317)} = \frac{\vartheta_{j(max)} - \vartheta_a}{P_{LM317}} = \frac{150 - 80}{2,25} = \underline{\underline{32 \text{ KW}^{-1}}}$$

Výpočet celkového tepelného odporu chlazení schottkyho diody:

$$R_{thsys(D)} = \frac{\vartheta_{j(max)} - \vartheta_a}{P_D} = \frac{150 - 80}{0,962} = \underline{\underline{73 \text{ KW}^{-1}}}$$

Výpočet celkového tepelného odporu chlazení PFETu:

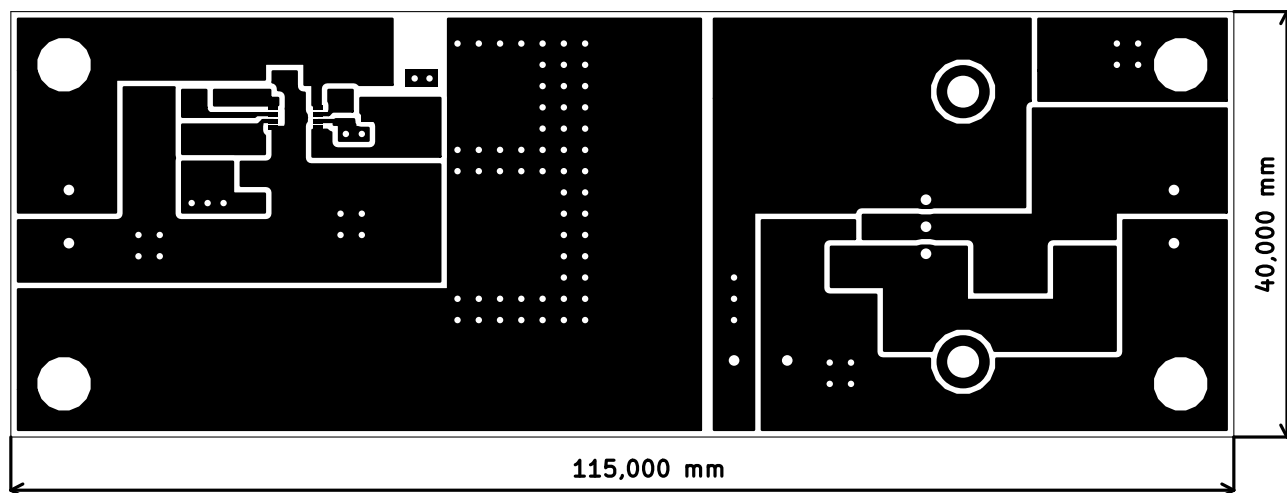
$$R_{thsys(PFET)} = \frac{\vartheta_{j(max)} - \vartheta_a}{P_{PFET}} = \frac{175 - 80}{0,272} = \underline{\underline{345 \text{ KW}^{-1}}}$$



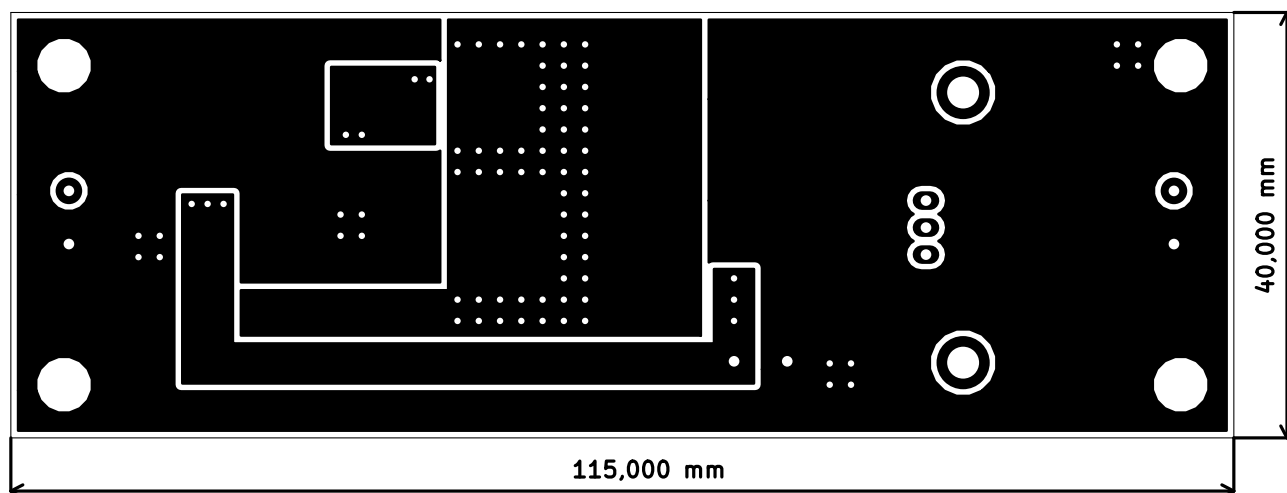
Obrázek 6: Graf závislosti tepelného odporu plošného spoje na jeho ploše

Z grafů vyplývá, že schottkyho diodu a PFET nebude problém uchlazení plošným spojem, pro LM317 ale vychází plocha mědi na můj vkus příliš velká cca $7 \text{ cm} \cdot 7 \text{ cm}$ a tak zvolím klasické chlazení hliníkovým profilem. Vybral jsem chladič s tepelným odporem 11 KW^{-1} , takže teplota křemíkového čipu LM317 by měla být nižší, než teplota maximální na kterou jsem počítal celkový tepelný odpor.

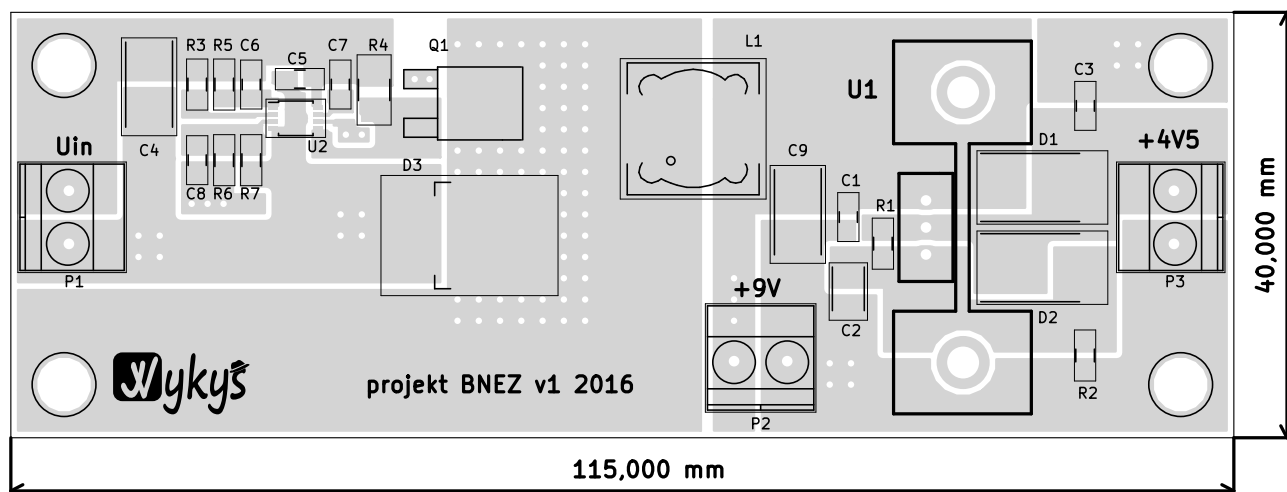
6 Realizace napájecího zdroje



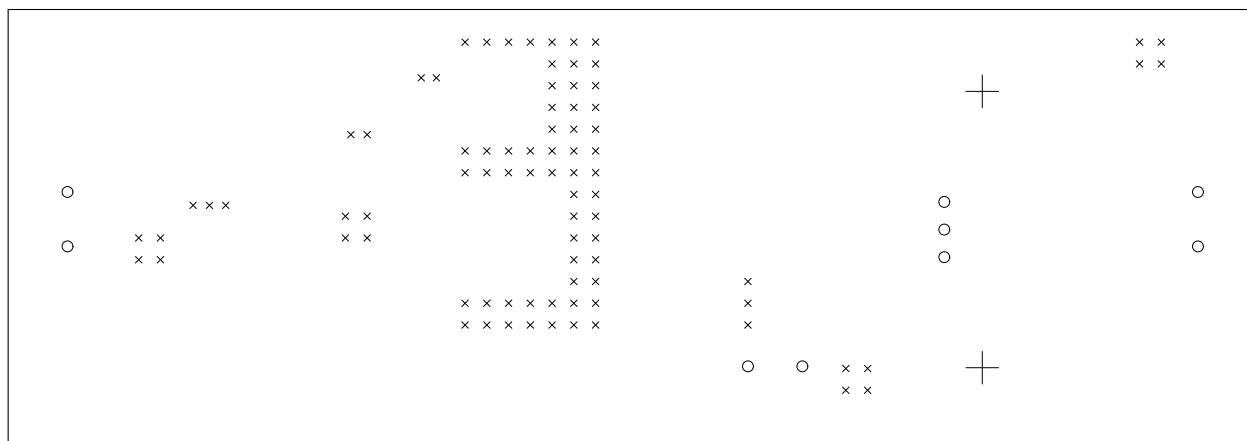
Obrázek 7: Plošný spoj vrstva součástek



Obrázek 8: Plošný spoj vrstva mědi



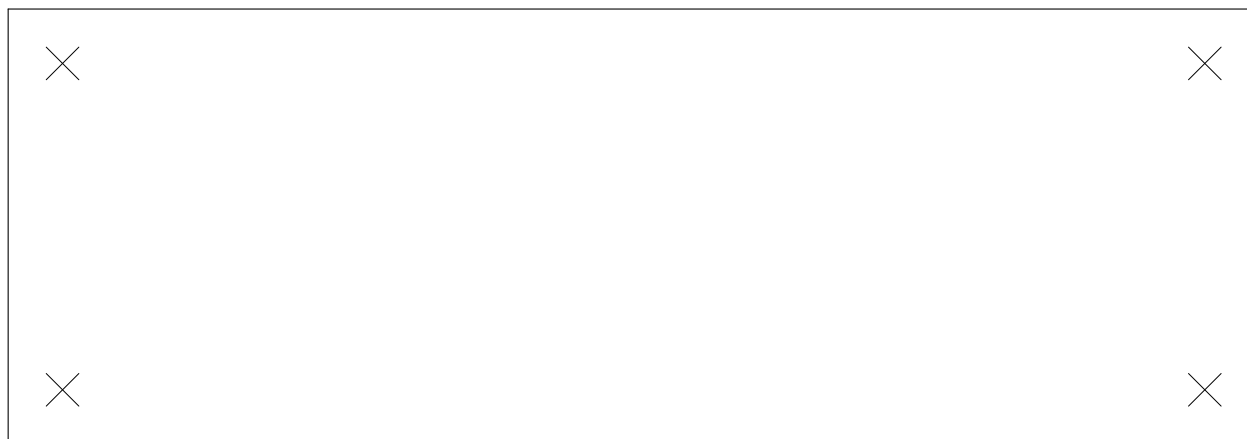
Obrázek 9: Osazovací výkres



Drill Map:

× 0.60mm / 0.024" (83 holes)
○ 1.00mm / 0.039" (9 holes)
+ 3.00mm / 0.118" (2 holes)

Obrázek 10: Vrtací plán prokovené díry



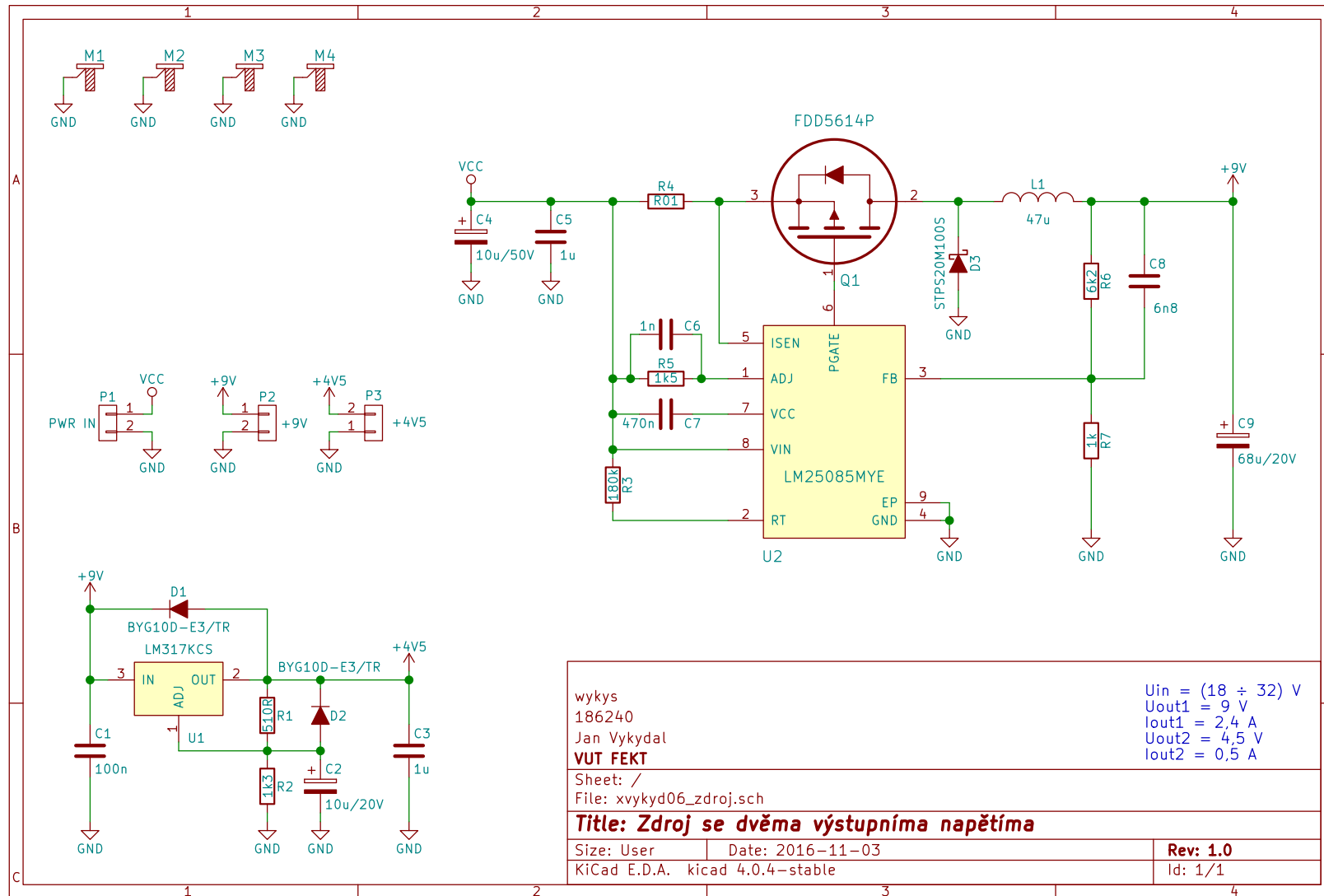
Drill Map:

× 3.00mm / 0.118" (4 holes) (not plated)

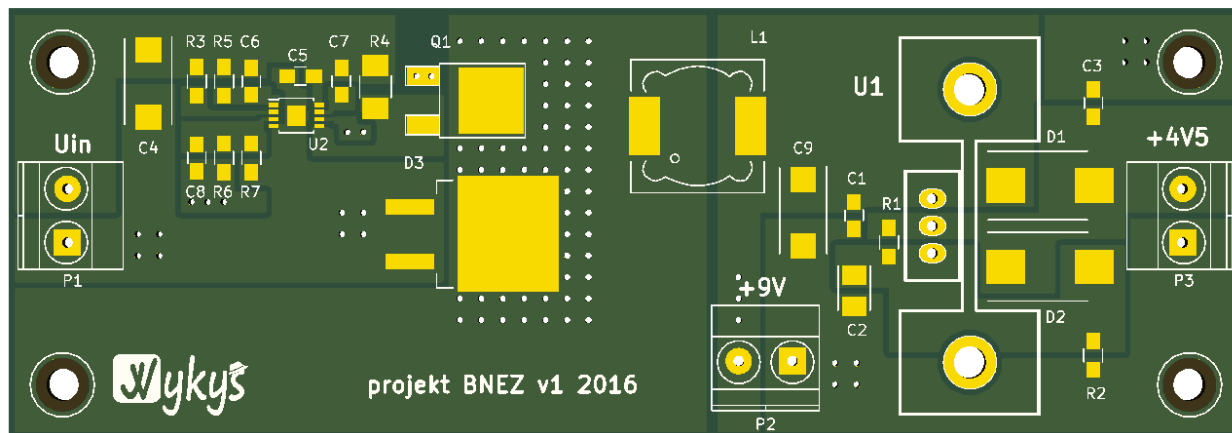
Obrázek 11: Vrtací plán neprokovené díry

Tabulka č. 2: BOM rozpiska materiálu

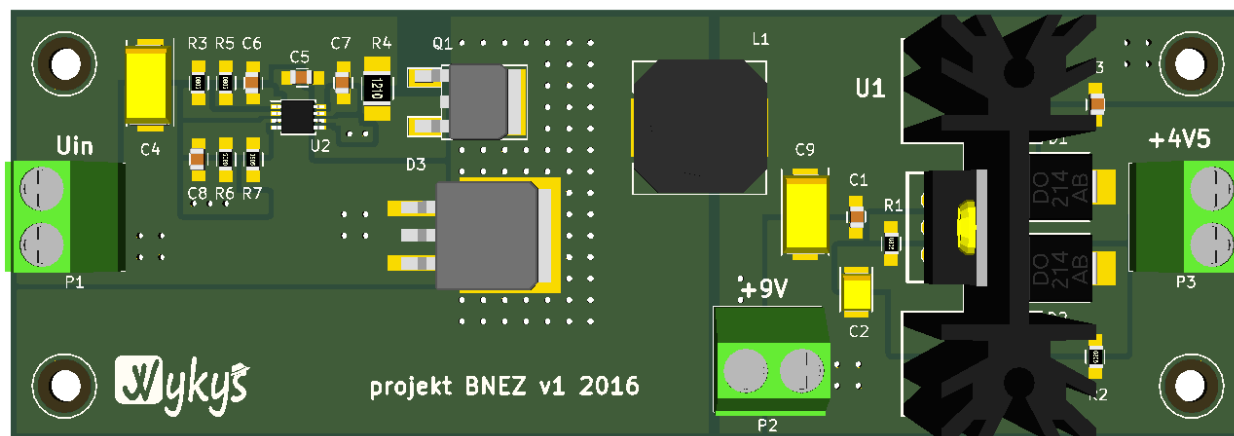
ref	hodnota	footprint	cena	link	datasheet
C1	100n	0805	1,0000	standard 10%	
C2	10u/20V	Tantal_SizeB	12,4510	http://cz.farnell.com/hemet/h491b106k020at/cap-tant-10uf-20v-case-b/dp/1457437	http://www.farnell.com/datasheets/2121504.pdf
C3	1u	0805	20,0000	standard 10%	
C4	10u/50V	Tantal_SizeD	62,3920	http://cz.farnell.com/hemet/h491d106k050at/cap-tant-10uf-50v-case-d/dp/16923268	http://www.farnell.com/datasheets/2122222.pdf
C5	1u	0805	20,0000	standard 10%	
C6	1n	0805	1,0000	standard 10%	
C7	470n	0805	1,0000	standard 10%	
C8	6n8	0805	1,0000	standard 10%	
C9	68u/20V	Tantal_SizeD	40,8580	http://cz.farnell.com/hemet/h491d68k020at/cap-tant-68uf-20v-case-d/dp/22835028	http://www.farnell.com/datasheets/2121528.pdf
D1	BYG100-E3/TR	DO-214AC	6,4320	http://cz.farnell.com/yishay/byg104-e3-tr/diode-standard-1-5-a-do-214/dp/1612214	http://www.farnell.com/datasheets/2046084.pdf
D2	BYG100-E3/TR	DO-214AC	6,4320	http://cz.farnell.com/yishay/byg104-e3-tr/diode-standard-1-5-a-do-214/dp/1612214	http://www.farnell.com/datasheets/2046084.pdf
D3	STPS20M1005	TO-263	64,8760	http://cz.farnell.com/smicrelectronics/stps20m100dq-tr/diode-schottky-20a-100v-42pak/dp/2325907	http://www.farnell.com/datasheets/1716357.pdf
L1	47u	Choke_SMD_12x12mm_h6mm	57,4230	http://cz.farnell.com/bourns/crp1205a-470m/inductor-shielded-47uh-20-6-sa/dp/2434080	http://www.farnell.com/datasheets/2059704.pdf
P1	MA522-500M02	TerminalBlock_Phoenix_MKD51.5-2pol	7,0440	http://cz.farnell.com/multicomp/ma522-500m02/terminal-block-wire-to-brd-2pos/dp/2396252	http://www.farnell.com/datasheets/2059704.pdf
P2	MA522-500M02	TerminalBlock_Phoenix_MKD51.5-2pol	7,0440	http://cz.farnell.com/multicomp/ma522-500m02/terminal-block-wire-to-brd-2pos/dp/2396252	http://www.farnell.com/datasheets/1706879.pdf
P3	MA522-500M02	TerminalBlock_Phoenix_MKD51.5-2pol	7,0440	http://cz.farnell.com/multicomp/ma522-500m02/terminal-block-wire-to-brd-2pos/dp/2396252	http://www.farnell.com/datasheets/1706879.pdf
U1	F005614P	TO-252	12,9200	http://cz.farnell.com/fairchild/semiconductor/f6d5614p/mosfet-p-60v-15a-d-pak/dp/9846131	http://www.farnell.com/datasheets/1706879.pdf
R1	510R	0805	2,0000	standard 1%	
R2	1k3	0805	2,0000	standard 1%	
R3	180k	0805	2,0000	standard 1%	
R4	R01	1210	8,0000	standard 1%	
R5	1k5	0805	2,0000	standard 1%	
R6	6k2	0805	2,0000	standard 1%	
R7	1k	0805	2,0000	standard 1%	
U1	LM317KCS	TO-220	16,0120	http://cz.farnell.com/texas-instruments/lm317kcs/v-reg-17vin-1-5a-d-1-pak-3no220/dp/2144307?ost=LM317KCS	http://www.farnell.com/datasheets/1994326.pdf
U2	LM2595SMTE	MSOP	60,3350	http://cz.farnell.com/texas-instruments/lm2595smte/ic-sw-buck-controller-42v-8msic/dp/1689555	http://www.farnell.com/texas-instruments/lm2595smte/ic-sw-buck-controller-42v-8msic/dp/1689555
	chladič	na TD-220	48,0360	http://cz.farnell.com/fischer-elektronik/ca-104-38-1-sts/heatsink-to220/dp/1892327	http://www.farnell.com/datasheets/1330085.pdf
Celková cena:			473,6990		



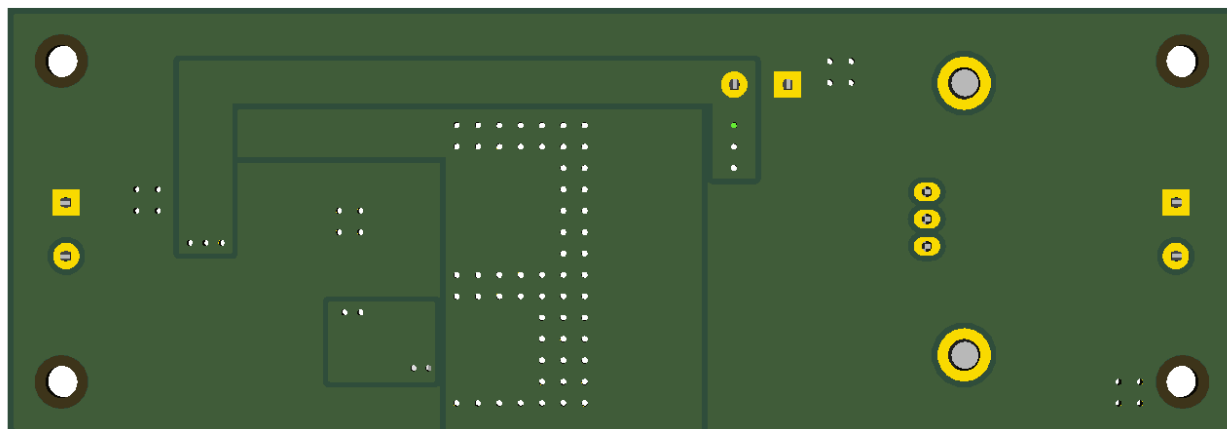
Obrázek 12: Schéma zapojení napájecího zdroje



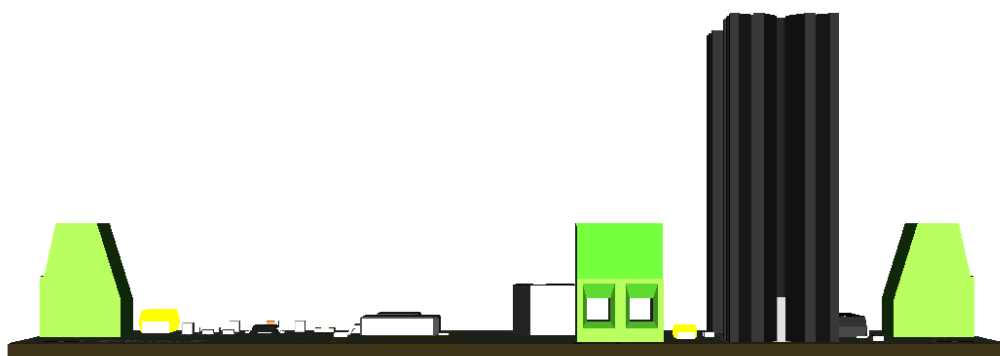
Obrázek 13: Plošný pohled na stranu součástek bez součástek



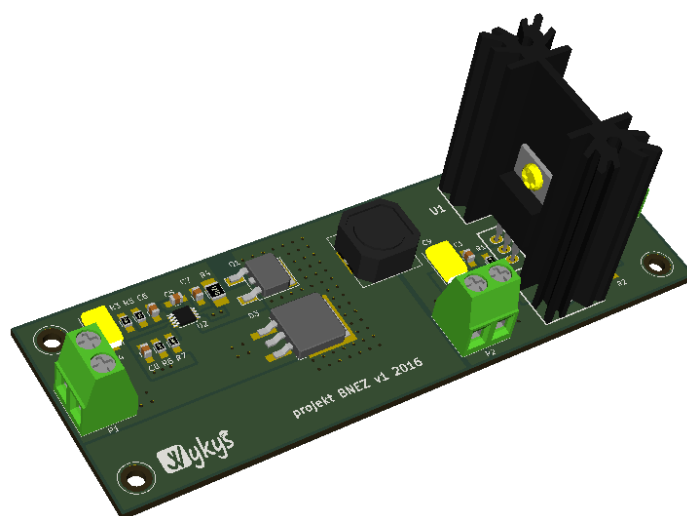
Obrázek 14: Plošný spoj pohled na stranu součástek



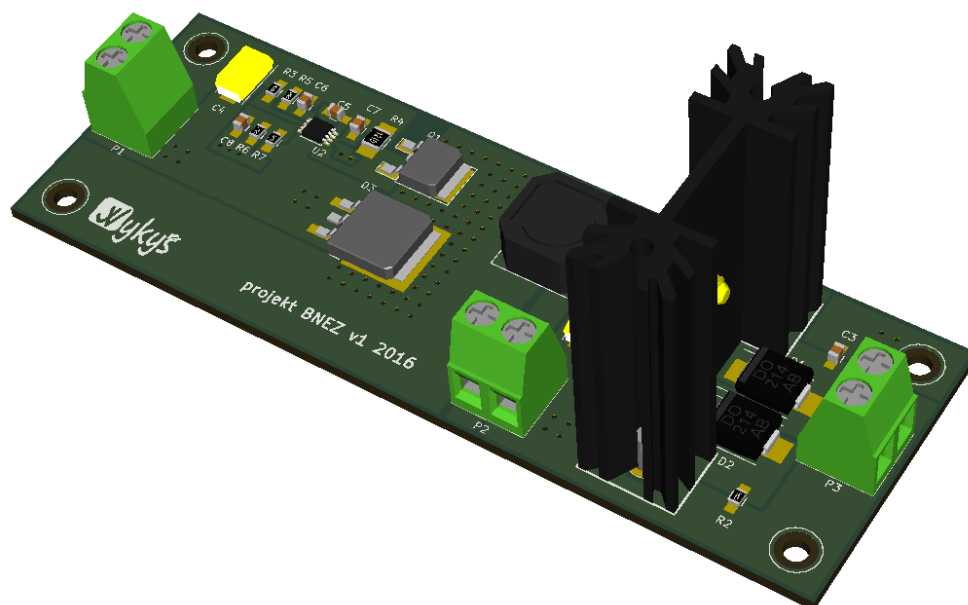
Obrázek 15: Plošný spoj pohled na stranu spojů



Obrázek 16: Napájecí zdroj pohled ze strany



Obrázek 17: Napájecí zdroj pohled zepředu



Obrázek 18: Napájecí zdroj pohled zezadu

Gerber soubory jsou generovány na POOL servis gatema.