

Návrh přístrojového zdroje

Navrhněte napájecí systém pro přístrojové zařízení dle specifikací daných vaším ID (po osobní domluvě je možné zadání modifikovat s ohledem na praktické požadavky studenta – např. napájecí zdroj, jenž bude součástí již zadané bakalářské práce, případně projekt pro osobní využití). Pro návrh použijte integrované obvody některého z výrobců těchto obvodů (www.linear.com, www.onsemi.com, www.ti.com, www.analog.com, www.maxim-ic.com, www.fairchildsemi.com, ...). Návrh bude obsahovat tyto položky:

1) Navržené **schéma zapojení** a **dokumentace** s hodnotami součástek, včetně jejich výpočtu, odkazu na doporučenou hodnotu uvedenou v katalogovém listu nebo obrázku z interaktivního nástroje pro návrh zdrojů, kde je použita hodnota patrná (webový nástroj, návrhový program výrobce). Uveďte předpokládané ztráty výkonových součástek a v případě potřeby stanovte parametry potřebného chladiče.

Z dokumentace musí být jasné požadované parametry vstupního a výstupního kondenzátoru, cívky, diody (případně spínacího tranzistoru) a odporového děliče nastavujícího výstupní napětí měniče. Výpočet ostatních součástek je pro tento projekt vedlejší. **Katalogové listy součástek nepřikládejte k odevzdávaným souborům!**

2) Navržený **plošný spoj**, který bude odpovídat pravidlům pro výrobu plošných spojů vybraného výrobce (dílna UREL, Gatema, Pragoboard...) – je nutné jednoznačně uvést ve vypracování, kterou technologii jste zvolili (např. "dvouvrstvá deska POOL servis Gatema, bez technických příplatků"). V případě potřeby nezapomeňte na vhodné chlazení výkonových součástek plošným spojem nebo chladičem. **Vždy** přidejte technologické okolí, tj. alespoň označení desky (název) a korektně provedené ohraničení desky (dle požadavků výrobce plošného spoje). Lze přidat sesazovací značky a zaměřovací body pro osazovací automat.

NESNAŽTE SE POUŽÍVAT AUTOROUTER!!! Dbejte na dodržení minimálních izolačních mezer, minimální šířky motivů plošného spoje a dalších návrhových pravidel (základní kontrolu lze provést pomocí příkazu DRC a načtení vzorového souboru *Pragoboard_pool_servis.dru* nebo *UREL_0,3mm.dru*). Dbejte na **dostatečné proudové dimenzování vodičů**.

3) **Předlohy pro výrobu plošného spoje**. Dokument(y) PDF obsahující motiv plošného spoje připravený pro tisk na pauzovací papír tak, aby bylo možné plošný spoj vyrobit v dílně UREL.

4) **Gerber soubory** pro výrobu plošného spoje vyhovující požadavkům vybrané firmy v režimu POOL servis.

5) **Osazovací výkresy** pro obě strany plošného spoje se jmény součástek (hodnoty součástek uveďte do výkresu pouze v případě, že tím neutrpí jeho přehlednost)

6) **Materiálovou rozpisku** (seznam potřebných součástek – Bill of Material; BOM), včetně cen součástek (přepočet na CZK) a odkazu na stránky jednotlivých součástek v internetovém obchodu, kde je možné je zakoupit (www.gme.cz, www.ges.cz, www.tme.cz, www.soselectronic.cz, www.digikey.com, www.farnell.com, www.mouser.com,

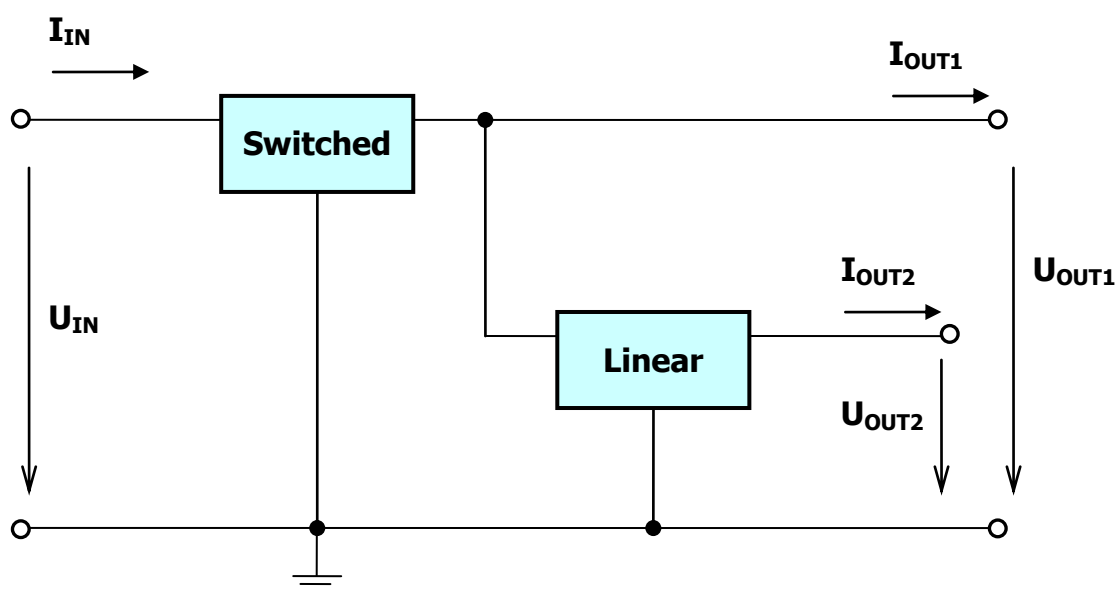
www.futureelectronics.com,...), případně přímo na stránky výrobce, odkud je možné součástku objednat. U součástek, jako jsou běžné malovýkonové rezistory (v pouzdře 0805, 0603 i vývodové) a kondenzátory, není třeba v materiálové rozpisce uvádět odkazy na web, ceny ani další parametry; stačí napsat například "standard 100 nF / 25V 0805"

V případě jakýchkoliv nejasností, zjištěných nepřesností, chybějících návodů a podobně mne prosím neváhejte (včas) kontaktovat!

Napájecí zdroj je složen ze dvou stabilizátorů:

1) Spínaný stabilizátor – zdroj napětí U_{OUT1} ; hlavní zdroj pro napájení silové a digitální část zařízení a napájení lineárního stabilizátoru. Použijte spínaný zdroj bez transformátoru – non-isolated DC-DC converter, step-down / step-up regulator with integrated switch. Není nutné (ale ani zakázané) použít typ s externími výkonovými tranzistory (external switch). Spínaný zdroj musí být schopen dodat proud pro oba výstupy ($I_{OUT1} + I_{OUT2}$)!.

2) Lineární stabilizátor – zdroj napětí U_{OUT2} ; předpokládá se napájení citlivých analogových obvodů. Při malém rozdílu napětí U_{OUT1} a U_{OUT2} (desetiny voltů) použijte typ low-dropout voltage.



Uvažované pořadí číslic v ID: **654321** (DIG_1 je poslední číslice v ID, DIG_2 je druhá od konce atd.)

DIG_1	U_{IN} [V]	U_{OUT1} [V]	I_{OUT1} [A]	U_{OUT2} [V]	I_{OUT2} [A]
1, 2	1,8 – 3,2	$4 + \frac{DIG_2}{10}$	$0,3 + \frac{DIG_3}{50}$	$1 + \frac{3 \cdot DIG_4}{10}$	$0,05 + \frac{DIG_5}{50}$
3, 4	3 – 4,2	$5 + \frac{DIG_2}{5}$	$0,2 + \frac{DIG_3}{10}$	$1,8 + \frac{3 \cdot DIG_4}{10}$	$0,2 + \frac{DIG_5}{10}$
5, 6	6 – 10	$3,2 + \frac{DIG_2}{5}$	$1 + \frac{DIG_3}{2}$	$1 + \frac{DIG_4}{5}$	$0,5 + \frac{4 \cdot DIG_5}{10}$
7, 8	9 – 16	$3 + \frac{4 \cdot DIG_2}{10}$	$1,2 + \frac{DIG_3}{5}$	$1 + \frac{DIG_4}{5}$	$1 + \frac{DIG_5}{10}$
9, 0	18 – 32	$7 + \frac{DIG_2}{2}$	$2 + \frac{DIG_3}{5}$	$1,5 + \frac{DIG_4}{2}$	$0,1 + \frac{DIG_5}{20}$

- Projekt odevzdejte do 27.11.2016 včetně na email kubicek@feec.vutbr.cz jako ZIP nebo RAR archiv **pojmenovaný vaším jménem a ID (bez diakritiky a bez mezer**, například *voprsalek_josef_123456.zip*) obsahující všechny požadované soubory.

POZOR!!! Přijetí projektů budu potvrzovat emailem. Pokud v krátké době (1-2 dny) neobdržíte potvrzení, **pošlete projekt znovu**, pokud možno jinou metodou (školní server někdy emaily s přílohou ZIP a dalšími zahazuje).

- Archiv musí obsahovat:
 - Dokument, z něhož je patrný postup návrhu (zadání, výpočty, požadavky na součástky...). Příkladem je soubor *BNEZ_VZOR_vypocty.pdf*, akceptují formáty PDF, DOC, DOCX, ODT, RTF. Nezapomeňte na rozvahu o chlazení zdroje!
 - Soubory schématu plošného spoje a desky pro Eagle (.SCH a .BRD). V případě, že nepoužíváte Eagle, je třeba NAVÍC ke zdrojovým souborům návrhového systému vygenerovat PDF se schématem a obrazem desky (nejlépe zvlášť jednotlivé vrstvy PCB). **Nepřikládejte** zálohy souborů s příponami b#1, s#1...
 - Osazovací výkres zvlášť pro horní a dolní stranu desky (viz například *VZOR_BNEZ_top_place.pdf*, *VZOR_BNEZ_bottom_place.pdf*)
 - Materiálová rozpiska ve formátu XLS, XLSX nebo ODS (viz *BOM.xls*).
 - Předlohy pro výrobu plošných spojů na UREL (motiv pro tisk na pauzovací papír; *VZOR_BNEZ_top.pdf* a *VZOR_BNEZ_bottom.pdf*)
 - Gerber soubory dle požadavků firmy Pragoboard
http://www.pragoboard.cz/pool_servis

Požadované soubory

▪ top.gbr	top.gpi	
▪ bot.gbr	bot.gpi	(pouze pro dvojvrstvé desky)
▪ smt.gbr	smt.gpi	
▪ smb.gbr	smb.gpi	(pouze pro dvojvrstvé desky)
▪ mil.gbr	mil.gpi	
▪ pth.exc	pth.dri	
▪ npth.exc	npth.dri	

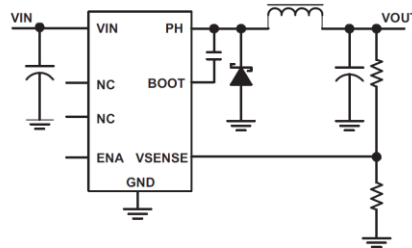
- Katalogové listy součástek **nepřikládejte** k odevzdávaným souborům!
- Z dokumentace musí být jasné požadované parametry **vstupního a výstupního kondenzátoru, cívky, diody** (případně spínacího tranzistoru) a **odporového děliče** nastavujícího výstupní napětí měniče. Výpočet ostatních součástek je pro tento projekt vedlejší a není třeba jej podrobně popisovat.
- Většinu výpočtů (které jsou ve vzorovém řešení rozepsány v souboru *BNEZ_VZOR_vypocty.pdf*) není nutné dělat ručně, ale využít SW nástroj výrobce integrovaného obvodu spínaného zdroje. V takovém případě je ale nutné přiložit k projektu vhodně exportované výstupy takového programu (viz soubor *DesignReport_TL.pdf* ve vzorovém řešení).

Spínaný regulátor

Při výběru spínaného regulátoru máme obvykle 2-3 možnosti:

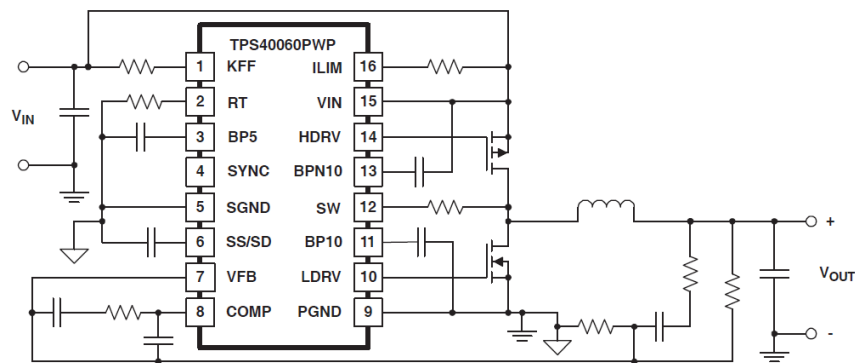
1) Regulátor s integrovaným spínačem

Poměrně jednoduchá varianta s malým množstvím externích součástek, které je možné optimalizovat pro daný pracovní bod (požadovaná napětí a proud). Cena je nízká, účinnost poměrně dobrá (80 – 95%).



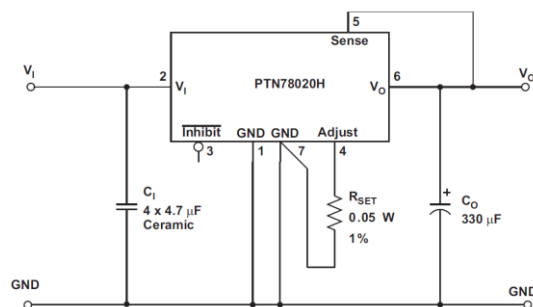
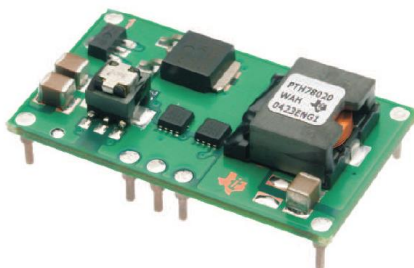
2) Regulátor s externím spínačem (DC/DC Controller (External Switch))

Varianta s nejvíce externími součástkami, nejnáročnější na návrh, ale umožňuje dosáhnout nejlepší účinnosti (až 98%).



3) Modul regulátoru

Není vždy k dispozici vhodný typ, moduly jsou dostupné spíše pro větší výkony. Umožňuje nejjednodušší a nejrychlejší návrh – minimum externích komponent. Jeho účinnost je dobrá (v závislosti na kombinaci vstupního a výstupního napětí obvykle 80 – 95%), cena je mírně vyšší.



Při výběru kondenzátorů pro takovéto moduly je ale třeba postupovat obezřetně. V katalogovém listu jsou uvedeny požadavky na napěťové a proudové dimenzování kapacitorů, včetně požadavků na jejich ESR. Navzdory obecně platnému pravidlu, že čím menší je ESR, tím je kondenzátor lepší, výrobce někdy uvádí **minimální požadovanou hodnotu ESR** (kvůli zajištění stability obvodu zpětné vazby).

Lineární regulátor

Lineární regulátory vyžadují minimum externích komponent, práce s nimi je velmi jednoduchá. Vzhledem k mírným požadavkům na parametry lineárního regulátoru v daném příkladu ($I_{OUT2} = 0,55A$, $U_{LIN_DROP} = 5,5V$, $P_{DLIN} = 3,025W$), je možné vybrat například typ LM317T (levný, dostupný, minimum externích součástek) s poměrně velkým minimálním úbytkem napětí (Dropout voltage = 2,5V).

Kondenzátory

Existuje celá řada typů kondenzátorů, z nichž některé jsou pro použití ve zdrojích vhodné, jiné ne. Následující přehled obsahuje nejběžnější typy kondenzátorů a jejich aplikace. **Konkrétní typ je ale vždy třeba volit s ohledem na doporučení v katalogovém listu výrobce integrovaného stabilizátoru!!!**

Keramické kondenzátory (multilayer ceramic capacitors – MLCC)

Vyznačují se velmi nízkým ESR, který se obvykle ani neuvádí jako jejich hlavní parametr (na rozdíl od tantalových a elektrolytických kondenzátorů). Nepodléhají stárnutí a nejsou citlivé na nízké teploty (v případě kvalitního dielektrika). Nevýhodou je dostupnost pouze menších hodnot kapacit na poměrně malá, v SMD provedení dnes maximálně asi 100 uF / 10V. Existují také modulově uspořádané kondenzátorové bloky s kapacitou až 1300 uF / 50V, jsou ale obtížně dostupné.

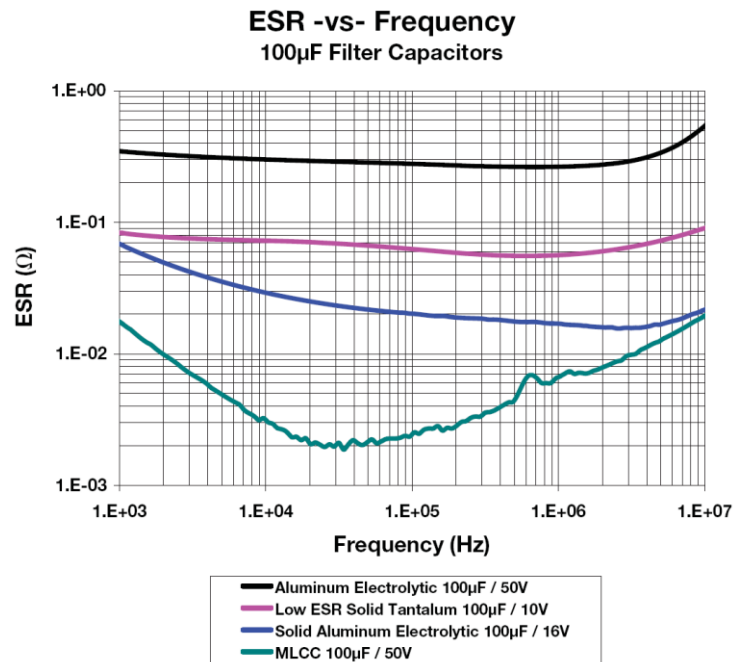
Elektrolytické kondenzátory (Aluminium)

Elektrolytické kondenzátory se vyrábějí v mnoha různých provedeních. Pro napájecí zdroje je třeba volit typy s nízkým ESR a velkým dovoleným proudovým zvlněním (ripple current). Jsou poměrně levné, ale mají obecně větší ESR a omezenou životnost (několik tisíc hodin při maximální provozní teplotě, snížení pracovní teploty o 10° tuto dobu přibližně zdvojnásobí). Při nízkých teplotách (již kolem 0°C) prudce ztrácejí kapacitu a zvyšuje se odpor elektrolytu. Jejich konstrukce (především rozměrné elektrody) neumožňuje jejich použití na vyšších kmitočtech.

Ve všech ohledech lepší vlastnosti mají organické polymerní elektrolytické kondenzátory (organic / polymer) a kondenzátory s pevným elektrolytem, které jsou ale poněkud dražší a obvykle dostupné jen s menším maximálním napětím.

Tantalové kondenzátory

Z hlediska parametrů jsou mezi elektrolytickými a keramickými kondenzátory a podle toho jsou také používány. Jejich výhodou je vysoká spolehlivost a poměrně malé ESR.



Proudové dimenzování plošného spoje

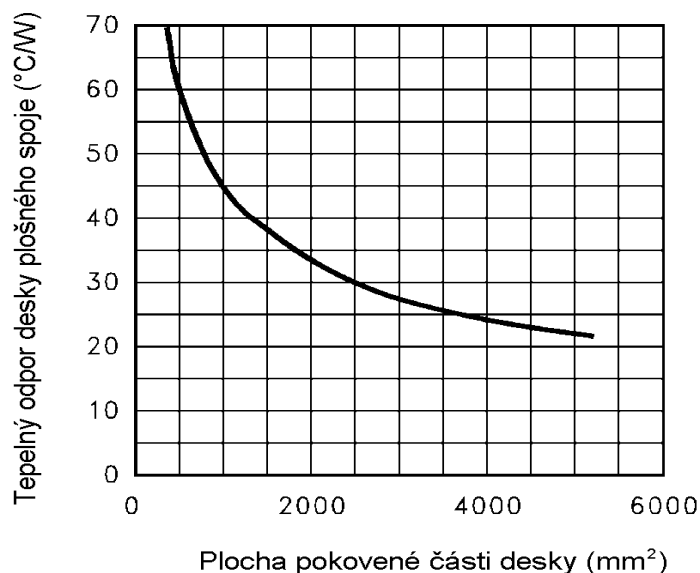
Měničem protékají poměrně velké proudy (až jednotky ampér). Příliš tenké cesty plošných spojů by způsobovaly nadměrné zahřívání zařízení, napěťové úbytky na spojích a snižovali tak spolehlivost zařízení, nebo dokonce znemožnili jeho funkčnost. Proto je třeba patřičně dimenzovat vodivé spoje – použít dostatečně široké cesty. Pro výpočet potřebné šířky spoje existuje velké množství literatury dostupné na internetu, včetně online kalkulačků:

<http://www.desmith.net/NMdS/Electronics/TraceWidth.html>

Běžná tloušťka měděné fólie na plošném spoji je 18 μ m, 35 μ m nebo 70 μ m (konkrétní hodnotu zvolte). Oteplení spoje je vhodné volit maximálně 10°C – obvykle nechceme vytápět zařízení pomocí samotných spojů. Lokální zmenšení šířky spoje je pochopitelně možné akceptovat.

Chladicí schopnost plošného spoje

Pro chlazení malých výkonů je možné počítat s plošným spojem jako chladičem. Některé součástky jsou pro takovou aplikaci přímo uzpůsobené. Celopokovený jednostranný plošný spoj velikosti cca 5 x 5 cm má tepelný odpor přibližně 30 K/W, což odpovídá schopnosti efektivně vyzářit tepelný výkon 2W při rozdílu teplot okolí a chlazeného elementu 60K (např. teplota okolí 25°C a teplota povrchu chlazené součástky 85°C).



Materiálová rozpiska (BOM)

Materiálová rozpiska (bill of material) obsahuje základní informace o použitých součástkách: název součástky ve schématu (a na osazovacím výkresu), počet použitých součástek daného typu, typ pouzdra, výrobce součástky, označení výrobce, popis a jméno katalogového listu (datasheetu). Uváděné údaje se mohou různit (často bývá uvedena i cena, odkaz na internetové stránky distributora,...)

Příklad výpočtu pro ID 199999:

Zadané parametry:

$$\begin{array}{lll} U_1 = 18-32V & U_{OUT1} = 11,5V & I_{OUT1} = 3,8A \\ & U_{OUT2} = 6V & I_{OUT2} = 0,55A \end{array}$$

Dimenzování jednotlivých zdrojů:

Spínaný zdroj je třeba dimenzovat na proud rovný součtu

$$I_{OUTSW} = I_{OUT1} + I_{OUT2} = 3,8A + 0,55A = \underline{\underline{4,35A}}$$

Úbytek napětí na lineárním stabilizátoru bude

$$U_{LIN_DROP} = U_{OUT1} - U_{OUT2} = 11,5V - 6V = \underline{\underline{5,5V}}$$

To je dostatečně velký úbytek napětí; lze použít libovolný lineární regulátor s dovoleným ztrátovým výkonem

$$P_{DLIN} = U_{LIN_DROP} \cdot I_{OUT2} = 5,5V \cdot 0,55A = \underline{\underline{3,025W}}$$

Tepelné ztráty (odhad):

Výkonovou ztrátu spínaného zdroje je možné předem odhadnout z jeho předpokládané účinnosti. Ta se obvykle pohybuje v rozmezí $\eta = 75-95\%$. Spínané regulátory s integrovanými spínači pracující s vyššími výkony a velkým rozsahem vstupních napětí mívají obvykle účinnost spíše na spodní hranici uvedeného rozsahu ($\eta = 80\%$).

$$\begin{aligned} P_{DSW} &= P_{OUTSW} \cdot (1 - \eta) / \eta = U_{OUT1} \cdot I_{OUTSW} (1 - \eta) / \eta = \\ &= 11,5V \cdot 4,35A \cdot (1 - 0,8) / 0,8 = 12,50625W \approx \underline{\underline{12,5W}} \end{aligned}$$

Přesnější výpočet provedeme po výběru konkrétního regulátoru. Tato orientační hodnota slouží pouze k odhadu celkových parametrů zdroje a případné korekci jeho koncepce. Pokud by ztrátový výkon 12,5W nebyl únosný, bylo by nutné zvolit regulátor s vyšší účinností (pravděpodobně s externími výkonovými spínacími tranzistory).

Výkonová ztráta v lineárním regulátoru je pevně dána jeho vstupním a výstupním napětím a protékajícím proudem:

$$P_{DLIN} = U_{LIN_DROP} \cdot I_{OUT2} = 5,5V \cdot 0,55A = 3,025W \approx \underline{\underline{3W}}$$

Celkový ztrátový výkon bude přibližně

$$P_{DCELK} = P_{DSW} + P_{DLIN} = 12,5W + 3W = \underline{\underline{15,5W}}$$

Z těchto hodnot je již patrné, že bude nutné navržený zdroj chladit pomocí přídavného chladiče nebo kovové krabičky zařízení (plocha PCB nebude stačit pro dostatečný odvod tepla z celého zdroje).