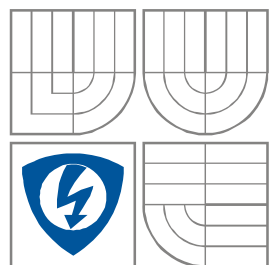


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV VÝKONOVÉ ELEKTROTECHNIKY  
A ELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

# **ZVYŠUJÍCÍ MĚNIČ NAPĚTÍ PRO NAPÁJENÍ NOTEBOOKU Z PALUBNÍ SÍTĚ OSOBNÍHO AUTOMOBILU**

**STEP-UP INVERTER FOR NOTEBOOK SUPPLY FROM CAR NETWORK**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Petr Španěl**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Jan Hejkrlík**

BRNO, 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Silnoproudá elektrotechnika a výkonová elektronika

**Student:** Petr Španěl

**Ročník:** 3

**ID:** 72862

**Akademický rok:** 2008/09

**NÁZEV TÉMATU:**

## Zvyšující měnič napětí pro napájení notebooku z palubní sítě osobního automobilu

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Návrh a výpočet komponent měniče.
2. Realizace na desce plošných spojů včetně chladiče.
3. Oživení.
4. Kontrola zadaných parametrů.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

**Termín zadání:** 1.10.2008

**Termín odevzdání:** 29.05.2009

**Vedoucí projektu:** Ing. Jan Hejkrlík

**doc. Ing. Čestmír Ondrůšek, CSc.**  
*předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

## **Abstrakt**

Tato práce se zabývá problematikou zvyšujících DC/DC měničů pro potřeby napájení notebooku v osobním automobilu. Dále se zabývá návrhem měniče o dostatečném výkonu pro napájení dnešních notebooků .

## **Abstract**

This disertation deals with questions of DC/DC step-up converters for power supply of notebooks in the car networks. And then it solves the design of the sufficient sized converter for power supply of the current notebooks.

## **Klíčová slova**

Napájení notebooku; zvyšující měnič; DC/DC měnič; napájení v autě; napájecí zdroj

## **Keywords**

Power supply unit for notebook; step-up converter; DC/DC converter; power supply in the car; power supply unit

## **Bibliografická citace**

ŠPANĚL, P. *Zvyšující měnič napětí pro napájení notebooku z palubní sítě osobního automobilu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Hejkrlik.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „**Zvyšující měnič napětí pro napájení notebooku z palubní sítě osobního automobilu**“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

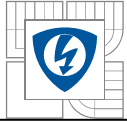
Podpis autora .....

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce ing. Janu Hejkrlíkovi a otci ing. Petru Španělovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

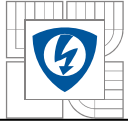
V Brně dne .....

Podpis autora .....

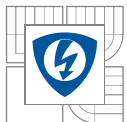


## Obsah

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 ÚVOD K MĚNIČŮM NAPĚTÍ</b> .....	<b>12</b>
<b>2 DC/DC MĚNIČE</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 FUNKCE DC/DC MĚNIČŮ</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ DC-DC KONVERTORŮ</b> .....	<b>15</b>
2.2.1 PROPUSTNÝ MĚNIČ – ZAPOJENÍ SE SPOLEČNOU DIODOU .....	16
2.2.2 BLOKUJÍCÍ MĚNIČ .....	17
2.2.3 BLOKUJÍCÍ MĚNIČ S TRANSFORMÁTOREM (FLYBACK CONVERTER).....	18
2.2.4 ČUKŮV MĚNIČ.....	18
<b>3 NÁVRH MĚNIČE S OBVODEM SG3524</b> .....	<b>20</b>
<b>3.1 POPIS INTEGROVANÉHO OBVODU SG3524</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ MĚNIČE</b> .....	<b>28</b>
3.2.1 VOLBA TRANZISTORŮ .....	30
3.2.2 VOLBA DVOJITÉ DIODY D4 .....	31
3.2.3 VOLBA INTEGROVANÉHO OBVODU IC1 .....	31
<b>3.3 VÝPOČET SOUČÁSTEK</b> .....	<b>32</b>
3.3.1 VSTUPNÍ A VÝSTUPNÍ ELEKTROLYTICKÝ KONDENZÁTOR .....	32
3.3.2 MINIMÁLNÍ INDUKČNOST CÍVKY .....	32
3.3.3 VÝPOČET ODPOROVÉHO DĚLIČE PRO ŘÍZENÍ VÝSTUPNÍHO NAPĚTÍ .....	32
<b>3.4 ROZLOŽENÍ SOUČÁSTEK NA DPS</b> .....	<b>33</b>
<b>3.5 TABULKA POUŽITÝCH SOUČÁSTEK</b> .....	<b>33</b>
3.5.1 POUŽITÉ REZISTORY .....	33
3.5.2 POUŽITÉ KONDENZÁTORY .....	34
3.5.3 OSTATNÍ POUŽITÉ KOMPONENTY .....	35
<b>4 NÁVRH MĚNIČE S OBVODEM LM2587T-ADJ</b> .....	<b>36</b>
<b>4.1 POPIS OBVODU LM2587T-ADJ</b> .....	<b>36</b>
<b>4.2 POTŘEBNÉ VÝPOČTY PRO NÁVRH MĚNIČE</b> .....	<b>38</b>
<b>4.3 SCHÉMA ZAPOJENÍ</b> .....	<b>40</b>
<b>4.4 ROZMÍSTĚNÍ SOUČÁSTEK NA DPS</b> .....	<b>41</b>
<b>4.5 VÝROBA DPS</b> .....	<b>42</b>
4.5.1 METODA NAŽEHLOVÁNÍM TONERU .....	42
4.5.2 VÝROBA DPS FOTOCESTOU .....	42
<b>4.6 VÝBĚR SOUČÁSTEK</b> .....	<b>44</b>
4.6.1 CHLADIČ .....	44
4.6.2 KONDENZÁTORY.....	45
4.6.3 DIODA .....	45
4.6.4 CÍVKA .....	45
<b>4.7 HOTOVÝ VÝROBEK</b> .....	<b>45</b>
<b>4.8 CENOVÉ SHRNUÍ SOUČÁSTEK</b> .....	<b>46</b>

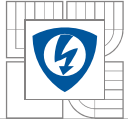


<b>5 DALŠÍ ALTERNATIVY MĚNIČŮ.....</b>	<b>47</b>
<b>5.1 LT1070CT .....</b>	<b>47</b>
<b>5.2 LT1170CT .....</b>	<b>47</b>
<b>5.3 MAX1771C .....</b>	<b>48</b>
<b>5.4 DALŠÍ MĚNIČE .....</b>	<b>49</b>
<b>6 SROVNÁNÍ MĚNIČŮ .....</b>	<b>50</b>
<b>6.1 MĚNIČ S SG3524 .....</b>	<b>50</b>
<b>6.2 MĚNIČ S LM2587 .....</b>	<b>50</b>
<b>6.3 MĚNIČ 4WORLD .....</b>	<b>51</b>
<b>6.4 SPOLEČNÁ FOTOGRAFIE MĚNIČŮ.....</b>	<b>52</b>
<b>7 ZÁVĚR.....</b>	<b>53</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>54</b>



## Seznam obrázků

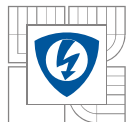
<i>obr. 1 - Funkce DC/DC měniče [1].....</i>	<i>13</i>
<i>obr. 2 - Blokové schéma DC/DC měniče [1].....</i>	<i>13</i>
<i>obr. 3 - Propustný měnič (Buck or Step-down convertor) [1] .....</i>	<i>15</i>
<i>obr. 4 - Blokující měnič (Boost nebo Step-up converter), různá zapojení [1] .....</i>	<i>15</i>
<i>obr. 5 - a) zapojení Čukova měniče, b) průběhy napětí a proudů na měniči [1].....</i>	<i>15</i>
<i>obr. 6 - a) Čukův měnič s magnetickou vazbou, b) náhradní zapojení induktorů [1] .....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 7 - Zapojení Čukova měniče s oddělovacím transformátorem [1] .....</i>	<i>20</i>
<i>obr. 8 - Zapojení pinů na pouzdru SG3524 [2].....</i>	<i>21</i>
<i>obr. 9 - Blokový diagram integrovaného obvodu SG3524 [2].....</i>	<i>21</i>
<i>obr. 10 - Závislost frekvence oscilátoru na hodnotách RT a CT [2].....</i>	<i>22</i>
<i>obr. 11 - Závislost dead time na velikosti <math>C_T</math> [2] .....</i>	<i>23</i>
<i>obr. 12 - <math>U_{OUT} &lt; 0</math> [2] .....</i>	<i>23</i>
<i>obr. 13 - <math>U_{OUT} &gt; 0</math> [2] .....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 14 - Zapojení snímacího odporu <math>R_{SC}</math> .....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 15 – Snímání velkých proudů [2].....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 16 - zapojení SG3524 pro spínání externích kapacit [2].....</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 17 - zapojení SG3524 pro spínání externích indukčností [2] .....</i>	<i>26</i>
<i>obr. 18 - a) PUSH-PULL zapojení, b) Flyback zapojení [2] .....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 21 - saturační charakteristika RFP50N06 [4].....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 20 - Tranzistor RFP50N06 v katalogu GME [3] .....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 23 - SG3524 v katalogu GME [3].....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 22 - Schottkyho dioda v katalogu GME [3] .....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 24 - Rozložení součástek na DPS.....</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 25 – Blokový diagram obvodu LM2587 [5].....</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 26 – schéma zapojení měniče s IO LM2587 .....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 27 – schéma zapojení přepětové ochrany.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 28 – Rozložení součástek na DPS.....</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 29 – Fotocuprexit v katalogu GME [3] .....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 30 – Vytištěná fólie.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 31 – Horské slunce.....</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 32 – Vzdálenost výbojky od DPS a fólie .....</i>	<i>44</i>



<i>Obr. 34 – použitá tlumivka v katalogu GME [3] .....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 35 - hotový měnič s LM2587 .....</i>	<i>45</i>
<i>Obr. 37 – LT1070CT v katalogu GME [3] .....</i>	<i>47</i>
<i>Obr. 38 – Blokové schéma obvodu MAX1771 [9] .....</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 39 - Ukázka vyhledávání obvodů na stránkách www.linear.com .....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 40 – Měnič s SG3524 vpravo, s LM2577 vlevo .....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 41 – měnič 4world 80W .....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 42 – Měnič napětí 4world bez krytu .....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 43 – měniče společně, pro srovnání velikosti .....</i>	<i>52</i>

## **Seznam tabulek**

<i>Tabulka 1 - Použité rezistory .....</i>	<i>34</i>
<i>Tabulka 2 - Použité kondenzátory .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabulka 4 – použité komponenty v měniči s LM2587 .....</i>	<i>46</i>

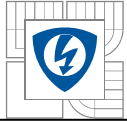


## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

DPS	deska plošných spojů
$V_{mag}$	objem magnetického materiálu
$\mu$	permeabilita materiálu
$B_m$	magnetická indukce
$I_m$	magnetizační proud
$f$	frekvence
$T_a, T_b, T_c$	časová konstanta
$i_{La}$	proud induktorem
L	indukčnost cívky
$u_{La}$	napětí na induktoru
$L_{min}$	minimální indukčnost
$W_{La}$	energie induktoru
$u_0$	vstupní napětí
$u_i$	výstupní napětí
$k_V$	koeficient vazby
n	poměr závitů
N	počet závitů
$F_{osc}$	frekvence oscilátoru
$R_T$	odpor pro určení frekvence oscilátoru
$C_T$	kondenzátor pro určení frekvence oscilátoru
$U_{OUT}$	výstupní napětí
$U_{REF}$	referenční napětí
$U_{SC}$	napětí na snímacím odporu
$I_{outmax}$	maximální výstupní proud
$U_{in}$	vstupní napětí
$T_j$	dovolená teplota polovodičového přechodu výrobcem
$T_A$	teplota okolí
$Q_{jc}$	tepelný odpor přechodu polovodičový přechod -> pouzdro
$Q_{cs}$	tepelný odpor přechodu pouzdro -> chladič
$Q_{sa}$	tepelný odpor přechodu chladič -> vzduch
E.T	napětí . čas, které nabíjí induktor



D	střída
$D_{\max}$	maximální střída
$I_{\text{ind,dc}}$	průměrný proud protékající induktorem
$P_D$	ztrátový výkon na diodě
$P_{\text{tr}}$	ztrátový výkon na tranzistoru
$I_{\text{vst}}$	vstupní proud
$I_{\text{výst}}$	výstupní proud
IO	integrováný obvod



# 1 ÚVOD

Cílem této práce je navrhnout DC/DC měnič 12V/20V dostatečného výkonu, v našem případě 65W, aby bylo možné napájet notebook z automobilové sítě a tím prodloužit jeho výdrž. Tento úkol nás zavede do problematiky napájecích zdrojů, resp. zvyšujících DC/DC měničů.

## 1.1 Úvod k měničům napětí

Měniče napětí jsou obvody, které mění napětí podle potřeby napájené aplikace. Tyto měniče se rozdělují do čtyř základních skupin:

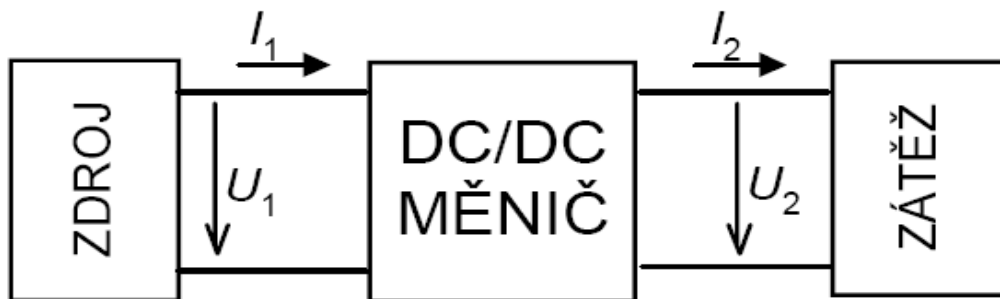
- 1. AC/AC měniče** – Mění střídavé napětí na střídavé napětí s jinými parametry, např. má výstupní napětí jinou amplitudu, frekvenci. Nejčastější komponenty v těchto měničích jsou transformátory nebo složité obvody řízené mikroprocesory pro měniče frekvenční.
- 2. AC/DC měniče** – jinak zvané usměrňovače, mají za úkol usměrnit střídavý proud pro napájení aplikací, které potřebují stejnosměrný proud a napětí.
- 3. DC/AC měniče** – střídače, je nutné v nich použít integrovaný obvod, který vstupní napětí rozkmitá, aby mohlo být dále upraveno, např. přes transformátor na požadované výstupní napětí.
- 4. DC/DC měniče** – mění stejnosměrné napětí na jiné stejnosměrné napětí, které je potřeba pro napájení konkrétní aplikace.

Všechny tyto napájecí zdroje najdou své uplatnění v konkrétních aplikacích.

## 2 DC/DC MĚNIČE

### 2.1 Funkce DC/DC měničů

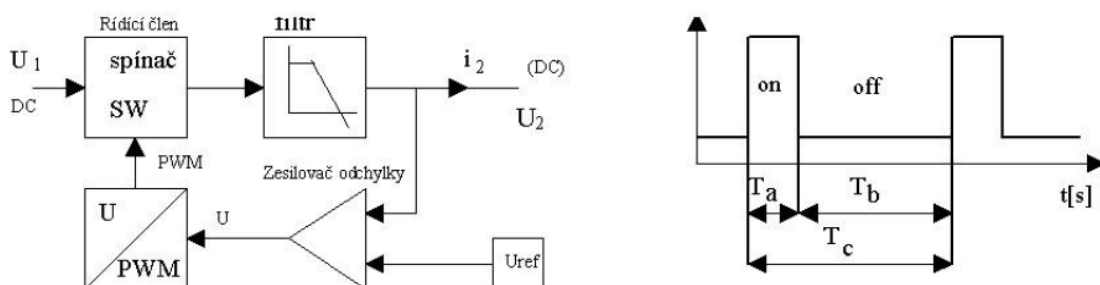
DC-DC měniče slouží ke změně stejnosměrného vstupního napětí  $U_1$  a proudu  $I_1$  na stejnosměrné napětí  $U_2$  a výstupní proud  $I_2$ . Skládá se obvykle ze dvou hlavních částí – řídicí a silové. Elektronický obvod řízení (dříve realizovaný z diskretních součástek, dnes již téměř výhradně jako speciální integrované obvody) podle potřeby spíná a vypíná výkonový tranzistor (nebo tranzistory). Takto je schopen proud v silovém obvodu přerušovat a tím, za pomoci prvků s akumulací energie (indukčnosti, kondenzátory) převádět na proud a napětí potřebných výstupních parametrů.



obr. 1 - Funkce DC/DC měniče [1]

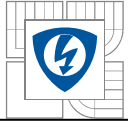
Na obr. 1 je znázorněna funkce měniče, který mění napětí  $U_1$  na  $U_2$ . V našem konkrétním případě  $U_1=12V_{ss}$  a  $U_2=20V_{ss}$ . Pokud je napětí  $U_1$  větší než napětí  $U_2$ , hovoříme o měničích snižujících (step-down nebo také BUCK). Pokud je napětí  $U_1$  menší než napětí  $U_2$ , jedná se o měniče zvyšující (step-up nebo také BOOST).

Blokové schéma obecného měniče DC/DC na obr. 2 naznačuje problematiku návrhu tohoto měniče.



obr. 2 - Blokové schéma DC/DC měniče [1]

„Řídicí člen SW pracuje jako spínač, který podle obr. 2 v části periody  $T_a$  je sepnut, v části  $T_b$  je rozpojen. Délka periody  $T_c$  je součtem period  $T_a + T_b$ . Zesilovač odchylky převádí rozdíl mezi žádanou hodnotou výstupního napětí a skutečným výstupním napětím na časový interval. Topologie měniče je navržena tak, aby po dobu  $T_a$  odebíral výkon ze zdroje vstupního napětí  $U_1$



a po dobu  $T_b$  byla zátěž napájena z akumulované energie v prvcích C nebo L z doby  $T_a$ . Pokud neuvažujeme v prvním přiblížení spínací ztráty, bude ztrátový výkon na měniči:

$$P_z = U_{SAT} \cdot I_2 \cdot k \quad (1)$$

Kde

$$k = \frac{T_a}{T_a + T_b} = \frac{T_a}{T_b} \leq 1 \quad (2)$$

Účinnost se obvykle pohybuje v rozsahu:  $60\% \leq \eta \leq 95\%$ . Součástí měniče bývá i transformátor, který mimo galvanické oddělení současně akumuluje energii, nahromaděnou během intervalu  $T_a$ . Zvyšováním frekvence měniče obecně snižujeme potřebný objem magnetického materiálu a jeho hmotnost. Zcela převažující je použití feritových materiálů. Požadovaný objem magnetického materiálu je nepřímo úměrný pracovní frekvenci:

$$V_{mag} = \mu \cdot \frac{U_{1m} \delta_m I_m}{B_m^2} \cdot \frac{1}{f} \quad (3)$$

kde:

$\mu$  je permeabilita materiálu,

$I_m$  je magnetizační proud a

$B_m$  je magnetická indukce.

Zvyšování frekvence měniče je proto žádoucí, na druhé straně však rostou spínací (dynamické) ztráty vlivem použitých spínačů a ztráty vlivem magnetických materiálů použitých induktorů a transformátorů. Volba použité frekvence je proto vždy kompromisem mezi těmito vlivy a souvisí s technickou úrovní použitých součástí.

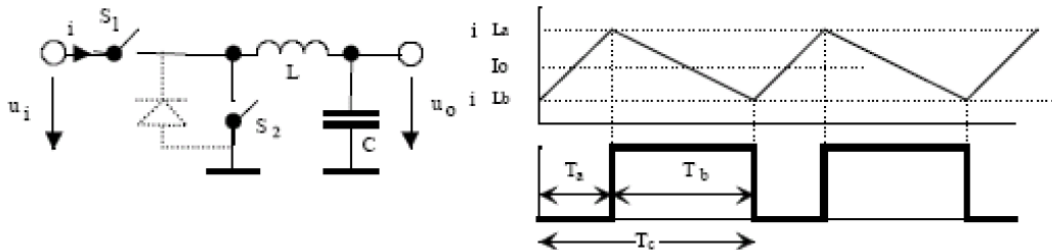
Spínač je ovládán vhodným typem pulzní modulace.“ [1]

Alternativy modulace a její vlastnosti jsou :

- a)  **$T_a = \text{konst}$**  Akumulovaná energie v impedancích měniče je při sepnutí  
 **$T_c = \text{proměnná}$**  spínače konstantní (vyšší odběr - vyšší pracovní frekvence).
- b)  **$T_b = \text{konst}$**  Podle odběru zátěže se mění  $T_a$  a tím i  $T_c$ . Metoda vhodná pro  
 **$T_c = \text{proměnná}$**  velký rozsah napětí  $U_1$ .
- c)  **$T_c = \text{konst}$**  Regulace je možná změnou poměru  $T_a/T_b$  podle odběru. Je to  
 **$T_a/T_b = \text{proměnná}$**  tedy klasická PWM. Výhodou je snadná optimalizace  
výstupního filtru a univerzálnost použití.

## 2.2 Základní zapojení DC-DC konvertorů

a) Propustný měnič – Dodává energii do zátěže v době  $T_a$



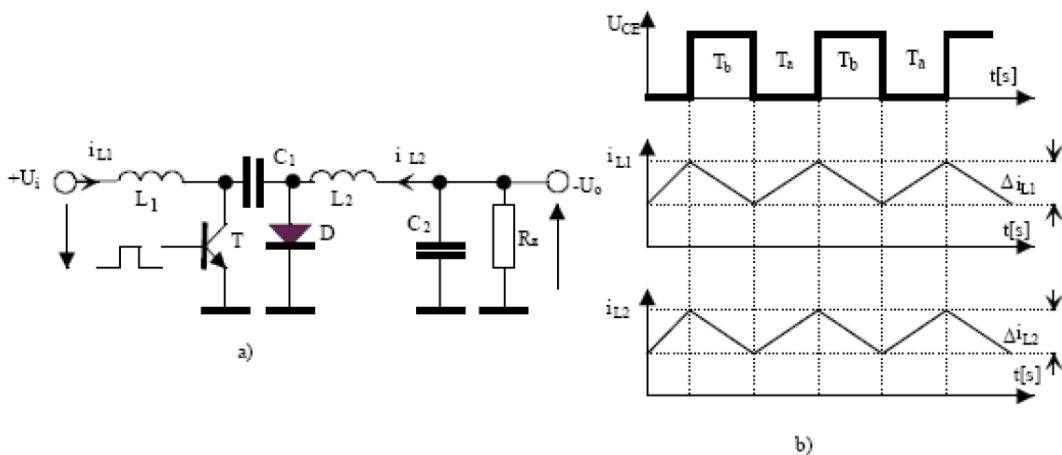
obr. 3 - Propustný měnič (Buck or Step-down converter) [1]

b) Blokující měnič – Dodává energii do zátěže v době  $T_b$

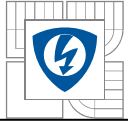


obr. 4 - Blokující měnič (Boost nebo Step-up converter), různá zapojení [1]

c) Speciální měniče, které kombinují oba předcházející principy (Čukův měnič).



obr. 5 - a) zapojení Čukova měniče, b) průběhy napětí a proudů na měniči [1]



### 2.2.1 Propustný měnič – zapojení se společnou diodou

„Na obr. 3 je znázorněno schématické zapojení propustného měniče. V části periody  $T_a$  je spínač  $S_1$  sepnut a  $S_2$  je rozepnut, v části periody  $T_b$  jsou oba spínače v opačné poloze. Na konci intervalu  $T_a$  je na induktoru napětí  $u_{La}$ :

$$u_{La} = u_i - u_c = u_i - u_o \quad (4)$$

Proud na konci intervalu  $T_a$ , tekoucí cívkou  $L$  bude:

$$i_{La} = \frac{u_{La} \cdot T_a}{L} + i_{0a} = \frac{(u_i - u_o) \cdot T_a}{L} + i_{0a} \quad (5)$$

Podobně i energie mag. pole v induktoru na konci intervalu  $T_a$ :

$$W_a = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i_{La}^2 = \Delta W_a + W_{a0} \quad (6)$$

kde  $W_{a0}$  je energie na počátku intervalu. Během intervalu  $T_b$  se indukují napětí na cívce opačné polarity, doplní se náboj na  $C$  a proud  $i_{Lb}$  na konci intervalu  $T_b$  je:

$$i_{Lb} = -\frac{u_o \cdot T_b}{L} + i_{0b} \quad (7)$$

a energie na konci intervalu  $T_b$  je:  $W_b = \Delta W_b + W_{b0}$  protože v ustáleném stavu platí:

$$\Delta W_a = \Delta W_b \quad (8)$$

$$\Delta W_a = \frac{u_i - u_o}{L} \cdot T_a \quad \Delta W_b = \frac{u_o}{L} \cdot T_b \quad (9,10)$$

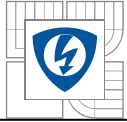
Dosadíme-li (7) do (8) a vypočítáme  $u_o$ :

$$u_o = u_i \frac{T_a}{T_a + T_b} = u_i \cdot k \quad (11)$$

kde  $k$  je pracovní činitel spínání spínačů  $S_1$  a  $S_2$ . Protože  $k \leq 1$ , bude u tohoto měniče vždy platit:

$$u_o \leq u_i \quad (12)$$

Roste-li výstupní proud, roste i proud vstupní. Překročí-li se mez kdy akumulace induktoru nestačí krýt odběr, začíná se induktor přesycovat. To má za následek prudký růst proudu což zejména ohrožuje spínač  $S_1$ . Při snižování výstupního proudu pod min. hodnotu  $I_{\min}$  začíná být proud induktorem během  $T_b$  přerušovaný. Z této meze můžeme vypočítat požadovanou minimální hodnotu induktoru  $L_{\min}$ :



$$I_{0\min} = \frac{i_{La}}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{u_0}{L} \cdot T_b \quad (13)$$

Ze vztahu (9) vypočítáme minimální indukčnost:

$$L_{\min} \geq \frac{u_0}{2 \cdot I_{0\min}} \cdot T_b \quad (14)$$

Praktické zapojení propustného měniče obvykle místo spínače  $S_2$  používá speciální rychlou diodu. Podle polaritě vstupního napětí a polaritě diody se jedná o **pozitivní nebo negativní propustný měnič** (Buck Converter). (na obr. 3 je čárkovaně naznačená dioda pro pozitivní propustný měnič). Někdy se toto spojení nazývá zapojení se společnou diodou. Vždy se však jedná o topologii, kde platí (12)“ [1].

### 2.2.2 Blokující měnič

„Také nazýván jako Boost Converter, nebo Step-Up Converter. Principiální zapojení je na obr. 4. V době  $T_a$  je sepnut spínač  $S_1$ . Proud induktorem  $i_L$  se lineárně zvyšuje a energie mag. pole v induktoru bude na konci intervalu  $T_a$ :

$$\Delta W_{La} = \frac{1}{2} L i_{La}^2 \quad (15)$$

Tato energie se během intervalu  $T_b$  změní na:

$$u_0 = u_i \frac{T_a + T_b}{T_b} = u_i \frac{T_c}{T_b} = u_i \cdot \frac{1}{1-k} \quad (16)$$

Protože je vždy  $k \leq 1$ , bude u tohoto zapojení také:

$$u_0 \geq u_i \quad (17)$$

Zapojení se často modifikuje podle obr. 4 b). Zapojení pracuje v zásadě stejně, ale rozdíl je v polaritě výstupního napětí. To je vždy obrácené proti napětí vstupnímu (na obr. 4 b) je na vstupu záporné napětí a na výstupu kladné. Obrácenou kombinaci vytvoříme otočením diody. Tento topologický útvar se někdy nazývá Inverter nebo Buck - Boost Invertor. Někdy se dioda nahrazuje dalším spínačem  $S_2$ . V tom případě lze použít MOS spínačovou dvojici. Řešení má nejen zjednodušený problém chlazení, pokud se jedná o vyšší výkony, ale současně zaručuje stejné nebo srovnatelné dynamické spínací vlastnosti obou spínačů. Základní problém u všech topologických variant popisovaných měničů, které používají v roli jednoho ze spínačů diodu, je právě v nesterajných dynamických vlastnostech obou spínačů. Pokud např. spínač  $S_1$  vypne rychleji než sepne dioda, energie magnetického pole induktoru způsobí napětěvé špičky, které ohrožují ostatní součástky.“[1]

Závislost výstupního napětí invertoru na pracovním činiteli impulzů ovládajících spínač  $S_1$  je:

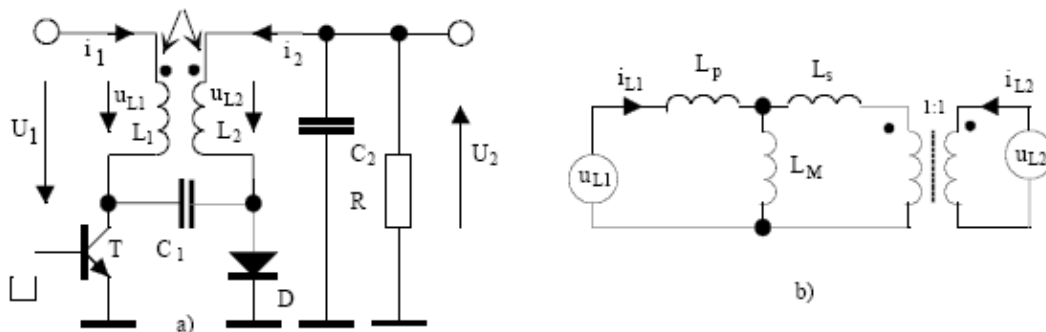
$$u_0 = -u_i \frac{T_a}{T_b} = -u_i \cdot \frac{k}{1-k} \quad (18)$$

### 2.2.3 Blokující měnič s transformátorem (Flyback converter)

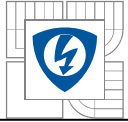
„Zapojení pracuje jako blokující měnič, ale místo induktoru je použit impulzní transformátor. Na primární straně transformátoru je spínač a sekundární vinutí je použito pro výstup. Výstupní napětí můžeme nastavit převodovým poměrem transformátoru, které může být vyšší nebo nižší než napětí napájecí. Zásadní výhodou je galvanické oddělení vstupu a výstupu. Smysly vinutí primárního a sekundárního musí být opačné, jinak se jedná o propustný měnič s transformátorem. Dosud popisované měniče používají induktor jako standardní zásobník energie pro přenos energie mezi vstupem a výstupem. Existují však i jiné možnosti zapojení, kde v roli zásobníku energie je kondenzátor. Současné technologické možnosti kondenzátorů umožňují dosažení vyšší hustoty energie [ $\text{Ws}/\text{dm}^3$ ] a proto je tato alternativa perspektivní. Představitelem této skupiny je především Čukův měnič.“[1]

### 2.2.4 Čukův měnič

„Tento měnič je ve své základní konfiguraci podle obr. 5 tvořen spínačem, spínací diodou, akumulacním kondenzátorem a dvěma induktory. Ve fázi  $T_b$  je spínač T vypnut, přes induktor  $L_1$  a otevřenou diodu D se nabíjí kondenzátor  $C_1$ . Proud  $i_{L1}$  podle stavu nabití kondenzátoru klesá. Ve fázi  $T_a$  spínač T sepne, proud  $i_{L1}$  lineárně roste a současně přes spínač T teče i proud  $i_{L2}$ . Tento proud teče i zatěžovacím odporem a jeho zdrojem je náboj na kondenzátoru  $C_1$  z předchozího intervalu. Ve fázi  $T_a$  tedy veškeré energetické ztráty vzniklé odběrem hradí energie v kondenzátoru  $C_1$ , který se nabil ve fázi  $T_b$ . Zásadní výhodou měniče je nepřerušovaný proud  $i_{L1}$  a  $i_{L2}$  po celou periodu. Poznamenejme, že ve fázi  $T_b$ , kdy se nabíjí kondenzátor  $C_1$ , určuje proud  $i_{L2}$  vybíjení kondenzátoru filtru  $C_2$ . Tím, že je přenos energie ze vstupu na výstup vzhledem k induktorům  $L_1$  a  $L_2$  nepřerušovaný, není ani kvantování na kondenzátoru kritické a jádro induktoru může být v porovnání s předchozími typy měničů podstatně menší. Všechny tyto okolnosti ukazují na dosažení nejvyšší účinnosti i při relativně nízké frekvenci spínání, kdy jsou zanedbatelné přepínací ztráty. Když použijeme nejmodernější spínací součástky a zvýšíme pracovní frekvenci, vykazuje tento typ měniče vzhledem k nepřerušovanému proudu nejnížší vysokofrekvenčnímu rušení. Pokud induktory  $L_1$  a  $L_2$  navrhne na společném magnetickém jádru podle obr. 6 a), lze při optimálním návrhu dosáhnout nulového zvlnění výstupního proudu.



obr. 6 - a) Čukův měnič s magnetickou vazbou, b) náhradní zapojení induktorů [1]



Optimální návrh pak vychází s následujícími předpoklady. Koeficient vazby  $k_v$  je definován:

$$k_v = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} = \frac{L_M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} \quad (19)$$

Poměr závitů  $n$  obou induktorů je:

$$n = \frac{N_1}{N_2} = \frac{\sqrt{L_1}}{\sqrt{L_2}} \quad (20)$$

Jednotlivé indukčnosti náhradního schématu podle obr. 6 b) jsou:

$$L_M = M \quad L_p = L_1 - M \quad L_s = L_2 - M \quad (21)$$

Napětí  $u_{L1}$  je dáno:

$$u_{L1} = L_1 \cdot \frac{di_{L1}}{dt} + M \cdot \frac{di_{L2}}{dt} \quad (22)$$

Podobně napětí  $u_{L2}$ :

$$u_{L2} = L_2 \cdot \frac{di_{L2}}{dt} + M \cdot \frac{di_{L1}}{dt} \quad (23)$$

Požadujeme-li, aby rozdíl obou rovnic byl nulový, bude to mít následující důsledky

$$0 = u_{L1} - u_{L2} = (L_1 - M) \cdot \frac{di_{L1}}{dt} + (M - L_2) \cdot \frac{di_{L2}}{dt} \quad (24)$$

Přijmeme-li předpoklad:  $L_1 - M = 0$  a  $(M - L_2) \neq 0$ , pak vhodným návrhem transformátoru můžeme dosáhnout nulového zvlnění výstupního proudu:

$$\frac{di_{L2}}{dt} = 0 \quad (25)$$

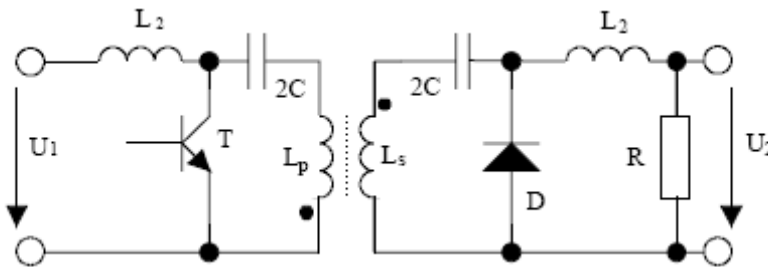
Jestliže podle výše uvedeného předpokladu  $L_1 = M$  dosadíme do výrazu pro koeficient vazby  $k_v$ , dostaneme:

$$k_v = \frac{L_1}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} = \frac{\sqrt{L_1}}{\sqrt{L_2}} = n \quad (26)$$

a naopak, zvolíme-li  $L_2 = M$ , dostaneme podobný výraz:

$$n = \frac{1}{k_v} \quad (27)$$

Technicky ovšem nelze tento vztah dosáhnout na uzavřených jádrech a proto se zapojení modifikuje podle obr.7. Toto zapojení současně ukazuje i zapojení tohoto měniče pro galvanické oddělení vstupu a výstupu.



Obr. 7 - Zapojení Čukova měniče s oddělovacím transformátorem [1]

Pro volbu induktorů transformátoru platí:

$$L_p = k_v^2 \cdot L_1 \quad (28)$$

$$L_s = (1 - k_v^2) \cdot L_1 \quad (29)$$

$$n = k_v \cdot \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} \quad (30)$$

Ty můžeme navrhnout tak, aby platilo (22).

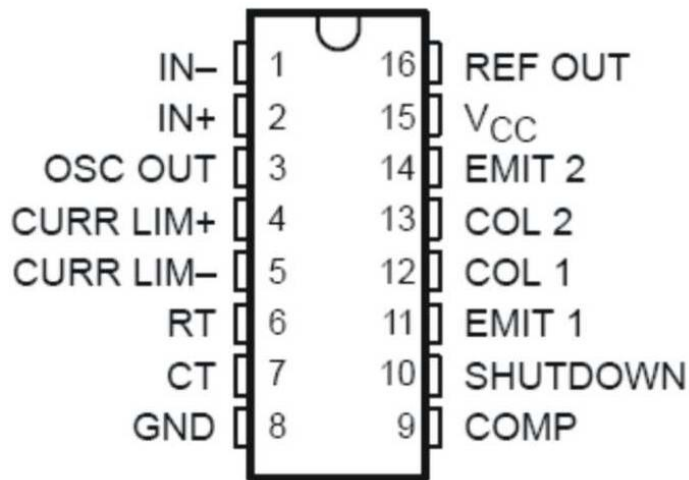
U Čukova měniče se uvádí vynikající účinnost  $\eta \leq 95\%$  a vysoká výkonová hustota  $\frac{P}{m} \geq 400 \frac{W}{kg}$ . [1]

## 3 NÁVRH MĚNIČE S OBVODEM SG3524

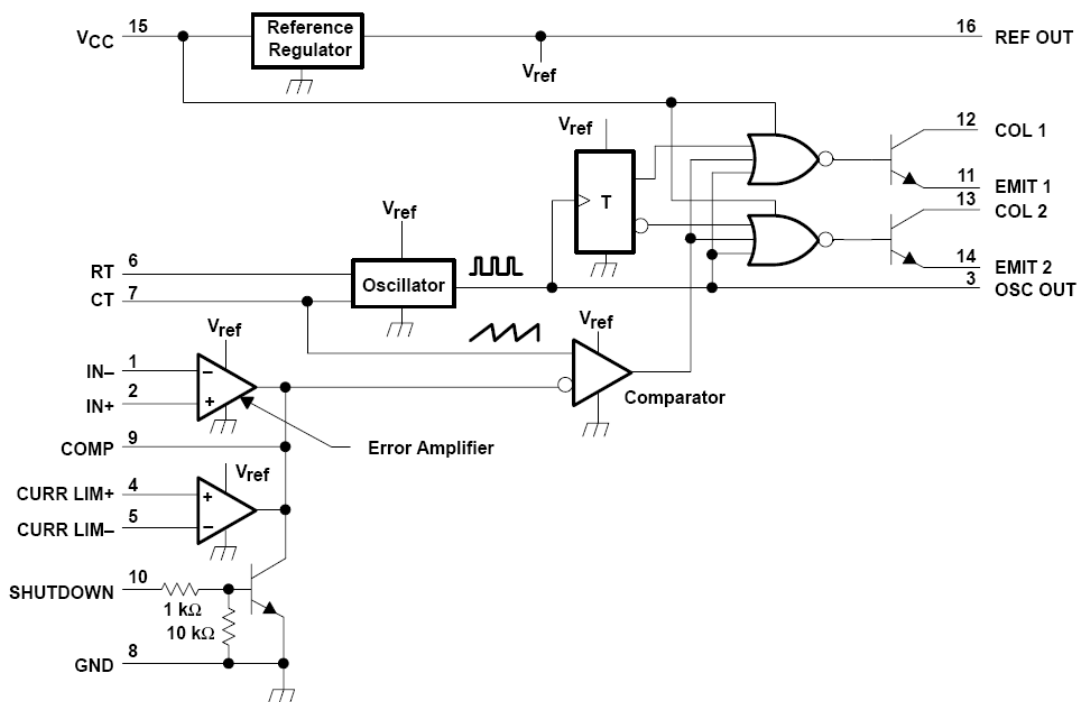
Potřebný měnič musí být zvyšující. Protože je potřeba relativně vysoký výstupní výkon (65W), je nutné použít měnič s indukčností nebo transformátorem. Po prozkoumání odborných časopisů a internetu, jsem se rozhodl použít integrovaný obvod LT3524 vyráběný firmou Linear Technology (pod označením SG3524 jej také vyrábí firma Texas Instruments a další, např. Philips, STM ...) a zapojit ho podle doporučeného zapojení od výrobce s úpravami pro potřeby napájení notebooku (jeho napájecím napětím 20V) a potřebnými ochranami omezujícími možnost poškození zdroje a notebooku.

### 3.1 Popis integrovaného obvodu SG3524

Jedná se o univerzální regulující pulzně-šířkový regulátor. Tento obvod se často používá pro konstrukci regulovatelných zdrojů, spínaných zdrojů nebo invertorů. Také se dá použít jako řídicí prvek výkonných zdrojů. Tento čip byl vyvinut jako spínaný zdroj pro obě polaridy napětí, DC/DC měniče s transformátorem, beztransformátorové zdvojovače napětí a měniče polaridy napětí s konstantní frekvencí a také pro pulzně šířkové modulátory. Každý tento integrovaný obvod obsahuje zdroj reference, zesilovač odchylky, nastavitelný oscilátor, regulátor a modulátor.



obr. 8 - Zapojení pinů na pouzdru SG3524 [2]

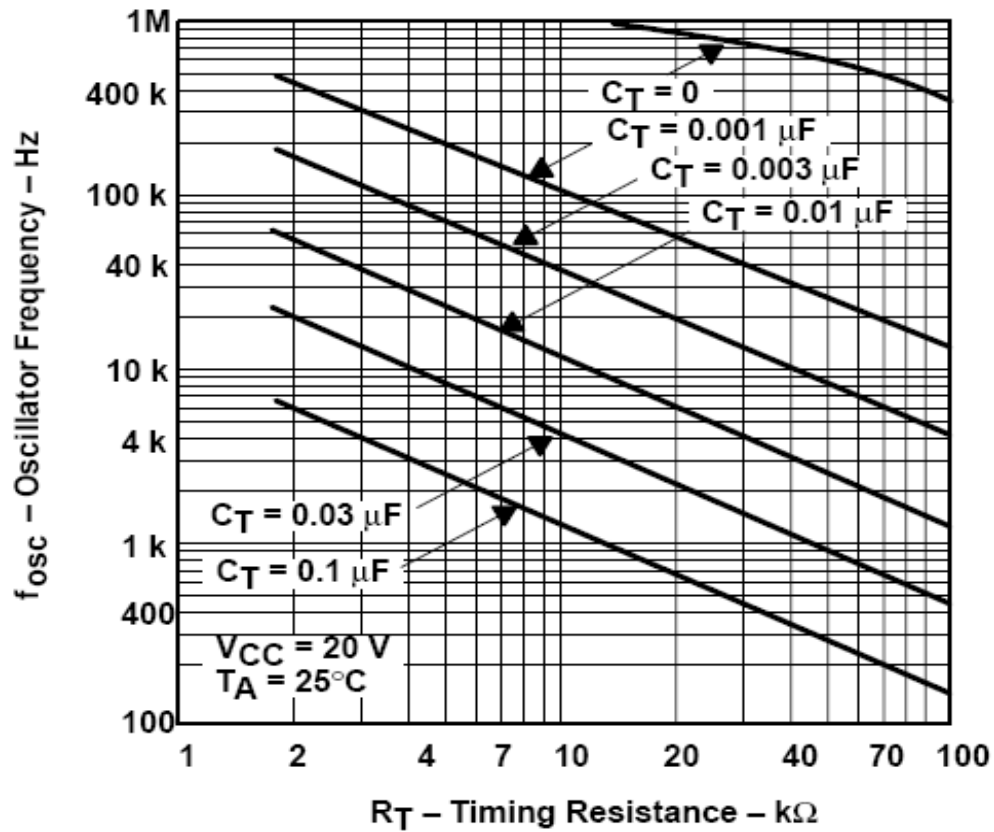


obr. 9 - Blokový diagram integrovaného obvodu SG3524 [2]

Integrovaný obvod obsahuje vnitřní oscilátor, který řídí dva výstupní transistory, ty pak dále můžou spínat externí transistory. Pro frekvenci oscilátoru udává výrobce vztah:

$$f_{osc} = \frac{1,3}{(R_T \cdot C_T)} \quad [\text{kHz}; \text{k}\Omega; \mu\text{F}] \quad (31)$$

Tuto frekvenci lze také nastavit a vyčíst hodnoty  $R_T$  a  $C_T$  z grafu na obr. 10:



obr. 10 - Závislost frekvence oscilátoru na hodnotách  $R_T$  a  $C_T$  [2]

Výrobce udává doporučené hodnoty  $R_T$  a  $C_T$ :

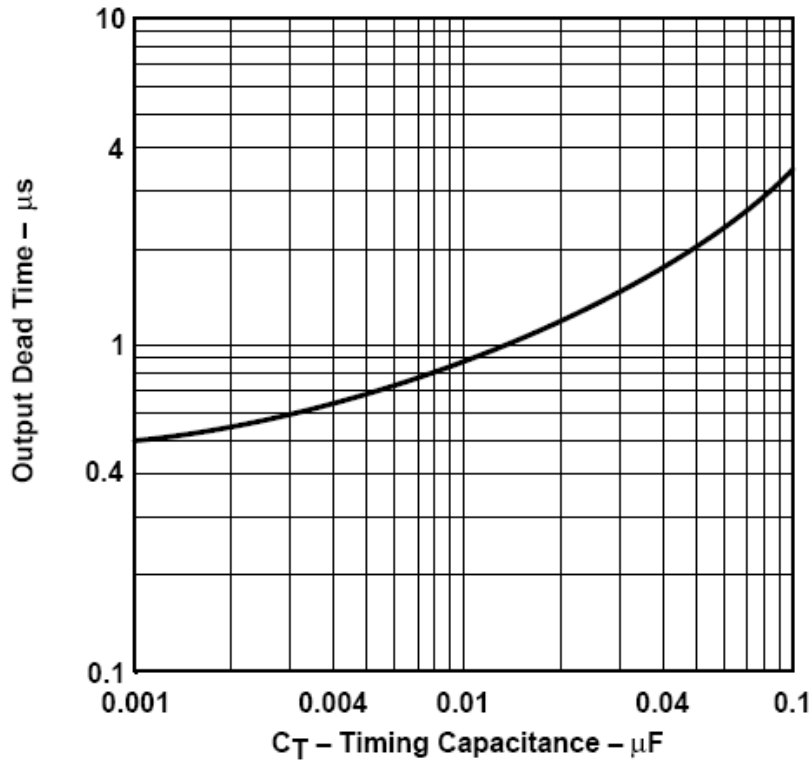
$$C_T = \langle 1; 100 \rangle \quad [nF] \quad (32)$$

$$R_T = \langle 1, 8; 100 \rangle \quad [k\Omega] \quad (33)$$

Nastavením těchto hodnot se dá docílit výstupní frekvence oscilátoru:

$$f_{osc} = \langle 0, 14; 500 \rangle \quad [kHz] \quad (34)$$

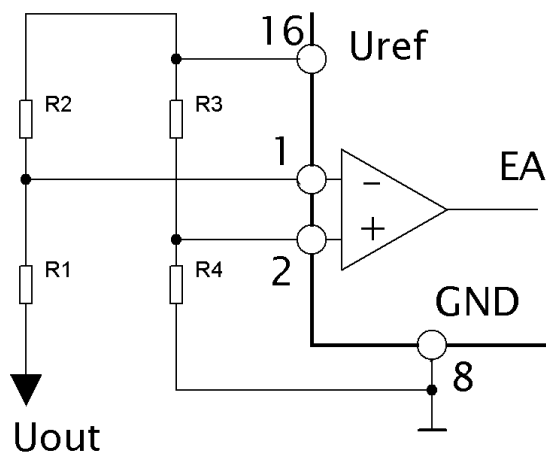
Současně se volbou velikosti  $C_T$  volí minimální doba rozeznání  $t_{2min}$  (DEAD TIME) podle grafu na obr. 21:



obr. 11 - Závislost dead time na velikosti  $C_T$  [2]

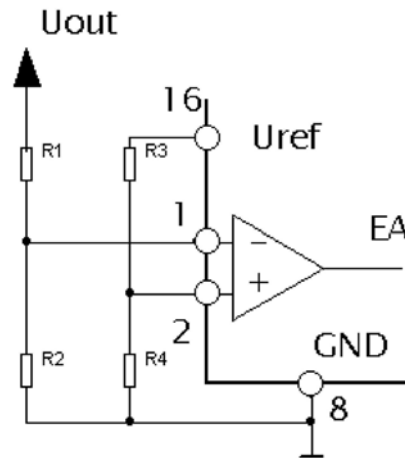
Pro vypnutí výstupních impulzů z oscilátoru stačí připojit výstup oscilátoru na zem (pin 3 na GND).

Připojení výstupního napětí k zesilovači odchylky závisí na polaritě výstupního napětí. Pro záporné výstupní napětí zapojíme obvod podle obr. 12:



obr. 12 -  $U_{OUT} < 0$  [2]

Pokud je výstupní napětí kladné, tak obvod zapojíme podle obr. 13:



obr. 13 -  $U_{OUT} > 0$  [2]

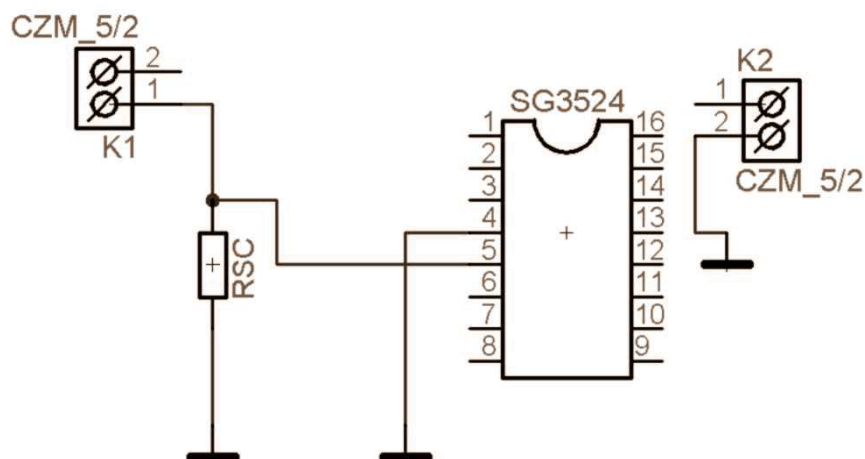
Velikost výstupního napětí je u obou polarit výstupního napětí dána vztahem:

$$U_{OUT} = U_{REF} \cdot \frac{(R_1 + R_2)}{R_2} \quad (35)$$

Kde pro stejné zatížení vstupů zesilovače odchylky je doporučena platnost vztahu:

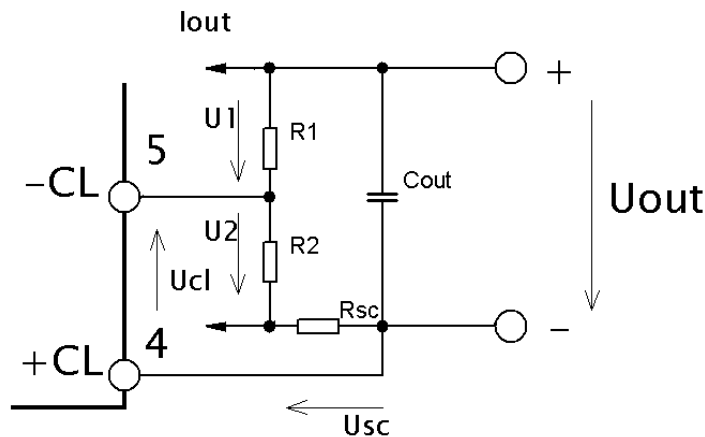
$$\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = 2,5k\Omega \quad (36)$$

Vstupy proudového omezení +Current limit (pin 4) a -Current limit (pin 5) se mohou připojit přímo na snímací odpor  $R_{SC}$  zařazený mezi GND vstupní a výstupní podle Obr. 14:



Obr. 14 - Zapojení snímacího odporu  $R_{SC}$

Napětí na  $R_{SC}$  je pro funkci jen  $U_{CL}=200mV$ , takže pro velké proudy je hodnota odporu  $R_{SC}$  velmi malá a těžko realizovatelná. Proto se dá snímání velkých proudů realizovat způsobem znázorněným na obr. 15:



Obr. 15 – Snímání velkých proudů [2]

Zde se využívá jak úbytek napětí na snímacím odporu, tak úbytek, který si vytvoříme pomocným děličem  $R_1 - R_2$ . Platí tedy vztah pro tato napětí:

$$U_{CL} = U_{SC} - U_2 \quad (37)$$

Úbytek napětí na odporu  $R_{SC}$  je dán procházejícím proudem  $I_{OUT}$  (proud děličem  $R_1 - R_2$  lze zanedbat):

$$U_{SC} = R_{SC} \cdot I_{OUT} \quad (38)$$

Úbytek napětí na odporu  $R_2$  dává výstupní napětí:

$$U_2 = U_{OUT} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (39)$$

A napětí  $U_{CL} = 200\text{mV}$  je konstantní. Porovnáním vztahů (38) a (39) dostaneme:

$$I_{OUTMAX} = \frac{U_{CL}}{R_{SC}} + U_{OUT} \cdot \frac{R_2}{R_{SC} \cdot (R_1 + R_2)} \quad (40)$$

Kde nám vlastní zvýšení vytváří druhý člen v součtu, tedy první člen může být menší, to znamená, že hodnota odporu  $R_{SC}$  může být vyšší. Tím se ale zvyšují ztráty na  $R_{SC}$ . Opačně může také nastat situace, kdy malý proud nevyvolá na  $R_{SC}$  úbytek  $U_{CL} = 200\text{mV}$  a tak bychom museli zvolit hodnotu  $R_{SC}$  nepřiměřeně vysokou, toto se dá řešit posunutím odporu  $R_{SC}$  před dělič  $R_1 - R_2$ . Tentokrát platí vztah:

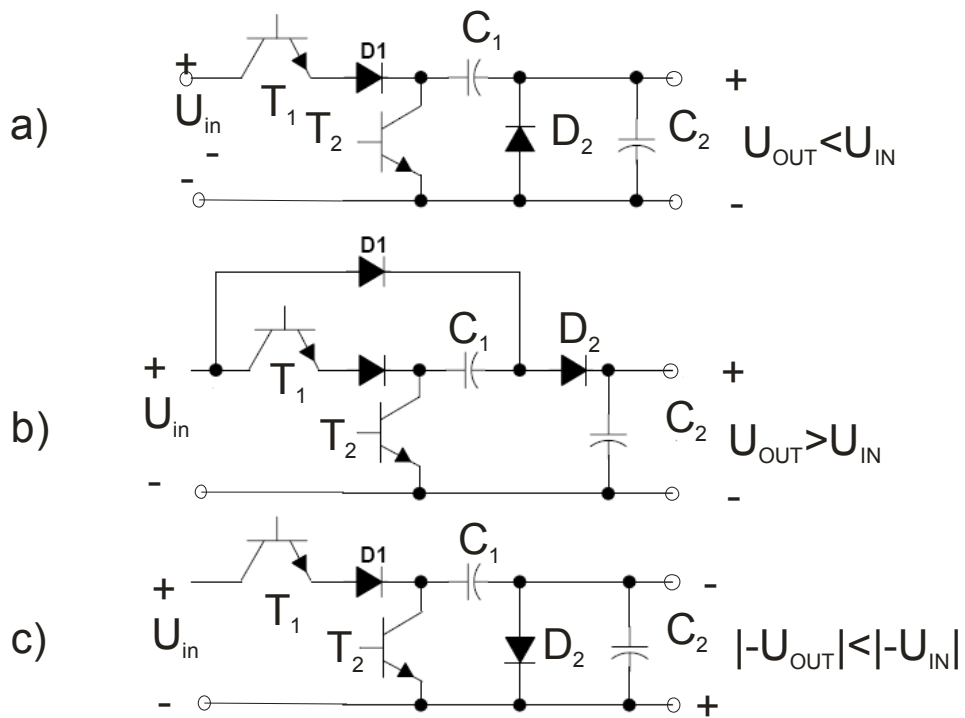
$$U_{CL} = U_{SC} + U_2 \quad (41)$$

Což po dosazení:

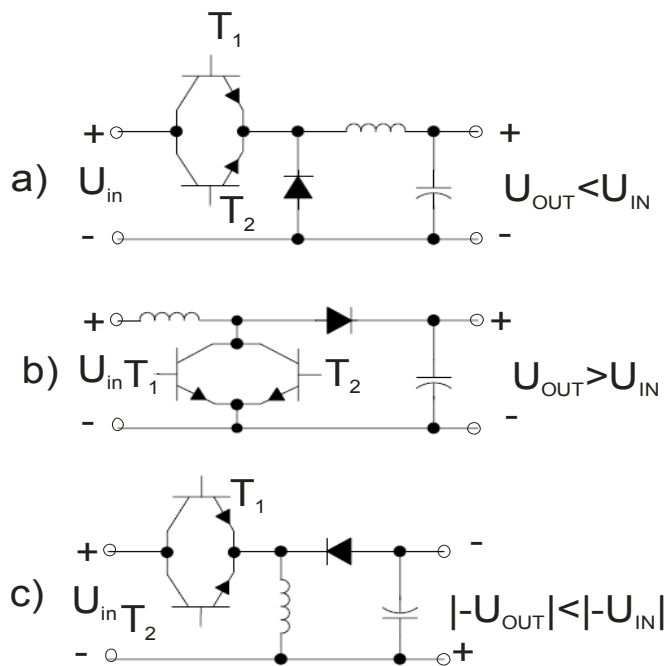
$$I_{OUTMAX} = \frac{U_{CL}}{R_{SC}} - U_{OUT} \cdot \frac{R_2}{R_{SC} \cdot (R_1 + R_2)} \quad (42)$$

Zde druhý člen snižuje hodnotu proudu i při volbě malého  $R_{SC}$  v prvním členu.

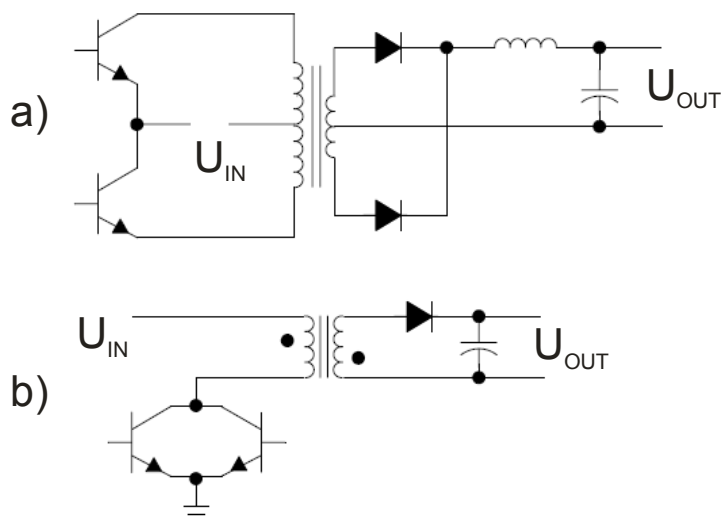
Na Obr. 16 je znázorněno možné použití výstupních tranzistorů IO SG3524:



Obr. 16 - zapojení SG3524 pro spínání externích kapacit [2]



Obr. 17 - zapojení SG3524 pro spínání externích indukčností [2]

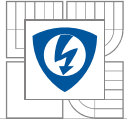


obr. 18 - a) PUSH-PULL zapojení, b) Flyback zapojení [2]

Integrovaný obvod SG3524 lze použít pro spínání externích kapacit, Obr. 16, pro spínání externích indukčností, Obr. 17 a také pro spínání transformátorů, obr. 18. Tranzistory T<sub>1</sub> a T<sub>2</sub> jsou vnitřní tranzistory v IO LT3524, diody, kondenzátory, indukčnosti a transformátory jsou externí. Tranzistory T<sub>1</sub> a T<sub>2</sub> spínají střídavě, při rozepnutém T<sub>2</sub> je T<sub>1</sub> sepnut a naopak. Na Obr. 16 a) se nabíjí oba kondenzátory C<sub>1</sub> a C<sub>2</sub> zapojené sériově na vstupní napětí U<sub>IN</sub>. Na kondenzátoru C<sub>2</sub> je tedy vždy menší napětí než U<sub>IN</sub>. V další půlperiodě se spíná T<sub>2</sub> a rozepíná T<sub>1</sub> a kondenzátor C<sub>1</sub> je přes T<sub>2</sub> a D<sub>2</sub> vybíjen.

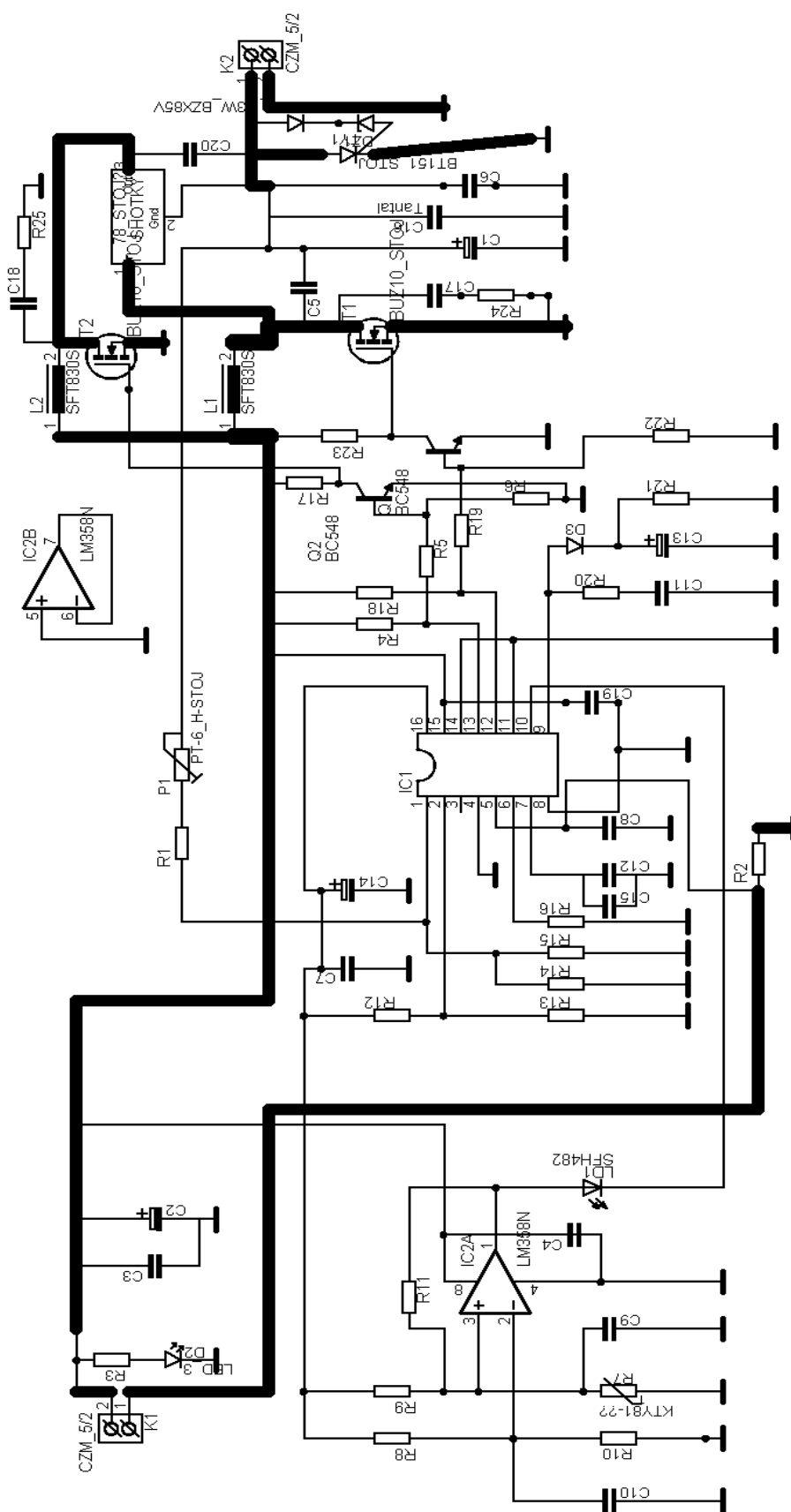
Na Obr. 16 b) se přes diodu D<sub>1</sub> nabíjí výstupní kondenzátor C<sub>2</sub> na napětí U<sub>IN</sub> během sepnutého tranzistoru T<sub>1</sub>. Jakmile se sepne tranzistor T<sub>2</sub> a T<sub>1</sub> se rozepne, je kondenzátor C<sub>1</sub> nabíjen z +U<sub>IN</sub> přes D<sub>1</sub> a sepnutý T<sub>2</sub>. Nabije se na napětí téměř U<sub>IN</sub> s polaritou plus vpravo. Po sepnutí tranzistoru T<sub>1</sub> a rozepnutí T<sub>2</sub> je zdroj U<sub>IN</sub> spojen do série s napětím na C<sub>1</sub> a tímto napětím o velikosti téměř 2.U<sub>IN</sub> se nabíjí kondenzátor C<sub>2</sub>. Měnič v zapojení na Obr. 16 c) nejdříve přes sepnutý tranzistor T<sub>1</sub>, diodu D<sub>1</sub> a diodu D<sub>2</sub> nabíjí kondenzátor C<sub>1</sub>, aby jej v následující polovině cyklu mohl připojit kladnou svorkou na zem tranzistorem T<sub>2</sub>. Takto je na výstupním kondenzátoru napětí téměř U<sub>IN</sub>. Do výše uvedených zapojení lze místo klasických diod použít diody Schottkyho. S jejich použitím budou ztráty napětí a ztráty na diodách minimální. Používání tohoto IO v obvodech podle Obr. 16 je poměrně drahé, tyto IO jsou určeny zejména pro použití s zapojení s cívkami, podle Obr. 17. Tento obrázek ukazuje zapojení pro a) snižování vstupního napětí, b) zvyšování vstupního napětí, c) inverze vstupního napětí. Ve všech třech zapojeních je třeba pouze jeden tranzistor, tedy můžeme zapojit výstupní tranzistory IO paralelně. Tím se zdvojnásobí výstupní frekvence spínání proudu do indukčnosti.

Nejčastější užití obvodu LT3524 je hlavně tam, kde lze účelně využít oba vnitřní tranzistory a hlavně omezit velikost stejnosměrného sycení magnetického jádra transformátoru. To je možné v základním zapojení s výstupním trafem se symetrickým vinutím (PUSH-PULL) na obr. 18 a). [7]



### 3.2 Schéma zapojení měniče

Vzhledem k nedostupnosti IO výrobce Linear Technology LT3524 jsem použil ekvivalentní výrobek Texas Instruments, typ SG3524. Schéma zapojení jsem odvodil od doporučených schémat zapojení výrobcem IO a přidal dvě ochrany. První ochrana je proti přehřátí a skládá se z komparátoru LM358 (IC2 na obr. 19) teplotního čidla KTY81-121 (R7 na obr. 19) a signalizační LED (LD1 na obr. 19). Komparátor vyhodnocuje teplotu z čidla a pokud je teplota vyšší než nastavená, snížením napětí na pinu 10 SG3524 integrovaný obvod vypne. Stav signalizuje LED LD1. Další ochrana je ochrana proti přepětí. Protože toho zařízení bude napájet notebook, musíme jej chránit i proti přepětí, aby nedošlo k poškození napájecího okruhu uvnitř notebooku. Pro realizaci ochrany jsem použil jednoduchý obvod v podobě Zenerovy diody a tyristoru. Dioda má zenerovo napětí 20V, plus 0,7V úbytek na diodě D1 zapojené podle schématu na **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.** Tedy při napětí nad 20,7V dojde k otevření tyristoru TY1. Tyristor zkratuje výstup měniče, následně dojde k přepálení pojistky F1 a takto dojde k vypnutí napájení. Stav signalizuje zhasnutí LED3.



obr. 19 - Schéma zapojení měniče s SG3524



Hlavním prvkem tohoto obvodu je cívka L1 a L2, integrovaný obvod IC1 (SG3524), tranzistory T1 a T2 a dioda D4.

### 3.2.1 Volba tranzistorů

Protože obvodem poteče relativně velký proud, volil jsem, z důvodu minimalizace ztrát, tranzistory s nízkým odporem v otevřeném stavu. Na základě katalogových údajů jsem vybral N-MOSFET tranzistory, protože oproti bipolárním tranzistorům díky malému odporu otevřeného kanálu i při vysokém proudu je na nich malý úbytek napětí. Tranzistor také musí být dostupný a ekonomicky výhodný. Z katalogu firmy GME jsem na základě těchto kritérií vybral tranzistor RFP50N06 (kat. číslo 213-132). Jeho katalogové hodnoty jsou na Obr. 20:

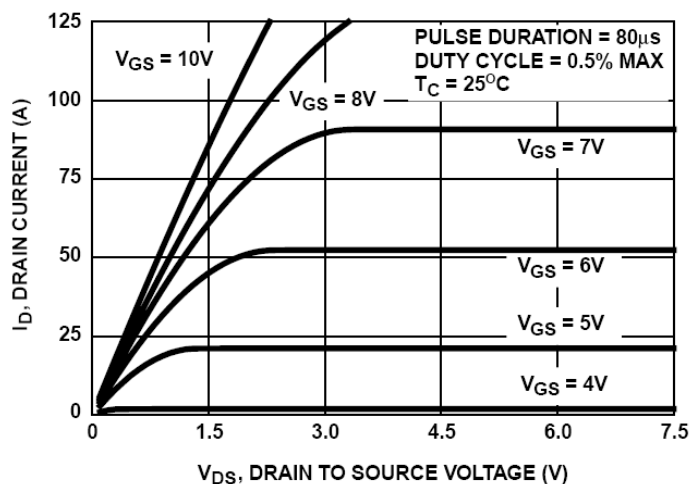
#### Tranzistory N-MOSFET

DBH

Typ	Skł. číslo	MC	V <sub>DS</sub>	I <sub>o</sub>	P <sub>tot</sub>	R <sub>DS</sub>	při I <sub>o</sub>	pouzdro
RFP50N06	213-132	16,00	60 V	50 A	131 W	22 mΩ	10,0 A	TO220AB

Obr. 20 - Tranzistor RFP50N06 v katalogu GME [3]

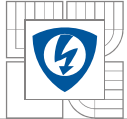
Tento tranzistor se vyznačuje hlavně vysokým proudem I<sub>D</sub>, který je schopen snést, a také nízkým odporem R<sub>DS</sub>. Takto dimenzovaný tranzistor jsem vybral také z důvodu, kdy při testování obvodu při experimentech s přesycením jádra cívky se špičková hodnota proudu blížila až ke 40A, což zničilo předchozí testovaný tranzistor s I<sub>Dmax</sub> 15A.



Obr. 21 - saturační charakteristika RFP50N06 [4]

V našem případě bude U<sub>GS</sub>=12V. Z grafu na Obr. 21 vyplývá, že při I<sub>D</sub>=10A je U<sub>DS</sub>=0,2V. Ztráty na tranzistoru P<sub>TR</sub>=I<sub>D</sub>.U<sub>DS</sub>=10.0,2=2W. Tyto ztráty se dají chladit malým pasivním chladičem pro pouzdro tranzistoru TO-220.

$$P = \frac{T_J - T_A}{Q_{jc} + Q_{cs} + Q_{sa}} = \frac{150 - 40}{1 + 0,5 + 21} = 5W$$



Kde	$T_J$	maximální teplota přechodu tranzistoru udávaná výrobcem
	$T_A$	teplota okolí
	$Q_{jc}$	tepelný odpor polovodičový přechod ->pouzdro
	$Q_{cs}$	tepelný odpor přechodu pouzdro->chladič
	$Q_{sa}$	tepelný odpor přechodu chladič->vzduch

Chladič DO1A s tepelným odporem přechodu 21K/W je schopen uchládit ztráty na tranzistoru až 5W, což plně postačuje.

### 3.2.2 Volba dvojité diody D4

Touto diodou protéká plný proud do zátěže, proto je třeba zde použít diodu s co nejmenším úbytkem napětí v propustném směru. Není zde potřeba příliš vysoké závěrné napětí, proto jsem zvolil Schottkyho diodu (v pouzdře TO220, pro lepší chlazení), opět z katalogu GME:

Schottky diody						CJD
Typ	Skł. číslo	MC	Popis	U	I	pouzdro
MBR20100CT	223-097	23,00	2 x schottky	100 V	2 x 10,0 A	TO220AB

Obr. 22 - Schottkyho dioda v katalogu GME [3]

V pouzdře TO220 jsou dvě diody se společnou katodou, jmenovitého proudu 2 x 10A. Chlazení bude zabezpečovat jednoduchý pasívní chladič.

$$P_D = I_D \cdot U_D = 10 \cdot 0,2 = 2W$$

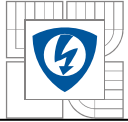
$$P = \frac{T_J - T_A}{Q_{jc} + Q_{cs} + Q_{sa}} = \frac{150 - 40}{1 + 0,5 + 21} = 5W$$

### 3.2.3 Volba integrovaného obvodu IC1

Tento obvod jsem zvolil kvůli jeho vlastnostem, popsaným v kapitole 3.1. Výpis obvodu z katalogu GME:

Obvody pro spínané zdroje, DC/ DC měniče a regulátory motorů				FBX
Typ	Skł. č.	MC	Popis	
SG3524	332-010	23,00	elektron.spínač pro pulsní mod	

Obr. 23 - SG3524 v katalogu GME [3]



### 3.3 Výpočet součástek

#### 3.3.1 Vstupní a výstupní elektrolytický kondenzátor

Při výpočtu těchto komponent jsem použil program SwitcherCAD od firmy Linear technology. Program vypočítal hodnotu kapacity vstupního i výstupního kondenzátoru - 680 $\mu$ F. Nejbližší vyšší v řadě je 1mF, tyto jsem experimentálně ověřoval. Bohužel se tyto kapacity ukázaly jako nevyhovující (velké zvlnění vstupního proudu a výstupního napětí), proto jsem zvolil ještě větší kondenzátory,  $C_{IN}=2,2\text{mF}$  a  $C_{OUT}=3,3\text{mF}$ . Měřením jsem ověřil, že tyto kondenzátory už měly dostatečnou kapacitu a tudíž byly vyhovující.

#### 3.3.2 Minimální indukčnost cívky

Při výpočtu cívky program SwitcherCAD navrhl cívku o minimální indukčnosti 25 $\mu$ H, podobně jako výpočet podle vzorce:

$$L_{\min} = \frac{U_{\text{sek}}}{2 \cdot f \cdot \Delta I} \cdot (1-s) \cdot s = \frac{20V}{2.50\text{kHz} \cdot 2,17A} \cdot (1-0,4) \cdot 0,4 = 23\mu H$$

V katalogu GME jsem vyhledal vhodnou cívku – našel jsem induktor o parametrech 80 $\mu$ H a 10A. Naměřená indukčnost byla 75 $\mu$ H. Tento induktor při nastavené optimální spínací frekvenci, jak prokázalo měření na sestaveném obvodu, se začal přesycovat již při  $I_{\text{výst}}=2,8\text{A}$  (pro dostatečný výkon musí platit  $I_{\text{výst}}=3,25\text{A}$ ). Experimentálně jsem zkusil navinout cívku podobných parametrů, tedy  $L>25\mu H$ , na hrníčkové jádro, nicméně tato se taky přesycovala při  $I_{\text{výst}}=2,75\text{A}$ . Došel jsem k závěru, že pro takový výstupní proud by cívka musela mít přehnaně velké rozměry, proto jsem se rozhodl přejít k zapojení s dvěma cívkami, kterou spíná každý kanál IO zvlášť. V tomto zapojení se cívky nepřesycovaly ani při  $I_{\text{výst}}=3,5\text{A}$  ( $P_{\text{výst}}=70\text{W}$ ).

#### 3.3.3 Výpočet odporového děliče pro řízení výstupního napětí

Podle (39) je:

$$U_{\text{OUT}} = U_{\text{REF}} \cdot \frac{(R_1 + R_2)}{R_2}$$

Kde :

$$U_{\text{OUT}}=20\text{V}$$

$$U_{\text{REF}}=2,5\text{V}$$

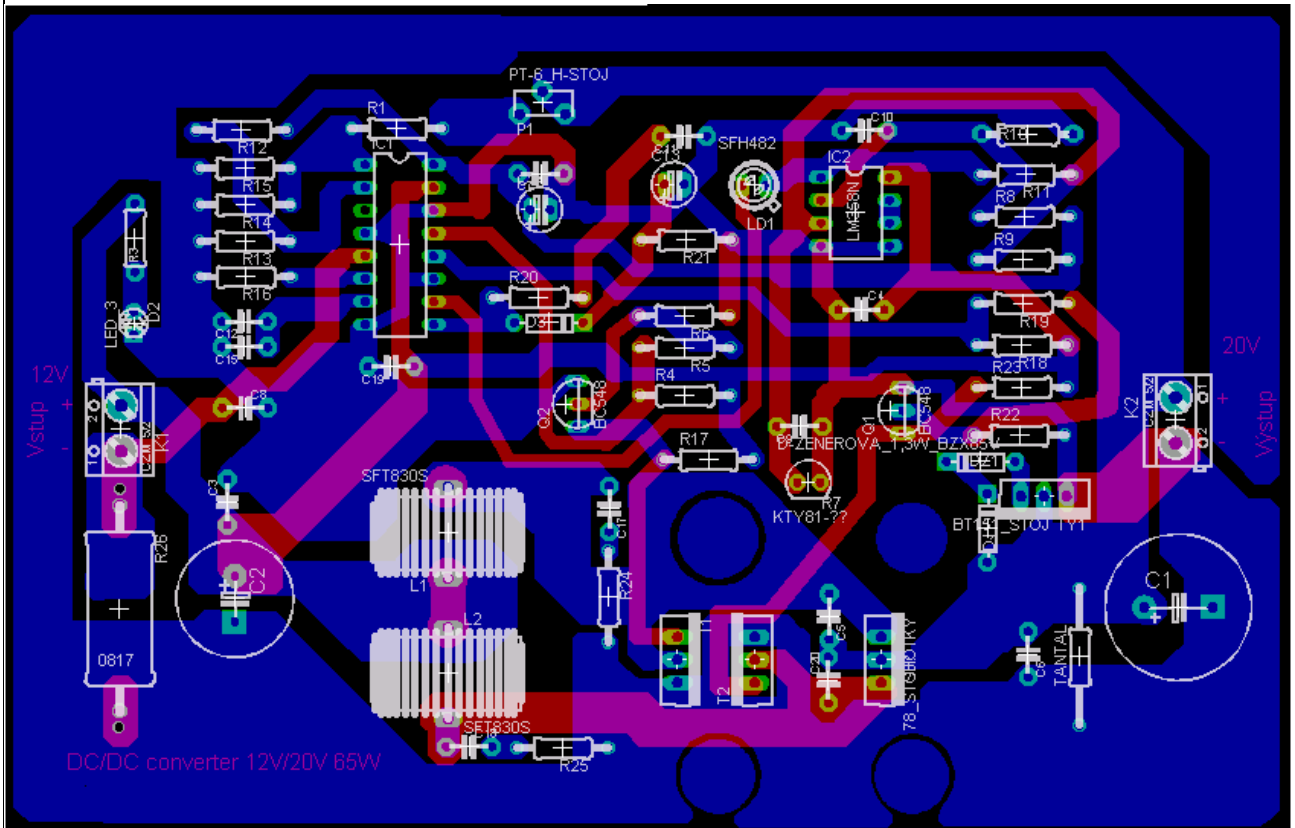
Výpočtem za použití rovnice (39):

$$R_1=17,5\text{k}\Omega$$

$$R_2=2,5\text{k}\Omega$$

Na schématu R1 odpovídá sériové kombinaci R1 a trimru P1. Trimr jsem použil z důvodu jednoduššího nastavení výsledného odporu, protože odpor o přesné velikosti 17k5 se nevyrobí.

### 3.4 Rozložení součástek na DPS

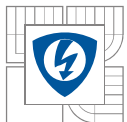


Obr. 24 - Rozložení součástek na DPS

### 3.5 Tabulka použitých součástek

#### 3.5.1 Použité rezistory

Název	Hodnota	jednotka	Katalogové číslo GME	Cena v Kč
R <sub>1</sub>	10	[kΩ]	119-124	1
R <sub>2</sub>	0,04	[Ω]	114-581	25
R <sub>3</sub>	470	[Ω]	119-131	1
R <sub>4</sub>	2,2	[kΩ]	119-054	1
R <sub>5</sub>	470	[Ω]	119-131	1
R <sub>6</sub>	1	[kΩ]	119-075	1
R <sub>8</sub>	24	[kΩ]	119-204	0,8
R <sub>9</sub>	2,7	[kΩ]	119-079	1

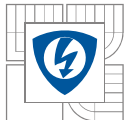


Název	Hodnota	jednotka	Katalogové číslo GME	Cena v Kč
R <sub>10</sub>	12	[kΩ]	119-205	1
R <sub>11</sub>	470	[kΩ]	119-093	1
R <sub>12</sub>	4,7	[kΩ]	119-132	1
R <sub>13</sub>	4,7	[kΩ]	119-133	1
R <sub>14</sub>	33	[kΩ]	119-083	1
R <sub>15</sub>	2,7	[kΩ]	119-079	1
R <sub>16</sub>	2,7	[kΩ]	119-079	1
R <sub>17</sub>	1,8	[kΩ]	119-127	1
R <sub>18</sub>	2,2	[kΩ]	119-054	1
R <sub>19</sub>	470	[Ω]	119-131	1
R <sub>20</sub>	47	[kΩ]	119-058	1
R <sub>21</sub>	1	[MΩ]	119-018	1
R <sub>22</sub>	1	[kΩ]	119-075	1
R <sub>23</sub>	1,8	[kΩ]	119-127	1
R <sub>24</sub>	100	[Ω]	119-057	1
R <sub>25</sub>	100	[Ω]	119-057	1

*Tabulka 1 - Použité rezistory*

### 3.5.2 Použité kondenzátory

Název	Typ	Hodnota	jednotka	Katalogové číslo GME	Cena v Kč
C <sub>1</sub>	elektrolyt	3,3	[mF]	123-242	26
C <sub>2</sub>	elektrolyt	2,2	[mF]	123-187	8
C <sub>3</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3
C <sub>4</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3
C <sub>5</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3
C <sub>6</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3
C <sub>8</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3
C <sub>9</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3
C <sub>10</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3
C <sub>11</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3
C <sub>12</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3



Název	Typ	Hodnota	jednotka	Katalogové číslo GME	Cena v Kč
C <sub>13</sub>	elektrolyt	4,7	[μF]	123-040	1
C <sub>14</sub>	elektrolyt	10	[μF]	123-058	1
C <sub>15</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3
C <sub>16</sub>	tantal	1	[μF]	122-052	4,5
C <sub>17</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3
C <sub>18</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3
C <sub>19</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3
C <sub>20</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3

Tabulka 2 - Použité kondenzátory

### 3.5.3 Ostatní použité komponenty

Název	popis	Katalogové číslo GME	Cena v Kč
IC1	SG3524	332-010	23
IC2	LM358	310-014	4
L1	tlumivka 10A 80uH RM15x22,5	611-161	68
L2	tlumivka 10A 80uH RM15x22,6	611-161	68
Q1	BC548B - NPN 30V 0,1A β= 180-460 TO92	210-029	1
Q2	BC548B - NPN 30V 0,1A β= 180-460 TO92	210-029	1
T1	IRFZ44 - MOS-N-FET 60V 50A <0.028R TO-220	213-071	14
T2	IRFZ44 - MOS-N-FET 60V 50A <0.028R TO-220	213-071	14
LD1	červená LED	511-258	1
LD 3	zelená LED	511-060	1,5
D3	1N4148 - Univerzální dioda 75V 150mA DO-35	220-003	1
D1	1N4148 - Univerzální dioda 75V 150mA DO-35	220-003	1
ZD1	Zen. dioda DO35 0.5W ZPD 20V	222-032	1
TY1	Tyristor 600V 20A TO220AB	224-040	27
F1	vidlice kabelová auto zapalovač s int. Pojistkou	899-032	10
K1	Svorkovnice jednořadá, vertikální, 20A/250V, RM=5mm x 2	821-077	10,7
K2	Svorkovnice jednořadá, vertikální, 20A/250V, RM=5mm x 2	821-077	10,7
P1	Trimr nastojato 25k 9,8x5 RM5/2,5	112-403	5,5
R7	tep.cidlo 980-1020R, SOD 70	530-024	20

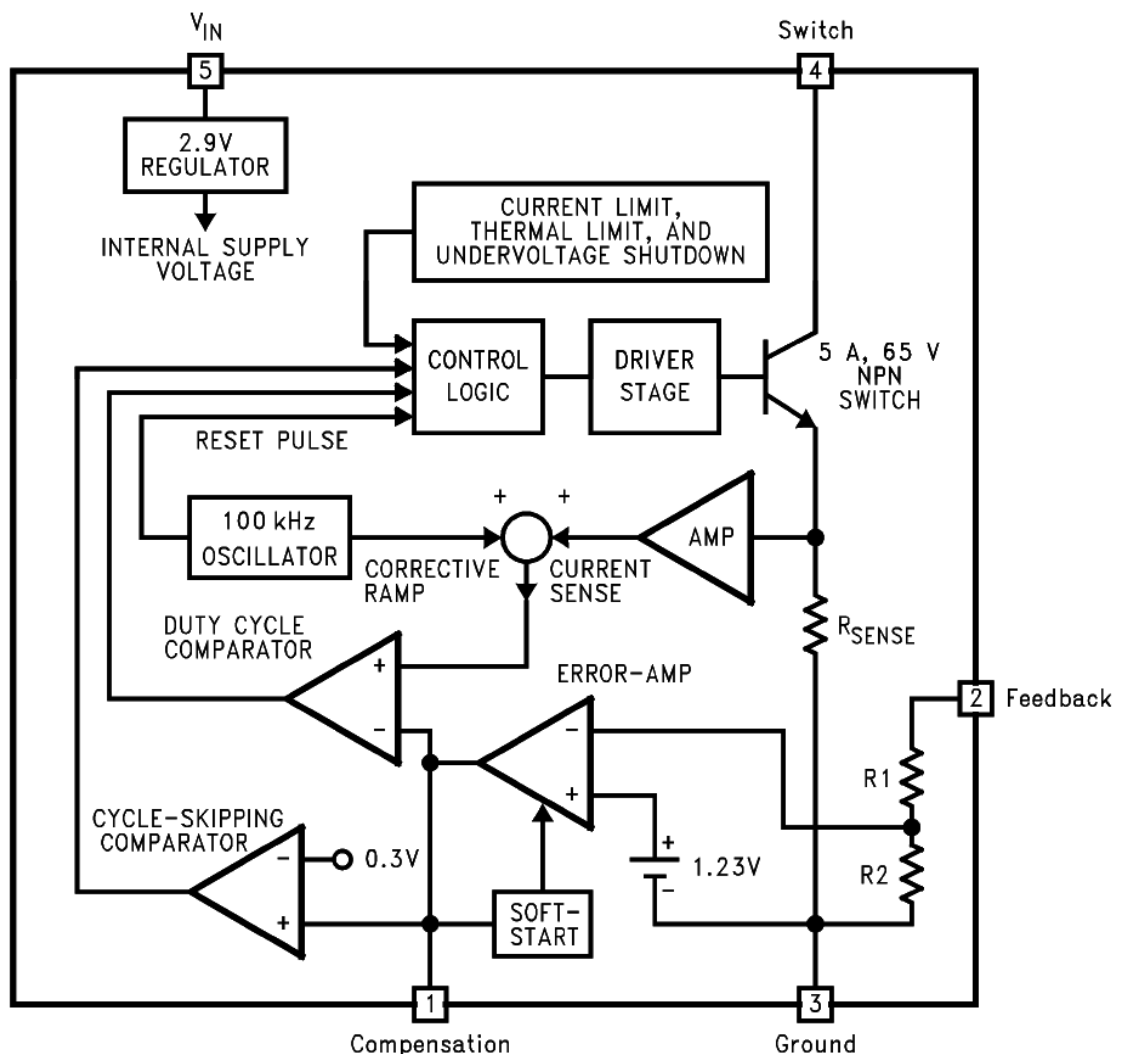
Tabulka 3 - Ostatní použité komponenty

## 4 NÁVRH MĚNIČE S OBVODEM LM2587T-ADJ

Měnič s obvodem SG3524 je sice plně funkční, ale díky univerzálnosti obvodu je nutné použít velké množství externích součástek, čímž se zvyšují nároky na velikost plošného spoje a tím i cenu celého výrobku. Proto jsem se rozhodl vyrobit jednodušší měnič. Po delším hledání a vybírání v nabídce integrovaných obvodů jsem vybral obvod LM2587T-ADJ od firmy National semiconductor. Sice existuje spousta dalších vysoce specializovaných obvodů od firmy Linear technology, ty jsou v ČR velmi obtížně dostupné.

### 4.1 Popis obvodu LM2587T-ADJ

Tento obvod je vysoce integrovaný, specializovaný výhradně na flyback nebo boost-up měniče napětí. Obvod vyžaduje minimum externích součástek, cívku, vstupní a výstupní kondenzátor, RC člen a výstupní usměrňovací diodu.



Obr. 25 – Blokový diagram obvodu LM2587 [5]

Všechny důležité komponenty už obvod obsahuje v sobě, včetně spínacího tranzistoru, v případě obvodu LM2587 je tento tranzistor dimenzovaný na 5A a 65V, tekoucí proud hlídá snímací odpor  $R_{sense}$ . Výstupní napětí se v případě obvodu s příponou ADJ dá nastavit rezistory  $R_1$  a  $R_2$  podle:

$$U_{OUT} = U_{REF} \cdot \left( 1 + \frac{R_1}{R_2} \right) \quad (43)$$

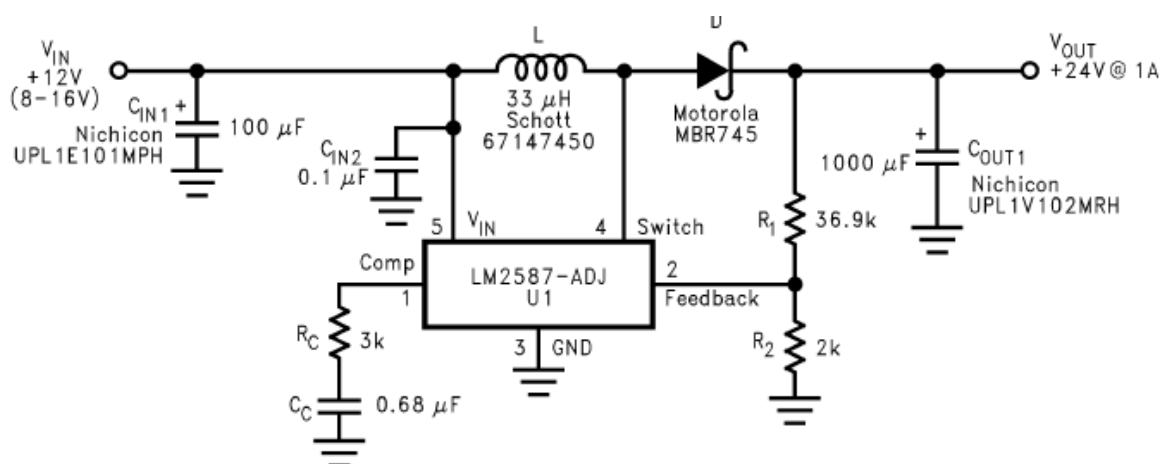
Kde  $U_{REF}=1,23V$

Obvody s příponou 3.3, 5 nebo 12 mají pevně dané výstupní napětí díky interním rezistorům  $R_1$  a  $R_2$ . Měnič je schopný pracovat se vstupním napětím v rozsahu 4-40V, výstupní napětí může být až 60V. Měnič má v sobě také integrované ochrany teplotní, nadproudovou a podpětíovou ochranou. Obvod je schopný pracovat v rozsahu teplot  $-40^{\circ}C$  až  $+125^{\circ}C$ . Obvod řízení pracuje stejně jako SG3524. Jen je u LM2587 oscilátor pevně nastaven na 100kHz a výstupní napětí je porovnáváno s jiným referenčním. Díky všem integrovaným funkcím se celý integrovaný obvod vešel do pouzdra TO220-5 (jedná se o standardní pouzdro TO220 s pěti vývody):

### 5-Lead TO-220 (T) Top View



Obr. 26 – Popis pouzdra obvodu LM2587 [5]



Obr. 27 – Typické zapojení obvodu pro Boost-up měnič [5]

## 4.2 Potřebné výpočty pro návrh měniče

Výrobce v technické specifikaci udává všechny vztahy potřebné pro návrh a realizaci měniče.

Velikost střídý spínání je dána vztahem:

$$D = \frac{U_{OUT} + U_F - U_{IN}}{U_{OUT} + U_F - U_{SAT}} \approx \frac{U_{OUT} - U_{IN}}{U_{OUT}} = \frac{20V - 12V}{20V} = 0,4$$

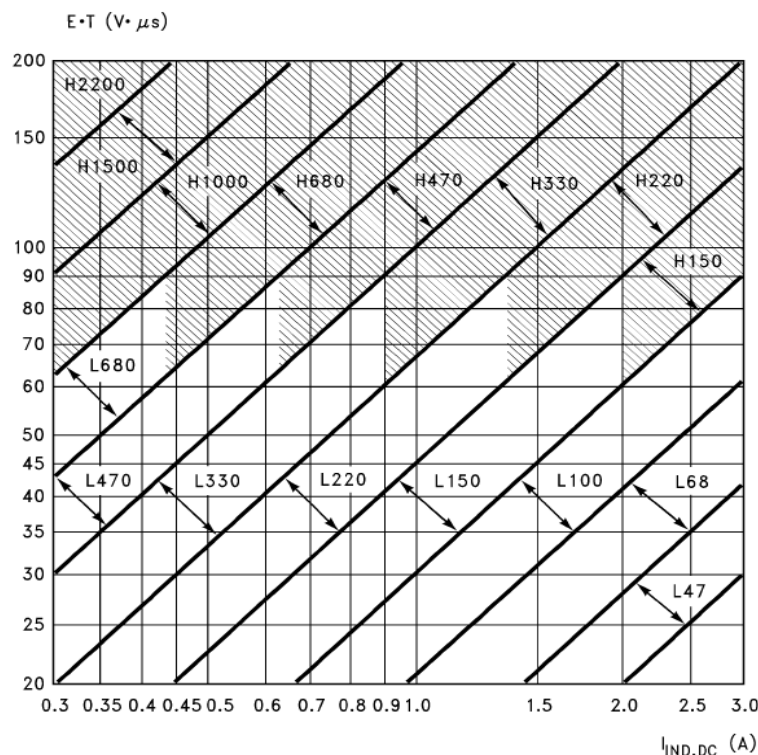
Celkové tepelné ztráty v integrovaném obvodu:

$$P_D = 0,15\Omega \cdot \left( \frac{I_{vyst}}{1-D} \right)^2 \cdot D + \frac{I_{vyst}}{50 \cdot (1-D)} \cdot D \cdot U_{vst} = 0,15\Omega \cdot \left( \frac{3,25A}{1-0,4} \right)^2 \cdot 0,4 + \frac{3,25}{50 \cdot (1-0,4)} \cdot 0,4 \cdot 12V = 2,28W$$

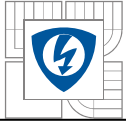
Tyto ztráty se dají bez problému uchladiť obyčejným chladičem na pouzdro TO-220.

Kondenzátory výrobce doporučuje použít na vstupu 100 $\mu$ F a na výstupu 1-3mF. Já jsem použil díky většímu zvlnění palubního napětí v autě vstupní kondenzátor elektrolyt 2,2mF/25V s paralelně připojeným keramickým 100nF/100V, jako výstupní se osvědčil 3,3mF/50V spolu s tantalem 50  $\mu$ F/50 V a keramikou 100nF/100V.

Pro obvod LM2587 indukčnost cívky výrobce vztah neuvádí, ale pro slabší 3A verzi LM2577 se indukčnost určuje z grafu:



Obr. 28 – Graf pro určení potřebné indukčnosti [5]



Pro určení je třeba znát hodnoty  $E.T$  a  $I_{IND,DC}$  podle:

$$D_{(max)} = \frac{U_{OUT} + U_F - U_{IN(min)}}{U_{OUT} + U_F - 0,6V} = \frac{20V + 0,5V - 12V}{20V + 0,5V - 0,6V} = 0,43$$

$$E.T = \frac{D_{(max)} \cdot (U_{IN(min)} - 0,6V) \cdot 10^6}{100000Hz} = \frac{0,43 \cdot (12 - 0,6V) \cdot 10^6}{10^5 Hz} = 49,02V \cdot \mu s$$

$$I_{IND,DC} = \frac{1,05 \cdot I_{LOAD(max)}}{1 - D_{(max)}} = \frac{1,05 \cdot 3,25A}{1 - 0,43} = 6A$$

Prodloužením grafu na obr. 28 lze přibližně stanovit hodnotu indukčnosti mezi 68-100 $\mu$ H.

Výstupní usměrňovací dioda by také měla být, vzhledem k protékajícímu proudu, opatřena chladičem. Výrobce diody uvádí :

$$P_D = 2W$$

Pro výpočet odporové děliče pro nastavení výstupního napětí použijeme vztahu (43):

$$U_{OUT} = U_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right)$$

Kde  $V_{REF}=1,23V$

Pro jemnější nastavení napětí je vhodné  $R_2$  rozdělit na pevný odpor a trimr. V případě neopatrné manipulace s trimrem by se však mohlo  $U_{výst}$  dostat nad povolené hodnoty elektrolytických kondenzátorů (čím menší  $R_2$ , tím vyšší  $U_{výst}$ ), proto je je v sérii s trimrem pevný odpor, který zabrání nechtěnému zvýšení napětí na nebezpečnou úroveň.

$R_1$  jsem zvolil 43k $\Omega$ , pak:

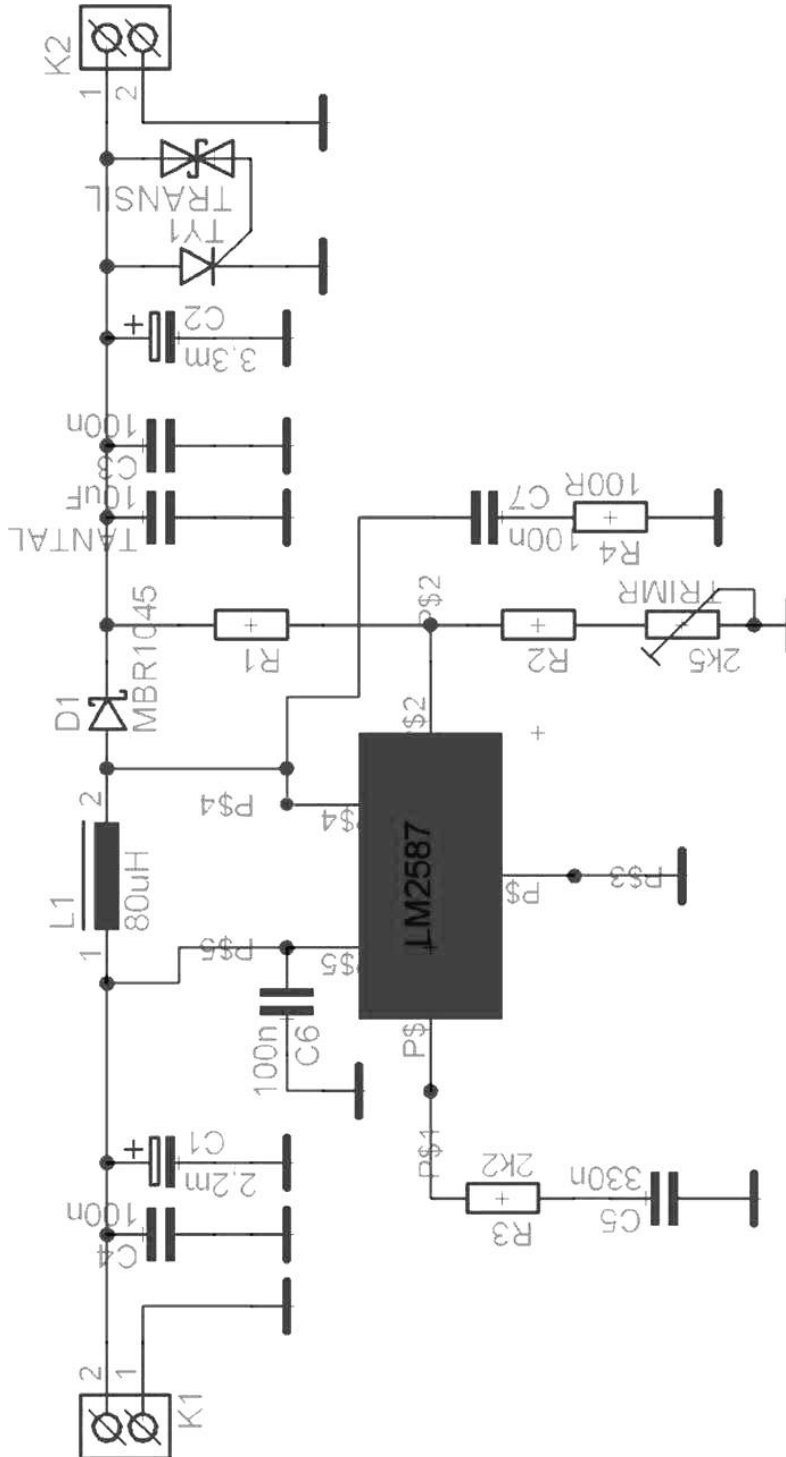
$$R_2 = \frac{R_1 \cdot V_{REF}}{U_{OUT} - U_{REF}} = \frac{43k\Omega \cdot 1,23V}{20V - 1,23V} = 2,82k\Omega$$

Zvolil jsem pevný odpor 2,2k $\Omega$  a k němu sériově zapojený trimr 2,5k $\Omega$ , Z volby hodnot odporů vyplývá, že výstupní napětí se dá měnit v rozsahu:

$$U_{OUT\min} = U_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_{2\max}}\right) = 1,23V \cdot \left(1 + \frac{43k\Omega}{(2,2 + 2,5)k\Omega}\right) = 12,5V$$

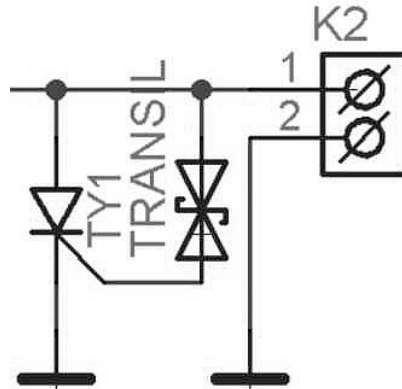
$$U_{OUT\max} = U_{REF} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_{2\min}}\right) = 1,23V \cdot \left(1 + \frac{43k\Omega}{2,2k\Omega}\right) = 25,27V$$

### 4.3 Schéma zapojení



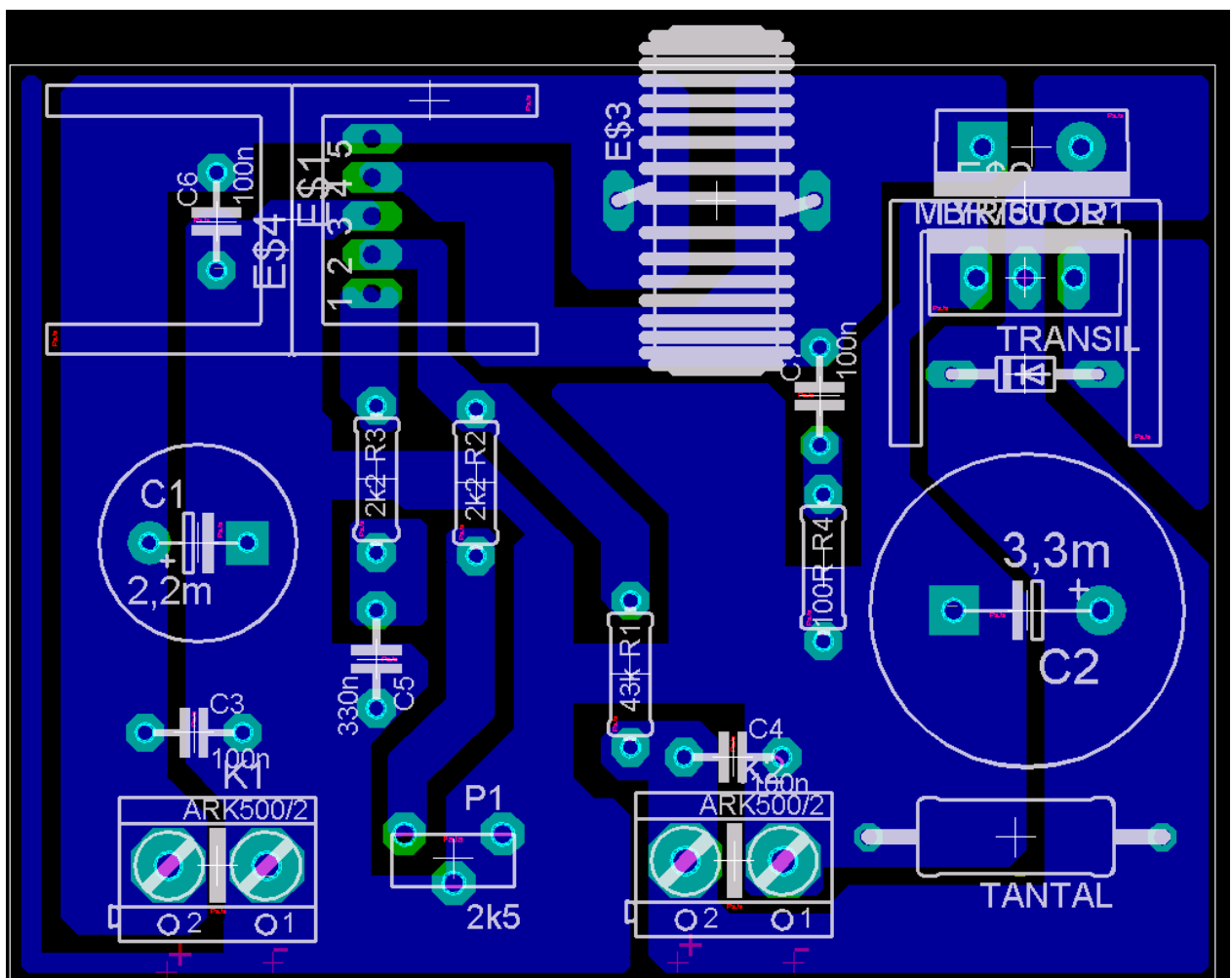
Obr. 26 – schéma zapojení měniče s IO LM2587

Schéma vychází ze zapojení doporučeného výrobcem. Toto zapojení je upraveno pro potřeby v automobilu a doplněno přepětíovou ochranou na výstupu:

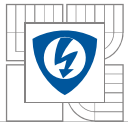


Obr. 27 – schéma zapojení přepětíové ochrany

#### 4.4 Rozmístění součástek na DPS



Obr. 28 – Rozložení součástek na DPS



Vzhledem k jednoduchosti zapojení je měnič na jednostranné DPS o rozměrech pouze 50x60mm.

## 4.5 Výroba DPS

Existuje několik metod, jak efektivně vyrobit v domácích podmínkách kvalitní DPS.

### 4.5.1 Metoda nažehlováním toneru

Je to metoda, při které se přezehlí toner z papíru na DPS, pak se DPS vyleptá. Tisk se provádí na fotopapír laserovou tiskárnou. Tento typ papíru má vhodný povrch k přenesení toneru. Po vytištění se papír přitlačí na DPS žehličkou na nejvyšší teplotu cca 2min, poté se papír odmočí v misce s vodou. Až jde papír lehce sloupnout, měl by na povrchu mědi zůstat jen nažehlený toner. Poté je možné vyleptat potřebný obrazec.

### 4.5.2 Výroba DPS fotocestou

Tato metoda je považována za nejlepší způsob domácí výroby, bohužel je na ni potřeba více přístrojů, než na jiné metody.

Nejdříve je nutné opatřit DPS fotosenzitivním lakem. V obchodech se prodává lak ve spreji Positiv 20 nebo je možné koupit již nalakovaný cuprextit. Vzhledem k ceně spreje a čistého DPS spolu s prací se vyplatí koupit již hotový fotopozitivní cuprextit. Proto jsem zvolil druhou možnost a koupil fotopozitivní cuprextit z obchodu GME:

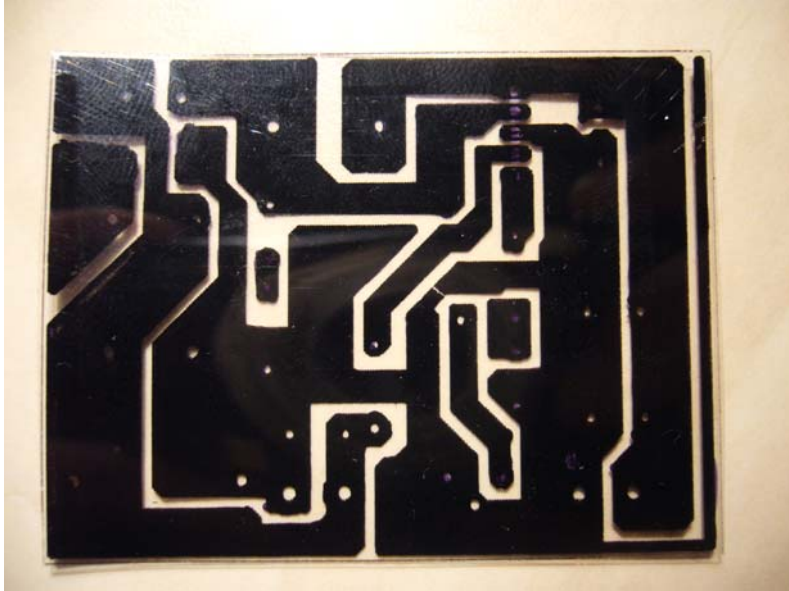
## Jednostranné plošné spoje

Typ	Sklad. číslo	MC	Popis	rozměry (mm)
CU-TA050	661-101	38,90	cuprextit pozitivní, foto	50 × 160

Obr. 29 – Fotocuprextit v katalogu GME [3]

1. Je nutné si vytvořit předlohu na PC (např. program EAGLE) a tuto předlohu vytisknout na fólii pro laserové tiskárny. Protože laserové tiskárny mají problém s tisknutím větších ploch, je třeba ještě použít postup pro „rozlití“ toneru po fólii:
  - a) Do misky si nalijeme trošku acetonu.
  - b) Nad misku umístíme vytištěnou fólii, tak, že ji nalepíme na materiál netečný vůči acetonu.
  - c) Počkáme, až se toner rozleptá a lépe pokryje plochy.

Výsledek pak může vypadat takto:



*Obr. 30 – Vytiskovaná fólie*

2. Fólii přilepíme na fotocitlivou vrstvu DPS, a ozáříme ultrafialovým světlem. Zdrojem ultrafialového světla jsou výbojky, je možné sehnat speciální výbojky k tomu určené nebo použít např. horské slunce:



*Obr. 31 – Horské slunce*

Není vhodné umístit výbojku příliš blízko fólie a DPS, (výbojka bohužel lze zapnout pouze se zdrojem infrazářením, který produkuje značné množství tepla), kdy může dojít k tepelnému poškození fólie nebo může prasknout krycí přitlačné sklo.

Osvědčila se mi doba expozice asi 20min i s náběhem výbojky v této konfiguraci:



Obr. 32 – Vzdálenost výbojky od DPS a fólie

- Po osvětlení je nutné vyvolat obrazec ve vývojce. Prodávají se i speciální roztoky, ale vzhledem k jejich ceně a složení je lepší si roztok namíchat. Na vyvolání se používá roztok cca 10g NaOH na 1l vody. Pokud je roztok slabší, nerozleptá se obrazec tam, kde má být následně měď vyleptána. Pokud je roztok silný, smyje se i obrazec tam, kde by měl zůstat.
- Leptání. Na leptání se používají různé roztoky, mně se osvědčil kupovaný roztok FeCl<sub>3</sub>.  
Roztok nalijeme do misky tak aby byla zakryta celá DPS, leptání trvá cca 2 hodiny.
- Po vyleptání obrazce je nutné smýt lak, který chrání měď. To lze nejjednodušeji v koncentrovanějším roztoku NaOH, osvědčilo se mi cca 50g na 1l vody. Miskou s roztokem pohybujeme, dokud se lak nerozleptá. Pak DPS omyjeme vodou.
- Jakmile je DPS vyleptané a omyté, očistíme jej a ošetříme pájivým lakem. Ten se dá koupit nebo vyrobit doma - v podstatě se jedná o kalafunu rozpuštěnou v lihu.

## 4.6 Výběr součástek

### 4.6.1 Chladič

Protože IO produkuje teplo (dle výpočtu 2,28W), je třeba jej opatřit chladičem s vhodným tepelným odporem:

Chladiče			
Typ	Sklad. číslo	MC	Popis
D01A	620-021	3,00	hliníkový chladič, eloxovaný, rozměry 13 × 19 × 13 mm, ztrátový výkon: 21 K/W určen pro pouzdro TO-220



Obr. 33 – malý chladič pro TO-220 v katalogu GME [3]

#### 4.6.2 Kondenzátory

Jako vstupní kondenzátory se osvědčil elektrolyt 2,2mF/25V s keramickým 100nF/50V. Výstupní jsou elektrolyt 3,3mF/50V, tantalový 10μF/50V a keramický 100nF/50V.

#### 4.6.3 Dioda

V těchto typech měničů napětí se používají Schottkyho diody. Já jsem vybral diodu MBR1045 v pouzdru TO-220AC, jmenovitý proud 10A. Povolený ztrátový výkon udává výrobce 2W.

#### 4.6.4 Cívka

Cívky doporučené výrobcem IO vyráběné firmou Coilcraft nejsou v ČR dostupné, proto jsem zvolil cívku z katalogu GME:

Ostatní tlumivky						BHJ
Typ	Sklad. číslo	MC	Popis	I	R	rozměry
RSD51V32A000	611-161	68,00	80 μH	10,0 A		RM 15 × 22,5 mm

Obr. 34 – použitá tlumivka v katalogu GME [3]

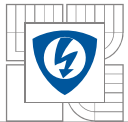
Tato cívka je navinuta na toroidním jádru, hodnota indukčnosti je 80μH a maximální proud cívkou 10A.

#### 4.7 Hotový výrobek

Hotový měnič je umístěn na DPS o velikosti 50x60mm, výška součástek do 40mm.



Obr. 35 - hotový měnič s LM2587



#### 4.8 Cenové shrnutí součástek

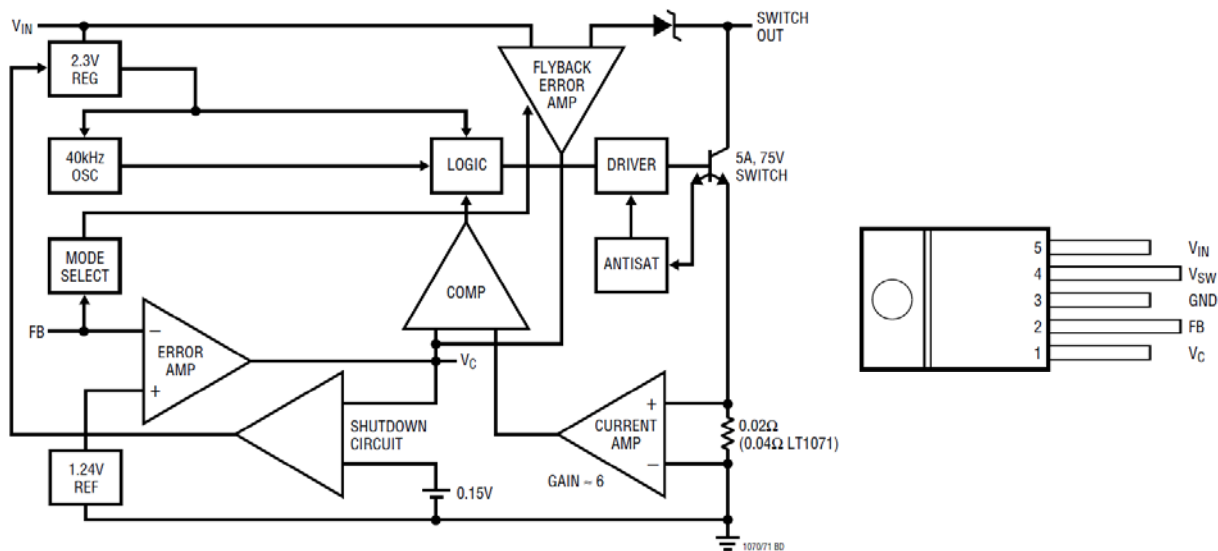
Název	Typ	Hodnota	jednotka	Katalogové číslo GME	Cena v Kč
C <sub>1</sub>	elektrolyt	2,2	[mF]	123-190	10,00 Kč
C <sub>2</sub>	elektrolyt	3,3	[mF]	123-242	26,00 Kč
C <sub>3</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3,00 Kč
C <sub>4</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3,00 Kč
C <sub>5</sub>	fóliový	330	[nF]	121-343	3,00 Kč
C <sub>6</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3,00 Kč
C <sub>7</sub>	keramika	100	[nF]	120-094	3,00 Kč
C <sub>8</sub>	tantal	10	[μF]	122-089	8,50 Kč
R <sub>1</sub>	metalizovaný 0,4W	43	[kΩ]	119-272	1,00 Kč
R <sub>2</sub>	metalizovaný 0,4W	2,2	[kΩ]	119-054	1,00 Kč
R <sub>3</sub>	metalizovaný 0,4W	2,2	[kΩ]	119-055	1,00 Kč
R <sub>4</sub>	metalizovaný 0,4W	100	[Ω]	119-057	1,00 Kč
P <sub>1</sub>	PT6HK002.5 - trimr	2,5	[kΩ]	112-175	8,00 Kč
	2x svorkovnice			821-017	10,00 Kč
	chladič D01A 3x			620-021	9,00 Kč
	IO LM2587	5	[A]	332-050	440,00 Kč
	cívka 80μH	10	[A]	611-161	68,00 Kč
	Schottky dioda MBR1045	10	[A]	223-087	10,50 Kč
T1	Tyristor BT152-400R	20	[A]	224-045	19,00 Kč
	transil bipolární	19-22	[V]	222-156	8,00 Kč
	DPS - fotopozitivní			661-101	38,50 Kč
celková cena:					674,50 Kč

Tabulka 4 – použité komponenty v měniči s LM2587

## 5 DALŠÍ ALTERNATIVY MĚNIČŮ

### 5.1 LT1070CT

Tento obvod vyrábí firma Linear Technology, jedná se o vhodnou alternativu k LM2587T-ADJ s podobnými parametry, Měnič je integrován v pouzdru TO-220 s pěti vývody. Obsahuje interní NPN tranzistor 5A, 75V. Interní oscilátor kmitá na 40kHz. Vstupní napětí může být v rozsahu 3-60V, má v sobě integrované ochrany proti sebezničení



Obr. 36 – Blokové schéma obvodu LT1070CT, zapojení pinů na pouzdru [8]

Z blokového schématu je patrné, že obvod má shodné zapojení pinů jako LM2587T-ADJ, proto je možné jej použít na stejném DPS s menší úpravou zpětnovazebních rezistorů, protože LT1070 má jiné referenční napětí  $U_{REF}=1,24V$ . Tento obvod je běžně skladem, stojí 315Kč, je tedy při podobných vlastnostech levnější.

Typ	Skł. číslo	MC	$U_{out}$	$I_{out}$	$I_c$	f	$U_{IN MAX}$	$V_{REF}$	$I_{cc}$	$T_{op}$	pouzdro
LT1070CT	331-013	315,00	65,0 V	5,0 A	5,0 A	40 kHz	40 V	1,24 V	6 mA	0..+100 °C	TO220-5

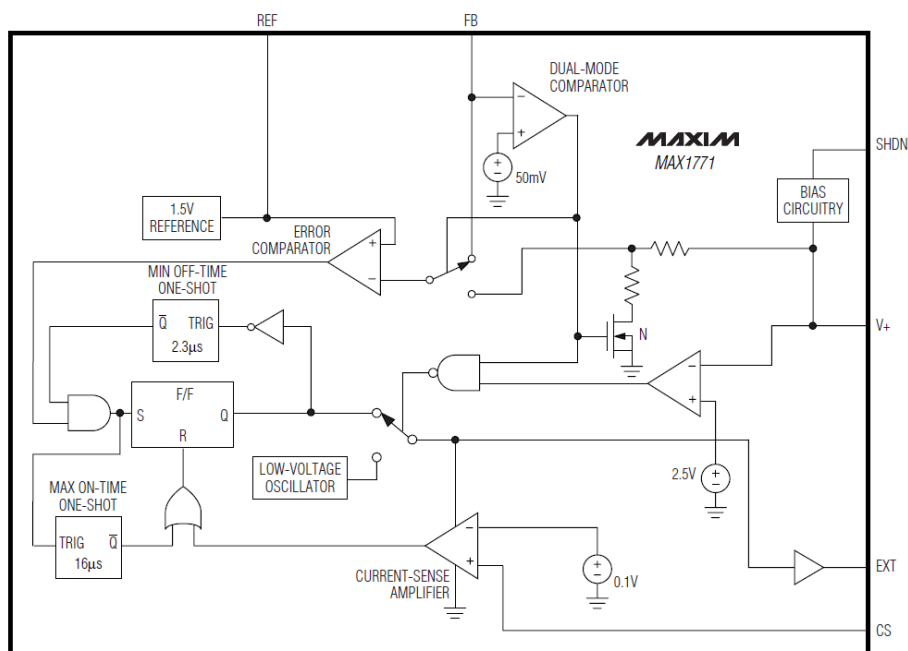
Obr. 37 – LT1070CT v katalogu GME [3]

### 5.2 LT1170CT

Jedná se o výrobek firmy Linear technology vyšší řady, obvod má interní oscilátor nastaven na 100kHz, jinak jiné zásadní rozdíly mezi obvody LT1170 a LT1070 nejsou. Piny pouzdra jsou zapojené stejně jako v předchozím případě, takže je možné použít DPS stejnou jako pro obvody LM2587T-ADJ a LT1070. Obvod v katalogu GME stojí 450Kč a je na objednávku.

### 5.3 MAX1771C

Další možností řešení je obvod MAX1771C od firmy MAXIM. Obvod je integrován v pouzdru DIP/SO8, na rozdíl od předešlých obvodů nemá integrovaný spínací tranzistor a je vybaven spínacím výstupem pro N-MOSFET externí tranzistor. Obvod pracuje na spínací frekvenci 300kHz,

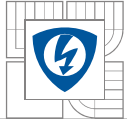


Obr. 38 – Blokové schéma obvodu MAX1771 [9]

Popis pinů na pouzdru DIL8:

1. EXT – řízení brány výkonového N-MOSFET tranzistoru
2. V+ - vstup pro napájení obvodu
3. FB – vstup pro odporový dělič pro řízení výstupního napětí
4. SHDN – vstup pro vypnutí obvodu
5. REF – 1,5V referenční výstup
6. AGND – analogová zem
7. GND – zemnění, slouží k řízení MOSFET tranzistoru
8. CS – pozitivní vstup pro snímání proudu

Vzhledem k faktu, že obvod nemá v sobě integrované všechny součástky, bylo by nutné navrhnout jinou DPS. Obvod je běžně k dostání v GME za 167Kč.



## 5.4 Další měniče

Na stránkách firmy Linear Technology je možné si pomocí vyhledávání zadat potřebné parametry a stránka sama vyhledá vhodné řídicí obvody.

**Quick Power Search**

Actual circuit performance depends on external components, layout and thermal considerations and duty cycle limitations. Please consult the datasheet for all final electrical specifications. For higher voltages and power levels or for isolated power supply designs, please see our family of [flyback and forward converters](#). For other voltage regulator options please refer to our family of [linear regulators](#) and [charge pumps](#).

Input  $V_{in}$  (Min)  V  $V_{in}$  (Max)  V  
Output  $V_{out}$   V  $I_{out}$   A

	Number of Outputs	$V_{in}$ Min	$V_{in}$ Max	Switch Current	Topology	Monolithic	Synchronous	Packages
		V	V	A		yes/no	yes/no	
Conditional	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>
Value	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>
Range	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>
Temp. Range	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>
	<input type="button" value="v"/>	25°C Typ.	25°C Typ.	25°C Typ.	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>	<input type="button" value="v"/>
<input type="button" value="↑ ↓"/>	<input type="button" value="↑ ↓"/>	<input type="button" value="↑ ↓"/>	<input type="button" value="↑ ↓"/>	<input type="button" value="↑ ↓"/>	<input type="button" value="↑ ↓"/>	<input type="button" value="↑ ↓"/>	<input type="button" value="↑ ↓"/>	<input type="button" value="↑ ↓"/>
<a href="#">LT1680</a>	1	4	60	20	Boost	no	no	N-16, SW-16
<a href="#">LT1738</a>	1	4	20	20	Boost, Inverting, Sepic, Flyback	no	no	SSOP-20
<a href="#">LTC1871</a>	1	2.5	36	20	Boost, Sepic, Inverting, Flyback	no	no	MS-10
<a href="#">LTC1871-1</a>	1	2.5	36	20	Boost, Sepic, Flyback	no	no	MS-10
<a href="#">LTC1871-7</a>	1	2.5	36	20	Boost, Flyback, Sepic	no	no	MS-10
<a href="#">LTC3703</a>	1	9.3	100	20	Buck, Boost	no	yes	SSOP-16, SSOP-28
<a href="#">LTC3703-5</a>	1	9.3	60	20	Buck, Boost	no	yes	SSOP-16, SSOP-28
<a href="#">LTC3783</a>	1	3	36	20	Boost, Sepic, Flyback, LED Driver	no	no	DFN-16, TSSOP-16
<a href="#">LTC3813</a>	1	7	75	25	Boost	no	yes	SSOP-28
<a href="#">LTC3814-5</a>	1	4.5	55	25	Boost	no	yes	TSSOP-16

Obr. 39 - Ukázka vyhledávání obvodů na stránkách [www.linear.com](http://www.linear.com)

Bohužel většina těchto obvodů vůbec není v ČR dostupná, v případě většího zájmu je však možné nechat zaslat do ČR, ale s expedičními poplatky 60USD. Cena jednotlivých obvodů se pohybuje od 2 do 10USD.

## 6 SROVNÁNÍ MĚNIČŮ

### 6.1 Měnič s SG3524

Celková cena součástek i s chladiči byla 500Kč, výroba DPS 350Kč. Celková cena měniče tedy 850kč.



*Obr. 40 – Měnič s SG3524 vpravo, s LM2577 vlevo*

Protože je tento obvod velice univerzální, bylo nutné všechny součásti vyvést na DPS externě, proto je DPS výrazně složitější a oboustranné.

### 6.2 Měnič s LM2587

IO LM2587 je prakticky jednoúčelový čip používaný výhradně na zvyšující měniče napájení s cívkou nebo transformátorem. Proto se v něm většina funkcí integrovaná, a není nutné je na DPS vyvádět externě (např. vnitřní pevně daný oscilátor, snímací odpor proudu, tepelná ochrana, atd.). Bohužel IO samotný je v ČR těžko dostupný (pouze na objednávku) a velice drahý (440kč), jeho slabší 3A verze LM2577 stojí 175kč. Celková cena měniče s použitím LM2587 stojí 674kč, při použití LM2577 vyjde měnič na 409kč.

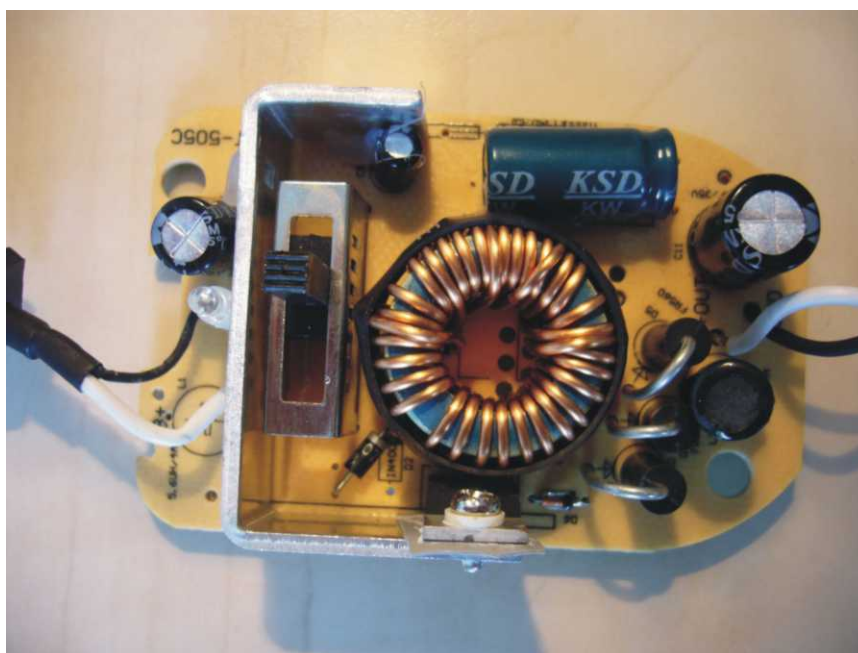
### 6.3 Měnič 4world

Tento měnič jsem zakoupil pro srovnání parametrů se mnou navrhnutými měniči. Jedná se o výrobek z Číny.



Obr. 41 – měnič 4world 80W

Výrobce uvádí maximální výkon měniče 80W. Měnič má možnost měnit výstupní napětí přepínačem v rozsahu 15-24V, bohužel toto přepínání je nepřesné, při nastavení napětí na 20V je na výstupu měniče 20,5V a se stoupající zátěží klesá až k hodnotě 18V při  $I_{výst}=3A$ . Měnič je možné pořídit za 363kč.



Obr. 42 – Měnič napětí 4world bez krytu

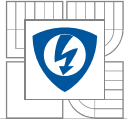
Tento měnič postrádá ochranu tepelnou, a hlavně přepětíovou, tedy může dojít ke zničení napájeného spotřebiče. Vážným nedostatkem je průřez přívodního kabelu - pouze  $0,5\text{mm}^2$  - což je při maximální zátěži 80W ( $I_{výst}=7A$ ) nedostačující.

## 6.4 Společná fotografie měničů



*Obr. 43 – měniče společně, pro srovnání velikosti*

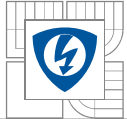
Na Obr. 43 jsou zleva měnič 4world, měnič s LM2577 a měnič s SG3524.



## 7 ZÁVĚR

Tato práce měla za úkol navrhnout a zhotovit DC/DC měnič dostatečného výkonu, který by byl schopný napájet dnešní notebook z automobilové sítě. Projekt mne zavedl do problematiky zvyšujících DC/DC měničů z 12V na 20V. V rámci semestrálního projektu jsem vyrobil měnič s univerzálním obvodem SG3524. Protože měnič hlavně díky použitému typu obvodu a množství součástek byl příliš velký a těžký, rozhodl jsem se v rámci bakalářské práce navrhnout měnič menších rozměrů. Jako první řešení jsem chtěl použít obvod LM2587. Tento obvod má v sobě integrované všechny hlavní části a některé výkonové součástky, proto by jej bylo možné umístit na výrazně menší DPS. Bohužel tento integrovaný obvod má ekonomickou nevýhodu, cenu - stojí 440kč. Proto jsem pro reálnou konstrukci použil jeho výrazně levnější (a slabší) 3A variantu – typ LM2577. Nebylo nutné měnit DPS (kterou jsem již navrhl pro LM2587), protože tyto obvody jsou konstrukčně stejné - liší se pouze výkonovým spínacím tranzistorem a frekvencí vnitřního oscilátoru. Cenový rozdíl mezi nimi je 265kč, výstupní výkon slabší verze je až 60W, což dostačuje pro napájení současného notebooku (Reálná spotřeba notebooku se pohybuje mezi 20-30W).

V oblasti napájecích adaptérů je velká konkurence, zdroj podobných parametrů jako kompletní výrobek je možné pořídit již za 360kč. Sice bez přepět'ové ochrany a tepelné pojistky, ale funkční. Záleží na naší aplikaci, jak je pro náš účel důležitá funkce pomocných ochranných obvodů. Pokud dojdeme k závěru, že není třeba ochran, pak se nevyplatí v tuzemsku vyrábět takové zdroje, ani v malém, ani ve velkém a zdroj koupit. Ale pokud se rozhodneme, že je třeba zdroj nebo notebook chránit (anebo vybavit zdroj dalšími speciálními funkcemi, zde nezmíněnými a neřešenými), pak nezbývá, než zdroj vyrobit, a to i za cenu vyšších nákladů.



## LITERATURA

- [1] VYSOKÝ, O. Elektronické systémy 2. 2. vyd. Praha: ČVUT, 2002. 198 s. ISBN 80-01-02658-2.
- [2] Katalogové listy firmy TEXAS INSTRUMENTS. Dostupné z WWW:  
<<http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/sg3524.pdf>>
- [3] Katalogové listy firmy GME. Dostupné z WWW:  
<<http://www.gme.cz>>
- [4] Katalogové listy firmy FAIRCHILD SEMICONDUCTOR, Dostupné z WWW:  
<<http://www.fairchildsemi.com/ds/RF%2FRFP50N06.pdf>>
- [5] Katalogové listy firmy NATIONAL SEMICONDUCTOR. Dostupné z WWW:  
<<http://www.national.com/ds/LM/LM2587.pdf>>  
<<http://www.national.com/ds/LM/LM2577.pdf>>
- [6] KREJČIŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje I.*. 2. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 1997. 351 s. ISBN 80-86056-02-3.
- [7] KREJČIŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje II.*. 2. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 1997. 351 s. ISBN 80-86056-03-1.
- [8] Katalogové listy firmy LINEAR TECHNOLOGY. Dostupné z WWW:  
<<http://cds.linear.com/docs/Datasheet/10701fe.pdf>>
- [9] Katalogové listy firmy MAXIM. Dostupné z WWW:  
<<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX1771.pdf>>