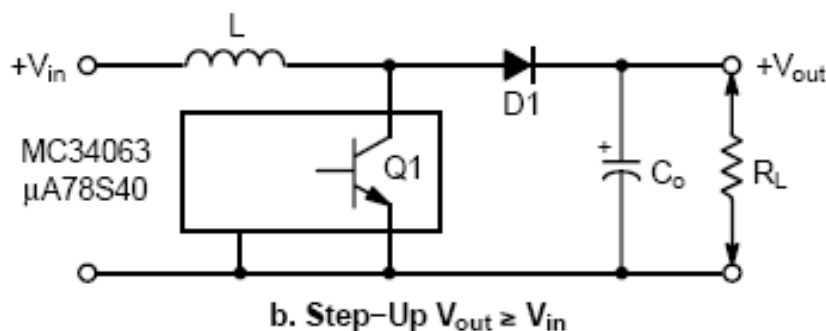


Zvyšující DC-DC měnič

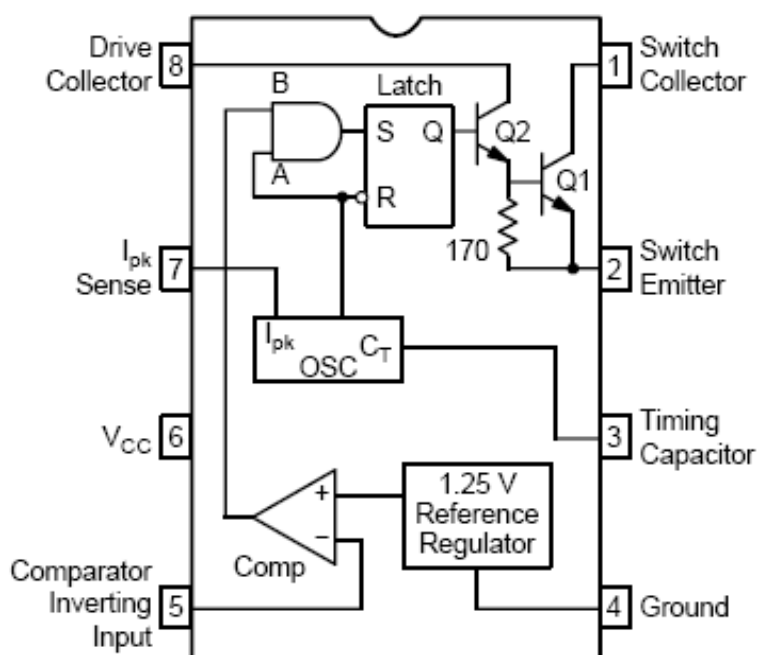
(c) Ing. Ladislav Kopecký, 2007

Na obr. 1 je nakresleno principiální schéma zapojení zvyšujícího měniče, kterému se také říká boost nebo step-up converter. Princip je založen, podobně jako ostatní typy DC-DC měničů, na faktu, že po rozpojení elektronického spínače proud v cívce nezaniká, ale teče nadále stejným směrem, dokud neskončí přechodový děj a energie, uložená v cívce, se nevyzáří do okolí.



Obr. 1.

Na rozdíl od snižujícího měniče již nevystačíme s obyčejným komparátorem, proto se porozhlédneme po vhodném integrovaném obvodu, speciálně vyvinutém pro řízení spínaných zdrojů a DC-DC měničů. Velmi zdařilý je, podle mého názoru, obvod MC34063, který lze použít jako zvyšující, snižující nebo invertující spínací regulátor. Na obr. 2 vidíte jeho pouzdro a blokové schéma.



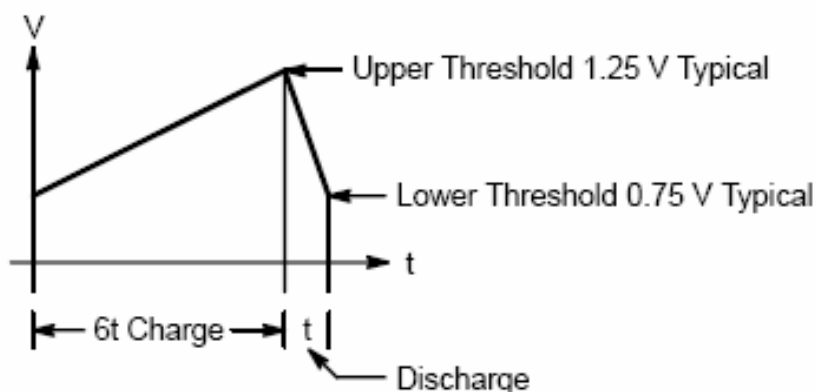
Obr. 2

OBECNÝ POPIS

Obvod MC34063 je monolitický řídicí obvod obsahující všechny aktivní funkce, požadované pro DC-DC konvertory. Tento integrovaný obvod obsahuje vnitřní teplotně kompenzovaný referenční zdroj, komparátor, oscilátor s šířkovou modulací a obvodem proudového omezení, budič a výstupní spínač pro vysoké proudy. Tato řada obvodů byla zkonstruována speciálně pro zvyšující, snižující a invertující měniče. Všechny tyto funkce jsou obsaženy v pouzdru s osmi vývody, jak ukazuje ob. 2.

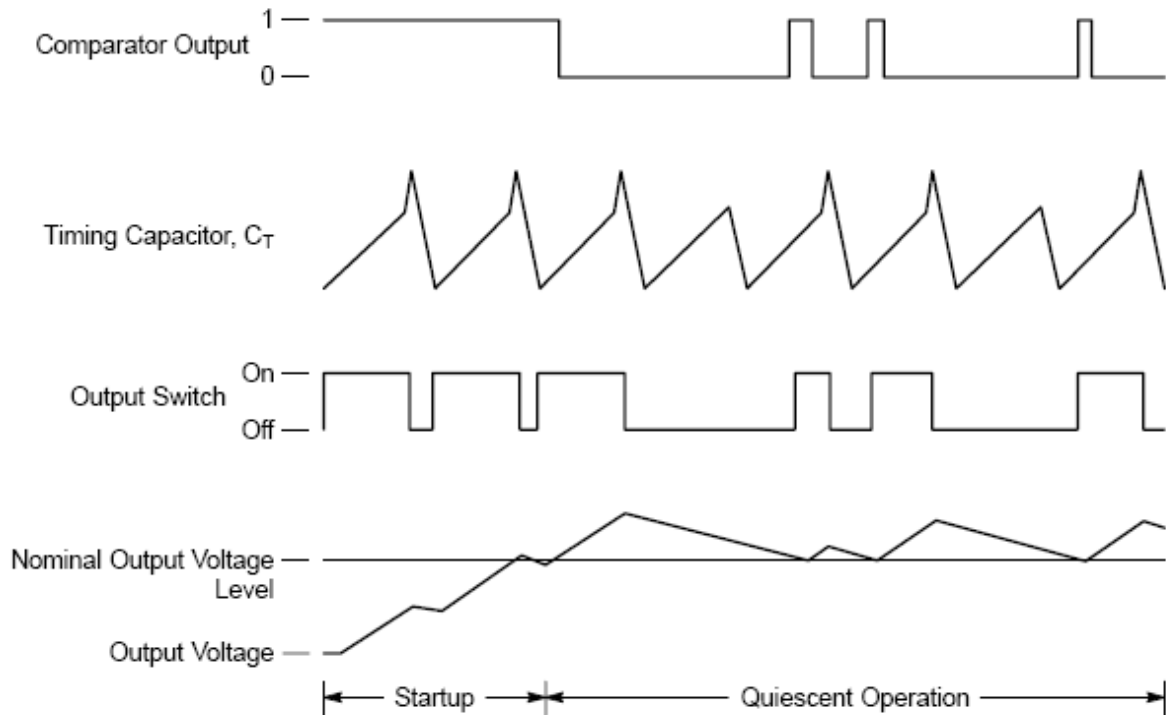
POPIS FUNKCE

Oscilátor se skládá ze zdroje proudu a dolního spínače, které nabíjí a vybíjí vnější časovací kondenzátor C_T mezi horním a dolním prahem. Typické nabíjecí a vybíjecí proudy jsou $35\mu\text{A}$ respektive $200\mu\text{A}$, jejichž poměr je kolem 1:6. Doba nabíjení kondenzátoru je tedy 6-krát delší než doba vybíjení, jak je ukázáno na obr. 3. Horní práh je roven vnitřnímu referenčnímu napětí $1,25\text{V}$ a dolní práh je přibližně $0,75\text{V}$. Oscilátor běží nepřetržitě s frekvencí odpovídající zvolené hodnotě C_T . Během části periody, kdy se kondenzátor nabíjí, je na vstupu A součinnového hradla log. 1. Když výstupní napětí spínaného regulátoru je pod jmenovitou hodnotou, log. 1 je také na vstupu B hradla. Tato podmínka nastaví do jedničky klopný obvod (Latch) a způsobí, že jeho výstup Q sepne výstupní tranzistor (Q1). Když oscilátor dosáhne horní úrovně, C_T se začne vybíjet a na vstupu A hradla se objeví log. 0. Tato log. úroveň také vynuluje klopný obvod a výstupní tranzistor se zavře.



Obr. 3.

Proudového omezení je dosaženo monitorováním úbytku napětí na vnějším odporu, zapojeném v sérii s napětím V_{CC} a výstupním spínačem. Toto napětí je sledováno pinem I_{pk} Sense. Když toto napětí překročí hodnotu 330mV , obvod pro omezení proudu vytvoří další cestu proudu pro nabíjení časovacího kondenzátoru C_T . To způsobí rychlého dosažení horního prahu oscilátoru, čímž se zkrátí doba sepnutí výstupního tranzistoru a omezí se množství energie uložené v cívce. Toto může být pozorováno jako zvýšení strmosti křivky napětí na kondenzátoru C_T zobrazené na obr. 4. Činnost spínacího regulátoru při přetížení způsobí velmi krátkou, ale konečnou dobu sepnutí výstupu, po níž následuje buď normální, nebo prodloužený interval vypnutí způsobený oscilátorem. Rozšíření intervalu vypnutého výstupu je výsledkem nabíjení C_T nad horní práh působením proudového omezení.



Obr. 4.

VÝPOČTY

Doba t_{on} , kdy na výstupu oscilátoru je úroveň log. 1, se vypočítá následovně

$$35 \cdot 10^{-6} \cdot t_{on} = C_T \cdot (1,25 - 0,75)$$

$$t_{on} = C_T \cdot 0,5 / (35 \cdot 10^{-6})$$

Doba t_{off} , kdy na výstupu oscilátoru je úroveň log. 0 se vypočítá obdobně:

$$200 \cdot 10^{-6} \cdot t_{off} = C_T \cdot (1,25 - 0,75)$$

$$t_{off} = C_T \cdot 0,5 / (200 \cdot 10^{-6})$$

Frekvenci oscilátoru vypočítáme jako převrácenou hodnotu součtu obou časů:

$$f = 1/T = 1/(t_{on} + t_{off})$$

Příklad1:

Vypočítejme frekvenci oscilátoru, je-li $C_T = 1,5 \text{ nF}$.

$$t_{on} = C_T \cdot 0,5 / (35 \cdot 10^{-6}) = 1,5 \cdot 10^{-9} \cdot 0,5 / (35 \cdot 10^{-6}) = 21,43 \text{ } \mu\text{s}$$

$$t_{off} = C_T \cdot 0,5 / (200 \cdot 10^{-6}) = 1,5 \cdot 10^{-9} \cdot 0,5 / (200 \cdot 10^{-6}) = 3,75 \text{ } \mu\text{s}$$

$$f = 1/(t_{on} + t_{off}) = 10^6/(21,43 + 3,75) = 39716,3 \text{ Hz}$$

Proud zátěží, při němž začne působit proudové omezení, je

$$I_{max} = 0,33/R_S$$

Jestliže hodnota odporu je např. $R_S = 0,51 \Omega$, je $I_{max} = 0,637 \text{ A}$.

Energie tlumivky o indukčnosti L , kterou protéká proud I , je

$$A = 1/2 \cdot L \cdot I^2$$

Výkon, který tlumivka přenese, je potom

$$P = A/T = L \cdot I_{max}^2 / 2T = L \cdot I_{max}^2 \cdot f / 2$$

Příklad2:

Uřídíme výkon, který přenese tlumivka o indukčnosti $L = 350 \mu\text{H}$ při frekvenci $f = 40 \text{ kHz}$ a maximálním proudem $0,64 \text{ A}$.

$$P = L \cdot I_{max}^2 \cdot f / 2 = 0,35 \cdot 10^{-3} \cdot 0,64^2 \cdot 40 \cdot 10^3 / 2 = 2,87 \text{ W}$$

NÁVRH ZVYŠUJÍCÍHO MĚNIČE

Návrh měniče si ukážeme na příkladu. Chceme navrhnout měnič, který nám převede napětí $U_1 = 24 \text{ V}$ na $U_2 = 60 \text{ V}$, přičemž na výstupu máme jmenovitý proud $I_2 = 1 \text{ A}$. Účinnost zdroje pro jednoduchost uvažujeme 100%.

Výkon zdroje je

$$P = U_2 \cdot I_2 = 60 \cdot 1 = 60 \text{ W}.$$

Střední hodnota proudu před tlumivkou je

$$I_1 = P/U_1 = 60/24 = 2,5 \text{ A}$$

Střední hodnota proudu I souvisí s maximální hodnotou I_{max} a činitelem plnění δ následovně:

$$I = \delta \cdot I_{max} / 2$$

Odkud

$$I_{max} = 2 \cdot I / \delta$$

Pokud při jmenovitém proudě uvažujeme činitel plnění $\delta = 0,5$, potom

$$I_{max} = 2 \cdot 2,5 / 0,5 = 10 \text{ A}$$

Nyní určíme indukčnost tlumivky pro zvolenou frekvenci spínání f .

Za předpokladu, že frekvence spínání je mnohonásobně vyšší než časová konstanta tlumivky, platí

$$I_{\max} = (U_1/L) \cdot T/2$$

kde $T = 1/f$ je perioda spínání.

Odtud

$$L = (U_1/I_{\max}) \cdot T/2 = U_1/(2 \cdot I_{\max} \cdot f)$$

Zvolme frekvenci spínání $f = 40$ kHz:

$$L = 24/(2 \cdot 10 \cdot 40 \cdot 10^3) = 30 \mu\text{H}$$

Vypočítaná hodnota indukčnosti platí pro ideální spínač. Ve skutečnosti má spínač zpoždění, které se projeví nárůstem proudu na vyšší hodnotu, proto musíme zvolit vyšší indukčnost. Tuto hodnotu určíme na základě simulace tak, aby maximální proud nepřekročil I_{\max} . Toto opatření by mělo být doprovázeno zvýšením kapacity C_T , aby se úměrně snížila frekvence spínání. Architektura obvodu však neumožňuje úplně dodržet I_{\max} . V tomto případě by mohlo pomoci proudové omezení. To však může ukázat jediné praxe, neboť v našem modelu tato funkce není realizována.

Dále vypočítáme poměr napětíového děliče pro napětíovou zpětnou vazbu:

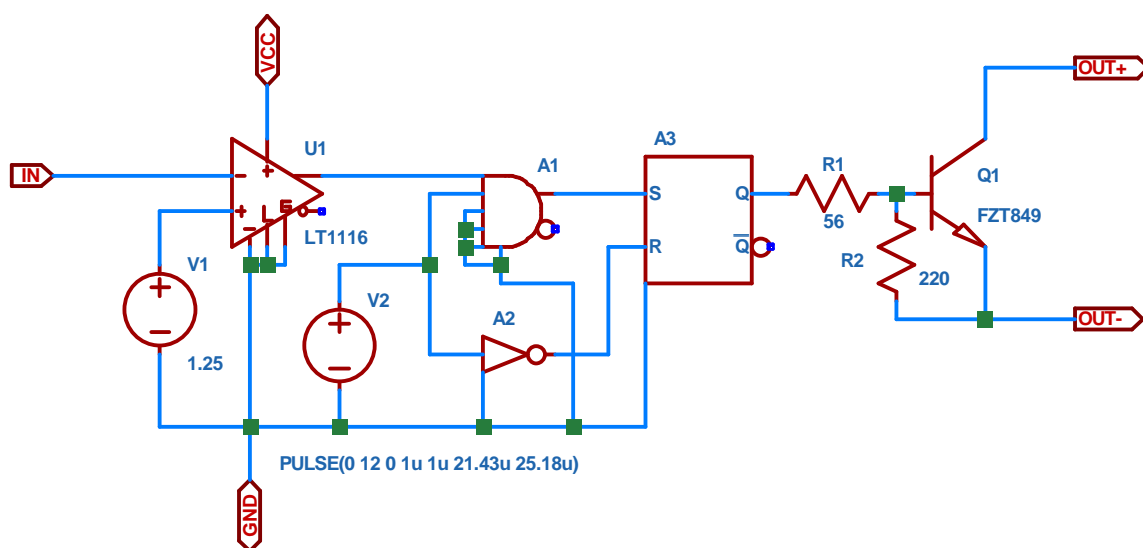
$$U_2 = 1,25 \cdot (1 + R_1/R_2)$$

$$R_1/R_2 = U_2/1,25 - 1 = 60/1,25 - 1 = 47$$

Zvolme $R_2 = 2\text{k}\Omega$, potom $R_1 = 47 \cdot 2\text{k}\Omega = 103,4 \text{k}\Omega$.

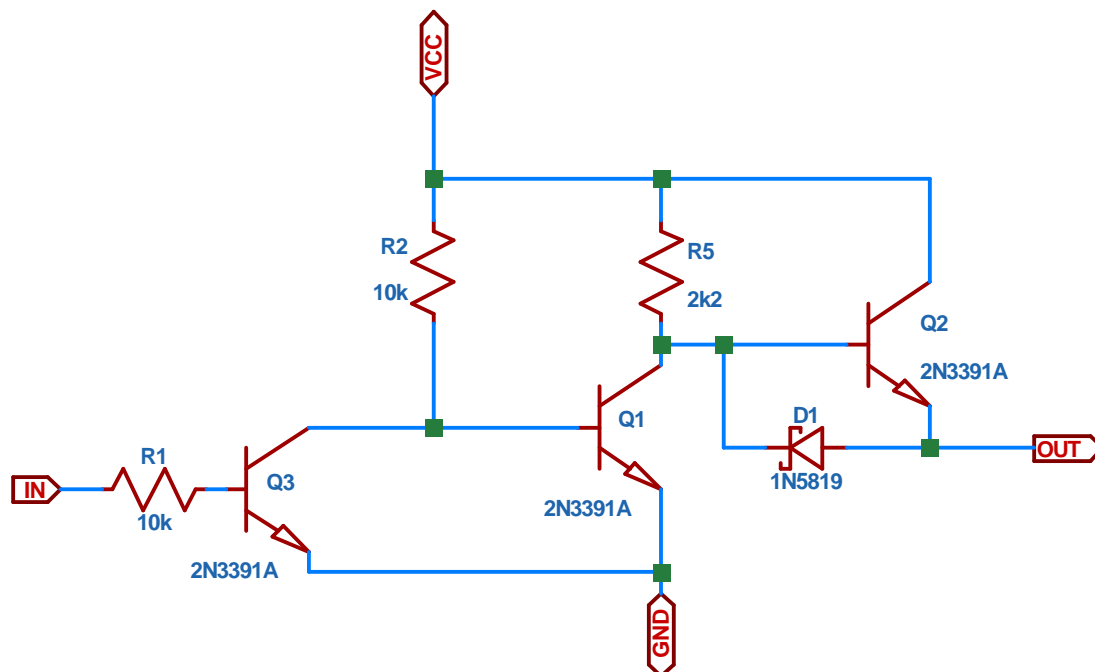
SIMULACE

Jelikož v knihovně programu SwitcherCAD jsou regulátory pouze od formy Linear Technology, musíme model součástky MC34063 vytvořit. Tento model nebude dokonalý (např. nebude mít omezovač proudu), ale pro naše účely vyhoví.



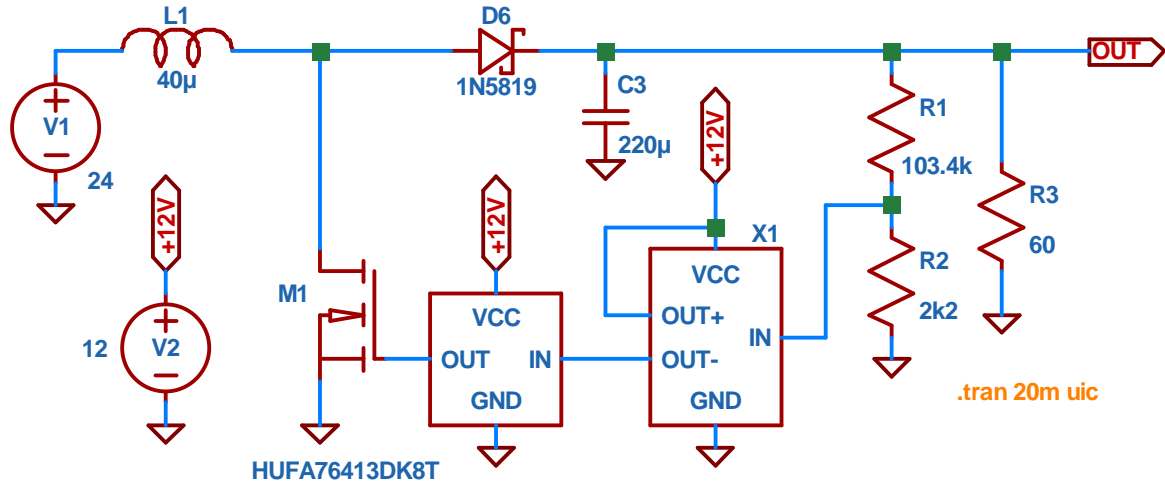
Obr. 5. Model obvodu MC34063.

Pro model na obr. 5 bylo předlohou blokové schéma na obr. 2. V1 je referenční zdroj, V2 je oscilátor, jehož parametry odpovídají zvolené kapacitě $C_T = 1,5 \text{ nF}$, U1 je komparátor atd. Výstupní tranzistor obvodu MC34063 snese maximální proud 1,5A, ale my potřebujeme 10A. Proto byl výstup posílen výkonovým tranzistorem typu MOSFET a příslušným budičem (obr.6).

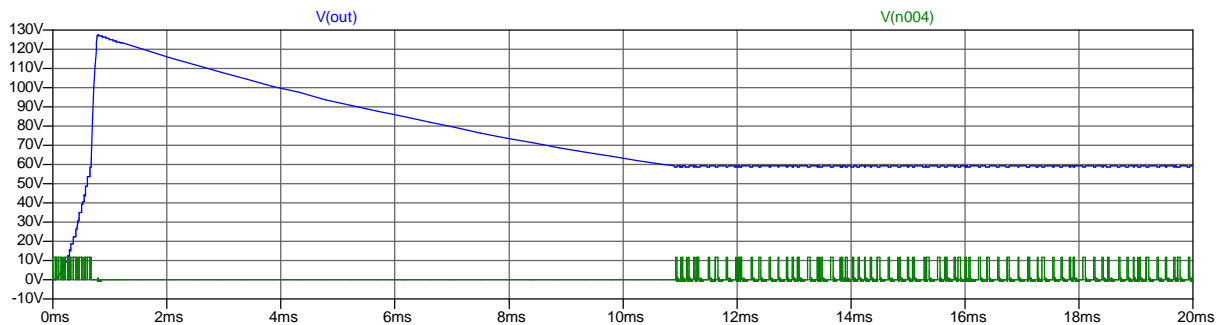


Obr. 6. Budič tranzistoru MOSFET.

Nyní již máme definovány všechny bloky a můžeme nakreslit schéma vlastního měniče, které najdete na obr. 7.



Obr. 7. Zvyšující DC-DC měnič.



Obr. 8. Grafický výstup simulace.

Na obr. 8 vidíme, že průběh výstupního napětí (modře) se ustálil na hodnotě 60V, jak bylo požadováno, a zelenou barvou je vyznačen průběh řídicího signálu spínacího tranzistoru M1.