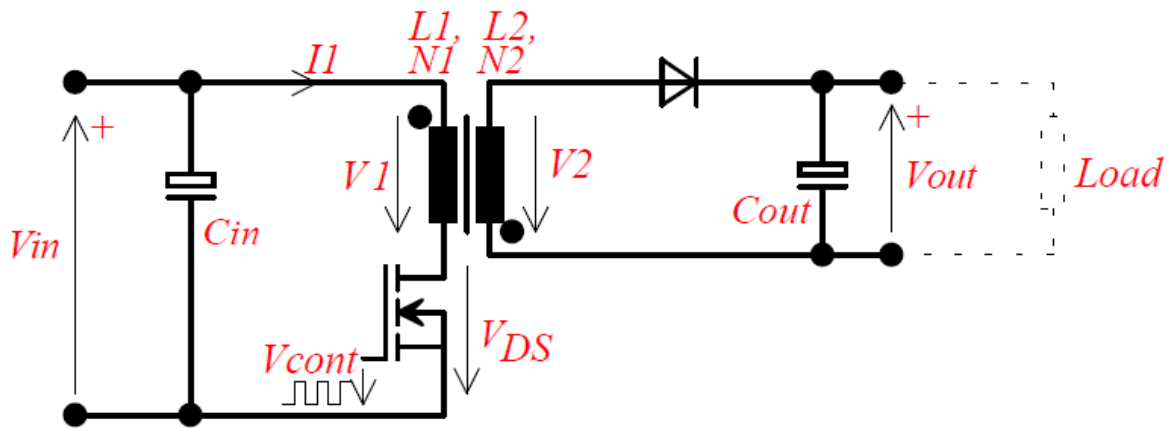


Flyback converter (Blokující měnič)

Blokující měnič patří do rodiny měničů se spínaným primárním vinutím, což znamená, že výstup je od vstupu galvanicky oddělen. Blokující měniče se používají pro napájení téměř všech elektronických přístrojů s nízkou spotřebou energie, přibližně do 300W. Příklady jsou televize, osobní počítače, tiskárny, atd.

Blokující měniče mají pozoruhodně nízký počet součástek v porovnání s jinými spínanými napájecími zdroji (SMPS, switched-mode power supply). Také mají výhodu, že jedním řídicím obvodem lze regulovat několik výstupních napětí.

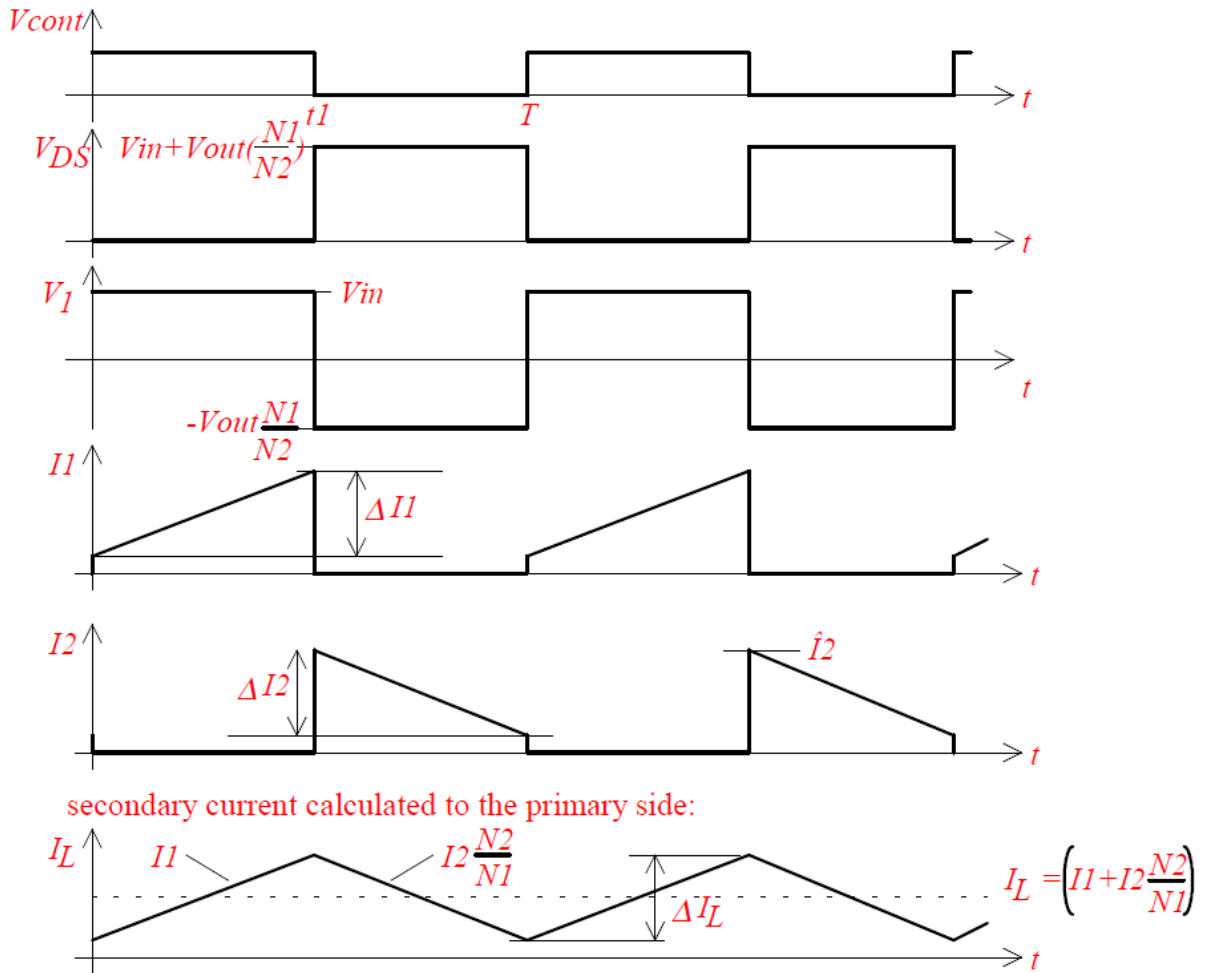


Obr. 1: Blokující měnič

Obr. 1 ukazuje základní zapojení blokujícího měniče. Tranzistor pracuje jako spínač, který je řízen šířkově modulovaným napětím V_{cont} . Během doby T_{on} (tranzistor sepnut) je napětí primárního vinutí transformátoru V_1 rovno vstupnímu napětí V_{in} , což se projeví lineárním růstem proudu I_1 . Během této fáze (T_{on}) je sekundární proud roven nule, protože je blokován diodou. Když je tranzistor vypnut, primární proud I_1 je přerušeno, napětí vlivem Faradayova zákona ($u = L \cdot di/dt$) změny polaritu, dioda vede a energie se z jádra transformátoru přes diodu přesune do výstupního kondenzátoru C_{out} .

Během doby T_{on} (tranzistor sepnut) je na tranzistoru napětí drain-source V_{DS} rovno nule. Během doby T_{off} (tranzistor rozepnut) je výstupní napětí V_{out} transformováno zpátky na primární stranu a napětí drain-source teoreticky stoupne na $V_{DS} = V_{in} + V_{out} \cdot N_1/N_2$. Pokud je použito síťové napětí 230V/50Hz, V_{DS} stoupne přibližně na hodnotu 700V. V praxi bude toto napětí ještě vyšší díky rozptylové indukci transformátoru. Proto použijeme tranzistor s průrazným napětím drain-source 800V.

Transformátor není běžný transformátor, protože jeho funkcí je ukládat energii během doby T_{on} a tuto energii během doby T_{off} dodávat přes diodu do výstupního kondenzátoru. Ve skutečnosti je transformátor vlastně akumulací tlumivka s primárním a sekundárním vinutím. Pro uložení energie v jádře transformátoru je potřeba vzduchová mezera (běžné transformátory vzduchovou mezeru nemají). Důležitým požadavkem na tento transformátor je, aby primární a sekundární vinutí bylo vzájemně pevně svázáno pro dosažení co nejmenší rozptylové indukčnosti. Energie rozptylové indukčnosti se nepřenesou na sekundár, ale je přeměněna na teplo na primární straně.



Obr. 2: Napětí a proudy blokujícího měniče

Návrh blokujícího měniče:

V ustálených podmínkách musí být střední hodnota primárního napětí V_1 rovna nule (kdyby tomu tak nebylo, proud by nekonečně rostl). To vede k rovnici:

$$V_{in} \cdot t_1 = V_{out} \cdot \frac{N_1}{N_2} \cdot (T - t_1)$$

z níž dostaneme:

$$V_{out} = V_{in} \cdot \frac{N_2}{N_1} \cdot \frac{t_1}{T - t_1}$$

Pokud bude střída ovládacího napětí V_{cont} spínacího tranzistoru 50%, tj. $t_1 = T - t_1 = T/2$, předchozí vztah se nám zjednoduší na:

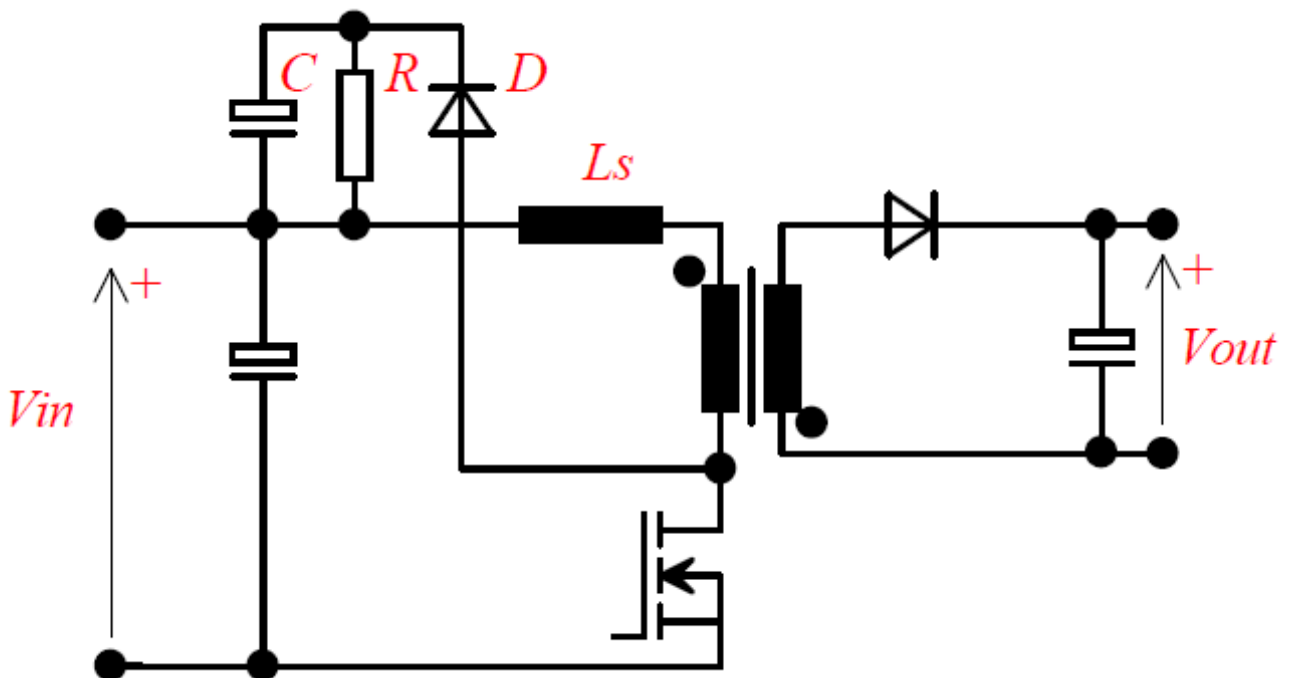
$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_{in}}{V_{out}}$$

Průrazné napětí tranzistoru a závěrné napětí diody v tomto případě musí být:

Transistor:	$V_{DS} = V_{in} + V_{out} \cdot \frac{N_1}{N_2} \approx 2V_{in}$
Diode:	$V_R = V_{out} + V_{in} \cdot \frac{N_2}{N_1} \approx 2V_{out}$

Předepsané průrazné napětí tranzistoru musí být zvoleno o dost vyšší, protože při vypnutí na něj působí energie rozptylové indukčnosti L_s , která se nepřenesne na sekundární stranu. Aby toto přepětí bylo v přijatelných mezích, je vyžadován tlumicí člen (viz obr. 3). V okamžiku vypnutí tranzistoru se proud způsobený rozptylovou indukčností L_s odvede přes diodu D a nabije kondenzátor C . Výkon se rozptýlí v rezistoru R .

Pokud je vyžadováno, aby R a C pracovaly při napětí 230VAC, hodnota R se určí experimentálně tak, aby se zajistilo, že stejnosměrné napětí na C bude v rozsahu 350V až 400V.



Obr. 3: Tlumicí člen pro omezení napěťových špiček na tranzistoru.

Při návrhu transformátoru musí být nejdříve vypočítána indukčnost L_l . Úkolem L_l je ukládat energii během fáze T_{on} tranzistoru, což je energie požadovaná na výstupu. Tato energie je dána vztahem $W = P_{out} \cdot T$, kde T je perioda spínací frekvence a P_{out} je jmenovitý výkon. Tato energie je uložena v primární indukčnosti během první části periody a je přenesena do výstupního kondenzátoru během druhé části periody spínání. Pro naše výpočty budeme uvažovat, že obě části periody jsou stejně velké, tj. $T/2$.

Během doby T_{on} tranzistoru je napětí na primární cívce rovno V_{in} a proud I_l lineárně roste. V každém cyklu vstupní energie dosáhne hodnoty:

$$W = V_{in} \frac{\hat{I}_1 T}{2 \cdot 2}$$

Tato energie je uložena do L_1 a můžeme ji vypočítat jako:

$$W = \frac{1}{2} L_1 \hat{I}_1^2$$

Ze dvou posledních vztahů dojdeme úpravami ke vzorci pro velikost primární indukčnosti:

$$L_1 \approx \frac{V_{in}^2}{8 P_{out} \cdot f}$$

Poznámka překladatele:

Když oba výše uvedené vztahy pro W spojíme do jedné rovnice, jednoduchou úpravou dostaneme:

$$L_1 = V_{in}/I_{1max} * T/2 = V_{in}/(2I_{1max} * f) \quad (1)$$

Protože předpokládáme nulové ztráty, rovná se výstupní výkon P_{out} příkonu. Musíme proto najít vztah pro střední hodnotu příkonu během jedné periody T . Energie dodaná do měniče během jedné periody je dána integrálem

$$Q = \int_0^T u i dt \quad (2)$$

Vstupní napětí je konstantní: $u(t) = V_{in}$, zatímco proud lineárně roste po dobu $T/2$: $i(t) = 2I_{max} * t/T$. Můžeme tedy integrál (2) napsat následovně:

$$Q = 2V_{in} * I_{max}/T \int_0^{T/2} t dt = 2V_{in} * I_{max}/T [t^2/2]_0^{T/2} = 2V_{in} * I_{max}/T * (T/2)^2/2 = V_{in} * I_{max} * T/4$$

$$Q = V_{in} * I_{max} * T/4 \quad (3)$$

Když energii Q vydělíme dobou periody T , dostaneme střední hodnotu příkonu

$$P_1 = V_{in} * I_{max}/4 \quad (4)$$

Nyní (4) upravíme: $I_{max} = 4P_1/V_{in}$ a dosadíme do (2):

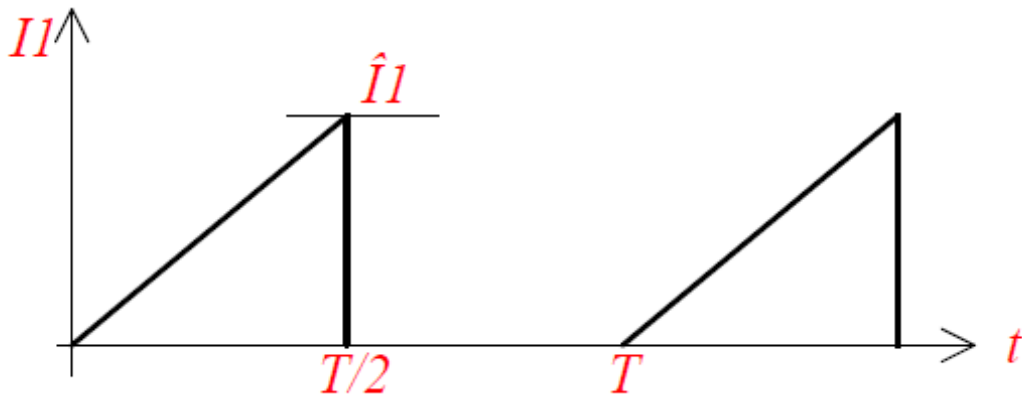
$$L_1 = V_{in}/(2I_{1max} * f) = V_{in}/(8P_1/V_{in} * f) = V_{in}^2/(8P_{out} * f)$$

(inspirace viz <http://fyzikalniulohy.cz/uloha.php?uloha=233>)

Výše uvedený výpočet předpokládá účinnost 100%. Pokud budeme uvažovat, že účinnost $\eta < 1$, znamená to, že musíme uložit víc energie do L1, takže tuto indukčnost vypočítáme následovně:

$$L_1 \approx \frac{V_{in}^2}{8 P_{out} \cdot f} \cdot \eta$$

Účinnost η musíme odhadnout, protože její hodnotu v době návrhu neznáme. ($\eta \approx 0,75$ je běžně dobrý odhad.)



Obr. 4: Tvar vstupního proudu.

Špičková hodnota proudu I_1 je:

$$\hat{I}_1 = \frac{4 \cdot P_{out}}{V_{in} \cdot \eta}$$

Efektivní hodnota proudu I_1 je:

$$I_{1RMS} = \frac{\hat{I}_1}{\sqrt{6}}$$

Jádro transformátoru a jeho vinutí nyní vypočítáme s pomocí článku “Výpočet tlumivky a vysokofrekvenčního transformátoru”.

Výstupní kondenzátor C_{out} je nabíjen impulzy (viz obr. 2). Zvlnění výstupního napětí ΔV_{out} je způsobeno pulzujícím proudem I_2 a je hlavně určeno impedancí kondenzátoru Z_{max} . Impedanci Z_{max} často označujeme jako ESR (equivalent serial resistance) a můžeme ji nalézt v datasheetu příslušného kondenzátoru.

Velikost zvlnění napětí je dáno následovně:

$$\Delta V_{out} \approx \hat{I}_2 \cdot Z_{max}$$

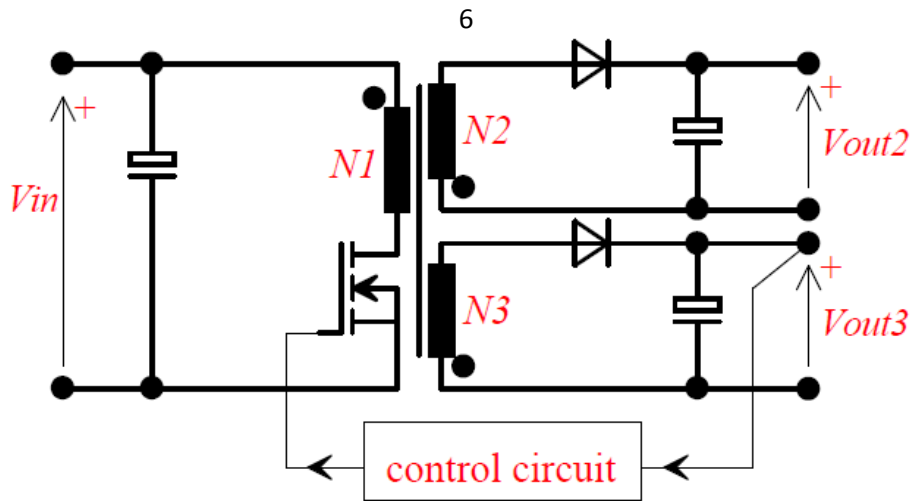
Kapacitu vstupního kondenzátoru C_{in} pro síťové napětí 230V/50Hz vypočítáme následovně:

$$C_{in} \approx 1 \frac{\mu F}{W} \cdot P_{in}$$

Poznámka překladatele:

Tj. příkon P_{in} vynásobíme konstantou $1 \mu F/W$, takže např. pro $P_{in} = 10W$ dostaneme $C_{in} \approx 10 \mu F$.

Zvláštním rysem blokujícího měniče je možnost řídit několik izolovaných výstupních napětí jediným řídicím obvodem (obr. 5).



Obr. 5: Blokující měnič pro několik výstupních napětí.

Jedno výstupní napětí je řízeno (na obr. 5 V_{out3}). Napětí V_{out2} je spřaženo s V_{out3} převodním poměrem

$$\frac{V_{out2}}{V_{out3}} = \frac{N_2}{N_3}$$

Energie, jež je uložena v L_1 během doby T_{on} se během doby T_{off} přesouvá na výstupy. Výstupní napětí udržují své hodnoty v závislosti na převodním poměru. Tato výstupní napětí se s ohledem na převodní poměry z primární strany jeví jako paralelní. Tudíž energie z primární strany se přesouvá na výstup, kde se vyskytuje nejnižší napětí.

Zdroj: <http://schmidt-walter.eit.h-da.de/>

Překlad: Ladislav Kopecký