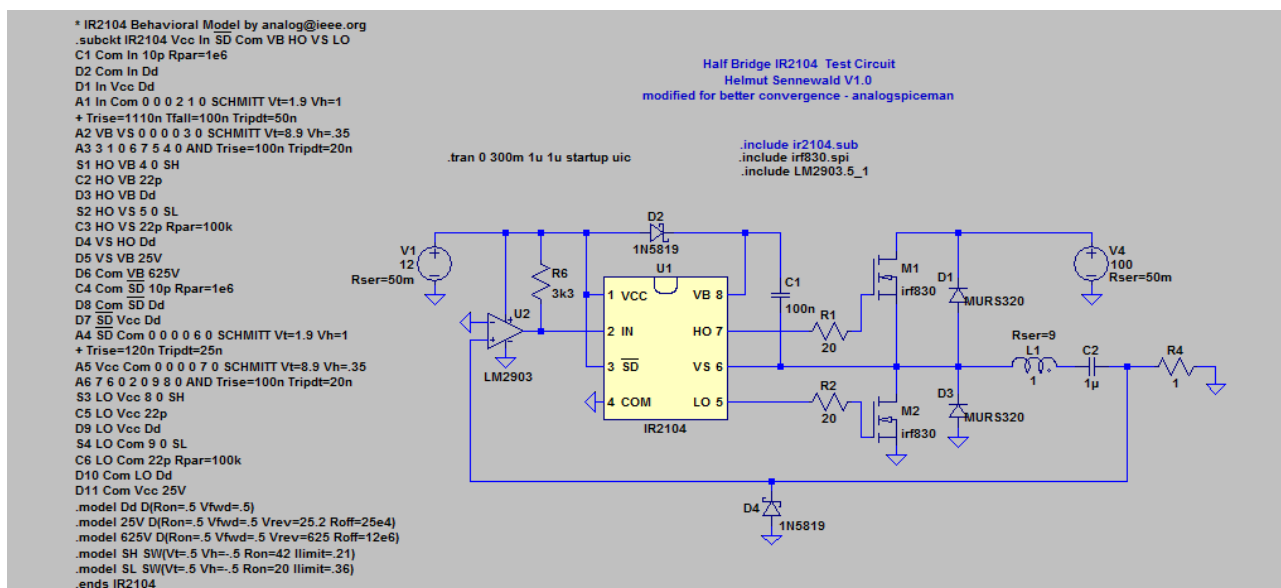


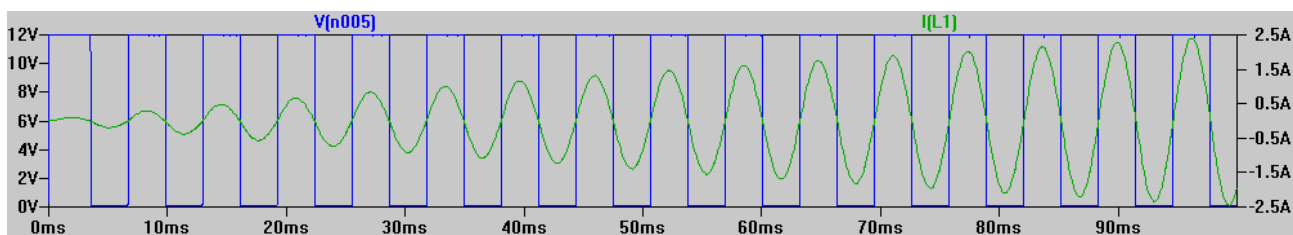
Rezonanční řízení s regulací proudu

© Ing. Ladislav Kopecký, 15.12. 2013

Provozování střídavého motoru v režimu sériové rezonance vyžaduje nižší napětí než napájení stejného motoru ze sítě 230V/50Hz. To předpokládá použití speciální zdroj napětí, který lze řešit například pomocí spínaného DC-DC snižujícího měniče. Toto řešení je sice běžné, avšak představuje náklady navíc. Existuje však levnější a vhodnější řešení tohoto problému. Hlavní myšlenka spočívá v tom, že motor je připojen na plné napětí sítě, které je pouze usměrněné a vyhlazené pomocí filtračního kondenzátoru nebo ještě lépe s použitím LC filtru, ale vinutí s kondenzátorem v sérii není připojeno k napětí po dobu celé půlvny proudu, ale pouze její část. V praxi je tato myšlenka realizována tak, že po nárůstu proudu nad určitou mez je horní elektronický spínač vypnut. Existuje několik způsobů, jak to zařídit. Začneme tím nejjednodušším. Na obr. 1 máme zapojení půlmůstkového rezonančního řízení jednofázového motoru



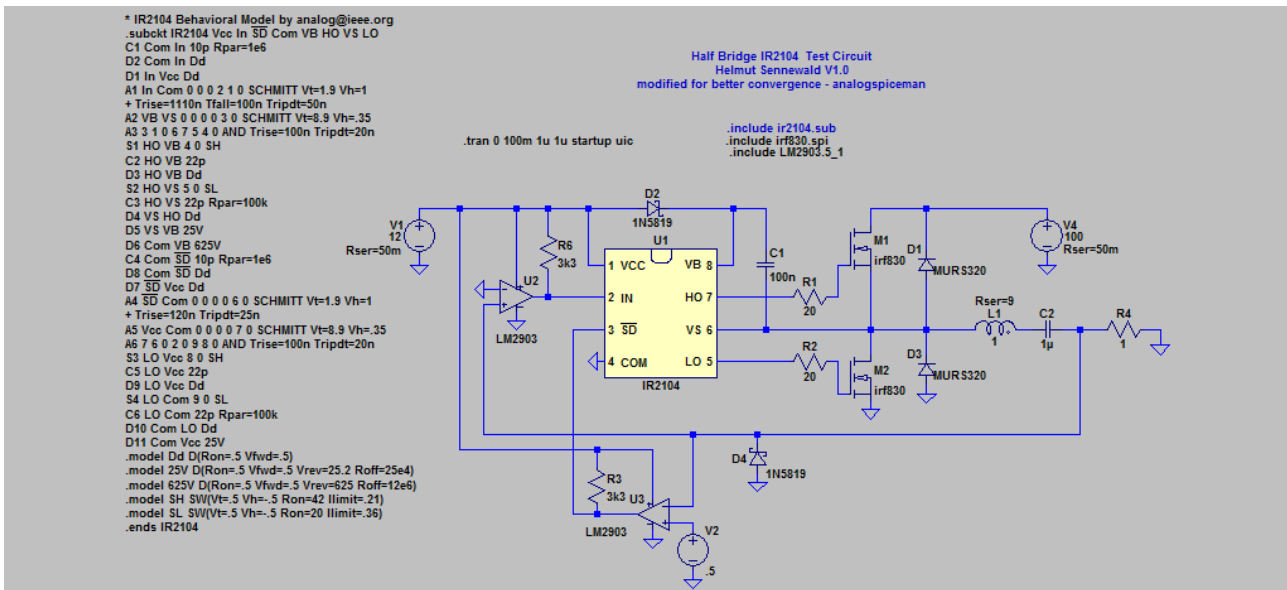
Obr. 1. Rezonanční řízení jednofázového motoru s půlmůstkem



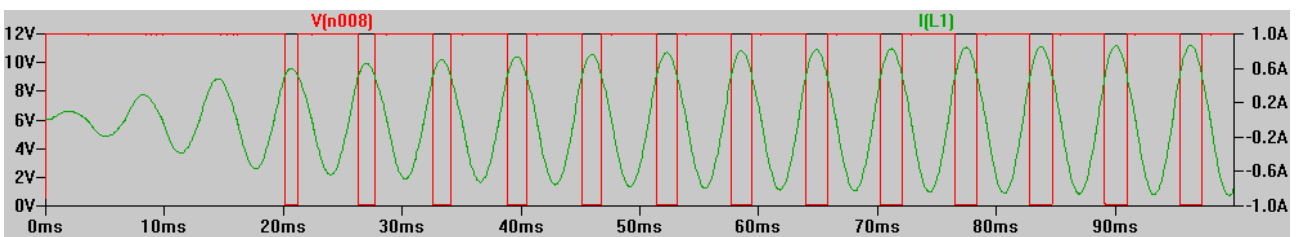
Obr. 2. Grafický výstup simulace obvodu z obr. 1.

Na obr. 2 vidíme, že za cca 100ms vzrostla amplituda proudu asi na 2,5A. Dále si ukážeme, jak docílit toho, že amplituda proudu v motoru nepřesáhne např. 1A. Na obr. 3 můžete vidět drobnou úpravu, která toto zařídí. Tato úprava spočívá v tom, že jsme přidali jeden komparátor, jehož výstup je přiveden na vstup /SD budiče U1. Invertující vstup (-) komparátoru snímá proud tekoucí vinutím motoru a na neinvertující vstup komparátoru je přivedeno referenční napětí. Jakmile proud ve vinutí motoru dosáhne určité hodnoty, v našem případě 0,5A, výstup komparátoru zablokuje budič U1 prostřednictvím jeho vstupu /SD a vinutí motoru je odpojeno od napájecího napětí. Na obr. 4 vidíme

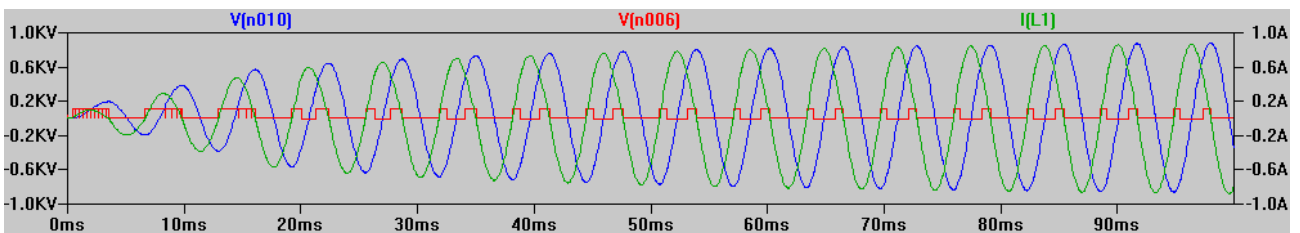
průběh proudu (zelená) cívkou L1 a řídicího napětí na výstupu komparátoru U3.



Obr. 3. Rezonanční řízení jednofázového motoru s půlmůstkem a s omezovačem proudu.



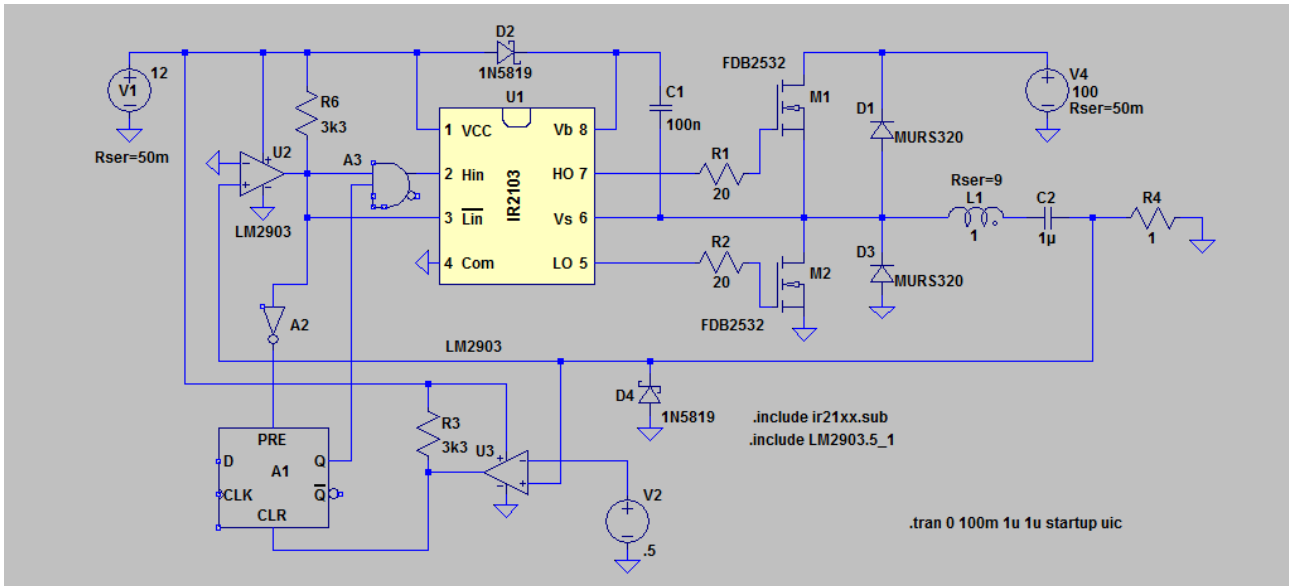
Obr. 4. Grafický výstup simulace obvodu z obr. 3.



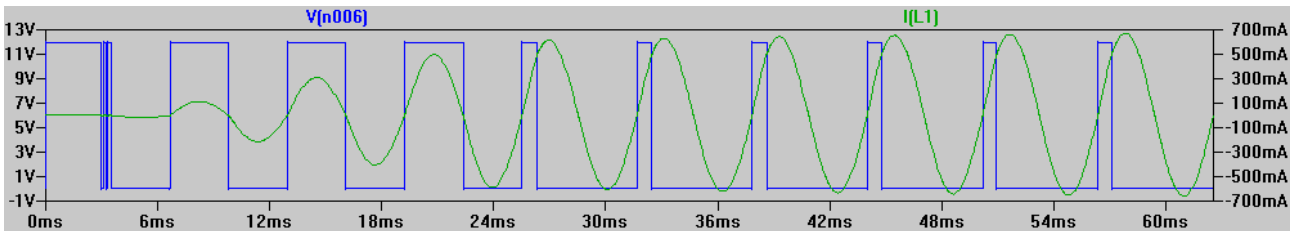
Obr. 5

Na dalším obrázku vidíme kromě průběhu proudu i průběh napětí na kondenzátoru C2 (modrá) a řídicí napětí pro horní spínač M1 (červená). Všimněte si, že horní spínač spíná během kladné půlvlny proudu dvakrát – na začátku a na konci kladné půlvlny. V dalším zapojení to zařídíme tak, že spínač M1 bude spínat pouze na začátku kladné půlvlny. Uvidíme, co to provede s amplitudou proudu. Na první pohled vidíme, že zapojení je o něco složitější: přibýly logické obvody A1, A2 a A3 a budič IR2104 byl nahrazen budičem IR2103. Jak to celé funguje. Předpokládejme, že se nacházíme v bodě, kdy právě sepnul horní spínač M1 a v cívce L1 začne podle sinusové funkce růst proud. Na výstupu komparátoru U2 a výstupu klopného obvodu A1 jsou logické jedničky, které se pomocí součinnového hradla A3 přenesou na vstup Hin budiče U1. Jakmile úbytek napětí na odporu R4 přesáhne napětí referenčního zdroje V2 (v našem případě 0,5V), výstup komparátoru přejde do log. 1 a dojde k překlopení klopného obvodu A1 a zablokování součinnového hradla A3, jehož

výstup přes budič U1 ovládá horní spínač M1. K překlopení A1 zpět a uvolnění hradla dojde až na začátku záporné půlvlny proudu prostřednictvím komparátoru U2 a invertoru A2. Na výsledek simulace se můžeme podívat na obr. 6.



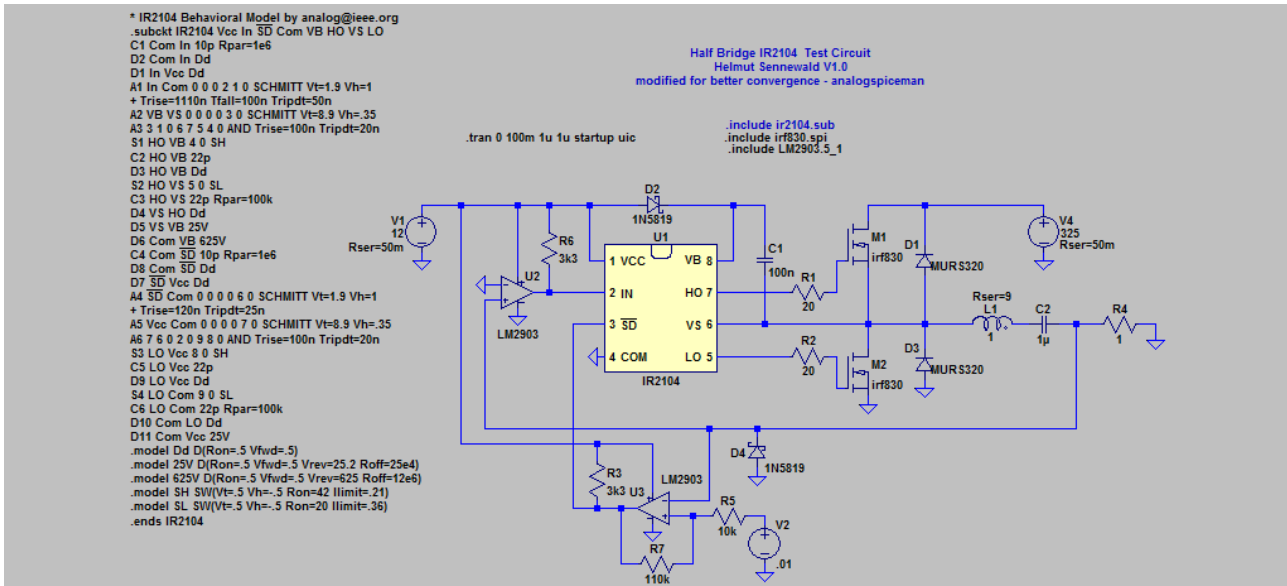
Obr. 5. Rezonanční řízení s omezovačem proudu – verze 2



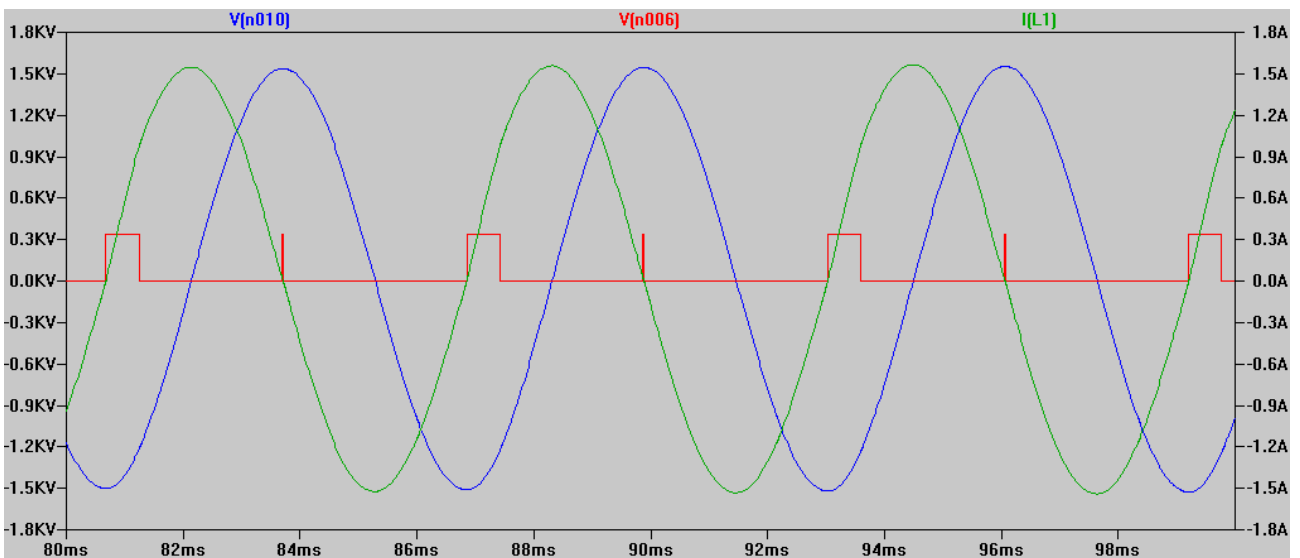
Obr. 6. Výstup simulace omezovače proudu verze 2

Výhoda zapojení na obr. 5 spočívá v tom, že průběh proudu je více sinusový než v předchozím případě, čímž v motoru dochází k menším ztrátám (nepřítomnost vyšších harmonických) a spotřeba motoru se tím pádem zmenší. Dále by bylo vhodné provést analýzu a porovnat účinnost obou způsobů omezování proudu, avšak na první pohled se zdá, že v druhém případě je účinnost vyšší.

Nyní si ukážeme sice méně dokonalý, ale mnohem jednodušší způsob, jak docílit výsledku zobrazeného na obr. 6. Použijeme k tomu zapojení podle obrázku 3, kam doplníme kladnou zpětnou vazbu, abychom dosáhli extrémně velké hystereze. Dále je nutné co nejvíce snížit hodnotu referenčního napětí, a to pouze takovou, která zajistí překlopení komparátoru U3 do správné polohy po zapnutí napájení. Pokud je zajištěno, že se LC oscilátor rozeběhne, je možné referenční zdroj vynechat úplně. Upravené schéma zapojení najdete na obr. 7. Pokud zanedbáme odpor R3 a referenční napětí V2, je vypínací proud dán napětím na odporovém děliči R7, R5, jenž je napájen z pomocného zdroje 12V. V našem případě je napětí na děliči cca 1V, což při hodnotě odporu $R4 = 1\Omega$ dává vypínací proud 1A. Na výsledek simulace se můžeme podívat na obr. 8, kde vidíme průběh proudu cívkou L1, napětí na kondenzátoru C2 a napětí na řídicím vstupu G (G jako gate) spínače M1.

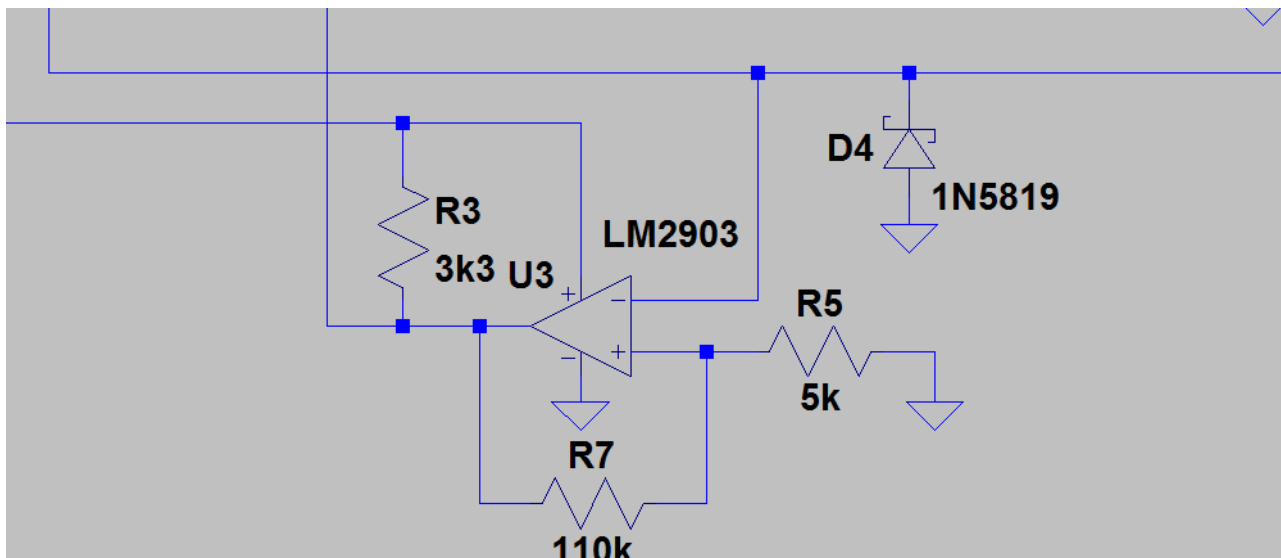


Obr. 7. Rezonanční řízení s omezovačem proudu – verze 3



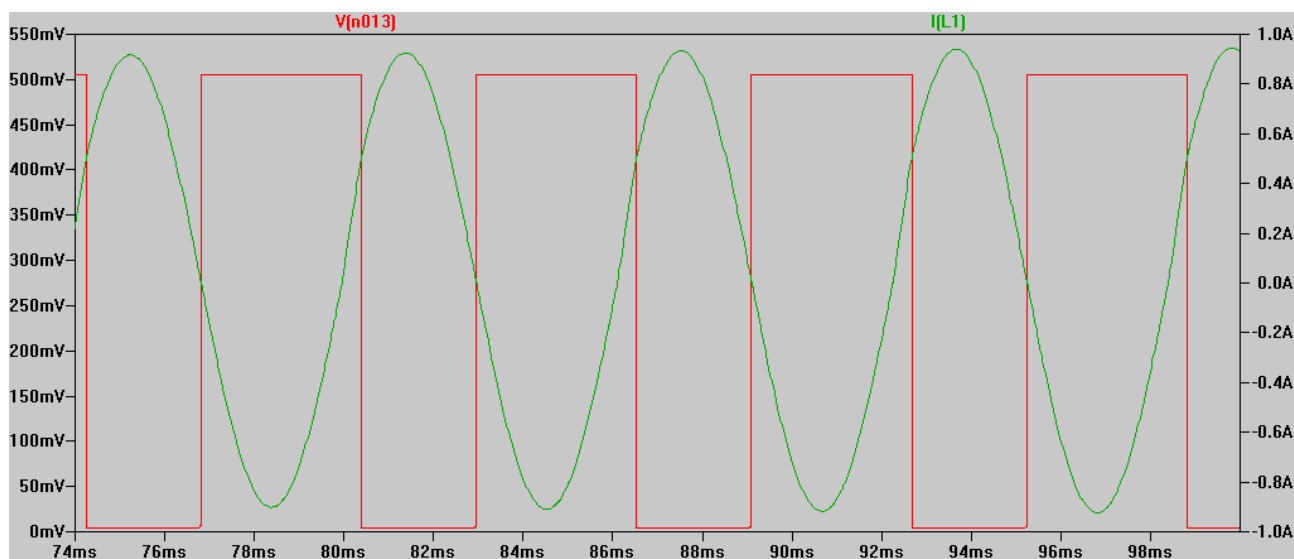
Obr. 8. Výstup simulace omezovače proudu verze 3

Nyní porovnáme výsledky simulací zapojení na obr. 3 se zapojením na obr. 7. Jde nám především o amplitudy proudů tekoucích cívkou L1 a kondenzátorem C2. Zapojení omezovače proudu upravíme tak, aby se napětí na neinvertujícím vstupu (+) komparátoru U3 co nejvíce blížilo hodnotě 0,5V jako u první verze omezovače proudu. Referenční zdroj vypustíme. Situaci vidíme na obr. 9.



Obr. 9. Upravený omezovač proudu

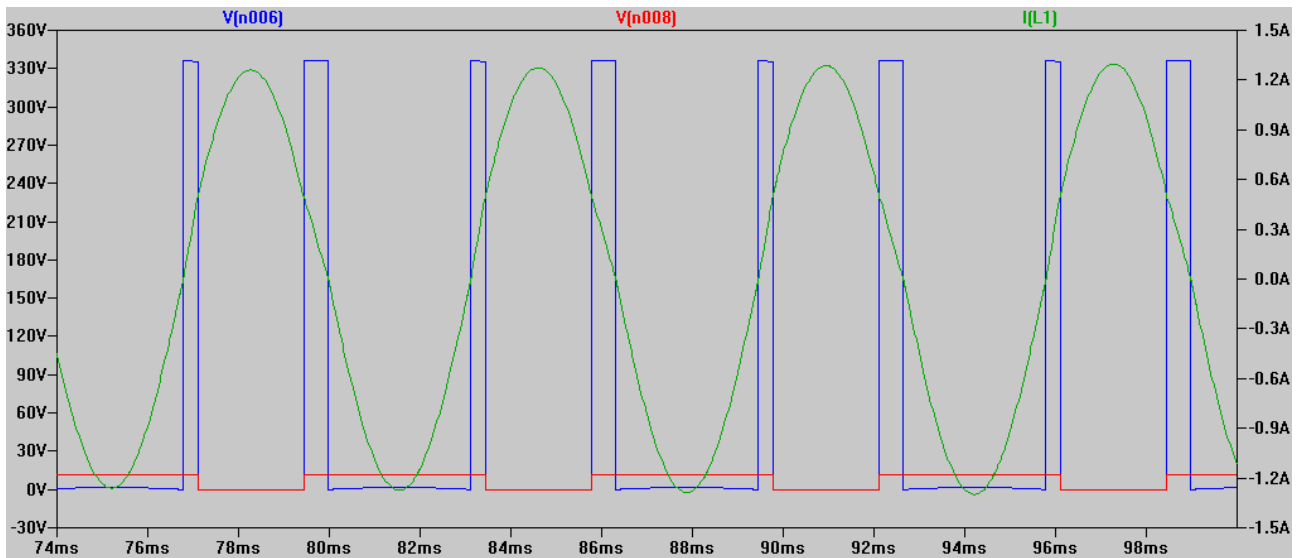
Na dalším obrázku můžeme vidět výsledek simulace: zeleně je zobrazen průběh proudu a červeně napětí na neinvertujícím vstupu (+) komparátoru.



Obr. 10. Průběh napětí na vstupu (+) komparátoru U3 a průběh proudu cívkou L1

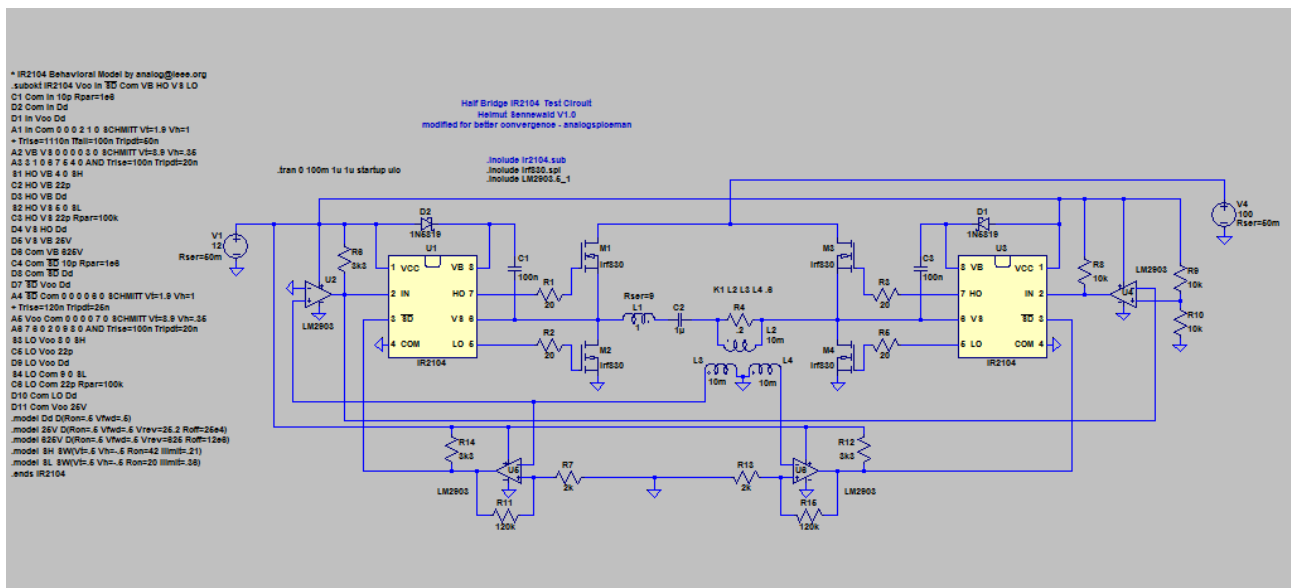
Z obr. 10 je zřejmé, že referenční zdroj V2 můžeme úplně vynechat, protože napětí na vstupu (+) komparátoru neklesne úplně k nule, ale při sepnutém výstupním tranzistoru komparátoru jsou na tomto vstupu cca 4mV, což zřejmě stačí k tomu, aby po zapnutí napájení nedošlo k zablokování vstupu /SD budiče U1.

A nyní pro porovnání zobrazíme výsledky simulace (viz obr. 11) obvodu na obr. 3. Na obr. 11 vidíme, že oproti obr. 10 amplituda proudu vzrostla z 0,94A na 1,287A, čili o necelých 37%, avšak doba, po kterou je v každé periodě sepnut spínač M1, je v případě zapojení podle obr. 3 o 167% delší! Je tedy z energetického hlediska výhodnější sepnutí horního spínače při poklesu proudu cívkou potlačit. Nehledě na to, že dochází k deformaci sinusovky.



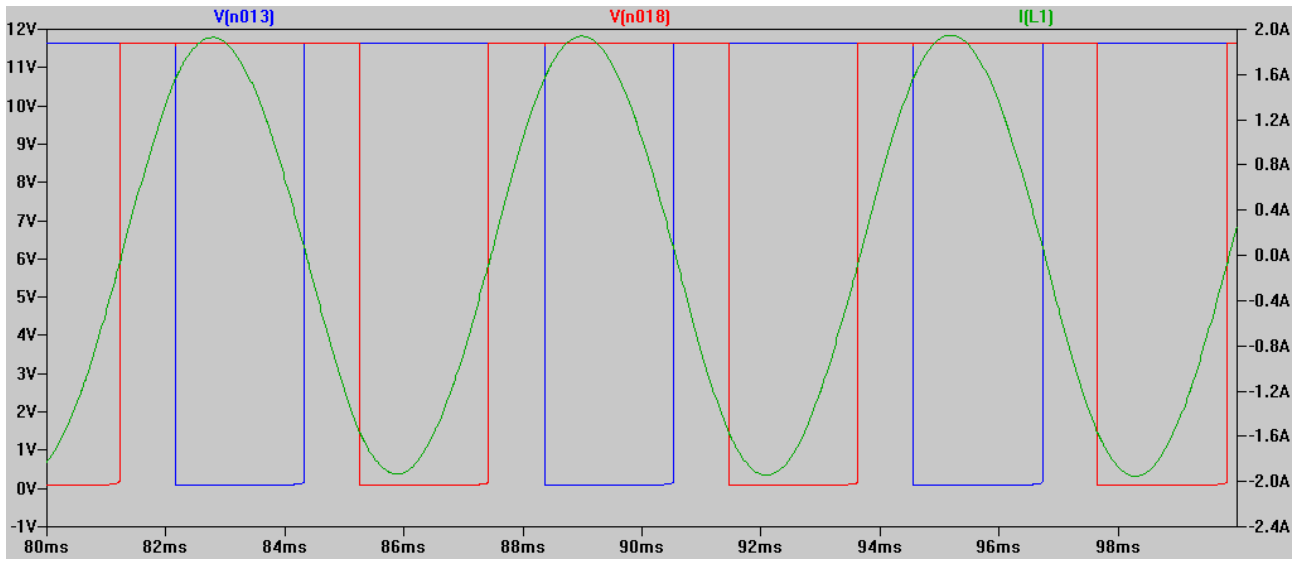
Obr. 11. Výstup simulace obvodu podle obr. 3

Až dosud jsme se zabývali řízením proudu u půlmůstkového zapojení. Nyní se podíváme na celomůstkové rezonanční řízení.



Obr. 12. Celomůstkové rezonanční řízení s omezovačem proudu.

Z obr. 12 je zřejmé, že jsme využili předchozích zkušeností s návrhem omezovače proudu pomocí komparátoru s hystezí. Na výsledek simulace se můžeme podívat níže. Na obr. 13 je zobrazen průběh proudu cívkou L1 a průběhy signálů na blokovacích vstupech /SD obou budičů IR2104. Za zmínku snad ještě stojí způsob vyhodnocování proudu LC obvodem. Je tvořen malým odporem R4 a měřicím transformátorem napětí se dvěma sekundáry. Nevím, jestli se takové vůbec vyrábějí. Pokud ne, bude nutné použít transformátory dva, přičemž je třeba dbát na správné zapojení jednotlivých vývodů.



Obr. 13. Grafický výstup simulace pro celomůstkové rez. řízení