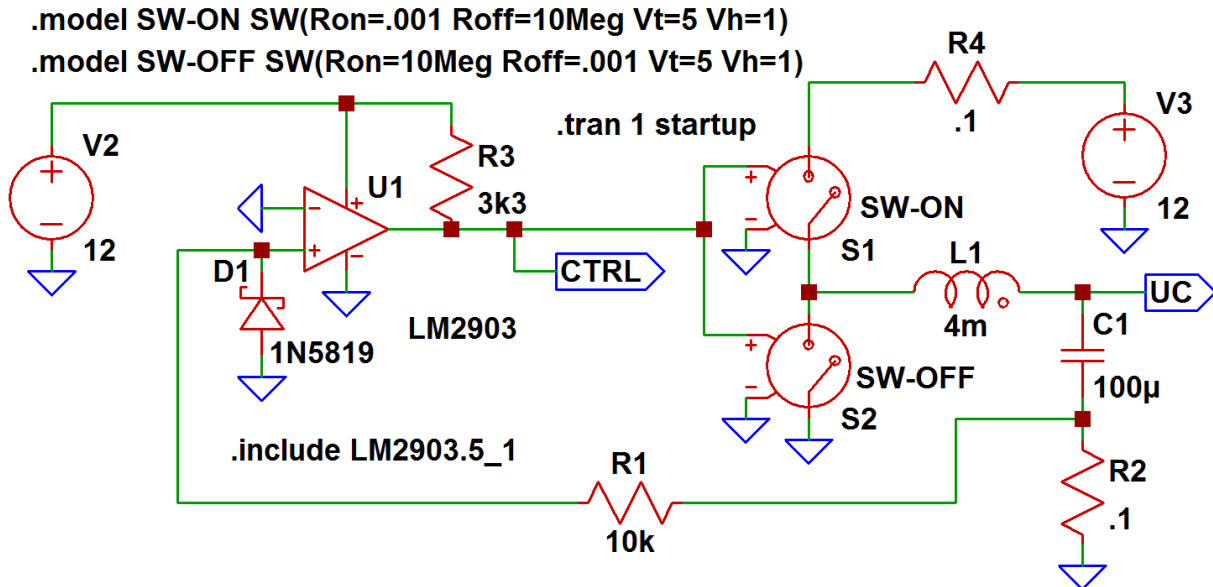


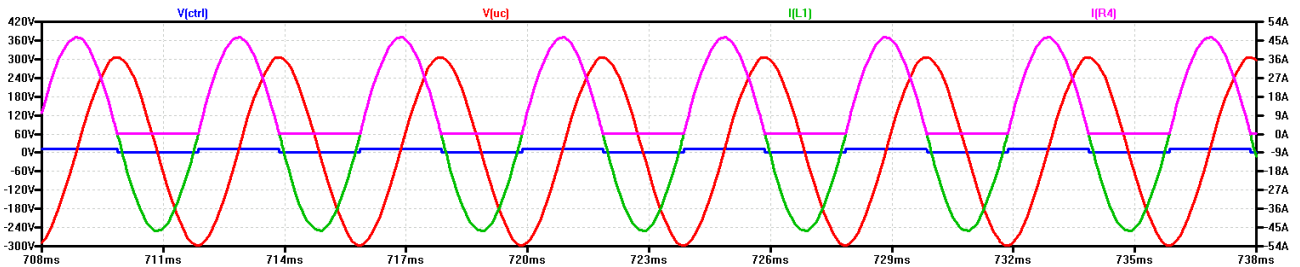
# LC oscilátory s transformátorovou vazbou

© Ing. Ladislav Kopecký, květen 2017

Základní zapojení oscilátoru pro rezonanční řízení motorů obsahuje dva spínače, které spínají střídavě v závislosti na okamžité polaritě proudu tekoucího LC obvodem.

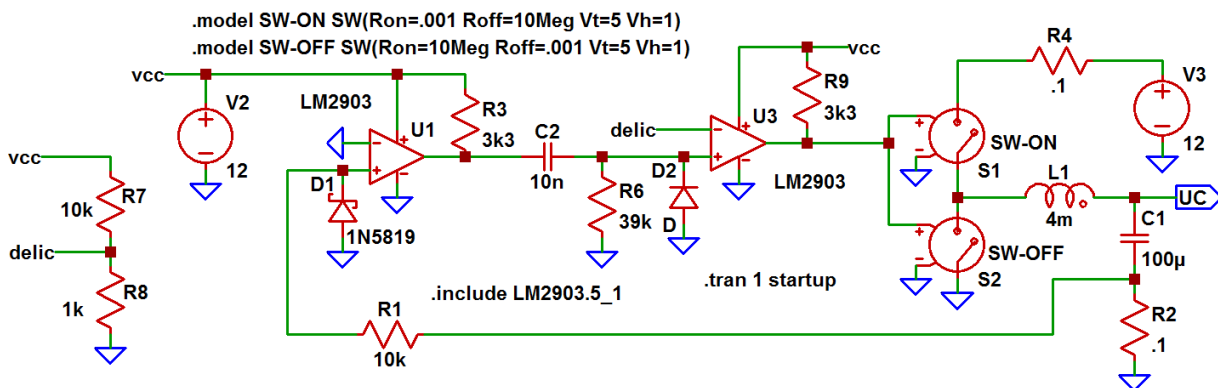


Obr. 1: Základní zapojení LC oscilátoru pro rezonanční řízení motoru



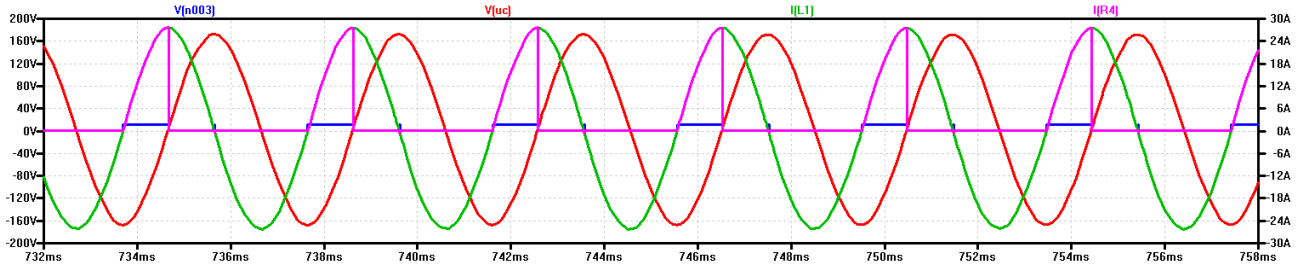
Obr. 2

Sériová rezonance má tu vlastnost, že velikost proudu v LC obvodu závisí pouze na činném odporu obvodu. To může působit potíže, pokud je odpor cívky velmi malý (viz obr. 2). Proto je vhodné proud v LC obvodu nějakým způsobem regulovat. Můžeme například přepnout elektronický přepínač dříve než skončí kladná půlvlna proudu (viz fialová křivka na obr. 2).



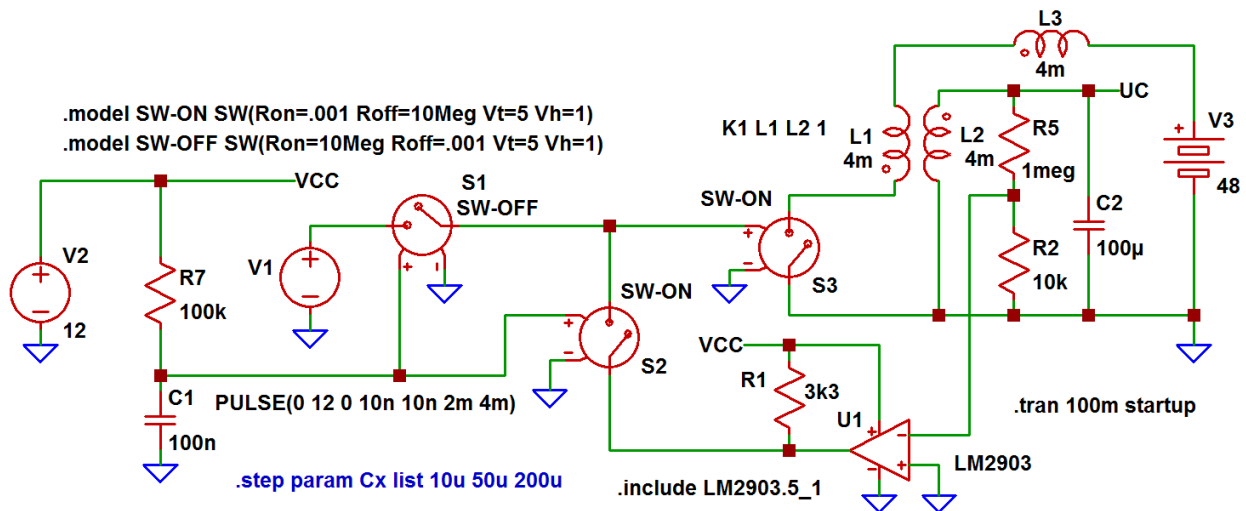
Obr. 3: Oscilátor s regulací proudu

Technických řešení může být mnoho. My si ukážeme jeden z nejjednodušších způsobů, který najdete na obr. 3. Mezi výstup komparátoru U1 a přepínač S1, S2 byl vložen derivační RC člen a další komparátor. Délka impulsu je určena časovou konstantou RC členu a napětím na děliči R7, R8. Čím je napětí na děliči nižší, tím je řídicí impuls delší. Pokud místo odporů R7 a R8 použijeme potenciometr nebo trimr, můžeme délku impulsu plynule měnit za provozu.

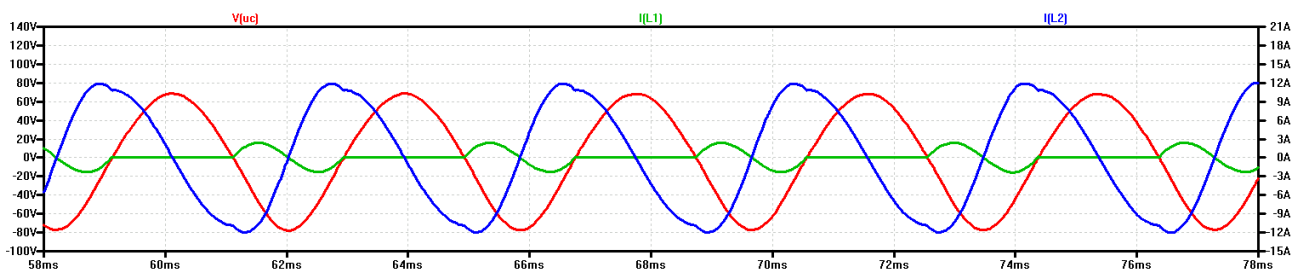


Obr. 4

Realizace elektronického přepínače není úplně jednoduchá a levná záležitost, ale vyžaduje poměrně drahé součástky a musíme zajistit tzv. „dead time“, aby nedošlo k sepnutí jednoho ze spínačů před vypnutím druhého spínače. V tom případě by došlo ke zkratu a pravděpodobně ke zničení spínacích tranzistorů. Pokud se chceme použití přepínače vyhnout, použijeme transformátor, do jehož primárního vinutí budeme použít proud jedním dolním spínačem, jehož realizace může být velmi jednoduchá.



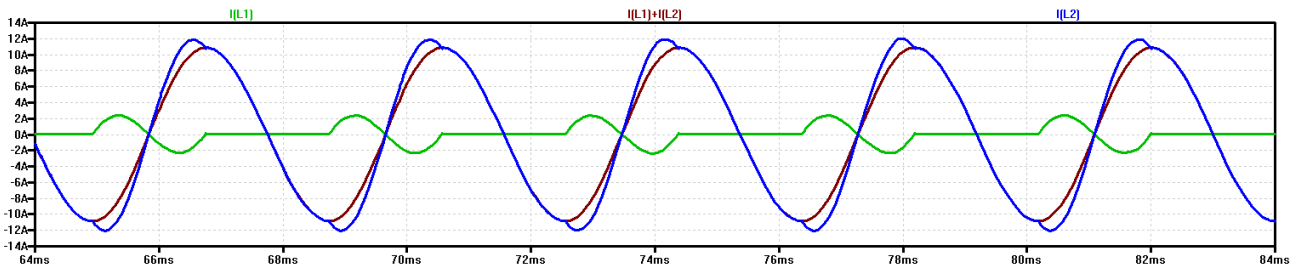
Obr. 5: Oscilátor s transformátorem – základní zapojení



Obr. 6

Na obr. 5 najdete základní zapojení oscilátoru s transformátorem. Každý oscilátor má kladnou zpětnou vazbu. Nejinak je to i v zapojení oscilátoru na obr. 5. Zpětná vazba je odvozena od napětí na rezonančním kondenzátoru C2, jehož úroveň je snížena děličem R2, R5. Takto upravený zpětnovazební signál je přiveden na jeden ze vstupů komparátoru U1. Výstup U1 ovládá výkonový spínač S3 přes spínač S2. Všechny prvky vlevo od S2 slouží k nastartování oscilátoru. Po zapnutí

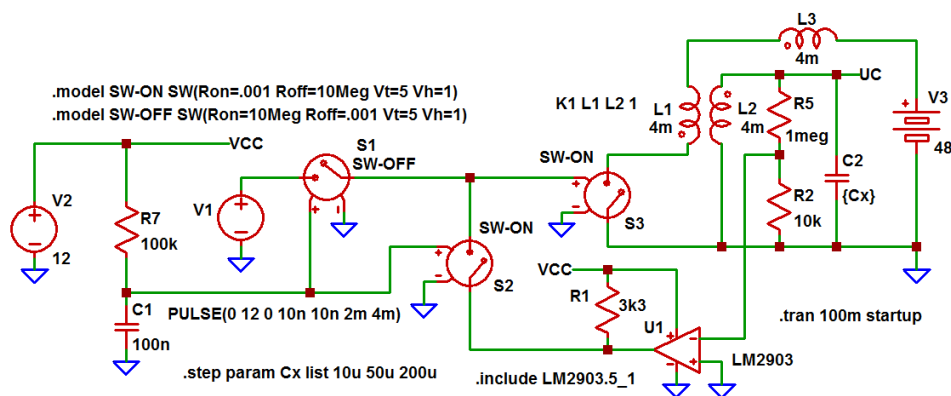
napájecího zdroje řídicí elektroniky je kondenzátor C1 vybit a spínač S3 je ovládán zdrojem impulzů V1 přes spínač S1. C1 se nabíjí přes odpor R7 a po dosažení hodnoty 6V se S1 rozeprve a sepne se spínač S2, jenž připojí k řídicímu vstupu S3 zpětnou vazbu. Věnujme nyní pozornost průběhům proudů a napětí na obr. 6. Nejdříve si všimneme, že proud cívku L1 (zelená křivka) obsahuje kladnou a zápornou půlvlnu sinusovky. To znamená, že energie se vrací do zdroje. Dále si můžete všimnout, že napětí UC na kondenzátoru má téměř sinusový průběh (červená), ale proud sekundární cívku (modrá) má sinusovku poněkud zdeformovanou. To je způsobeno tím, že cívky L1 a L2 jsou indukčně svázány a vzájemně se ovlivňují. Nyní se podíváme, jak se průběh proudu změní, když proudy obou cívek sečteme:



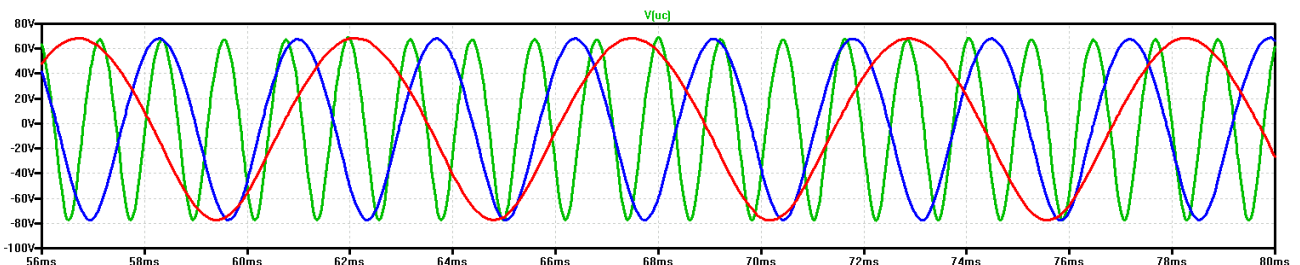
Obr. 7

Na obr. 7 můžete vidět, že když proudy obou cívek sečteme, dostaneme přesnou sinusovku. To znamená, že spřažený magnetický tok, jenž protéká cívkami L1 a L2, bude mít také sinusový průběh.

Nyní se podíváme, jak amplitudy proudu a napětí v LC obvodu ovlivňují změny kapacity rezonančního kondenzátoru C2:

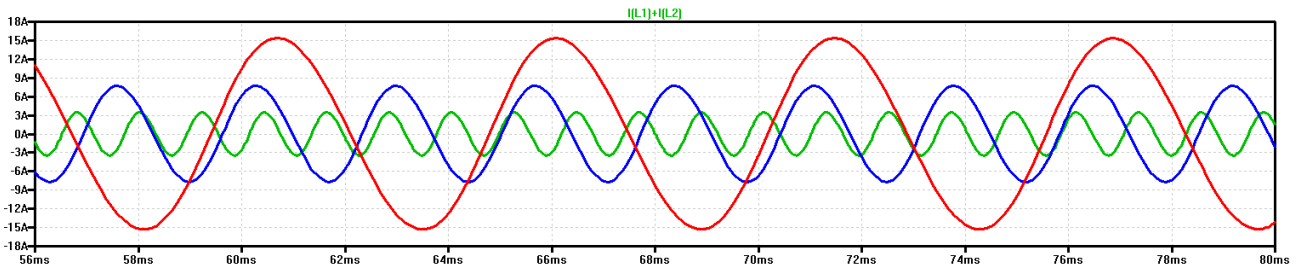


Obr. 8

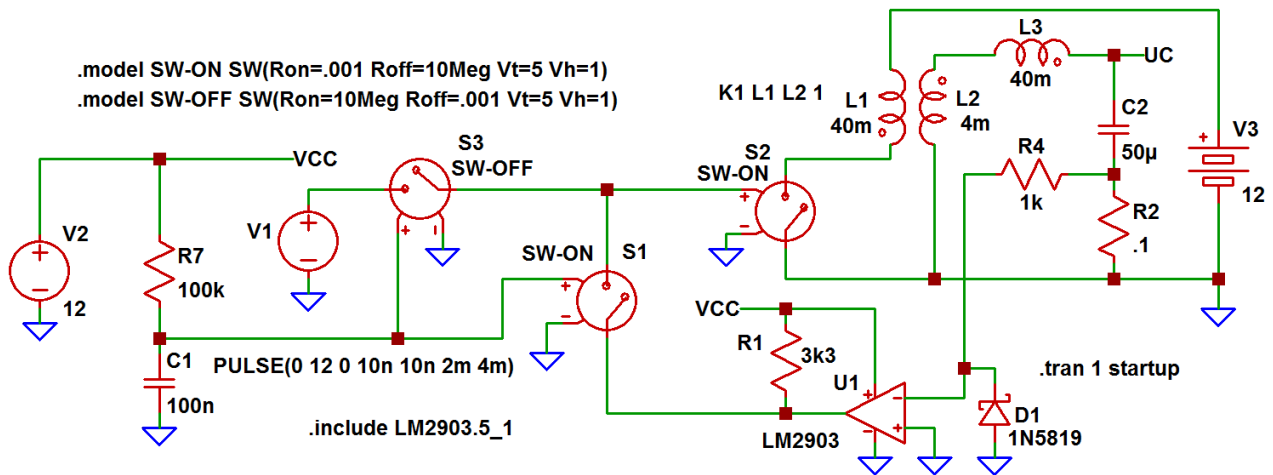


Obr. 9: Průběhy napětí na C2 v závislosti na jeho kapacitě

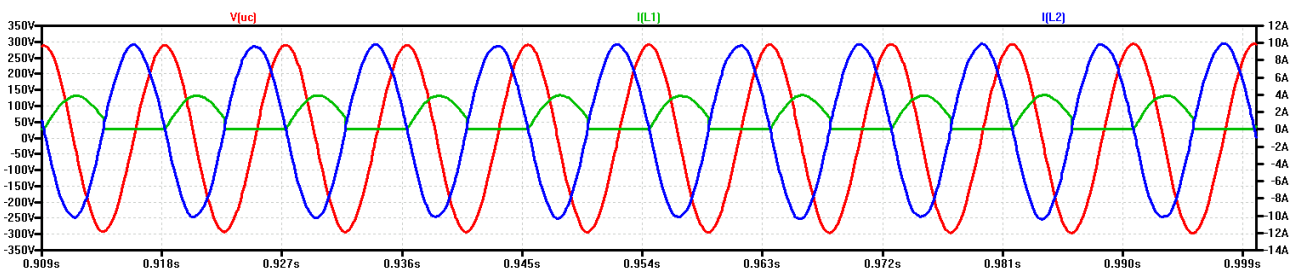
Na obr. 9 vidíme, že amplituda napětí na C2 je pro jeho různé hodnoty konstantní. Z obr. 10 je potom zřejmé, že mezi kapacitou C2 a amplitudou proudu v LC obvodu je přímá úměra. Z toho můžeme vyvodit závěr, že se jedná o oscilátor s paralelním rezonančním obvodem, protože se tak chová. Ostatně, svědčí o tom i druh zpětné vazby, která je odvozena od napětí na C2.

Obr. 10: Průběhy proudů  $I(L1)+I(L2)$  v závislosti na kapacitě  $C2$ 

Nyní se pokusíme vytvořit oscilátor se sériovým LC obvodem.



Obr. 11: Oscilátor s transformátorem – se sériovým LC obvodem

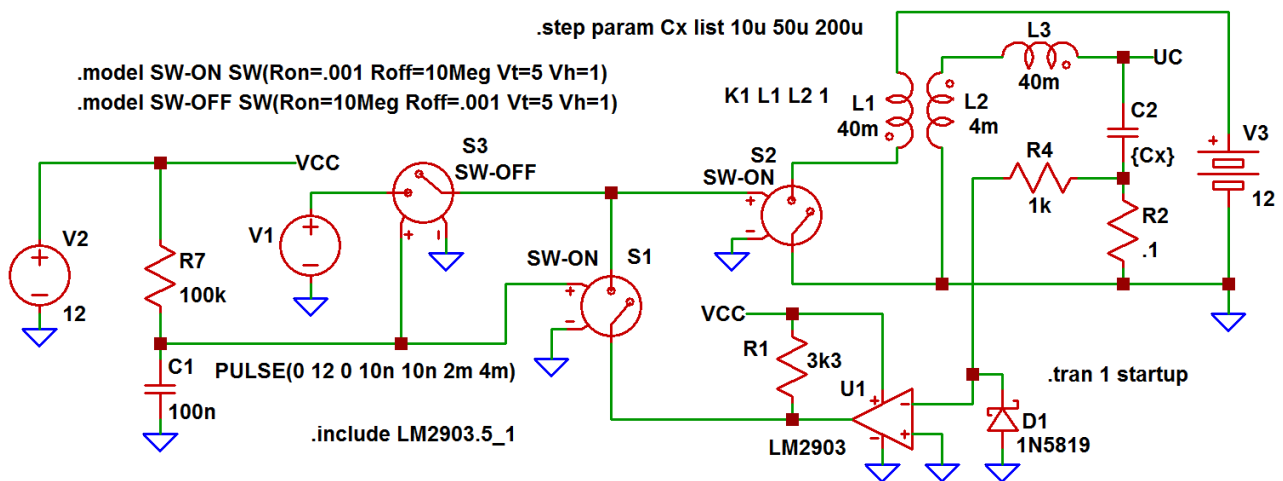


Obr. 12

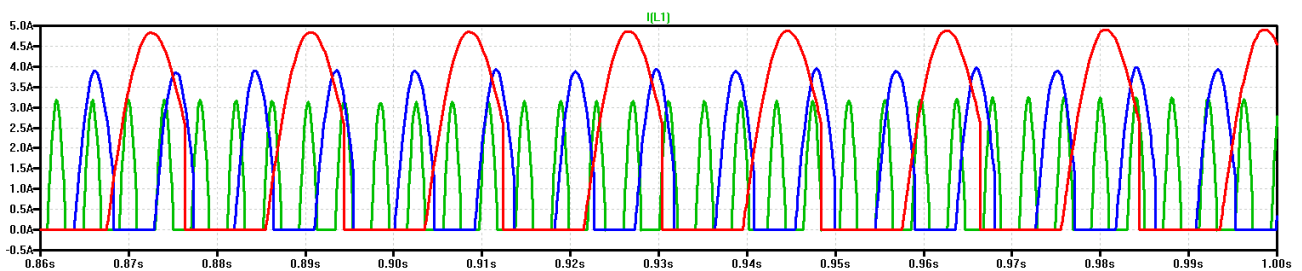
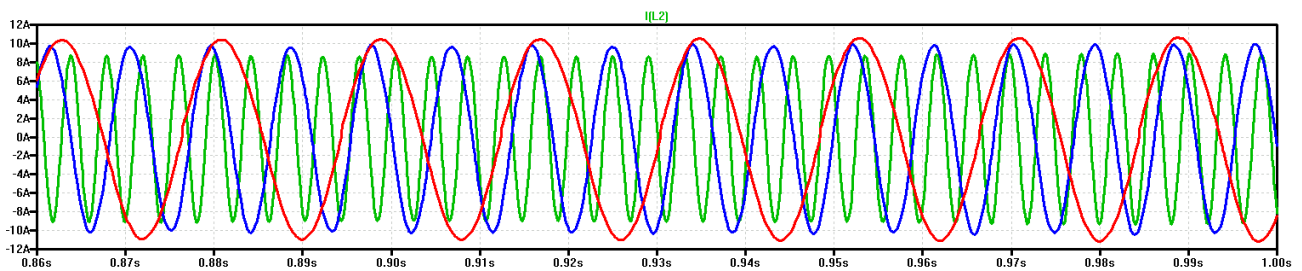
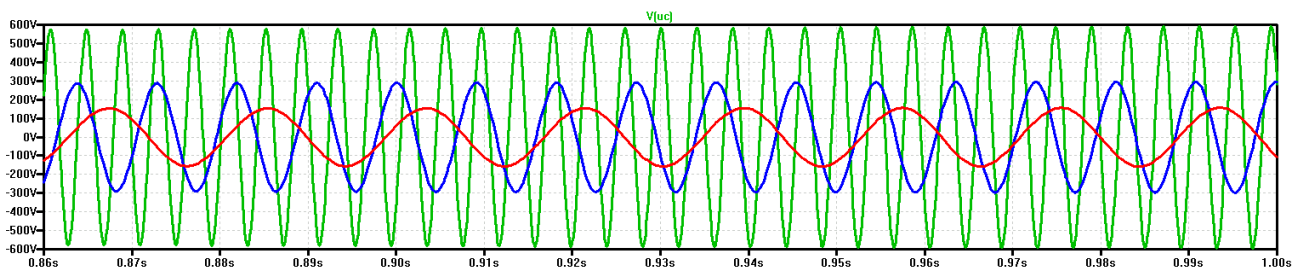
Provedeme to tak, že cívku  $L3$ , jež byla v sérii s primárním vinutím, přesuneme a zapojíme do série se sekundární cívkou  $L2$ , jak ukazuje obr. 11. Dále musíme změnit zpětnou vazbu z napěťové na proudovou. Na obr. 12 vidíme, že napětí na  $C2$  je podstatně vyšší než v případě s paralelním LC obvodem a to při pouhých 12V napájecího napětí. Také si můžete všimnout, že proud primární cívkou  $L1$  obsahuje pouze kladné půlvlny, čili do zdroje se žádný proud nevrací. Dále bylo experimentálně pomocí simulací zjištěno, že je vhodné, aby primární vinutí mělo větší indukčnost (tj. více závitů) než vinutí sekundární. V tom případě je proud LC obvodem méně zkreslený a více se blíží sinusovému průběhu.

Nyní, stejně jako v předchozím případě, budeme zkoumat, jak se mění amplituda proudu a napětí v závislosti na kapacitě rezonančního kondenzátoru  $C2$  (viz obr. 13). Na obr. 14, 15 a 16 můžete vidět, jak se mění amplitudy proudů  $I(L1)$  a  $I(L2)$  napětí  $U(C2)$  v závislosti na kapacitě  $C2$ .

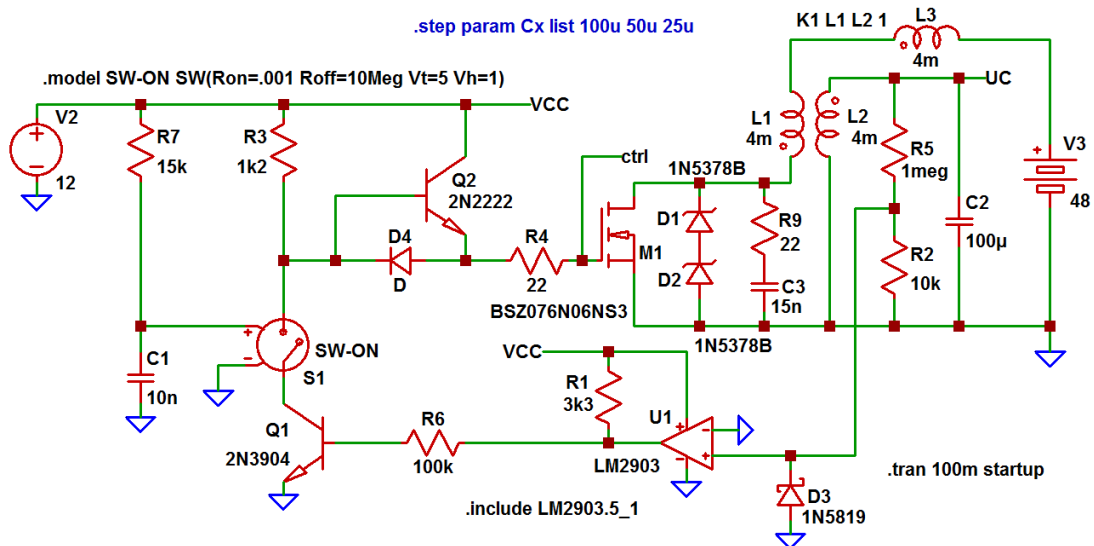
Přestože se proud primární cívkou poměrně výrazně mění, proud LC obvodem se mění velmi málo. Napětí na  $C2$  roste s rezonanční frekvencí (a klesající kapacitou  $C2$ ), jak bychom u oscilátoru se sériovým LC obvodem očekávali.



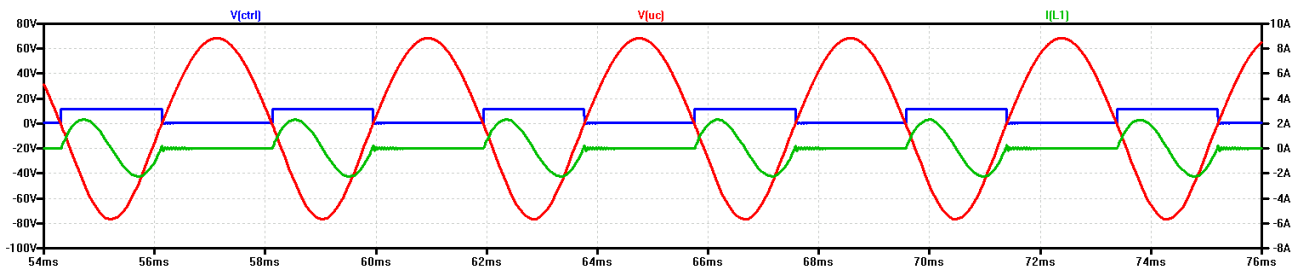
Obr. 13

Obr. 14: Průběh proudu  $I(L1)$  v závislosti na kapacitě  $C2$ Obr. 15: Průběh proudu  $I(L2)$  v závislosti na kapacitě  $C2$ Obr. 16: Průběh napětí na  $C2$  v závislosti na jeho kapacitě

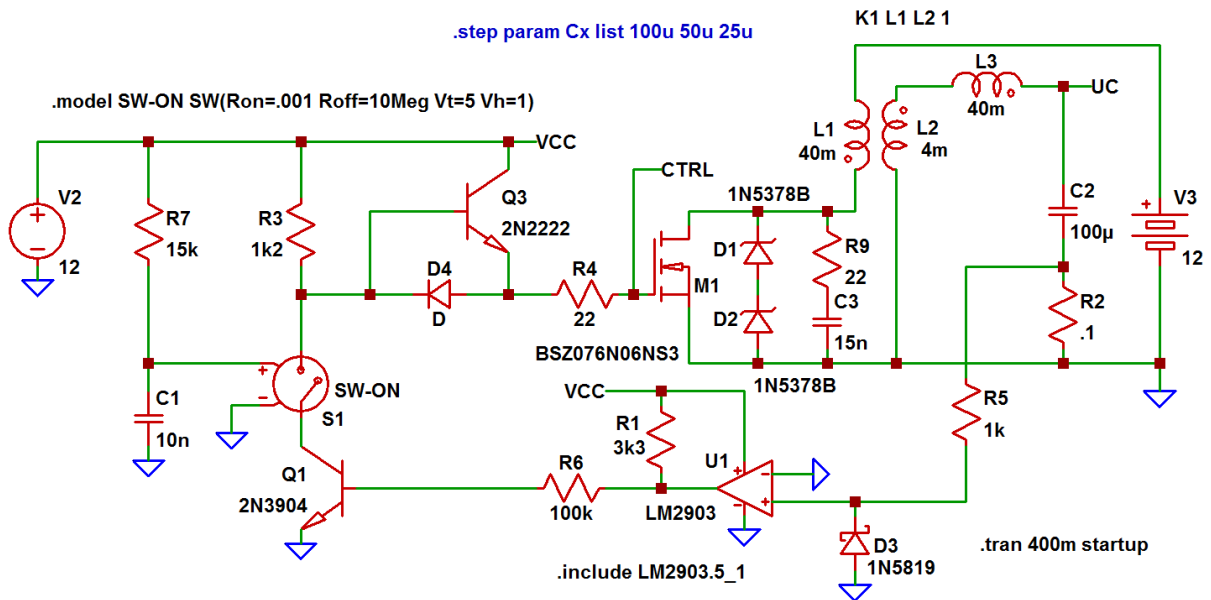
Nakonec ještě u obou typů oscilátoru nahradíme ideální spínač S3 jednoduchým spínačem s tranzistorem typu MOSFET. Spínač na obr. 18 je tvořen tranzistorem M1, jehož budič tvoří tranzistory Q1, Q2, odpor R3 a dioda D4. Vidíme tedy, že se opravdu jedná o velmi jednoduché řešení spínače. Výkonový tranzistor je chráněn pomocí RC členu a dvou Zenerových diod na 100V, které představují transil (což je v podstatě Zenerova dioda).



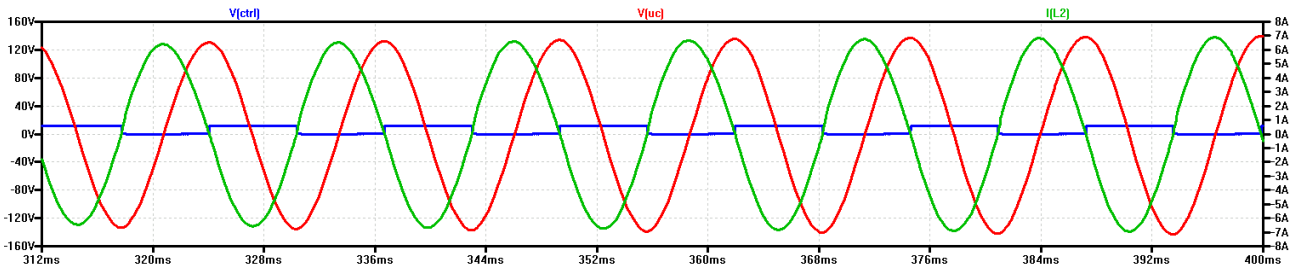
Obr. 17: Oscilátor s transformátorem a paralelním LC obvodem - reálný spínač



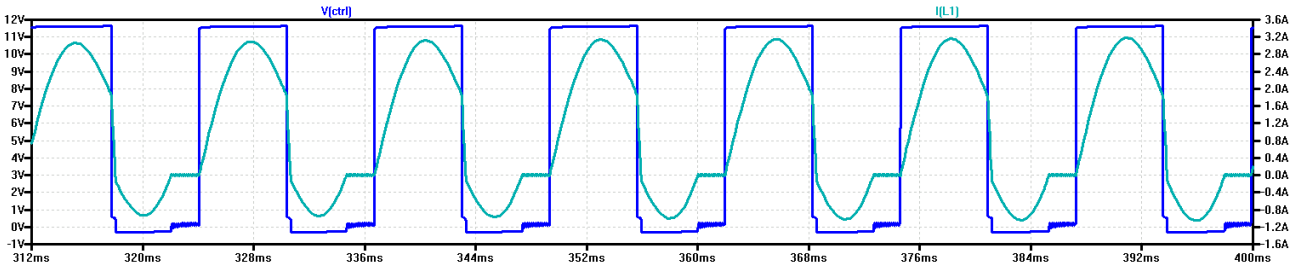
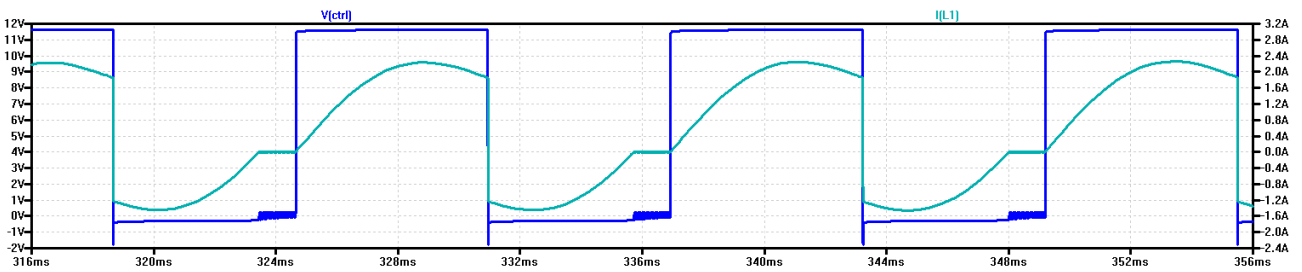
Obr. 18



Obr. 19: Oscilátor s transformátorem a sériovým LC obvodem - reálný spínač



Obr. 20

Obr. 21: Proud  $I(L1)$  – připojené ochrany tranzistoruObr. 22: Proud  $I(L1)$  – bez ochran

Oscilátor se sériovým LC obvodem a reálným spínačem se chová trochu jinak než se spínačem ideálním. Vliv to má zejména na průběh proudu primární cívky. Zanedbatelný není ani vliv ochrany tranzistoru M1, jak ukazují obrázky 21 a 22.