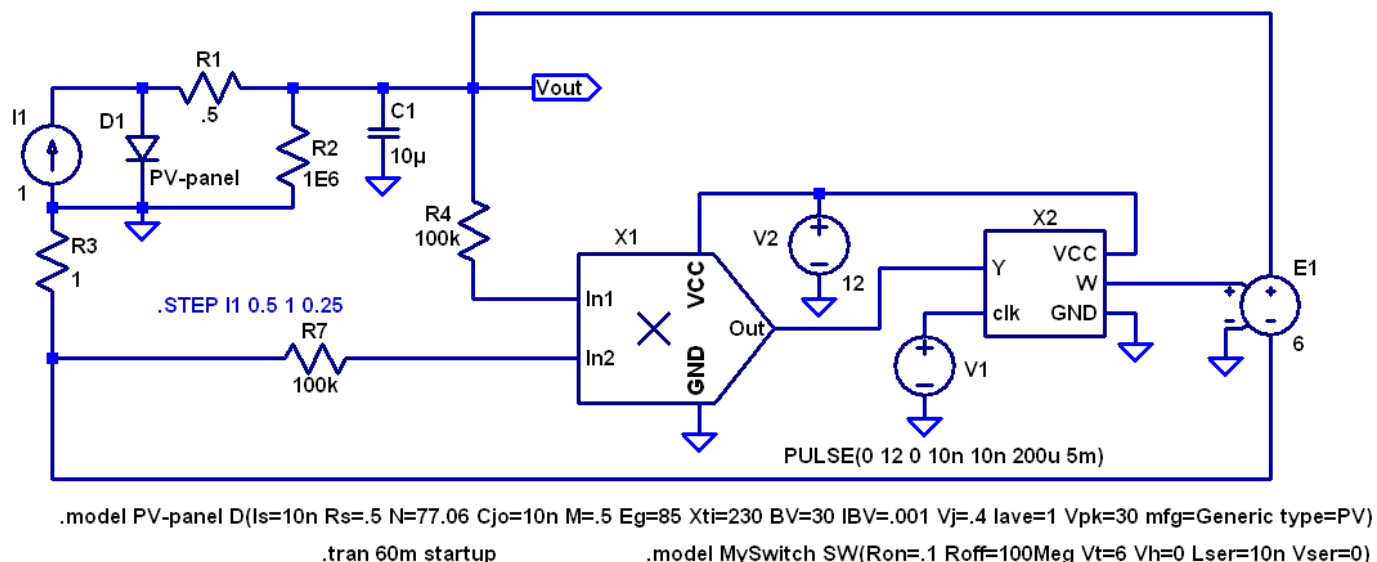


Realizace MPP regulátoru

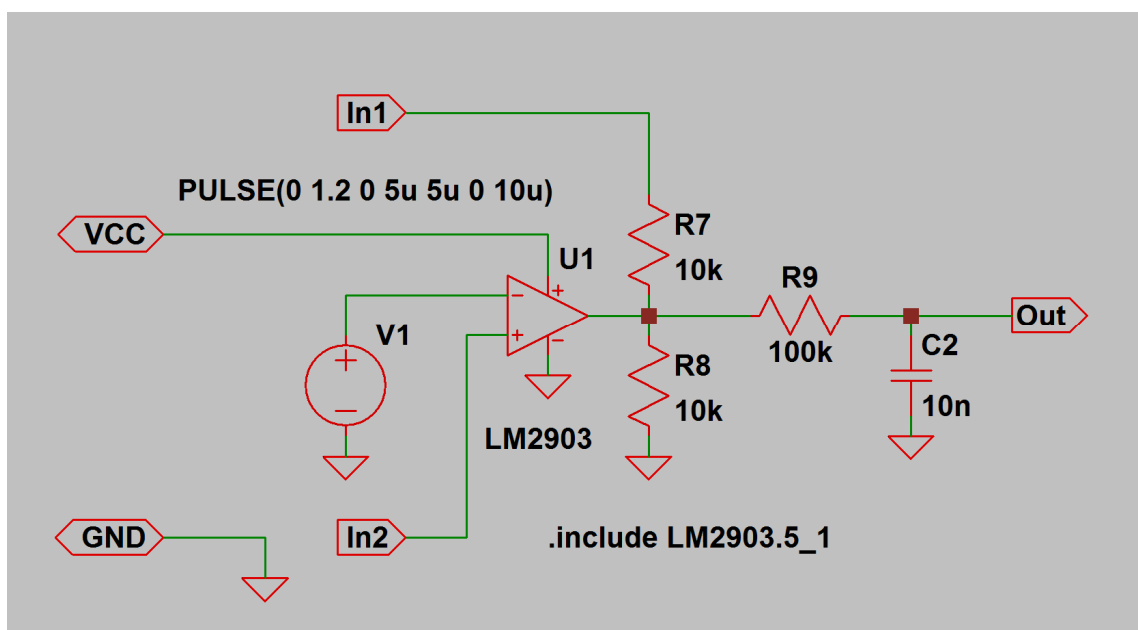
(c) Ing. Ladislav Kopecký, listopad 2014

Tento článek navazuje na <http://free-energy.xf.cz/ekologie/mppt.pdf>, kde je vysvětlen problém maximalizace zisku energie z fotovoltaického panelu pomocí MPP regulátoru. Začneme tam, kde jsme v minulém článku skončili – u blokového schématu:



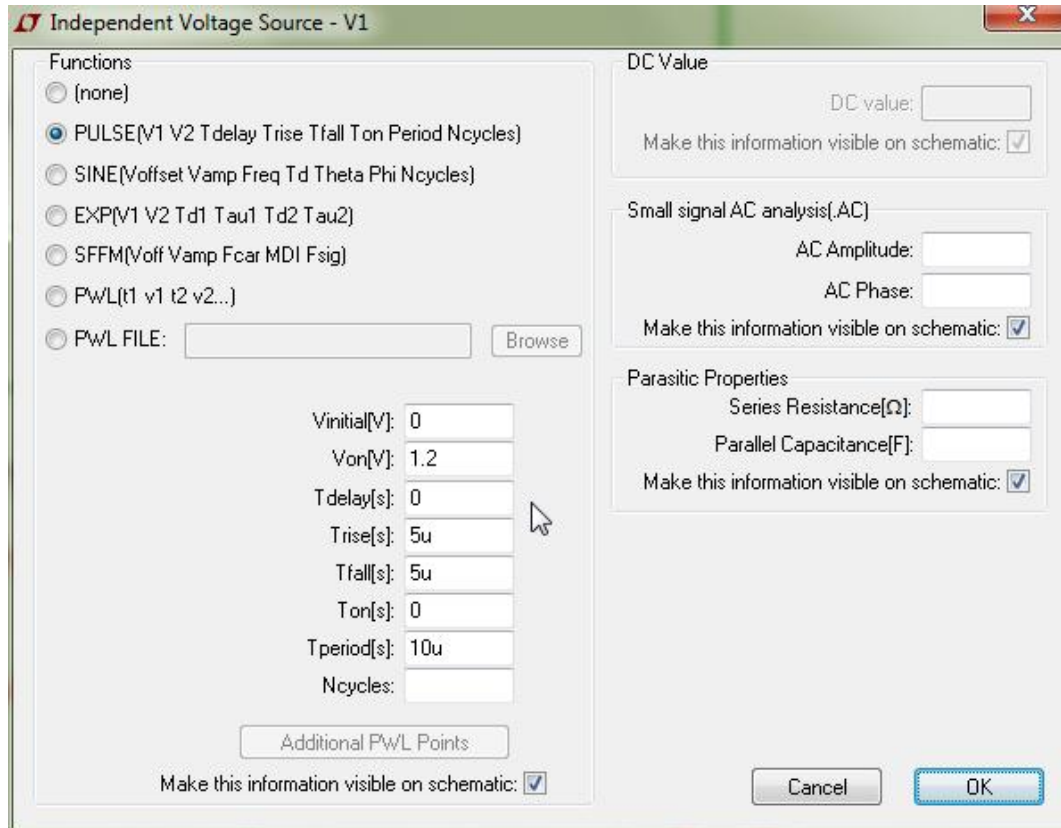
Obr. 1: Optimální regulace výkonu PV panelu

Jedním z nejdůležitějších bloků ve schématu na obr. 1 je násobička X1, která vypočítává okamžitý výkon odebraný z PV panelu. V minulém článku jsme uvedli princip i obvodové schéma násobičky s použitím komparátoru LM2903. Pro simulaci jsme však použili idealizované simulační schéma, abychom urychlili simulaci, protože použití reálného zapojení velmi zpomalovalo výpočet. Zde je použité simulační schéma:



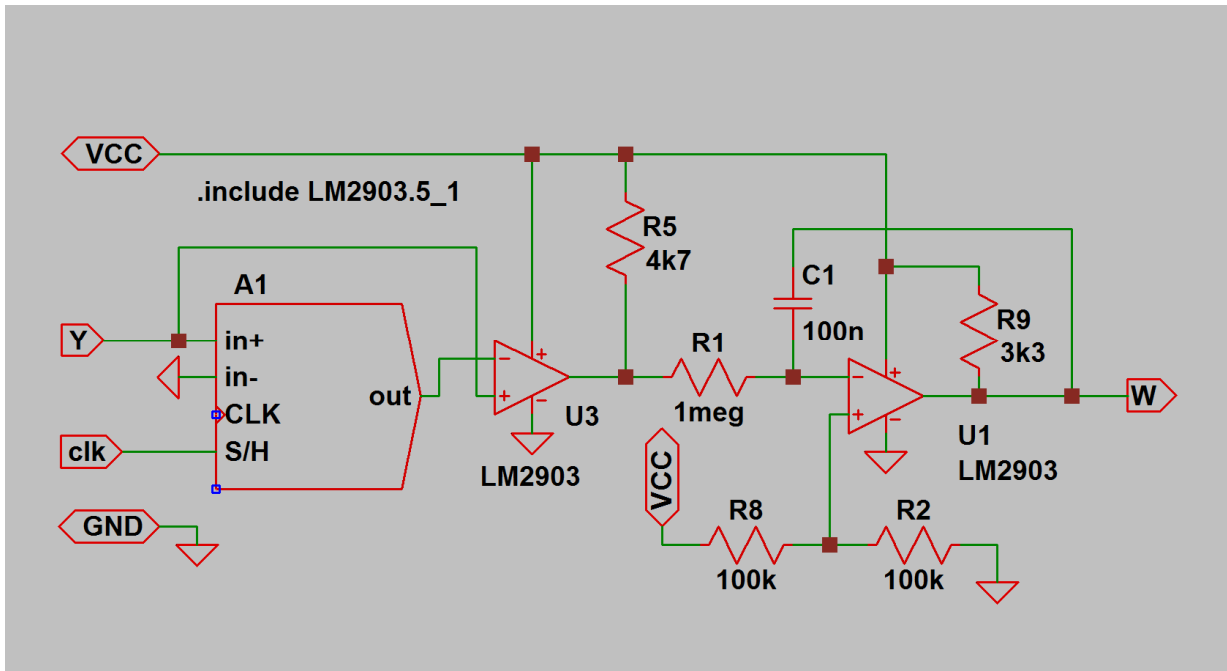
Obr. 2: simulační schéma násobičky

Jako zdroj pily zde posloužil zdroj V1 nakonfigurovaný jako zdroj pulzů:



Obr. 3: Nakonfigurování zdroje pulzů jako zdroje pilovitého průběhu

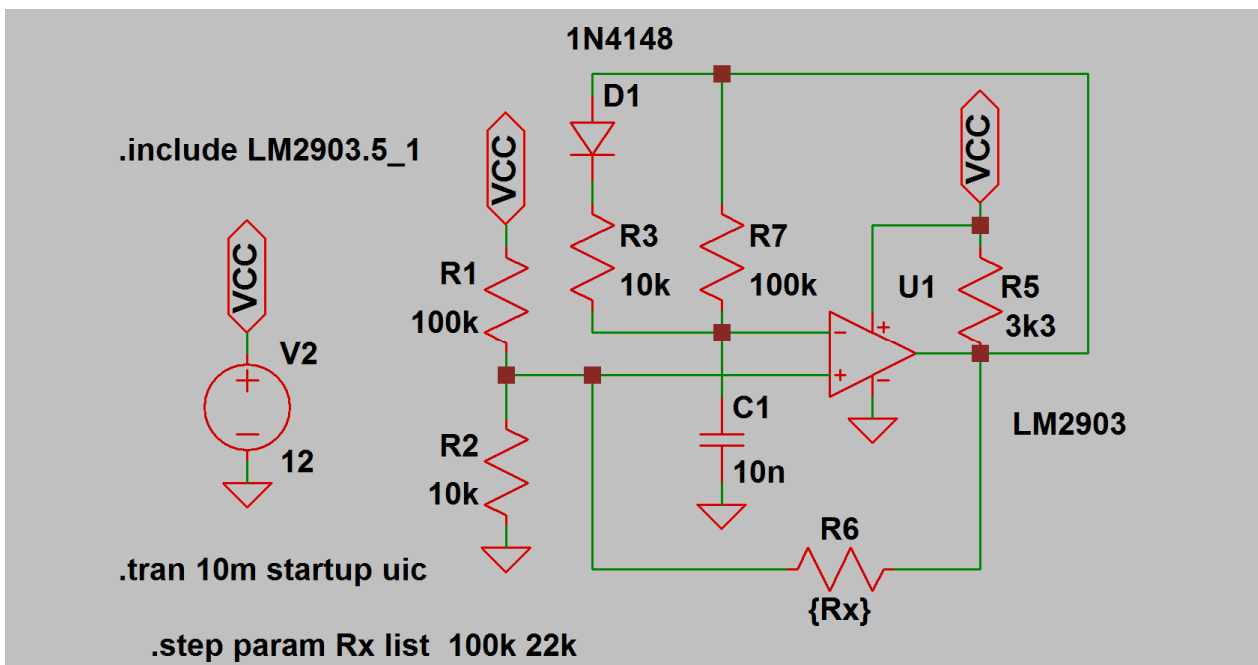
Dalším důležitým blokem je extrémní regulátor. Úkolem extrémního regulátoru obecně je najít extrém nějaké funkce, v našem případě je tou funkcí součin proudu a napětí.



Obr. 4: Extremální regulátor

Protože zátěž byla simulovaná pomocí zdroje napětí řízeného napětím, velikost zátěže je v tomto případě nepřímo úměrná řídicímu napětí. Z tohoto důvodu bylo nutné prohodit vstupy komparátoru U3 (viz obr. 4).

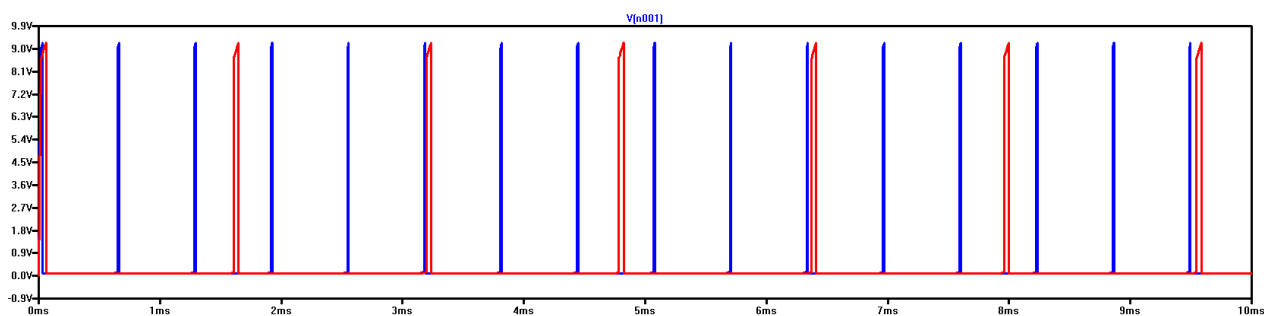
Tento regulátor je řízen zdrojem úzkých hodinových impulzů. Na obr. 1 to je zdroj V1. Tento zdroj nyní navrhne s použitím reálných součástek.



Obr. 5: Zdroj hodin pro extrémní regulátor

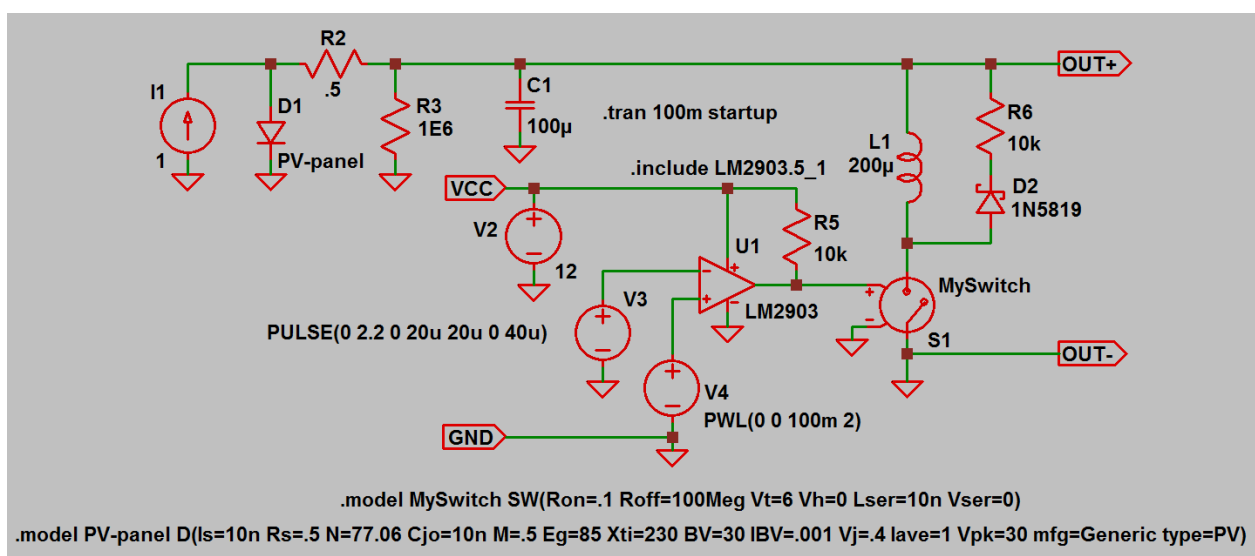
Základem zdroje impulzů je komparátor U1. Kondenzátor C1 se rychle nabije přes diodu D1 a odpor R3. Po překlopení komparátoru se C1 pomalu vybije přes odpor R7. Tím je dosaženo úzkých impulzů. Odpor R6,

který vytváří kladnou zpětnou vazbu, slouží k vytvoření hystereze komparátoru a má vliv na frekvenci hodin – čím je kladná zpětná vazba silnější (tj. menší hodnota R_6), tím je frekvence hodin nižší (viz obr. 6).

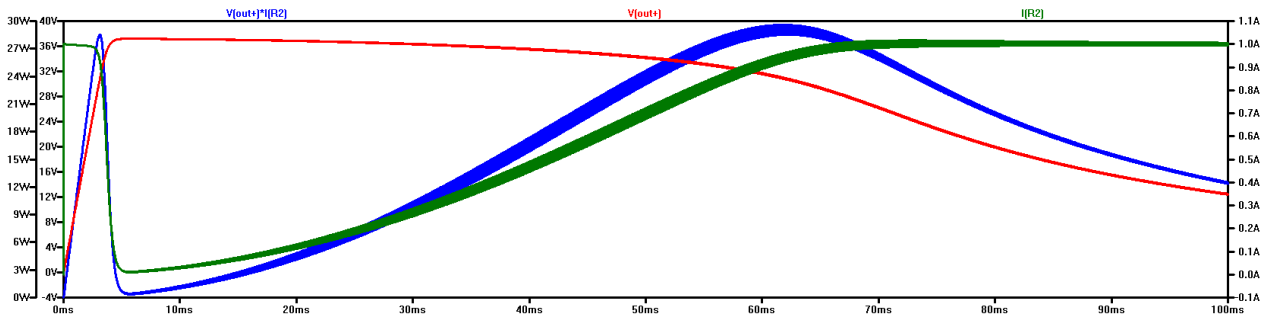


Obr. 6: Simulace zdroje hodinového signálu

A zbývá nám simulace řízené zátěže, která je na obr. 1 představována řízeným zdrojem napětí E1. Tento prvek je nejvíce zidealizovanou částí simulačního schématu na obr. 1. Ve skutečnosti zátěž nebude pracovat spojitě, ale přerušovaně s lineárně rostoucím zatížením, což komplikuje výpočet výkonu pomocí analogové násobičky. Abychom viděli, jak se MPP regulátor bude chovat v reálu, nasimulujeme chování spínaného zdroje. Spínaný zdroj obvykle obsahuje šířkový modulátor (PWM), nějaký spínač a indukčnost. Na obr. 7 máme model PV panelu, šířkový modulátor (PWM), spínač S1 a indukčnost L1. PWM je tvořen zdrojem pilovitého průběhu V3 a komparátorem U1. Zdroj V4 řídí šířku impulzů, které ovládají spínač S1. Na dalším obrázku (obr. 8) je zobrazen výstup simulace: zelená – proud odebíraný z PV panelu, červená – napětí PV panelu a modrá – výkon odebíraný z panelu. Frekvence spínání S1 je 25kHz.

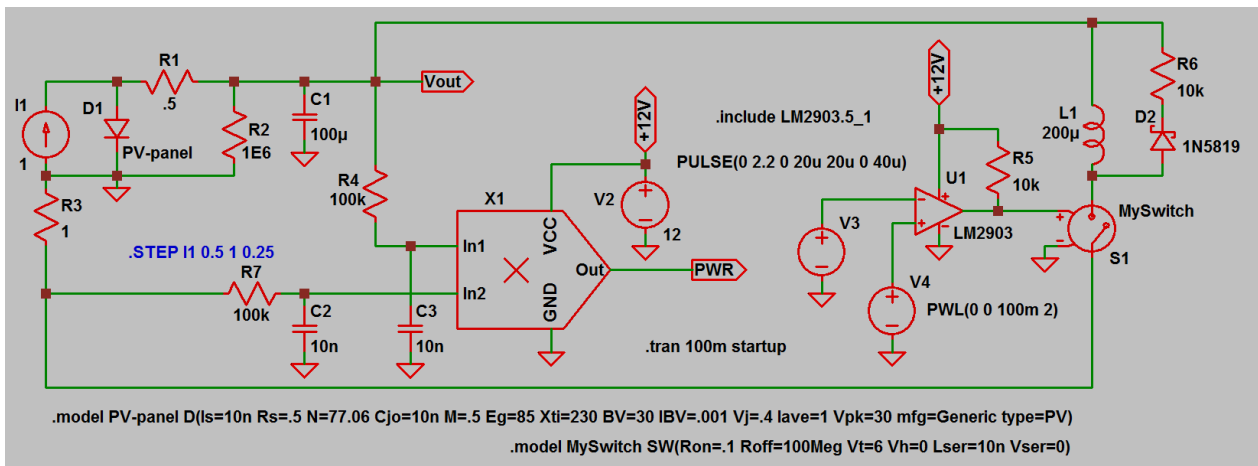


Obr. 7: Simulace spínaného zdroje jako zátěže PV panelu



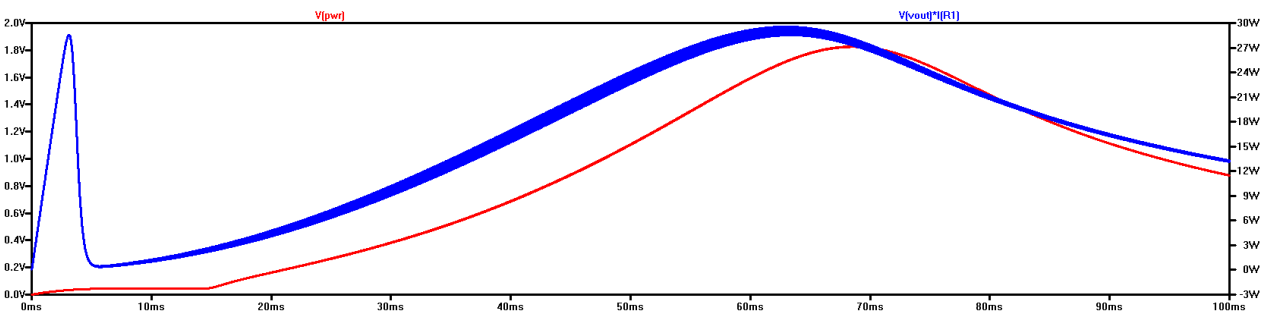
Obr. 8: Výstup simulace obvodu podle obr. 7

Nyní se podíváme, jak koresponduje průběh vypočítaného výkonu s průběhem napětí na výstupu násobičky.

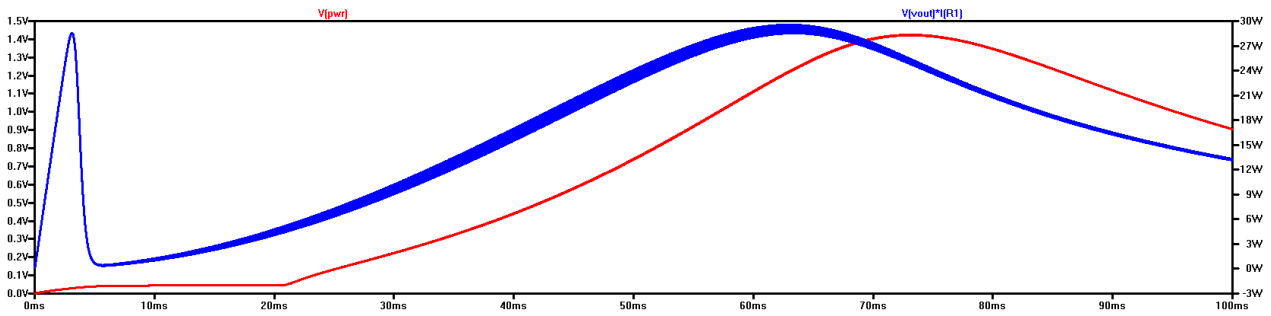


Obr. 9: Simulace násobičky s PV panelem zatíženým spínaným zdrojem

Na obr. 9 přibyla násobička a kondenzátory C2, C3 ve funkci filtru. Na dalším obrázku vidíme, že vrchol křivky napětí na výstupu násobičky X1 (červená čára) je posunut proti křivce výkonu vypočítané simulačním programem. Zdá se, že tento posun je způsoben RC filtry na vstupech sčítačky. V praxi by to nemělo vadit za předpokladu, že změny odběru proudu nebudou příliš rychlé (nastavení regulátoru). Závislost posunu vrcholu křivky na RC konstantě filtrů je zřejmá z porovnání obr. 10 a 11.



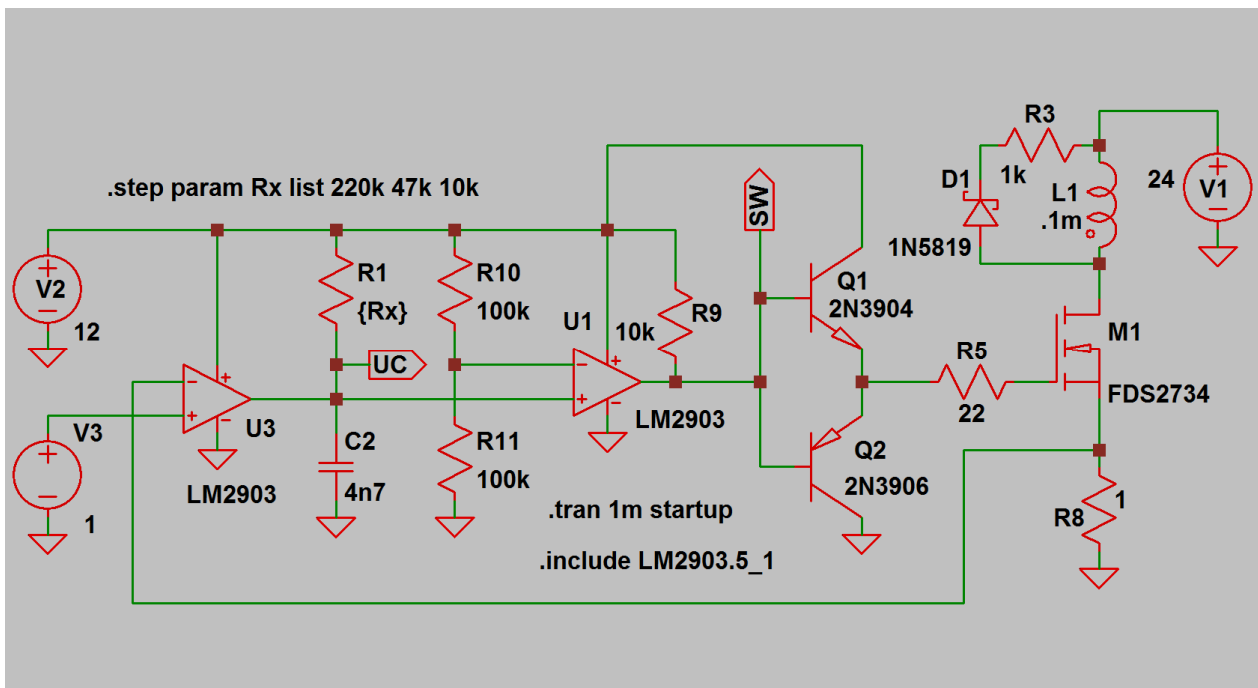
Obr. 10: Výstup simulace obvodu podle obr. 9 – C2 = C3 = 10n



Obr. 11: Výstup simulace obvodu podle obr. 9 – $C2 = C3 = 100n$

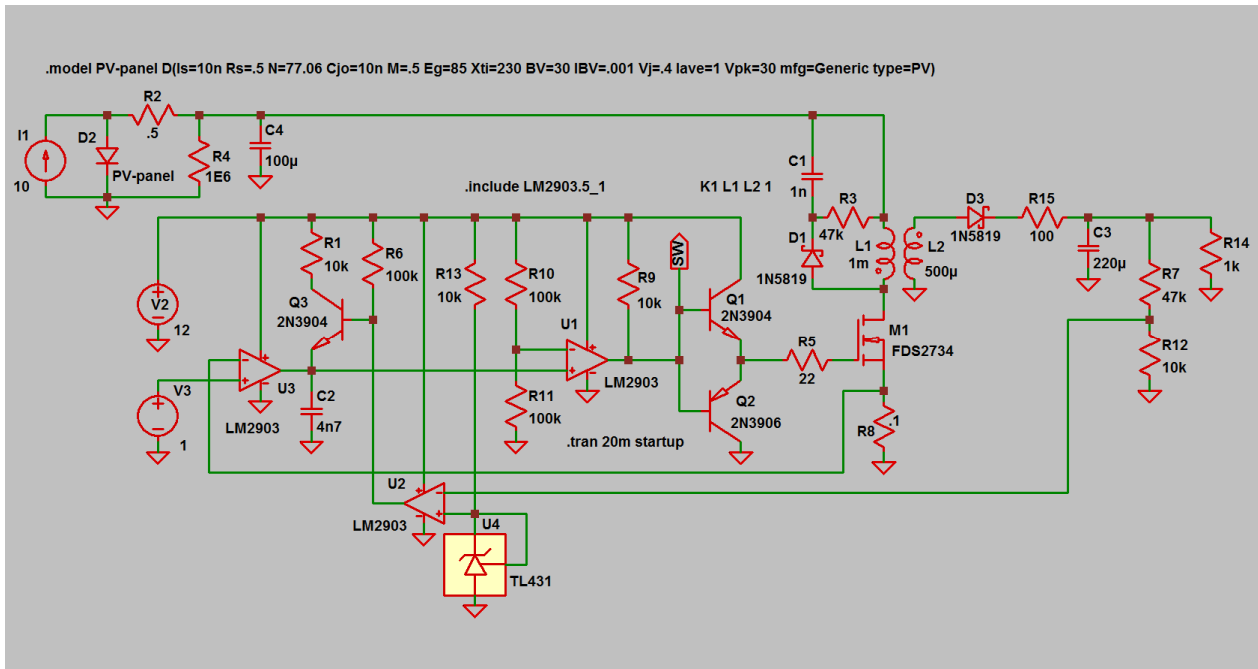
Obvodové řešení solární nabíječky

Maximální nabíjecí proud je řízen ze dvou míst: 1) od extrémního regulátoru a 2) od napětí baterie. Pro tento účel se nám bude hodit obvod na obr. 12, původně uvedený v článku <http://free-energy.xf.cz/inventions/DC-DC-control.pdf>. Jedná se o proudem řízený oscilátor určený pro řízení spínaných zdrojů. Zde nebudeme opakovat popis funkce tohoto oscilátoru, zájemce ho najde na výše uvedeném odkazu.



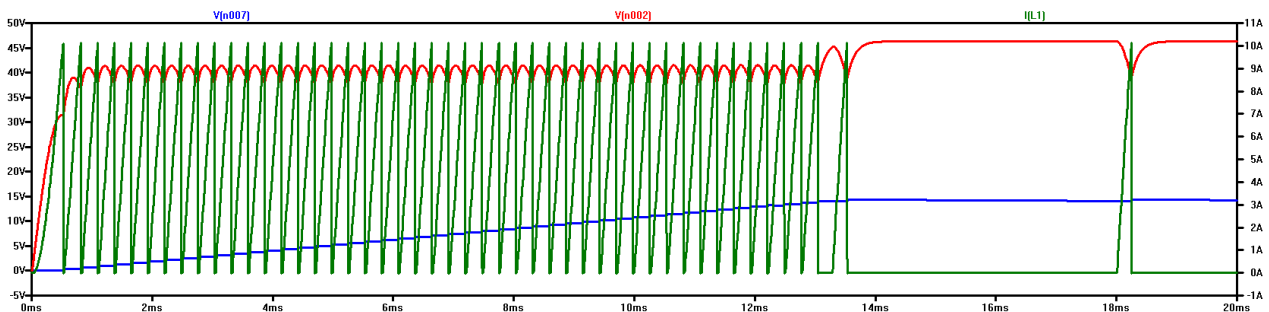
Obr. 12: Oscilátor řízený proudem

Místo zdroje V3 bude na neinvertující vstup (+) komparátoru U3 připojen výstup extrémního regulátoru, jenž bude řídit maximální proud odebíraný z PV panelu. Místo odporu R1 bude použit tranzistor řízený napětím baterie.



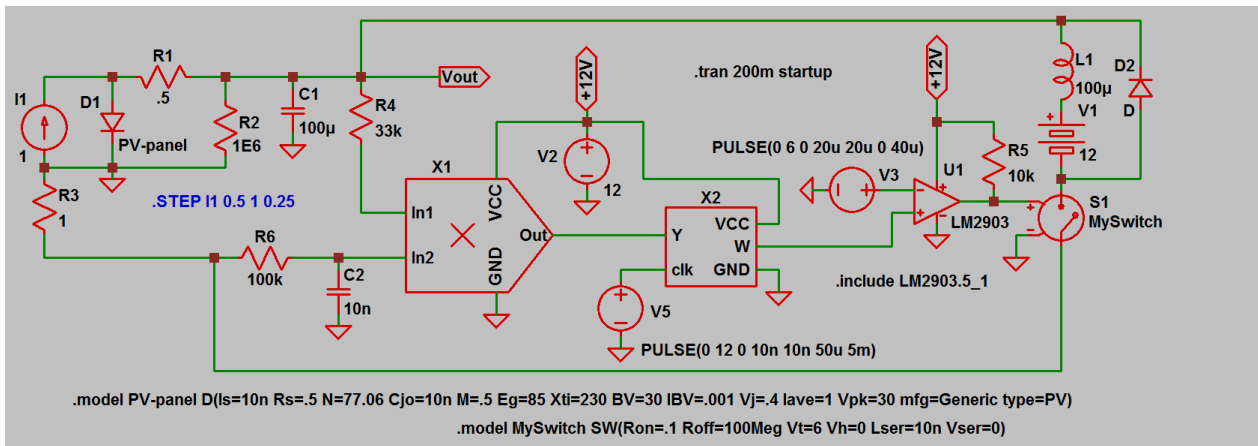
Obr. 13: Solární nabíječka

K ovládání tranzistoru Q3, přes nějž se nabíjí kondenzátor C2 monostabilního klopného obvodu kolem U1, je použit regulátor s komparátorem U2, referenčním zdrojem U4 a odporovým děličem napětí R7, R12. Cívky L1, L2, tranzistor M1 a další součástky tvoří blokující měnič. Kondenzátor C3 simuluje nabíjení baterie. Odpor R15 slouží k omezování proudu, aby nedošlo k přetížení měniče. Na obr. 14 máme výstup simulace: modrá – napětí „baterie“ (C3), zelená – proud primární cívkou L1, červená – napětí PV panelu.



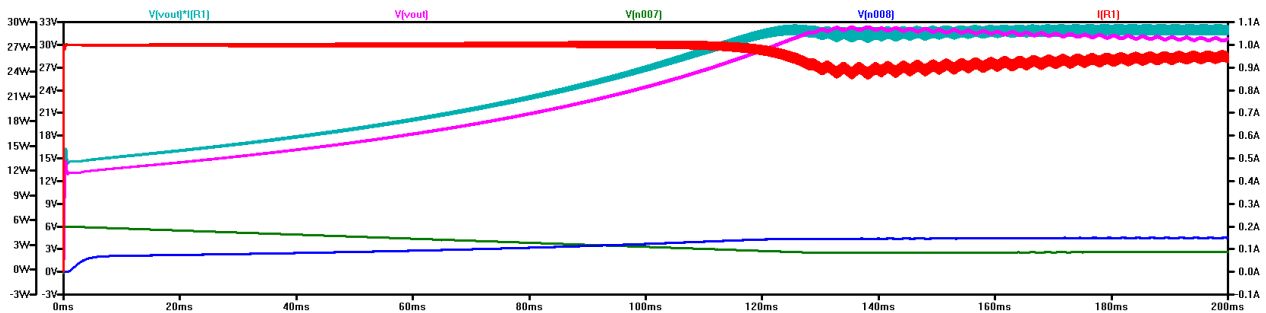
Obr. 14: Simulace solární nabíječky podle obr. 13

Na úplný závěr si zkusíme nasimulovat celý MPP regulátor v nejjednodušší možné formě. V nejjednodušší formě proto, že na simulaci složitějšího systému by nestačil výkon počítače.



Obr. 15: Jednoduchý MPP

Na obr. 15 výše máme schéma zapojení jednoduché MPP nabíječky. Vzniklo jednoduše tak, že jsme do obr. 9 přidali regulátor X2 a do série s cívkou L1 zapojili baterii V1. (Odpor R6 jsme pochopitelně vypustili.) Na dalším obrázku máme výstup simulace. Ukázalo se, že tento systém je poměrně nestabilní. Aby se podařilo jej stabilizovat, museli jsme zvětšit integrační konstantu integrátoru (obr. 4): hodnotu C1 jsme zvýšili na 220nF.



Obr. 16: Výstup simulace obvodu podle obr. 15

Legenda:

Modrá – výstup násobičky

Zelená – výstup extrémálního regulátoru

Fialová – napětí PV panelu

Modrozelená – výkon PV panelu

Červená – proud PV panelu

Regulátor MPP by bylo možné jednoduše naprogramovat pomocí levného jednočipového mikropočítače (jiným názvem mikrokontroléru), například Attiny45 od firmy ATMEL, a vyšlo by to levněji. Obvod Attiny45 má pouzdro pouze s osmi vývody, takže bychom navíc uspořili místo na plošném spoji. To však není předmětem tohoto článku. K tomuto řešení se možná v budoucnosti vrátím, ale vyžádá si to delší čas na přípravu, neboť pro jeho ověření bude nutné naprogramovat mikrokontrolér a ověřit na reálném zapojení.