Vývojové nástroje a pomůcky
pro návrh embedded zařízení

autor: Ondřej Pavelka

Jak jsem zmínil v jednom z předchozích článků publikovaných v časopise EEM 1/2008, při vývoji embedded zařízení, ostatně i při vývoji jakýchkoli jiných elektronických zařízení se ve fázi 2 používají simulační nástroje umožňující odhalit chybu v navrhovaném zařízení dříve, než je fyzicky sestaveno a vývojář má tak v rukou nástroj redukující zbytečné náklady za zničené součástky. A protože již klasik řekl, že nejlepší věci jsou zadarmo, pojďme se podívat na nástroje vhodné pro vývoj elektronických zařízení, za které nezaplatíte ani korunu. Jedná se jak o nástroje čistě pro simulaci elektronických obvodů, tak i nástroje pro návrh transformátorů a elektronických filtrů.

Předně musím uvést, že tyto simulátory elektronických obvodů zdarma nemohou být a ani nejsou tak komplexní, jako placené profesionální systémy, např. PSpice [1], nebo třeba microCap, nyní ve verzi 9 [2]. Pro seznámení si však většinou můžete stáhnout demoverze, které mají buď časové omezení, nebo limitní počet součástek či uzlů v simulovaném schématu. Málokdy umožňují „levné“ simulační programy například směšovat v jednom zapojení analogové a digitální obvody. Těžko také budete simulovat dohromady mikroprocesor včetně programu zapojený s dalšími součástkami, i když i zde je výjimka – simulační program VMLAB [2] pro mikroprocesory AVR a ST6. Tomuto simulačnímu systému se budu věnovat v některém z příštích čísel EEM.

Syntéza, analýza, simulace ...

Klasický postup při vývoji elektronického zařízení je tzv. „syntéza“, kdy se snažíme skládat a zapojovat příslušné elektronické prvky tak, aby se výsledné zapojení chovalo podle našich představ. Protože se mi však líbilo zapojení pro regulaci jasu výkonové světelné diody v jednom z posledních čísel mezinárodního časopisu Elektor, obrátím poněkud postup a místo syntézy zkusíme provést „analýzu“ zapojení, tedy jakési ověření činnosti. Je pravdou, že při vývoji se nesestavuje celé zařízení úplně od „píky“, ale většinou se spojují moduly mezi sebou, popř. se jako základ bere zapojení, které již slouží stejnému nebo podobnému účelu a modifikuje se podle aktuálních požadavků.

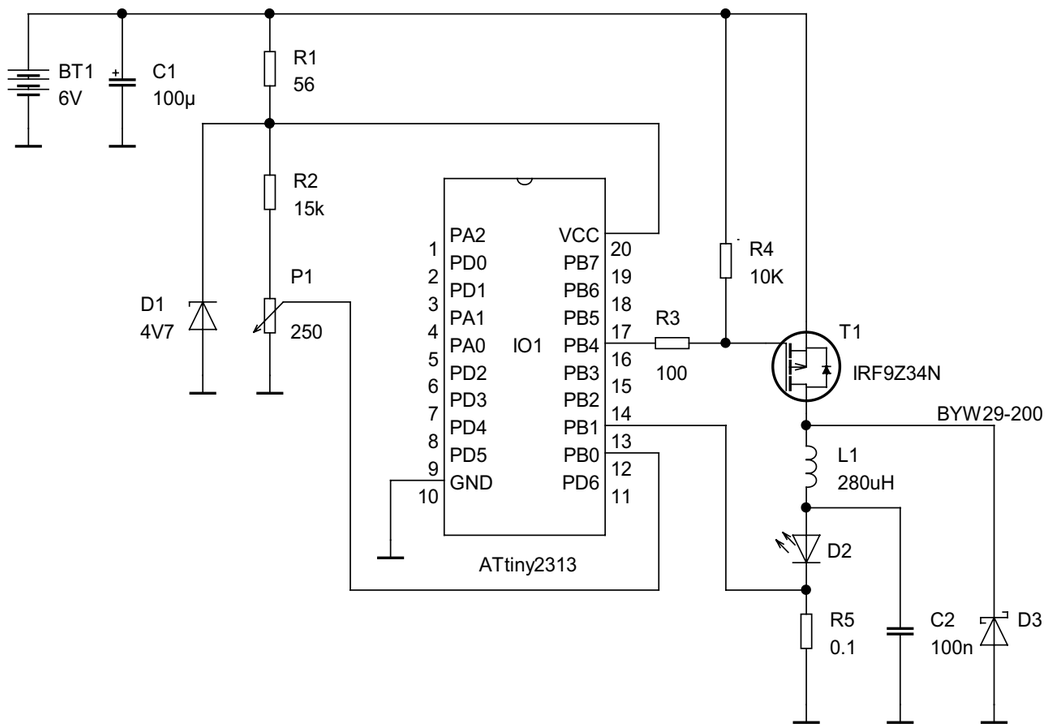
Na obr. 1 vidíte schéma [4] regulátoru jasu LED diody, ve skutečnosti se jedná o spínaný zdroj typu snižující měnič, neboli Step-Down converter, popř. Buck converter. Důvod, proč mě zaujalo toto zapojení byl, že většinou se tyto měniče používají ve funkci zdroje konstantního napětí. Najdete je např. v tzv. CL adaptérech, tedy nabíječkách mobilních telefonů z palubní sítě automobilu, kde jsou většinou osazeny obvodem MC34063. Naproti tomu výše uvedené zapojení pracuje jako zdroj konstantního proudu a je tedy např. i vhodné k nabíjení akumulátorů, kdy nabíječka navržená na bázi spínaného zdroje má mnohem větší účinnost, než klasická koncepce s výkonovým tranzistorem ve funkci proměnného rezistoru (elektrické ztráty na výkonovém prvku ve formě tepla).

Pro rozšířené využití tohoto spínaného zdroje mluví i využití mikroprocesoru ATtiny 2313 jako řídícího prvku, neboť regulace střídy signálu pro spínání MOSFETu může být pouze jedna z mnoha činností. Mikrokontrolér může měřit napětí baterie, odebranou energii, také může automaticky regulovat jas z závislosti na vnějším osvětlení – možností je mnoho.

Jaký vybrat program pro analýzu a simulaci výše uvedeného zapojení ? Prohlédneme-li si na internetu nabídku možností, můžeme vybírat mezi :

- **Multisim for Analog Devices –** nástroj od Analog Devices, www.analog.com (omezení použití pouze na Analog devices součástky, není možnost upravovat parametry těchto komponent, popř. vytvářet nové)
- **LTSpice (dříve SwitcherCAD) –** simulační nástroj od firmy Linear Technology, www.linear.com - jedná se o SPICE simulátor, můžete vkládat nové součástky, rozumí SPICE modelům součástek, grafický výstup není z nejpropracovanějších, omezené možnosti matematiky při vykreslování průběhů (např. výpočet efektivní hodnoty)
- **Mindi –** analogový simulátor od Microchip – www.microchip.com - založen na platformě (X)SPICE a vyvinut SIMetrixem. Je dodáván s cca 4500 součástkových modelů s možností modifikace jejich parametrů
- **TINA-TI –** neplacený simulátor od Texas Instruments- www.ti.com - s možností použití SPICE modelů součástek. Jedná se o část programu z balíku CAD programů pro kreslení elektronických schémat, návrhu plošných spojů a simulátoru

Výše jmenované firmy mají ve svém portfoliu neplacených programů většinou i pomůcky pro návrh filtrů, např. National Semiconductor nabízí webový (on-line) simulátor pro návrh spínaných zdrojů, filtrů, fázových závěsů, LED řadičů, AD převodníků s antialiasingovými filtry a dokonce i audiozesilovačů.



Obr.1.

Začínáme ...

Z výše uvedených možností jsem vybral program LTSpice IV, protože umožňuje pracovat se SPICE modely, což budeme potřebovat pro modely Schottkyho diody, výkonové LED a spínacího MOSFET tranzistoru, neboť ani jedna z těchto součástek – mám na mysli konkrétních typů – je ve standardní nabídce programu. Druhá výhoda je malá velikost programu LTSpice.

Protože jsem na začátku zmínil, že není možné simulovat schéma zapojení tak jak je, neboť zapojení obsahuje mikroprocesor. Protože je však v [4] uveden i výpis programu, zjistíme velmi rychle, jak celé zapojení funguje.

Výpis programu (Bascom for AVR):

```
'SMPSU for Luxeon LED using PMOS
$regfile = "2313def.dat"
$crystal = 4000000
config pind.0 = output
DDRB = &B00010000  'B.4 = Output
ACSR = &B00000000   'Set up as a comparator
dim i as byte
Portb.4 = 1  'off
do
  Portb.4 = 0  'Switch on inductance
  do loop until acsr.aco = 1
  'When Imax reached -> Switch off
  Portb.4 = 1
  waitus 5
loop
```

Proud diodou je snímán na rezistoru R5 o velikosti 0.5Ω a úbytek napětí na tomto odporu je porovnáván s nastavenou velikostí napětí pomocí potenciometru P1.

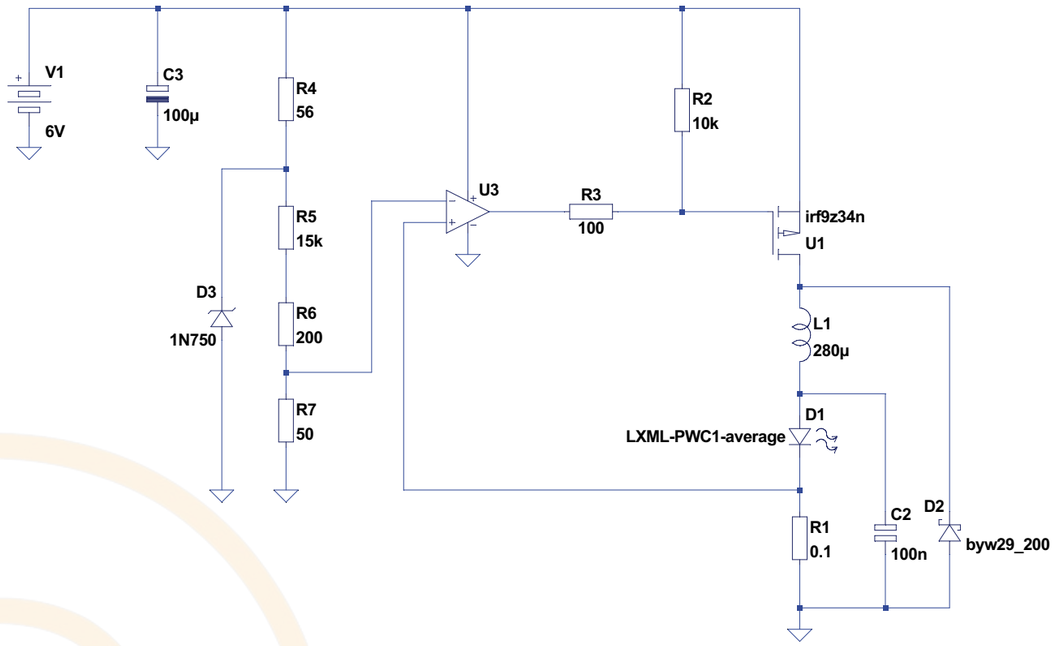
Ve spodní krajní poloze je to napětí 0V, čemuž odpovídá v druhé větvi nulový proud diodou, při vytočeném P1 do horní polohy je na běžci cca 75mV (odpovídající úbytek na R5 je při špičkovém proud diodou 0,75A). Tyto dvě napětí – nastavené P1 a snímané na R5 se porovnávají v komparátoru, který je součástí IO1.

Po připojení baterie 6V je napětí na běžci P1 větší než nula, zatímco napětí na bočníku R5 je nulové. Tranzistor T1 je uzavřen připojením kladného napětí na gate přes rezistor R4. Na výstupu komparátoru uvnitř procesoru (P1 je připojen na PB.0 tedy + vstup komparátoru, R5 je připojen na PB.1, tedy - komparátoru) je v tomto okamžiku úroveň „L“. Program po inicializaci nastaví úroveň „H“ na řídící elektrodu T1, což způsobí jeho rozepnutí, pokud by byl sepnut. Poté program vstoupí do nekonečné smyčky, kdy na začátku cyklu se bit 4 brány B nastaví na „L“, tranzistor T1 se otevře a přes indukčnost L1 začne téci proud. Následuje smyčka kontrolující výstup analogového komparátoru a v okamžiku, kdy se překlopí do „1“, tedy napětí na snímacím rezistoru R5 přesáhne nastavenou úroveň potenciometrem P1, program nastaví bit 4 brány B do logické úrovně „H“ a tím rozepne T1. Program počká 5 mikrosekund a znova otevře T1, aby proud mohl opět téci. To je popis řídícího algoritmu. Při využití procesoru jako řídící jednotky napájecího zdroje a dalších funkcí se dá nastavit přerušení, které generuje komparátor a v mezidobí se může procesor věnovat jiným činnostem.

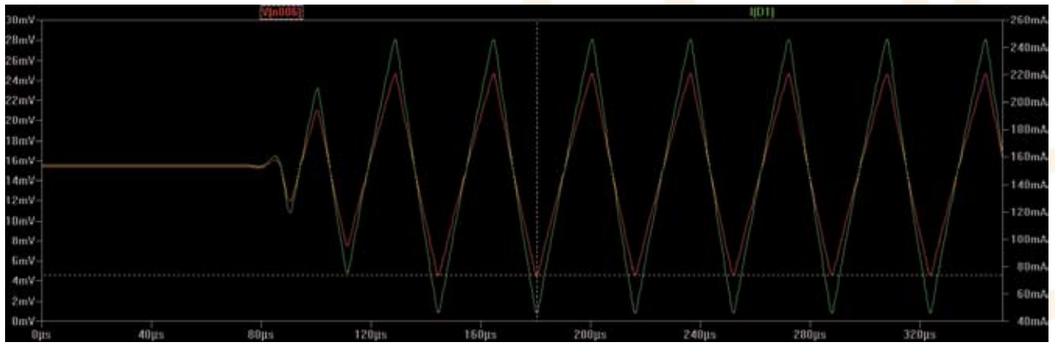
Otázka zní, jak nahradit tento program a s ním celý procesor pro účely simulace v LTSpice. Z popisu je jasné, že program pouze nastavuje řízení T1 v závislosti na stavu komparátoru. Pokud upustíme od čekání 5 mikrosekund po rozepnutí tranzistoru, můžeme celý program nahradit obyčejným komparátorem. Případné zpoždění by šlo realizovat RC členem, pro jednoduchost jej nebudeme zatím uvažovat.

Simulujeme ...

Zapojení upraveného schématu je na obr. 2. Mikrokontrolér je nahrazen univerzálním komparátorem Rail-To-Rail, tzn., že výstupní napětí je blízké napájecímu napětí, v tomto případě „0“ nebo „6V“. Simulace je nastavena na čas 1ms, její výsledek vidíte na obr.3. Průběhu proudu diodou D1 je označen jako I(D1) a nakreslen zelenou barvou. Rozkmit velikostí proudu je od 246mA v maximu do 47mA v minimu, což činí střední hodnotu proudu cca 146mA při vytočení potenciometru do 1/5 dráhy (50Ω z 250Ω). Tedy 5 x 146mA dává něco přes 700mA možného maximálního proudu diodou. Pokud budeme simulovat tuto mezní hodnotu „vytočením“ P1 na maximum, dostaneme proud cca 630mA, daný úbytkem napětí na sepnutém tranzistoru a úbytkem na bočníku R5. Dělič R6 a R7, reprezentující P1 a dávající v součtu požadovaný odpor 250Ω je nastaven velikostí rezistorů (200Ω + 50Ω) na výstupní napětí cca 15mV. Rozkmit napětí a proudu ve výsledku simulace je způsoben rychlostí reakce komparátoru U3 a tranzistoru T1, kde je třeba vybíjet energii uloženou v kapacitě hradla. Bohužel zde se může simulace lišit od skutečného zapojení, neboť procesor používá na buzení hradel dvojici FET a vybíjecí proud při zavírání T1 může být vyšší a odezva tranzistoru rychlejší. Průběh velikosti napětí na R5 v čase zobrazuje červený průběh V(n006) (přeloženo jako napětí v uzlu 6, n = node = uzel). Rozkmit je od cca 25mV v maximu do 4.6mV v minimu, což je střední hodnota cca 15mV korespondující s hodnotou nastavenou P1. Pokud odečteme dvě sousední minima, dostaneme časový posun cca 35.8μs, což odpovídá spínací frekvenci cca 28kHz. Tuto frekvenci můžeme měnit jednak vlastnostmi komparátoru, tak velikostí kondenzátoru C2, popřípadě vložením zpoždění pomocí RC článku do + vstupu komparátoru.



Obr.2.



Obr.3.

Na závěr je třeba připomenout, že jsem absolvoval opačnou cestu, než se při vývoji používá, neboť jsem provedl simulaci analyzovaného zapojení, tedy ne simulaci zapojení vzniklého syntézou. Protože se jedná o simulaci specifického zapojení, a to spínaného zdroje, mohou (a ony se objeví) být ve výsledném reálném zapojení rozdíly vzniklé kapacitami vodičů, vzájemným ovlivňováním signálů (rušením), takže výsledky simulace je třeba vždy brát s rezervou a vědět, kde se mohou parametry součástek a tím i výsledky lišit. V simulaci je použit „ideální“ induktor, reálná cívka bude mít reálný činný odpor, taktéž na vyšších frekvencích se budou projevovat ztráty v jádře.

Pro návrh spínaných zdrojů však představuje LTSpice mocný nástroj, neboť obsahuje téměř všechny obvody pro spínané zdroje, co firma Linear Technology vyrábí. Podobně i program WEBENCH podporuje simulaci zapojení spínaných zdrojů s obvody firmy National Semiconductor. Známá firma Würth Elektronik (www.we-online.com) specializující se na výrobu zakázkových indukčností a transformátorů pro spínané zdroje nabízí na uvedených stránkách vlastní simulační prostředí WE Flex Designer 2.0, popř. WE Inductor Selector 1.0 zjednodušující návrh a výběr potřebných indukčností.

Tento článek neměl za úkol být návodem pro simulaci v konkrétním programu, ale důkazem, že i s volně přístupným softwarem si může kdokoli vyzkoušet, co simulace obvodů obnáší a využít výsledky pro svoji práci. V příštím čísle se budeme věnovat podrobněji simulačnímu programu LTSpice IV, jeho možnostem, omezením, vytvářením specifických prvků a různým možnostem simulace. □

Ondřej Pavelka
vyvoj@onpa.cz
www.onpa.cz

Literatura a odkazy :

[1] http://www.cadence.com/products/orcad/pspice_simulation/pages/default.aspx

[2] http://www.spectrum-soft.com

[3] Advanced Micro Tools, program VMLAB, freeware, http://www.amctools.com/

[4] Feltes, Jean-Claude : Dimmable LED Light, Elektor 7-8/2008