

MODERNIZATION OF COMPUTER EXERCISES OF THE SUBJECT IMPULSE AND DIGITAL CIRCUITS

MODERNIZACE POČÍTAČOVÝCH CVIČENÍ PŘEDMĚTU IMPULSOVÁ A ČÍSLICOVÁ TECHNIKA

Viera Biolková ¹⁾, Dalibor Biolek ²⁾

¹⁾FEEC VUT Brno, ÚREL, Purkyňova 118, 612 00 Brno, biolkova@feec.vutbr.cz

²⁾FVT UO Brno, K217, Kounicova 65, 612 00 Brno, dalibor.biolek@unob.cz

Abstract:

Two novel computer exercises of the subject “Impulse and digital circuits” are described, namely “Switched Capacitor Circuits” and “Switched DC-DC Converters”. New modeling of such devices is developed which enables the utilization of SPICE-compatible programs. Micro-Cap program is used instead of common OrCad PSpice.

1. Úvod

Praktická výuka předmětu Impulzová a číslicová technika na ÚREL FEKT VUT v Brně probíhá v 4. semestru bakalářského studia v 20 hodinách počítačových a 20 hodinách laboratorních cvičení. Počítačová cvičení jsou tvořena 10 úlohami. Prvních 5 úloh se zabývá modelováním a počítačovou simulací jevů v analogových obvodech.

Stávající úlohy z oblasti analogové však nepokrývají některé moderní a perspektivní aplikace impulzových obvodů v telekomunikační technice (např. obvody se spínanými kapacitami a spínanými proudy) a v rychle se rozvíjející oblasti tzv. „power managementu“ (zejména spínané DC-DC měniče). Vznikl tedy problém inovace „analogových“ úloh s omezující podmínkou zachování celkového počtu 5 cvičení.

Počítačové experimenty s modely analogových obvodů z prvních 5 úloh byly dosud založeny na známém simulačním programu OrCad PSpice. Studenti si vytvářejí model obvodu v prostředí schématického editoru CAPTURE. Složitost ovládání a tzv. modulární struktura softwarového balíku vede spolu s nezkušeností studentů bakalářského stupně k tomu, že práce s tímto produktem je velmi neefektivní. Studenti sice mají možnost volného stažení demoverze programu pro účely individuální práce na svých osobních počítačích, avšak musí počítat s tím, že současná demoverze 16 zabere na disku několik gigabajtů, že nebudou moci analyzovat obvody, obsahující více než dva podobvody, a že sdílení simulačních dat mezi profesionální verzí programu, s níž pracují na učebně, a demoverzí je velmi problematická. K tomu přistupují i další problémy technické povahy. Programy třídy SPICE trpí principiálními omezeními, pokud jde o modelování a simulaci obvodů se současně probíhajícími rychlými a pomalými ději. Typickými příklady jsou právě spínané obvody, který jsou předmětem žádoucích inovací. Program OrCad PSpice například není vybaven prostředky pro rychlé hledání periodických ustálených stavů. To by mohlo vést k absurdním situacím, kdy student stráví třetinu vyučovací hodiny jednoduchou analýzou zvlnění výstupního napětí spínaného měniče, namísto toho, aby za danou dobu zvládl, s využitím vhodnějšího programu, jinou kompletní úlohu, zahrnující řadu jiných náročných simulací. Dále je známo, že programy třídy SPICE z principu nemohou analyzovat kmitočtové charakteristiky obvodů s periodicky řízenými spínači, ačkoliv práce s těmito charakteristikami je ve výuce mnohdy nezbytná (například u filtru se spínanými kapacitami se jedná o

nejdůležitější charakteristiku obvodu). Ukázala se tedy nutnost přechodu na jiný simulační software. Nově využívaný program by však měl být rovněž SPICE-kompatibilní. Znamená to tedy, že tak jako tak nedokáže přímo realizovat AC analýzu impulzově pracujících obvodů. Před námi se tak vynořila náročná úloha: implementace nových a dosud nepublikovaných metod SPICE modelování spínaných obvodů, které by přímo na platformě SPICE překonávaly některá principiální omezení této platformy. Výsledkem musí být taková forma SPICE modelů, která bude běžnému uživateli programu – studentovi – skryta. Umožní mu však dosahování takových výsledků simulací, které jsou jinak pomocí SPICE-kompatibilních programů nerealizovatelné.

2. Vhodný typ simulačního SW pro analýzu impulsových obvodů

Jako program, vhodný pro účely analýzy impulsových obvodů se zaměřením na spínané obvody, byl vybrán program Micro-Cap od verze 9 výše. Jedná se o program SPICE-kompatibilní, což znamená, že dokáže číst vstupní soubory SPICE, využívá knihovny modelů polovodičů i podobvodů SPICE, a poskytuje všechny základní analýzy standardu SPICE. Protože dokáže číst i syntaxi SPICE3, mohou v něm pracovat například i uživatelé známých programů HSPICE nebo WINSPICE.

Vnitřní matematické algoritmy programu Micro-Cap pracují na stejných základech jako OrCad PSpice, jsou však o něco rychlejší, což je pro účely výuky často užitečné. Micro-Cap netrpí některými omezeními standardu SPICE (např. že nemohou být nulové odpory, kapacity a indukčnosti, že nelze krokovat více parametrů apod.), které mohou při výuce činit problémy. Pro učitele program znamená řadu nadstandardních možností při přípravě modelů simulačních úloh: kromě sortimentu všech SPICE modelů součástek nabízí řadu dalších modelů zejména pro behaviorální modelování (například funkčních zdrojů, operačních zesilovačů s možností individuálního nastavování jejich behaviorálních parametrů atd). Do pomocného textového pole lze vkládat SPICE netlisty různých funkčních bloků a pomocných algoritmů, které se tak studentovi neobjevují ve schématu a nerozpptylují jeho pozornost. Nejvýznamnější přínosy oproti programu OrCad PSpice však leží v oblasti speciálních interaktivních analýz, kdy student modifikuje model obvodu a okamžitě vidí příslušné změny ve výsledcích simulací. Pro naše účely je rovněž důležité, že program umožňuje v tzv. režimu LEAVE podstatně pohodlnější hledání periodických ustálených stavů nežli OrCad PSpice.

Program Micro-Cap je intuitivně ovladatelný a zaškolení do něj je podstatně kratší než do softwarového balíku OrCadu. Pro studenty je k dispozici jednak kniha o tomto programu [1], jednak vysokoškolská skripta [2].

3. Inovace počítačových cvičení

V rámci modernizace vznikly dvě zcela nové úlohy, konkrétně „Obvody se spínanými kapacitami“ a „Spínané DC-DC měniče“. Potřebný prostor byl získán zrušením původních úloh „Návrh diodového tvarovače“ a „Návrh komparátoru“. Návrhy těchto obvodů byly přesunuty do numerických cvičení a jejich proměřování do laboratorních cvičení.

Níže uvádíme stručný obsah nových úloh:

„Obvody se spínanými kapacitami“:

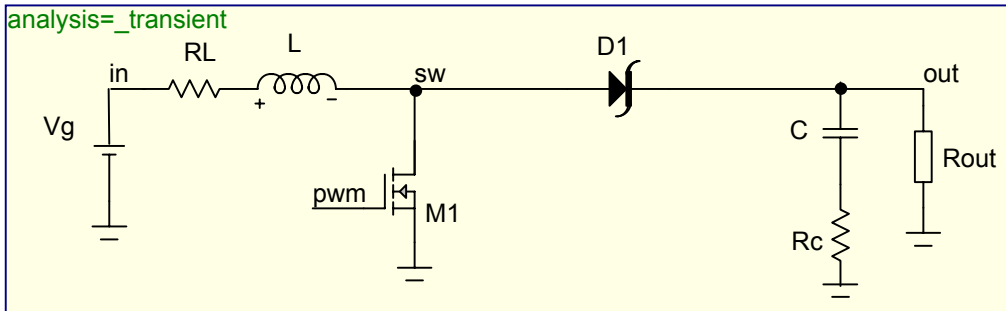
Spínaný kapacitor jako simulace rezistoru. Časová analýza odběru proudu a elektrického náboje ze zdroje stejnosměrného napětí. Výpočet ekvivalentního odporu. Jednoduchý SC filtr typu dolní propust. Analýza periodického ustáleného stavu při stejnosměrném a střídavém buzení. Analýza kmitočtové charakteristiky s využitím speciálního modelování. Aliasing v kmitočtové a časové rovině, zkoumání souvislostí. Simulace univerzálního SC filtru. Zkoumání vlivu odporů spínačů.

Spínaný měnič typu BOOST s polovodičovými spínači

```
.define Vg 20 .define C 1m .define L 6m .define Rout 15
... definice parametrů zdroje, L, C a zátěže

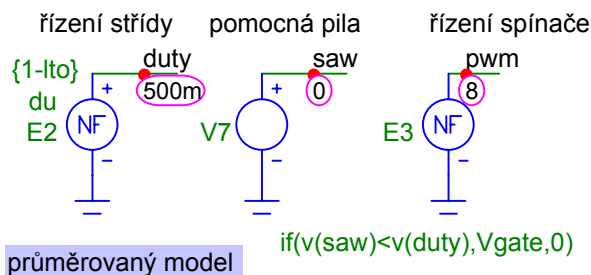
.define RA 80m .define RD 0.1 .define VD 0.6V .define Rc 100m .define RL 100m
... definice parazitních parametrů cívky, kondenzátoru a spínačů

model na spínané úrovni .define Vgate 8V ... definice spínací úrovně tranzistoru
```

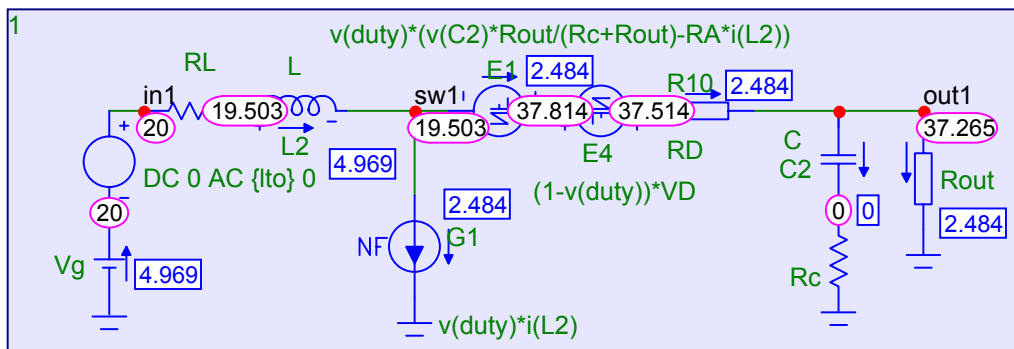


```
.define fs 10k .define du 0.5
... definice spínací frekvence ... definice spínací střídy

.define lto 1
... definice, zda má být počítána kmitočtová charakteristika LTO (1) nebo CTO (0)
```



analysis=_dynamicDC
Výpočty, platné při analýze DYNAMIC_DC
 výstupní výkon je 92.579 W
 příkon je 99.374 W
 účinnost je 93.163 %



Obr. 1. Ukázka interaktivní analýzy BOOST konvertoru v Micro-Capu.

„Spínané DC-DC měniče“:

Modelování měničů typu BUCK a BOOST. Analýza časových průběhů v přechodném a ustáleném stavu. Zkoumání vlivu filtrační kapacity a indukčnosti cívky na vlastnosti měniče. Vyhodnocení vlivu šířky impulzu, řídicího spínače, na velikost výstupního napětí. Vyhodnocení vlivu ESR kapacitoru na charakter zvlnění výstupního napětí. Vyhodnocení odporu cívky a spínačů na účinnost měniče. Simulace stabilizace výstupního napětí zpětnovazebním PWM regulátorem. Rozšiřující nepovinná část: Kmitočtové charakteristiky měniče a zkoumání audiosusceptibility a stability zpětnovazebního regulátoru.

Obvody v úloze prvního typu se vyznačují časovými konstantami, které jsou podstatně kratší než délky trvání spínacích fází. U DC-DC měničů je tomu naopak.

Pro obvody prvního typu, tedy s krátkými časovými konstantami, se používají metody modelování, neslučitelné s algoritmy SPICE. Navíc je situace je komplikovaná nutností sestavování modelů spínaného obvodu pro každou spínací fázi zvlášť. Nalezli jsme schůdné řešení v definici základních knihovních prvků pro simulaci dvoufázových spínaných obvodů, zejména kapacitorů. Každý takovýto prvek je charakterizován „zdvojenou“ schématickou značkou. Pokládáním značky na pracovní plochu schématického editoru je současně vytvářelo náhradní schéma pro obě spínací fáze. Značka je reprezentována podobvodem SPICE nebo makrem, popisujícím modifikované nábojové rovnice součástky [3]. Tyto modely jsou uživateli – studentovi – skryty.

Pro DC, časovou a kmitočtovou analýzu spínaných obvodů s relativně velkými časovými konstantami, zejména DC-DC měničů, se používají tzv. průměrovací techniky („averaging“). Příslušné modely sice nejsou přímo implementovány do standardních simulačních programů typu SPICE, lze je však vytvořit prostředky behaviorálního modelování. Zobecnili jsme známý Dijkův průměrovaný model PWM spínače [4] tak, aby studenti měli možnost simulovat i vliv reálných vlastností spínačů na charakteristiky měniče [5]. Dále jsme vyřešili známý problém hledání periodických ustálených stavů v DC-DC měničích, z nichž lze odečíst důležité parametry měniče, například zvlnění napětí a proudu [6].

4. Zkušenosti z výuky

Inovovaná počítačová cvičení budou zařazena do výuky až v akademickém roce 2008/2009. Úloha „Spínané DC-DC měniče“ však byla experimentálně nasazena do výuky volitelného předmětu „Návrh obvodů počítačem“ na UO v Brně. Obdobné simulace probíhaly v minulosti v daném předmětu na bázi programu OrCad PSpice. Nová koncepce úlohy v Micro-Capu je pro studenty podstatně názornější (viz obr. 1) a výrazně zvyšuje efektivitu jejich práce v experimentální laboratoři.

Poděkování

Popisované inovace výuky byly podporovány Fondem rozvoje vysokých škol v rámci projektu č. 1194/2008.

Literatura

- [1] Biolek, D. „Řešíme elektronické obvody aneb kniha o jejich analýze“. BEN, technická literatura, Praha 2004.
- [2] Biolek, D. „Počítačová simulace elektronických obvodů“. Skripta VA Brno, S-1678, 2004.
- [3] Biolek, D., Biolková, V., Kolka, Z. „AC Analysis of Idealized Switched-Capacitor Circuits in Spice-Compatible Programs“. In CSCC07, The 11th WSEAS Int. Conf. on Circuits, Crete, 2007, pp. 222-226.
- [4] Dijk, E., Spruijt, J.N., Sullivan, M.O., Klaassens, J.B. „PWM-switch modeling of DC-DC converters“. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 1995, vol. 10, no. 6, pp. 659-664.
- [5] Biolek, D., Biolková, V., Kolka, Z. „SPICE Modeling of Switched DC-DC Converters via Generalized Model of PWM Switch“. In Radioelektronika 2007, FEEC VUT Brno, 2007, pp. 35-38.
- [6] Biolek, D., Biolková, V., Kolka, Z. „Analysis of Switching Effects in DC-DC Converters via Bias Point Computation“. In ECCTD07, The European Conference on Circuit Theory and Design, 2007, pp. 1006-1009.