

HOW TO TEACH COMPUTER SIMULATION AND SPICE?

JAK UČIT POČÍTAČOVOU SIMULACI A SPICE?

Dalibor Biolek

Univerzita Obrany v Brně, K263, Kounicova 65, 612 00 Brno, dalibor.biolek@unob.cz

Abstract:

Experience of teaching the modeling and computer simulation of electronic circuits by means of netlist-based SPICE simulation is described.

1. Úvod

V červnu 2004 byl přede mne postaven úkol nově vybudovat předmět Modelování a počítačová simulace se zahájením výuky v následujícím letním semestru. Tento předmět je zařazen do bakalářského studijního programu oboru Mikroelektronika a technologie FEKT VUT v Brně. Vyučuje se v 4. semestru, po absolvování takových předmětů, jako jsou Elektrotechnika 1 a 2, Elektronické součástky, Signály a soustavy a Analogové elektronické obvody, v struktuře 2P+4PC, neboli dvě hodiny přednášek a čtyři hodiny počítačových cvičení týdně.

Omezující vstupní podmínkou pro vybudování předmětu bylo využívání programu SPICE, resp. PSpice, nikoliv např. mnou preferovaného MicroCapu. Dalším nepříjemným omezením byla vazba na zakoupenou licenci programu OrCadPSpice10.

Po podrobné analýze dosavadních učebních osnov předmětu a způsobu vyučování na dalších oborech jsem dospěl k následujícím závěrům:

- Předmět má být o modelování a počítačové simulaci elektronických obvodů, nikoliv především, případně výhradně o programu SPICE nebo některém jiném.
- Jádrem předmětu by měly být společné rysy a přístupy k modelování a počítačové simulaci, které jsou využívány v nejrozšířenějších simulačních programech. Bude-li student znát tuto „abecedu“, nebude mu činit problém později pracovat s jakýmkoliv simulátorem.
- Konkrétní praktický trénink na počítačové učebně by měl být zaměřen na podrobné zvládnutí metod modelování a počítačové simulace v standardu SPICE, resp. PSpice. To je ovšem efektivní pouze při práci na úrovni vstupního souboru, resp. netlistu, nikoliv pouze na úrovni schématického editoru.

V červnu 2005, již po absolvování prvního běhu předmětu, jsem si mohl ověřit správnost zejména poslední teze, když jsem seděl na státních zkouškách pro magisterské studium oboru Elektrotechnická výroba a management a v duchu porovnával znalosti těchto studentů se znalostmi „mých“ bakalářů po absolvování inovovaného předmětu.

2. Učební osnovy a průběh výuky

Podrobné informace o předmětu včetně příslušných elektronických učebních textů nalezne zájemce na Internetu [3].

Osnovy vycházejí z knihy [1]. Základy počítačového modelování a simulace se začínají probírat od jednodušších programů pro symbolické výpočty (SNAP) a teprve pak se přechází na programy založené na numerických algoritmech. Z níže uvedené tabulky vyplývá, že první

tři cvičení jsou věnována programu SNAP, další pak SPICE. Pro výuku SNAPu mají studenti k dispozici elektronickou příručku se základy práce s programem, po absolvování daného cyklu cvičení se pak na webu objevila podrobná sbírka probíraných příkladů. Tato strategie byla uplatněna i při výuce SPICE. To, že studenti neznali dopředu řešené příklady, nám umožnilo průběžně hodnotit jejich výkony na cvičeních. V každé skupině bylo 18 studentů, samostatně pracujících na 18 počítačích. Vyučující měl dostatečný přehled o jednotlivých studentech díky prezenční listině s daty organizovány „do matice“, která modelovala geometrické rozmístění počítačů na učebně.

BMPS		
týden	přednášky (P)	počítačová cvičení (CP)
1	Modelování, analýza, simulace. Simulované obvody a děje. Matematické modely v obvodových simulátorech. Simulační programy.	Úvodní hodina. Práce s programem SNAP 2.6.
2	Struktura programů založených na symbolických algoritmech. Modelování a analýza linearizovaných obvodů.	Práce s programem SNAP 2.6.
3	Úvod do PSpice.	Práce s programem SNAP 2.6 a MATLABem.
4	Modelování obvodových prvků v PSpice.	Úvod do programu OrCAD PSpice v textovém režimu. Zadávání individuálních projektů.
5	Výpočet stejnosměrného pracovního bodu - základ všech analýz.	Práce s podobvody SPICE.
6	Získávání SPICE modelů z Internetu. Problémy s konvergencí. Globální podmínky simulace. Značení stejnosměrných napětí a proudů v PSpice a PROBE. DC analýza. Základy práce s PROBE.	Práce s podobvody SPICE. DC analýza I. Práce na projektech.
7	Analýza Transient.	DC analýza II. Práce na projektech.
8	Analýza AC.	Praktické přezkoušení. Analýza Transient.
9	Rozšiřující analýzy. Analýzy .TF, .SENS., .FOUR.	Analýza Transient. Analýza AC I.
10	Šumová analýza.	Analýza AC II. Práce na projektech.
11	Teplotní analýza. Vyhodnocovací analýza. Statistická analýza.	Teplotní analýza. Vyhodnocovací analýza. Statistická analýza.
12	OrCadPSpice 10 CIS.	Práce s OrCadPSpice 10 na úrovni schématického editoru.
13	OrCadPSpice 10 CIS.	Zápočtové cvičení. Odevzdání a obhajoba projektů. Zápočty.

Osnovy předmětu BMPS (**B**akalářské studium – **M**odelování a **P**očítačová **S**imulace.

Počítačová cvičení přísně navazovala na látku probíranou na přednáškách. Studenti brzo pochopili, že jejich výkon a tudíž i hodnocení bude lepší, pokud budou mít k dispozici přímo na učebně podklady z již odpřednášené látky. Pokud jde zejména o cvičení na simulaci v PSPICE, pak práce probíhala v těchto krocích: **1.** Učitel nakreslil na tabuli schéma obvodu a definoval, co se má vypočítat (například zapojení RC oscilátoru s tranzistorem MOSFE s úkolem prostudovat proces nasazování oscilací z nulových počátečních podmínek). Během úvodních cvičení se na tabuli jednotně vyznačily uzly ve schématu. **2.** Následoval stručný rozbor předpokládaného chování obvodu. **3.** Studenti byli vyzváni, aby samostatně vytvořili textový vstupní soubor a spustili požadovanou analýzu. **4.** Učitel po dobu cca 10 minut procházel mezi pracovišti, pomáhal řešit problémy, a získával data pro individuální hodnocení. Několik prvních úspěšných řešení odměnil bodovým přídělem. **5.** Poté bylo zveřejněno správné řešení a proveden rozbor výsledků simulací „po elektrikářské stránce“.

V tomto stylu byly procvičeny základní metody modelování elektrických obvodů a základní metody analýz. Při řešení příkladů měli studenti k dispozici informační zdroje bez jakýchkoliv omezení. Nemuseli si tedy nutně pamatovat například syntaxi jednotlivých příkazů, nutná však byla základní orientace v problematice (jaký typ analýzy použít, zda povolit nebo zakázat výpočet pracovního bodu apod.). Teprve po probrání všech důležitých možností PSPICE se na posledních dvou cvičeních upustilo od této šablony a byl probrán způsob práce na úrovni schématického editoru.

Na cvičení č. 4 si každý student vybral zadání svého individuálního projektu, jehož řešení bylo podstatnou složkou dalších počítačových cvičení. Lze tedy říci, že cvičení mělo dva účely – jednak „školení“ na specifické funkce simulačního nástroje a procvičování schopností studentů používat jej formou příkladů, jednak bezprostřední aplikace získaných dovedností řešením konkrétního inženýrského problému.

3. Individuální projekty

Příprava cvičení byla náročná vzhledem k nutnosti vypracovat zadání cca 130 různých projektů. Každý projekt je postaven na konkrétní aplikaci integrovaného obvodu z jeho aplikačního listu. Informace o tomto obvodu (datasheet, SPICE model, schéma aplikace) si student vyhledával samostatně na Internetu. Zadání projektu bylo definováno jednoznačně a strukturovaně a nutilo studenta k produkovaní konkrétních výsledků. Řešení projektu nebylo jen o simulaci, ale student se dozvěděl zajímavé věci o součástce, s kterou pracoval, a musel se zabývat tím, jak a proč funguje aplikace, kterou podroboval simulaci. Nutný to předpoklad kontroly, zda výsledky simulace odpovídají realitě...

Následuje zkrácené zadání jednoho z projektů. Za bodem f) je v zadání ještě doplněn bod g) s detailní specifikací toho, co musí být v projektu obsaženo.

HODINKOVÝ OSCILÁTOR 32 kHz S MAX931

- Získejte z Internetu nebo jiným způsobem model SPICE a katalogový list („datasheet“) komparátoru MAX931 fy MAXIM. Dále získejte model SPICE krystalu s pracovní frekvencí 32kHz a aplikační list „Low-Power, 32kHz Oscillator Operates Over Wide Supply Range“ firmy MAXIM.
- Komparátor stručně popište – funkce, parametry, výčet možných aplikací.
- Sestavte hodinkový oscilátor kmitající na 32kHz podle doporučení v aplikačním listu. Popište co nejdetailněji funkci zapojení.
- Napájecí napětí zvolte 5V. Zobrazte generovaný signál v ustáleném stavu. Změřte kmitočet a mezivrcholovou hodnotu napětí. Pokud by se nedařilo obvod rozkmitat, nastavte počáteční proud cca 100μA cívkou v náhradním modelu krystalu.
- Zobrazte spektrum generovaného signálu a určete THD.
- Proveďte další experiment dle vlastního uvážení.

4. Hodnocení studia a závěrečná zkouška

V průběhu semestru mohl student „nasbírat“ až 50 bodů, dalších 50 bodů za zkoušku, z toho 40 za písemnou a 10 za ústní část. Body pak byly konvertovány v známku podle platné klasifikační stupnice ECTS.

Hodnocení za semestr se skládalo z hodnocení výkonů studenta na počítačových cvičeních (do 10 bodů), z praktického přezkoušení na učebně (do 10 bodů) a z hodnocení projektu a jeho obhajoby (do 30 bodů).

Písemná zkouška měla formu testu. U dvaceti otázek studenti volili jednu ze správných odpovědí. Za každou správnou volbu získali 2 body, za každou špatnou volbu 2 body ztráceli. Bylo možné využít práva neodpovídat. Příklad takové zkoušky je uveden v [3].

5. Zkušenosti z výuky

Klasická výuka počítačové simulace pomocí SPICE na úrovni schématického editoru, tak, jak je zavedena na řadě škol, má několik nevýhod. Hodně času a úsilí pedagoga je věnováno právě výkladu různých možností schématického editoru, které jsou například u editoru CAPTURE CIS značné. Přitom tato látka se v podstatě netýká ani modelování ani simulace obvodů. Uvedené prostředí je přímo integrováno s PSpice a z hlediska didaktického tato integrace představuje řadu nevýhod. Složitost a „uživatelská nepřívětivost“ jsou dány tím, že jde o velmi univerzální nástroj pro profesionální návrháře, přičemž pro výuku se využívá jen zlomek možností programu. Tato programová nadstavba vlastně stojí mezi uživatelem a v podstatě jednoduchým výpočetním jádrem, jehož využívání je objektem výuky. Nežádá se stává, že studenti, kteří úspěšně absolvují „klasickou“ výuku, ani netuší, co je to netlist, co je to příkaz .MODEL nebo podobvod SPICE, jsou bezradní, pokud mají modelovat něco, co přímo není definováno v knihovně dodávané s programem, jak jednoduše začlenit model integrovaného obvodu stažený z Internetu do knihovny a další užitečné věci. Dovolím si tvrdit, že výuka modelování a simulace na úrovni vstupních souborů SPICE v tomto směru poskytuje studentům kvalitnější vzdělání. Podobné závěry jsou publikovány v [4].

Bohužel se však potvrdila stará zkušenost, že studenti dávají přednost rychlému získávání výsledků a nekritickému přebírání výstupů programu. Podceňují teoretickou přípravu, i když deficit vědomostí nutně pociťují při praktické činnosti. To se potvrdilo v nízké návštěvnosti přednášek a v počátečních postojích, že pokud budou mít po ruce kvalitní manuály, vyřeší na počítačové učebně jakoukoliv simulační úlohu. Pro mnohé však bylo zklamáním, že se jim tato hypotéza nepotvrzovala ani v průběhu semestru, ani během praktického přezkoušení. Nízká účast na přednáškách mohla být paradoxně zapříčiněna i poměrně vysokou informační hodnotou elektronických textů, které měli studenti k dispozici na webovské stránce předmětu [3].

Literatura

- [1] BIOLEK, D. Řešíme elektronické obvody aneb kniha o jejich analýze. BEN, technická literatura, 2004.
- [2] BIOLEK, D. SNAP v. 2.6. Stručný průvodce začínajícího uživatele. 40 s. Dostupné na <http://user.unob.cz/biolek/vyukaVUT/skripta/priruckaSNAP.pdf>
- [3] Elektronické výukové texty k předmětu BMPS (přednášky, sbírky příkladů apod.): dostupné na <http://user.unob.cz/biolek>
- [4] BIOLEK, Z. Výuka spice na střední škole. STO-9, UO Brno, 2005. Publikováno v tomto sborníku.