

Problémy výuky základů zpracování signálů

Dalibor Biolek^{*)} a Viera Biolková^{**)}

Abstract

Main experience how to teach the basics of the analog and digital signal processing are presented in this paper. The comparison of the classical and novel approach is given including the sample of computer exercise.

Úvod

Prakticky každý učitel základních elektrotechnických předmětů se čas od času při inovacích výuky zamýšlí nad věčným problémem „optimální“ posloupnosti učiva: probrat nejprve analogové signály a systémy a až pak diskrétní a číslicové, nebo vše učit paralelně? A jak je to se separací učiva týkající se problematiky odděleného nebo současného výkladu signálů a obvodů? Variant je více a bylo by naivní prohlásit některou z nich za jedinou správnou. Na příkladu dobrých zahraničních učebnic lze demonstrovat „životaschopnost“ několika odlišných koncepcí [1-3].

Nejrozšířenější variantou je postupná výuka od analogového po číslicové zpracování signálů. Tento stav má své historické opodstatnění: před 20 lety v učebních osnovách dominovaly analogové obvody a signály, později se začalo vyučovat číslicové zpracování jako nadstavba analogového. Tak se stalo, že principy a základní pojmy číslicového zpracování signálů se často objasňují s využíváním pojmového aparátu z analogové oblasti. To má své výhody i nevýhody. Nevýhodou může být to, když se neopodstatněně vyučuje diskrétní signál a operace s ním jako jakési přibližné řešení problémů analogových: pak je konvoluční součet degradován na přibližné numerické řešení konvolučního integrálu a obdobně dopadne i algoritmus DFT ve srovnání s Fourierovou transformací.

Řada pedagogů si uvědomuje nutnost seznamovat studenty s abecedou diskrétních a číslicových signálů a systémů již v nižších ročnících a na některých školách je již toto učivo po několik let skutečně zahrnováno hned do úvodních elektrotechnických předmětů. Po stránce pedagogické se však jedná o složitý problém: jde o poměrně velký zásah do učebních osnov studentů nižších ročníků, jejichž všeobecným problémem je adaptace na vysokoškolský režim studia. U těchto studentů není patřičně rozvinuta schopnost vstřebávání abstraktních pojmů. Z tohoto pohledu je paralelní výuka analogových a diskrétních obvodů a signálů v úvodních elektrotechnických předmětech problematická a může být úspěšně vedena snad jen mimořádně zkušeným a talentovaným pedagogem.

Obdobné hodnocení si zaslouží i oddělená výuka signálů a obvodů. V zájmu posílení názorných prvků výuky a vyhýbání se abstraktnímu teoretizování je naopak vhodné

^{*)} Prof. Ing. Dalibor Biolek, CSc., VA Brno, Kounicova 65, PS 13, 612 00 Brno
tel. (+420) 5 4118 2487, fax (+420) 5 4118 2888, email: biolek@cs.vabo.cz

^{**)} Ing. Viera Biolková, VUT Brno, Purkyňova 118, 612 00 Brno
tel. (+420) 5 41149 152, fax (+420) 5 41149 244, email: biolkova@urel.fee.vutbr.cz

vyučovat signály v interakci s obvody. Není však jednoduché sestavit učební osnovy tak, aby to bylo proveditelné.

V následující části stručně popíšeme modernizovanou strukturu předmětu Elektronické obvody. Tento předmět navazuje na předmět Základy elektrotechniky, v němž se probírají základní pojmy elektrotechniky, metody popisu a řešení odporových obvodů, obvodů RLC v harmonickém ustáleném stavu a základní pojmy a výpočty z oblasti periodických signálů.

Výuka signálů v předmětu Elektronické obvody

Předmět je dvousemestrový a vyučuje se v 2. (90 hodin, 44P+30C+16LC) a 3. (60 hodin, 30P+14C+16LC) semestru. Tradiční posloupnost probírané látky byla následující:

Analogové signály periodické a aperiodické, jejich spektrální reprezentace. Modulované signály. Metody analýzy lineárních obvodů. Obecné vlastnosti lineárních obvodů. Dvojbrany. Přechodné děje. Analogová filtrace signálů. Lineární zesilovače a zpětná vazba. Nelineární obvody, změna spektrálního složení signálu průchodem nelineárním obvodem. Principy základních nelineárních systémů (usměrňovače, stabilizátory, funkční měniče, násobiče kmitočtu, modulátory a demodulátory, směšovače, oscilátory...). Základy číslicového zpracování signálů (ČZS). Řetězec ČZS, diskrétní signál, lineární diskrétní systém, obecné vlastnosti, DFT, transformace z, číslicová filtrace.

Dosavadní koncepce byla charakteristická důsledným oddělením učiva týkajícího se analogových a diskrétních signálů a obvodů a rovněž oddělením signálů a obvodů. Kromě toho jsou zcela odděleny části týkající se lineárních a nelineárních obvodů.

První druh oddělení vcelku nečinil problémy vyjma jednoho: v rámci modernizace předmětu bylo třeba do „signálové části“ v úvodu předmětu zařadit i praktické způsoby spektrální analýzy technických signálů pomocí FFT. Algoritmus FFT se však probírá až odděleně na konci dalšího semestru.

Oddělená výuka signálů a obvodů se negativně promítala do výuky modulací: modulované signály navazovaly hned za kapitolou o signálech, avšak samotné modulátory a demodulátory byly přednášeny až v dalším semestru.

Po úpravě vypadá osnova následovně:

Analogové signály a jejich spektrální vyjádření. Algoritmus DFT (FFT) a zásady pro jeho používání k technické analýze signálů. Elektrické obvody. Pracovní bod, lineární a nelineární režim. Lineární a nelineární zkreslení signálu, obohacování spektra. Základní stavební bloky elektroniky a radiotechniky, pracující na principu lineárního a nelineárního zkreslení. Výpočtové modely a metody analýzy obvodů. Obecné projevy lin. obvodů, filtry. Lineární zesilovače a zpětná vazba. Základy modulačních technik. Základní radioelektronické obvody. Základy číslicového zpracování signálů (ČZS). Řetězec ČZS, diskrétní signál, lineární diskrétní systém, obecné vlastnosti, Fourierova řada, DFT a DTFT, transformace z, číslicová filtrace.

Při výuce signálů se upozorňuje na jedno z využití jejich spektrálního vyjádření při studiu průchodu signálu lineárními obvody s danou kmitočtovou charakteristikou. Význam kmitočtové charakteristiky studenti znají z předcházejícího předmětu Základy elektrotechniky. Na závěr je uživatelským způsobem probrán algoritmus DFT. Studenti absolvují celkem 4 numerická, 1 laboratorní a 1 počítačové cvičení, v nichž jsou pomocí

speciální metodiky procvičovány souvislosti mezi časovými a spektrálními charakteristikami signálů a základní zásady používání algoritmu FFT.

Navazující kapitola objasňuje mechanismy lineárního a nelineárního zkreslení signálu různými typy obvodů a vhodně rozvíjí a upevňuje poznatky o spektrální reprezentaci signálu.

Modulované signály se probírají až současně s principy modulátorů a demodulátorů. V závěrečných kapitolách o číslicovém zpracování signálů se již můžeme opřít o zkušenosti studentů získaných v praktických formách výuky spektrální analýzy pomocí DFT.

Následuje ukázka zadání počítačového cvičení, kterým studenti zakončují praktickou část výuky signálů. Před tímto cvičením již mají studenti za sebou první laboratorní cvičení na spektrální analýzu a syntézu periodických signálů (každý student má individuální zadání periodického signálu, na laboratorní cvičení si předem připraví tabulku vypočtených amplitud a počátečních fází prvních 10 harmonických složek) a dvě cvičení, která slouží na přípravu studentů na závěrečné počítačové cvičení (m.j. studenti absolvují úvodní školení na používání MATLABu).

Ukázka zadání počítačového cvičení

Analýza signálů na PC

Počítačové cvičení

Požadovaná příprava v pracovních sešitech před zahájením cvičení:

1. tento list vlepěný v sešitě, vedle názvu cvičení zapište datum měření
2. definiční vztahy pro DFT a IDFT
3. stručné shrnutí přepočítávacích postupů mezi koeficienty DFT a vzorky spektrální funkce impulsu a mezi koeficienty DFT a amplitudami harmonických složek periodického signálu, to vše včetně vysvětlujícího obrázku – vztahu mezi časovým průběhem a spektrem získaným z DFT
4. definiční vztah jednostranné spektrální hustoty energie $L_j(f)$ impulsu včetně výpočtu energie obsažené v kmitočtovém pásmu $\langle f_1, f_2 \rangle$.

Úvodní seznámení s prostředím MATLABu – požadované výstupy:

Záznam základních příkazů s komentářem jejich významu.

Úloha 1 Úprava zvukové nahrávky.

V prostředí Windows si přehrajte zvukovou nahrávku ze souboru *callme.wav*.

V Matlabu konvertujte obsah souboru *callme.wav* na diskretní signál. Zjistěte vzorkovací frekvenci, počet vzorků v záznamu a délku trvání záznamu.

Průběh signálu zobrazte a identifikujte jednotlivá slova mluveného projevu. Zjistěte stejnosměrnou složku a odstraňte ji. Signál normujte do mezí $\langle -1, +1 \rangle$.

Požadované výstupy:

Záznam posloupnosti použitých příkazů s komentářem.

Zjištěná vzorkovací frekvence, počet vzorků v záznamu a délka záznamu v sekundách.

Zjištěná původní stejnosměrná složka nahrávky.

Náčrt časového průběhu nahrávky s vyznačením oblastí jednotlivých hlásek.

Úloha 2 Spektrální analýza zvukové nahrávky.

Proveďte DFT signálu a zjistěte, v jakém spektrálním pásmu leží dominantní kmitočtové složky.

Signál rozdělte na 5 úseků podle charakteru namluvené věty (1. úsek vzorky 1-3000, 2. úsek 3001-5600, 3. úsek 5601-8600, 4. úsek 8601-10600, 5. úsek 10601-13184). Vypočtete a zobrazte příslušná amplitudová spektra.

Požadované výstupy:

- Záznam posloupnosti použitých příkazů s komentářem.
- Náčrty zobrazovaných průběhů dle pokynů učitele.
- Kmitočtové pásmo, ve kterém se nacházejí dominantní složky sykavek na konci věty.

Úloha 3 *Odstranění sykavek ze zvukové nahrávky.*

V celkovém spektru signálu odstraňte složky nad 3kHz. Zjistěte příslušný časový průběh a jeho změnu oproti původní nahrávce.

Požadované výstupy:

- Záznam posloupnosti použitých příkazů s komentářem.
- Komentář k výsledku experimentu.

Úloha 4 *Zjištění energie nahrávky a jejího rozložení ve spektru. Experimentální ověření Parsevalova teorému.*

Určete energii nahrávky výpočtem z časového průběhu.

Vypočtete a zobrazte jednostrannou spektrální hustotu energie nahrávky. Na základě tohoto výsledku pak určete energii nahrávky ze spektra. Srovnajte s předchozím výsledkem.

Požadované výstupy:

- Záznam posloupnosti použitých příkazů s komentářem.
- Náčrt jednostranné spektrální hustoty energie.
- Energie nahrávky zjištěná z časového průběhu a spektra, jejich srovnání a vysvětlení rozdílů.

Poslední úlohu již studenti časově nezvládají. Charakter laboratorní výuky je však zpravidla natolik zaujme, že někteří z nich se sami dožadují doměření v náhradním termínu. Pro většinu učitelů je to překvapující a dosud nepoznaná zkušenost.

Závěr

Na základě našich zkušeností z výuky základních elektrotechnických předmětů, konkrétně elektronických obvodů můžeme konstatovat, že:

- Je možné již v úvodních elektrotechnických předmětech zařazovat do osnov výuky signálů i prvky číslicového zpracování signálu; v zájmu pozitivního didaktického efektu je však nutné pečlivé vypracování metodiky a posílení praktických forem výuky.
- Je vhodné usilovat o komplexní řešení a upravit osnovy celého předmětu tak, aby se signály a systémy, pokud jsou oba celky v osnovách, neučily izolovaně.

Literatura

- [1] KWAKERNAAK, H.-SIVAN, R.: Modern Signals and Systems. Prentice Hall, 1992.
- [2] OPPENHEIM, A.V.-WILLSKY, A.S.-YOUNG, I.T.: Signals and Systems. Prentice Hall, 1983.
- [3] SIEBERT, W.M.: Circuits, Signals, and Systems. MIT Press, Cambridge, Mass., 1986.