

UTILIZATION OF THE SNAP 2.6 PROGRAM IN SELECTED ELECTRICAL COURSES

VYUŽITÍ PROGRAMU SNAP 2.6 VE VYBRANÝCH ELEKTROTECHNICKÝCH PŘEDMĚTECH

Dalibor Biolek*), Zdeněk Kolka**)

*) K301 VA Brno, Kounicova 65, PS 13, 612 00 Brno, email biolek@cs.vabo.cz

**) ÚREL FEI VUT Brno, Purkyňova 118, 612 00 Brno, email kolka@urel.fee.vutbr.cz

Abstract: The SNAP program role and ways of its utilization in the labs of Circuit theory, Electronic circuits, and Computer supported design of electronic circuits are described in this article. Two-year experiences concerning the program utilization are included.

Úvod

Program SNAP (Symbolic Network Analysis Program) [1] je využíván na K301 VA v Brně v experimentální výuce základních předmětů Teorie obvodů a Elektronické obvody v 3. a 4. semestru a ve dvou variantách volitelného předmětu Navrhování elektronických obvodů počítačem v 6. a 10. semestru.

Pokud se jedná o výuku v základních předmětech, jsou při využívání programu dodržovány následující zásady:

1. Program je využíván v experimentálních formách výuky, což znamená, že v daném předmětu je nově zavedeno počítačové cvičení na úkor dosavadního cvičení laboratorního. Této výuce předchází cvičení numerické, v němž jsou podrobně probrány a kvantifikovány jevy, které budou později předmětem počítačových experimentů. Numerické cvičení zase musí navazovat na příslušné přednášky.
2. Návodů na počítačové cvičení jsou studentům poskytnuty v dostatečném předstihu, zpravidla již na úvodní přednášce z dané problematiky. V záhlaví návodu je taxativně vymezeno, co musí obsahovat příprava v pracovním sešitu. Součástí přípravy bývá i konkrétní kvantitativní rozbor řešených obvodů, který zpravidla postačí převzít z numerického cvičení. Tyto údaje pak poslouží ke konfrontaci s počítačovými výsledky.
3. Vlastní zadání řešených obvodů je pro studenty již připraveno v elektronické formě. Odpadne tak problém vytváření schémat na hodině a zaškolování studentů do práce se schématickým editorem. Získaný čas může být věnován vlastním experimentům. Součástí elektronického zadání je i textový popis úkonů, které jsou potřebné k řešení dílčích bodů úlohy.
4. Počítačové cvičení musí být vedeno tzv. „synchronní“ metodou. Znamená to, že učitel nejprve shrne „elektrikářskou“ podstatu dílčího bodu, který se má řešit. Poté sdělí posloupnost činností, které vedou k cíli, a připomene studentům, které výstupy programu je třeba zdokumentovat včetně způsobu dokumentace. Pak poskytne studentům čas na samostatné provedení. Pokud se vyskytnou problémy, je třeba je vyřešit a teprve pak lze pokračovat dalším bodem. Častou chybou nezkušeného učitele je, že v této etapě „neudrží na uzdě“ příliš iniciativní studenty, kteří jsou potenciálním nebezpečím pro „udržování synchronizace“.

5. Role učitele je zde naprosto klíčová a nesnadná: jeho úkolem je vést studenty řešením problému pomocí programu, s nímž studenti nikdy předtím nepracovali, a přitom soustředit jejich pozornost nikoliv na tento program, nýbrž na výsledky, které poskytuje, a zejména na jejich další interpretaci. Jestliže učitel sklouzne do „pohodlné“ role subjektu, který pouze diktuje posloupnost činností, které mají být vykonávány, stane se hodina ztrátou času a pro některé studenty dokonce i traumatizujícím zážitkem.
6. Důležitá je otázka volby výstupů, které jsou od studentů požadovány. Množství dat v grafické i textové formě v prostředí Windows svádí k jejich exportu do tiskáren, do souborů, dokumentů apod. Podlehně-li učitel tomuto tlaku, stane se z učebny kopírovací centrum. Zde je dobré se držet zásady, že méně je někdy více, a vyžadovat provádění technických náčrtů přímo do pracovních sešitů, analýzu a zápis nejdůležitějších dat (hrubý náčrt křivky s vyznačením souřadnic důležitých bodů apod.) a rozбором jejich fyzikálního pozadí přímo na místě.
7. Konečným cílem počítačového cvičení je využití počítače nejen k ověření znalostí, získaných na přednáškách a numerickém cvičení, ale především k jejich upevnění a „zažití“. Metodou jak toho dosáhnout je využití počítače k samostatné tvůrčí činnosti [2]. Na hodinách základních předmětů k tomu bohužel není dostatek času. V praktické prezentaci příspěvku ukážeme některé metody, které se osvědčují i v omezeném časovém prostoru.

V předmětech Teorie obvodů a Elektronické obvody jsou na základě používání programu SNAP vytvořeny následující úlohy:

Obecné vlastnosti lineárních obvodů I a II.

Linearizované dvojbrany.

Linearizované tranzistorové zesilovače.

Lineární aplikace operačních zesilovačů.

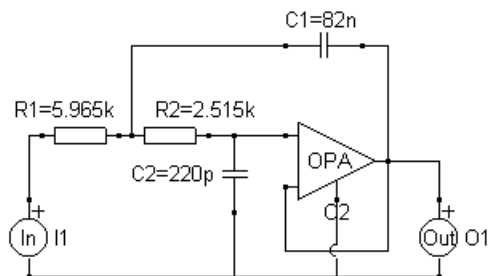
Kmitočtové filtry.

V hodinách volitelného předmětu Navrhování elektronických obvodů počítačem je způsob nasazení programu SNAP odlišný. Je to dáno jednak vlastním charakterem předmětu, v němž převažují prvky konstrukční a projektové činnosti, jednak také skutečností, že předmětem procházejí studenti vyšších ročníků s lepší teoretickou výbavou, motivací i pracovními schopnostmi. Základní rysy výuky jsou následující (viz též příloha se zadáním projektu):

1. Polovinu výukových hodin tvoří přednášky a polovinu experimentální výuka. Celá výuka probíhá v speciální experimentální laboratoři [3, 4]. Přístrojová a výpočetní technika je používána podle potřeby v obou formách výuky.
2. Páteří experimentální výuky je práce na individuálních projektech (viz příloha – návrh aktivního kmitočtového filtru). Studenti procházejí základními etapami počítačem podporovaného návrhu počínaje předběžným idealizovaným návrhem obvodu přes jeho dvoustupňovou počítačovou simulaci a optimalizaci, návrh plošného spoje až po konstrukci funkčního vzorku, měření kmitočtových charakteristik obvodovým analyzátozem HP, a porovnání s výsledky simulace. SNAP je používán v prvním stupni simulace, MicroCap v druhém.
3. Charakter využívání počítačových programů (a tím i programu SNAP) je natolik rozsáhlý, že je nutné do experimentální části výuky zařadit i školení na jejich používání. Školení však vždy probíhá na konkrétních příkladech, které těsně souvisí s řešenými projekty.
4. Je zde prostor pro podporu samostatné tvůrčí činnosti studentů. Program SNAP vykazuje některé vlastnosti a speciální funkce této podpory (symbolická a semisymbolická analýza, editor závislostí, schránka křivek, export dat do dalších aplikací..) [5].

Příklady využití programu SNAP v předmětu Navrhování elektronických obvodů počítačem

Místo programu SNAP v řetězci posloupností při vytváření projektu je zřejmé z přílohy. Nejprve student provede předběžnou syntézu kaskádního filtru programem NAF. Na obrázku je příklad posledního bloku druhého řádu typu Sallen-Key o parametrech $f_0 = 9,675\text{kHz}$ a $Q = 8,818$.



Součástky určil program za předpokladu ideálního operačního zesilovače. Dále je student během návrhu upozorněn programem na skutečnost, že při použití operačního zesilovače o tranzitním kmitočtu nižším než 39MHz již nebudou reálné parametry filtru odpovídat idealizovaným, zejména je možné očekávat snížení kmitočtu f_0 . Studentovi je přitom doporučen zesilovač typu 1458 (resp. 741) o $f_t = 1\text{MHz}$. Pro tento případ NAF provede tzv.

pasivní korekci, která spočívá v přepočtu R_1 a R_2 na $R_1' = 5,253\text{k}\Omega$ a $R_2' = 2,214\text{k}\Omega$ tak, aby byl tento vliv alespoň částečně kompenzován.

Analýzou obvodu programem SNAP získá student m.j. koeficienty přenosové funkce v symbolickém a semisymbolickém tvaru:

symbolic

1

1

+s*(R2*C2 +R1*C2)

+s^(2)*(R1*R2*C1*C2)

semisymbolic

Multip. Coefficient = 3.69500499137902E+0009

1.00000000000000E+0000

3.69500499137902E+0009

6.89340131191670E+0003 * s

1.00000000000000E+0000 * s^(2)

zeros

none

poles

-3.44670065595835E+0003 + j 6.06887571628159E+0004

-3.44670065595835E+0003 - j 6.06887571628159E+0004

$$K_v = \frac{1}{1 + sC_2(R_1 + R_2) + s^2 R_1 R_2 C_1 C_2}$$

$$K_v = 3,695 \times 10^9 \frac{1}{3,695 \times 10^9 + 6,8934 \times 10^3 s + s^2}$$

Ze symbolického výsledku má student za úkol odvodit vzorce pro f_0 a Q

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}, Q = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} \frac{\sqrt{R_1 R_2}}{R_1 + R_2}$$

a z nich pak návod na praktické nastavování f_0 při konstantním Q a naopak. Těchto poznatků se využije při finální optimalizaci obvodu programem MicroCap.

Koeficienty semisymbolické analýzy představují koeficienty ideálního filtru a student je použije v programu MicroCap k vykreslení ideální kmitočtové charakteristiky za pomoci tzv. Laplaceova zdroje. Bude tak mít možnost srovnání skutečné charakteristiky reálného bloku s charakteristikou požadovanou, což usnadní optimalizaci.

Dále student provede vykreslení amplitudové kmitočtové charakteristiky a uloží ji do tzv. schránky křivek (viz poslední obrázek).

Obdobná analýza se provede pro filtr s jednopólovým modelem operačního zesilovače, jehož parametry odpovídají zesilovači 1458: zesílení otevřené smyčky $A = 200000$, $f_t = 1\text{MHz}$, výstupní odpor $R_o = 75\Omega$:

```

symbolic
6.28319*A*ft
+s*( 6.28319*C1*ft*Ro )
+s^(2)*( C1*A*Ro +6.28319*R2*C1*C2*ft*Ro )
+s^(3)*( R2*C1*C2*A*Ro )
-----
6.28319*A*ft +6.28319*ft
+s*( 6.28319*C1*ft*Ro +6.28319*R1*C2*ft +A +6.28319*R2*C2*A*ft +6.28319*R2*C2*ft
+6.28319*R1*C2*A*ft +6.28319*R1*C1*ft )
+s^(2)*( C1*A*Ro +R1*C2*A +R1*C1*A +6.28319*R1*C1*C2*ft*Ro +6.28319*R2*C1*C2*ft*Ro
+R2*C2*A +6.28319*R1*R2*C1*C2*A*ft +6.28319*R1*R2*C1*C2*ft )
+s^(3)*( R1*C1*C2*A*Ro +R2*C1*C2*A*Ro +R1*R2*C1*C2*A )
semisymbolic
Multip. Coefficient = 1.20619837287116E-0002
1.84647776313295E+0018
5.67791912163383E+0007 * s
1.80736920735972E+0006 * s^(2)
1.00000000000000E+0000 * s^(3)
-----
2.22722960952613E+0016
4.51510787315717E+0010 * s
7.78992421724248E+0006 * s^(2)
1.00000000000000E+0000 * s^(3)
-----
zeros
-2.19173106573066E+0006
1.92180929185471E+0005 + j 8.97519412114406E+0005
1.92180929185471E+0005 - j 8.97519412114406E+0005
-----
poles
-7.78449162516349E+0006
-2.71629603949472E+0003 + j 5.34203418706269E+0004
-2.71629603949472E+0003 - j 5.34203418706269E+0004

```

Působením operačního zesilovače přibyl reálný pól, dvojice stávajících komplexně sdružených pólů je nyní modifikována a objevily se parazitní nulové body. Jak se tyto vlivy promítnou do kmitočtové charakteristiky je zřejmé z posledního obrázku. Maximum přenosu se posune k nižším kmitočtům a objeví se nepříjemný efekt konečného útlumu v nepropustném pásmu. Ze symbolického výsledku (z poměru koeficientů u nejvyšších mocnin operátoru p) lze pro konečný útlum odvodit vztah

$$K_{\infty} = 1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{R_1}{R_o} \doteq 83 \hat{=} 38dB,$$

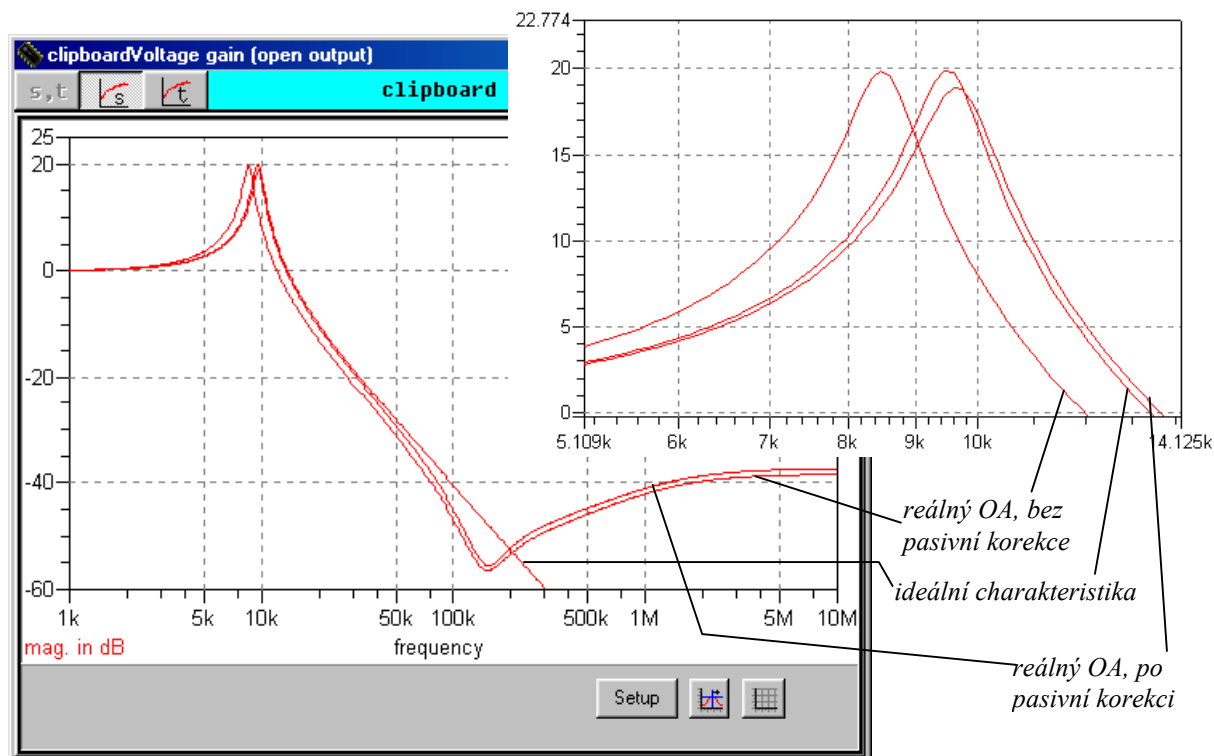
z něhož lze usoudit, že zvýšení tohoto útlumu je možné zvýšením impedanční úrovně, konkrétně volbou $R_1 \gg R_o$.

Konečně student provede modifikaci R_1 a R_2 na R_1' a R_2' a ověří tak účinnost korekce kmitočtové charakteristiky NAFem. Z porovnání křivek vyplývá, že korekce NAFem není dokonalá a vede na mírný pokles činitele jakosti. Finální optimalizaci bloku provede student v poslední fázi simulace programem MicroCap 5.

Tato práce vznikla za podpory Grantové Agentury ČR prostřednictvím projektu GAČR č. 102/97/0765.

Závěr

Způsob použití programu SNAP v praktické výuce elektrotechnických předmětů závisí m.j. na tom, zda se jedná o základní předměty v prvních ročnících studia nebo o předměty speciální ve vyšších ročnících, kde převažují prvky vývojové a tvůrčí práce. V článku je ukázáno, že v každém případě jsou kladeny vysoké požadavky na učitele vedoucího výuku, jakož i na provázanost přednášek, numerických a počítačových cvičení. Jsou formulovány některé praktické zásady, kterých je vhodné se držet při zavádění podobných programů do výuky.



Literatura

- [1] BIOLEK,D.-KOLKA,Z.: Program SNAP v. 2.6 : Nové možnosti pro výuku i výzkum. Publikováno v tomto sborníku, STO7, VA Brno, 1999.
- [2] BIOLEK,D.: Compilation and Utilization of Computer Programs in the Education of Electric Circuits and Signals. Radioelektronika'98, Vol. 2, pp. 328-331.
- [3] BIOLEK,D.-HÁJEK,K.-ZAPLATÍLEK,K.: Koncepce předmětu "Navrhování elektronických obvodů počítačem". STO-5, VA Brno, 1994, s.9-12.
- [4] BIOLEK,D.: Výuka elektrotechnických předmětů podporovaná systémem DOMINO-PUTER. STO6, VA Brno, 1997, s. 218-221.
- [5] BIOLEK,D.: SNAP v. 2.6. Příručka začínajícího uživatele. 40 stran, Brno 1999.

Příloha: UKÁZKA ZADÁNÍ SEMESTRÁLNÍHO PROJEKTU

Proved'te návrh aktivního filtru typu dolní propust. Zvolte Čebyševovu aproximaci amplitudové kmitočtové charakteristiky. Povolené zvlnění v propustném pásmu je 3 dB, minimální útlum v nepropustném pásmu 50 dB. Hraniční kmitočty v tolerančním schématu jsou 10kHz a 20kHz.

Etapy návrhu:

1. Aproximační úloha (program NAF): nalezení přenosové funkce filtru.
2. Základní realizační úloha (program NAF): nalezení zapojení aktivního filtru a parametrů pasivních součástek R a C s uvažováním ideálních operačních zesilovačů.
3. Korekční úloha (program NAF): korekce parametrů pasivních prvků s ohledem na konečný tranzitní kmitočet operačních zesilovačů.
4. Simulační úloha (programy SNAP a MC5): simulace navrženého filtru a konečná optimalizace.
5. Zhotovení funkčního vzorku a měření na něm.
6. Návrh plošného spoje (program EAGLE).
7. Vyhotovení dokumentace projektu (použití programů dle uvážení řešitele).

Dokumentace projektu musí obsahovat (silně vyznačené položky jsou povinné):

1. *Toto zadání projektu.*

2. *Rozbor zadání projektu* s využitím základních teoretických poznatků z oblasti návrhu filtrů.

3. *Výstupy programu NAF:*

amplitudová kmitočtová charakteristika po provedení aproximační úlohy spolu s průběhem skupinového zpoždění,
koeficienty přenosových funkcí kaskádních sekcí 2. a 1. řádu, resp. 2. a 3. řádu,
schémata jednotlivých sekcí kaskádního aktivního filtru s parametry prvků před a po korekci na konečný tranzitní kmitočet operačních zesilovačů,
tabulka s korigovanými tranzitními kmitočty operačních zesilovačů,
kmitočtové charakteristiky všech aktivních kaskádních bloků,
přechodná charakteristika navrženého filtru.

4. *Výstupy programu SNAP:*

protokol o výsledcích symbolické a semisymbolické analýzy aktivních kaskádních bloků s ideálními OZ,

vzorce pro ω_0 a Q odvozené ze symbolické analýzy, rozbor postupů jejich nezávislého nastavování, srovnání kmitočtových charakteristik:

- ideálních bloků
- bloků s jednopólovým modelem OZ se součástkami s hodnotami korigovanými NAFem
- v případě nedostatečné korekce výsledky vlastní korekce.

5. *Výstupy programu MC5:*

celkové schéma optimalizovaného filtru jako výstup schématického editoru MC5,
amplitudová kmitočtová charakteristika spolu s ideální charakteristikou,
amplitudové kmitočtové charakteristiky dílčích kaskádních bloků s ideálními průběhy,
přechodná charakteristika celého filtru,
statistická analýza amplitudové kmitočtové charakteristiky metodou Monte Carlo,
teplotní analýza amplitudové kmitočtové charakteristiky.

6. *Měření na realizovaném funkčním vzorku:*

Změřená amplitudová kmitočtová charakteristika, srovnání s výstupem simulátoru MC5.

7. *Výstupy programu EAGLE:*

schéma z editoru EAGLE,
obrazec navrženého jednostranného plošného spoje s rozmístěním součástek.

8. *Závěr:*

míra splnění zadání,
posouzení účinnosti korekce parametrů součástek programem NAF, srovnání výsledků simulace v MC5 se zadanými parametry filtru a s výstupy programu NAF a SNAP,
popis průběhu experimentálních prací, srovnání výsledků měření a simulace.