

Uživatelská příručka programu

S N A P

verze 3.2

18. 9. 2016

Obsah

1	ÚVOD.....	2
2	ZÁKLADY SYMBOLICKÉ ANALÝZY.....	3
3	EDITOR SCHÉMATU.....	6
3.1	ZÁKLADNÍ USPOŘÁDÁNÍ PROGRAMU	6
3.2	ZADÁVÁNÍ PARAMETRŮ OBVODOVÝCH PRVKŮ	6
3.3	OVLÁDÁNÍ EDITORU.....	8
3.4	NASTAVENÍ PARAMETRŮ PRVKŮ	9
4	PROGRAM SNAP	11
4.1	KONCEPCE PROGRAMU	11
4.2	POSTUP VÝPOČTU	13
4.3	OKNO VÝSLEDKŮ.....	14
4.4	PŘIBLIŽNÁ SYMBOLICKÁ ANALÝZA	16
5	MODELOVÁNÍ PRVKŮ, FORMÁT KNIHOVNY A NETLISTU.....	17
5.1	FORMÁT KNIHOVNY.....	17
5.2	FORMÁT NETLISTU	19
	PŘÍLOHA A: PŘÍKLAD POUŽITÍ PROGRAMU.....	21
	PŘÍLOHA B: KNIHOVNA PRVKŮ.....	23

1 Úvod

SNAP (Symbolic Network Analysis Program) je program pro symbolickou, semisymbolickou a přibližnou analýzu linearizovaných obvodů. Symbolická analýza umožňuje získat vzorec pro hledanou obvodovou funkci (přenos, impedance,...) linearizovaného elektrického obvodu v operátorovém tvaru. Přibližná symbolická analýza umožňuje redukovat zpravidla velmi rozsáhlý výsledek poskytnutý symbolickou analýzou tak, aby obsahoval jen významné členy uplatňující se v zadaném kmitočtovém pásmu.

Program umožňuje počítat i všechny používané dvojbranové parametry v symbolické, semisymbolické i numerické formě. Množinu modelů obvodových prvků a funkčních bloků lze uživatelsky snadno modifikovat a rozšiřovat pouhou editací textové knihovny, která je součástí programu SNAP.

V programu SNAP je implementována maticová metoda analýzy. Základem je modifikovaná zobecněná metoda uzlových napětí. Hledané obvodové funkce se určují pomocí algebraických doplňků. Použitá implementace využívá speciální techniku pro úspornou reprezentaci matice. Pro urychlení výpočtu byl klasický algoritmus rozvoje determinantu modifikován s využitím teorie grafů. Implementovaná metoda má díky tomu minimální nároky na velikost paměti během rozvoje determinantu a symbolická analýza probíhá velmi rychle.

V rámci textu jsou dodržovány tyto typografické konvence:

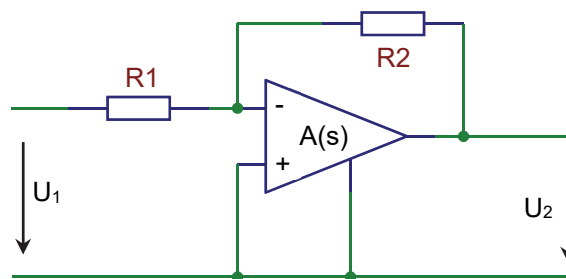
Název položky menu programu	File/Open	font Arial
Popis syntaxe	xxx	klíčové slovo
	<yyy>	povinná položka
	[<yyy>]	nepovinná položka
	<yyy>*	vícenásobný výskyt položky
	{<yyy> <zzz>}	alternativní definice

2 Základy symbolické analýzy

vztahů. Na rozdíl od klasických numerických simulátorů, které poskytují pouze grafy nebo tabulky hodnot, obsahují analytické výrazy hlubší informaci o analyzovaném obvodu. Kromě toho, že do vzorce je možné dosadit a získat číselný výsledek pro libovolnou hodnotu obvodových parametrů, je možné z něj navíc určit přímo návrhové vztahy pro některé prvky obvodu. Symbolická analýza tak poskytuje kvalitativní popis chování obvodu.

Symbolickou analýzu je prakticky možné provádět jen pro systémy popsané soustavou lineárních rovnic. Nejširší použití nachází tato metoda při analýze lineárních obvodů se soustředěnými parametry ve frekvenční oblasti. Na obr. 2.1 je schéma zapojení invertujícího stupně s operačním zesilovačem, který je modelován jako zdroj napětí řízený napětím

s přenosem $A(s) = \frac{A_0}{1 + s\tau}$.



Obr. 2.1: Invertující stupeň s operačním zesilovačem.

Napěťový přenos celého obvodu je dán vztahem

$$K(s) = \frac{U_2}{U_1} = - \frac{\frac{R_2 A_0}{R_1(1 + A_0) + R_2}}{1 + s \frac{(R_1 + R_2)\tau}{R_1(1 + A_0) + R_2}}, \quad (2.1)$$

což představuje symbolický výraz ve strukturovaném tvaru. To je forma s největší vypovídací schopností z hlediska uživatele. Snadno z ní můžeme dostat např. symbolické vyjádření přenosu pro $A_0 \rightarrow \infty$ nebo vztah pro horní mezní frekvenci zesilovače, zesílení na nízkých kmitočtech apod. Počítačové algoritmy symbolické analýzy většinou poskytují výstup v tzv. plochem (roznásobeném) tvaru, kdy je obvodová funkce daná jako prostý podíl dvou polynomů v proměnné s

$$K(s) = - \frac{R_2 A_0}{R_1 + R_2 + R_1 A_0 + s(R_1 + R_2)\tau}. \quad (2.2)$$

Do výrazu můžeme dosadit za některé parametry jejich číselné hodnoty. Dostaneme tak částečně symbolický (symbolicko-numerický) tvar. Např. pro $R_1 = 10\text{k}\Omega$ a $R_2 = 100\text{k}\Omega$ dostáváme

$$K(s) = -\frac{10^5 A_0}{1,1 \cdot 10^5 + 10^4 A_0 + 1,1 \cdot 10^5 s \tau} \quad (2.3)$$

Dosadíme-li za všechny parametry jejich hodnoty, dostaneme semisymbolický tvar. Jediným symbolem ve výrazu bude Laplaceův operátor s . Pro $A = 10^4$ a $\tau = 0,01$ bude přenos ve tvaru

$$K(s) = -\frac{10^9}{1,0011 \cdot 10^8 + 1,1 \cdot 10^3 s} \quad (2.4)$$

V semisymbolickém tvaru je možné vypočítat kořeny čitatele a jmenovatele, které představují nulové body a póly. Pro polynomy v čitateli a jmenovateli řádu většího než 2 je prakticky možné získat nuly a póly jen numericky.

Hlavní překážkou v použití symbolické analýzy je rozsah symbolického výrazu, který roste exponenciálně s počtem prvků (a uzlů) v obvodu. Praktické zkušenosti ukazují, že pro obvod s více jak dvěma tranzistory přestává být symbolické vyjádření obvodové funkce pro člověka přehledné. U obvodu s dvaceti tranzistory můžeme ve výsledku dostat více než 10^{10} členů. Takto rozsáhlý výraz je nepoužitelný. V případě obvodů obsahujících ideální prvky (např. řízené zdroje, ideální operační zesilovače) je situace příznivější. Tyto obvody tak představují hlavní pole působnosti klasických symbolických metod.

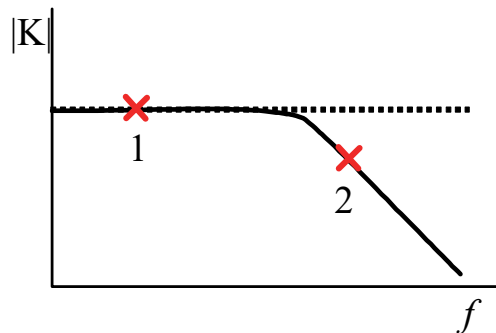
Analýza obvodů se soustředěnými parametry vede na obvodové funkce ve tvaru podílu dvou polynomů, které až na výjimky nejdou krátit. Jedinou možností zjednodušení je aproximace. Hovoříme potom o přibližné symbolické analýze. Zjednodušením zanikne hlavní výhoda symbolického řešení, a to univerzální platnost výrazů. Zjednodušené výrazy jsou obvykle platné v jistém frekvenčním pásmu a v intervalu hodnot obvodových parametrů. Společnou vlastností všech přibližných metod je, že se zjednodušování provádí rušením numericky nepodstatných členů v symbolickém výrazu. Praktický algoritmus může rušit malé členy nebo naopak je vůbec při výpočtu negenerovat. Vzhledem k obvyklým číselným hodnotám parametrů ve výrazu (2.1) ($A_0 \gg 1$, $R_2/R_1 \ll A_0$) je možné některé zanedbat a dostáváme tak přibližný výraz

$$K(s) \approx -\frac{R_2 A_0}{R_1 A_0 + s(R_1 + R_2)\tau} = -\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1 + s(1 + R_2/R_1)\frac{\tau}{A_0}} \quad (2.5)$$

Rozlišujeme tři základní metody provedení zjednodušování:

1. **SAG** (Simplification After Generation) – zjednodušování již vygenerovaného symbolického výrazu.
2. **SDG** (Simplification During Generation) – zjednodušování (=negenerování nepodstatných členů) během výpočtu.
3. **SBG** (Simplification Before Generation) – zjednodušování obvodových rovnic (matice). Na jednodušší matici se uplatní klasická symbolická analýza.

V programu SNAP je použita kombinace metod SAG a SBG. Vypuštění některých členů z výrazu pochopitelně způsobí rozdíl mezi původním a přibližným tvarem. Aby bylo možno takovou chybu kvantifikovat a rozhodnout o případné nevýznamnosti symbolického členu, je nutné znát číselné hodnoty parametrů všech obvodových prvků. Obvykle se chyba sleduje na několika vybraných frekvencích. Uživatel zadá sadu těchto bodů spolu s maximální odchylkou amplitudy (v dB) a fáze obvodové funkce. Výpočetní algoritmus se snaží dosáhnout co nejjednodušší výraz pro obvodovou funkci při zachování maximální povolené odchylky.



Obr. 2.2: Definice referenčních bodů.

Např. při uvažování jen referenčního bodu 1 (tj. nízkých frekvencí), aproximační algoritmus vypustí z výsledného výrazu ty členy, které popisují frekvenční závislost přenosu, a zůstane jenom

$$K(s) \approx -\frac{R_2}{R_1} . \quad (2.6)$$

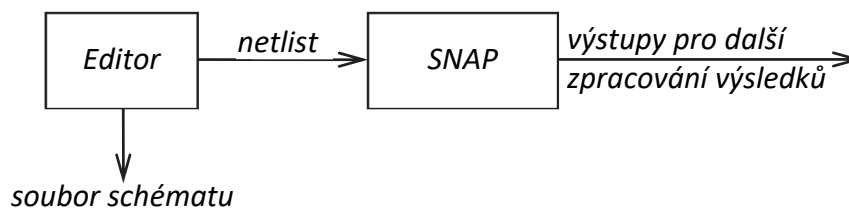
Při uvažování obou bodů pak dostáváme v podstatě výraz (2.5).

I přes svoji omezenou platnost je přibližná symbolická analýza cenným nástrojem při analýze zejména tranzistorových (integrovaných) obvodů, kde představuje jedinou možnost pro získání, byť nepřesného, symbolického výrazu.

3 Editor schématu

3.1 Základní uspořádání programu

Programový systém tvoří dva moduly - editor schématu a symbolický analyzátor SNAP. Spojení mezi oběma programy je provedeno prostřednictvím předávání souborů. Práce s programem probíhá tak, že uživatel připraví schéma včetně definice symbolických a případně numerických hodnot v editoru, který automaticky vygeneruje textový soubor s popisem obvodu, tzv. netlist. Potom se automaticky spustí analyzátor, který netlist načte a provede výpočet obvodových funkcí. Pokud je nutné schéma nebo parametry modifikovat, musí se tak učinit v editoru a opět spustit analýza. Program SNAP může spolupracovat s libovolným editorem schématu, který umí vygenerovat netlist v požadovaném tvaru. Instalační sada obsahuje jednoduchý editor speciálně vyvinutý pro SNAP.



Obr. 3.1: Propojení modulů.

3.2 Zadávání parametrů obvodových prvků

Vzhledem k tomu, že SNAP je symbolický analyzátor, je možné pro označení parametrů obvodových prvků použít libovolný symbol (identifikátor), který se nemusí nikde deklarovat. Parametry je možné zadávat trojím způsobem:

1. **symbolicky** Jednoduchá proměnná nebo výraz ve frekvenční oblasti převoditelný na racionální lomenou funkci.
př. A , $R1+R2$, $A/(1+s*\tau)$
2. **numericky** Parametr má pouze číselnou hodnotu danou jako číslo nebo vzorec ve složených závorkách. Ve výsledku bude za tento parametr dosazena číselná hodnota.
př. $10k$, $\{R2/2+1k\}$
3. **kombinovaně** Symbolické proměnné je současně přidělena hodnota. Ve výsledku se objeví symbol parametru. Pro další výpočty (nuly a póly, grafy) se použije číselné hodnota.
př. $A=10k$ nebo $A=\{R2/2+1k\}$ (místo znaku „=" lze použít i znak „:“)

V rámci programu SNAP velikost písma nerozhoduje. Pokud se použije stejné symbolické jméno u více parametrů prvků, program tyto parametry považuje za stejné. Při definici numerických hodnot můžeme použít:

standardní desetinný zápis *1012.3, 0.008* (používá se **desetinná tečka**)
 exponenciální zápis *1.0123E3, 8e-3*
 přípony podle standardu Spice *10k, 1u*

F	P	N	U	M	K	MEG	G	T
10^{-15}	10^{-12}	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	10^3	10^6	10^9	10^{12}
femto	piko	nano	mikro	mili	kilo	mega	giga	tera

Mezi číslem a příponou NESMÍ být mezery. Definice numerické hodnoty se provádí u parametrů, které mají stejné jméno jen jednou.

Editor schématu má nástroj, který umožňuje svázat označení prvku (např. R1 u rezistoru) se jménem jeho parametru pomocí zástupného symbolu #. Při zadání prvku z knihovny je např. odpor rezistoru definován jako

#=1k

Během vytváření netlistu se zástupný symbol # nahradí skutečným jménem součástky, tj.

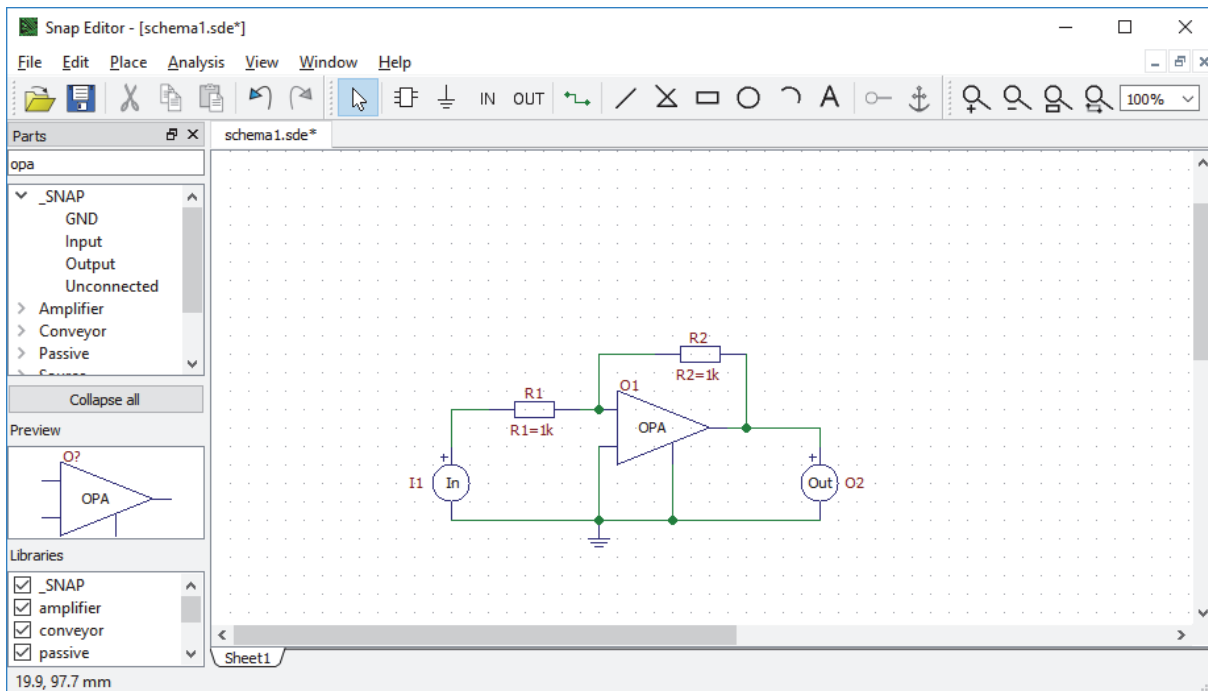
R1=1k

V případě prvků s více parametry je možné použít konvenci se znakem „.“. Např. stejnosměrné zesílení v modelu reálného operačního zesilovače může být zavedeno jako

#.A=100k → OA1.A=100k

Pokud se zástupný symbol nepoužije, tak se podoba parametru během vytváření netlistu nemění. Např. je možné definovat odpor dvou rezistorů pouze symbolem „R“. Analýza bude provedena jen symbolicky a výsledný výraz bude reflektovat, že jsou oba rezistory shodné. V každém případě však musí být samotné součástky označeny rozdílně (např. jako R1 a R2).

3.3 Ovládání editoru



Obr. 3.2: Okno editoru

Po spuštění editoru se otevře prázdné schéma. Vytvoření nového schématu lze dosáhnout také volbou File/New Design (Ctrl-N). V horní části okna editoru jsou ikony sloužící k rychlému vybrání požadované funkce. Pokud má některá volba klávesovou zkratku, pak je uvedena vedle názvu v menu hlavní nabídky. Ovládání editoru plně zachovává standardy ovládání programů pod MS Windows.


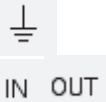
Po levé straně pracovní plochy je přístupný obsah všech knihoven prvků. Pokud by během práce došlo k zavření okna prohlížeče knihoven, je možné zobrazení obnovit volbou View/Parts.


Prvky jsou uspořádány ve skupinách. Na prvním místě je skupina _SNAP, která obsahuje prvky pro označení vstupů a výstupů, znak země a speciální prvek „Unconnected“, který se používá pro ošetření nepřípojených pinů součástek. Např. je možné takto ošetřit nevyužitý proudové vstupy.

V textovém poli je možné zadat jméno prvku pro vyhledání, nebo prvek přímo vybrat myší. Pomocí tlačítka Collapse all je možné sbalit všechny otevřené kategorie. Ve střední části prohlížeče knihovny je náhled prvku. Ve spodní části je možné volit, které knihovny se budou používat. Standardně jsou zvoleny všechny.

Následující tabulka poskytuje informace o základních úkonech při kreslení schématu.



Tab. 3.1: Základní příkazy pro kreslení schématu

Prvky		Ikona	Klávesa
výběr prvku	Place/Part + zvolit prvek v knihovně		Shift-P
vložení do schématu	Levé tlačítko		
rotace	Edit/Rotate nebo pravé tlačítko		Ctrl-R
zrcadlení vodorovně	Edit/Flip Horizontal		Ctrl-F
zrcadlení svisle	Edit/Flip Vertical		Ctrl-G
ukončení			Esc
zrychlené zadání speciálních prvků	Edit/Place Ground Input Output		

Vodiče			
začátek	Place/Wire		Shift-W
přidání úseku	Levé tlačítko		
změna zahnutí	Pravé tlačítko		
ukončení kreslení	Dvojitě poklepání		Esc

Křížením vodičů nedojde k jejich spojení.

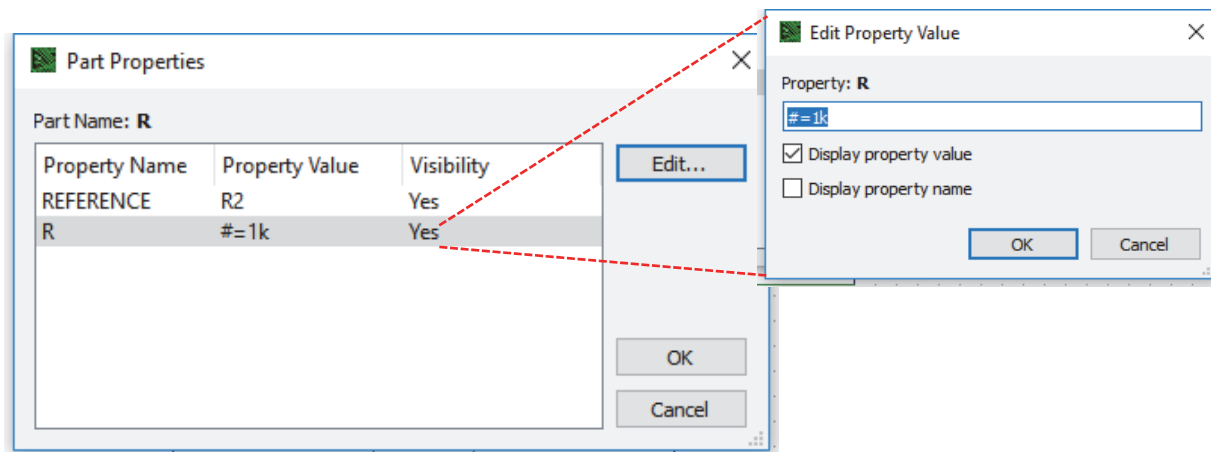
Úprava schématu			
výběr prvku a vodiče	Levé tlačítko (prvek změní barvu)		
rotace	Edit/Rotate		Ctrl-R
zrcadlení vodorovně	Edit/Flip Horizontal		Ctrl-F
zrcadlení svisle	Edit/Flip Vertical		Ctrl-G
mazání	Edit/Cut		Del
přetažení prvku bez „gumových“ vodičů	Alt + myš		

Grafické symboly			
kreslení	Place/Line PolyLine Rectangle Circle Arc		
text	Place/Text		

3.4 Nastavení parametrů prvků

Dvojitým kliknutím levého tlačítka na součástku se otevře okno pro zadávání parametrů. Pomocí myši vybereme parametr a dvojitým poklepáním nebo pomocí tlačítka Edit otevřeme editaci. U každého parametru je možné zvolit, zdali bude ve schématu viditelné jeho jméno a hodnota.

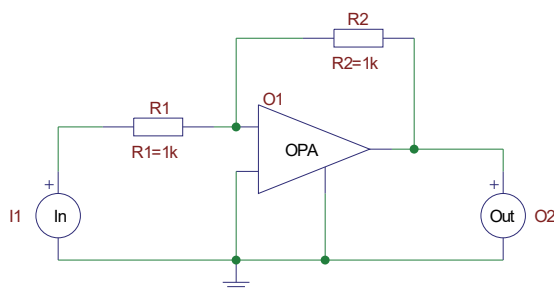
Každý prvek má parametr REFERENCE, který definuje jeho označení ve schématu, a který musí být jedinečný. V příkladu na obr. 3.3 se jedná o označení R2. Prvek „R2“ (zřejmě rezistor) má parametr „R“, který zde udává odpor. Tento parametr je možné definovat některým ze způsobů popsanych v kapitole 3.2.



Obr. 3.3: Příklad nastavení parametrů rezistoru.

Pokud je parametr viditelný ve schématu, tak je možné, měnit jeho hodnotu přímo pomocí poklepání levým tlačítkem.

Součástí každého schématu musí být definice vstupní a výstupní brány pomocí speciálních prvků „Input“ a „Output“, jak je ukázáno na obr. 3.4. SNAP nevyžaduje definici referenčního uzlu (zem), ale je možné použít prvek „GND“ pro zvýšení čitelnosti schématu.



Obr. 3.4: Příklad kompletního obvodu pro analýzu.

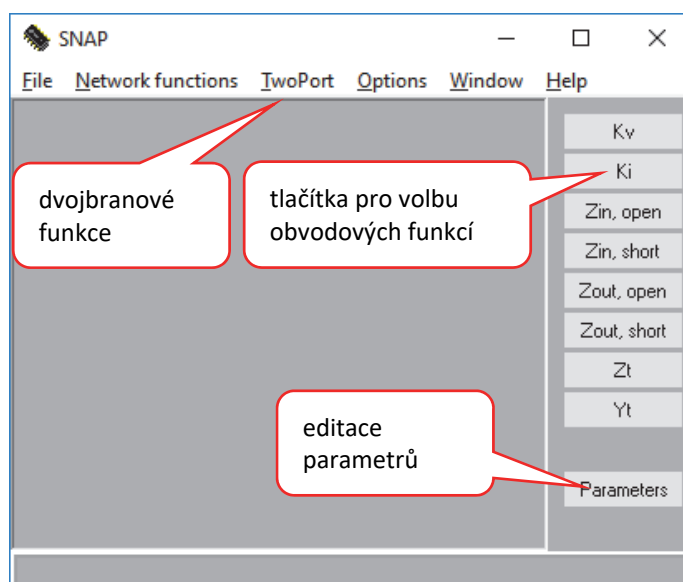
Analýza se spustí příkazem Analysis/Run SNAP nebo pomocí klávesy F11.

4 Program SNAP

4.1 Koncepce programu

Vstupem programu SNAP je netlist analyzovaného obvodu ve formátu popsaném v kapitole 5.2. Program dále využívá knihovnu modelů uloženou v souboru *SNAP3.CDL*. V knihovně jsou informace o názvech a matematických modelech prvků. Filozofie modelování je založena na modifikované metodě uzlových napětí. Modifikací knihovny má uživatel možnost neomezeně rozšiřovat možnosti programu SNAP.

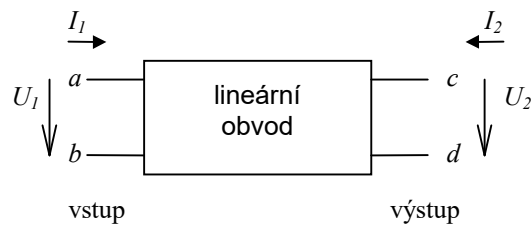
Netlist musí obsahovat prvky typu vstup (*input*) a výstup (*output*). Jsou to dvojpóly, jejichž umístěním do schématu definujeme vstupní a výstupní bránu analyzovaného obvodu. Charakter vstupního a výstupního signálu, tj. napětí nebo proud, se určuje až při zadávání obvodových funkcí v prostředí programu SNAP. Zadáme-li všechny parametry všech prvků ve schématu i numericky, provede SNAP následně kromě symbolické analýzy i analýzu přibližnou a semisymbolickou. V opačném případě je provedena jen analýza symbolická. Pro označení Laplaceova operátoru se používá písmeno *s*.



Obr. 4.1: Okno programu SNAP.

Po pravé straně pracovní plochy jsou tlačítka pro rychlou volbu obvodových funkcí. Hlavní menu obsahuje volby pro další obvodové funkce, prvky dvojbřanových matic a ukládání výsledků. Po zvolení výpočtu funkce se otevře okno s výsledky. Každá obvodová funkce má své okno.

Tlačítko Parameters zobrazí tabulku všech parametrů zavedených v netlistu obvodu. U jednoho parametru může být definováno krokování. V okně výsledků se pak zobrazí svazek křivek. V případě volby příslušné položky v preferencích (viz dále) je nastavení automaticky uloženo do textového souboru, který má stejné jméno jako analyzovaný netlist s příponou *.ini*. Při dalším otevření obvodu se tento soubor automaticky načte.



Obr. 4.2: Analyzovaný obvod jako dvojbran.

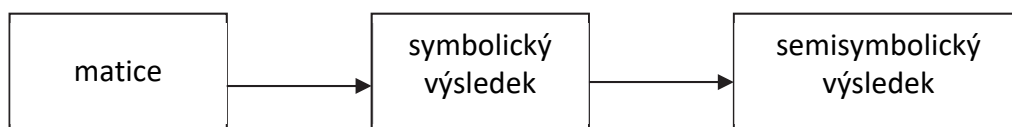
Analyzovaný lineární obvod vždy chápeme jako dvojbran. Tab. 4.1 udává definici všech obvodových funkcí, které je možné vypočítat. S výjimkou parametrů **A** a **B** se vždy uvažuje kladný směr výstupního proudu dovnitř dvojbranu.

Tab. 4.1: Výpočet obvodových funkcí

funkce	definice
napěťový přenos naprázdno <i>K_v - Voltage gain</i>	$K_v = \frac{U_2}{U_1}, I_2 = 0$
proudový přenos <i>K_i - Current gain</i>	$K_i = \frac{I_2}{I_1}, U_2 = 0$
vstupní impedance naprázdno <i>Z_{in,o} - Input impedance, open output</i>	$Z_{in,o} = \frac{U_1}{I_1}, I_2 = 0$
vstupní impedance nakrátko <i>Z_{in,s} - Input impedance, short output</i>	$Z_{in,s} = \frac{U_1}{I_1}, U_2 = 0$
výstupní impedance naprázdno <i>Z_{out,o} - Output impedance, open input</i>	$Z_{out,o} = \frac{U_2}{I_2}, I_1 = 0$
výstupní impedance nakrátko <i>Z_{out,s} - Output impedance, short input</i>	$Z_{out,s} = \frac{U_2}{I_2}, U_1 = 0$
přenosová impedance <i>Z_t - Transimpedance</i>	$Z_t = \frac{U_2}{I_1}, I_2 = 0$
přenosová admitance <i>Y_t - Transconductance</i>	$Y_t = \frac{I_2}{U_1}, U_2 = 0$
přímé kaskádní parametry <i>Two port / A</i>	$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}$
zpětné kaskádní parametry <i>Two port / B</i>	$\begin{bmatrix} U_2 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ I_1 \end{bmatrix}$
hybridní parametry <i>Two port / H</i>	$\begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$
zpětné hybridní parametry <i>Two port / K</i>	$\begin{bmatrix} I_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$
admitanční parametry <i>Two port / Y</i>	$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$
impedanční parametry <i>Two port / Z</i>	$\begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$

4.2 Postup výpočtu

Po zvolení výpočtu obvodové funkce tlačítkem nebo v menu, obr. 4.1, se otevře okno, které slouží pro kompletní zpracování výsledků symbolické, semisymbolické a přibližné analýzy. Možnosti dalšího postupu výpočtu jsou zobrazené na obr. 4.3. Jednotlivé bloky představují jakési schránky, ve kterých jsou uloženy výsledky. V případě, že nejsou definovány numerické hodnoty všech parametrů, je možný jenom výpočet symbolického tvaru. Při otevření okna obvodové funkce je automaticky sestavena matice, a pokud se neočekává velký rozsah výsledku, je vypočítán i symbolický tvar, viz nastavení programu. U větších obvodů je nutné potvrdit symbolický výpočet stiskem tlačítka Show symbolic. Semisymbolický tvar se vygeneruje stiskem Show semi. V případě úspěšného výpočtu se automaticky nakreslí graf a rozložení nul a pólů.



Obr. 4.3: Postup výpočtu v programu SNAP.

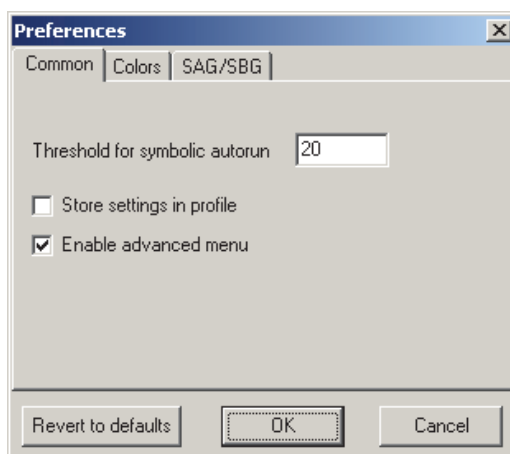
Na matici je možné aplikovat zjednodušující metodu SBG. Na symbolický výsledek pak metodu SAG. O stavu zjednodušování informují položky pod textovým polem okna obvodové funkce (záložka Output).

Matrix: full | simplified (SBG)

Formula: full | simplified (SAG)

Návrat do plného tvaru, tj. zrušení současného stavu zjednodušování, je možné provést tlačítkem Reset.

Pomocí nabídky Options/Preferences, obr. 4.4 je možné změnit chování programu. Nastavení se automaticky ukládá do uživatelské větve registru Windows.



Obr. 4.4: Nastavení automatického provedení výpočtu

Threshold for symbolic autorun – číslo udává maximální počet atomů (prvků matice) pro automatické spuštění symbolické analýzy při otevření okna obvodové funkce.

Store settings in profile – nastavení krokování parametru a případně nastavení grafu se bude automaticky ukládat do souboru stejného jména jako netlist s příponou .ini. Při dalším otevření netlistu (např. po změně schématu) se tento soubor automaticky načte.

Enable advanced menu – zpřístupní některé další položky menu. Tato volba je vhodná spíše pro uživatele zabývající se tvorbou symbolických metod.

Colors – nastavení barev

SAG/SBG – nastavení parametrů zjednodušování.

4.3 Okno výsledků

Okno výsledků je rozděleno na záložky, obr. 4.5:

Output Tlačítka Show... zobrazí v záložce příslušný výsledek v textové formě. Tlačítko Reset anuluje výsledky zjednodušování.

f-domain, P/Z - Pokud je k dispozici semisymbolický tvar funkce, tak se automaticky zobrazí příslušné grafy s frekvenční charakteristikou a s rozložením pólů a nulových bodů.

SAG/SBG slouží k provádění zjednodušující symbolické analýzy, která je použitelná v případě zadání číselných hodnot všech parametrů. Analýza typu SBG pracuje s maticí, zatímco analýza SAG s již vygenerovaným symbolickým výsledkem.

Textové výstupy

V záložce Output se zobrazují výsledky symbolické a semisymbolické analýzy v textové formě. Formát výsledků je omezený možnostmi textového výstupu. Níže je uvedený příklad výsledků analýzy RLC obvodu 2. řádu proložený vysvětlujícím textem. Pro označení Laplaceova operátoru se užívá písmeno s .

```

_____symbolic_____
s*( L1 )
-----
R1
+s*( L1 )
+s^(2)*( R1*L1*C1 )

```

Symbolický výsledek, $\frac{sL_1}{R_1 + sL_1 + s^2 R_1 C_1 L_1}$.


```

_____ semisymbolic _____
K = 1.000000000000000E+0005

1.000000000000000E+0000 * s
-----
1.000000000000000E+0010
1.000000000000000E+0005 * s
1.000000000000000E+0000 * s^(2)

```

Semisymbolický tvar obvodové funkce $1.10^5 \frac{s}{1.10^{10} + 1.10^5 s + s^2}$.

```

_____ zeros _____
0.000000000000000E+0000

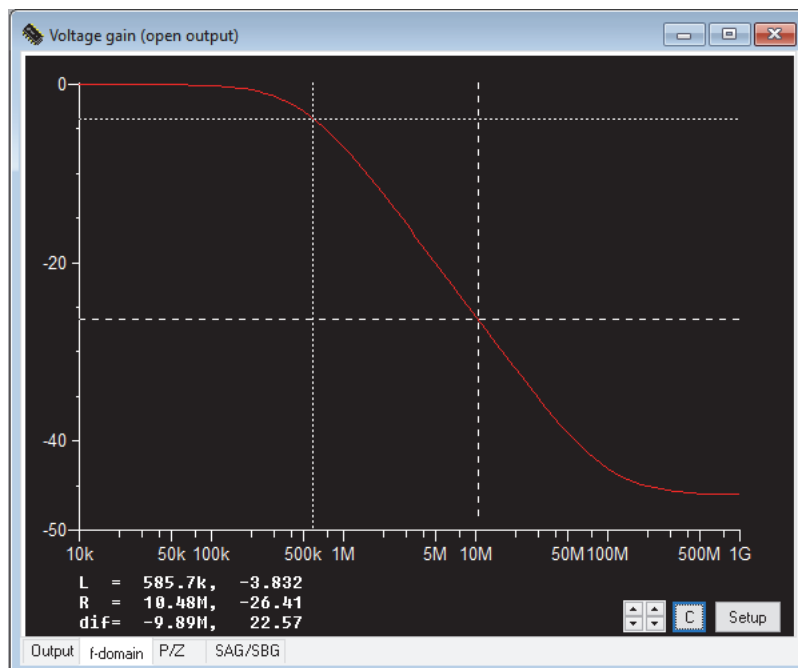
_____ poles _____
-5.000000000000000E+0004 - j 8.66025403784439E+0004
-5.000000000000000E+0004 + j 8.66025403784439E+0004

```


Nulové body a póly obvodové funkce $z_0 = 0$, $p_{1,2} = -50000 \pm j866025$.

Grafy

V záložkách f-domain a P/Z se graficky zobrazuje semisymbolický tvar obvodové funkce obr. 4.5. V případě krokování parametrů se zobrazí svazek křivek.



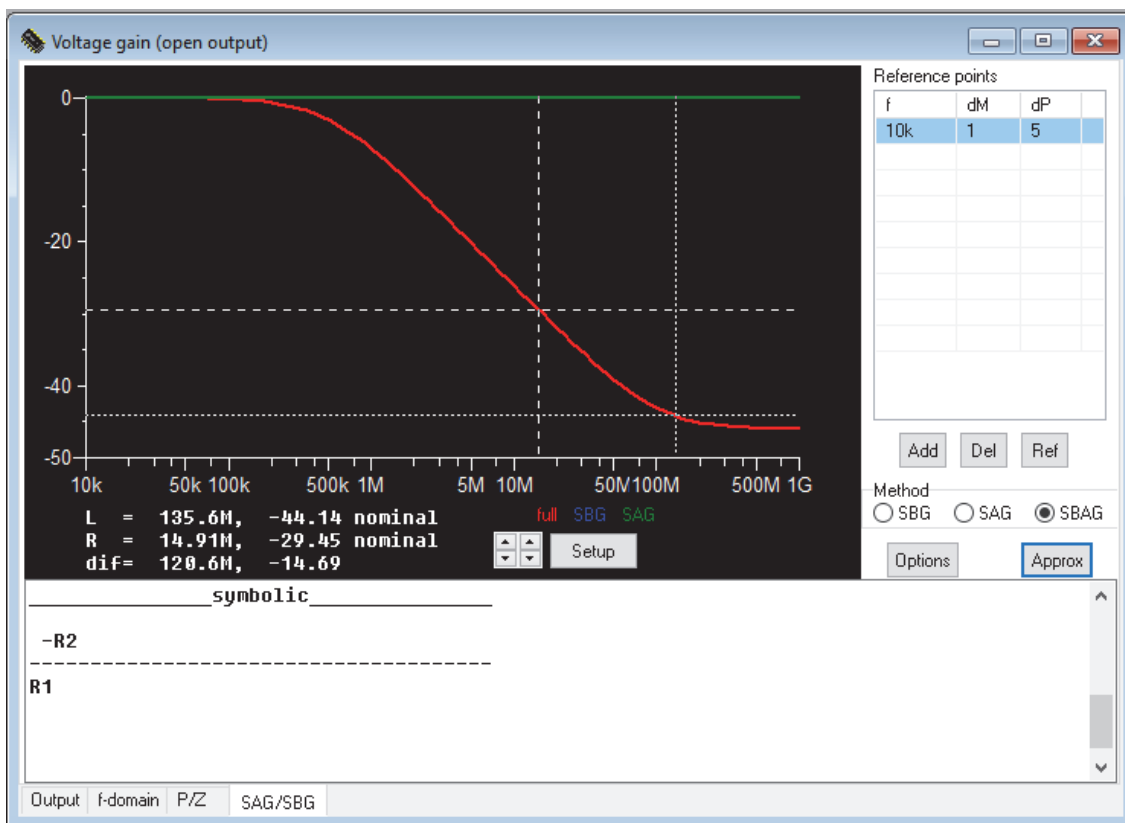
Obr. 4.5: Příklad grafu frekvenční charakteristiky.

Tlačítkem **Setup** se otvírá nastavení parametrů grafu. Lze nastavit rozsah rozmítání nezávislé veličiny (čas nebo frekvence), proměnné a rozsahy os X , $Y1$ a $Y2$. Položky menu jsou samovysvětlující. Tlačítkem **C** se zapínají nebo vypínají kurzory – pravý a levý (L a R). Při aktivovaném levém (pravém) tlačítku myši můžeme pohybovat kurzorem L (R). Pod obrázkem se objevují vpravo od položek L , R a dif hodnoty x -ové a y -ové souřadnice kurzorů a rozdíly mezi nimi. Křivky a příslušné osy jsou rovněž rozlišeny barevně. Je-li v grafu obsaženo více křivek vygenerovaných krokovaním parametru obvodového prvku, můžeme přepínat kurzory pomocí speciálních tlačítek . Aktuální hodnota krokovaného parametru se přitom zobrazuje vpravo od souřadnic kurzorů.

V nabídce **Results** hlavního menu je možné grafy kopírovat do schránky Windows nebo exportovat výsledky do jiných programů.

4.4 Přibližná symbolická analýza

Záložka **SAG/SBG** slouží k provádění přibližné symbolické analýzy, kap. 2. Zjednodušení je založeno na znalosti numerických hodnot všech obvodových parametrů. Pomocí grafu a kurzoru definujeme referenční body, na kterých se kontroluje maximální odchylka od nominálního průběhu.



Obr. 4.6: Záložka přibližné symbolické analýzy.

Graf

Graf slouží k zobrazení nominálního průběhu (červená křivka) a pro zobrazení zjednodušeného průběhu pomocí SBG (modrá křivka) a pomocí SAG (zelená křivka). Průběhy se zobrazují jen tehdy, když jsou příslušné hodnoty dostupné. Práce s kurzory a nastavování parametrů jsou stejné jako u standardních grafů.

Referenční body

Referenční body jsou zobrazené v tabulce Reference points . Každému bodu přísluší individuálně nastavená tolerance amplitudy v dB a fáze ve stupních. Pomocí dvojitého poklepání myši na příslušném řádku, je možné tyto hodnoty včetně frekvence modifikovat. Referenční body se zadávají pomocí levého kurzoru, který se nastaví do požadované polohy a tlačítkem Add pod tabulkou se bod přidá do seznamu. Tlačítkem Del je možné libovolný bod smazat. Přibližná analýza vyžaduje minimálně jeden referenční bod.

Metoda zjednodušování

V položce Method se volí způsob zjednodušování.

- SBG metoda zjednodušuje obvodovou matici. Zároveň se automaticky vygeneruje odpovídající symbolický tvar, pokud je jeho výpočet časově únosný.
- SAG zjednodušování probíhá s aktuálním tvarem symbolického polynomu.
- SBAG jedná se o kombinaci obou metod, kdy je nejdříve provedena metoda SBG na původní matici a s jejími výsledky je dále provedena metoda SAG. Pro výsledek platí maximální tolerance z tabulky referenčních bodů.

Tlačítko Options slouží k nastavení parametrů obou typů analýz.

5 Modelování prvků, formát knihovny a netlistu

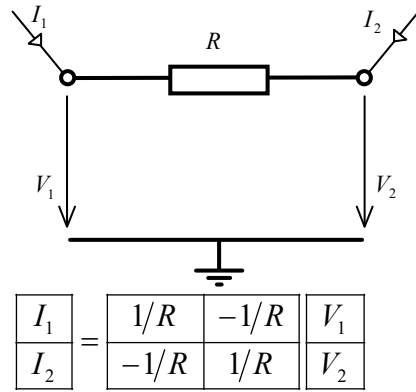
5.1 Formát knihovny

Matematické modely obvodových prvků jsou v programu SNAP založeny na modifikované metodě uzlových napětí. U každého prvku je definováno tzv. razítko, které určuje, jak se jeho parametry zapíše do obvodové matice. Souřadnice buněk, kam se bude zapisovat, jsou odvozené od čísel uzlů, ke kterým je prvek připojen.

Modely jsou uloženy ve snadno editovatelném textovém souboru *SNAP3.CDL*. Středník uvozuje komentář, prázdné řádky se ignorují. Definice modelu začíná názvem modelu v hranatých závorkách.

Například model rezistoru má následující tvar:

[R] ; název modelu
 nodes = 2 ; počet uzlů
 params = 1 ; počet parametrů
 names = R ; symbolická jména parametrů
 add = 0 ; počet přídavných obvodových veličin
 mat1 = 1 1 2 2 : 1/R ; definice atomu razítka



Razítka prvku sestává z tzv. atomů, které se do obvodové matice zapisují podle vzoru

x	$-x$
$-x$	x

. V příkladu je popis rezistoru dán jen jedním atomem $1/R$. Jeho souřadnice se

vztahují ke svorkám rezistoru (čísla 1 a 2). Při sestavování obvodové matice se tato čísla nahradí čísly skutečných uzlů, kam je rezistor připojen. V případě složitějšího modelu může být atomů více. Je možné také definovat atomy, jejichž vzor je jeden řádek nebo sloupec, nebo samotný prvek.

Definice má obecnou strukturu:

[<jméno modelu>
 nodes = <číslo> ; počet svorek (pólů) součástky
 params = <číslo> ; počet parametrů, které se předávají v netlistu
 names = <jméno₁>, ..., <jméno_{params}> ; lokální názvy parametrů oddělené čárkami pro
 ; zápis atomů
 add = <číslo> ; počet přidaných řádků a sloupců matice (proudů)
 ; pro neregulární prvky
 mat1 = <souřadnice> : <vzorec> ; definice atomů
 mat2 = ...

 mat_m = ...

<vzorec> musí mít charakter racionální lomené funkce pro lokální proměnné a operátor s . <souřadnice> jsou 4 indexy oddělené mezerami <a b c d> určující polohu atomu v matici podle obrázku

	b		d
a	x		$-x$
c	$-x$		x

Pokud je některá souřadnice 0, tak se příslušný řádek nebo sloupec v matici neobjeví. Kladné souřadnice odpovídají svorkám (pólům) modelu. Např. pokud $a = 1$, tak se pro zápis do

hybridní matice použije souřadnice podle skutečného čísla uzlu kam je svorka 1 připojena. Záporná čísla se používají pro zápis do řádků a sloupců přídavných veličin modelu. Např. $a = -1$ značí souřadnici odpovídající první přídavné veličině. Přídavné veličiny mohou mít libovolný význam, nemusí to být např. jen proud. Tyto přídavné veličiny se při výpočtu obvodových funkcí vždy eliminují.

Výraz pro každý atom musí být převoditelný na racionální funkci lomenou. Ve výrazu mohou vystupovat parametry z položky *names* v celých mocninách, numerické konstanty (std. Spice), symbolické konstanty ze speciální sekce [params] a Laplaceův operátor *s*. Např. induktor je zavedený atomem

$$\text{mat1} = 1 \ 1 \ 2 \ 2 : 1/(s*L)$$

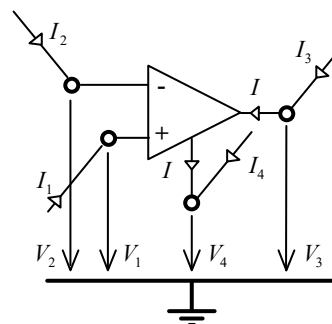
Knihovna obsahuje speciální sekci [params], ve které jsou definované symbolické konstanty jako např. π .

```
[params]
pi = 3.141592654
e = 2.7182818
```

Následující příklad ukazuje strukturu modelu ideálního operačního zesilovače. V modelu je kromě uzlových napětí použita jedna pomocná obvodová veličina – výstupní proud zesilovače *I*. Ideální operační zesilovač nevyžaduje žádný obvodový parametr.

```
[OPA]
nodes=4
params=0
names=
add=1
mat1=-1 1 0 2 : 1
mat2= 3 -1 4 0 : 1
```

I_1					V_1
I_2					V_2
I_3				1	V_3
I_4				-1	V_4
0	1	-1			I



5.2 Formát netlistu

Formát netlistu vychází ideově z pravidel standardu Spice:

- Jedná se o textový soubor. Každý prvek je definován na novém řádku.
- Pokud definice pokračuje na dalším řádku, ten musí začínat znakem „+“.
- Malá a velká písmena se nerozlišují. „Bílé znaky“ (mezery, tabulátory) se ignorují.
- Středník uvozuje komentář. Zbytek řádku od výskytu středníku se ignoruje.
- Pokud je prvním znakem hvězdička („*“), tak se celý řádek bere jako komentářový.

a) definice numerické hodnoty parametru může být trojím způsobem

$\langle \text{číslo} \rangle [\langle \text{spodní} \rangle : \langle \text{horní} \rangle]$

- čísla jsou ve standardu Spice, meze *spodní* a *horní* jsou nepovinné

{<vzorec>}

- ve vzorci mohou vystupovat konstanty ve std. Spice nebo jiné parametry.
- Nesmí tam být Laplaceův operátor s, na pořadí vzorců nezáleží.

Meze *spodní* a *horní* jsou nepovinné, slouží pro intervalovou aproximační symbolickou analýzu. Současná verze SNAPu tyto možnosti nevyužívá.

b) definice obecných parametrů

V netlistu je možné zavést obecné numerické proměnné. Symbolické proměnné (bez hodnoty) se nemusí vůbec deklarovat.

.var <jméno> = <hodnota>

c) definice prvků

<jméno modelu>_<jméno prvku> <uzly>* <parametry>,*

- <jméno modelu> - musí souhlasit se jménem v knihovně, nesmí obsahovat podtržítka
- <jméno prvku> - musí být jedinečné
- <uzly> - libovolné řetězce
- <parametry> - oddělují se čárkami

možné formáty pro parametry:

- <hodnota> - jen numerická hodnota
- <symbolický výraz> - do symbolického výsledku analýzy se dosadí tento výraz
 - musí být převoditelný na racionální funkci lomenou
 - **může obsahovat Laplaceův operátor**
- <jméno> = <hodnota> - symbolická proměnná s uvedením číselné hodnoty

Pokud se definice stejné proměnné vyskytne u více prvků, pak se její jméno doplní o jméno prvku. V rámci jedno prvku se to považuje za chybu.

Příklady:

- R_R1 1 2 1k ; ve výsledku se objeví pouze číselná hodnota parametru
- R_R1 1 2 {R2/2+1k} ; nebo hodnota výrazu v závorce

- R_R1 1 2 R ; parametry bez číselné hodnoty
- R_R1 1 2 R2+R3 ; je možné provádět jen symbolickou analýzu

- R_R1 1 2 R = 1k ; kombinovaná definice parametru je jeho číselné hodnoty
- R_R1 1 2 R = {R2/2+1k}

- R_R1 1 2 R = 1k ; číselná hodnota se definuje jenom jednou
- R_R2 1 2 R ; stejný parametr jak u R1

Příloha A: Příklad použití programu

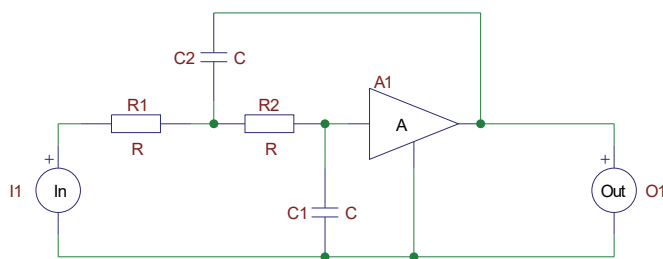
Analýza aktivní dolní propusti 2. řádu

Analyzovaným obvodem je aktivní dolní propust 2. řádu s kladnou zpětnou vazbou. Budeme uvažovat shodné prvky $R1 = R2 = R$, $C1 = C2 = C$.

- Spustíme editor schématu, kde nakreslíme schéma obvodu. Prvky musí mít rozdílná jména, i když jejich hodnota bude stejná. Jména prvků lze dodatečně změnit, pokud nevyhovují ta, která jsou automaticky generovaná. Dvojitým poklepáním na prvek se otevře okno pro nastavení parametrů. V první fázi definujeme jen symbolické hodnoty:

prvek	parametr
R1	R
R2	R
C1	C
C2	C
A1	A

Vstup a výstup označíme pomocí speciálních prvků *INPUT* a *OUTPUT*. Uzemnění obvodu (tj. definice vztažného uzlu) není vyžadováno (na rozdíl např. od programu PSpice).



- Spustíme symbolický analyzátor, kde zvolíme výpočet napěťového přenosu tlačítkem Kv. Objeví se výsledek:

_____symbolic_____

A

1

+s*(3*C*R -A*C*R)

+s^(2)*(C^(2)*R^(2))

který po přepsání vede na tvar $Kv = \frac{A}{1 + sCR(3 - A) + s^2C^2R^2}$.

- Podle [2], strana 125 lze odvodit např. pro dolní propust s kritickým tlumením požadované hodnoty parametrů:

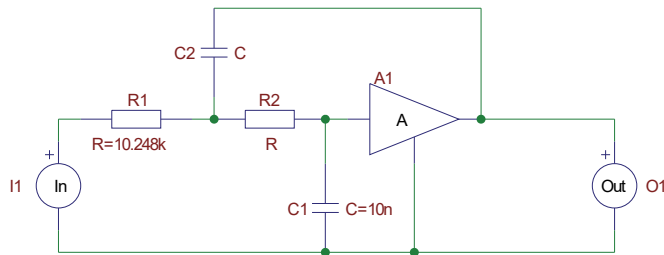
$$A = 1,$$

$$C = 10\text{nF (volba)},$$

$$R = 10.248\text{k}\Omega,$$

které doplníme do schématu. Pokud se použije stejný symbol hodnoty pro více prvků, numerické hodnoty se definuje jen u jednoho:

prvek	parametr
$R1$	$R=10.248k$
$R2$	R
$C1$	$C=10n$
$C2$	C
$A1$	$A=1$



4. Po opětovném spuštění analýzy dostaneme kromě vzorce pro přenos i jeho semisymbolický tvar a polohu nul a pólů.

_____ zeros _____

none

_____ poles _____

-9.75800172733620E+0003

-9.75800139522430E+0003

Dvojný reálný pól potvrzuje numericky, že systém má kritické tlumení.

Příloha B: Knihovna prvků

Sloupec *značka* udává jméno prvku v knihovně grafického editoru. Ve sloupci *model* je jméno modelu z knihovny *snap3.cdl*, na který se prvek odkazuje.

Pasivní obvodové prvky

prvek	značka	model	parametry
rezistor	R	R	R – odpor
konduktor	G	GR	G – vodivost
induktor	L	L	L – indukčnost
kapacitor	C	C	C – kapacita
dvojný kapacitor (Frequency Dependent Negative Resistor)	FDNR	D	D – dvojná kapacita $Y_{FDNR} = Ds^2$
vázané indukty	Mutual	M	Lp – indukčnosti primárního vinutí Ls – indukčnosti sekundárního vinutí M – vzájemná indukčnost
ideální transformátor	Transformer	IT2n	n – převodní poměr (n_2/n_1)

Elementární řízené zdroje

prvek	značka	model	parametry
zdroj napětí řízený napětím	VCVS	E	A – napěťový přenos ($A = V_{out}/V_{in}$)
zdroj proudu řízený proudem	CCCS	F	B – proudový přenos ($B = I_{out}/I_{in}$)
zdroj proudu řízený napětím	VCCS	G	G – strmost ($G = I_{out}/V_{in}$)
zdroj napětí řízený proudem	CCVS	H	W – přenosový odpor ($W = V_{out}/I_{in}$)

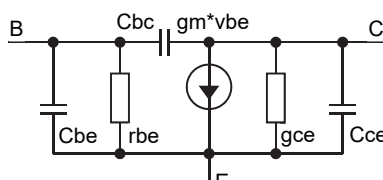
Univerzální dvojbrany

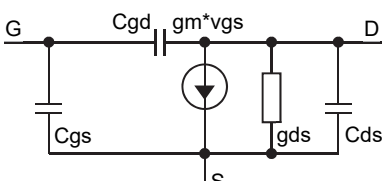
prvek	značka	model	parametry
dvojbran s kaskádní maticí A	2-port_A	X2A	a11, a12, a21, a22 $\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}$
dvojbran se zpětnou kaskádní maticí B	2-port_B	X2B	b11, b12, b21, b22 $\begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix}$
dvojbran s hybridní maticí H	2-port_H	X2H	h11, h12, h21, h22 $\begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$

dvojbran se zpětnou kaskádní maticí K	2-port_K	X2K	$k_{11}, k_{12}, k_{21}, k_{22}$ $\begin{bmatrix} I_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$
dvojbran s admitanční maticí Y	2-port_Y	X2Y	$y_{11}, y_{12}, y_{21}, y_{22}$ $\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$
dvojbran s impedanční maticí Z	2-port_Z	X2Z	$z_{11}, z_{12}, z_{21}, z_{22}$ $\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$
Obecný imitanční konvertor	GIC	XCNV	a_{11}, a_{22} $\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 \\ 0 & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}$
Obecný imitanční invertor	GII	XINV	a_{12}, a_{21} $\begin{bmatrix} V_1 \\ I_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & a_{12} \\ a_{21} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_2 \\ -I_2 \end{bmatrix}$
Blok druhého řádu	2nd	XND	a_2, a_1, a_0 – koeficienty čitatele b_2, b_1, b_0 – koeficienty jmenovatele $K = \frac{V_2}{V_1} = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}$
Blok druhého řádu s parametry f_0 a Q	2fQ	XFQ	a_2, a_1, a_0 – koeficienty čitatele Q – činitel jakosti f_0 – rezonanční kmitočet $K = \frac{V_2}{V_1} = \frac{a_2 s^2 + a_1 s + a_0}{s^2 + s \frac{\omega_0}{Q} + \omega_0^2}, \quad \omega_0 = 2\pi f_0$

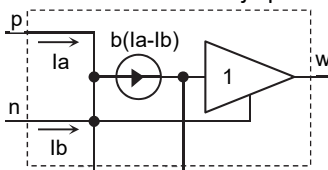
Tranzistory

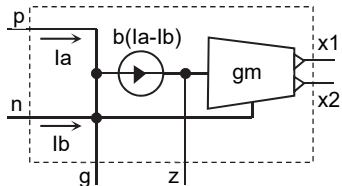
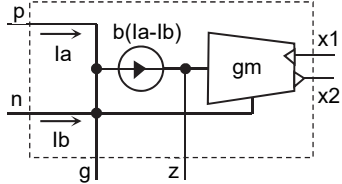
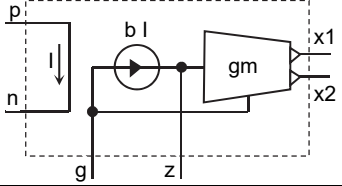
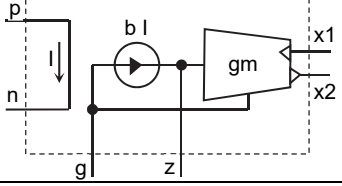
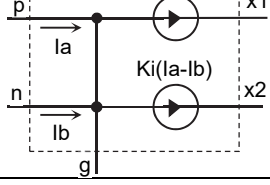
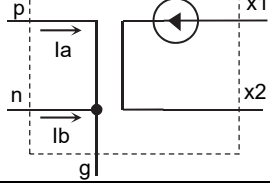
Jedná se o linearizované modely, kde polarita, resp. typ kanálu tranzistoru nehraje roli. Rozlišení NPN/PNP, resp. NMOS/PMOS je pouze z důvodu grafické podoby schématu.

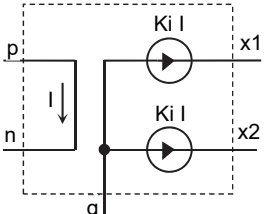
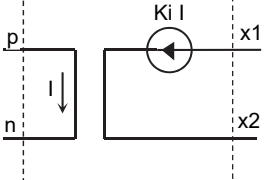
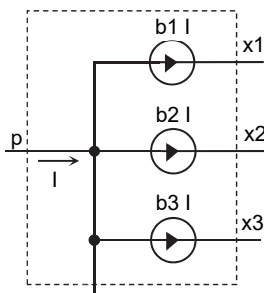
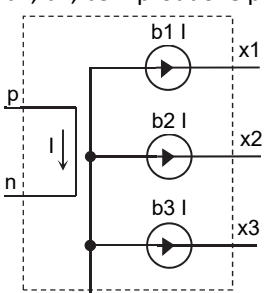
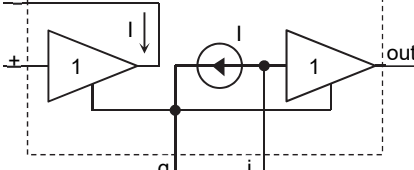
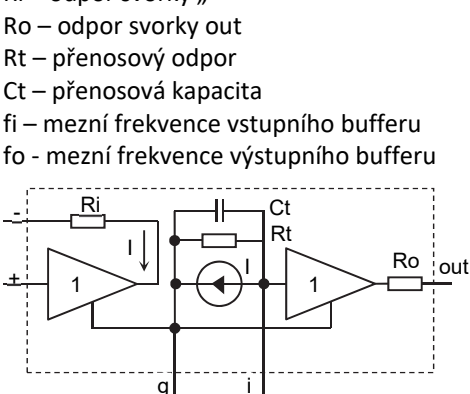
prvek	značka	model	parametry
tranzistor s H parametry v zapojení SE	BJT_HEn BJT_HEp	QH	he11, he12, he21, he22
tranzistor s Y parametry v zapojení SE	BJT_YEn BJT_YEp	QY	ye11, ye12, ye21, ye22
π - model bipolárního tranzistoru	BJT_PIn BJT_PIp	QPI	r_{be} – vstupní střídavý odpor g_m – strmost g_{ce} – výstupní vodivost C_{be}, C_{bc}, C_{ce} – mezielektrodové kapacity 

<p>π - model unipolárního tranzistoru</p>	<p>FET_PIn FET_PIp</p>	<p>MPI</p>	<p>g_m – strmost g_{ds} – výstupní vodivost C_{gs}, C_{gd}, C_{ds} – mezielektrodové kapacity</p> 
--	----------------------------	------------	---

Zesilovače

prvek	značka	model	parametry
ideální operační zesilovač	OPA	OPA	
jednopólový model operačního zesilovače	OPA_f1	Of1	<p>A – stejnosměrné zesílení GBW – jednotková šířka pásma ($\omega_t = 2\pi GBW$) Ro – výstupní odpor zesílení naprázdno: $K_0 = \frac{A}{1 + sA/\omega_t}$</p>
dvoupólový model operačního zesilovače	OPA_f2	Of2	<p>A – stejnosměrné zesílení GBW – jednotková šířka pásma ($\omega_t = 2\pi GBW$) f2 – kmitočet druhého lomu ($\omega_2 = 2\pi f_2$) Ro – výstupní odpor zesílení naprázdno: $K_0 = \frac{A}{(1 + sA/\omega_t)(1 + s/\omega_2)}$</p>
jednotkový napěťový zesilovač	Buffer	BUF	
napěťový zesilovač	Vamp	AMP	A – zesílení
čtyřvstupový sumační zesilovač	Vsum4	E4	A1, A2, A3, A4 – přenosy ze vstupů 1 až 4
operační trans-kondukanční zesilovač	OTA	OTA	g_m – strmost ($I_{out} = g_m V_{in}$)
dvouvýstupový OTA	OTA2	G2	g_{m1}, g_{m2} – strmosti ($I_{out1} = g_{m1} V_{in}, I_{out2} = g_{m2} V_{in}$)
třívýstupový OTA	OTA3	G3	g_{m1}, g_{m2}, g_{m3} – strmosti ($I_{out1} = g_{m1} V_{in}, I_{out2} = g_{m2} V_{in}, I_{out3} = g_{m3} V_{in}$)
operační trans-kondukanční zesilovač s diferenčními výstupy	BOTA	BOTA	g_m – strmost ($I_{out} = g_m V_{in}$)
prvek CDBA (Current Differencing Buffered Amplifier)	CDBA	XCDBA	<p>b – zisk interního zdroje proudu</p> 

prvek CDTA (Current Differencing Transconductance Amplifier) souhlasný výstup	CDTA	XCDTA	b – zisk interního zdroje proudu gm – transkonduktance 
prvek CDTA (Current Differencing Transconductance Amplifier) diferenční výstup	CDTA+-	XCDTAPN	b – zisk interního zdroje proudu gm – transkonduktance 
prvek CTTA (Current Through Transconductance Amplifier) souhlasný výstup	CTTA	XCTTA	b – zisk interního zdroje proudu gm – transkonduktance 
prvek CTTA (Current Through Transconductance Amplifier) diferenční výstup	CTTA+-	XCTTAPN	b – zisk interního zdroje proudu gm – transkonduktance 
proudový zesilovač diferenční vstup souhlasný výstup	CA_DICO	XCADICO	Ki – proudové zesílení 
proudový zesilovač diferenční vstup diferenční výstup	CA_DIDO	XCADIDO	Ki – proudové zesílení 

<p>proudový zesilovač průchozí vstup souhlasný výstup</p>	<p>CA_TICO</p>	<p>XCATICO</p>	<p>K_i – proudové zesílení</p> 
<p>proudový zesilovač průchozí vstup diferenční výstup</p>	<p>CA_TIDO</p>	<p>XCATIDO</p>	
<p>proudový rozbočovač jednoduchý vstup mnohonásobný výstup</p>	<p>CS_SIMO</p>	<p>XCSSIMO</p>	<p>b_1, b_2, b_3 – proudové přenosy</p> 
<p>proudový rozbočovač průchozí vstup mnohonásobný výstup</p>	<p>CS_TIMO</p>	<p>XCASTIMO</p>	<p>b_1, b_2, b_3 – proudové přenosy</p> 
<p>Ideální operační zesilovač s proudovou zpětnou vazbou</p>	<p>CFA</p>	<p>CFA</p>	
<p>Reálný operační zesilovač s proudovou zpětnou vazbou</p>	<p>CFA_real</p>	<p>CFAr</p>	<p>R_i – odpor svorky „-“ R_o – odpor svorky out R_t – přenosový odpor C_t – přenosová kapacita f_i – mezní frekvence vstupního bufferu f_o – mezní frekvence výstupního bufferu</p> 

Konvejořy

a) trojbranove

prvek	značka	model	parametry
univerzální trojbranovy proudový konvertor	GCC3	GCC3	A1, A2, B1, B2 (obr. B.1)
proudový konveřor 1. generace +	CCI+	GCC3	A1=1 A2=0 B1=1 B2=1
proudový konveřor 1. generace -	CCI-	GCC3	A1=1 A2=0 B1=1 B2=-1
proudovy konveřor 2. generace +	CCII+	GCC3	A1=1 A2=0 B1=0 B2=1
proudovy konveřor 2. generace -	CCII-	GCC3	A1=1 A2=0 B1=0 B2=-1
proudovy konveřor 3. generace +	CCIII+	GCC3	A1=1 A2=0 B1=-1 B2=1
proudovy konveřor 3. generace -	CCIII-	GCC3	A1=1 A2=0 B1=-1 B2=-1
invertujıcı proudovy konveřor 1. generace +	ICCI+	GCC3	A1=-1 A2=0 B1=1 B2=1
invertujıcı proudovy konveřor 1. generace -	ICCI-	GCC3	A1=-1 A2=0 B1=1 B2=-1
invertujıcı proudovy konveřor 2. generace +	ICCI+	GCC3	A1=-1 A2=0 B1=0 B2=1
invertujıcı proudovy konveřor 2. generace -	ICCI-	GCC3	A1=-1 A2=0 B1=0 B2=-1
invertujıcı proudovy konveřor 3. generace +	ICCI+	GCC3	A1=-1 A2=0 B1=-1 B2=1
invertujıcı proudovy konveřor 3. generace -	ICCI-	GCC3	A1=-1 A2=0 B1=-1 B2=-1
univerzální trojbranovy napeřovy konvertor	GVC3	GVC3	A1, A2, B1, B2 (obr. B.2)

b) ˇtyřbranove

univerzální ˇtyřbranovy proudovy konvertor	GCC4	GCC4	A1, A2, A3, B1, B2, B3 (obr. B.3)
proudovy konveřor CCI se dvema vıstupy	CCI+/-	GCC4	A1=1 A2=0 A3=0 B1=1 B2=1 B3=-1
proudovy konveřor CCII se dvema vıstupy	CCII+/-	GCC4	A1=1 A2=0 A3=0 B1=0 B2=1 B3=-1
proudovy konveřor CCIII se dvema vıstupy	CCIII+/-	GCC4	A1=1 A2=0 A3=0 B1=-1 B2=1 B3=-1
invertujıcı proudovy konveřor CCI se dvema vıstupy	ICCI+/-	GCC4	A1=-1 A2=0 A3=0 B1=1 B2=1 B3=-1
invertujıcı proudovy konveřor CCII se dvema vıstupy	ICCI+/-	GCC4	A1=-1 A2=0 A3=0 B1=0 B2=1 B3=-1
invertujıcı proudovy konveřor CCIII se dvema vıstupy	ICCI+/-	GCC4	A1=-1 A2=0 A3=0 B1=-1 B2=1 B3=-1
zobecnely napeřovy konveřor	GVC4	GVC4	A = 1, C = 1 (obr. B.4)

V pıpade ˇtyřbranovych proudovych konveřor z tabulky b) se svorka w univerzálního prvku GCC4 uvařuje jako vıstupnı a je oznaˇcena jako z.

c) pětibranové

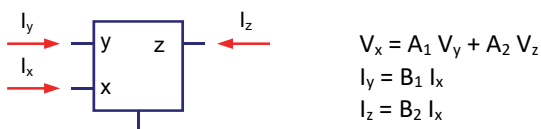
prvek DVCC – obr. B.5	DVCC	GCC5	A1=1 A2=-1 A3=0 A4=0 B1=0 B2=0 B3=1 B4=-1
-----------------------	------	------	--

d) šestibranové

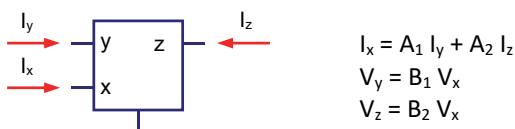
prvek UVC – obr. B.6	UVC	UVC	
----------------------	-----	-----	--

d) osmibranové

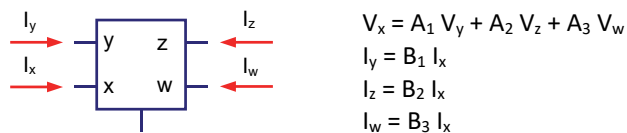
univerzální proudový konvektor obr. B.7	GUCC	GUCC	A1=1 A2=-1 A3=1 B1=1 B2=1
univerzální napěťový konvektor obr. B.8	GUVC	GUVC	A1=1 A2=-1 A3=1 B1=1 B2=1



Obr. B.1 Model trojbranového proudového konvektoru GCC3

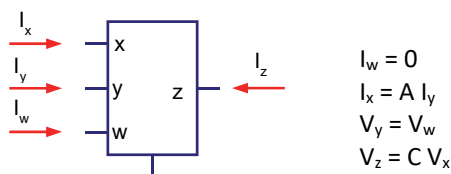


Obr. B.2 Model trojbranového napěťového konvektoru GVC3

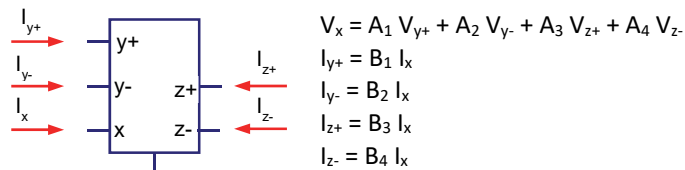


Vhodným nastavením parametru je možné svorku w definovat jako vstupní (y) nebo výstupní (z).

Obr. B.3 Model čtyřbranového proudového konvektoru GCC4

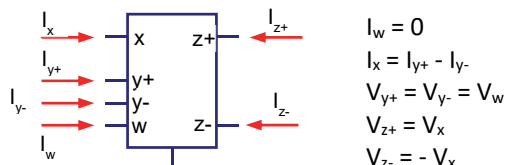


Obr. B.4 Model čtyřbranového napěťového konvektoru GVC4

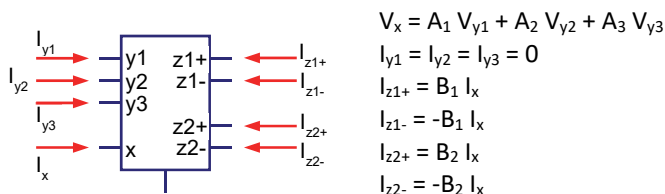


Označení svorek odpovídá DVCC.

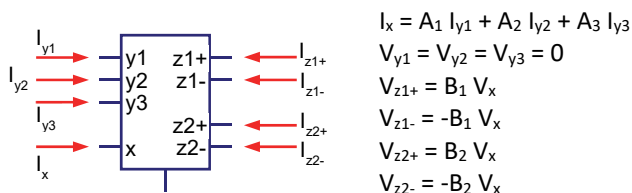
Obr. B.5 Model pětibranového proudového konvertoru GCC5



Obr. B.6 Model pětibranového napěťového konvejeoru UVC



Obr. B.7 Model univerzálního proudového konvejeoru GUCC



Obr. B.8 Model univerzálního napěťového konvejeoru GUVC

Seznam použité literatury

- [1] POSPÍŠIL, J. – DOSTÁL, T.: Teorie elektronických obvodů. Skriptum VUT v Brně, 1997.
- [2] VRBA, K.-VRBA, K. ml.: Technika analogových obvodů a systému. Sbíрка příkladů. Skriptum VUT Brno, 1989.
- [3] KOLKA, Z.: Analýza elektronických obvodů programem PSpice. Elektronický učební text FEKT VUT v Brně, 2002.