

# Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

*redakce nakladatelství BEN – technická literatura*  
[redakce@ben.cz](mailto:redakce@ben.cz)



$$G[2]_{\substack{2>3:2>3 \\ (2>0:0>0)}} \quad (2.10)$$

a tedy má 0 přejít na 0 , jak to předepisuje vztah v závorkách:  $0>0$  , což nelze a proto ani rozvoj neexistuje.

Proto tedy  $\Delta_{1:3} = G[1]$ .

### 2.1.3 Stanovení znaménka

Je-li determinant (obecného tvaru)  $\Delta = \begin{vmatrix} a & b & c \\ d & e & f \\ g & h & i \end{vmatrix}$  rozvíjen například takto:

$$\Delta_{3>0:2>1} = \begin{vmatrix} a+b & 0 & c \\ d+e & 0 & f \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = [(a+b).f - (d+e).c](-1)^{3+2} = -[(a+b).f - (d+e).c] \quad (2.11)$$

má tedy znaménko záporné, zatímco při rozvoji:

$$\Delta_{3>0:1>2} = \begin{vmatrix} 0 & b+a & c \\ 0 & e+d & f \\ 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} = [(b+a).f - (e+d).c](-1)^{1+3} = +[(a+b).f - (d+e).c] \quad (2.12)$$

je výsledné znaménko kladné.

Je tedy vidět, že změna pořadí indexů (z:  $2 > 1$  na:  $1 > 2$ ) vyvolává změnu znaménka determinantu.

Algoritmus pro stanovení znaménka je proto následující:

Sepíš se postupně všechny vynechávané indexy, a jejich pořadí se následně seřadí (a to výměnou ve dvojicích) tak, aby indexy tvořily vzestupnou posloupnost. Počtem záměn  $\alpha$  se umocní číslo:  $-1$ , čímž se obdrží hledané znaménko z vícenásobné redukce, a mající tedy hodnotu  $(-1)^\alpha$ .

Konkrétně pro předchozí případ rozvoje podle obvodového prvku  $G[1]$  tedy bude:

$$\begin{aligned} & \tilde{Y}_{3>0:2>4} \\ & \Delta_{1>0:3>0} \\ & \Delta_{4>0:4>0} \\ & G[1]_{\substack{1>2:1>2 \\ \{0>2:1>0\} \\ (2>0:1>0)}} \end{aligned}$$

kde dvojnásobný doplněk:  $\Delta_{1>0,4>0:3>0,4>0}$  byl rozepsán do dvou:  $\Delta_{1>0:3>0}$  a  $\Delta_{4>0:4>0}$ . Počáteční posloupnost indexů vynechávaných řádků  $R(I)$  a sloupků  $S(I)$  je tedy:

$$R(I): \begin{array}{c} 3 \\ 1 \\ 4 \\ 2 \end{array} \quad S(I): \begin{array}{c} 2 \\ 3 \\ 4 \\ 1 \end{array}$$

a netvoří vzestupnou posloupnost. Té lze docílit pro  $R(I)$  třemi záměnami a pro  $S(I)$  pak taktéž třemi záměnami:

$$\begin{array}{r}
 R(I): \begin{array}{cccc} 3 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 3 & 2 \\ 4 & 4 & 2 & 3 \\ 2 & 2 & 4 & 4 \end{array} \\
 S(I): \begin{array}{cccc} 2 & 2 & 2 & 1 \\ 3 & 3 & 1 & 2 \\ 4 & 1 & 3 & 3 \\ 1 & 4 & 4 & 4 \end{array}
 \end{array}$$

takže znaménko prvku  $G[1]$  bude  $(-1)$  umocněno na celkový počet záměn v polích  $R(I)$  a  $S(I)$  tj.:

$$(-1)^{3+3} = (-1)^6 = +1 \quad (2.13)$$

přičemž však, protože prvek  $G[1]$  má ( sám o sobě ) znaménko záporné , neboť během rozvoje u prvku  $G[1]$  nastala jedna záměna ( z  $0 > 2$  na  $2 > 0$  ), tedy  $\begin{matrix} \{0>2:1>0\} \\ \{2>0:1>0\} \end{matrix}$  , takže výsledné znaménko doplňku bude:

$$\Delta_{1>0,4>0:3>0,4>0} = -G[1](-1)^6 = -G[1] \quad (2.14)$$

Stejného výsledku lze evidentně docílit i tím, že se provede tolik záměn vynechaných čísel sloupců, aby pořadí (tj. indexy) vynechávaných sloupců odpovídalo pořadí vynechávaných indexů řádků.

Pak bude:

$$\begin{array}{r}
 R(I): \begin{array}{cccc} 3 & & & \\ 1 & & & \\ 4 & & & \\ 2 & & & \end{array} \\
 S(I): \begin{array}{cccc} 2 & 3 & 3 & 3 \\ 3 & 2 & 4 & 4 \\ 4 & 4 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 2 \end{array}
 \end{array}$$

čili v poli  $S(I)$  bylo nutno provést čtyři záměny aby pořadí vynechávaných řádků a sloupců bylo stejné.

Proto znaménko prvku  $G[1]$  bude  $(-1)$  umocněno na celkový počet záměn v poli  $S(I)$ , tj.:

$$(-1)^4 = +1 \quad (2.15)$$

přičemž však, protože prvek  $G[1]$  má ( sám o sobě ) znaménko záporné , neboť během rozvoje u prvku  $G[1]$  nastala jedna záměna ( z  $0 > 2$  na  $2 > 0$  ), tedy  $\begin{matrix} \{0>2:1>0\} \\ \{2>0:1>0\} \end{matrix}$  , takže výsledné znaménko doplňku bude :

$$\Delta_{1>0,4>0:3>0,4>0} = -G[1](-1)^4 = -G[1] \quad (2.16)$$

Tento výsledek odpovídá výsledku získanému pro hodnotu determinantu  $\Delta_{1,4:3,4}$  vícenásobnými algebraickými doplňky, jak lze snadno shledat z determinantu admitanční matice obvodu z obrázku 2.1, majícího tvar:

$$\tilde{\Delta} = \begin{vmatrix} G[1] & -G[1] & 0 \\ -G[1] & G[1]+G[2] & -G[2] \\ 0 & -G[2] & G[2] \end{vmatrix} \quad (2.17)$$

který po redukci operačním zesilovačem bude:

$$\Delta = \begin{vmatrix} G[1] & 0 \\ -G[1] & -G[2] \end{vmatrix} \quad (2.18)$$

odkud již

$$\Delta_{1>0,4>0;3>0,4>0} = \Delta_{1,4,3,4} = -G[1](-1)^2 = -G[1] \quad (2.19)$$

neboť mezi vynechávanými indexy (1, 4, 3, 4) jsou dvě lichá čísla.

## 2.2 Program COCO10

Samospustitelný soubor COCO10.EXE délky 48 kB komunikuje při vkládání dat, která reprezentují kódy obvodových prvků, jejich indexy a čísla uzlů, mezi něž jsou připojeny, interaktivním tj. dialogovým způsobem: otázka–odpověď.

Výstupem je čísel a jmenovatel přenosové funkce, kde výsledky jsou ve tvaru polynomů jejichž proměnnou je operátor (komplexní kmitočet) označený:  $p$ , a jejichž koeficienty jsou výrazy složené z kódů obvodových prvků v symbolickém tvaru, tedy vlastně mocniny:  $p$  násobené kódem prvků s patřičnými indexy. Maximální hodnota indexu je 39.

Pro specifikaci obvodových prvků jsou určeny tyto kódy:

**R, G** ... pro rezistor

**C** ..... pro kapacitor

**L** ..... pro induktor

**T** ..... pro tranzistor (který je nutno popsat INDEXem a 4 UZLY ?)  
charakterizovaným admitančními  $y$  – parametry

**ZPN** .... pro zdroj proudu řízený napětím, popsáným strmostí  $S$

**A** ..... pro ideální operační zesilovač (amplifier) s  $A_U \rightarrow \infty$ , a s  $A_I \rightarrow \infty$ .

Popis schématu obvodu se ukončí kódem: **0**.

Zvolí-li se výpočet dvojbranu

### 1 - DVOJBRAN

lze vypočítat buďto všechny algebraické doplňky volbou: **2** nebo jednotlivé doplňky volbou: **3** až: **8**.

Zvolí-li se speciální algebraický doplněk:

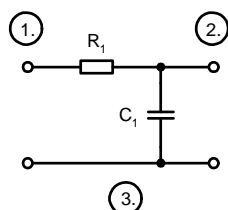
### 3 – SPECIÁLNÍ ALG. DOPLNĚK

pak na výzvu **ŘÁDKY** se (například) operace: **A > B** zadá stiskem kláves:

### A, B ENTER

a konec operací s řádky se zadá pomocí dvou nul: **0, 0 ENTER**. Stejně se zadají i operace se sloupky.

Například při symbolické analýze jednoduchého integračního RC článku, majícího podle schématu na obr.2.2 celkem 3 uzly, přičemž rezistor  $R_1$  je mezi uzly: 1. a: 2., kapacitor  $C_1$  je pak mezi uzly: 2. a: 3., pak probíhá po spuštění programu dialog takto:



Obr.2.2 Schéma obvodu RC článku k příkladu symbolické analýzy programem COCO10.EXE

Spolu s hlavičkou programu se zobrazí dotaz na zapnutou tiskárnu podle obr.2.3.

```

C:\DOCUME~1\VSP\Plocha\SIMUL~1.PRO\COCO10.EXE
<C> CAJKA,J.-FENCL,F.:FE UUT BRNO
COCO U.10 - 15.6.1992
TISKARNA ZAPNUTA?  A/N

```

Obr.2.3 Úvodní zobrazení

Po odpovědi: N se zobrazí dotaz na počet uzlů obvodu podle obr.2.4.

```

C:\DOCUME~1\VSP\Plocha\SIMUL~1.PRO\COCO10.EXE
<C> CAJKA,J.-FENCL,F.:FE UUT BRNO
COCO U.10 - 15.6.1992
TISKARNA ZAPNUTA?  A/N
POCET UZLU?  _

```

Obr.2.4 Okno s dotazem na počet uzlů

Obvod z obr.2.2 má celkem 3 uzly, po stisku: **3** a stisku **ENTER** se objeví dotaz na kód (prvního) obvodového prvku podle obr.2.5.

```

C:\DOCUME~1\VSP\Plocha\SIMUL~1.PRO\COCO10.EXE
<C> CAJKA,J.-FENCL,F.:FE UUT BRNO
COCO U.10 - 15.6.1992
TISKARNA ZAPNUTA?  A/N
POCET UZLU?  3
KOD OBU .PRUKU?  _

```

Obr.2.5 Okno s dotazem na kód ( prvního ) obvodového prvku

Stiskem kláves: **R ENTER** se zadá rezistor podle obr.2.6.

```

C:\DOCUME~1\VSP\Plocha\SIMUL~1.PRO\COCO10.EXE
<C> CAJKA,J.-FENCL,F.:FE UUT BRNO
COCO U.10 - 15.6.1992
TISKARNA ZAPNUTA?  A/N
POCET UZLU?  3
KOD OBU .PRUKU?  R
INDEX, 2 UZLY?

```

Obr.2.6 Okno s dotazem na uzly, mezi něž je prvek : R připojen

Následuje podle obr. 2.6 dotaz na index tohoto rezistoru a (dva) uzly, mezi něž je připojen. Zadá se posloupnost:

**1,1,2 ENTER**

znamenající že zadávaný rezistor je  $R_1$  (tj. má index 1), a je připojen mezi uzly: 1 a 2.

```

C:\DOCUME~1\VSP\Plocha\SIMUL~1.PRO\COCO10.EXE
<C> CAJKA,J.-FENCL,F.:FE UUT BRNO
COCO U.10 - 15.6.1992
TISKARNA ZAPNUTA?  A/N
POCET UZLU?  3
KOD OBU .PRUKU?  R
INDEX, 2 UZLY?  1,1,2
1  R[1]  1  2  P^(+0)
KOD OBU .PRUKU?  _

```

Obr.2.7 Okno s kontrolním zobrazením zadaných hodnot

Objeví se kontrolní zobrazení:

**1 R[1] 1 2 P^(+0)**

v němž symbol  $P^{(0)}$  vyznačuje, že impedance rezistoru není kmitočtově závislá (tj. vlastně že platí:  $R.p^0$ ). Ihned následuje dotaz na zadání dalšího obvodového prvku.

Stiskem kláves:

**C ENTER**

Z takto získané znalosti polohy nulových bodů a pólů lze pak přesněji rozhodnout o stabilitě analyzovaného obvodu, nežli prostřednictvím časové analýzy, čímž je vymezeno poslání semisymbolické analýzy.

Semisymbolickou analýzou získané kořenové činitele:  $p$  lze zapsat jako tvar reálné a imaginární složky:

$$p = \delta \pm j\omega \quad (3.49)$$

a průběh napětí obecně je:

$$u = U \cdot e^{-p \cdot t} = U \cdot e^{-(\delta \pm j\omega) \cdot t} = U \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot e^{-j\omega \cdot t} \quad (3.50)$$

kde člen:  $e^{-j\omega \cdot t}$  užitím Eulerovy věty:  $e^{j\alpha} = \cos \alpha + j \sin \alpha$  představuje harmonický průběh, pak průběh napětí bude:

$$u = U \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot (\cos \omega t - j \sin \omega t) \quad (3.51)$$

a podle hodnoty tzv. činitele tlumení mohou nastat následující tři stavy:

$\delta > 0$ , pak vzniknou tlumené kmity s klesající amplitudou, jedině v tomto případě je obvod stabilní,

$\delta = 0$ , což popisuje netlumené kmity s konstantní amplitudou a

$\delta < 0$ , což popisuje kmity se vzrůstající amplitudou, v obou posledních případech je pak analyzovaný obvod nestabilní. Tyto výsledky jsou přehledně shrnuty na obr.3.5.

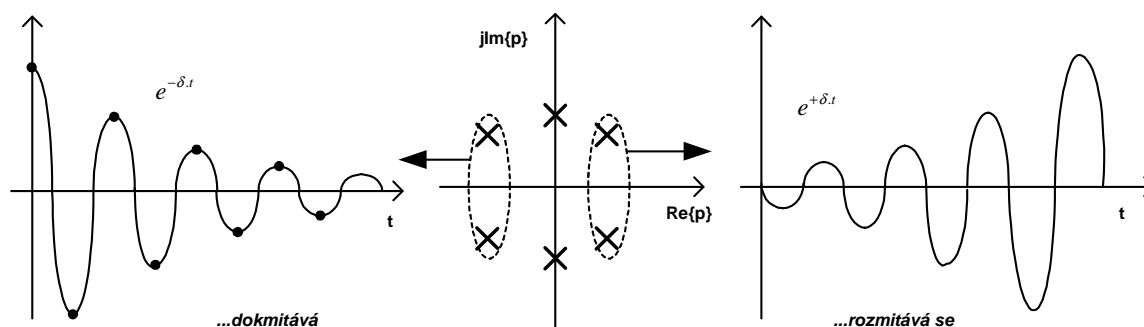
Již na základě znaménka reálné části kořene  $p = \delta \pm j\omega$  lze tedy rozhodnout o stabilitě obvodu, příslušné kořeny jsou přitom hledanými vlastními čísly.

Například pro integrační členek s  $R = 1 \text{ k}\Omega$  a  $C = 1 \text{ }\mu\text{F}$  vychází přenosová funkce ve tvaru:  $\frac{1}{1 + p \cdot 10^{-3}}$  a po úpravě:

$$\frac{1}{1 + p \cdot 10^{-3}} = \frac{10^3}{10^3} \cdot \frac{1}{1 + p \cdot 10^{-3}} = 10^3 \cdot \frac{1}{p + 10^3} \quad (3.52)$$

do tvaru  $10^3 \cdot \frac{1}{p + 10^3}$  se položí jmenovatel roven nule a ze vztahu  $p + 10^3 = 0$  plyne  $p = -10^3$

Ze znaménka jejich reálné složky lze proto velmi přesně rozhodnout, zda daný obvod je stabilní či ne (zde  $p = -10^3$ ,  $p$  je tedy záporné, pól leží v levé polorovině a obvod je proto stabilní, neboť exponenciální křivka  $e^{-10^3}$  konverguje k nule).



Obr.3.5 Rozložení nulových bodů a pólů

### 3.6 Program SESYCO

V programu pro semisymbolickou analýzu SESYCO [20] se jednotlivé obvodové prvky postupně zapisují do matice  $\mathbf{Y} = \mathbf{G} + p \mathbf{B}$  (kde obě matice:  $\mathbf{G}$ ,  $\mathbf{B}$  mají rozměr  $N \times N$  zvětšený o počet indukčností  $L$  a zmenšený o počet operačních zesilovačů) následujícími přiřazovacími příkazy pro:

- prvky neměnicí rozměr matic:

- o rezistor s odporem: R

$$G_{KK} = G_{KK} + \frac{1}{R}$$

$$G_{KL} = G_{KL} - \frac{1}{R}$$

$$G_{LK} = G_{LK} - \frac{1}{R}$$

$$G_{LL} = G_{LL} + \frac{1}{R}$$

- o kapacitor

$$B_{KK} = B_{KK} + C$$

$$B_{KL} = B_{KL} - C$$

$$B_{LK} = B_{LK} - C$$

$$B_{LL} = B_{LL} + C$$

- o unipolární tranzistor (s elektrodami Gate: G, emitor: E, Colector: C) mající strmost  $y_{21}$ :

$$G_{CG} = G_{CG} + y_{21}$$

$$G_{CE} = G_{CE} - y_{21}$$

$$G_{EG} = G_{EG} - y_{21}$$

$$G_{EE} = G_{EE} + y_{21}$$

- prvek zvětšující rozměr matice (indukčnost L s odporem R, pro nulový odpor se  $G_{NN}=0$ ):

$$G_{KN} = G_{NK} = -1$$

$$G_{LN} = G_{NL} = 1$$

$$B_{NN} = -L$$

$$G_{NN} = -R$$

- prvek snižující rozměr matice:

- o ideální operační zesilovač se vstupy v uzlech: K , L a s výstupem v uzlu: P, uzel: Q je společný:

$$Y_{:L} = Y_{:L} + Y_{:K}$$

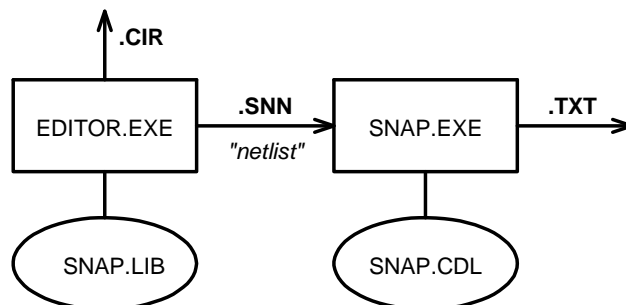
$$Y_{Q:} = Y_{Q:} + Y_{P:}$$

vypustit řádek  $Y_{P:}$  a sloupek  $Y_{:K}$ .

Proto se zavádí zjednodušení výsledku tím, že se prostě zanedbají členy, které jsou násobeny velmi malými koeficienty.

## 4.2 Popis programu SNAP

Strukturu programu ukazuje obr.4.1.



Obr.4.1 Struktura programu SNAP

Schéma analyzovaného obvodu se nejprve nakreslí ve schematickém editoru EDITOR.EXE a je zde konvertováno do popisky obvodu v textovém souboru, zvaném netlist, vyznačujícím se příponou **.snn** a obsahujícím všechny informace o typu součástek obvodu a způsobu jejich propojení.

Lze jej nalézt ve stejném adresáři, kam se uloží schéma (tj. soubor s příponou **.cir**).

Program EDITOR.EXE ke své činnosti využívá textový ASCII soubor SNAP.LIB, v němž jsou definovány schematické značky prvků obvodu a jejich zadávané parametry. Vytvořené schéma lze uložit do souboru s příponou **.cir** (jako circuit).

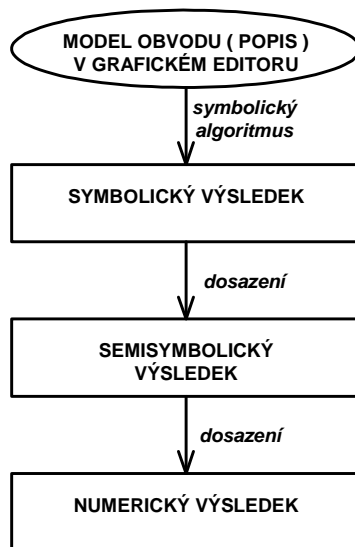
Po vytvoření tohoto schématu se spustí vlastní analyzační program SNAP.EXE, který využívá (dalšího) pomocného textového ASCII souboru, ve kterém jsou uloženy informace o matematických modelech obvodových prvků, když ke každému prvku je definována jeho příslušná matice, tj. jeho razítko. Příklady jsou v tabulce 4.1 :

Tab.4.1 Matice a razítko charakteristických prvků

PRVEK :	ZNAČKA :	MATICE :
rezistor	R	$I_A : \begin{bmatrix} \frac{1}{R} & -\frac{1}{R} \\ -\frac{1}{R} & \frac{1}{R} \end{bmatrix}$ $I_B :$
ideální operační zesilovač	OPA	$I_A : \begin{bmatrix} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{bmatrix}$ $I_B : \begin{bmatrix} & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{bmatrix}$ $I_C : \begin{bmatrix} & & & 1 \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{bmatrix}$ $I_D : \begin{bmatrix} & & & -1 \\ & & & \\ & & & \\ & & & \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} +1 & -1 & & \end{bmatrix}$

Vzájemné vazby částí programu pak ukazuje obr.4.2.

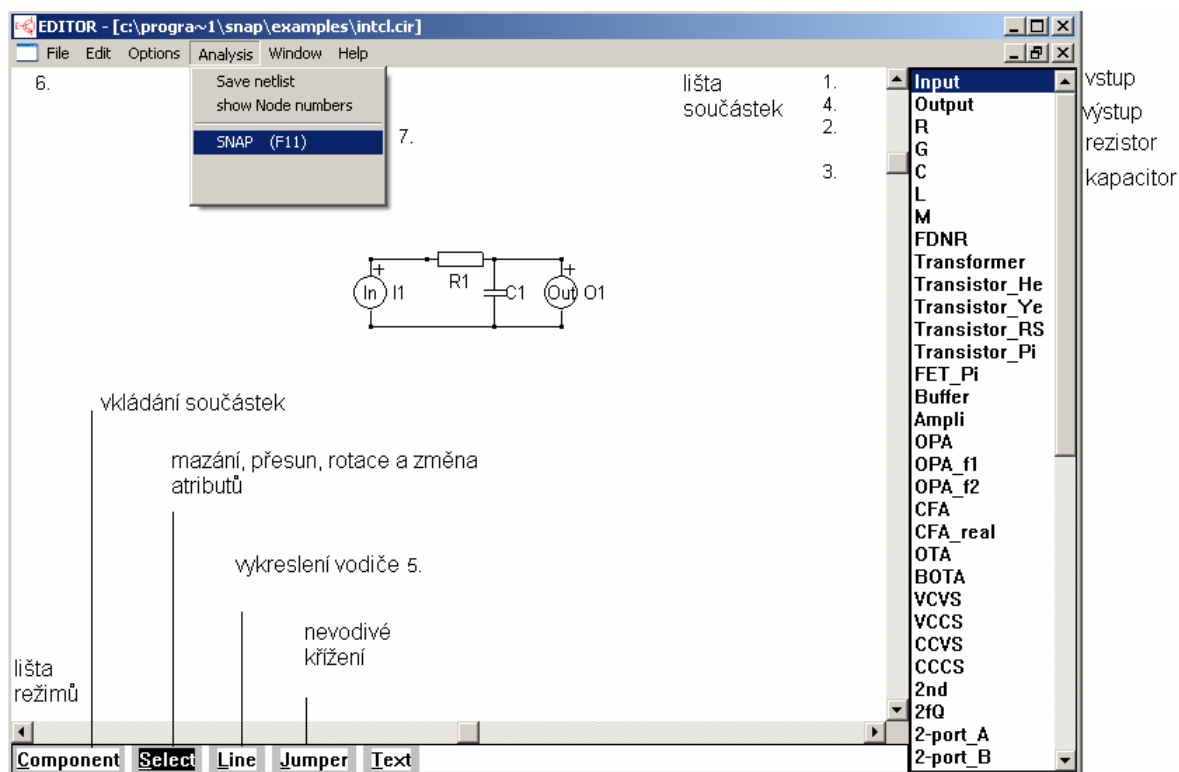




Obr.4.2 Složení programu

### 4.3 Symbolická analýza

Po spuštění souboru EDITOR.EXE se objeví okno, obsahující pracovní plochu pro kreslení schématu obvodu, nahoře lištu nabídky funkcí, vpravo lištu součástek a dole lištu režimů, které je na obr.4.3



Obr.4.3 Okno EDITOR.EXE

Při kreslení schématu se klepne levým tlačítkem myši do lišty (sloupce) součástek na položku součástky (R – rezistor), čímž editor přejde do režimu COMPONENT . Pak se kurzor přesune na pracovní plochu, zmáčkne a drží se levé tlačítko, na místě kurzoru se objeví schématická značka, po nalezení patřičné polohy se levé tlačítko uvolní, čímž se značka umístí.

Natočení součástky o 90° se provede klepnutím na pravé tlačítko myši (před uvolněním tlačítka levého).

Například při analýze integračního RC článku se nejprve dle obr.5.4 umístí (1.) vstupní brána **Input** , potom (2.) rezistor **R** , dále (3.) kapacitor **C** a nakonec (4.) výstupní brána **Output** .

Vodič se vykreslí (5.) po přepnutí do režimu **LINE** na spodní liště. Kurzor se umístí do výchozí polohy, zmáčkne a drží se levé tlačítko myši a táhnutím se přemístí do koncového bodu , kde se tlačítko myši uvolní.

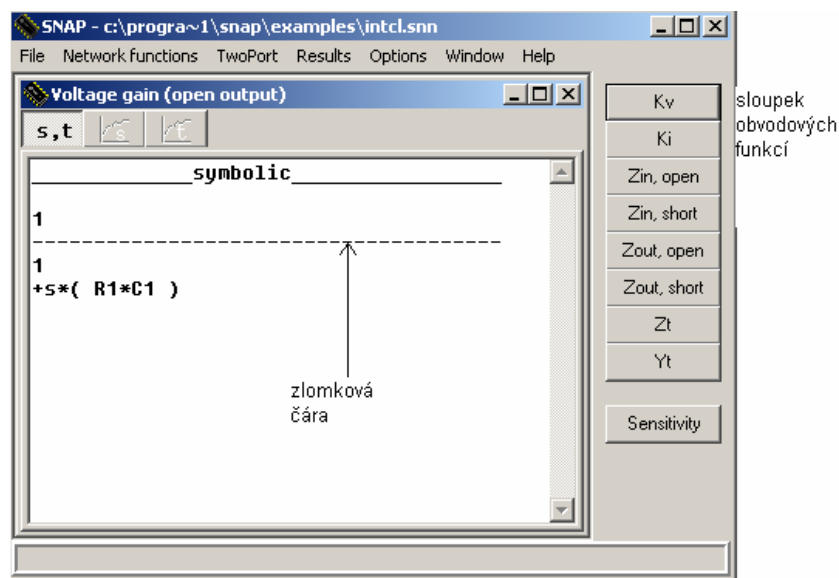
Nevodivého křížení vodičů lze dosáhnout umístěním značky **JUMPER** tak, že nejprve se tato značka umístí tam, kde má dojít k nevodivému křížení se stávajícím vodičem a až poté se k ní přivedou zbylé vodiče.

**TEXT** slouží k umístění nápíisů a poznámek.

Vytvořené schéma se (6.) uloží například do adresáře

### PROGRAMY

a pak lze (7.) spustit vlastní analýzu spuštěním programu SNAP.EXE .



Obr.4.4 Okno SNAP.EXE s výsledkem symbolické analýzy

Okno s výsledkem symbolické analýzy programem SNAP.EXE , které ukazuje obr.3.4, obsahuje vpravo sloupek s nabídkou obvodových funkcí ( které lze vypočítat ), například stiskem  $K_v$  se zvolí výpočet přenosu napětí, jehož symbolický výsledek ( tzn. výsledek obsahující symboly obvodových prvků, na tomto přenosu napětí se podílejších ) je znázorněn jako zlomek, zde

$$K_v = \frac{1}{1 + s \cdot R_1 \cdot C_1} \quad (4.15)$$

kde  $s = j\omega$  .

Soupis prvků v souboru **.snn** je tvaru

R_R1	1	2	R1
C_C1	2	3	C1
I_I1	1	3	
O_01	2	3	