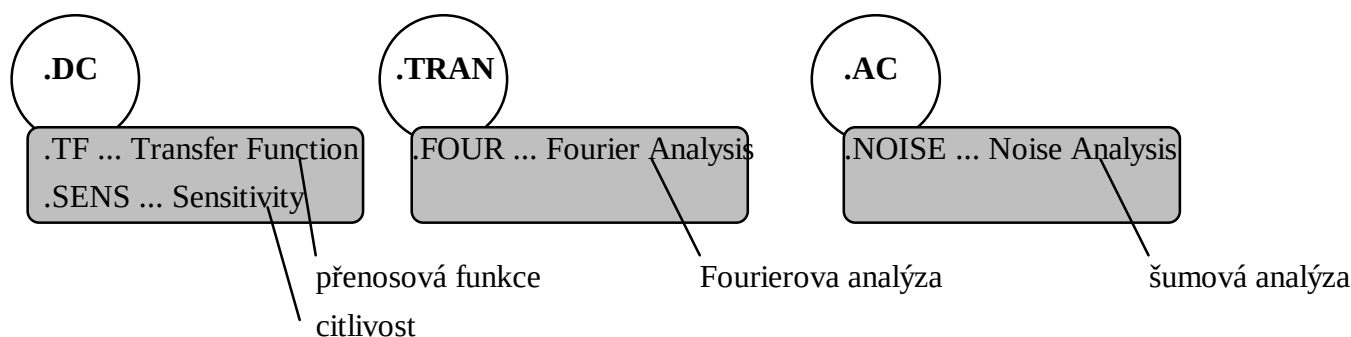


Rozšiřující analýzy = analýzy rozšiřující možnosti základních analýz DC, TRANSIENT, AC



.TF – Transfer Function – Přenosová funkce

SPICE nejprve linearizuje obvod v okolí ss. pracovního bodu a pak počítá malosignálové stejnoseměrné obvodové funkce. Akumulační prvky jsou při této analýze ignorovány. Znamená to, že vlastně počítáme nízkofrekvenční linearizované parametry obvodu jako jsou střídavá zesílení, střídavý vstupní odpor apod. v pásmu velmi nízkých kmitočtů.

Syntaxe:

.TF <výstupní veličina> <název vstupního zdroje>

↑
↑
 V nebo I; když I, tak proud tekoucí zdrojem napětí

Výsledky jsou k dispozici pouze ve výstupním souboru. Počítají se tyto přenosové funkce:

Výstupní veličina/(V nebo I vstupního zdroje)

Vstupní odpor (na svorkách vstupního zdroje)

Výstupní odpor (na svorkách definovaných výstupní proměnnou)

SPICE provede velmi malou změnu *DC* hodnoty vstupního zdroje a vyhodnocuje vyvolanou změnu výstupní veličiny. Podíl změny výstupní a vstupní veličiny je přenosová funkce.

Vstupní odpor program zjišťuje tak, že provede velmi malou změnu *DC* hodnoty vstupního zdroje a vyhodnotí vyvolanou změnu proudu, resp. napětí zdroje (závisí na tom, jde-li o zdroj napětí nebo proudu). Vstupní odpor je poměrem obou hodnot.

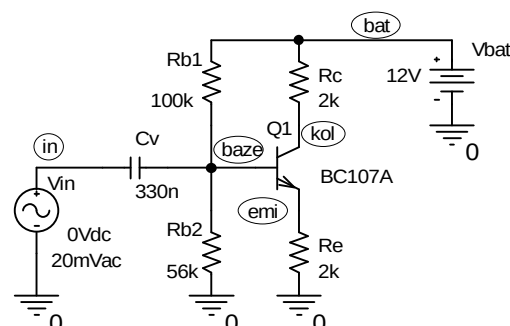
Pro výpočet výstupního odporu SPICE nejprve zapojí pomocný zdroj napětí mezi svorky, které jsou definovány výstupní veličinou. Je-li například veličina ve tvaru *V(5,2)*, zdroj se připojí mezi uzly 5 a 2. V druhé fázi je provedena velmi malá změna *DC* parametru zdroje a SPICE vyhodnotí změnu proudu tímto zdrojem. Výstupní odpor je určen jako poměr napěťové a proudové změny.

Pozn.: uvedeme-li ve vstupním souboru více příkazů .TF, provede se pouze poslední z nich. Je však možné krokování (.STEP).

Pozn.: MicroCap umožňuje výstupní veličinu definovat vzorcem. Je-li výstupní veličinou cokoliv jiného než napětí nebo proud, nebude k dispozici velikost výstupního odporu.

Příklad:

Určete střídavé zesílení v pásmu středních kmitočtů, je-li výstup zesilovače na emitoru.



Příkaz

.TF V([emi]) Vin

dá výsledky:

$V(emi)/V_{in} = 0.000E+00$

INPUT RESISTANCE AT $V_{in} = 1.000E+20$

OUTPUT RESISTANCE AT $V(emi) = 1.808E+02$

Výsledky jsou ovlivněny vazebním kapacitorem C_v , který představuje při výpočtu přenosů rozpojení.

Řešení: Vypočteme ss pracovní bod, zjistíme napětí na C_v a nahradíme ho baterií o vypočteném napětí.

Nyní dá stejný příkaz

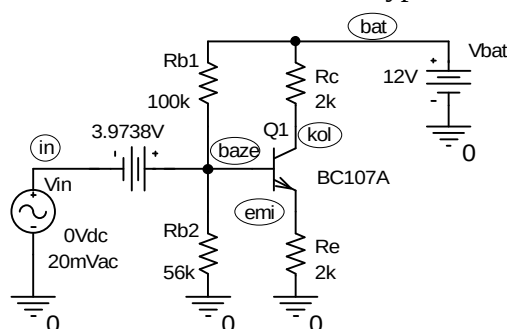
.TF V([emi]) Vin

korektní výsledky:

$V(emi)/V_{in} = 9.936E-01$

INPUT RESISTANCE AT $V_{in} = 3.282E+04$

OUTPUT RESISTANCE AT $V(emi) = 1.242E+01$



Příklad: Použití příkazu .TF k nalezení Théveninova modelu složitého obvodu.

Obvod představuje náhradní linearizovaný model tranzistorového zesilovače v pásmu středních kmitočtů.

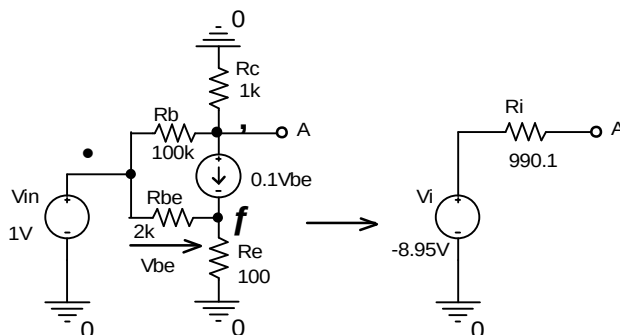
Celý obvod máme nahradit vzhledem k svorkám A-zem jednodušším Théveninovým modelem.

.TF V(2) Vin

$V(2)/V_{in} = -8.950E+00$

INPUT RESISTANCE AT $V_{in} = 6.908E+03$

OUTPUT RESISTANCE AT $V(2) = 9.901E+02$



.SENS – Sensitivity – Citlivostní analýza

SPICE nejprve linearizuje obvod v okolí ss. pracovního bodu a pak počítá tzv. citlivosti zadaných výstupních veličin na parametry součástek v obvodu. Akumulační prvky jsou při této analýze ignorovány.

Citlivost absolutní: (změna sledované veličiny)/(změna parametru)

Citlivost relativní v procentech: $0.01 * (\text{citlivost absolutní}) * (\text{klidová hodnota parametru v prac. bodu})$

Význam relativní citlivosti: o kolik se změní sledovaná veličina oproti své klidové hodnotě, když se sledovaný parametr změní o 1% oproti své klidové hodnotě.

Na jaké parametry se automaticky počítají citlivosti:

Na parametry všech součástek, které mají vliv na stejnosměrné řešení.

Syntaxe:

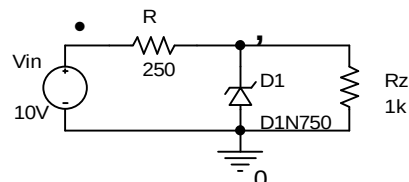
.SENS <seznam výstupních proměnných>

↑
V nebo I; když I, tak proud tekoucí zdrojem napětí

Výsledky jsou k dispozici pouze ve výstupním souboru.

Příklad: parametrický stabilizátor napětí

.....
.SENS V(2)
.....



Výsledky:

DC SENSITIVITIES OF OUTPUT V(2)

ELEMENT NAME	ELEMENT VALUE	ELEMENT SENSITIVITY (VOLTS/UNIT)	NORMALIZED SENSITIVITY (VOLTS/PERCENT)
R	2.500E+02	-2.679E-04	-6.697E-04
Rz	1.000E+03	1.479E-05	1.479E-04
Vin	1.000E+01	1.261E-02	1.261E-03
D1			
SERIES RESISTANCE			
RS	2.500E-01	1.629E-02	4.072E-05
INTRINSIC PARAMETERS			
IS	8.805E-16	-2.907E+00	-2.559E-17
N	1.000E+00	0.000E+00	0.000E+00

Výstupní napětí se zvýší o 1.261mV, když se vstupní napětí zvýší o 1% nad 10V, tedy o 100mV. Činitel stabilizace je tedy $100/1.261=79.3$.

.FOUR – Fourier Analysis – Fourierova analýza

Slouží k výpočtu spekter signálů získaných v analýze TRANSIENT.

Dva různé způsoby získání spektrálních složek signálu: 1. Pomocí příkazu .FOUR v PSpice (používá algoritmus DFT/FFT), 2. Pomocí funkce FFT vestavěné v PROBE.

Zásady správného používání algoritmů DFT/FFT k výpočtu spektrálních čar signálů:

1. Vstupem algoritmu je N vzorků signálu. Signál musí být navzorkován rovnoměrně, vzorkovací kmitočet f_v je $1/T_v$, T_v je konstantní krok na časové ose.
2. Všechny vzorky musí spadat přesně do 1 opakovací periody signálu, v krajním případě do celistvého počtu opakovacích period.
3. Spektrální čáry jsou vypočteny přesně, pokud je splněna podmínka vzorkovacího teorému, tj. pokud je f_v větší než je dvojnásobek max. kmitočtu f_{max} analyzovaného signálu. V opačném případě vzniká chyba.

Zásada 1 je v PSpice automaticky dodržena. PSpice sice používá proměnnou délku kroku v analýze Transient, ale pro účely DFT přepočítává interpolací tyto vzorky na vzorky ekvidistantní. Jejich vzdálenost je menší z čísel Tstep nebo Stop/100, viz syntaxe časové analýzy:

.TRAN [/OP] <Tstep> <Tstop> [Tstart [max.krok]][SKIPBP]

↑
časový krok pro výstupy typu .PRINT

↑
konečný čas simulace

Dodržení zásady 2 je na uživateli, který zadá do příkazu .FOUR opakovací kmitočet signálu, který se stává kmitočtem 1. harmonické ve spektru. Obvod musí být v periodickém ustáleném stavu, tj. v intervalu výpočtu DFT již musí být signál ustálený do periodického tvaru.

Dodržení zásady 3 bývá obtížné, nelze-li dobře odhadnout kmitočet fmax. Čím kratší Tv, tím menší chyba, ale tím větší počet bodů výpočtu DFT a větší nároky na výpočetní čas a paměť.

Praktická zásada volby $T_v = T_{step}$:

$$T_v < \frac{1}{2F_{max}} = \frac{1}{2NF}$$

F ... opakovací kmitočet signálu, N .. odhadnuté číslo nejvyšší harmonické signálu, kterou ještě nelze ve spektru zanedbat.

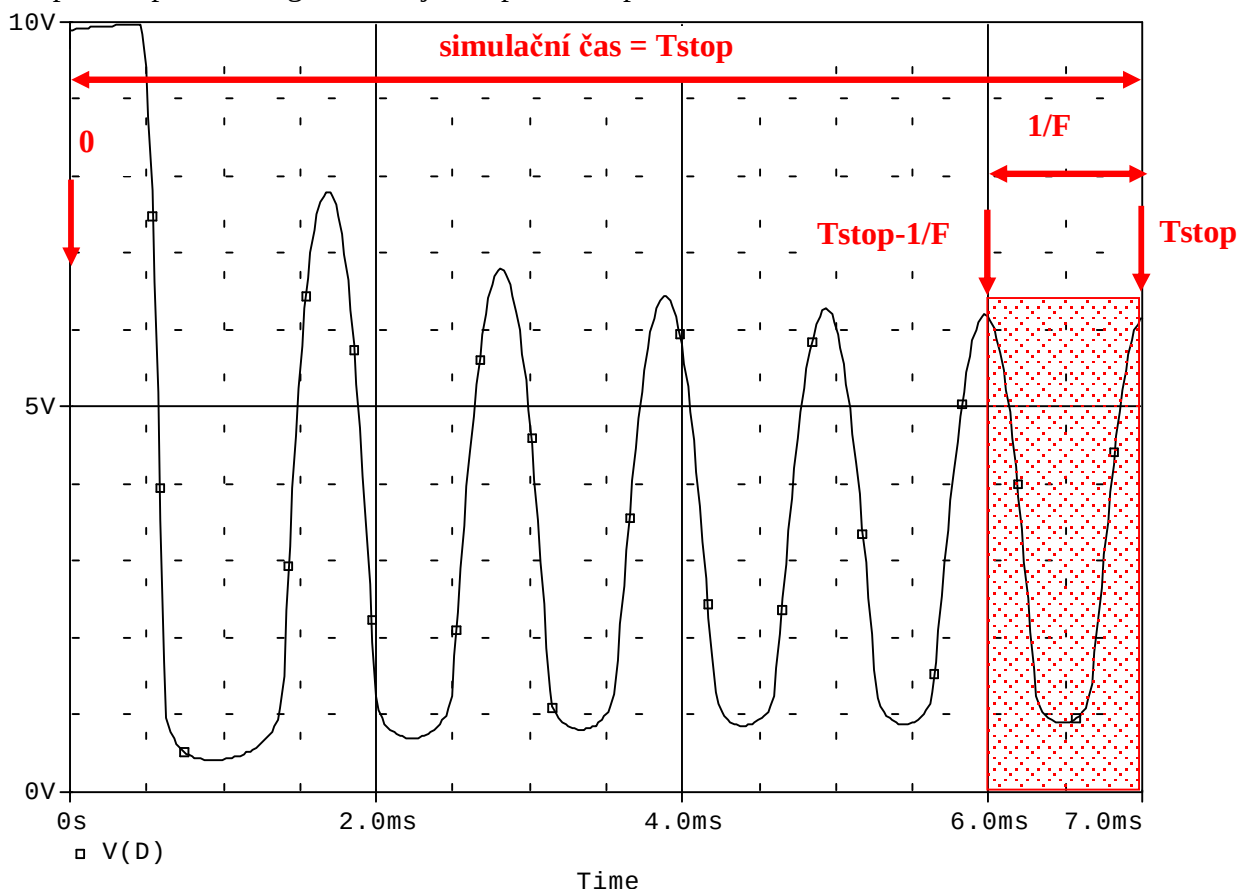
Výpočet spektrálních složek v PSpice:

.FOUR <opakovací kmitočet> [počet harmonických] <seznam výstupních veličin>

↑
standardně nastaveno na 9

↑
V a I, stejný formát jako pro .PRINT

PSpice počítá spektrum signálu nad jeho opakovací periodou „na konci“ simulačního času:



Příklad (viz předchozí obrázek):

Z časového průběhu změříme opakovací kmitočet 970.54Hz.

Odhadneme, že signál se ustaluje do tvaru, blízkého harmonickému, a že nebude mít bohaté spektrum. Odhadneme s rezervou, že lze zanedbat harmonické složky od 20. dále, tj. Fmax je asi 20kHz. Proto zvolíme $T_v = T_{step} < 1/(2 \cdot 20k) = 25\mu s$, například 20 μs .

Spustíme časovou analýzu znova spolu s příkazem .FOUR:

.TRAN 20u 7m 0 20u SKIPBP

.FOUR 970.54 v([d])

Výsledky:

DC COMPONENT = 3.201969E+00

HARMONIC NO	FREQUENCY (HZ)	FOURIER COMPONENT	NORMALIZED COMPONENT	PHASE (DEG)	NORMALIZED PHASE (DEG)
1	9.705E+02	2.834E+00	1.000E+00	8.810E+01	0.000E+00
2	1.941E+03	3.186E-01	1.124E-01	8.067E+01	-9.553E+01
3	2.912E+03	2.410E-01	8.503E-02	-9.297E+01	-3.573E+02
4	3.882E+03	4.828E-02	1.704E-02	9.074E+01	-2.617E+02
5	4.853E+03	4.350E-02	1.535E-02	7.702E+01	-3.635E+02
6	5.823E+03	4.216E-02	1.488E-02	-9.157E+01	-6.202E+02
7	6.794E+03	1.152E-02	4.064E-03	8.521E+01	-5.315E+02
8	7.764E+03	1.613E-02	5.693E-03	7.420E+01	-6.306E+02
9	8.735E+03	1.498E-02	5.287E-03	-9.157E+01	-8.845E+02

TOTAL HARMONIC DISTORTION = 1.438442E+01 PERCENT

Kontrola: po zmenšení T_v by se výsledky již neměly podstatně lišit.

Upozornění: Počáteční fáze 0 stupňů znamená „sinus“, 90 stupňů „kosinus“ (je tomu jinak než jak vyplývá z názorového počtu).

Normovaná amplituda (NORMALIZED COMPONENT) se získá vydělením amplitudy amplitudou 1. harmonické. Výsledek je ten, že celý signál bude mít upravenou velikost tak, že první harmonická bude jednotková.

Normovaná fáze (NORMALIZED PHASE) k-té harmonické se získá odečtením k-násobku fáze 1. harmonické od počáteční fáze k-té harmonické. Výsledek je ten, že celý signál se posune po ose času tak, aby první harmonická měla počáteční fázi 0 (sinus).

THD (Total Harmonic Distortion=činitel harmonického zkreslení) je počítáno z vzorce

$$THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots}}{V_1} \cdot 100$$

Výsledek je zkreslení v procentech. THD udává číselně míru odlišnosti periodického signálu od harmonického signálu. Harmonický signál má THD nulové.

Výpočet spektrálních složek v PROBE:

Aktivuje se kliknutím na ikonu FFT nebo volbou Add Trace a Fourier Transform ve Window Template. Graf spektra se vykreslí namísto časového průběhu. Vypočtené body se spojí lomenou čarou (nepřehledné). FFT se aplikuje na celý časový průběh, který je považován za segment 1 opakovací periody. Počet bodů FFT se určí vydělením Tstop/Tstep a zaokrouhlením na nejbližší vyšší celočíselnou mocninu dvojky.

Literatura

- [1] BIOLEK, Z. Úvod do SPICE pomocí programu MicroCap. Učební texty SPŠE v Rožnově p.R. SENSIT HOLDING s.r.o., 2004, 34 s.
- [2] BIOLEK, D. Řešíme elektronické obvody aneb kniha o jejich analýze. BEN technická literatura, 2004, 520 s.
- [3] LÁNÍČEK, R. Simulační programy pro elektroniku. BEN technická literatura, 2000, 113 s.