

Zwięzły opis programu PSPICE

Opracowanie: Małgorzata Napieralska

*Niniejszy dokument został opracowany do celów dydaktycznych
i można go wykorzystywać wyłącznie do niekomercyjnego użytku własnego.*

W celu symulacji układu elektronicznego przy pomocy programu PSPICE należy dokonać edycji pliku zawierającego dane o symulowanym obwodzie oraz instrukcje sterujące.

Nazwa pliku jest dowolna z rozszerzeniem **.cir**, np. *cwiczenie1.cir*. Zbiór wyjściowy w postaci tekstowej jest automatycznie zakończony **.out** a zbiór danych graficznych **.dat** (można go przeglądać przy pomocy programu PROBE). Plik może być utworzony przy użyciu dowolnego edytora tekstowego np. Notepad.

1. Opis obwodu

Pierwsza linia zbioru musi zawierać tytuł symulacji np. nazwę symulowanego obwodu. Następnie wprowadzany jest opis obwodu z numeracją wszystkich węzłów. Węzeł masy musi mieć numer « 0 ». Każdy element powinien mieć swoją indywidualną nazwę. Nazwa elementu jest dowolna a pierwsza litera oznacza typ elementu:

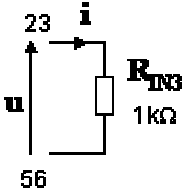
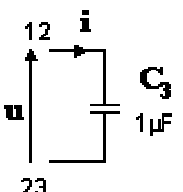
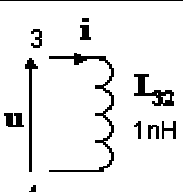
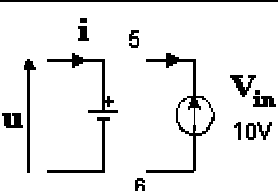
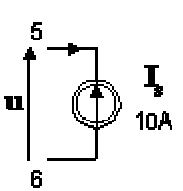
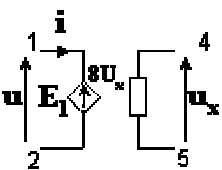
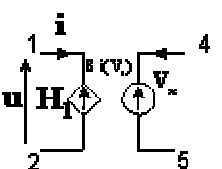
R - rezystancja
L - indukcyjność
K – indukcyjność sprzężona
C - pojemność
I – niezależne źródło prądowe
V - niezależne źródło napięciowe
E - źródło napięcia sterowane napięciem (VCVS)
H - źródło napięcia sterowane prądem (CCVS)
G - źródło prądu sterowane napięciem (VCCS)
F - źródło prądu sterowane prądem (CCCS)
D - dioda
Q – tranzystor bipolarny
J – tranzystor JFET
M - tranzystor MOS
X – makromodel (podobwód)

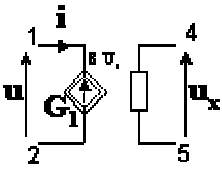
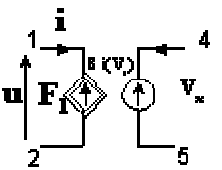
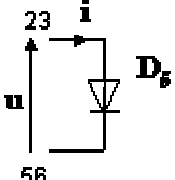
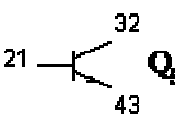
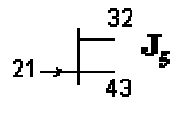
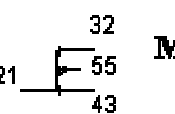
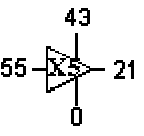
Do opisu każdego elementu przeznaczona jest jedna linia. Po nazwie elementu umieszczamy numery węzłów, między którymi znajduje się element; pierwszy węzeł ma potencjał „+” drugi potencjał „-” . Następnie umieszczamy wartości elementów w jednostkach SI. Można stosować następujące przedrostki :

T = E12 **G = E9** **MEG = E6** **K = E3**
M = E-3 **U = E-6** **N = E-9** **P = E-12** **F = E-15**

W przypadku elementów półprzewodnikowych czy makromodeli zamiast wartości podawana jest nazwa modelu lub podobwodu.

WPISYWANIE ELEMENTÓW

Typ elementu	Symbol	Instrukcja w SPICE
1) Rezystancja R		RIN3 23 56 1K
2) Pojemność C		C3 12 23 1U
3) Indukcyjność L		L32 3 4 1N
4) Źródła niezależne a) źródło napięciowe V		VIN 5 6 DC 10
b) źródło prądowe I		IS 6 5 DC 10
5) Liniowe źródła sterowane VCVS - źródło napięcia sterowane napięciem E		E1 1 2 4 5 8.0
a) CCVS – źródło napięcia sterowane prądem H		H1 1 2 VX 8.0

b) VCCS – źródło prądu sterowane napięciem G		G1 2 1 4 5 8.0
c) CCCS – źródło prądu sterowane prądem F		F1 2 1 V3 8.0
6) dioda D		* Anoda katoda D5 23 56 MOD12
7) Tranzystor bipolarny Q		* C B E Q5 32 21 43 BC107
8) Tranzystor JFET J		* D G S J5 32 21 43 MODJF1
9) Tranzystor MOS M		* D G S Sub. M5 32 21 43 55 MOS55
10) Makromodel (.SUBCKT/.ENDS) X		* IN OUT VDD GND X5 55 21 43 0 INWERTER

Kolejność umieszczania węzłów przy opisywaniu przyrządów półprzewodnikowych jest następująca:

Dioda: anoda - katoda

Tranzystor bipolarny: kolektor – baza – emiter (podłoże)

Tranzystor JFET: dren – bramka – źródło

Tranzystor MOS: dren – bramka – źródło – podłoże

W przypadku źródeł sterowanych dwie pierwsze cyfry oznaczają numery węzłów, do których przyłożone jest źródło. Dla źródła sterowanego napięciowo następne dwie cyfry podają numery węzłów, do których przyłożone jest napięcie sterujące. Dla źródła sterowanego prądowo należy podać nazwę źródła napięciowego, którego prąd jest prądem sterującym.

Wpisywanie dodatkowych parametrów elementów

Dane elementów mogą być uzupełnione przez podanie dodatkowych informacji za pomocą współczynników.

- a) Rezystancja może być zależna od temperatury przez podanie wartości współczynników TC1 i TC2

$$R(T)=R(T_{\text{nom}}) [1 + TC1(\delta T) + TC2(\delta T)^2]$$

gdzie: $\delta T= T - T_{\text{nom}}$

przykład

R1 2 0 15K TC=0.001 0.0025

- b) Indukcyjność i pojemność mogą być nieliniowe w funkcji prądu lub napięcia co jest opisane przez wielomiany

$$L=L_0 + L_1 \cdot I + L_2 \cdot I^2 + \dots$$

$$C=C_0 + C_1 \cdot U + C_2 \cdot U^2 + \dots$$

Postać ogólna instrukcji:

Cxxxxxxx N+ N- POLY C0 C1 C2 ... <IC=INCOND>
Lxxxxxxx N+ N- POLY L0 L1 L2 ... <IC=INCOND>

Instrukcja IC=INCOND pozwala na zdefiniowanie warunków początkowych (INITIAL CONDITION) napięcia lub prądu niezbędnych do obliczenia stanów początkowych.

przykład

C45 18 21 POLY 2 0.3 IC=10

Gdzie C0=2, C1=0.3, początkowa wartość napięcia na kondensatorze wynosi 10V.

- c) Indukcyjności sprzężone opisane są w postaci

Kxxxx LCxxxx LMxxxx liczba

przykład

K21 LC1 LMR32 0.99

litera K oznacza, że indukcyjność LC1 jest sprzężona z indukcyjnością LMR32 a współczynnik sprzężenia wynosi 0.99.

- d) Źródła sterowane

Mogą być nieliniowe oraz zależeć od wielu zmiennych. Opisuje się je wówczas instrukcją POLY(N), gdzie N jest wymiarem zależności. Następnie należy podać N par węzłów dotyczących napięć sterujących lub N nazw źródeł napięcia dotyczących prądów sterujących. Na końcu podawane są współczynniki wielomianu w następującej postaci dla 2 zmiennych i wielomianu 2go stopnia:

$$a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 x^2 + a_4 xy + a_5 y^2$$

przykład

1. dla **VCVS**:

E25 7 21 POLY(2) 12 18 31 45 1 10 5 0.5 0.6 0.7 IC=12
(x y a₀ a₁ a₂ a₃ a₄ a₅)

2. dla **CCCS**

F36 8 54 POLY(2) VIN V5 0.1M 1K 10.1 1 1 0.1 IC=1
(x y a₀ a₁ a₂ a₃ a₄ a₅)

2. Opisywanie źródeł niezależnych

- Dziedzina **DC**

- podajemy wartość napięcia lub prądu

Przykład

VIN 2 0 DC 10
IIN 2 0 DC 10

- Dziedzina **AC**

- podajemy wartość amplitudy i fazy sygnału

Przykład

VIN 2 0 AC 1 180
IIN 2 0 AC 1 0

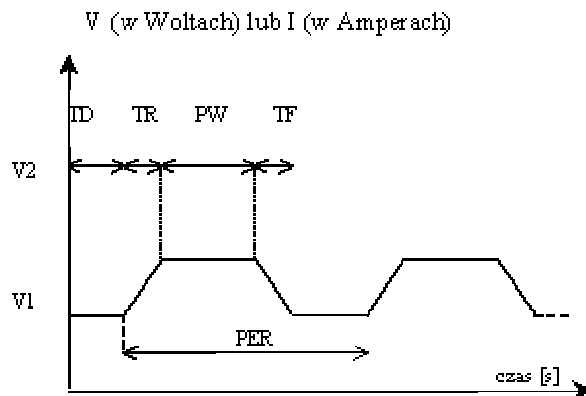
- Dziedzina **TR**

Istnieje 5 typów źródeł :

a) **Deklaracja źródła impulsowego** ma postać

PULSE (V1 V2 TD TR TF PW PER) –

gdzie V1 – wartość początkowa (w Voltach lub Amperach)
V2 – wartość impulsu (w Voltach lub Amperach)
TD – czas opóźnienia (w sekundach, wartość wbudowana 0.0)
TR – czas narastania (w sekundach, wartość wbudowana 0.0)
TF – czas opadania (w sekundach, wartość wbudowana 0.0)
PW – szerokość impulsu
PER – okres impulsu



Przykład

Impuls jednostkowy o amplitudzie 1 zapisany jest w postaci :

VUNIT 1 0 PULSE (0 1 0 0)

b) Deklaracja źródła sinusoidalnego ma postać

SIN (VO VA FREQ TD THETA)

Gdzie VO – wartość składowej stałej (w Voltach lub Amperach)
 VA - amplituda (w Voltach lub Amperach)
 FREQ - częstotliwość - (w Hz, wartość wbudowana $f=1/TSTOP$)
 TD - czas opóźnienia (w sekundach, wartość wbudowana 0.0)
 THETA – współczynnik w sekundach, wartość wbudowana 0.0)

Źródło sinusoidalne jest opisane wzorem

dla $T < TD$, $V = VO$
 dla $TD < T < TSTOP$:

$$V = VO + VA \cdot \exp[-(time-TD) \cdot THETA] \cdot \sin[2\pi \cdot FREQ \cdot (time+TD)]$$

Przykład

V31 5 8 SIN (0 1 500MEG 0 0)

c) Deklaracja źródła wykładniczego ma postać

EXP (V1 V2 TD1 TAU1 TD2 TAU2) –

gdzie V1 – wartość początkowa (w Voltach lub Amperach)
 V2 – wartość impulsu (w Voltach lub Amperach)
 TD1 - czas opóźnienia dla zbocza narastającego impulsu (w sekundach, wartość wbudowana 0.0)
 TAU1 – stała czasu narastania impulsu (w sekundach, wartość wbudowana =TSTOP)
 TD2 – czas opóźnienia określający początek opadania sygnału (w sekundach, wartość wbudowana = TD1+TSTEP)
 TAU2 – stała czasu opadania impulsu (w sekundach, wartość wbudowana =TSTEP)

Źródło wykładnicze jest opisane wzorem

dla $T < TD1$, $V = V1$

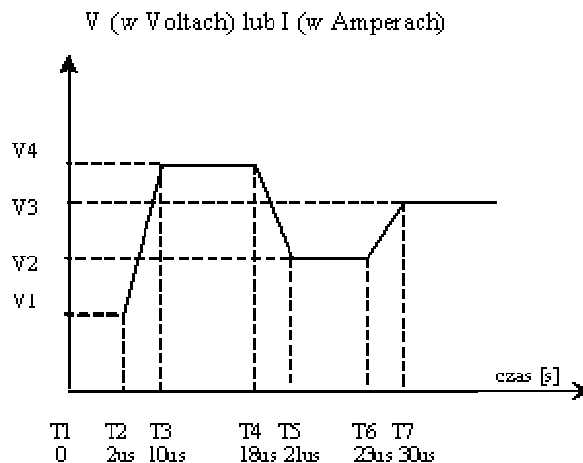
dla $TD1 < T < TD2$, $V = V1 + (V2-V1) * [1 - \exp[-(time-TD1)/TAU1]]$

dla $TD2 < T < TSTOP$, $V = V1 + (V2-V1) * [1 - \exp[-(time-TD1)/TAU1]] + (V1-V2) * [1 - \exp[-(time-TD2)/TAU2]]$

d) Deklaracja źródła odcinkowo-liniowego ma postać

PWL (T1 V1 <T2 V2 T3 V3 ...>) –

gdzie źródło zmienia się liniowo i przyjmuje wartości V1 dla czasu T = T1, V2 dla czasu T = T2, itd...



przykład

dla $V1 = 1V$, $V2 = 1.2V$, $V3 = 2V$, $V4 = 2.2V$
i czasów przedstawionych na rysunku :

VIT 1 0 PWL (0 1 2U 1 10U 2.2 18U 2.2 21U 1.2 23U 1.2 30U 2)

e) Deklaracja źródła o modulowanej częstotliwości ma postać

SFFM (VO VA FC MDI FS) -

gdzie VO - wartość składowej stałej (w Voltach lub Amperach)
VA - amplituda (w Voltach lub Amperach)
FC - częstotliwość nośna - (w Hz, wartość wbudowana $f=1/TSTOP$)
MDI - współczynnik modulacji
FS - częstotliwość sygnału - (w Hz, wartość wbudowana $f=1/TSTOP$)

Źródło o modulowanej częstotliwości jest opisane wzorem

$$V = VO + VA * \sin[(2\pi * FC * time) + MDI * \sin(2\pi * FS * time)]$$

przykład

V1 5 8 SFFM (0 1M 10K 6 1K)

3. Instrukcje sterujące

Po opisie topologii analizowanego obwodu i wpisaniu elementów w programie należy umieścić instrukcje sterujące. Każda instrukcja sterująca musi zaczynać się od kropki.

W celu określenia szerokości danych wejściowych i wyjściowych można stosować instrukcję **.WIDTH** o postaci

.WIDTH IN=80 OUT = 80

a) Instrukcja .MODEL

Służy do zdefiniowania modelu przyrządu półprzewodnikowego, elementu nieliniowego lub bramki logicznej. Ogólna postać instrukcji jest następująca:

.MODEL **Nazwa modelu** **Typ przyrządu** **Nazwa listy parametrów modelu**

Nazwa modelu jest dowolna lecz musi zaczynać się od litery.

Typ przyrządu (wybrane elementy)

D	dioda
NPN	tranzystor bipolarny NPN
PNP	tranzystor bipolarny PNP
NJF	tranzystor JFET z kanałem typu N
PJF	tranzystor JFET z kanałem typu P
NMOS	tranzystor MOS z kanałem typu N
PMOS	tranzystor MOS z kanałem typu P

Nazwa listy parametrów modelu zawiera wartości parametrów modelu. Parametry nie określone przez użytkownika przyjmują wartości wbudowane.

Przykład

.MODEL MOD1 NPN BF=60 IS=1.2E-13

.MODEL MOD2 D

.MODEL MOD3 NJF VTO=-3V BETA=1E-4 LAMBDA=2.0E-2 CGS=2PF CGD=2PF
+ PB=1V IS=1.0E-14

b) Instrukcja .SUBCKT

Przeznaczona jest do zdefiniowania makromodelu (podobwodu) (wywoływanego przez X....).
Ogólna postać instrukcji jest następująca:

.SUBCKT **Nazwa makromodelu** **Węzły N1 N2 ...**

Opis makromodelu

.

.

.ENDS Nazwa makromodelu

Numeracja węzłów wewnątrz makromodelu jest niezależna od numeracji węzłów obwodu głównego. Nie należy stosować „0”, który jest zarezerwowany dla masy.

Opis makromodelu - opisuje się go jak obwód zewnętrzny. Opis kończy instrukcja **.ENDS**.

Węzły N1 N2 ... są węzłami zewnętrznymi makromodelu. Nie mogą zawierać węzła o numerze „0”.

Przykład

```
.SUBCKT WZMOP 1 2 3 4 5
```

.

.

.

```
.ENDS WZMOP
```

W przypadku gdy chcemy stosować makromodel znajdujący się w jednej z bibliotek programu PSPICE należy wywołać tę bibliotekę.

Przykład

Stosujemy wzmacniacz operacyjny Ampli-Op μ A741 znajdujący się w bibliotece OPNOM.LIB

```
.LIB OPNOM.LIB
```

* wywołanie biblioteki, w której znajduje się Ampli-Op μ A741

```
X1 1 2 0 4 5 6 UA741
```

* umieszczenie wzmacniacza w układzie

4. Analizy w programie PSPICE

Obliczenia wpisanego układu elektronicznego mogą być wykonane w 3 dziedzinach:

- analiza statyczna (**DC**)
- analiza prądu przemiennego, zwana też analizą małosygnałową (**AC**), (dla układu zlinearyzowanego w punkcie pracy wyznaczonym w wykonanej uprzednio analizie DC).
- analiza stanów przejściowych (**TR**)

a) Wyznaczenie punktu pracy

Aby otrzymać w zbiorze wyjściowym wszystkie informacje o napięciach, prądach i małosygnałowych modelach elementów w punkcie pracy stosujemy instrukcję

```
.OP
```

b) Analiza statyczna

Obliczenia w dziedzinie .DC mogą być wykonane dla wielu wartości prądów i napięć. Instrukcja ma postać:

.DC Nazwa źródła Wartość początkowa Wartość końcowa Krok

W przypadku wielu źródeł należy wpisać kolejno wartości ich parametrów

Przykład

.DC VCE 0 100 5 VBE 0 0.7 0.1

c) Analiza małosygnalowa

Zmienną niezależną w analizie .AC jest częstotliwość. Zmienia się ona od wartości FSTART do FSTOP. Dla analizy .AC należy zdefiniować minimum jedno źródło AC podając jego amplitudę i fazę. Postacie analizy :

.AC DEC ND FSTART FSTOP

.AC OCT NO FSTART FSTOP

.AC LIN NP FSTART FSTOP

gdzie **DEC**: skala logarytmiczna, **ND** liczba punktów na dekadę.
OCT: skala logarytmiczna, **NO** liczba punktów na oktawę.
LIN: zmiany liniowe, **NP** liczba punktów między **FSTART** i **FSTOP**.

Przykład

.AC DEC 5 1K 10MEG

W celu otrzymania charakterystyki przejściowej (output/input), rezystancji wejściowej i wyjściowej stosuje się instrukcję .TF. Pierwsza zmienna następująca po tej instrukcji określa zmienną wyjściową, druga wejściową.

Przykład

.TF V(23) VIN1

PSPICE liczy stosunek V(23)/VIN, małosygnalową rezystancję wejściową dla VIN1 oraz małosygnalową rezystancję wyjściową dla V(23).

d) Analiza stanów przejściowych

Wywoływana jest przy pomocy instrukcji **.TRAN**. Zmienną niezależną w analizie jest czas. Postać analizy:

.TRAN TSTEP TSTOP <TSTART <TMAX>> <UIC>

gdzie

TSTEP - wartość kroku dla wydruku wyników

TSTOP - czas końcowy symulacji

TSTART - początek symulacji (wartość wbudowana =0)

TMAX - maksymalna wartość kroku (wartość wbudowana TSTOP/50)

UIC - polecenie uwzględnienia warunków początkowych określonych w instrukcji **.IC** i nie wykonywania analizy DC

Przykład

.TRAN 1N 0.2U UIC

5. Wyniki obliczeń

Wyniki można przedstawić w formie:

- a) **.PRINT** – forma tabelaryczna
- b) **.PLOT** – rysowanie w formie alfanumerycznej
- c) **.PROBE** – forma graficzna. Zastosowanie postprocesora graficznego pozwala na wszechstronne opracowanie otrzymanych wykresów.

Funkcje sygnałów dostępne przy użyciu **.PROBE**

ABS(x)	wartość bezwzględna
SGN(x)	1 dla $x > 0$, 0 dla $x=0$, -1 dla $x < 0$
SQRT(x)	pierwiastek kwadratowy
EXP(x)	funkcja wykładnicza
LOG(x)	logarytm naturalny
LOG10(x)	logarytm d'ecimal
DB(x)	decybel ($20 \log_2(x)$)
PWR(x,y)	potęga $(\text{abs}(x))^y$
SIN(x)	sinus (x w radianach)
COS(x)	cosinus
TAN(x)	tangens
ATAN(x)	arctangens
d(y)	pochodna y względem zmiennej osi x
s(y)	całka y względem zmiennej osi x
AVG(y)	wartość średnia y
RMS(y)	wartość skuteczna y

6. Wybrane analizy dodatkowe

a) Zmiana temperatury

Obliczenia wykonywane są dla temperatury nominalnej $T_{NOM}=27^{\circ}\text{C}$ (300K). Można ją zmienić globalnie dla całego symulowanego układu przy użyciu następującej instrukcji:

.TEMP = wartość
(TEMP > -223°C)

Przykład

.TEMP = 125

Dla elementów, które zależą od temperatury należy podać odpowiednie współczynniki temperaturowe. Temperatura odniesienia pozostaje równa $T_{NOM} = 27^{\circ}\text{C}$. W celu zmiany temperatury odniesienia należy zastosować instrukcję **.OPTIONS**.

Przykład

.OPTIONS TNOM = wartosc

Instrukcji tej można użyć w celu wyeliminowania stronicowania i drukowania nagłówek na każdej stronie, co jest wygodne gdy pliki wyjściowe oglądamy na ekranie monitora.

.OPTIONS NOPAGE

b) Obliczanie wrażliwości

Wrażliwość (małosygnałowa AC) jest liczona dla każdej podanej zmiennej wyjściowej względem wszystkich parametrów obwodu.

Ogólna postać instrukcji:

.SENS OV1 <OV2 ...>

Przykład

```
.SENS V(1) V(2,6) I(VIN)
```

c) Analiza Fouriera

Wykonywana jest dla analizy czasowej **TRAN**

Ogólna postać instrukcji:

.FOUR FREQ OV1 <OV2 OV3 ...>

gdzie **FREQ** częstotliwość sygnału

OV1 OV2 OV3 ... sygnały, które mają być poddane analizie Fouriera

Przykład

```
.FOUR 10K V(1)
```

d) Definiowanie punktów startowych i warunków początkowych

Instrukcja **.NODESET** stosowana jest dla analizy DC i ustawia punkt startowy do nieliniowych iteracji.

Przydatna np. przy analizie układów przernutnikowych w celu wymuszenia ich stanu początkowego.

Ogólna postać instrukcji:

.NODESET V(NODNUM)=WARTOŚĆ V(NODNUM)= WARTOŚĆ...

Przykład

```
.NODESET V(1)=10 V(2)=5.1 V(14)=7.12
```

Warunki początkowe dla analizy TRAN określa się za pomocą instrukcji **.IC**

Ogólna postać instrukcji:

.IC V(NODNUM)= WARTOŚĆ V(NODNUM)= WARTOŚĆ ...

Przykład

```
.IC V(4)=14 V(3)=6.9 V(24)=33
```

e) Analiza szumowa

Wykonywana jest dla analizy zmiennoprądowej AC i powinna być poprzedzona analizą AC. Składowe widma mocy szumu, pochodzące od każdego z elementów układu, są sumowane na wyjściu napięciowym. Do przeprowadzenia analizy szumowej potrzebne są modele szumowe elementów. W układzie mogą występować dwa rodzaje elementów szumowych: rezystory generujące szумы termiczne, przyrządy półprzewodnikowe generujące szумы termiczne i szумы migotania.

Ogólna postać instrukcji:

.NOISE OUTV INSRC NUMS

gdzie **OUTV** napięcie wyjściowe, dla którego jest analizowany wkład każdej składowej szumu
INSRC źródło niezależnego napięcia lub prądu, dla którego jest liczony równoważny szum wejściowy
NUMS liczba określająca co ile punktów na osi częstotliwości (w stosunku do analizy zmiennoprądowej) będzie wykonywana analiza szumów.

Przykład

.NOISE V(3) VIN 5

f) Analiza Monte Carlo

Umożliwia wykonanie obliczeń z uwzględnieniem tolerancji wartości parametrów modeli. Podajemy ile razy ma być wykonana analiza, każdorazowo po wyznaczeniu nowych wartości zmienianych parametrów oraz rodzaj analizy głównej (DC, AC, TRAN). Obliczenia analizy Monte Carlo są wykonywane w ramach odrębnego typu analizy i nie mają wpływu na wyniki pozostałych analiz.

Ogólna postać instrukcji:

.MC RUNS ANALYSIS VOUT FUN options

gdzie **RUNS** - liczba przeprowadzonych analiz Monte Carlo
ANALYSIS - rodzaj analizy, np. AC, DC, TRAN
VOUT - zmienna obwodowa, którą chcemy badać
FUN - funkcja obliczana na podstawie wartości wszystkich przebiegów analizy Monte Carlo w celu określenia liczbowego parametru określającego wrażliwość zmiennej VOUT na przypadkowe zmiany parametrów modeli. Najczęściej stosuje się YMAX oznaczającą maksymalną odchyłkę zmiennej od wartości nominalnej.
options - jedna lub więcej opcji analizy Monte Carlo. Najczęściej stosowane opcje to **list** oznaczająca wypisanie parametrów poszczególnych modeli w każdym przebiegu analizy i **output all** po zastosowaniu której wyniki wszystkich analiz możemy porównać w programie probe na jednym wykresie.

g) Analiza najgorszego przypadku (Worst Case)

W przeciwieństwie do analizy Monte Carlo analiza najgorszego przypadku uwzględnia jedynie skrajne wartości tolerancji parametrów przy wykonywaniu obliczeń układu.

Ogólna postać instrukcji:

.WCASE ANALYSIS VOUT FUN

oznaczenia identyczne jak w przypadku analizy Monte Carlo.

Przykład programu do analizy wzmacniacza w programie PSPICE (po lewej) i jego modyfikacja w celu przeprowadzenia analizy Monte Carlo (po prawej)

```
WZMACNIACZ
.OPTIONS ACCT LIST NOPAGE
.WIDTH IN=80 OUT=132
.MODEL MODTR1 NPN
.MODEL MODTR2 PNP
RG 1 2 1.5K
RB 4 3 18K
R1 4 7 85
R2 7 6 17
R3 6 5 26
RL 9 0 18
C1 2 3 100U
C2 8 9 100U
QTA 5 3 0 MODTR1
QTB 7 6 5 MODTR1
QTC 4 7 8 MODTR1
QTD 0 5 8 MODTR2
VC 4 0 DC 12V
VIN 1 0 AC 1 0 SIN(0 1 1E3 1M)
.OP
.TRAN 0.05M 4M
.FOUR 1K V(9)
.PLOT TRAN V(9)
.AC DEC 10 100HZ 100KHZ
.PLOT AC VM(9) VP(9)
.PROBE
.END
```

```
WZMACNIACZ
.OPTIONS ACCT LIST NOPAGE
.MODEL MODTR1 NPN
.MODEL MODTR2 PNP
.MODEL R1 RES (R=1 DEV 10%)
.MODEL C1 CAP (C=1 DEV 10%)
RG 1 2 R1 1.5K
RB 4 3 R1 18K
R1 4 7 R1 85
R2 7 6 R1 17
R3 6 5 R1 26
RL 9 0 R1 18
C1 2 3 C1 100U
C2 8 9 C1 100U
QTA 5 3 0 MODTR1
QTB 7 6 5 MODTR1
QTC 4 7 8 MODTR1
QTD 0 5 8 MODTR2
VC 4 0 DC 12V
VIN 1 0 AC 1 0 SIN(0 1 1E3 1M)
.TRAN 0.05M 4M
.MC 100 TRAN V(9) YMAX LIST OUTPUT ALL
*.WCASE TRAN V(9) YMAX
.PROBE
.END
```

Literatura

- [1] A. Napieralski. „*La Description Condensée de PSPICE*”. Cykl wykładów prowadzonych w INSA de Toulouse
- [2] A. Napieralski. „*Komputerowe Projektowanie Układów Elektronicznych*”. Skrypt dla wyższych szkół, Łódź 1990
- [3] A. Napieralski. „*Analiza i Projektowanie Komputerowe Układów Elektronicznych Przy Pomocy Programu SPICE*”. Skrypt dla wyższych szkół, Łódź 1993
- [4] J. Porębski, P. Korohoda. „*SPICE Program Analizy Nieliniowej Układów Elektronicznych*”. USE, WNT, Warszawa 1992
- [5] Praca zbiorowa pod. Red. M. Matuszyka. „*Symulacja Układów Elektronicznych PSpice Pakiet DESIGN Center*”, EDU-MIKOM, Warszawa 1996
- [6] T. L. Quarles, A. R. Newton, D. O. Pederson, and A. Sangiovanni-Vincentelli, “*SPICE3 Version 3f5 User's Manual, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences*”, University of California, Berkeley, CA, USA, 1994