

# Spice – opis języka

Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych  
Politechnika Łódzka

2015

---

# SPICE historia I

- **SPICE** (**S**imulation **P**rogram with **I**ntegrated **C**ircuit **E**mphasis) – program do symulacji układów elektronicznych ze szczególnym uwzględnieniem układów scalonych
- Wywodzi się z programu **CANCER** (Computer Analysis of Non-Linear Circuits Excluding Radiation) – napisanego przez profesora **Ronalda Rohrera** z **U.C. Berkeley** (we współpracy ze jego studentami) w końcu lat 1960

# CANCER

- Zawierał analizy DC, AC i Transient
- Wśród elementów uwzględniono diody (według równań Shockleya) i tranzystory bipolarne (według równań Ebersa-Molla)

# SPICE wersja 1

- Na początku lat 70 CANCER został ponownie gruntownie przeedytowany i wydany w maju 1972 pod nową nazwą SPICE wersja 1
  - SPICE już wtedy stał się szeroko wykorzystywanym w przemyśle narzędziem do symulacji
  - Modele tranzystorów zmieniono – wykorzystuje się równania Gummela-Poona.
  - Dodano tranzystory JFET i MOSFET
  - Bazuje na analizie węzłowej.
  - Napisany w języku FORTRAN dla wielu platform sprzętowych i programowych

# SPICE historia II

- 1975 – wydanie SPICE w wersji 2 (większość programów obliczeniowych bazujących na SPICE wykorzystuje wersję 2g6 – jest to mniejsza rewizja wydania z roku 1975).
- Wydanie SPICE w formie „public-domain computer program” – czyli ogólnie dostępnej dla wszystkich nastąpiło dzięki profesorowi Donaldowi Pedersonowi z Berkeley. Wierzył on, że postęp techniczny jest możliwy dzięki wolności rozpowszechniania się informacji.

# SPICE wersja 2

- Zmiany wprowadzone w programie:
  - Zmodyfikowana analiza węzłowa - Modified Nodal Analysis (MNA), zastąpiła poprzednią wersję, wspiera źródła napięciowe i indukcyjności
  - Pamięć jest przydzielana dynamicznie w zależności od wielkości i stopnia skomplikowania analizowanego obwodu
  - Regulowany krok symulacji (przyspieszający analizy)
  - Gruntownie przebudowane i rozszerzone modele tranzystorów MOSFET i bipolarnych
  - wersja SPICE2G.6 (1983) jest ostatnią wersją napisaną w FORTRAN-ie (nadal dostępną na Uniwersytecie Berkeley)
  - Wiele komercyjnych symulatorów bazuje na wersji SPICE2G.6

# SPICE historia III

- Marzec 1985 – wydanie wersji 3 SPICE ze znacznymi zmianami w programie (także licencja „public domain”)
- Program przepisano w języku C (zamiast w FORTRANIE)
- Dodano wiele nowych elementów w tym: nowe typy tranzystorów (np. MESFET), elementy przełączające, nazewnictwo węzłów obejmuje także etykiety tekstowe (alfanumeryczne, zamiast dotychczasowych numerycznych), częściowo zachowana została zgodność z wersją 2

# SPICE wersja 3

- Zmiany wprowadzone w programie:
  - Wprowadzono graficzny interfejs użytkownika do przeglądania wyników symulacji
  - Wprowadzono wielomianowy zapis pojemności, indukcyjności i źródła sterowane napięciowo.
  - Wprowadzono mechanizmy poprawiające zbieżność obliczeń
  - Dodano modele: MESFET, stratną linię transmisyjną oraz nieidealny przełącznik
  - Wprowadzono zaawansowane modele półprzewodników wspierające tranzystory o mniejszej geometrii.
  - Nowe polecenia nie są kompatybilne z SPICE 2.



# SPICE historia IV

- Wersja 2g6 jest jedną z najbardziej rozpowszechnionych i dostępnych na wiele platform komputerowych i systemów operacyjnych
- Komercyjne wersje wykorzystujące SPICE to np.: HSPICE, IS\_SPICE, MICROCAP.
- Pierwsza wersja SPICE na komputery PC została wydana przez MicroSim pod nazwą PSPICE
- SPICE rozpropagował się w zastosowaniach przemysłowych i w naukowych
- Bardzo często SPICE jest dołączany do pakietów przeznaczonych do zastosowań elektronicznych (np. wprowadzania danych w postaci schematów lub layoutów)

# SPICE aktualnie

- Intusoft ICAP/4 Professional
- Orcad/Unison Engineer (Pspice)
- Electronic Wkbch Multisim 7 Power Pro
- Protel nVisage Spectrum
- MicroCap 8
  
- Porównanie pakietów:
- <http://www.intusoft.com/products/Compare.htm>

# Podstawowe możliwości programu SPICE

- Analiza nieliniowa stałoprądowa, nieliniowa stanów nieustalonych, liniowa zmiennoprądowa
- Elementy: rezystancje, pojemności, indukcyjności, indukcyjności wzajemne, niezależne źródła napięciowe i prądowe, źródła sterowane (liniowe i nieliniowe) – w sumie cztery typy, rdzeń magnetyczny, klucze sterowane napięciem i prądem
- Elementy półprzewodnikowe: diody, tranzystory bipolarne, polowe złączowe, z izolowaną bramką (MOSFET), GaAsFET

# Stosowane modele elementów półprzewodnikowych

- Model tranzystora bipolarnego – zmodyfikowany Gummel-Poon
- Model diody – adekwatny dla diody złączowej, Schottkyego, Zenera (wątpliwa wartość tego modelu dla diod mocy)
- Model tranzystora polowego – Shichmana-Hodgesa (występuje w kilku odmianach tzw. LEVEL 1, 2, 3)

# Format zbioru wejściowego I

- Zbiór wejściowy – zadanie do obliczenia - składa się z 3 elementów:
  - Linia tytułowa (komentarza), może być pusta, ale nie może zawierać dyrektyw SPICE – ponieważ zostaną zignorowane
  - Opis topologii obwodu
  - Dyrektywa .END
- Z założenia pojedynczy plik może zawierać wiele zadań do analiz
- Jeśli za dyrektywą .END występują następne linie – to są traktowane jako następne zadanie do obliczenia (należy zadbać, by zadanie składało się ze wszystkich trzech niezbędnych elementów)

## Format zbioru wejściowego II

- Plik otrzymuje rozszerzenie .CIR (CWICZ\_1.CIR)
- Opis topologii obwodu składa się z następujących części:
  - Właściwego opisu topologii (elementów i ich połączeń)
  - Dyrektyw sterujących
  - Opcji
- Komentarze oznaczane są gwiazdką - \* (także ;)
- Znak kontynuacji linii to znak puls w linii następnej:
- + kontynuacja linii poprzedniej
- Linii nie poprzedzamy znakami spacji

# Format zbioru wejściowego III opcje domyślne

- O ile plik nie zawiera dyrektyw sterujących albo parametrów dla modeli to:
  - Brak nazwy zbioru w dyrektywie .LIB - program przeszukuje standardowo zbiór NOM.LIB (zazwyczaj zawierający odwołania do wszystkich sporządzonych zbiorów bibliotecznych)
  - Brak instrukcji analiz powoduje jedynie przetworzenie pliku ze sprawdzeniem poprawności składni i obliczenie statycznego punktu pracy (równoważnie jak dla instrukcji .OP)
  - Wartości parametrów zależnych od temperatury są obliczane dla temperatury nominalnej 27C (300K), chyba że wykorzystano opcję TNOM w dyrektywach .OPTIONS lub podano dyrektywę .TEMP

# Sposób zapisu wartości liczbowych

- Liczby całkowite: 50, -75
- Liczby rzeczywiste (uwaga: znakiem dziesiętnym jest kropka!):  
3.1415 lub 5.67E-15
- Zapis ze współczynnikiem skalującym:

T=1E+12	G=1E+9	MEG=1E+6
K=1E+3	M=1E-3	U=1E-6
N=1E-9	P=1E-12	F=1E-15
- Litery występujące po liczbach, a nie będące współczynnikami skali są ignorowane (jednak są przydatne dla przejrzystości zapisu np.: 220PF)



# Format zbioru bibliotecznego

- Obowiązuje ogólne zasady jak dla tworzenia zbiorów wejściowych, z wyjątkiem:
  - Nie może występować linia tytułowa
  - Nie może być instrukcji .END
  - Zbiór otrzymuje rozszerzenie .LIB (DIODE.LIB)
- Modele i podobwody definiuje się jak w zbiorze danych wejściowych
- W jednym zbiorze może być zdefiniowanych wiele modeli i podobwodów (jednak wybierany jest pierwszy w kolejności model lub podobwód o danej nazwie)

# Instrukcje w SPICE

- Instrukcje sterujące – dyrektywy poprzedzone są kropką: przykład -  
.TRAN
- Instrukcje sterujące można podzielić na grupy:
  - Instrukcje analiz (.DC, .AC, .TRAN)
  - Instrukcje określające sposób prezentacji wyników (.PRINT, .PLOT, .PROBE)
  - Instrukcje definiujące modele i podobwody (.MODEL, .SUBCKT, .ENDS) oraz wykorzystywane biblioteki (.LIB)
  - Pozostałe instrukcje sterujące (.OPTIONS wraz z odpowiednim parametrem)

# Opcje obliczeniowe

- Postać ogólna:
  - .OPTIONS opt1 opt2=wartość opt3 opt4=wartość ...
- Przykładowe opcje:
  - LIST umieszcza w zbiorze wyjściowym zestawienie elementów według typów
  - NODE wymienia węzły z wykazem elementów do nich podłączonych
  - METHOD=... Określa metodę całkowania: GEAR (wielomianowa metoda Newtona-Cotesa) TRAP (metoda trapezów) – uwaga w PSPICE stosuje się zawsze metodę trapezów
  - RELTOL=... Określa maksymalny błąd względny obliczeń iteracyjnych (wartość wbudowana to 0,001)

# Analiza stałoprądowa DC I

- Obliczenie punktu pracy (lub wielu punktów pracy – symulacja wielopunktowa) układu liniowego lub nieliniowego
- Stan równowagi oznacza brak sygnałów pobudzających – wszystkie składowe przejściowe są równe zero
- Napięcia i prądy mają stałe wartości niezmiennie w funkcji czasu
- Ignorowane są pojemności (rozwarcie) i indukcyjności (zwarcie)

# Analiza stałoprądowa DC II

- `.DC <rodzaj przemiatania> Vzrodlo1 Start1 Stop1 Krok1 <Vzrodlo2 Start2 Stop2 Krok2 .....>`
- Rodzaj przemiatania:
  - OCT: oktawami, liczba określa liczbę punktów na oktawę
  - DEC: dekadami, liczba określa liczbę punktów na dekadę
  - LIN: liniowo, liczba określa liczbę punktów analizy
- Przykład:
  - `.DC LIN VIN 0.5 10 0.5 VZ 1.2 5.0 0.2`

## Analiza stałoprądowa DC III

- Zamiast zakresu można podać listę wartości
  - `.DC LIST VZRODLO ListaWartosci`
- Można także podać parametr modelu zamiast nazwy źródła
  - `.DC LIN NPN BF244(BF) 50 150 10`
  - Należy podać typ modelu, nazwę modelu, nazwę parametru w nawiasie
- Wymuszenie obliczeń `.DC` od zadanej wartości powoduje użycie instrukcji `.NODESET`
  - `.NODESET V(12)=5.5 V(4)=2.2`

# Podanie potencjałów węzłowych

- Postać ogólna
  - `.NODESET V(numer węzła)=wartość V(numer węzła)=...`
- Powoduje wykonanie wstępnego obliczenia dla zadanej wartości a potem obliczenia wartości końcowych
- Stosuje się w celu uzyskania zbieżności obliczeń w układach astabilnych i bistabilnych
- Przykład
  - `.NODESET V(15)=10 V(3)=4`

# Funkcja przejścia TF I

- Postać ogólna:
  - `.TF WartoscWY WEzrodlo`
- `WartoscWY` – potencjał węzłowy, różnica potencjałów węzłowych, prąd płynący przez niezależne źródło napięcia
- `WEzrodlo` – musi być podane w topologii obwodu (ale nie np. `I(Vcc)` – jest to wartość prądu, jednak określona w trakcie obliczeń przez program: czyli wartość prądu płynącego przez źródło `Vcc`)
- Domyślnie w wynikach podawane są wartości rezystancji wejściowej (widzianej od strony źródła na wejściu) oraz małosygnałowej rezystancji wyjściowej (widzianej od węzłów wyjściowych)



# Funkcja przejścia TF II

- Funkcja przejścia może przedstawiać:
  - Wzmocnienie napięciowe układu  $K_u = U_{wy}/U_{we}$
  - Wzmocnienie prądowe układu  $K_i = I_{wy}/I_{we}$
  - Transrezystancję układu  $T_r = U_{wy}/I_{we}$
  - Transkonduktancję układu  $T_k = I_{wy}/U_{we}$
- Funkcja jest obliczana dla małych sygnałów typu stałoprądowego – szeregową pojemność w torze przenoszenia sygnału powoduje, że wartość funkcji przejścia wyniesie zero

# Analiza zmiennoprądowa AC I

- Małosygnałowa odpowiedź częstotliwościowa zlinearyzowanego (liniowego) układu poddanego wymuszeniu sinusoidalnemu
- Obwody nieliniowe muszą zostać uprzednio zlinearyzowane wokół ustalonego punktu pracy (np. obliczonego w analizie DC albo w punkcie podanym przez użytkownika)
- Umożliwia przeprowadzenie analiz szumowych (generację szumu białego w rezystancjach i elementach półprzewodnikowych)
- Pozwala na określenie zniekształceń dla małych sygnałów (dyrektywy .DISTO, .NOISE)

# Analiza zmiennoprądowa AC II

- Postać ogólna:
  - .AC rodzaj\_przemiataania Fstart Fstop
- Rodzaj przemiataania: DEC, OCT, LIN + liczba punktów obliczeniowych
- Uwaga! W obwodzie musi być zadeklarowane przynajmniej jedno źródło typu AC (napięcia lub prądu)
- Przykład:
  - .AC LIN 10 1 100KHz

# Analiza czasowa stanów przejściowych TR (TRAN) I

- Symulacja stanów przejściowych dająca odpowiedź w funkcji czasu dla obwodów liniowych i nieliniowych
- Wymuszenia są definiowane przez użytkownika – mogą być stałe lub w funkcji czasu (przebiegi o dowolnym „kształcie”)
- Warunki początkowe mogą być:
  - Obliczone automatycznie w analizie DC
  - Wyznaczone na podstawie wartości podanych przez użytkownika
  - Wyznaczone na podstawie wartości będących wynikiem obliczeń dla czasu poprzedzającego początek symulacji

# Analiza czasowa stanów przejściowych TR (TRAN) II

- Postać ogólna:
  - `.TRAN Tkrok Tstop <Tstart <Tmax>> <UIC>`
- Tkrok – krok wyświetlania wyników
- Tstart, Tstop – czas początkowy i końcowy analizy
- Tmax – maksymalny krok w analizie stanu nieustalonego
- UIC – zlecenie wykorzystania warunków początkowych (podane przez użycie `IC=...`)
- Przykład:
  - `.TRAN 1NS 100NS UIC`
- Analiza czasowa pozwala na przeprowadzenie analizy wrażliwościowej (w programie NAP także optymalizację)

# Wymuszenie warunków początkowych I

- Instrukcja wymuszenia warunków początkowych .IC
- Postać ogólna
  - .IC V(numer węzła)=wartość V(numer węzła)=...
- Przykład
  - .IC V(15)=10 V(3)=4

## Wymuszenie warunków początkowych II

- Gdy opcja UIC podana w .TRAN – potencjały wymienione w instrukcji .IC są wykorzystywane dla obliczania warunków początkowych – jest to równoznaczne z podaniem IC=... dla każdego z wymienionych elementów (jeśli dla elementu podano IC=... to wartość ta ma pierwszeństwo przed instrukcją .IC)
- Gdy opcja UIC pominięta w .TRAN – stałoprądowy punkt pracy jest wyznaczany przed analizą stanu nieustalonego (IC=... wymusza warunki początkowe jedynie dla obliczeń punktu pracy – analogicznie jak instrukcja .NODESET)

# Analiza wrażliwości

- Postać ogólna:
  - `.SENS PW1<PW2 ...>`
- Oblicza małosygnałowe stałoprądowe wrażliwości każdej z podanych wielkości wyjściowych względem wszystkich parametrów układu
- Przykład:
  - `.SENS V(9) V(3, 15)`



# Analiza w funkcji temperatury

- Postać I:
  - `.TEMP T1 <T2 T3 ...>`
- Określa dla jakich temperatur ma być przeprowadzona analiza obwodu, temperatury wymieniane w kolejności wyrażane w Celsjuszach
- Postać II
  - `.DC LIN V_V1 0 10 0.1 LIN TEMP -50 150 20`
- Domyślnie temperatura nominalna 27C (300K)
- Temperatury poniżej –223C są pomijane

## Inne typy analiz

- Analiza Monte Carlo - .MC
- Analiza widmowa - .FOUR
- Analiza szumów - .NOISE
- Analiza zniekształceń - .DISTO

# Zasady opisu układu I

- Układ elektroniczny opisuje się podając wszystkie wchodzące w jego skład elementy wraz z numerami węzłów, do których są podłączone
- Każdy rodzaj elementu może posiadać inny liczbę węzłów oraz parametrów
- Każdy element umieszczony jest w oddzielnej linii zbioru wejściowego
- Kolejność podawania elementów oraz numerów węzłów jest dowolna

## Zasady opisu układu II

- Obwód MUSI zawierać węzeł o numerze „0”
- Numery węzłów powinny być liczbami naturalnymi (wyjątek nowsze wersje PSPICE)
- Węzeł musi mieć podłączone co najmniej dwa elementy (wyjątek – linia transmisyjna, podłoże tranzystora MOS lub bipolarnego)
- Układ nie może zawierać oczek składających się jedynie ze źródeł napięciowych i indukcyjności
- Układ nie może zawierać rozcięć składających się tylko ze źródeł prądowych i pojemności (każdy węzeł musi mieć połączenie stałoprądowe z węzłem „0”)

## Zasady opisu układu III

- Nazwy elementów nie mogą się powtarzać
- Numery węzłów nie muszą być kolejnymi liczbami
- UWAGA: element każdego typu musi mieć nazwę zaczynającą się od litery przypisanej dla danego typu np. rezystancja musi zaczynać się od litery R
- Kolejność podawania numerów węzłów w deklaracji elementów (także dwukońcówkowych) ma znaczenie, ponieważ określa zwrot napięcia i prądu w elemencie

# Typy elementów

- Rezystancja R
- Pojemność C
- Indukcyjność L
- Niezależne źródło napięcia V
- Niezależne źródło prądu I
- Źródło napięciowe sterowane napięciem E
- Źródło napięciowe sterowane prądem H
- Źródło prądowe sterowane napięciem G
- Źródło prądowe sterowane prądem F
- Dioda D
- Tranzystor bipolarny Q (!)
- Tranzystor JFET J (!)
- Tranzystor MOS M (!)
- Makromodel – podobwód X (!!!)
- Indukcyjność sprzężona K
- Linia transmisyjna T
- Klucz sterowany prądem S
- Klucz sterowany napięciem W

# Źródła niezależne w dziedzinie DC

- Przykład:
  - Vin 2 0 DC 10
  - Iin 2 0 DC 1
- Wartości podane po parametrze DC określają wartość napięcia – prądu wymuszoną dla analizy DC

# Źródła niezależne w dziedzinie AC

- Przykład:
  - Vin 2 0 AC 10 180
  - Iin 2 0 AC 1
- Wartości podane po parametrze DC określają wartość napięcia – prądu wymuszoną dla analizy DC (druga liczba to faza w stopniach)



# Źródła niezależne w dziedzinie TR 1/5

- Źródło impulsowe
  - PULSE (V1 V2 TD TR TF PW PER)
- V1 – wartość początkowa (w woltach, amperach)
- V2 – wartość impulsu (w woltach, amperach)
- TD – czas opóźnienia (w sek.)
- TR – czas narastania (w sek.)
- TF – czas opadania (w sek.)
- PW – szerokość impulsu
- PER – okres sygnału
- Przykład (impuls jednostkowy):
  - Vin 1 0 PULSE (0 1 0 0)

# Źródła niezależne w dziedzinie TR 2/5

- Źródło sinusoidalne
  - SIN (V0 VA FREQ TD THETA)
- V0 – wartość składowej stałej (w woltach, amperach)
- VA – amplituda (w woltach, amperach)
- FREQ – częstotliwość sygnału (w hercach)
- TD – czas opóźnienia (w sekundach)
- THETA – współczynnik tłumienia (w sekundach)
- $V = V0 + VA * \exp(-(time - TD) * THETA) * \sin(2\pi * FREQ * (time + TD))$
- Przykład:
  - Vin 2 0 SIN (0 1 100K 0 0)

# Źródła niezależne w dziedzinie TR 3/5

- Źródło wykładowe:
  - EXP (V1 V2 TD1 TAU1 TD2 TAU2)
- V1 – wartość początkowa (w woltach, amperach)
- V2 – wartość impulsu (w woltach, amperach)
- TD1 – czas opóźnienia dla narastania impulsu (w sek.)
- TAU1 – stała czasu narastania impulsu (w sek.)
- TD2 – czas opóźnienia określający początek opadania sygnału (w sek.)
- TAU2 – stała czasu opadania impulsu (w sek)
- Przykład:
  - Vin 2 0 EXP (0 1 10N 100N)

# Źródła niezależne w dziedzinie TR 4/5

- Źródło odcinkowo liniowe
  - PWL (T1 V1 <T2 V2 T3 V3.....>)
- Dla czasu T1 źródło przyjmuje wartość V1
- Dla czasu T2 źródło przyjmuje wartość V2
- ...itd...
- Przykład:
  - Vin 1 0 PWL (0 1 2U 1 5U 5 9U 5 15U 1)

# Źródła niezależne w dziedzinie TR 5/5

- Źródło o modulowanej częstotliwości
  - SFFM ( $V_0$   $VA$   $FC$   $MDI$   $FS$ )
- $V_0$  – wartość składowej stałej (w woltach, amperach)
- $VA$  – amplituda (w woltach, amperach)
- $FC$  – częstotliwość nośna (w hercach)
- $MDI$  – współczynnik modulacji
- $FS$  – częstotliwość sygnału (w hercach)
- Przykład:
  - $V_{in} 2 0$  SFFM (0 1M 10K 6 1K)

## Źródła sterowane - uwagi

- Źródła sterowane mogą zależeć od wielu zmiennych: podaje się wtedy instrukcję POLY(N) – gdzie N to liczba par węzłów dotyczących napięć sterujących lub nazw źródeł napięcia dotyczących prądów sterujących – a następnie wymienia się zmienne sterujące
- Źródła sterowane mogą być nieliniowe – należy wówczas podać współczynniki wielomianu:
  - $a_0 + a_1 * X + a_2 * X^2 + a_3 * X^3$  (dla jednej zmiennej)
  - $a_0 + a_1 * X + a_2 * Y + a_3 * X^2 + a_4 * XY + a_5 * Y^2$

# Instrukcja modelu I

- Postać ogólna:
  - .MODEL Nazwa\_modelu Typ\_modelu <param>
- Nazwa\_modelu – unikalna nazwa, musi zaczynać się od litery
- Typ\_modelu:
  - D - dioda
  - NPN, PNP – tranzystor bipolarny
  - NJF, PJF – tranzystor unipolarny JFET
  - NMOS, PMOS – tranzystor unipolarny MOSFET
  - RES, CAP, IND, GASFET – rezystancja, pojemność, indukcyjność, tranzystor GASFET z kanałem typu n
  - CORE – nieliniowy rdzeń magnetyczny
  - ISWITCH, VSWITCH – klucz sterowany prądem i napięciem

# Instrukcja modelu II

- Opcjonalna lista parametrów modelu zależy ściśle od typu modelu – przykład:
  - .MODEL DPR D IS=1E-10 RD=10
  - .MODEL QBF NPN BF=100 VAF=100
- Jeśli nie umieszczono poszczególnych parametrów w liście opcji – przyjmowane są wartości domyślne (wbudowane)
- Lista parametrów oraz ich wartości domyślnych jest dostępna w opisie danego modelu wbudowanego
- Wywołanie modelu:
  - Q15 3 5 9 QBN



# Instrukcja modelu III

- Dodatkowe opcje:
  - DEV <wartość><%> - wartości danego parametru są zmieniane w zakresie zadanej tolerancji niezależnie w elementach odwołujących się do danego modelu
  - LOT <wartość><%> - wartości danego parametru są zmieniane w zakresie zadanej tolerancji jednakowo w elementach odwołujących się do danego modelu
- Przykład:
  - .MODEL QBN NPN BF=100 DEV=20% RC=10

# Instrukcja podobwodu I

- Postać ogólna:
  - `.SUBCKT Nazwa N1 <N2 N3 ...>`
  - `.ENDS <Nazwa>`
- Podobwód to zbiór elementów definowany i używany podobnie jak model elementu półprzewodnikowego
- Podobwód może być wielokrotnie wywoływany w obwodzie głównym (oczywiście pod unikalnymi nazwami)
- Przykład:
  - `.SUBCKT opamp 1 2 3 4`
  - `.ENDS opamp`

## Instrukcja podobwodu II

- UWAGA – numeracja węzłów wewnątrz makromodelu jest niezależna od numeracji obwodu głównego
- Wyjątek co do numeracji dotyczy węzła zerowego, który jest zawsze węzłem wspólnym – odnoszącym się do masy
- Opis wewnątrz makromodelu jest identyczny z opisem stosowanym w obwodzie głównym
- Wewnątrz podobwodu nie mogą znajdować się instrukcje poza `.MODEL`, `.SUBCKT`, `.ENDS`
- Zdefiniowane wewnątrz podobwodu modele i podobwody zagnieżdżone są lokalne

## Instrukcja podobwodu III

- Wywołanie podobwodu (koniecznie z X na początku, abcde – unikalna nazwa):
  - Xabcde N1 <N2 N3 ...> opamp
- UWAGA – wywołanie podobwodu powoduje podstawienie numerów węzłów obwodu głównego zgodnie z kolejnością numerów węzłów podaną w definicji podobwodu
- UWAGA – musi zachodzić zgodność liczby podanych węzłów w deklaracjach wywołujących dany podobwód i w jego definicji
- Nie można stosować wywołań rekurencyjnych (czyli wywołanie danego podobwodu w jego własnym wnętrzu)

# Instrukcja włączająca

- Postać ogólna:
  - `.INC nazwa_zbioru`
- Powoduje włączenie do zbioru danych wejściowych dowolnego (podanego w instrukcji) zbioru, zawierającego fragment danych zapisany zgodnie z ogólnymi zasadami tworzenia zbioru danych programu SPICE
- Włączanie danych może się odbywać tylko do czterech poziomów

# Pliki wyjściowe

- Najważniejsze pliki wyjściowe to pliki z rozszerzeniem .out oraz .dat (ten jest tworzony dzięki instrukcji .PROBE na użytek graficznej prezentacji wyników)

# Odwołania do obliczonych wartości I

- Napięcie węzła  $V(98)$
- Napięcie między węzłami  $V(98,34)$
- Napięcie na dwójniku  $V(Rwej)$
- Napięcie na elemencie półprzewodnikowym  $VC(Q25)$
- Napięcie między końcówkami elementu półprzewodnikowego  $VBE(Q25)$
- Prąd dwójnika  $I(Rwej)$
- Prąd źródła napięciowego  $I(Vin)$
- Prąd w końcówkach elementu półprzewodnikowego  $IC(Q25)$

# Odwołania do obliczonych wartości II

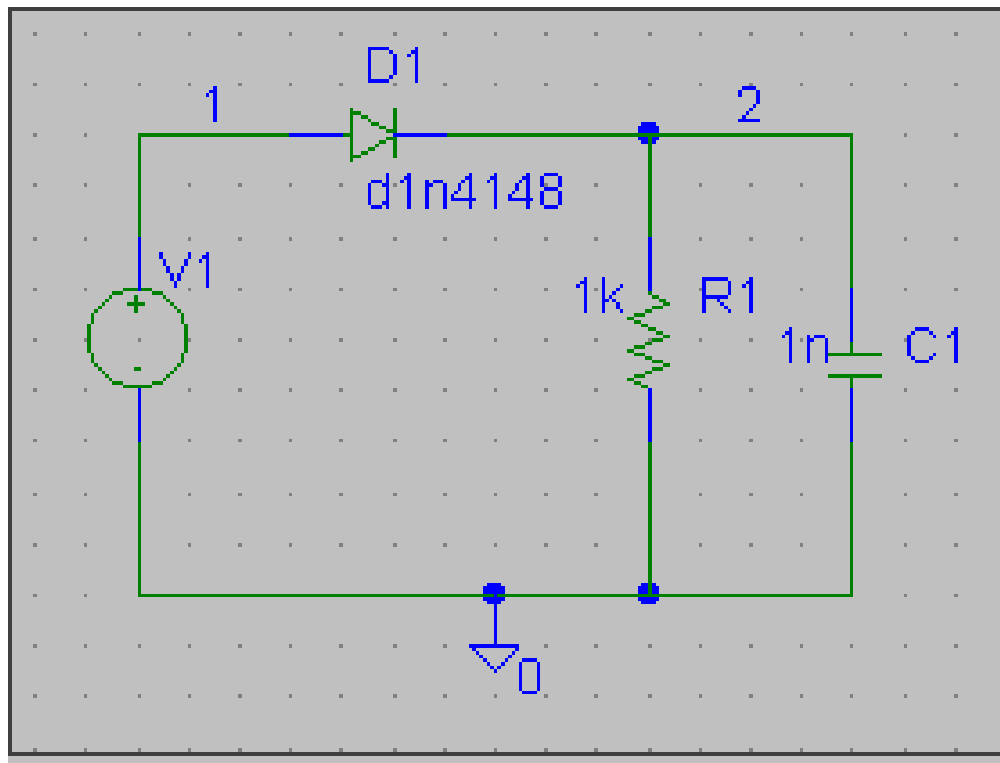
- Ponadto dla analizy AC jest możliwe obliczenie:
  - Części rzeczywistej: VR, IR np.: VR(25), IR(Vin)
  - Części urojonej: VI, II np.: VI(25), II(Vin)
  - Amplitudy: VM, IM np.: VM(25), IM(Vin)
  - Fazy: VP, IP np.: VP(25), IP(Vin)
  - Amplitudy w decybelach: VDB, IDB np.: VDB(25), IDB(Vin)
  - Opóźnienia grupowego: VG np.: VG(25)



# Odwołania do obliczonych wartości III – funkcje specjalne

- Postprocesor graficzny udostępnia szereg funkcji specjalnych np.:  
ABS(), SGN(), SQRT(), EXP(), LOG(), LOG10(), DB(), M(), P(), R(),  
IMG(), PWR(), SIN(), COS(), TAN(), ATAN(), D(), S(), AVG(), RMS(),  
MIN(), MAX(), G()

# Przykład - schemat



## Przykład – plik wejściowy

PRZYKLAD OBWODU ELEKTRYCZNEGO

```
.lib nom.lib
* Schematics Netlist
D_D1          1 2 D1N4148
V_V1          1 0 DC 1 AC 1 PULSE 0 5 5n 10n 10n 500n 1u
C_C1          2 0 1n
R_R1          2 0 1k
* Analysis setup
.OP
.DC LIN V_V1 0 10 0.1 LIN TEMP -50 150 20
.AC DEC 101 10 100K
.TRAN 20ns 1000ns
.TF V(2) V_V1
.SENS V(2)
.NOISE V(2) V_V1
.END
```

## Przykład – plik wyjściowy (fragment)

```
**** SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION    TEMPERATURE =    27.000 DEG C
*****
NODE  VOLTAGE      NODE  VOLTAGE      NODE  VOLTAGE
( 1)  1.0000      ( 2)  0.4351

VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME          CURRENT
V_V1         -4.351E-04

TOTAL POWER DISSIPATION    4.35E-04  WATTS
```

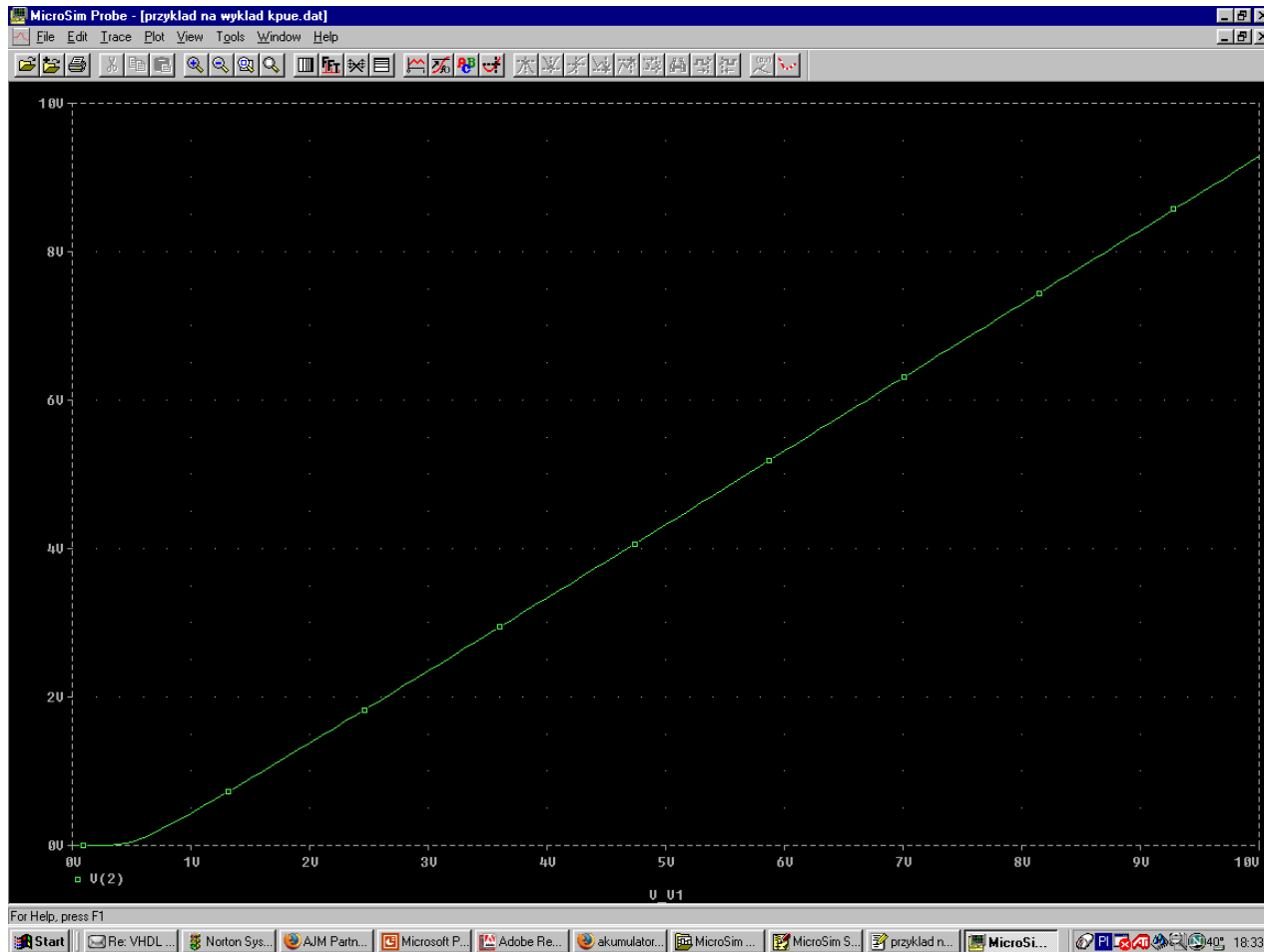
# Przykład – plik wyjściowy (fragment – modele)

```
**** OPERATING POINT INFORMATION  TEMPERATURE = 27.000 DEG C
*****
```

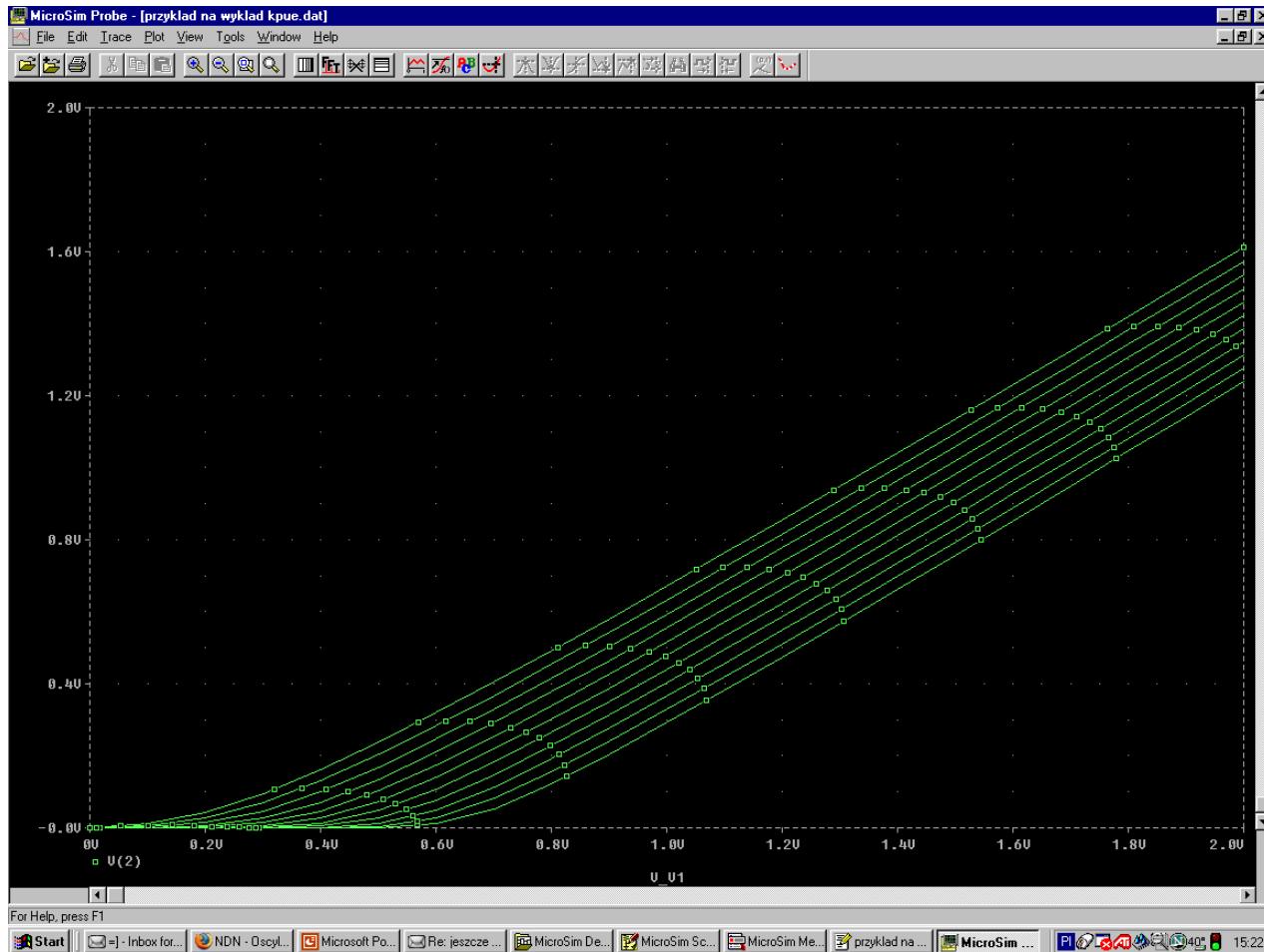
```
**** DIODES
```

NAME	D_D1
MODEL	D1N4148
ID	4.35E-04
VD	5.65E-01
REQ	1.08E+02
CAP	1.14E-10

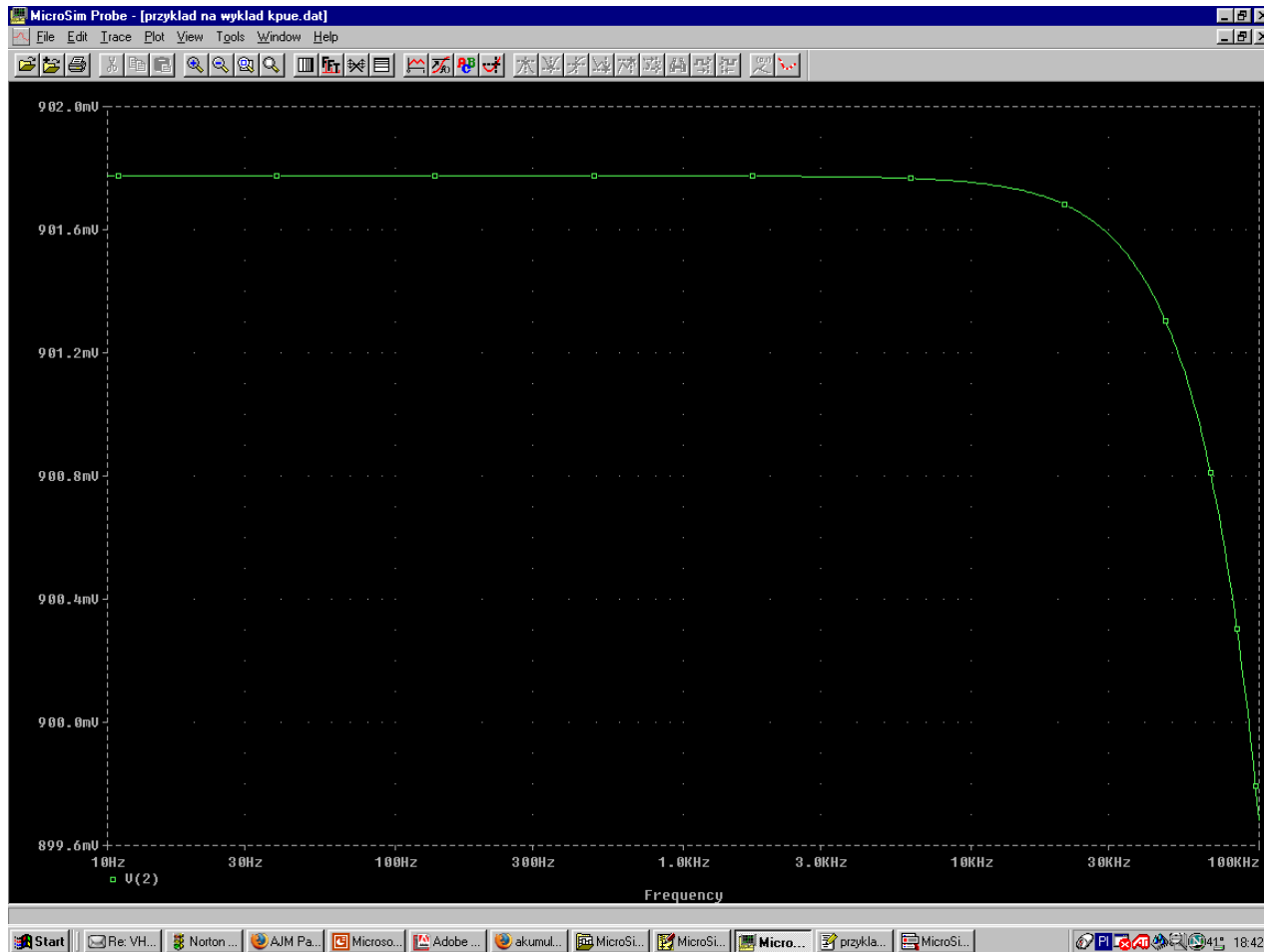
# Wyniki analizy DC



# Wyniki analizy DC / TEMP

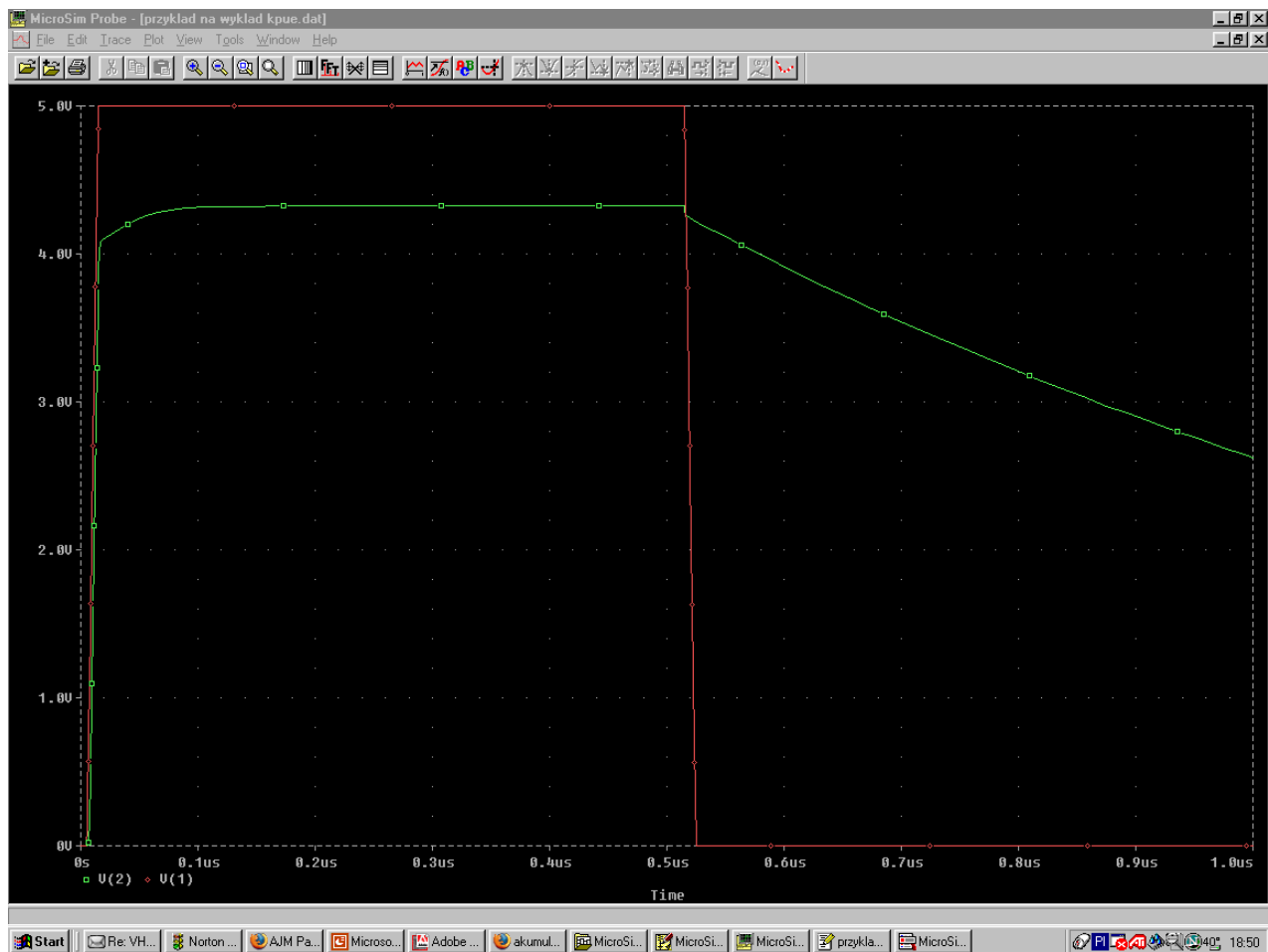


# Wyniki analizy AC





# Wyniki analizy TRAN



# Wyniki analizy TF

\*\*\*\* SMALL-SIGNAL CHARACTERISTICS

$$V(2)/V_{V1} = 9.018E-01$$

$$\text{INPUT RESISTANCE AT } V_{V1} = 1.109E+03$$

$$\text{OUTPUT RESISTANCE AT } V(2) = 9.823E+01$$

# Wyniki analizy SENS

```
****      DC SENSITIVITY ANALYSIS      TEMPERATURE = 27.000 DEG C
*****
DC SENSITIVITIES OF OUTPUT V(2)
```

ELEMENT NAME	ELEMENT VALUE	ELEMENT SENSITIVITY (VOLTS/PERCENT)	NORMALIZED SENSITIVITY (VOLTS/UNIT)
R_R1	1.000E+03	4.274E-05	4.274E-04
V_V1	1.000E+00	9.018E-01	9.018E-03
D_D1			
SERIES RESISTANCE			
RS	5.664E-01	-3.924E-04	-2.222E-06
INTRINSIC PARAMETERS			
IS	2.682E-09	1.426E+07	3.824E-04
N	1.836E+00	-2.477E-01	-4.547E-03

# Wyniki analizy NOISE



# Bibliografia

- A. Napieralski, Analiza i projektowanie komputerowe układów elektronicznych przy pomocy programu SPICE, Skrypt PŁ, Łódź, 1993
- J. Porębski, P. Korohoda, SPICE program analizy nieliniowej układów elektronicznych, WNT, Warszawa, 1989
- <http://www.allaboutcircuits.com>
- <http://www.ecircuitcenter.com/SpiceTopics/History.htm>