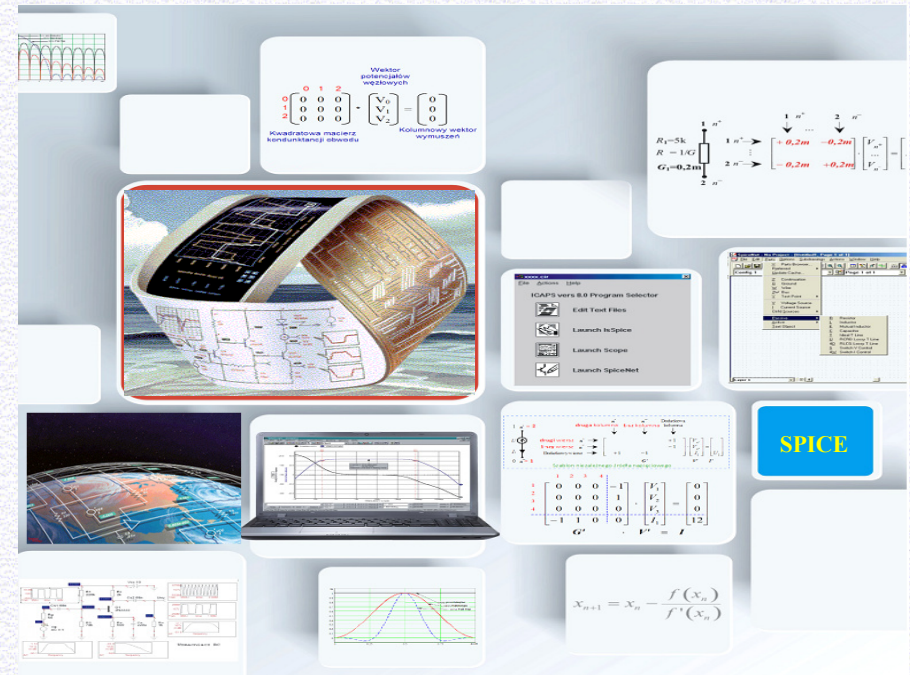




## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

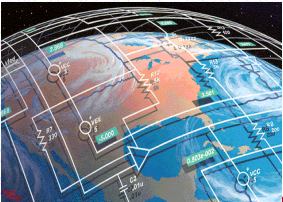
- ⇒ Standard **SPICE**,
- ⇒ Algorytm działania Spice,
- ⇒ Podstawowe rodzaje analiz,
- ⇒ Zasady opisu układów,
- ⇒ Struktura pakietów symulacyjnych - środowisko Spice.



**Prowadzący:**  
mgr inż. Jakub KAŻMIERCZAK



1. A. Dobrowolski, [Pod maską SPICE'a. Metody i algorytmy analizy układów elektronicznych](#), BTC, Warszawa 2004 (sygn. WAT 60098)
2. A. Dobrowolski, J. Kaźmierczak, A. Malinowski, [Technika Obliczeniowa i Symulacyjna : laboratorium](#), WAT, Warszawa 2015 (sygn. 79938)



Wojskowa  
Akademia  
Techniczna

# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

Symulacja komputerowa jest metodą badania zachowania obwodów, które można analizować bez konieczności ich fizycznego budowania

### Standard SPICE - *Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*)

– program do symulacji układów elektronicznych ze szczególnym uwzględnieniem układów scalonych.

**SPICE** - standard opisu obwodów elektronicznych i określania parametrów analiz (symulacji)

#### Historia programu SPICE

⇒ pierwotna wersja programu została opracowana w latach **1968-1970** na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley (USA) pod nazwą **CANCER** (**C**omputer **A**nalysis of **N**onlinear **C**ircuits, **E**xcluding **R**adiation),

⇒ w **1971** roku zmieniono nazwę programu na SPICE

- wersja *public domain* (projekt publiczny),
- nowe, dokładniejsze modele tranzystorów,
- tworzenie makromodeli definiowanych jako podobwoły,

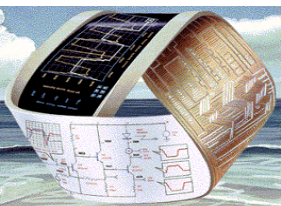
⇒ w **1975** ukazuje się wersja SPICE 2

- zastosowanie zmodyfikowanej metody potencjałów węzłowych umożliwia wprowadzenie do obwodu idealnych źródeł napięciowych oraz źródeł sterowanych,
- wprowadzenie algorytmu adaptacyjnej zmiany kroku i stabilnego algorytmu interpolacyjnego Eulera umożliwiającą poprawę dokładności i szybkości analizy czasowej,
- rozbudowa modeli diod i tranzystorów,

**Symulacja** to metoda badania rzeczywistych układów elektronicznych, ich właściwości oraz poprawności działania na platformie cyfrowej za pomocą matematycznych algorytmów bez konieczności budowy lub posiadania tych układów.



**Dr. Laurence W. Nagel**  
(Early 1970's)



Wojskowa  
Akademia  
Techniczna

# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

- ⇒ prace prowadzone w latach **1975-1983** prowadzą do opracowania profesjonalnego oprogramowania, określającego nieformalny standard - Berkeley SPICE 2G.6 (Fortran) i **SPICE 3A.0** (język C),
- dodanie modeli nowych elementów,
  - *udoskonalenie już istniejących modeli elementów półprzewodnikowych, uwzględniając ich nowe konstrukcje i coraz mniejsze rozmiary,*
  - *poprawienie niektórych algorytmów numerycznych, dzięki czemu zmniejszyły się problemy ze zbieżnością,*
  - *dodanie do programu postprocesora graficznego*

- ⇒ w **1984** roku pojawia się pierwsza poprawiona wersja **SPICE 3A.7**, będąca podstawą programu PSpice – pierwszej komercyjnej realizacji standardu SPICE na komputery PC (Microsim oraz IsSpice - 1985)

- ⇒ kolejne wersje programu: **SPICE 3E.2 (1992)**
- *IsSpice 3* firmy Intusoft z San Pedro w Kalifornii. Pojawił się w pakiecie z graficznym edytorem schematów (DOS),
- i **Berkeley SPICE 3F.5 (1994)**
- stają się podstawą wielu komercyjnych symulatorów przeznaczonych na platformę PC (Window, Unix/Linux i MacOS) – m.in. *IsSpice 4*, będącego podstawą pakietu symulacyjnego ICAP/4Windows

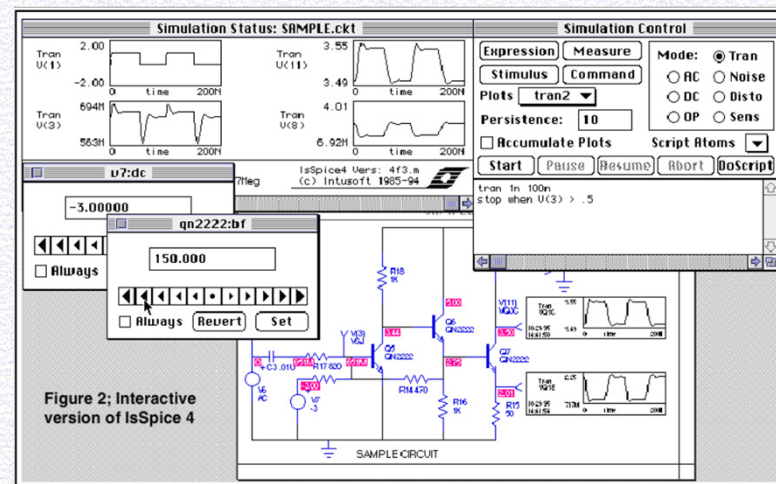


Figure 2; Interactive version of IsSpice 4

# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

### Algorytm działania Spice - Metoda potencjałów węzłowych.

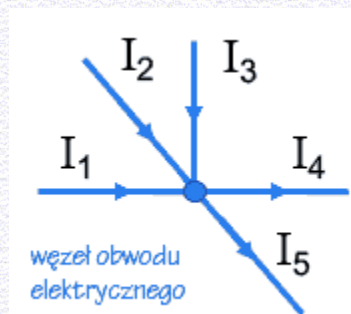
W programach do komputerowej analizy (symulacji) układów elektronicznych do formułowania równań opisujących ten układ (obwody) można zastosować metody: **węzłową**, oczkową, równań hybrydowych lub metodę zmiennych stanu.

Najczęściej stosowana jest metoda **węzłowa** i jej modyfikacje:

- łatwość programowego formułowania równań,
- operowanie wielkościami opisanymi prądowo ( $i=f(u)$ ) i mającymi bezpośrednią interpretację fizyczną (konduktancja, transkonduktancja),

Metoda węzłowa (potencjałów węzłowych) opiera się na:

**I Prawie Kirchhoffa**, zgodnie z którym suma prądów odpływających od węzła równa się sumie prądów do niego dopływających. Algebraicznie suma prądów w węźle jest równa zero.



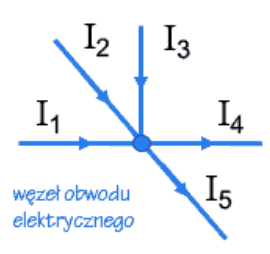
$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

$$I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$$



# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych



węzeł obwodu elektrycznego

Algorytm działania Spice – Metoda potencjałów węzłowych.  $I_1 + I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$

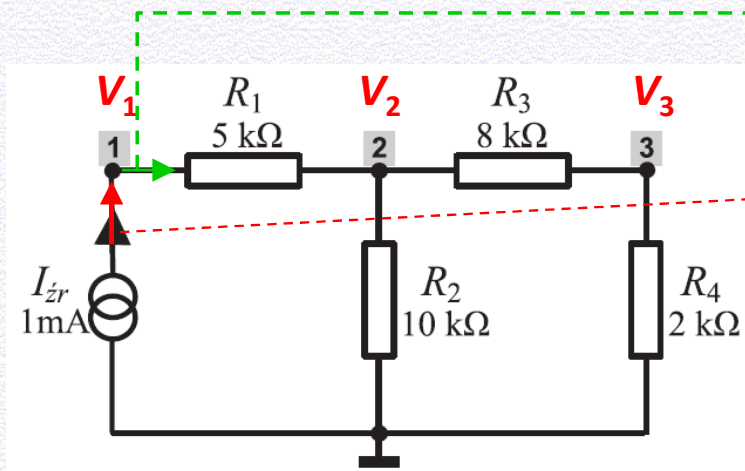
Metoda węzłowa (potencjałów węzłowych) opiera się na I Prawie Kirchhoffa:

*suma prądów odpywających od węzła równa się sumie prądów do niego dopływających.*

Dla każdego węzła w obwodzie można napisać równanie na podstawie I prawa Kirchhoffa, czyli dla obwodu mającego  $n$  węzłów można napisać  $n$  równań prądowych (liniowo zależnych).

=> dla obwodu o  $n$  węzłach istnieje  $n-1$  równań liniowo niezależnych (gdzie jeden pozostały węzeł jest węzłem odniesienia – najczęściej węzeł masy).

W równaniach prądowych wszystkie prądy gałęziowe zastępujemy napięciami (potencjałami) węzłowymi:



dla węzła pierwszego

$$-I_{zr} + \frac{V_1 - V_2}{R_1} = 0$$

dla węzła drugiego

$$-\frac{V_2 - V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_2 - V_3}{R_3} = 0$$

dla węzła trzeciego

$$-\frac{V_3 - V_2}{R_3} + \frac{V_3}{R_4} = 0$$

Otrzymuje się układ  $n-1$  równań liniowych z  $n-1$  niewiadomymi, którymi są potencjały węzłowe obwodu.



# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

$$\begin{cases} -I_{\dot{z}r} + \frac{V_1 - V_2}{R_1} = 0 \\ \frac{V_2 - V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_2 - V_3}{R_3} = 0 \\ \frac{V_3 - V_2}{R_3} + \frac{V_3}{R_4} = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} G_1 V_1 - G_1 V_2 = I_{\dot{z}r} \\ -G_1 V_1 + (G_1 + G_2 + G_3) V_2 - G_3 V_3 = 0 \\ -G_3 V_2 + (G_3 + G_4) V_3 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 & -G_1 & 0 \\ -G_1 & G_1 + G_2 + G_3 & -G_3 \\ 0 & -G_3 & G_3 + G_4 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{\dot{z}r} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

**G** · **V** = **I**

Układ równań prądowych dla wszystkich niezależnych węzłów obwodu.

Po uporządkowaniu i notacji z zastosowaniem konduktancji ( $G=1/R$ ) otrzymujemy układ trzech równań.

Układ kilku równań można zapisać w konwencji **równania macierzowego**.

Wektor potencjałów węzłowych

$$\begin{bmatrix} G_{11} & G_{12} & \dots & G_{1n} \\ G_{21} & G_{22} & \dots & G_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ G_{n1} & G_{n2} & \dots & G_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_{\dot{z}1} \\ I_{\dot{z}2} \\ \dots \\ I_{\dot{z}n} \end{bmatrix}$$

**G**  
Kwadratowa macierz konduktancji obwodu

**I<sub>zr</sub>**  
Kolumnowy wektor wymuszeń

$\Rightarrow \mathbf{G} \cdot \mathbf{V} = \mathbf{I} \Rightarrow$

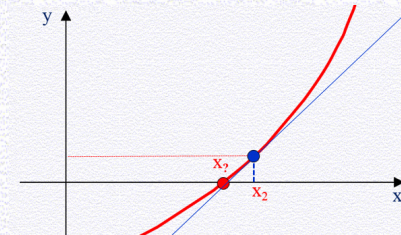
$\mathbf{V} = \mathbf{G}^{-1} \cdot \mathbf{I}$

Metody numeryczne rozwiązywania równania macierzowego dzielą się na:

$\Rightarrow$  metody **dokładne** (wyznaczniki Cramera lub metoda eliminacji Gaussa)

$\Rightarrow$  metody **iteracyjne** (metoda linearyzacji odcinkowej lub metoda Newtona-Raphsona)

$$\begin{bmatrix} 1 & w_{12} & w_{13} & w_{14} & \dots & w_{1n} & z_1 \\ 0 & 1 & w_{23} & w_{24} & \dots & w_{2n} & z_2 \\ 0 & 0 & 1 & w_{34} & \dots & w_{3n} & z_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \dots & w_{4n} & z_4 \\ \vdots & & & & \ddots & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & z_n \end{bmatrix}$$

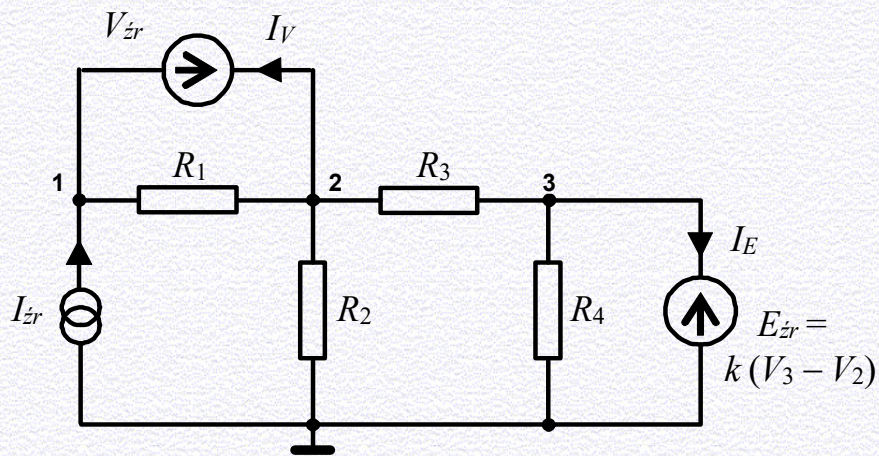


# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

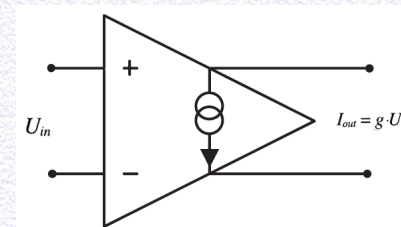
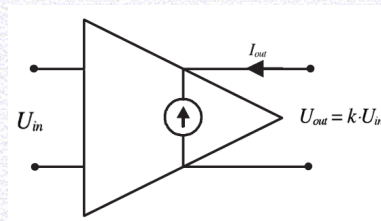
## Algorytm działania Spice – Zmodyfikowana metoda węzłowa.

Zmodyfikowana Metoda Węzłowa umożliwia analizę układów składających się z elementów dwójnikowych:

- rezystory,
  - niezależne źródła prądowe i napięciowe,
- oraz czterozaciskowych:
- źródeł sterowanych.



$$\begin{bmatrix}
 G_1 & -G_1 & 0 & -1 & 0 \\
 -G_1 & G_1 + G_2 + G_3 & -G_3 & 1 & 0 \\
 0 & -G_3 & G_3 + G_4 & 0 & 1 \\
 -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & k & 1 - k & 0 & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 V_1 \\
 V_2 \\
 V_3 \\
 I_V \\
 I_E
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 I_{zr} \\
 0 \\
 0 \\
 V_{zr} \\
 0
 \end{bmatrix}$$

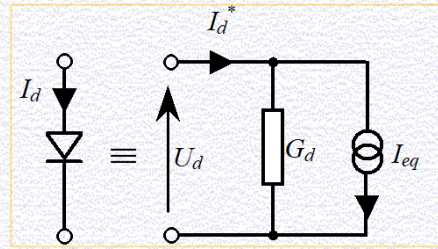
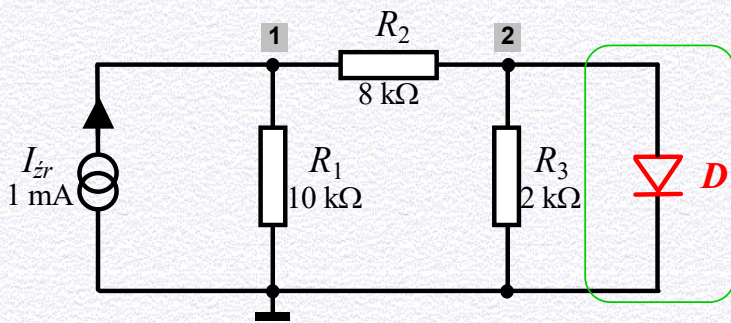




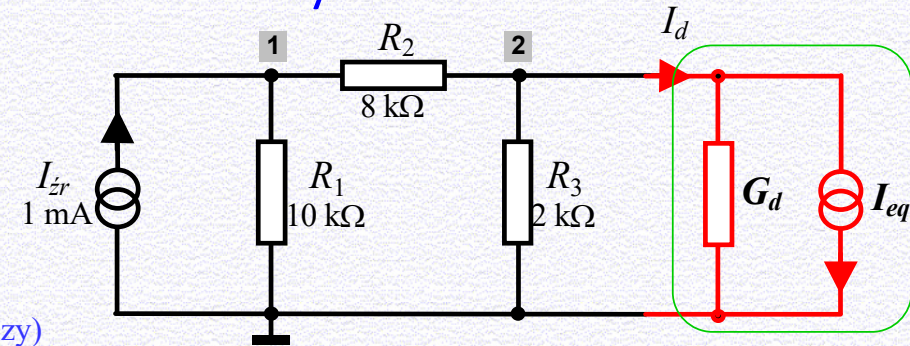
# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

### Algorytm działania Spice – A co z innymi elementami elektronicznymi?

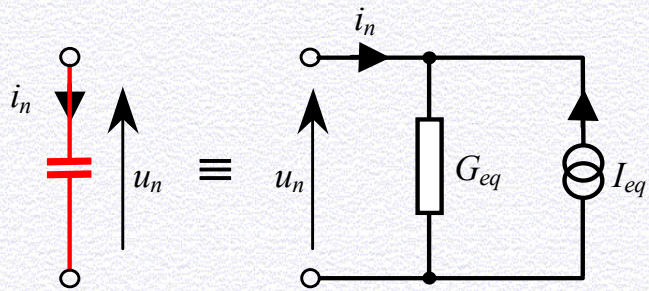


Szablon diody (iterowany model zastępczy)



$$\begin{cases} G_d = \alpha I_S e^{\alpha U_d} \\ I_{eq} = I_S (e^{\alpha U_d} - 1) - G_d U_d \end{cases}$$

$$\begin{bmatrix} G_1 + G_2 & -G_2 \\ -G_2 & G_2 + G_3 + G_d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ -I_{eq} \end{bmatrix}$$

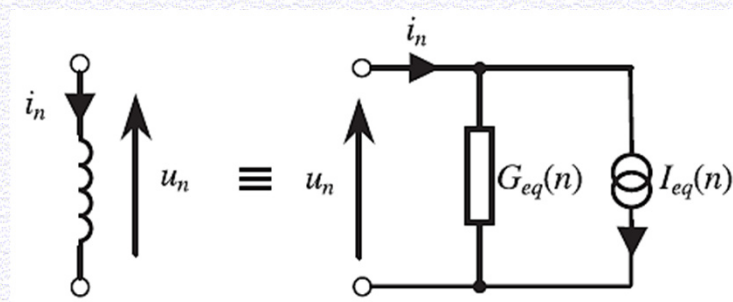


SiPU

Model stowarzyszony kondensatora

$$\begin{cases} G_{eq}(n) = \frac{C}{h_n} \\ I_{eq}(n) = G_{eq}(n) u_{n-1} \end{cases}$$

J. Kaźmierczak



Model stowarzyszony cewki

$$\begin{cases} G_{eq}(n) = \frac{h_n}{L} \\ I_{eq}(n) = i_{n-1} \end{cases}$$



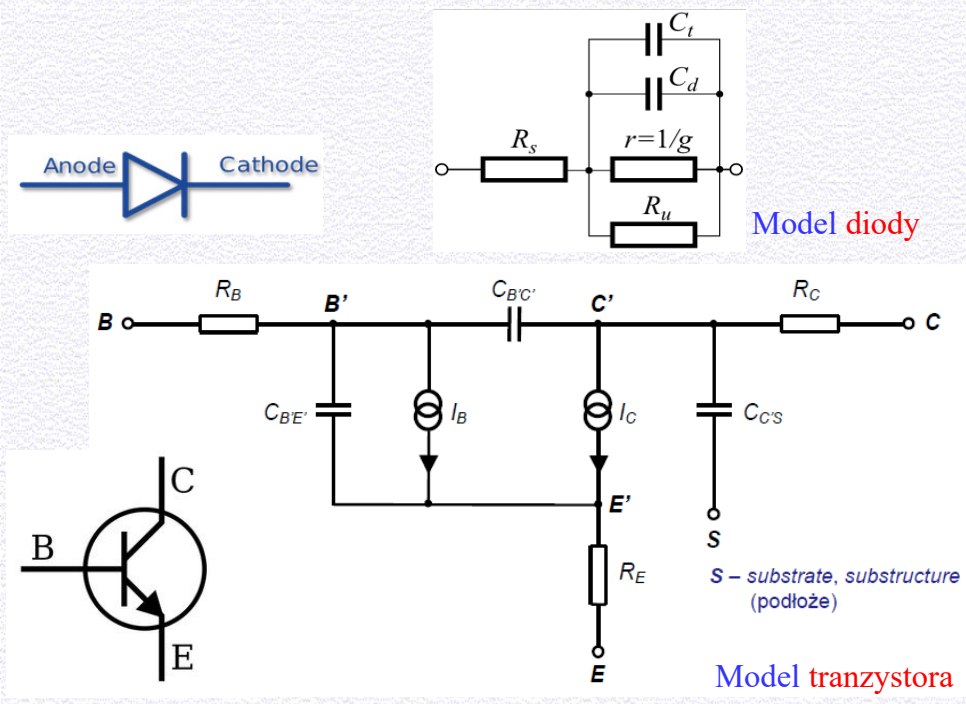
# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

### Algorytm działania Spice – Modele elementów w Spice

SPICE definiuje kilkanaście podstawowych elementów, takich, jak: rezystancja, kondensator, cewka, źródło prądowe i napięciowe, dioda, tranzystor bipolarny i unipolarny, tyrystor, linia transmisyjna, itp. Element elektroniczny, zazwyczaj zachowujący się w złożony, nieliniowy sposób, reprezentowany jest w czasie symulacji przez swój **model** – strukturę naśladującą w uproszczony sposób jego zachowanie.

Z punktu widzenia użytkownika, model to zestaw parametrów opisujących charakterystyczne aspekty zachowania się elementu. Model diody Spice składa się z 14 parametrów a tranzystora z 40.



```
.MODEL DN4002 (IS=5.86E-06 N=1.70 BV=1.33E+02
+ IBV=5.00E-07 RS=3.62E-02 CJO=5.21E-11 VJ=.34
+ M=.38 TT=5.04E-06)
wst. prąd przebicia rez. szeregową poj. złączowa nap. złączowe
prąd nasycenia wsp. emisji wsteczne nap. przebicia
wsp. klasyfikacji złącza czas przelotu
```

Parametry modelu wg standardu SPICE

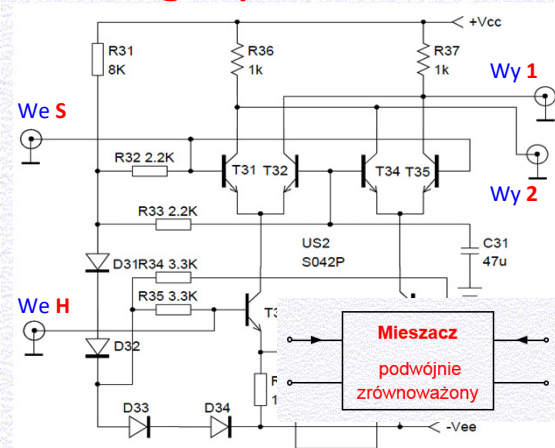
Sym-bol	Ozna-czenie	Opis parametru	Jedno-stka	Wartość domyślna
$I_s$	IS	Prąd nasycenia w temperaturze nominalnej	A	$10^{-10}$
$\beta_N$	BF	Idealne wzmacnienie prądowe dla pracy normalnej w temperaturze nominalnej	-	100
$n_N$	NF	Współczynnik emisji dla pracy normalnej	-	1
$U_A$	VAF	Napięcie Early'ego dla pracy normalnej	V	$\infty$
$I_{kV}$	IKF	Prąd załamania wzmacnienia prądowego dla pracy normalnej	A	$\infty$
$I_{sE}$	ISE	Prąd nasycenia dodatkowej diody złącza BE w temperaturze nominalnej	A	0
$n_E$	NE	Współczynnik emisji prądu upływu złącza BE	-	1,5
$\beta_I$	BR	Idealne wzmacnienie prądowe dla pracy inwersyjnej w temperaturze nominalnej	-	1
$n_I$	NR	Współczynnik emisji dla pracy inwersyjnej	-	1

```
.MODEL BC108B NPN (IS=1.02E-16
+ VAF=80 IKF=6.0E-02 ISE=2E-16
+ NR=1.0 VAR=20 RB=3.3E+00
+ CJE=1.6E-11 CJC=4.7E-12
+ XTB=1.5 )
```

# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

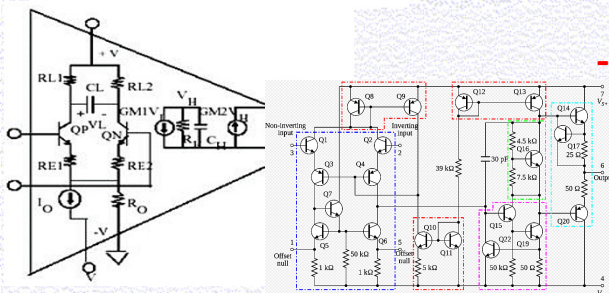
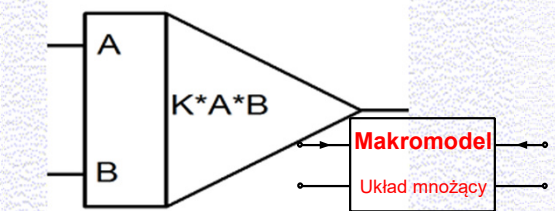
### Algorytm działania Spice – Makromodele i ich rodzaje



**Makromodel** to uproszczone przedstawienie grupy elementów lub podukładu elektronicznego realizujących określoną funkcję, zamkniętych w jedną całość, najczęściej w postaci bloku funkcjonalnego, który z wystarczającą dla konkretnego zastosowania dokładnością odzwierciedla właściwości rzeczywistego układu.

Rodzaje makromodeli:

- **Strukturalne** – gotowe elementy (modele) zamknięte w jeden blok (strukturę).
- **Matematyczne (parametryzowane)** – pełen, matematyczny opis elementu układu elektronicznego uproszczony do postaci, by zyskać odpowiednią efektywność obliczeniową.
- **Behawioralne** – aproksymowanie odpowiedzi modelowanego elementu na dowolne pobudzenie o kontrolowanej złożoności obliczeniowej (możliwość stworzenia modelu bez szczegółowej znajomości wewnętrznej budowy danego elementu, mając wiedzę tylko o charakterze dynamiki tego układu).



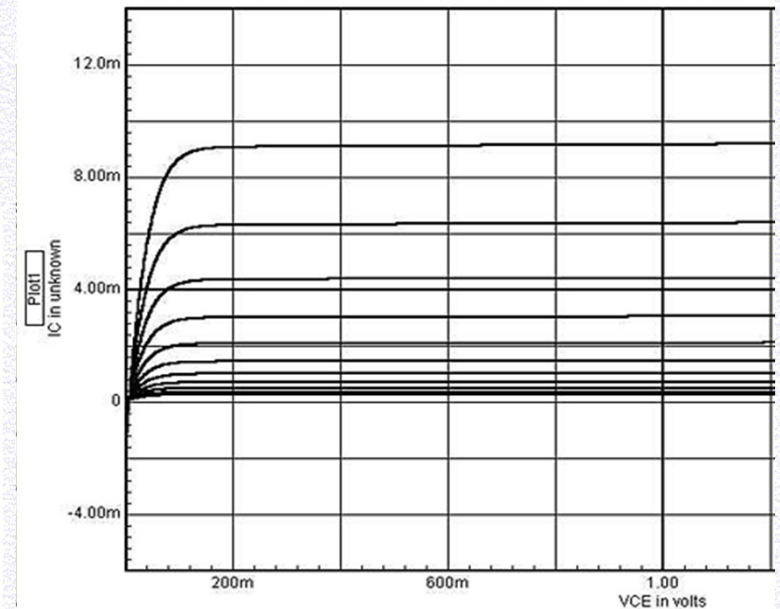
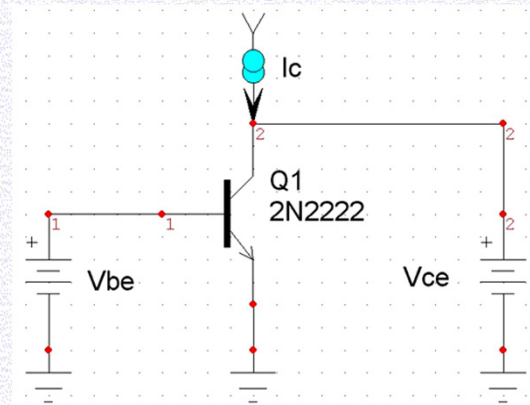
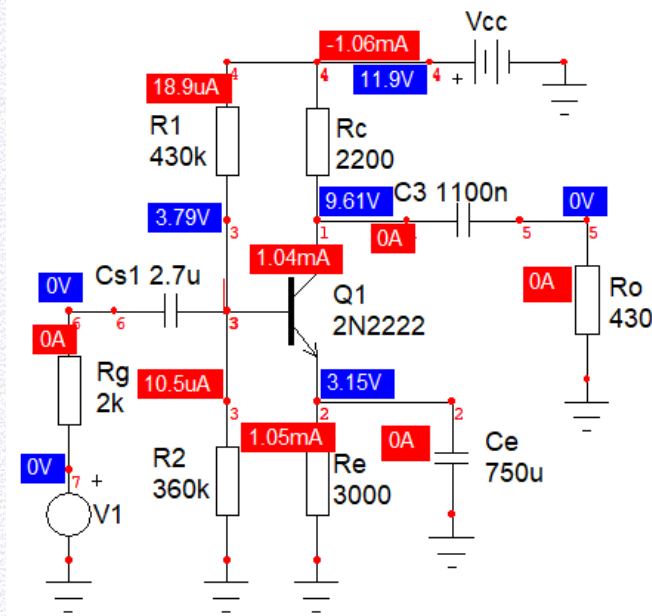


# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

### Podstawowe (standardowe) rodzaje analiz w Spice

- ▶ stałoprądowa analiza punktu pracy, **OP - Operating Point Analysis**  
wyznacza w układzie zawierającym co najmniej jedno źródło stałe ( $V_{DC}$  lub  $I_{DC}$ ) **punkt pracy**, czyli napięcia w każdym węźle względem potencjału odniesienia, prądy płynące przez elementy oraz moce tracone na elementach.
- ▶ krokowa analiza stałoprądowa, **DC - Direct Current Sweep Analysis**  
przeprowadza **serię** analiz dla składowej stałej przy zmieniających się wartościach (w zadanym przedziale) źródła stałego układu. Umożliwia wykreślanie charakterystyk statycznych elementów i układów.



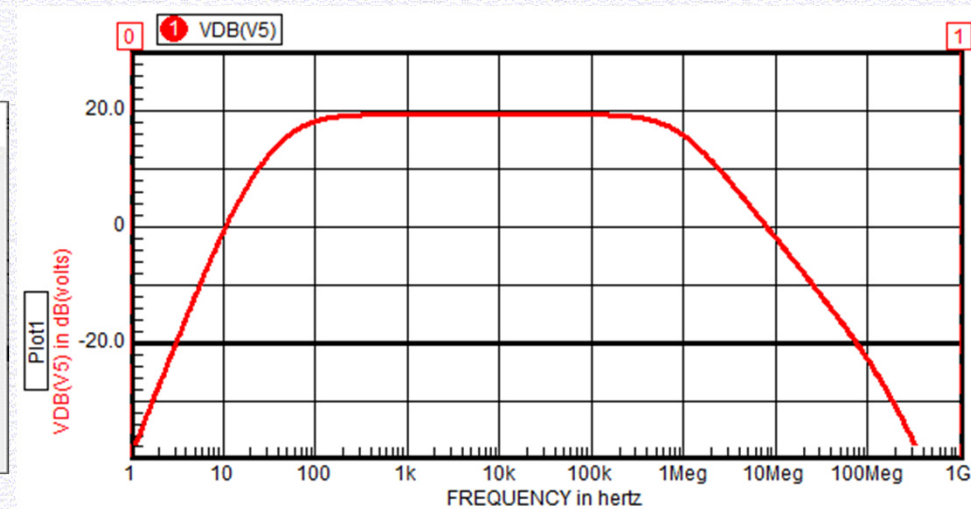
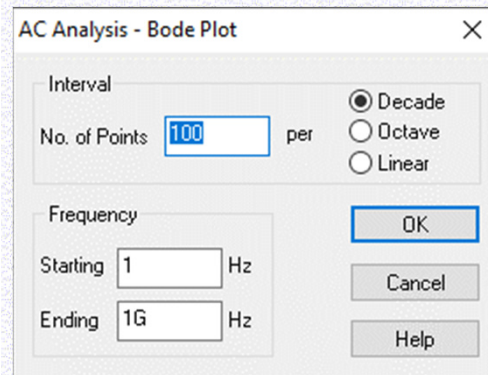
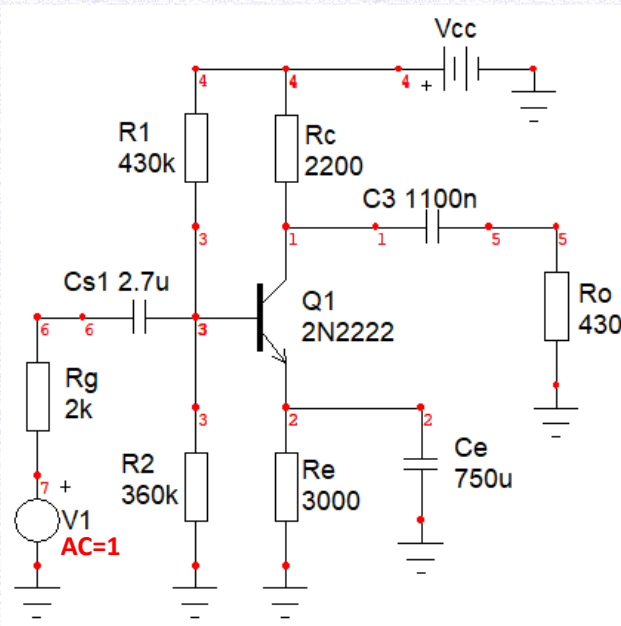


# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

### Podstawowe (standardowe) rodzaje analiz w Spice

- ▶ **małosygnałowa analiza częstotliwościowa (zmiennorządowa), AC - Alternating Current Analysis** określa odpowiedź układu (amplitudy prądów oraz napięć zmiennych AC) przy wymuszeniu sinusoidalnym dla każdej częstotliwości z przedziału  $F_{\text{Start}} \div F_{\text{Stop}}$ . Celem tej analizy jest wyznaczenie charakterystyk częstotliwościowych wybranych amplitud (lub faz) prądów i napięć zmiennych układu. Jest to analiza małosygnałowa, tzn. charakterystyki elementów układu są linearyzowane wokół obliczonego wcześniej statycznego punktu pracy.



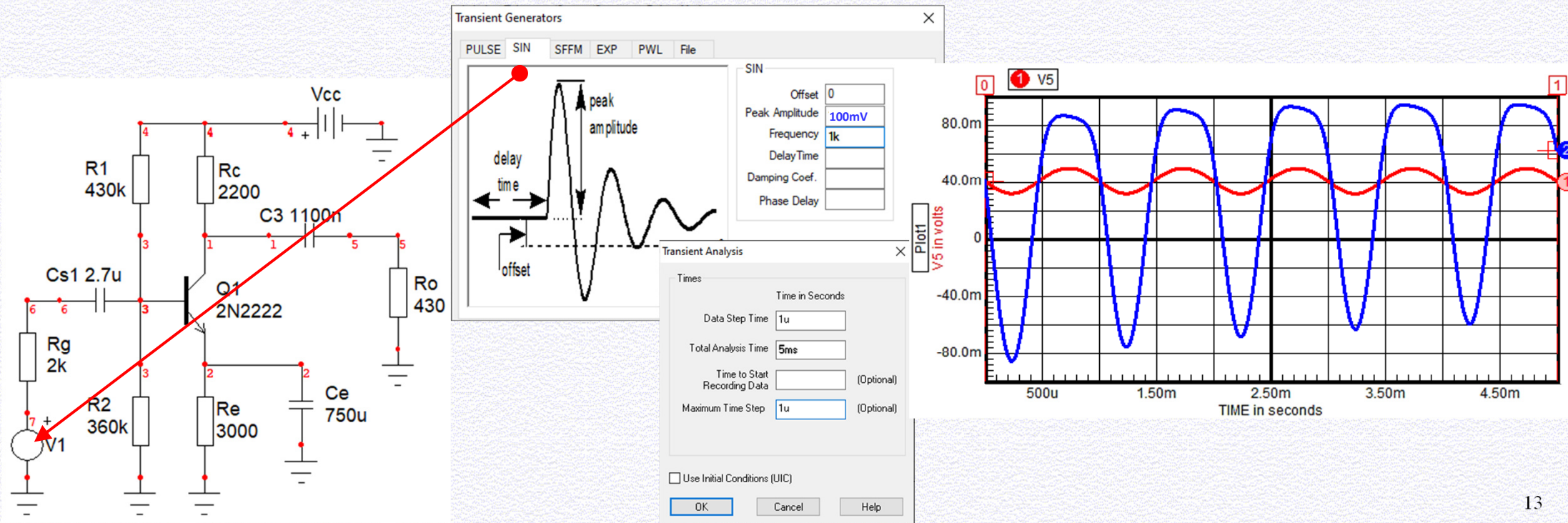


# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

### Podstawowe (standardowe) rodzaje analiz w Spice

- ▶ analiza czasowa (stanów przejściowych lub stanów nieustalonych), **TRAN** - Transient Analysis  
wyznacza w funkcji czasu odpowiedź układu na wymuszenia przebiegiem czasowym.  
W wyniku tej analizy określone zostają przebiegi napięć i prądów w wybranych węzłach i gałęziach układu w przyjętym przedziale czasu. Analiza czasowa uwzględnia stany nieustalone w układach oraz nieliniowe charakterystyki elementów.



# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

### Podstawowe (standardowe) rodzaje analiz w Spice

- Standardowe analizy symulatorów SPICE
  - OP – punktu pracy
    - wyznacza ustalony punkt pracy dla składowej stałej (stałe potencjały węzłów – względem węzła odniesienia „0”)
  - DC – stałoprądowa (=dla składowej stałej)
    - jak OP, jednak można wykonać serię symulacji dla podanego zbioru wymuszeń (zbioru wartości źródeł)
  - AC – częstotliwościowa (=dla składowej przemiennej)
    - wyznacza odpowiedź częstotliwościową (amplituda i faza potencjału każdego węzła dla poszczególnych częstotliwości)
  - TRAN – czasowa (=przejściowa, stanów przejściowych)
    - wyznacza odpowiedź w funkcji czasu (przebiegi potencjałów jak na oscyloskopie)

#### ► analiza temperaturowa, **Temp** - Temperature Analysis

umożliwia przeprowadzenie symulacji układu dla zadanych wartości temperatur. Temperatura nominalna to 27°C.

Wartości parametrów elementów (w tym modeli elementów półprzewodnikowych) określone są właśnie dla określonej temperatury.

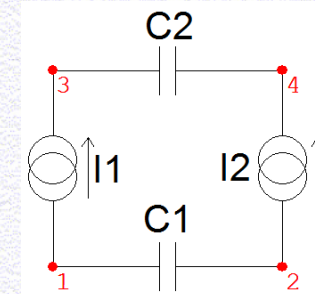
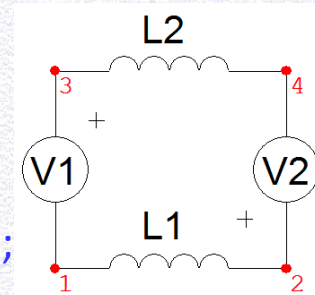
# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

Zasady opisu topologii układu – czego nie wolno a co trzeba.

Jakie zasady opisu układów obowiązują przy tworzeniu schematu (projektu) w Spice?

- ⇒ układ musi zawierać węzeł o numerze „0” – najczęściej przyjmuje się, że jest to węzeł masy;
- ⇒ numery węzłów muszą być liczbami naturalnymi;
- ⇒ nazwa danego elementu powinna rozpoczynać się odpowiadającym mu symbolem, np. dla tranzystora bipolarnego musi to być  $Q$ . Wpisanie np. nazwy  $T2$  spowoduje wygenerowanie błędu, gdyż symulator będzie oczekiwał struktury linii transmisyjnej – pierwsza litera „ $T$ ”;
- ⇒ nie mogą wystąpić dwa elementy o takiej samej nazwie, np. dwa rezystory o nazwie  $R1$ ;
- ⇒ nie może wystąpić węzeł, do którego jest podłączony tylko jeden element (za wyjątkiem masy);
- ⇒ układ nie może zawierać oczek składających się jedynie ze źródeł napięciowych i indukcyjności;
- ⇒ każdy węzeł musi mieć stałoprądowe połączenie z węzłem o numerze „0”, co jest równoważne warunkowi, że układ nie może zawierać rozcięć składających się jedynie ze źródeł prądowych i pojemności – program generuje wówczas błąd sygnalizujący brak stałoprądowego przejścia do masy.



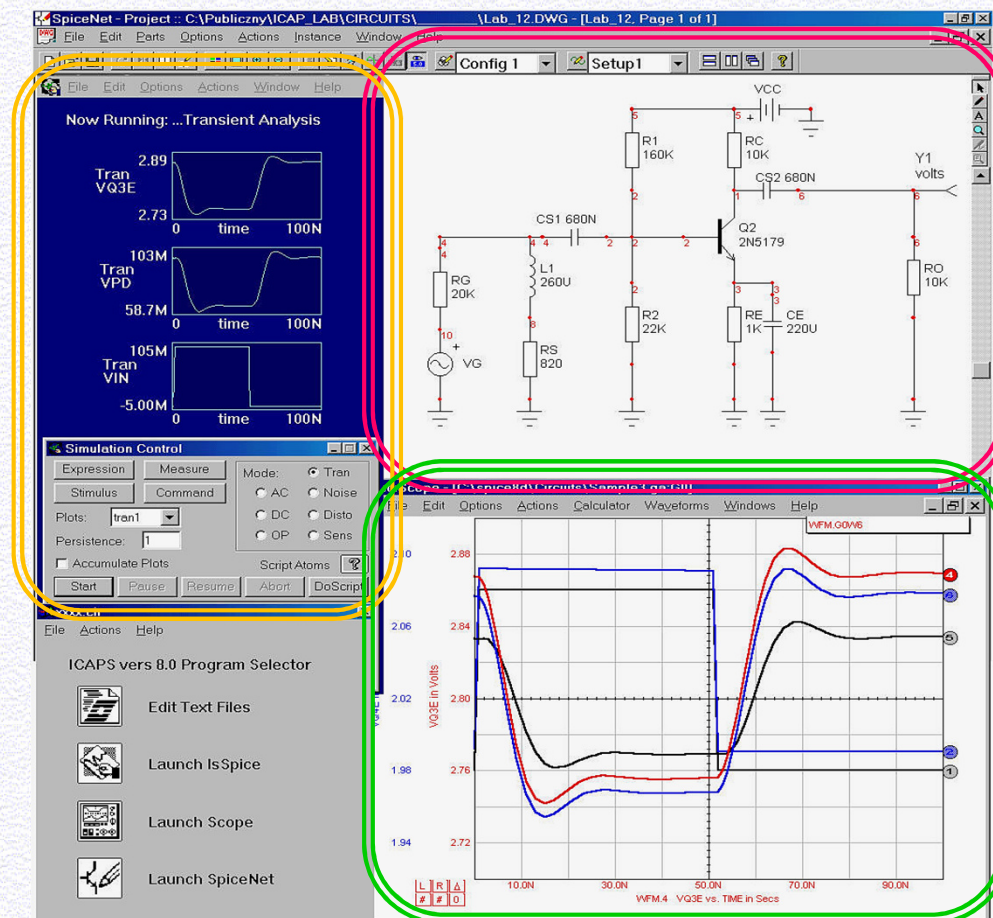
# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

### Komponenty pakietów symulacyjnych Spice

Każdy pakiet (program) do symulacji układów elektronicznych składa się z komponentów (aplikacji):

- ▶ **edytor schematów** – aplikacja nadrzędna, sterująca pracą całego pakietu symulacyjnego. Umożliwia przede wszystkim tworzenie i edycję schematów (edytor schematów), deklaracje źródeł wymuszeń oraz rodzajów analiz (interfejs), a także dostęp bezpośredni do pozostałych aplikacji pakietu.
- ▶ **symulator spice** – aplikacja wykorzystująca język (standard) spice do przeprowadzenia odpowiednich obliczeń (symulacji) oraz generująca dane wyjściowe (w formie tekstowej).
- ▶ **edytor wykresów** – (tzw. postprocesor graficzny), aplikacja umożliwiająca graficzne przetworzenie i prezentację danych wyjściowych (wyników symulacji).
- ▶ **edytor tekstowy** – aplikacja sprzężona bezpośrednio z pakietem, dająca możliwość „ręcznego” sterowania symulacją, umożliwiającą podgląd wyników symulacji w trybie tekstowym oraz podgląd błędów generowanych przez symulator.





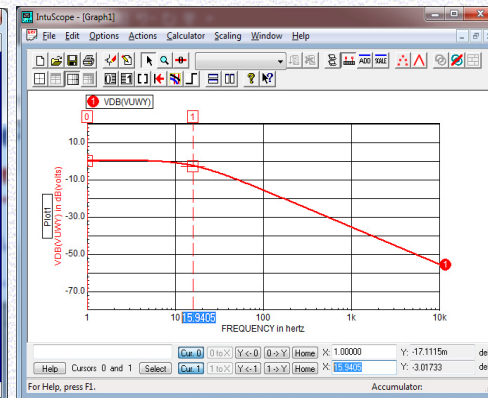
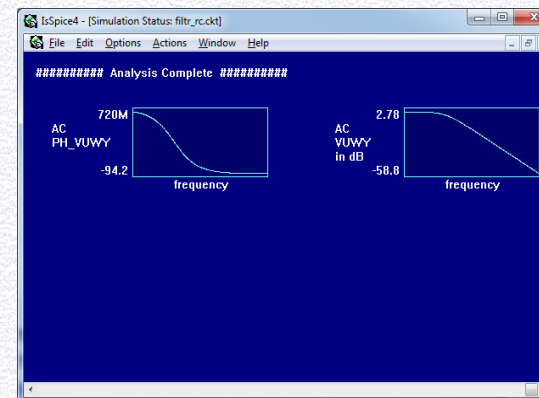
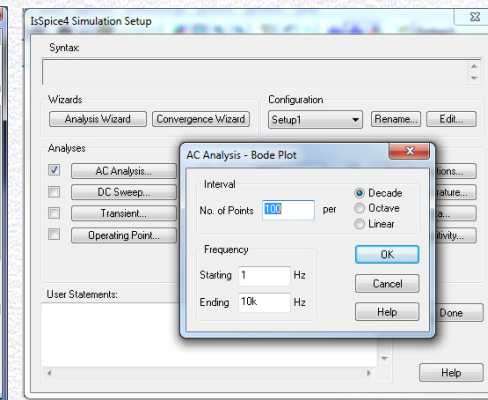
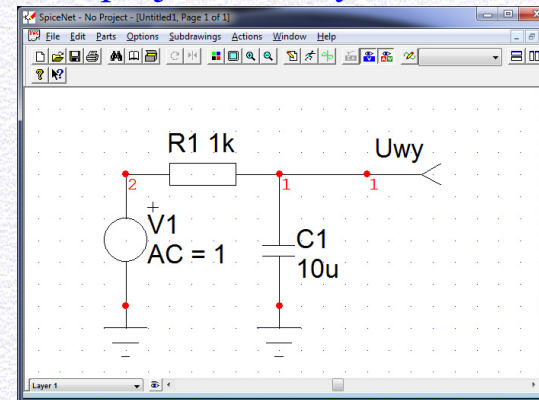
# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

Etapy tworzenia projektu w języku Spice.

Jakie są etapy (czynności) podczas symulacji Spice - od projektu do wyników.

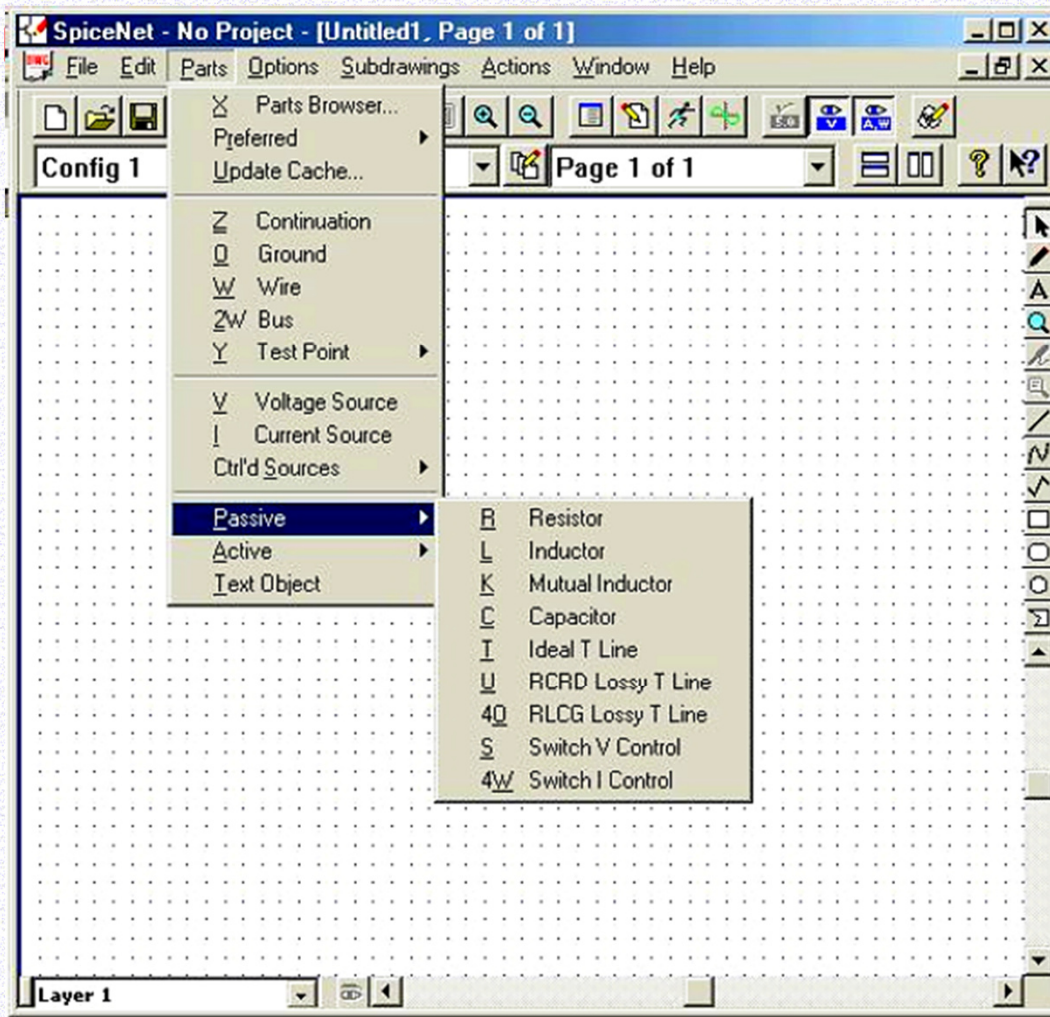
1. Przygotowanie programu (uruchomienie edytora schematów) do stworzenia nowego projektu.
2. Wprowadzenie elementów układu – stworzenie netlisty (utworzenie schematu lub wczytanie wcześniej utworzonego już), odpowiednie ich połączenie oraz zadeklarowanie ich wartości i nazw (zgodnie z zachowaniem zasad nazewnictwa elementów i topologii układowej).
3. Deklaracja źródeł wymuszeń (pod kontem przeprowadzanych analiz) oraz ewentualnie umieszczenie na schemacie punktów pomiarowych.
4. Deklaracja rodzajów analiz i ich parametrów.
5. Przeprowadzenie symulacji w oparciu o plik netlisty.
6. Przedstawienie wyników za pomocą edytora tekstowego lub edytora wykresów.





# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych



- B* – behawioralne źródło napięcia,
- C* – kondensator,
- D* – dioda,
- E* – źródło napięcia sterowane napięciem,
- F* – źródło prądu sterowane prądem,
- G* – źródło prądu sterowane napięciem,
- H* – źródło napięcia sterowane prądem,
- I* – niezależne źródło prądu,
- J* – tranzystor *JFET* typu *n*,
- K* – indukcyjność wzajemna (sprzężenie),
- L* – indukcyjność,
- M* – tranzystor *MOSFET* typu *n*,
- O* – węzeł odniesienia (masa układu),
- Q* – tranzystor bipolarny typu *n-p-n*,
- 2Q* – tranzystor bipolarny typu *p-n-p*,
- R* – rezystancja,
- S* – przełącznik (switch),
- T* – linia transmisyjna (idealna),
- U* – stratna linia transmisyjna RC,
- W* – przewód, połączenie,
- V* – niezależne źródło napięcia,
- X* – przeglądarka bibliotek,
- Y* – sonda pomiarowa,
- Z* – znaczniki kontynuacji.

# Symulacji i Projektowania Układów (SiPU)

## Wprowadzenie do symulacji układów elektronicznych

### Symulatory układów elektronicznych Spice

- ICAP4/Windows (Intusoft)



- TINA Pro (DesignSoft)



- Micro-Cap (Spectrum Software)



- MicroSim (DesignLab)



- LT-Spice (Linear Technologies)



- pSpice (OrCad obecnie wsparcie TI)



- MultiSim (NI Electronics Workbench Group d. EWB)



- B<sup>2</sup>.Spice A/D (EMAG Technologies Inc.)



- EDWinXP (EDSpice Simulator od Visionics)

- Altium Designer Spice (d. Protel 99SE z modułem Spice)

- TopSpice (Penzar Development),



- Spice Opus (University of Ljubljana)



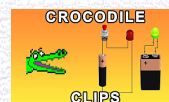
- T-Spice (Tanner EDA),



- HSPICE (Synopsys d. Meta Software)



- Crocodile Clips, Circuit Makera, T-Cad (pl), Simplorer,...



J. Kaźmierczak