

Komputerowe projektowanie układów elektronicznych

Elektronika i telekomunikacja
studia zaoczne
semestr VI

mgr inż. Łukasz Starzak

Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych

al. Politechniki 11 „Akwarium”, VI p., pok. 3

tel. (42 631) 26 20, 698 999 853

poczta: starzak@dmcs.p.lodz.pl

www.dmcs.p.lodz.pl, neo.dmcs.p.lodz.pl/~starzak

1. Wprowadzenie

- Plan wykładu
 - I. Wprowadzenie do pakietu MicroSim
 - II. Opis obwodów elektronicznych i uruchamianie analiz w standardzie SPICE
 - III. Modelowanie elementów elektronicznych
 - IV. Algorytmy symulacji układów elektronicznych
 - V. Technika komputerowa w projektowaniu układów elektronicznych
- *Wiadomości potrzebne do wykonania zadań laboratoryjnych*
- Strona internetowa przedmiotu
<http://neo.dmcs.p.lodz.pl/kpue-sz>

Zasady zaliczenia

- Laboratorium
 - sprawozdanie
 - systematyczność pracy (karty pracy)
 - aktywność
 - obecność obowiązkowa
- Wykład
 - kolokwium
 - prace domowe
 - aktywność

Literatura

- Porębski J., Korohoda P. *Spice : program analizy nieliniowej układów elektronicznych*. Wyd. 5 zm. Warszawa : Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1996.
- Napieralski A. *Analiza i projektowanie komputerowe układów elektronicznych przy pomocy programu SPICE*. Łódź : Wydawnictwa Politechniki Łódzkiej, 1993.
- Król A., Moczko J. *PSpice : symulacja i optymalizacja układów elektronicznych*. Poznań : Nakom, 2000.
- Walczak J., Pasko M. *Komputerowa analiza obwodów elektrycznych z wykorzystaniem programu SPICE : zagadnienia podstawowe*. Wyd. 2. Gliwice : Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2002.
- Walczak J., Pasko M. *Zastosowanie programu SPICE w analizie obwodów elektrycznych i elektronicznych*. Gliwice : Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, 2003.
- Quarles T., Newton A.R., Pederson D.O., Sangiovanni-Vincentelli A. *SPICE3 Version 3f3 User's Manual*. Berkeley, CA, USA: Department of Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California, May 1993. [dostępne w internecie]
- ...

Oznaczenia

- [] opcjonalne elementy deklaracji – można pominąć
- | alternatywa – należy wpisać jedno z wyrażen rozdzielonych tym znakiem
- + kontynuacja poprzedniej linii (jak w plikach CIR)
- zwykła czcionka dosłowny tekst do wpisania
- *kursywa* oznaczenie parametru, za który trzeba podstawić odpowiednią wartość liczbową lub tekstową

2. PSPICE – podstawy opisu obwodów i analiz

- SPICE – Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis = program symulacyjny z naciskiem na układy scalone
- Uniwersalny symulator obwodów elektrycznych i elektronicznych opracowany na uniwersytecie w Berkeley (USA)
- Standard opisu obwodów elektronicznych i określania parametrów analiz (symulacji)
- PSPICE – jedna z odmian szczególnych (zarówno symulatora jako i standardu opisu)
- Wykład opiera się na symulatorze PSPICE w wersji z pakietu MicroSim

Pakiet MicroSim

■ Składniki

- Design Manager – zarządzanie projektami
- PSpice A/D – właściwy symulator
- Text Editor – edytor tekstu (pliki wejściowe, wyjściowe pliki tekstowe, definicje modeli)
- Schematic Editor – edytor schematów (pliki wejściowe)
- Probe – wyświetlanie i obróbka wyników
- Parts – modelowanie elementów
- Stimulus Editor – definiowanie wymuszeń
- Message Viewer – wyświetla komunikaty symulatora

■ Używamy wersji 8.0

- Wersja demonstracyjna posiada pewne ograniczenia (liczba węzłów i elementów, modele)

Podstawy tworzenia tekstowych plików wejściowych

- W pakiecie MicroSim rozszerzenie CIR
- Struktura pliku
 - wiersz tytułowy z dowolnym tekstem
 - dowolna liczba linii
 - opisujących elementy obwodu (rozpoczynają się od litery)
 - lub zawierających instrukcje (rozpoczynają się od kropki)
 - kolejność tych linii nie jest istotna
 - słowo kluczowe .END
 - jedna pusta linia
- Konwencje
 - duże/małe litery nie mają znaczenia
 - $cp1 \equiv cP1 \equiv Cp1 \equiv CP1$
 - można używać tylko liter od a do z (bez polskich)

Podstawy tworzenia tekstowych plików wejściowych

■ Konwencje c.d.

- identyfikatory (nazwy) nie mogą się zaczynać cyfrą, oprócz nazw węzłów składających się z samych cyfr
- plus (+) oznacza, że linia jest kontynuacją poprzedniej (nie dotyczy linii z *)
 - D1 1 0 ≡ D1 1 0 MD2 10
 + MD2 10
- gwiazdka (*) jako pierwszy znak linii oznacza, że cała linia jest komentarzem
 - * Ten tekst nie liczy się jako opis obwodu
- średnik (;) oznacza początek komentarza zajmującego końcową część linii
 - D1 1 0 MD2 10 ; to jest komentarz który nie liczy
 ; się jako opis obwodu

Węzły

- Przed rozpoczęciem wprowadzania opisu obwodu, należy w nim wyróżnić węzły i przyporządkować każdemu z nich inne oznaczenie
- Dwa węzły mogą być ze sobą połączone tylko poprzez elementy (nie mogą być połączone bezpośrednio przewodem)
 - Aby zewrzeć dwa węzły, należy między nie włączyć niezależne źródło napięcia o stałej wartości 0
- W obwodzie musi być węzeł odniesienia, oznaczony cyfrą 0
 - Węzeł odniesienia ma zawsze potencjał równy 0 V, a pozostałe potencjały są liczone względem niego
- Pozostałe węzły można dowolnie oznaczać liczbami lub tekstowo
 - W programie Probe pojawiają się dodatkowe, alternatywne nazwy węzłów w formacie:
Voznaczenie_końcówki(oznaczenie_elementu)

Liczby

Formaty zapisu

Ułamek dziesiętny z kropką	Inżynierski	Naukowy
1.05	1.05	1.05E0
0.105	105M	1.05E-1
105	105	1.05E2
25890	25.89K	2.589E4
0.000345	345U	3.45E-4

$$xEy \equiv x \cdot 10^y$$

Oznaczenia przedrostków w formacie inżynierskim

Potęga 10	Przedrostek	Ozn. tradycyjne	Ozn. SPICE
-15	femto	f	F
-12	piko	p	P
-9	nano	n	N
-6	mikro	μ	U
-3	mili	m	M
3	kilo	k	K
6	mega	M	MEG
9	giga	G	G
12	tera	T	T

Jednostki

Po liczbie (bez spacji) może następować lub nie następować dowolny ciąg znaków. Ciąg ten w analizie obwodu jest ignorowany.

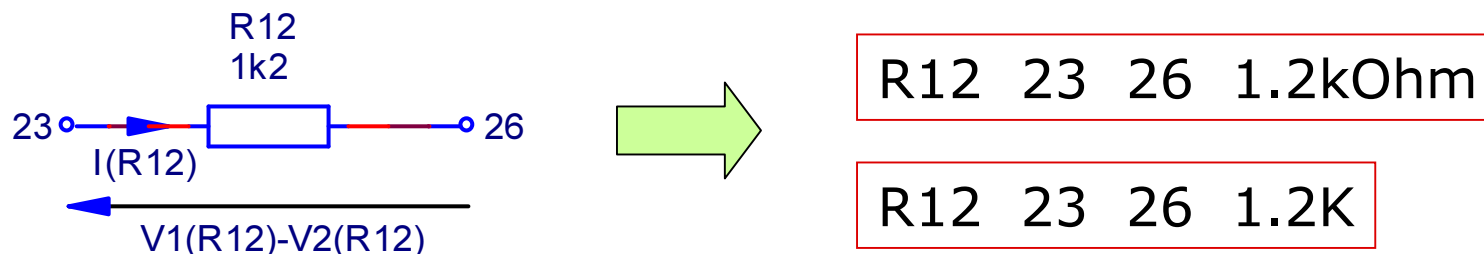
Np. rezystancję można podać jako: 150mOhm, 150momow, 150mfaradow, 150e-3woltow, 150m – wszystkie zostaną zinterpretowane jako 150 m Ω .

Opis elementów biernych (podstawy)

■ Opornik liniowy – R

■ **Roznaczenie plus minus wartość**

- *oznaczenie* – dowolny ciąg liter i cyfr
- *plus* – numer węzła odpowiadającego końcówce umownie dodatniej (w programie Probe oznaczenie „1”)
- *minus* – numer węzła odpowiadającego końcówce umownie ujemnej (w programie Probe oznaczenie „2”)
- *wartość* – wartość rezystancji w omach



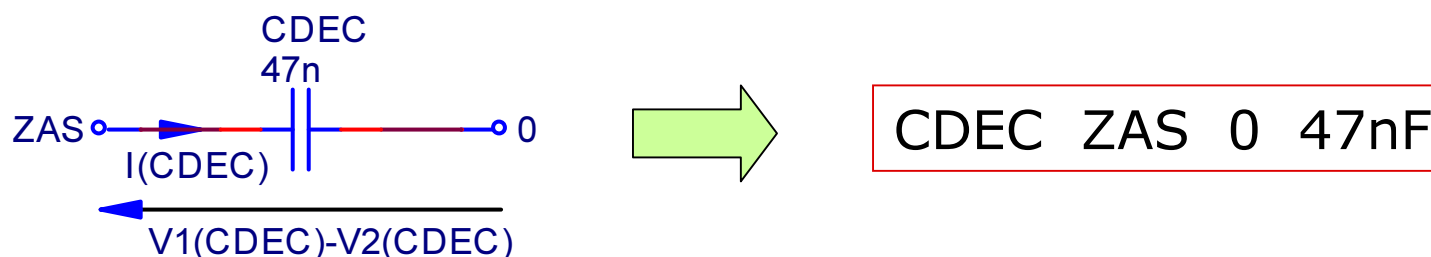
- Prąd zawsze strzałkowany przeciwnie do napięcia – dotyczy wszystkich elementów dwukońcówkowych

Opis elementów biernych (podstawy)

■ Kondensator bezstratny – C

■ **Coznaczenie plus minus wartość**

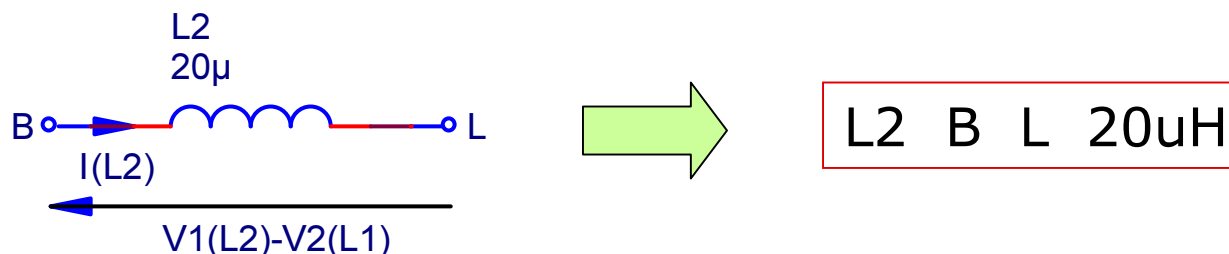
- *wartość* – wartość pojemności w faradach



■ Cewka idealna – L

■ **Loznaczenie plus minus wartość**

- *wartość* – wartość indukcyjności w henrach



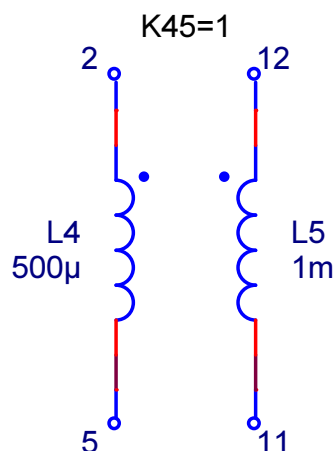
Opis elementów biernych (podstawy)

■ Sprzężenie magnetyczne – K

■ **Koznaczenie cewka_1 ... cewka_n współczynnik**

- *oznaczenie* – dowolny ciąg liter i cyfr
- *cewka_1 ... cewka_n* – oznaczenia kolejnych cewek sprzężonych
- *współczynnik* – współczynnik sprzężenia (dla transformatorów zwykle przyjmuje się 1 lub 0,99)
- na podstawie współczynnika sprzężenia obliczana jest indukcyjność wzajemna

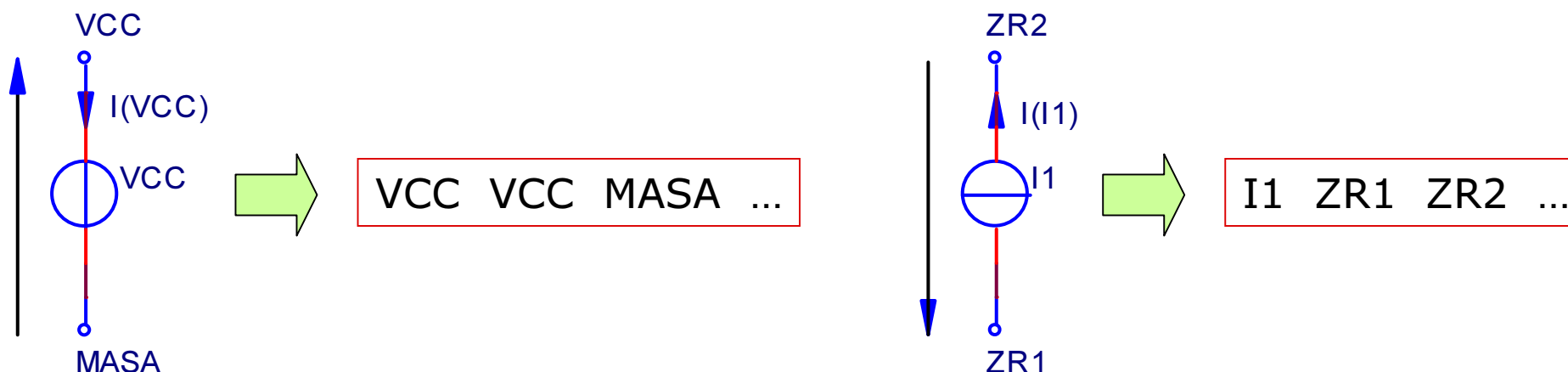
$$M_{ij} = k\sqrt{L_i L_j}$$



L4	2	5	500U
L5	12	11	1M
K45	L4	L5	1

Opis źródeł (podstawy)

- Niezależne źródło napięcia – V
Niezależne źródło prądu – I
 - **Voznaczenie plus minus [definicja]**
 - **Ioznaczenie plus minus [definicja]**
 - *oznaczenie* – dowolny ciąg liter i cyfr
 - *plus, minus* – w programie Probe: „1”, „2”
 - uwaga na strzałkowanie prądu; *plus* i *minus* odnoszą się do napięcia na elemencie

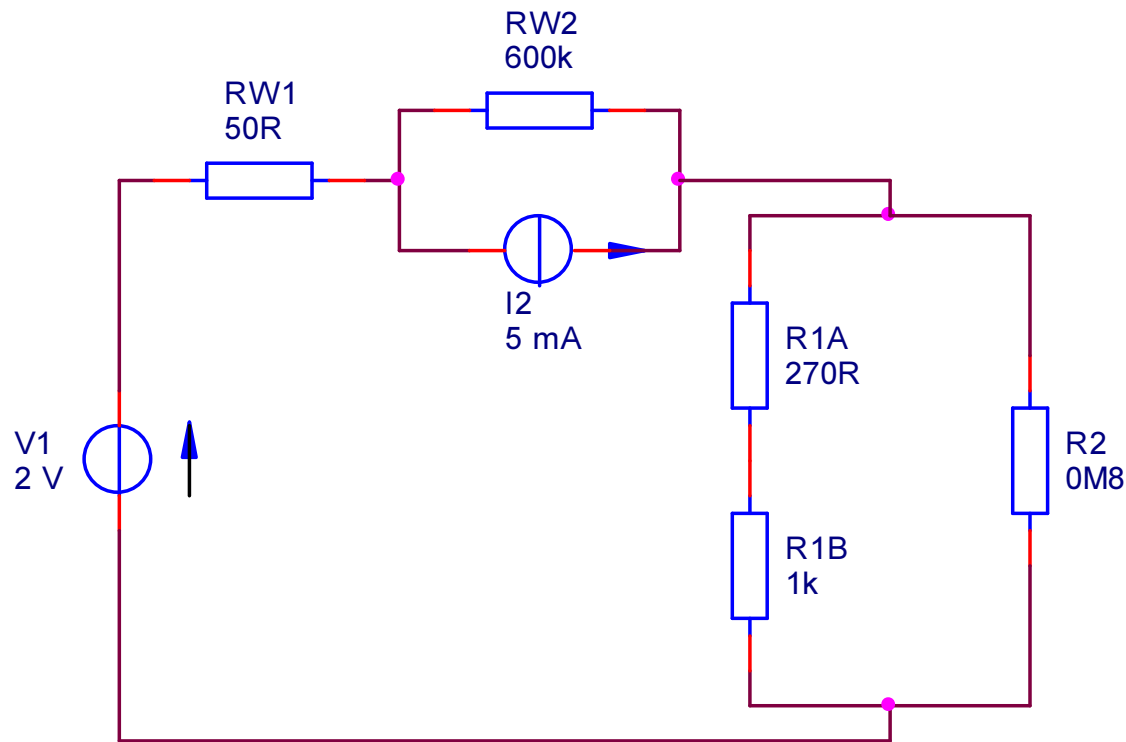


Opis źródeł (podstawy)

■ Definicja

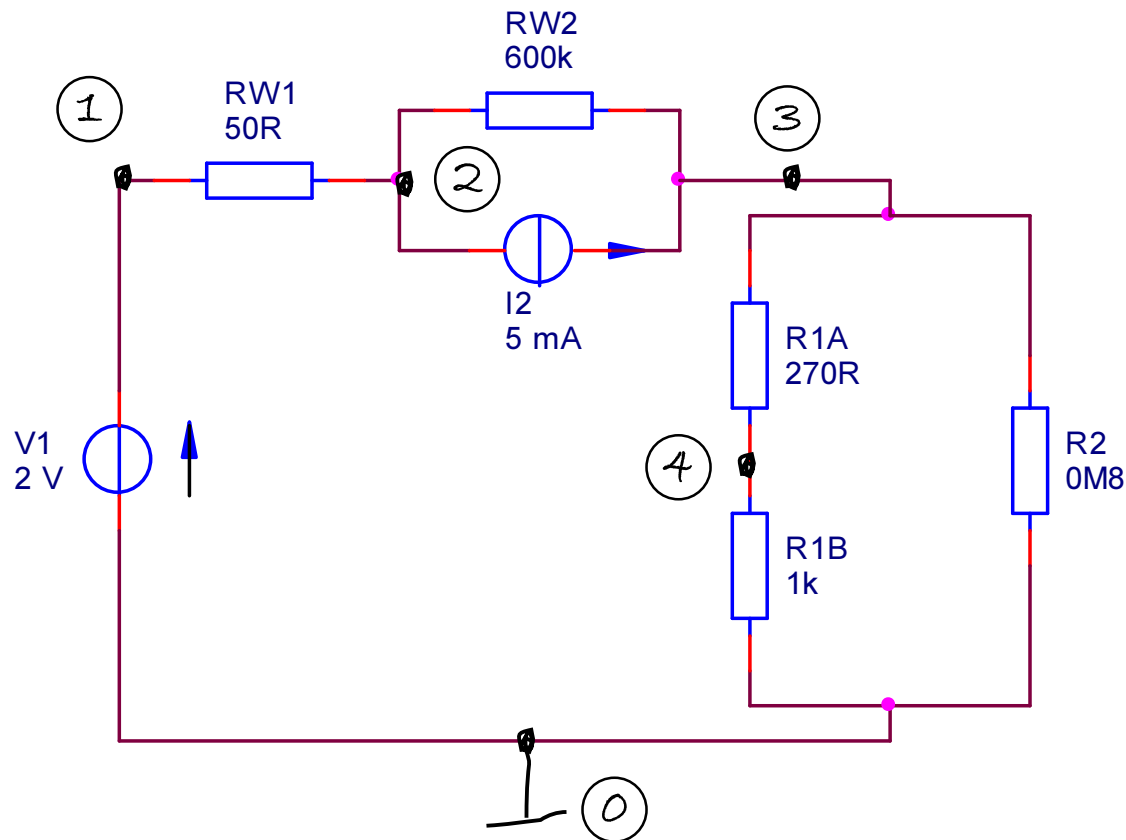
- Identyczna postać dla obu typów źródeł
- Jeżeli *definicja* nie jest podana, źródło ma wartość 0
 - Zerowe źródło napięcia wykorzystuje się do pomiaru prądu w gałęzi, jeżeli nie jest to możliwe w inny sposób
- Źródło napięcia/prądu stałego
 - *definicja* := [DC] [*wartość*]
 - *wartość* – napięcie w woltach / prąd w amperach
- Źródło napięcia/prądu sinusoidalnie zmiennego
 - *definicja* := SIN (*składowa_stała* *amplituda* *częstotliwość*)
 - *amplituda* – wartość maksymalna składowej przemiennej (nie *peak-to-peak*)
 - *częstotliwość* – częstotliwość w hercach
- Dokładniejsze omówienie w dalszym ciągu wykładu

Przykład 1



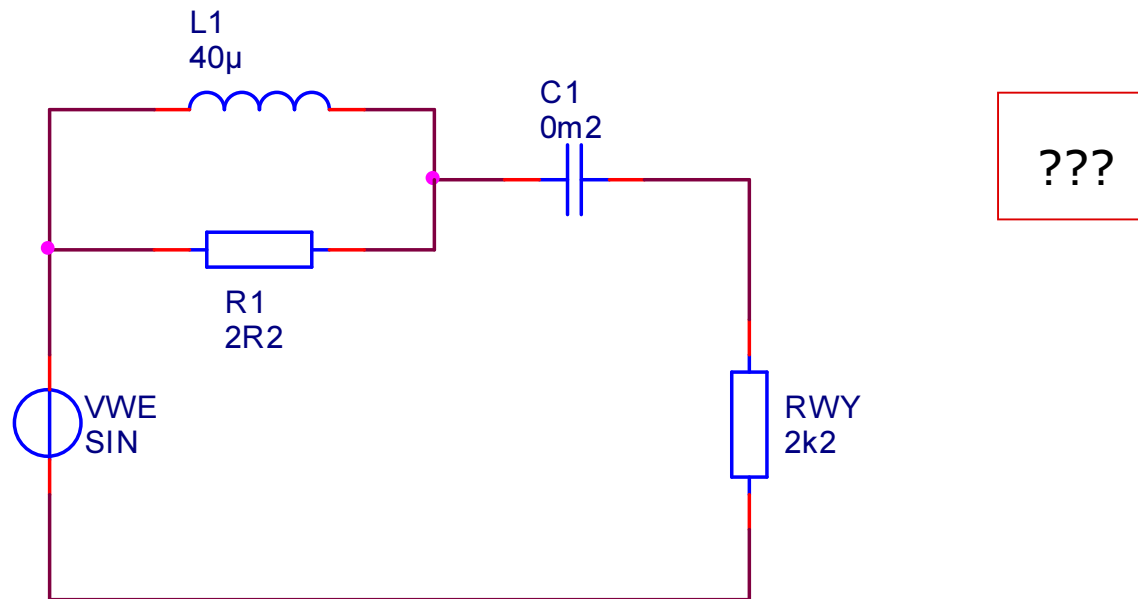
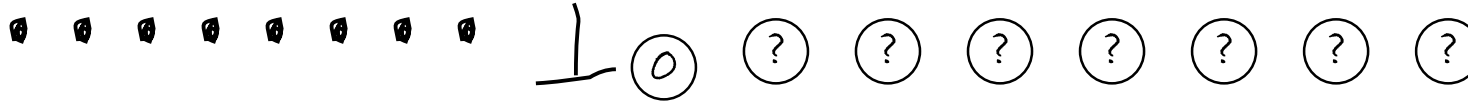
???

Przykład 1



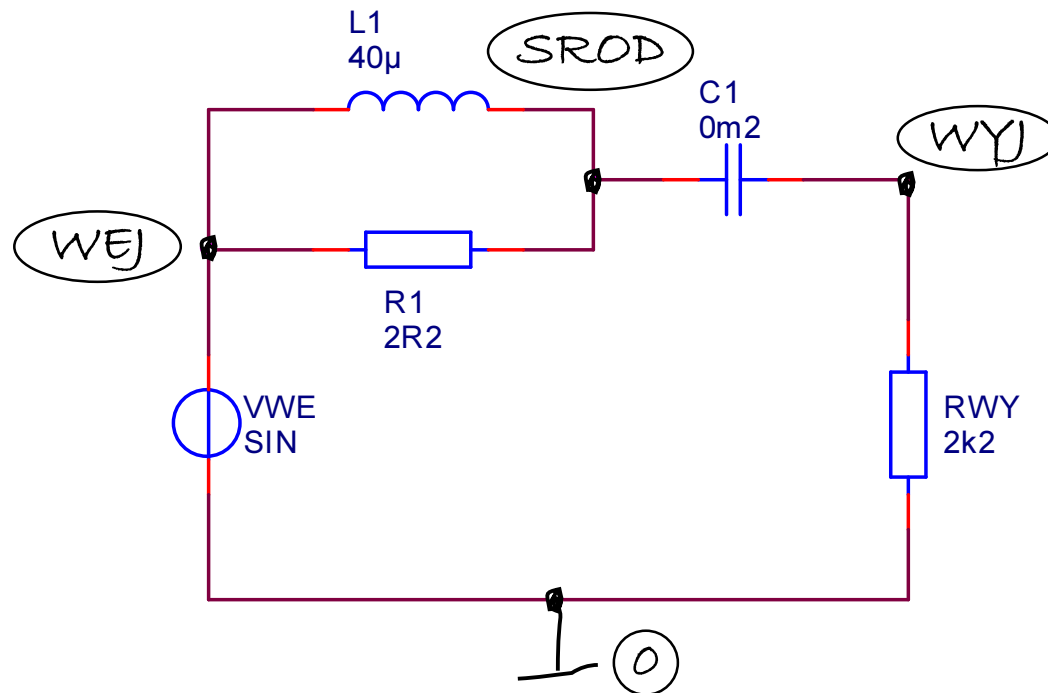
```
V1 1 0 DC 2V
RW1 1 2 50Ohm
RW2 2 3 600kOhm
I2 2 3 5mA
R1A 3 4 270Ohm
R1B 4 0 1kOhm
R2 3 0 0.8MegOhm
```

Przykład 2



VWE:
składowa stała 0,5 V
amplituda składowej przemiennej 10,3 V
częstotliwość 5 kHz

Przykład 2

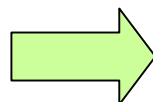
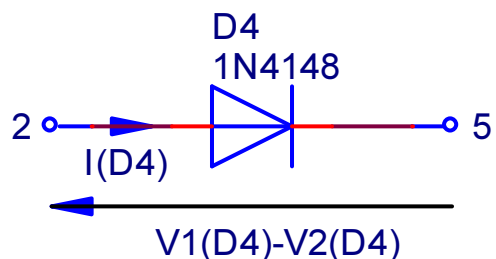


VWE WEJ 0
+ SIN (0.5V 10.3V 5kHz)
L1 WEJ SROD 40uH
R1 WEJ SROD 2.20hm
C1 SROD WYJ 0.2mF
RWY WYJ 0 2.2kOhm

VWE:
składowa stała 0,5 V
amplituda składowej przemiennej 10,3 V
częstotliwość 5 kHz

Opis elementów półprzewodnikowych

- Dioda (nie rozróżnia się rodzajów) – D
 - **Doznaczenie anoda katoda nazwa_modelu**
 - *oznaczenie* – dowolny ciąg liter i cyfr
 - *anoda, katoda* – numery odpowiednich węzłów w obwodzie (w programie Probe oznaczenia „1”, „2”)
 - *nazwa_modelu* – nazwa modelu zawierającego informacje o charakterystykach konkretnej diody; model ten musi być zdefiniowany instrukcją MODEL
 - Instrukcja MODEL
 - **.MODEL nazwa_modelu rodzaj_elementu + [parametry_elementu]**
 - Przykładowa definicja diody z domyślnymi parametrami:
.MODEL MODELDIODY D



```
D4 2 5 MOD_1N4148  
.MODEL MOD_1N4148 D ...
```

Ograniczenia konfiguracji obwodów

- Każdy węzeł musi posiadać ścieżkę do węzła odniesienia (0) dla składowej stałej
 - Błąd: „Node ... is floating”
 - Rozwiązanie: masy oddzielnych obwodów połączyć opornikami o dużej wartości (np. 10 M Ω)
- Nie może istnieć pętla złożona z samych źródeł napięcia (V, E, H) i/lub cewek (L)
 - Błąd: „Voltage source and/or inductor loop involving ...”
 - Rozwiązanie: Włączyć w szereg opornik o małej wartości (np. 1 $\mu\Omega$, 1 m Ω)
- Nie może istnieć przekrój złożony z samych źródeł prądu (I, F, G) i/lub kondensatorów (C)
 - Błąd: „Node ... is floating” (źródła prądowe i kondensatory to dla składowej stałej rozwarcia)
 - Takie obwody nie występują w przyrodzie; należy włączyć opornik równolegle do przekroju

Analizy

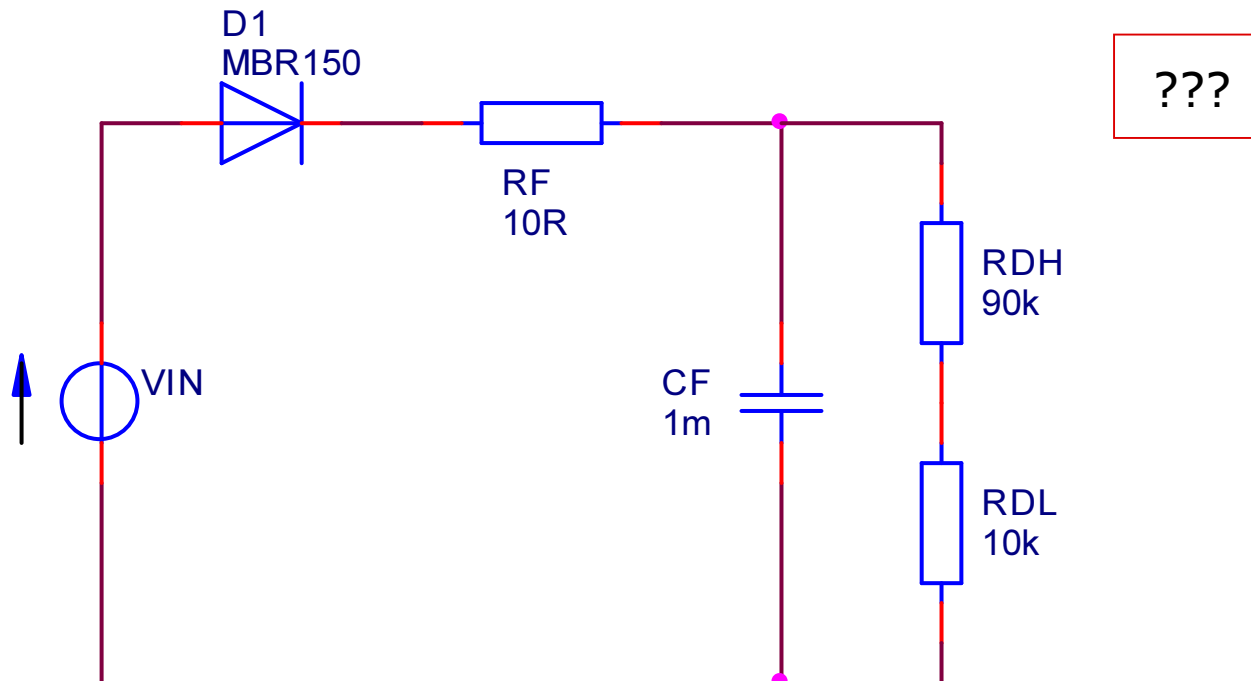
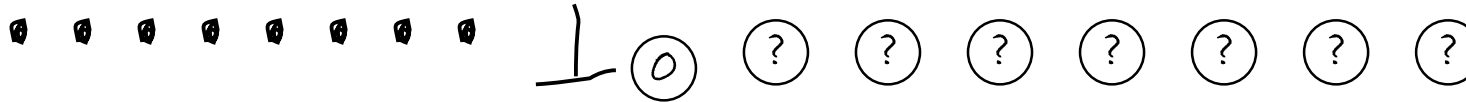
- Analiza obwodu – obliczenia, w wyniku których otrzymujemy informację o odpowiedzi obwodu na znajdujące się w nim wymuszenia
- Standardowe analizy symulatorów SPICE
 - OP – punktu pracy
 - wyznacza ustalony punkt pracy dla składowej stałej (stałe potencjały węzłów – względem węzła odniesienia „0”)
 - 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)

Uruchamianie analiz (podstawy)

- Analiza OP
 - **.OP**
 - uruchamia się zawsze, nawet bez komendy OP; komenda powoduje pojawienie się dodatkowych danych wyjściowych
 - nie generuje żadnego wykresu, gdyż jest to pojedynczy punkt pracy = zestaw potencjałów węzłów
- Analiza DC
 - **.DC *źródło wartość_początkowa wartość_końcowa + krok***
 - *źródło* – nazwa niezależnego źródła napięcia lub prądu, którego wartość ma być zmieniana
 - napięcie/prąd podanego źródła będzie zmieniany od *wartości_początkowej* do *wartości_końcowej* co *krok* woltów/amperów i dla każdej z tych wartości zostanie wykonana analiza OP
 - aby wygenerować dane do wykresu dla programu Probe, należy jeszcze dodać instrukcję PROBE

Przykład 3

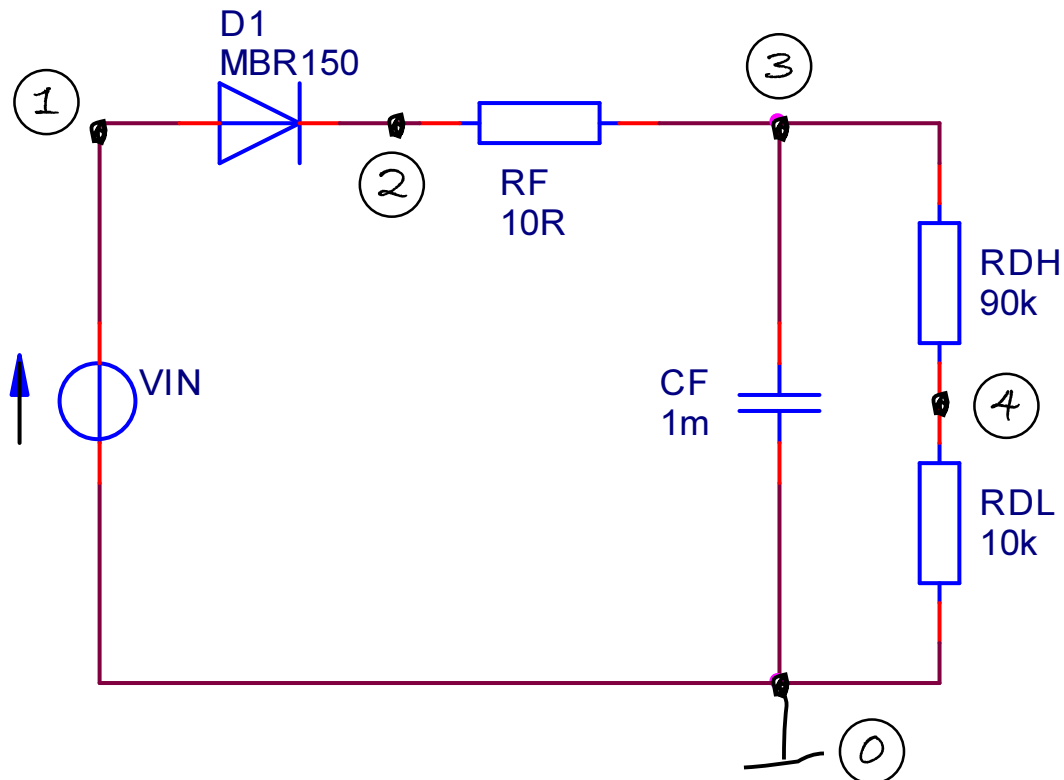
Kompletny plik wejściowy



1. Model diody z domyślnymi parametrami
2. Analiza: dla składowej stałej z napięciem źródła V_{IN} zmieniającym się od -6 do 24 V

Przykład 3

Kompletny plik wejściowy



PRZYKLAD 3

VIN 1 0

D1 1 2 MBR150

.MODEL MBR150 D

RF 2 3 100hm

CF 3 0 1mF

RDH 3 4 90kOhm

RDL 4 0 10kOhm

.DC VIN -6V 24V 0.1V

.PROBE

.END

1. Model diody z domyślnymi parametrami
2. Analiza: dla składowej stałej z napięciem źródła VIN zmieniającym się od -6 do 24 V