

3. Podstawowe analizy – zastosowanie i uruchamianie

- Rodzaje podstawowych analiz – przypomnienie
 - OP – punktu pracy
 - pojedyncza analiza dla składowej stałej
 - napięcia i prądy źródeł mają wartości takie, jak zapisane w pliku wejściowym
 - DC – stałoprądowa (=dla składowej stałej)
 - seria analiz dla składowej stałej, przy zmieniającej się np. wartości jednego ze źródeł napięcia
 - AC – częstotliwościowa (=dla składowej przemiennej)
 - seria analiz dla składowej przemiennej, przy zmieniającej się częstotliwości
 - TRAN – czasowa (=przejściowa, stanów przejściowych)
 - pojedyncza analiza ze zmiennym czasem
 - napięcia i prądy źródeł zmieniają się zgodnie z tym, co zapiszemy w pliku wejściowym

OP – analiza punktu pracy

- Ang. *Operating Point* – punkt pracy
- Wyznacza punkt pracy obwodu
 - indukcyjności = zwarcie, pojemności = przerwa
- Zastosowanie
 - wyznaczanie punktu pracy elementów układu dla znanych, stałych wymuszeń
 - wyznaczanie parametrów zlinearyzowanych modeli elementów nieliniowych
- Format komendy
 - **.OP**
- Uruchamiana zawsze przed innymi analizami, chyba że uruchomimy analizę TRAN z opcją UIC
- Wpisanie komendy OP powoduje wygenerowanie dodatkowych danych wyjściowych

Wyniki wyznaczania punktu pracy

- Dane wyjściowe w pliku OUT
 - potencjały węzłów
 - prądy źródeł napięciowych
 - sumaryczna moc wydzielana w elementach obwodu

```
****      SMALL SIGNAL BIAS SOLUTION      TEMPERATURE =  27.000 DEG C

*****

      NODE      VOLTAGE      NODE      VOLTAGE      NODE      VOLTAGE      NODE      VOLTAGE
(   1   )  5.0000  (   2   )  .6929  (  11   )  .7742  (  12   )  4.0000
(  13   )  5.0000  (  17   )  .8742

      VOLTAGE SOURCE CURRENTS
      NAME          CURRENT
      v1             -4.307E-03

      TOTAL POWER DISSIPATION  2.15E-02  WATTS
```

Dodatkowe dane wyjściowe dla elementów nieliniowych

- Oznaczenie elementu i nazwa modelu
- Punkt pracy
 - napięcia międzykońcówkowe
 - prądy końcówek
- Informacja o parametrach modelu zlinearyzowanego w punkcie pracy
 - dioda = opornik
 - REQ – rezystancja dynamiczna
 - tranzystor bipolarny = wzmacniacz prądowy
 - BETADC – wzmacnienie I_C/I_B
 - GM – transkonduktancja dI_C/dI_B

**** OPERATING POINT INFORMATION

**** DIODES

NAME	d1
MODEL	dioda
ID	4.31E-03
VD	6.93E-01
REQ	6.01E+00
CAP	0.00E+00

**** BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS

NAME	q2
MODEL	tranz
IB	1.00E-05
IC	1.00E-03
VBE	7.74E-01
VBC	-3.23E+00
VCE	4.00E+00
BETADC	1.00E+02
GM	3.87E-02
RPI	2.59E+03
RX	0.00E+00
RD	1.00E+12
CBE	0.00E+00
CBC	0.00E+00
CJS	0.00E+00
BETAAC	1.00E+02
CBX	0.00E+00
FT	6.15E+17

DC – analiza stałoprądowa (analiza dla składowej stałej)

- Ang. *Direct Current* – prąd stały
- Wyznacza punkt pracy obwodu dla każdego stałego wymuszenia z podanego zbioru
 - deklaracja DC w źródle uzmiennionym jest ignorowana
- Zastosowanie
 - wyznaczanie charakterystyk statycznych elementów (np. tranzystorów) i układów (np. wzmacniaczy)
 - wyznaczanie wpływu parametrów na punkt pracy
- Format komendy
 - **.DC [LIN] *zmienna wartość_początkowa + wartość_końcowa krok***
 - **.DC DEC|OCT *zmienna wartość_początkowa + wartość_końcowa liczba_punktów***
 - **.DC *zmienna LIST wartość_1 ... wartość_n***

Tryby uzmienniania (tryby przemiataania zakresu)

- Ang. *sweeping* – przemiataanie
- Tryby uzmienniania dotyczą również komend AC i STEP
- Liniowy
 - zmiana liniowa ze stałym krokiem
 - `.DC LIN zmienna -0.5 2.5 0.5`
 - $zmienna = -0,5 \rightarrow -0,5 + 0,5 = 0 \rightarrow 0 + 0,5 = 0,5 \rightarrow 1 \rightarrow 1,5 \rightarrow 2 \rightarrow 2,5$
- Z listą wartości
 - podstawiane są kolejne wartości z listy (rozdzielonej spacjami)
 - `.DC zmienna LIST 1 3.5 10 12`
 - $zmienna = 1 \rightarrow 3,5 \rightarrow 10 \rightarrow 12$

Tryby uzmienniania (tryby przemiatania zakresu)

- Logarytmiczny dziesiętny
 - krok jest stały jeżeli wykona się wykres w skali logarytmicznej, natomiast w skali liniowej wygląda to tak, że krok stopniowo rośnie
 - zamiast kroku podaje się liczbę punktów na każdą dekadę, czyli 10-krotną zmianę – np. od 10 do 100, od 1000 do 10 000 itd.
 - .DC DEC *zmienna* 0.1 10 2
 - *zmienna* = 0,1 → $0,1 \cdot 10^{1/2} = 0,316\dots$ → $0,316\dots \cdot 10^{1/2} = 1$ → 3,16... → 10
 - .DC DEC *zmienna* 0.1 10 4
 - *zmienna* = 0,1 → $0,1 \cdot 10^{1/4} = 0,178\dots$ → $0,178\dots \cdot 10^{1/4} = 0,316\dots$ → 0,562 → 1 → 1,78... → 3,16 → 5,62 → 10

Tryby uzmienniania (tryby przemiatania zakresu)

■ Logarytmiczny dwójkowy

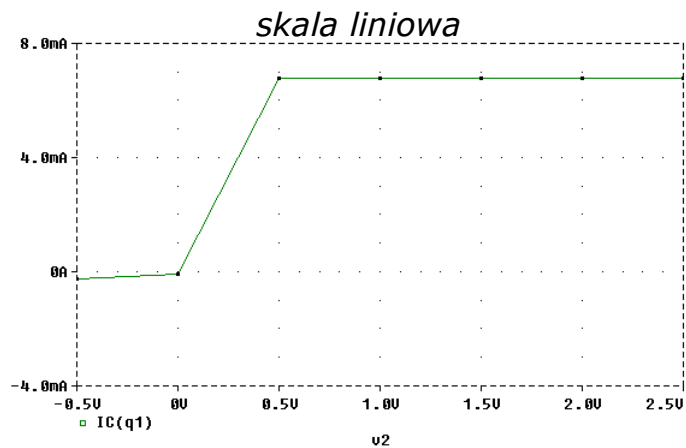
- jak logarytmiczny dziesiętny, tylko zamiast liczby punktów na dekadę podaje się liczbę punktów na oktawę, czyli 2-krotną zmianę – np. od 2 do 4, od 500 do 1000 itd.
- .DC OCT *zmienna* 2 8 2
- *zmienna* = 2 → $2 \cdot 2^{1/2} = 2,83\dots$ →
 $2,83\dots \cdot 2^{1/2} = 4$ → $5,66\dots$ → 8

■ Zastosowania

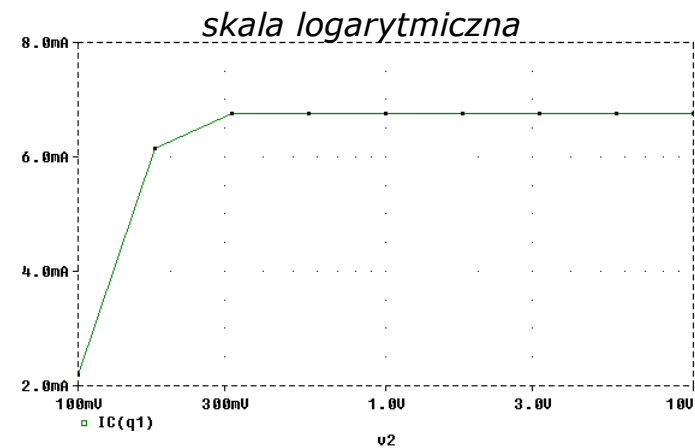
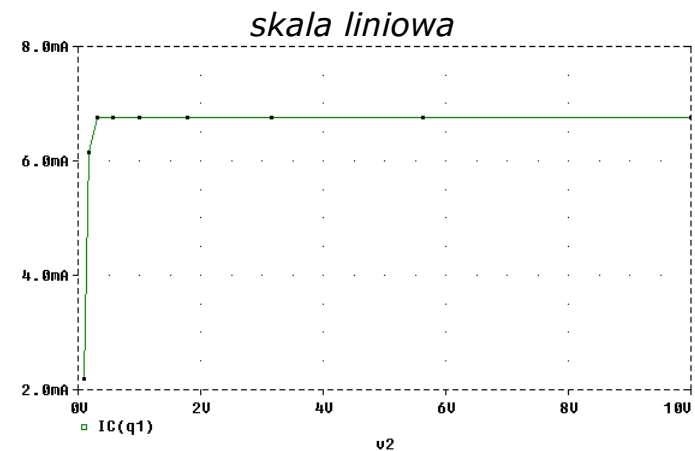
- tryb liniowy: rząd wielkości zmiennej pozostaje ten sam (8 V → 12 V, 1 mA → 5,5 mA itd.) lub zależy nam na równomiernym rozłożeniu punktów w skali liniowej (0 °C → 125 °C co 1 °C)
- tryby logarytmiczne: *zmienna* zmienia się o kilka rzędów wielkości (1 kΩ → 200 kΩ, 5 nF → 10 μF)

Tryby uzmienniania – wyniki dla przykładów

.DC LIN v2 -0.5 2.5 0.5



.DC DEC v2 0.1 10 4



Dygresja: zmienne globalne

- Deklaracja słowem kluczowym PARAM
 - **.PARAM nazwa_parametru = wartość_liczbowa**
 - **.PARAM nazwa_parametru = {wzór}**
- Nazw parametrów globalnych można używać później w opisie obwodu jako elementów wzorów, z których mają być obliczone parametry elementów
 - Wzory zapisujemy w nawiasach klamrowych
 - Najprostszym wzorem jest sama nazwa parametru
 - Więcej o wzorach będzie później
- Przykład
 - **.PARAM REZYSTANCJA = 15K**
R52 4 17 {REZYSTANCJA}

Zmienne dostępne dla analizy DC

- Wartość DC niezależnego źródła napięcia lub prądu
 - `.DC LIN V15 3V 15V 0.75V`
 - `.DC OCT I23 0.15MA 20MA 10`
- Parametry modeli elementów
 - *zmienna :=*
rodzaj_elementu nazwa_modelu(nazwa_parametru)
 - `.DC LIN D BAV10(IS) 100nA 500nA 50nA`
 - rodzaj elementu: D – dioda
w jego modelu zadeklarowanym jako: `.MODEL BAV10 D ...`
zmianie ulega parametr o nazwie: IS
 - jeżeli są zdefiniowane inne modele diody, to ich parametry pozostają bez zmian

Zmienne dostępne dla analizy DC

■ Temperatura

- *zmienna* := TEMP
- .DC TEMP LIST 25 50 100 175

■ Parametry globalne

- *zmienna* :=
PARAM *nazwa_parametru_globalnego*
- .PARAM WZMOCNIENIE = 100
.DC OCT PARAM WZMOCNIENIE 1 1000 8
- zmianie ulega parametr globalny o nazwie WZMOCNIENIE

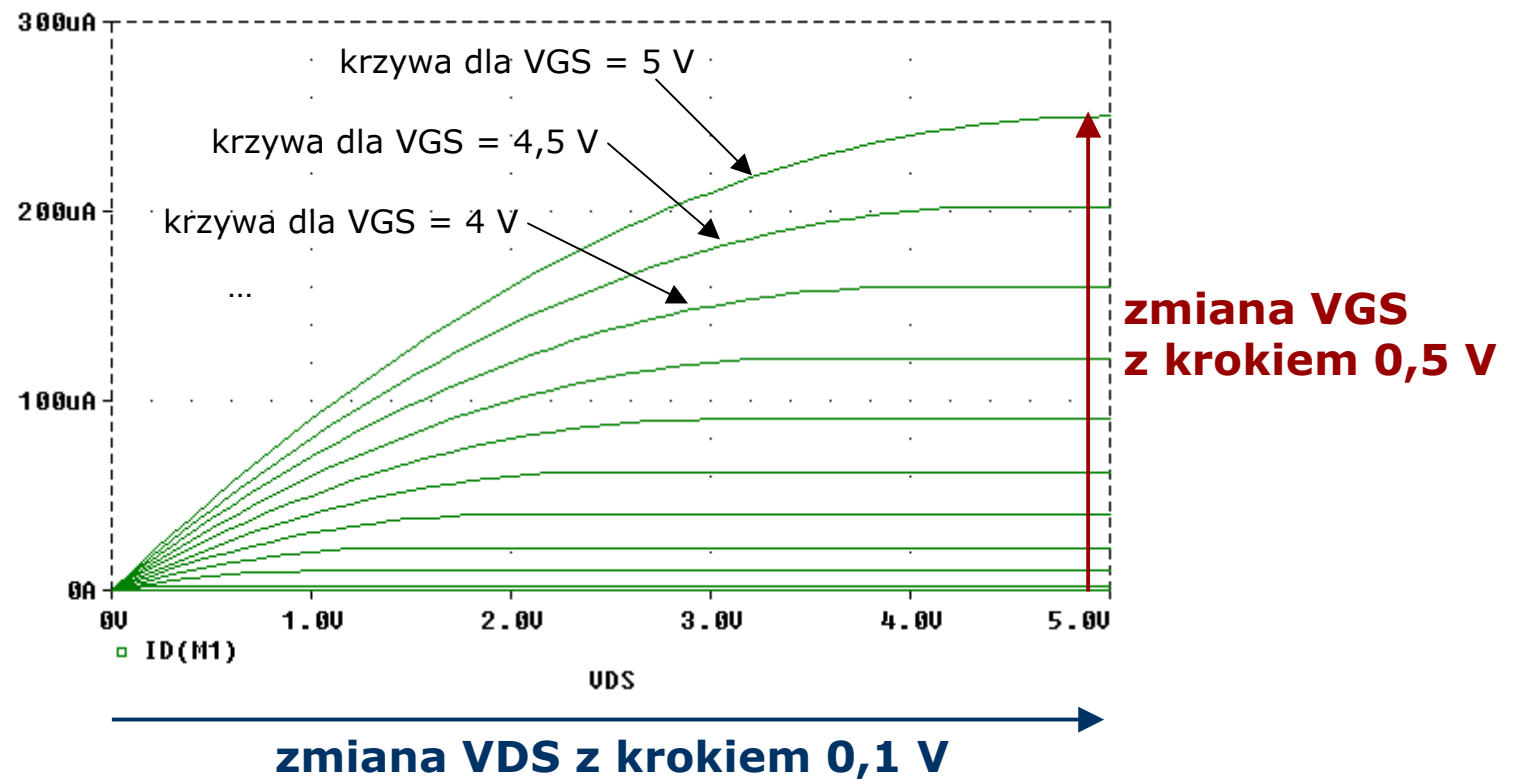
Zagnieżdżona analiza DC

- Pozwala analizować zachowanie obwodu w zależności od 2 zmiennych jednocześnie
- Format komendy
 - **.DC opis_zmiennej_1 + opis_zmiennej_2**
 - zmienna 1 będzie na wykresie zmienną osi X
 - zmienna 2 przejawia się w wykreśleniu nie pojedynczej krzywej, ale rodziny krzywych dla poszczególnych wartości zmiennej 2
 - tryb uzmienniania obu zmiennych nie musi być ten sam

Zagnieżdżona analiza DC

■ Przykład

■ **.DC LIN VDS 0 5 0.1 LIN VGS 0 5 0.5**



AC – analiza częstotliwościowa (analiza dla składowej przemiennej)

- Ang. *Alternate Current* – prąd przemienny
- Wyznacza odpowiedź układu na wymuszenie sinusoidalne, dla każdej częstotliwości z podanego zbioru
 - źródła, które nie mają deklaracji AC, są zerowane
 - deklaracja SIN nie ma wpływu na analizę AC
 - pozostałe źródła są źródłami sinusoidalnymi o amplitudzie i fazie podanej w deklaracji AC
 - jest to analiza małosygnałowa, tzn. charakterystyki elementów są linearyzowane wokół obliczonego wcześniej (niejawna analiza OP) punktu pracy
- Zastosowanie
 - wyznaczanie charakterystyk częstotliwościowych (amplitudowych i/lub fazowych) elementów i układów

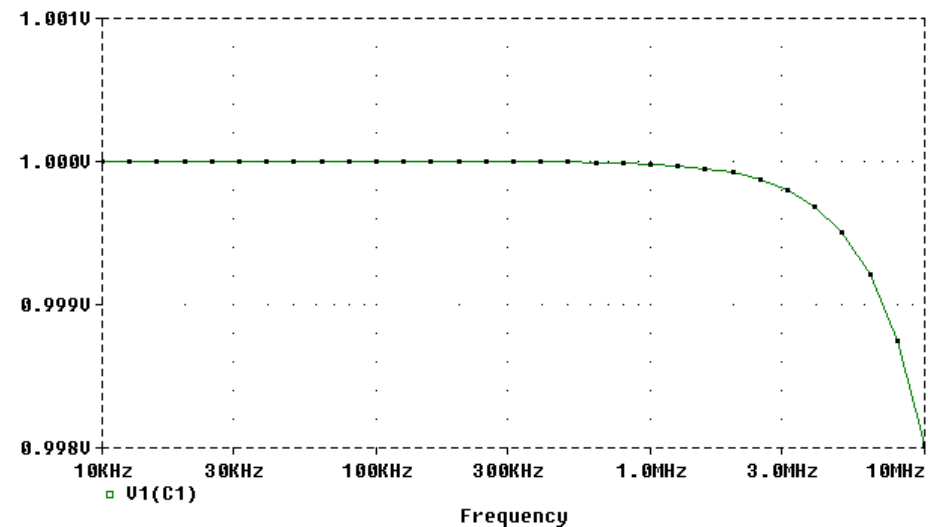
AC – analiza częstotliwościowa

■ Format komendy

- **.AC LIN** *całkowita_liczba_punktów*
+ *częstotliwość_początkowa*
+ *częstotliwość_końcowa*
- **.AC OCT|DEC** *liczba_punktów_na_oktawę|dekadę*
+ *częstotliwość_początkowa*
+ *częstotliwość_końcowa*
- zwykle uzasadnione
jest użycie trybu DEC

■ Przykład

- **.AC DEC 10 10K 10MEG** →



TRAN – analiza czasowa (przejściowa)

- Ang. *Transient* – przejściowa (stanów przejściowych)
- Wyznacza w funkcji czasu odpowiedź układu na wymuszenia zdefiniowane jako funkcje czasu (oczywiście szczególnym przypadkiem funkcji może być funkcja stała)
- Zastosowanie
 - obserwacja pracy układu dla znanych sygnałów wejściowych zmiennych w czasie
- Komenda
 - .TRAN – analiza czasowa
 - .TRAN/OP – analiza czasowa z wyświetleniem dodatkowych danych z analizy OP dla $t = 0$

TRAN – analiza czasowa (przejsciowa)

- Format komendy
 - **.TRAN *krok_danych_wyjściowych* *czas_końcowy* + [*czas_bez_wyników* [*maksymalny_krok_analazy*]]**
 - dwa ostatnie parametry mogą być pominięte
 - *czas_bez_wyników* – czas, przez który od chwili $t = 0$ nie będą drukowane wyniki
 - *maksymalny_krok_analazy* – pozwala ograniczyć krok symulacji, zwiększając dokładność wyników; jeżeli parametr ten nie jest podany, symulator dobiera krok automatycznie (niekoniecznie dobrze)
 - *krok_danych_wyjściowych* – z taką dokładnością będą generowane wyniki przy użyciu komend PRINT, PLOT, FOUR (nie PROBE); jest to parametr niezależny od *maksymalnego_kroku_analazy*

Warunki początkowe

- Warunki początkowe (ang. *initial conditions* – IC) to potencjały węzłów oraz prądy cewek dla chwili $t = 0$
- Domyślnie
 - Źródła przyjmują wartości wynikające z ich definicji dla $t = 0$
 - jeżeli istnieje definicja EXP, PWL, PULSE, SIN lub SFFM to wartość początkowa jest liczona z odpowiedniej funkcji
 - ewentualna deklaracja DC jest wówczas ignorowana
 - ale jeżeli źródło nie ma definicji EXP, PWL itd., to przyjmowana jest wartość z deklaracji DC
 - Warunki początkowe są wyznaczane na podstawie powyższych informacji w wyniku dodatkowej analizy punktu pracy (OP)
- Niekiedy trzeba wymusić określone warunki początkowe

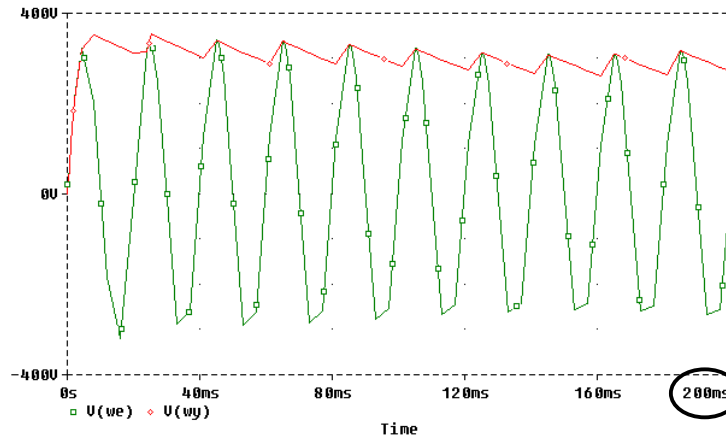
Warunki początkowe

- Deklaracja IC dla kondensatora lub cewki
 - Nie mylić z instrukcją IC (.IC)
 - **C3 4 1 15N IC=1.5**
napięcie na kondensatorze C3 w chwili $t=0$ będzie wynosiło 1,5 V
 - **L2 10 11 400U IC=600M**
prąd cewki L2 w chwili $t=0$ będzie wynosił 600 mA
 - Napięcia pozostałych kondensatorów i prądy pozostałych cewek zostaną wyznaczone jak poprzednio – z analizy OP
- Instrukcja TRAN z opcją UIC (ang. Use IC) lub SKIPBP (ang. Skip Bias Point)
 - nie wykona się analiza OP
 - dla kondensatorów bez deklaracji IC będzie przyjęte zerowe napięcie w chwili $t=0$
 - dla cewek bez deklaracji IC będzie przyjęty zerowy prąd w chwili $t=0$

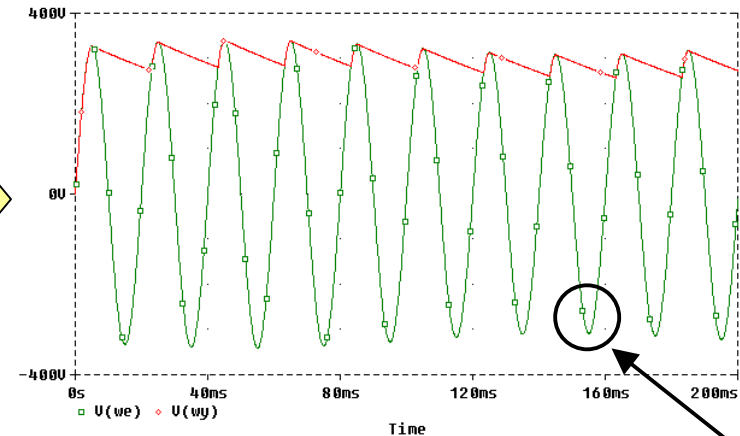
Analiza czasowa – przykłady

- czas symulacji: 0,2 s, generacja wyników (dla instrukcji PRINT, PLOT, FOUR) co 1 ms, bez określenia maksymalnego kroku symulacji
 - .TRAN 1M 0.2
- jak wyżej, z ograniczeniem kroku symulacji do 0,1 μ s oraz z ograniczeniem czasu generacji wyników do przedziału [0,1 s; 0,2 s]
 - .TRAN 1M 0.2 0.1 0.1M
- jak wyżej, ale bez ograniczenia czasu generacji wyników (trzeci parametr 0)
 - .TRAN 1M 0.2 0 0.1M
- z uwzględnieniem warunków początkowych wyłącznie z deklaracji IC
 - .TRAN 1M 0.2 UIC
 - .TRAN 1M 0.2 0.1 0.1M UIC
 - .TRAN 1M 0.2 0 0.1M UIC

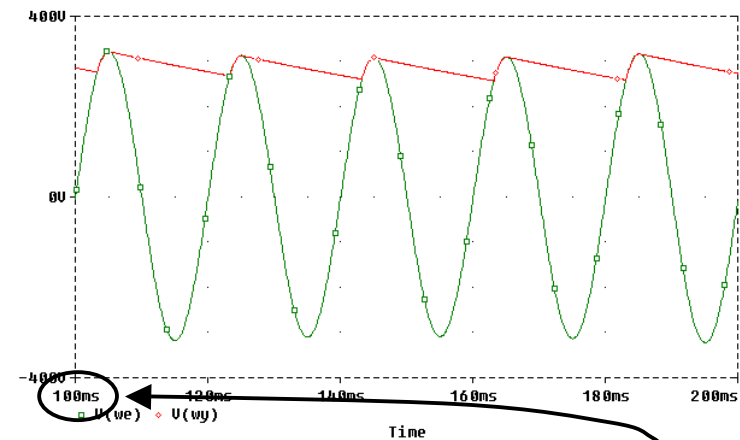
Analiza czasowa – przykłady



`.TRAN 1M 0.2`

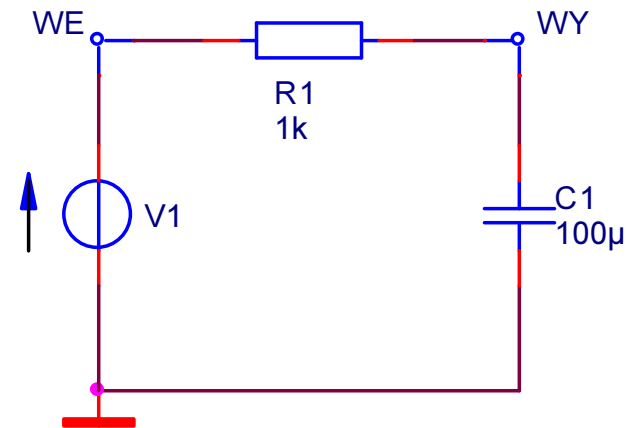
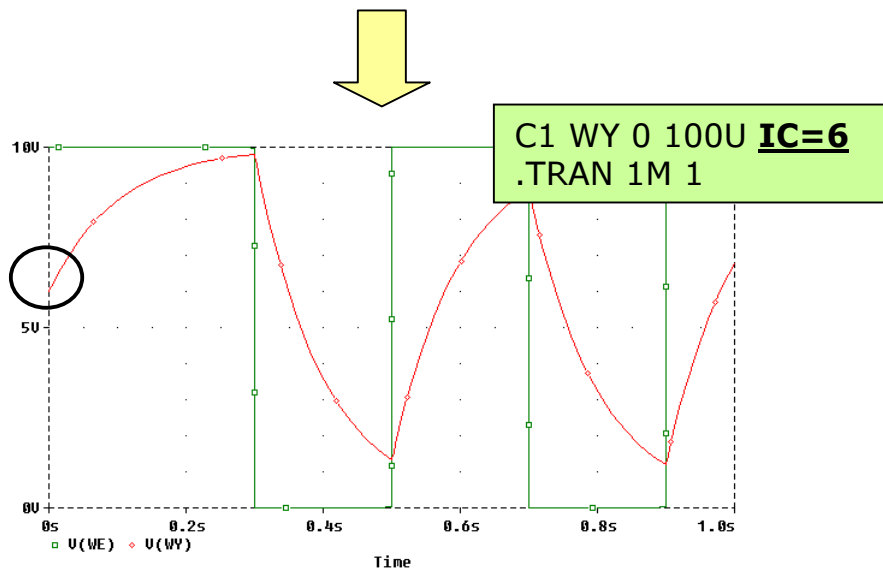
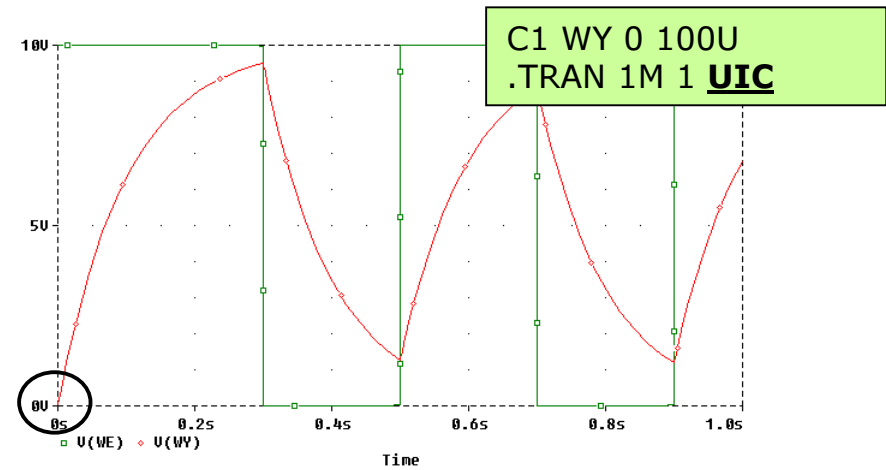
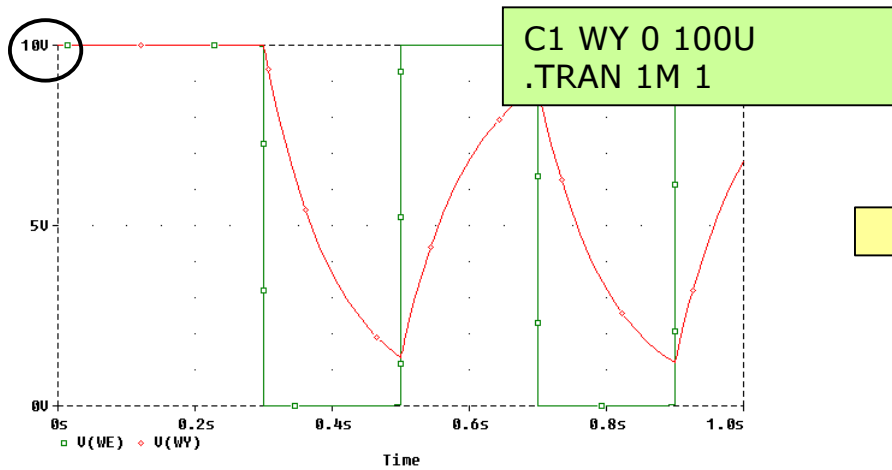


`.TRAN 1M 0.2 0 0.1M`



`.TRAN 1M 0.2 0.1 0.1M`

Analiza czasowa z warunkami początkowymi – przykład



Analizy współbieżne

- Dla kolejnych wartości określonego parametru z podanego zbioru wykonywane są analizy określone innymi instrukcjami (DC, AC itd.)
- Analiza dla zmiennej temperatury – TEMP (ang. *Temperature*)
 - `.TEMP temperatura_1 temperatura_2 ... temperatura_n`
 - równoważna instrukcji `.STEP TEMP LIST...` lub instrukcji analizy zagnieżdżonej `.DC pierwsza_zmienna TEMP LIST...`
 - zdefiniowane innymi instrukcjami analizy są wykonywane kolejno dla temperatury 1, 2, ... n
- Analiza STEP (ang. *Stepping* – zmiana z krokiem)
 - jak TEMP, ale bardziej uniwersalna – więcej trybów uzmienniania i więcej parametrów, które można uzmiennić

Analizy współbieżne – STEP

- Format komendy – jak DC
 - **.STEP [LIN] *zmienna wartość_początkowa + wartość_końcowa krok***
 - **.STEP DEC|OCT *zmienna wartość_początkowa + wartość_końcowa liczba_punktów***
 - **.STEP *zmienna LIST wartość_1 ... wartość_n***
 - lista wartości (LIST) musi być uporządkowana
 - dla trybu LIN *wartość_końcowa* może być mniejsza od *wartości_początkowej* (stopniowe zmniejszanie zmiennej)
- Nie ma analizy zagnieżdżonej
- Nie można tej samej zmiennej jednocześnie uzmienniać komendami DC i STEP

Analiza STEP – przykład

```
V1 WE 0 AC 10
```

```
R1 WE WY 1
```

```
C1 WY 0 {CWY}
```

```
.PARAM CWY = 1N
```

→ .AC DEC 10 10K 10MEG

→ .STEP OCT PARAM CWY 10N 160N 1

