

Obwody Elektryczne

część 3

dr hab. inż. Stanisław Hałgas, prof. PŁ



Wprowadzenie

SPICE

- Protoplastą programu SPICE był symulator CANCER – (ang. **C**omputer **A**nalysis of **N**onlinear **C**ircuits **E**xcluding **R**adiation) opracowany w latach 1968-1970 przez studenta Larry'ego Nagela, z UC Berkeley, USA, pod kierunkiem Ronalda Rohrera (rys. 1).



Laurence W. Nagel



Ronald A. Rohrer

Rys. 1: Twórcy oprogramowania CANCER

Wprowadzenie

SPICE

- Miał on liczne ograniczenia dotyczące rozmiaru analizowanego układu (400 elementów, 100 węzłów) oraz elementów w nim występujących (jedyne elementy nieliniowe to dioda i tranzystor bipolarny reprezentowany modelem Ebersa – Molla).
- Pierwsza wersja programu SPICE (ang. **S**imulation **P**rogram with **I**ntegrated **C**ircuit **E**mphasis - SPICE1), powstała w 1971 roku, a jej autorem był Larry Nagel, realizujący studia doktoranckie pod kierunkiem Donalda Pedersona (rys. 2).



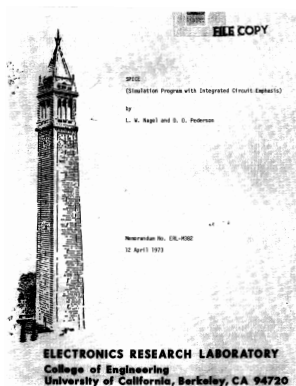
Donald O. Pederson

Rys. 2: Promotor rozprawy doktorskiej L. Nagela

Wprowadzenie

SPICE

- Publiczna prezentacja programu odbyła się w 1973 r. na konferencji *16th Midwest Symposium on Circuit Theory* w Waterloo (Kanada) (rys. 3).



Rys. 3: Strona tytułowa referatu z konferencji w Waterloo

Wprowadzenie

SPICE

- W roku 1975 ukazała się wersja SPICE2. Jej autorami byli Larry Nagel oraz Ellis Cohen. W roku 1983 E. Cohen przetworzył program pozostawiony przez Nagela w profesjonalne oprogramowanie, określające nieformalny standard – **Berkeley SPICE2G.6**.
- W roku 1983 powstał SPICE3, wersja w języku C, przepisana przez studentów. Niestety program zawierał setki błędów, brak mu było wstecznej kompatybilności ze SPICE2G.6. W 1984 roku ukazuje się wersja SPICE3A.7, będąca podstawą programu PSpice (ang. Personal SPICE), pierwszej komercyjnej realizacji standardu SPICE na komputery klasy PC, wprowadzonej przez firmę *MicroSim Corp.* w 1985 roku (obecnie *Cadence Design System, Inc.*).

Wprowadzenie

SPICE

- Dopiero w 1992 roku powstał **Berkeley SPICE3E.2** mający prawie wszystkie możliwości wersji w języku FORTRAN oraz dodatkowe udoskonalenia.
- Pierwszym programem komercyjnym bazującym na tej wersji był pakiet **IsSPICE3** firmy Intusoft. Najnowsze wersje programu: **Berkeley SPICE3F.3** oraz **Berkeley SPICE3F.5** są podstawą wielu komercyjnych symulatorów m.in: **IsSpice4** (z pakietu symulacyjnego ICAP/4 firmy Intusoft) oraz **TINA** (firmy DesignSoft).

Wprowadzenie

SPICE

- W 2011 roku program SPICE został umieszczony na liście kamieni milowych IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) (rys. 4).

IEEE Global History Network

Home | IEEE STARS | Topic Articles | First-Hand Histories | IEEE Milestones | Oral Histories | Archives | Education

IEEE Global History Network > IEEE Milestones > List of IEEE Milestones

Donate

- Donate to IEEE History Center
- Cover and support education
- About IEEE Foundation

Browse by Subject

- Automation
- Biomechanics
- Business Management & Technology
- Communications
- Computers, Circuits, Devices & Systems
- Computers and Information Processing

Milestones | Discussion [0] | View source | History | Attachments

Milestones: List of IEEE Milestones

SH46E | [Icons]

Milestones, with their plaque citations, are listed below in chronological order of the achievement. When the dates of the milestone are a range and overlap, our convention is to list them by the start date of the work, e.g. 1961-1972 comes before 1962, which comes before 1962-1965, which comes before 1964, etc.

To make it easier for people to visit the sites of IEEE Milestones, we have also made a page with addresses, maps, and satellite images. You may access it by clicking on the Innovation Map. We hope you will enjoy visiting the sites where important electrical engineering and computing achievements occurred.

Birth of the SPICE Circuit Simulation Program, 1971 Berkeley, CA, U.S.A., Dedicated 20 February 2011 -- IEEE Santa Clara Section

SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) was created at UC Berkeley as a class project in 1969-1970. It evolved to become the worldwide standard integrated circuit simulator. SPICE has been used to train many students in the intricacies of circuit simulation. SPICE and its descendants have become essential tools employed by virtually all integrated circuit designers.

Rys. 4: SPICE – kamień milowy IEEE

Wprowadzenie

SPICE

- W chwili obecnej na platformie PC używa się kilkudziesięciu aplikacji pochodzących od Berkeley SPICE, około 40 na MS Windows, kilkanaście w systemach Linux i kilka programów w systemie MacOS.
- Producenci symulatorów komercyjnych starają się rozszerzać oprogramowanie m.in. o funkcje analiz statystycznych i obszerne biblioteki elementów.
- W celu poprawy zbieżności modyfikują algorytmy numeryczne, dodają nowe parametry analiz i rozbudowują składnię języka.

Wprowadzenie

SPICE

- W skład typowego środowiska symulacyjnego wchodzi: edytor schematów, specjalizowany edytor tekstowy, postprocesor graficzny i sam symulator.
- SPICE istnieje już ponad 40 lat, a większość stosowanych w nim algorytmów ma ponad 150 lat. Jednym z *najmłodszych* algorytmów jest algorytm Geara z 1967 r.
- Podstawowa struktura programu oryginalnie zaprojektowana przez Nagela jest ciągle w użyciu.

Wprowadzenie

SPICE

Najważniejsze cele jakie stawiane są przez tego rodzaju oprogramowaniem to:

- uzupełnienie (częściowa eliminacja) badań prototypów,
- weryfikacja teorii projektowania na etapie:
 - * modeli behawioralnych (opis bloków obwodu za pomocą wyrażeń matematycznych),
 - * makromodeli (bloki obwodu w formie uproszczonych obwodów),
 - * na poziomie tranzystora (symulacja dokładnego modelu),
- możliwość badania właściwości obwodu w różnych temperaturach, przy różnych poziomach zasilania i przy rozrzucie tolerancji,
- możliwość stosowania skomplikowanych modeli.

Wprowadzenie

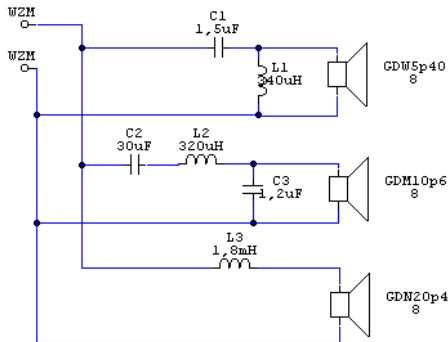
SPICE

- Symulacja pozwala na badanie obwodu bez ryzyka uszkodzeń obwodu i projektanta, często umożliwia analizę potencjalnych uszkodzeń (DfT – projektowanie dla celów diagnostycznych).
- Istnieją pewne ograniczenia symulacji, których nieznajomość może prowadzić do błędnych projektów. Najważniejsze z nich to:
 - * brak możliwości bezpośredniego wyznaczania wielu punktów równowagi,
 - * błędne rozwiązania w analizie DC,
 - * niedokładne rozwiązania w analizie `transient`,
 - * niedokładne (lub złe) modele elementów.
 - * trudność lub niemożliwość uwzględnienia pewnych zjawisk (np. przesłuchu)
- możliwość badania właściwości obwodu w różnych temperaturach, przy różnych poziomach zasilania i przy rozrzucie tolerancji,
- możliwość stosowania skomplikowanych modeli.

SPICE

Przykłady

Zwrotnica głośnikowa pokazana na rys. 5 jest zestawem filtrów: dolno-, górno- i środkowoprzepustowego umożliwiającym rozdzielenie sygnału audio ze wzmacniacza na określony typ głośnika.

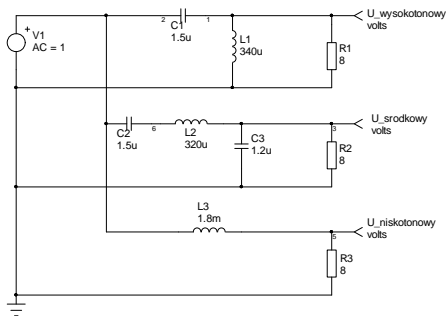


Rys. 5: Zwrotnica głośnikowa

SPICE

Przykłady

W celu określenia charakterystyk częstotliwościowych układu tworzymy układ pokazany na rys. 6 i przeprowadzamy analizę częstotliwościową (AC Sweep).

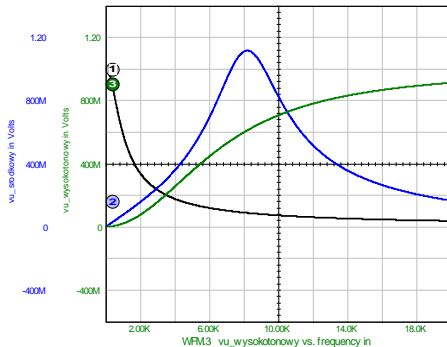


Rys. 6: Model zwrotnicy głośnikowej w programie ICAP

SPICE

Przykłady

Wynik tej analizy (rys. 7) potwierdza poprawne działanie układu.

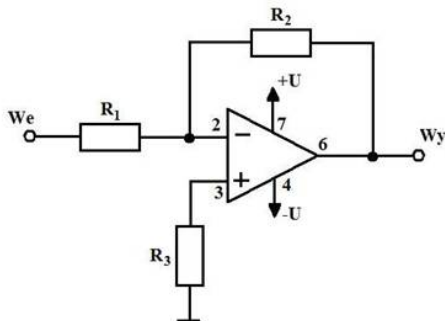


Rys. 7: Charakterystyki częstotliwościowe układu z rys. 6

SPICE

Przykłady

Na rys. 8 przedstawiono wzmacniacz odwracający zrealizowany na wzmacniaczu operacyjnym. Układ powinien wzmacniać sygnał wejściowy $\frac{R_2}{R_1}$ razy i zmieniać jego fazę o 180° .

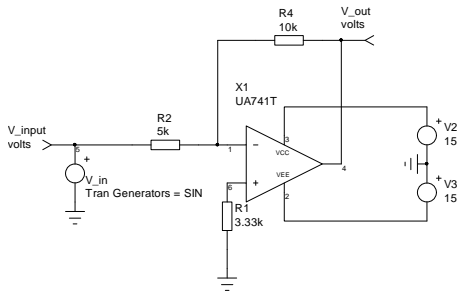


Rys. 8: Wzmacniacz odwracający

SPICE

Przykłady

Schemat układu w programie ICAP pokazano na rys. 9. Przy podanych wartościach rezystorów wzmacnienie układu powinno wynosić 2.

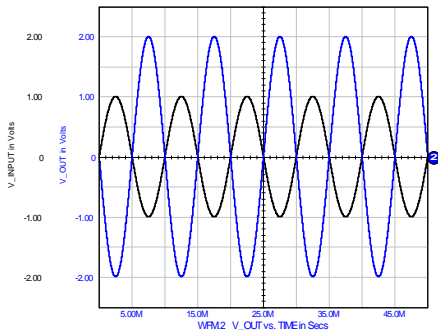


Rys. 9: Model wzmacniacza odwracającego w programie ICAP

SPICE

Przykłady

Przebiegi czasowe otrzymane w wyniku analizy `transient` pokazane na rys. 10 potwierdzają tę zależność.

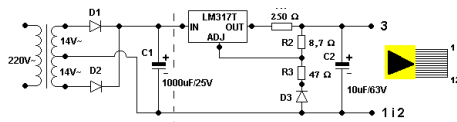


Rys. 10: Wyniki analizy czasowej układu z rys. 8

SPICE

Przykłady

Ładowarka transformatorowa *starego typu* do telefonu Siemens, której schemat pokazano na rys. 11.

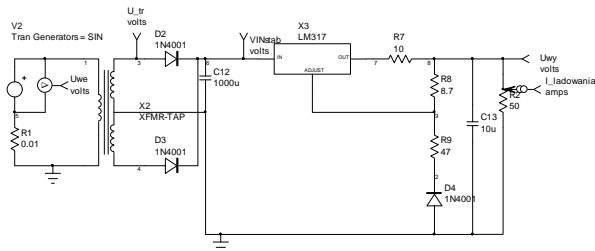


Rys. 11: Ładowarka do telefonu Siemens

SPICE

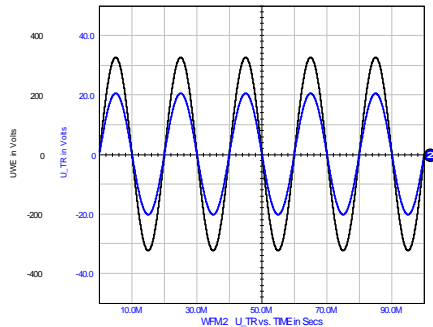
Przykłady

Model obwodu oraz wyniki analizy czasowej otrzymane w środowisku ICAP przedstawiono na rys. 12– 15.



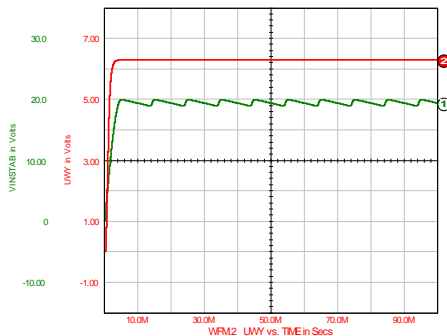
Rys. 12: Model ładowarki do telefonu Siemens w programie ICAP

SPICE



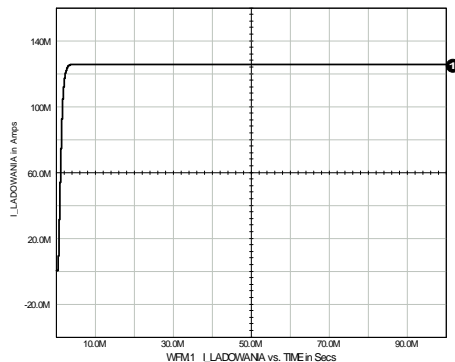
Rys. 13: Przebiegi czasowe napięcia na wejściu i wyjściu transformatora

SPICE



Rys. 14: Przebiegi czasowe napięcia na wejściu i wyjściu stabilizatora

SPICE



Rys. 15: Przebieg czasowy prądu ładowania

Wprowadzenie

PSPICE

- PSpice Student Version Release 9.1 jest darmowym pakietem oprogramowania, który pozwala analizować układy o niewielkich rozmiarach, dzięki czemu użytkownik może zapoznać się z większością możliwości pełnego, komercyjnego pakietu.
- W skład środowiska PSpice Student Version Release 9.1 wchodzi m.in. programy: Schematics, PSpice A/D, Probe.

Wprowadzenie

Schematics

- Program **Schematics** pozwala ***narysować schemat projektu, określić rodzaj i wartości elementów, sparametryzować elementy do celów optymalizacji oraz określić rodzaje analiz.***
- Opcje edycyjne umożliwiają zapisywanie stworzonego projektu, jego usuwanie, przenoszenie, zmianę orientacji, wyświetlanie właściwości danego elementu, parametrów danego modelu, wymianę elementów między stronami i znajdowanie ich na schemacie.
- Opcje analiz określają rodzaj i przedziały zmian wartości dla analiz, pozwalają dopisać ścieżki dostępu do bibliotek, ustawić opcje dla **Probe**, uruchomić **Probe**, przejrzeć listę połączeń i plik wyjściowy.
- Za pomocą znaczników można na schemacie umieścić punkty podglądu określonych charakterystyk układu. Specjalne opcje umożliwiają przejście do edycji symboli, w których można stworzyć graficzny symbol elementu, opisać jego końcówki, określić nazwę elementu, nazwę modelu, zdefiniować symbol i jego obudowę.

Wprowadzenie

PSpice A/D

- Program PSpice A/D umożliwia **wykonanie różnych symulacji analogowych, cyfrowych i mieszanych sygnałowo układów elektronicznych.**
- **Obejmują one m.in. analizę stałoprądową, zmiennoprądową, czasową, wrażliwości, Fouriera, tolerancji i temperaturową.**
- W procesie obliczeń zostają wykryte błędy wynikające z nieprawidłowego połączenia układu, z braku zdefiniowanych elementów lub błędnych ustawień analiz.

Wprowadzenie

Probe

- Program Probe umożliwia *analizę wyników symulacji oraz daje możliwość interaktywnego podglądu interesujących nas charakterystyk*.
- Program umożliwia wizualizację przebiegów napięć i prądów w układzie, jak również pozwala wykreślić zmodyfikowane, na drodze dostępnych funkcji arytmetycznych i specjalnych, sygnały.
- W oknie dialogowym można zamienić osie, zmienić ich zakresy i skale, dodać kolejne układy współrzędnych, dodać nowe wykresy i zmienić rodzaje analiz.
- Dodatkowe opcje pozwalają powiększać i zmniejszać wykres lub jego fragmenty.
- Wykorzystanie kursora umożliwia znalezienie szukanej wartości (maksymalnej, minimalnej, czasu narastania itp.).

Wprowadzenie

Podstawy obsługi pakietu PSpice

- W celu utworzenia lub modyfikacji schematu układu elektronicznego uruchamiamy, jak już wiemy z wcześniejszych rozważań, program `Schematics`.
- **`Schematics` jest graficznym edytorem do rysowania obwodów elektronicznych, pracujący, podobnie jak cały pakiet DesignLab, w środowisku Windows.**
- Jest on bardzo wygodny w użyciu i daje możliwość swobodnego przechodzenia do pozostałych programów pakietu.



Schematics

Rys. 16: Ikona programu `Schematics`

Wprowadzenie

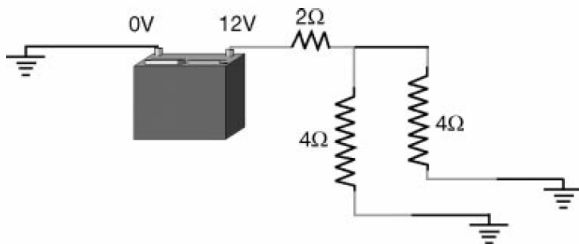
Podstawy obsługi pakietu PSpice

- Pracę z pakietem DesignLab rozpoczyna się od graficznego stworzenia układu, deklaracji jego elementów oraz deklaracji analiz, które mają być wykonane.
- Wszystkie te zadania realizujemy w programie Schematics, z tego też względu zostaje on uruchomiony jako pierwszy.
- Możemy wówczas otworzyć wcześniej stworzony schemat lub narysować metodą *przeciągnij i upuść* (ang. *drag and drop*) nowy.
- Program wyposażony jest w bogatą listwę narzędziową. Szczegółowe omówienie menu i ikon znajduje się w pracy [Krol:2009].
- Do uruchomienia znacznej części poleceń menu istnieją wygodne skróty klawiszowe i ikony listwy narzędziowej.
- Po narysowaniu schematu należy określić jaki typ analizy numerycznej ma być przeprowadzony i zdefiniować jej parametry. Służy do tego opcja *Analysis Setup* z menu *Analysis* lub odpowiednia ikona.

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

Rozpatrzony zostanie układ pokazany na rys. 17.

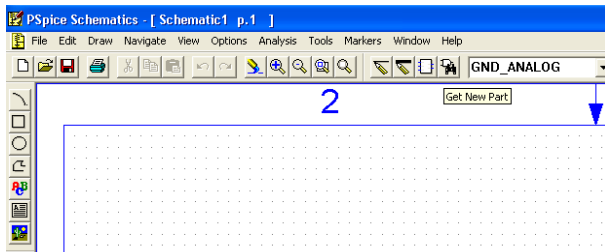


Rys. 17: Prosty układ elektryczny

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

Otwieramy okno główne Schematics i klikamy w ikonę Get New Part (rys. 18).

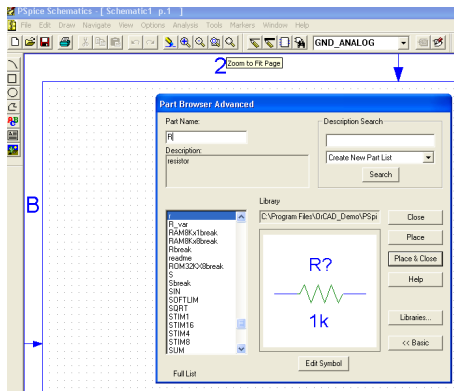


Rys. 18: Fragment okna głównego Schematics z klikniętą ikoną Get New Part

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

W efekcie otwiera się okno wyboru elementu pokazane na rys. 19.

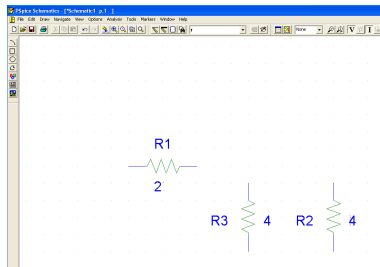


Rys. 19: Okno wyboru elementu

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

- Wybieramy rezystor R, dwukrotnie klikamy przycisk Place i następnie przycisk Place & Close.
- Rozmieszczamy oporniki odpowiednio je obracając (używając np. skrótu klawiszowego CTRL-R) i ustawiamy wartości rezystancji (klikając w domyślną wartość 1k i zmieniając ją na pożądaną). Efekt tych działań pokazano na rys. 20.

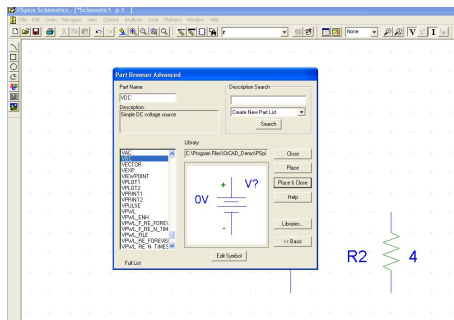


Rys. 20: Fragment okna Schematics z rezystorami

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

Ponownie klikamy w ikonę Get New Part i tym razem na schemacie umieszczamy źródło napięcia stałego VDC (rys. 21),



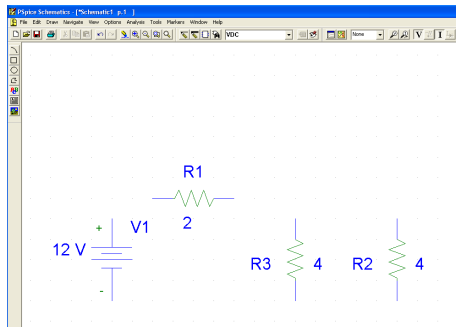
Rys. 21: Okno wyboru elementu VDC

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

ustawiamy jego wartość (rys. 22) ¹.

¹Na schemacie z rys. 22 jest pewien celowo wprowadzony błąd, który wyjaśnimy w dalszej części rozdziału.

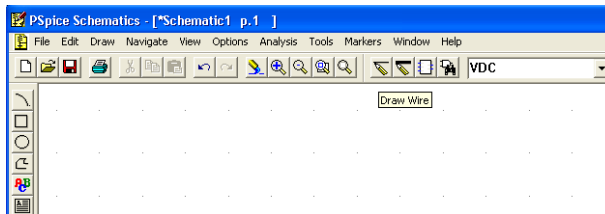


Rys. 22: Fragment okna Schematics z rezystorami i źródłem

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

Kolejnym krokiem jest połączenie elementów idealnym przewodem. Do tego celu wykorzystujemy polecenie Draw Wire klikając np. na odpowiednią ikonę (rys. 23).

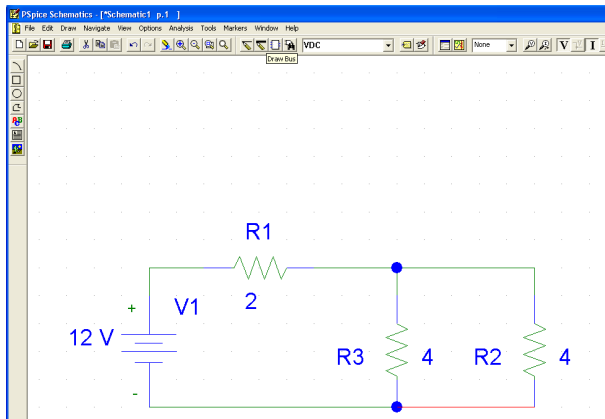


Rys. 23: Fragment okna głównego Schematics z klikniętą ikoną Draw Wire

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

W efekcie tych działań otrzymujemy schemat pokazany na rys. 24.

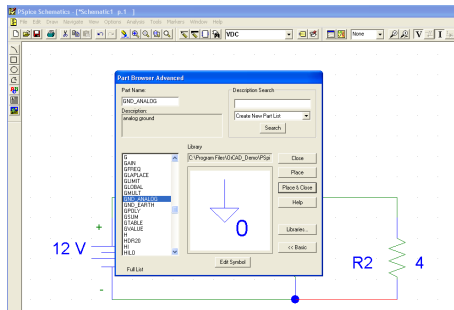


Rys. 24: Fragment okna Schematics ze schematem obwodu

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

Ponieważ każdy schemat musi zawierać węzeł odniesienia (masy) ponownie klikamy w ikonę Get New Part, wybieramy element GND_ANALOG (rys. 25)

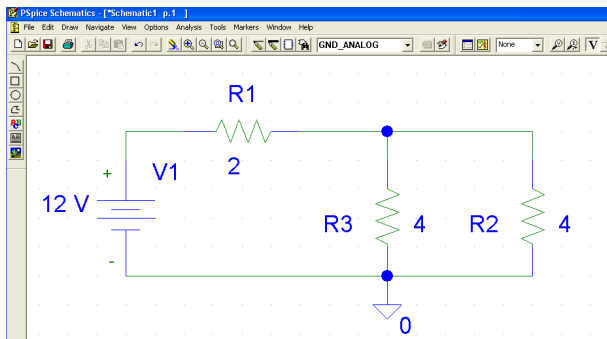


Rys. 25: Okno wyboru elementu GND_ANALOG

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

i dołączamy go do dolnego węzła układu (rys. 26).

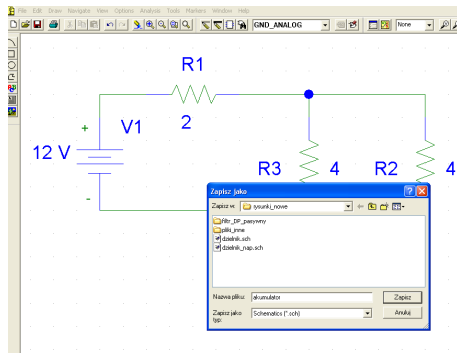


Rys. 26: Fragment okna Schematics z końcowym schematem

Przykład

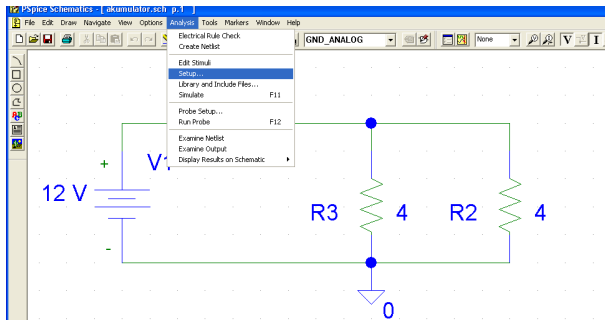
Podstawy obsługi pakietu PSpice

- Przed uruchomieniem musimy nagrać (rys. 27) swój projekt.
- Należy podkreślić, że nazwy nie mogą zawierać znaków specjalnych, odstępów i polskich znaków.



Rys. 27: Fragment okna Schematics z otwartym oknem dialogowym zapisu

Następnie wchodzimy w opcje Analysis Setup (rys. 28),

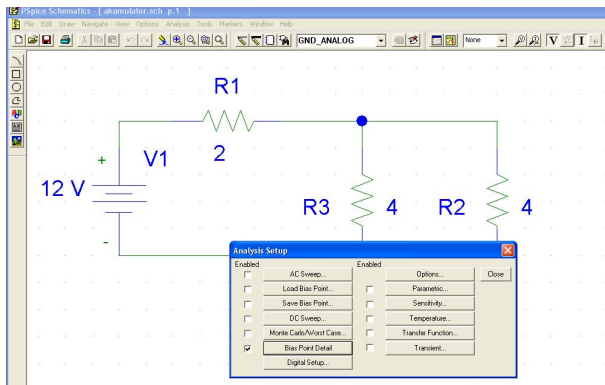


Rys. 28: Fragment okna Schematics z zaznaczoną pozycją menu Analysis Setup

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

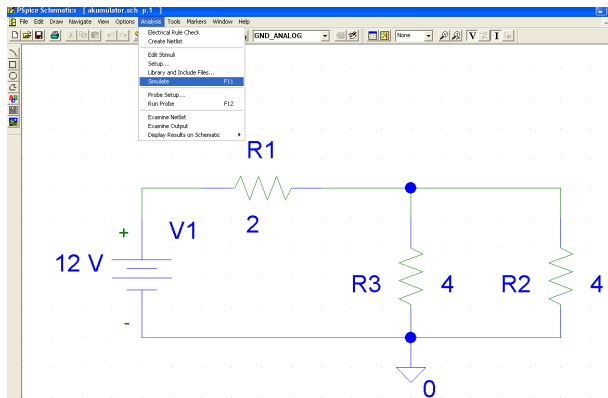
sprawdzamy zaznaczone opcje symulacji (ponieważ przeprowadzamy analizę stałoprądową a zatem zaznaczone powinno być Bias Point Detail) (rys. 29)



Rys. 29: Fragment okna Schematics ze schematem i oknem Analysis Setup

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice
i uruchamiamy symulację (rys. 30).

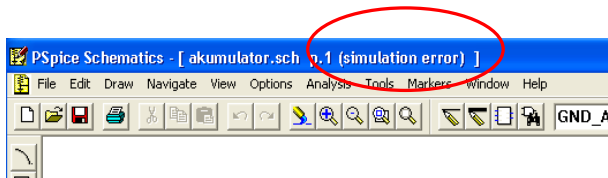


Rys. 30: Fragment okna Schematics z zaznaczoną pozycją menu Analysis Simulate

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

Na belce okna pojawia się komunikat `simulation error` (rys. 31).

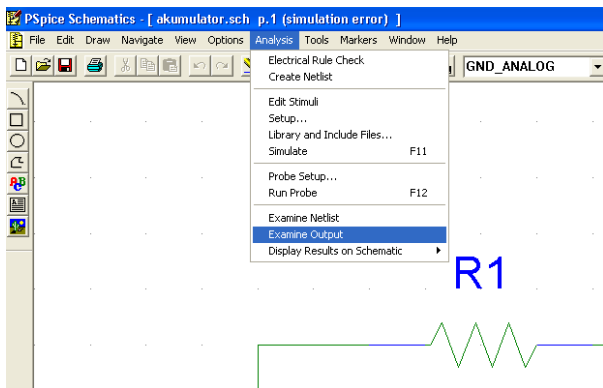


Rys. 31: Fragment okna Schematics z komunikatem o błędzie

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

W celu identyfikacji błędu otwieramy plik wyjściowy np. poprzez opcję menu Analysis Examine Output (rys. 32).



Rys. 32: Fragment okna Schematics z zaznaczoną pozycją menu Analysis Examine Output

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

Analizując otwarty plik wyjściowy (rys. 33)

```

akumulator.out: Mstator
PSpice Edycja Format Widok Pomoc
0
**** 08/27/12 15:14:49 ***** Evaluation PSpice (Nov 1999) *****
* C:\wykłady_2012-2013\KAUE_L\rysunki_nowe\akumulator.sch

**** CIRCUIT DESCRIPTION
*****

* Schematics Version 9.1 - Web Update 1
* Mon Aug 27 15:14:49 2012

** Analysis setup **
.OP

* From [PSPIICE NETLIST] section of pspicev.ini:
.lib "mem.lib"

.TMC "akumulator.net"

**** INCLUDING akumulator.net ****
* Schematics Netlist *

R_R1      $N_0001 $N_0001 2
R_R2      0 $N_0001 4
R_R3      $N_0001 4
V1=0      $N_0002 0 12 V
*****
ERROR - Expecting keyword STIMULUS, saw V.

**** RESUMING akumulator.sch ****
.TMC "akumulator.als"

**** INCLUDING akumulator.als ****
* Schematics Alias *

.ALTIASES
R_R1      R1(1=$N_0001 2=$N_0001 )
R_R2      R2(1=0 2=$N_0001 )
R_R3      R3(1=0 2=$N_0001 )
V1=0      V1(1=$N_0002 --0 )
.ENDALTIASES

```

Rys. 33: Fragment okna tekstowego z plikiem wyjściowym

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

zauważamy, że problem dotyczy źródła napięcia (rys. 34). Jednostka V nie jest *przyklejona* do wartości, ale poprzedzona odstępem, co jest błędem.

```
V_V1      $N_0002 0 12 V
-----$
```

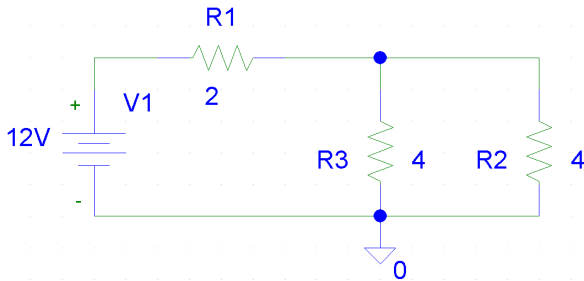
ERROR -- Expecting keyword STIMULUS, saw V.

Rys. 34: Powiększony fragment okna tekstowego z informacją o błędzie

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

Poprawiony schemat pokazano na rys. 35.

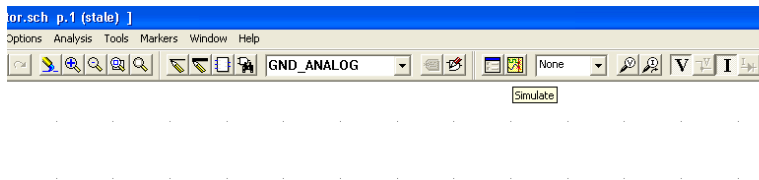


Rys. 35: Fragment okna Schematics z poprawionym schematem

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

Ponownie uruchamiamy symulację, np. poprzez kliknięcie odpowiedniej ikony (rys. 36) i po wykonaniu analizy na schemacie wyświetlone zostają informacje o napięciach (zielone etykiety) i płynących prądach (niebieskie etykiety),

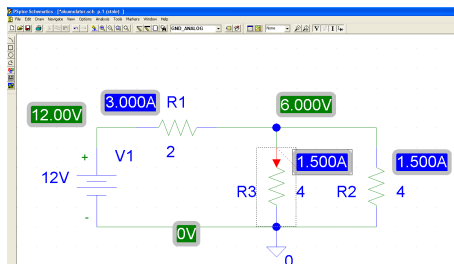


Rys. 36: Fragment okna głównego Schematics z klikniętą ikoną Simulate

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

co pokazano na rys. 37. Kliknięcie w odpowiednią etykietę napięcia wyświetla przerywaną linię wskazującą na węzeł schematu, którego dotyczy dana wartość, kliknięcie na etykietę prądu sprawia, że na schemacie pojawia czerwona strzałka wskazująca na kierunek, w jakim płynie prąd w gałęzi.

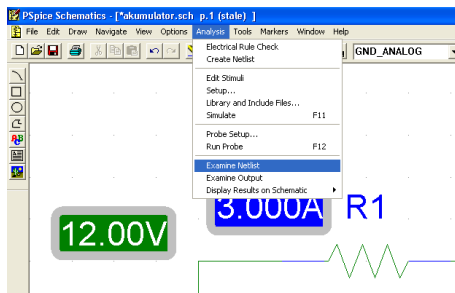


Rys. 37: Fragment okna głównego Schematics z wynikami symulacji

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

Uruchomienie opcji Analysis Examine Netlist (rys. 38)

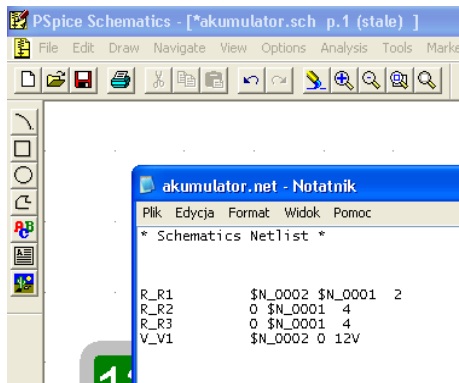


Rys. 38: Fragment okna Schematics z zaznaczoną pozycją menu Analysis Examine Netlist

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

pozwała przeanalizować np. w jaki sposób w programie PSpice ponumerowano i oznaczono węzły oraz elementy (rys. 39).



Rys. 39: Fragment okna tekstowego z plikiem wejściowym zawierającym informacje o elementach i węzłach

Przykład

Podstawy obsługi pakietu PSpice

Wykorzystując opcję menu Analysis Examine Output możemy z pliku wyjściowego odczytać inne wyniki np. moc (rys. 40).

```

NODE   VOLTAGE      NODE   VOLTAGE      NODE   VOLTAGE      NODE   VOLTAGE
($N_0001)   6.0000              ($N_0002)  12.0000

VOLTAGE SOURCE CURRENTS
NAME             CURRENT
V_V1             -3.000E+00
TOTAL POWER DISSIPATION  3.60E+01 WATTS

0
**** 08/27/12 15:23:14 ***** Evaluation PSpice (Nov 1999) *****
* C:\wykłady_2012_2013\KAUE_1\rysunki_nowe\akumulator.sch

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

*****

JOB CONCLUDED
TOTAL JOB TIME          0.00

```

Rys. 40: Fragment okna tekstowego z plikiem wyjściowym