

Electronics Workbench

- wirtualny warsztat elektronika

Nawet zdeklarowany praktyk-konstruktor, niezależnie od tego, czy jest inżynierem czy hobbystą elektronikiem, musi obecnie korzystać z różnych programów symulacji, choćby był zajadłym wrogiem komputerów.

Jeden z czołowych programów tego typu przedstawiamy w artykule.

Czym bowiem jest symulacja? Jest to „eksperyment” przeprowadzony za pomocą komputera i odpowiedniego programu, pozwalający przewidzieć właściwości układu przed jego zmontowaniem i uruchomieniem. W procesie symulacji są wykorzystywane modele funkcjonalne elementów i podzespołów.

Przykładowo: do analizy prostych obwodów rezystancyjnych - a takimi w końcu z dobrym przybliżeniem jest większość dzielników polaryzacji - wystarcza znajomość prawa Ohma i obu praw Kirchhoffa.

Dlatego też, bez budowania sieci rezystancyjnej można obliczyć rozkład napięć w jej węzłach po przyłożeniu konkretnego napięcia zasilającego. Zamiast stołu laboratoryjnego wystarczy więc ołówek i kartka papieru - choć co wygodniejsi mogą czasem sięgnąć po prosty kalkulator.

Sytuacja komplikuje się, gdy zaczynamy analizować układ zawierający elementy charakteryzowane nieliniowymi zależnościami prądów i napięć - a takimi elementami są dioda i tranzystor. Do „ręcznego” obliczenia takiego układu niezbędne stają się tabele, nomogramy, wykresy charakterystyk i... większa kartka papieru.

Nic więc dziwnego, że od dawna myślano o wspomaganii tego procesu przez komputer. Szczególnym impulsem było rozpoczęcie produkcji układów scalonych w latach sześćdziesiątych. O ile prototyp układu realizowanego techniką tradycyjną, z pojedynczych tranzystorów, można stosunkowo pro-

sto i szybko modyfikować przez wymianę elementów lub przewidziane z góry i wprowadzone do układu elementy nastawne (np. potencjometry), dla układu scalonego jest to operacja bardzo długotrwała i kosztowna, gdyż wymaga przeprojektowania i powtórnego wykonania masek.

Efektom długoletnich prac wielu ośrodków był powstały w Berkeley w pierwszej połowie lat siedemdziesiątych program SPICE (Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis - program symulacyjny dla układów scalonych) - następca kilku wcześniejszych (m.in. CANCER) - do dziś stale udoskonalany i rozwijany oraz spełniający funkcję nieformalnego, acz uznanego powszechnie standardu w tej dziedzinie.

Pomimo że dedykowany pierwotnie układowi scalonemu, SPICE był z czasem coraz szerzej stosowany w symulacji układów elektronicznych, a wraz z upowszechnieniem się komputerów osobistych stał się dostępny dla szerokiego grona użytkowników. Warto przy tym zaznaczyć, że najbardziej chyba znaną odmianą SPICE: PSpice¹ firmy MicroSim [1] (obecnie OrCAD) była pierwszą (1984), choć nie jedyną, implementacją tego symulatora na komputery osobiste IBM. Mnogość różnych odmian SPICE wynika z faktu, że właściciel kodu źródłowego programu - Uniwersytet Kalifornijski w Berkeley udostępnił go na zasadzie licencji zainteresowanym firmom, te zaś z kolei wzbogacają jądro programu o wygodny interfejs użytkownika i sprzedają jako własny produkt. Początkowe wersje pracowały w oparciu o przetwarzanie tekstowe. Wymagało to znajomości formalizmu języka wejściowego, opisanego na przykład w podręczniku [2], jednak z początkiem lat dziewięćdziesiątych zaczęły się pojawiać wersje zwalniane użytkownikom z konieczności pamiętania zawiłej niekiedy syntaktyki komend i dyrektyw, pozwalające wprowadzać analizowany układ za pomocą rysowania schematu, a nie pisania listy połączeń.

Dalszymi usprawnieniami były narzędzia do graficznej prezentacji i obróbki wyników symulacji (oryginalny SPICE dru-

kował jedynie tabele wartości lub tworzył wykresy w trybie znakowym) i biblioteki - niekiedy bardzo rozbudowane - zawierające modele dostępnych elementów dyskretnych różnych wytwórców. Program wzbogacono o nowe możliwości analiz i eksportowania/importowania danych z innych programów użytkowych - szczególnie programów do rysowania schematów i projektowania obwodów drukowanych.

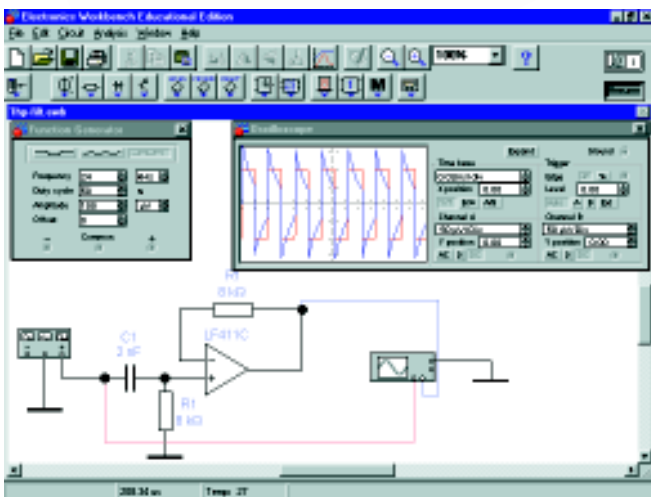
Ponieważ oryginalny berkeleyowski SPICE jest przewidziany tylko do analizy układów analogowych, większość komercyjnych wersji SPICE jest uzupełniona o symulator logiczny pozwalający analizować układy cyfrowe i analogowo-cyfrowe na poziomie funkcjonalnym (oznacza to, że np. bramka NAND jest opisywana za pomocą tabeli stanów z uwzględnieniem czasów propagacji, a nie przez jej pełny schemat elektryczny, co przyspiesza, a w przypadku bardziej złożonych układów w ogóle umożliwia, dokonanie analizy). Do bardziej znanych programów mających wymienione właściwości należą (obok wymienionego już PSpice): Is-Spice firmy Intusoft[3], Dr.Spice firmy Deutch Research[4] lub Spice-It! firmy CAD-Migos Software Tools [5].

Choć nie wynika to z nazwy firmowej, znany program Micro-Cap-V firmy Spectrum Software[6] jako jądra symulatora (simulation engine) także używa programu SPICE.

Electronics Workbench

Dość ciekawym pomysłem na przyjazny użytkownikowi interfejs SPICE jest interfejs graficzny w programie Electronics Workbench (będziemy dalej używać skrótu EWB), kanadyjskiej firmy Interactive Image Technologies [7].

Najnowsza wersja EWB 5.12 jest rozprawdzana w kilku wariantach, dość podobnych funkcjonalnie, ale różniących się wielkością możliwego do analizy układu, zestawem dostępnych analiz i zasobnością bibliotek modeli. Cztery zasadnicze wersje to: studencka, edukacyjna, hobbystyczna i profesjonalna. Oprócz tego jest dostępna także wersja demonstracyjna rozpowszechniana za darmo w Internecie oraz dołączana do kilkunastu popular-



Rys. 1.

nych podręczników akademickich z dziedziny elektrotechniki i elektroniki w języku angielskim (między innymi do mającej swoich entuzjastów jak i przeciwników, ale będącej swoistą „biblią” elektroniki, książki Microelectronic Circuits Sedry i Smitha [9]). Niniejszy artykuł powstał w wyniku testowania wersji edukacyjnej, udostępnionej przez krakowską firmę Oprogramowanie Naukowo-Techniczne (www.ont.com.pl).

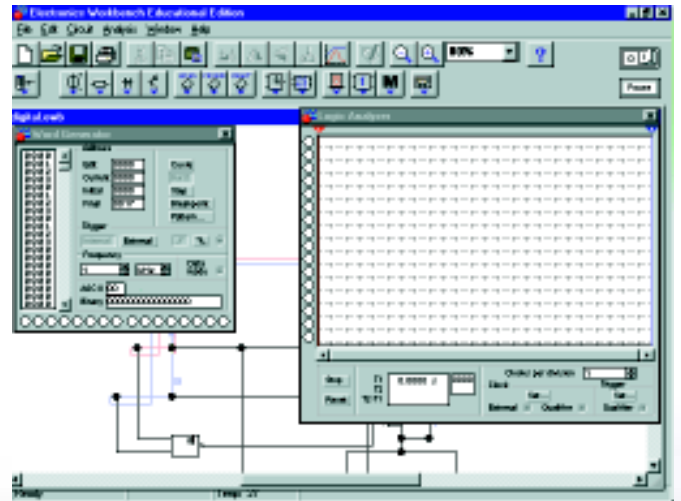
Projektanci EWB przypuszczalnie kierowali się założeniem, że przeciętny, a tym bardziej „rasowy” elektronik, jeżeli nawet korzysta w swej pracy z komputera, najlepiej czuje się trzymając w ręce sondę oscyloskopową lub multimetr. Z tego też względu dużo uwagi poświęcono warstwie prezentacyjnej programu, gdzie postarano się o maksymalne upodobnienie środowiska symulatora do rzeczywistego laboratorium pomiarowego, co zresztą wyraźnie sugeruje nazwa produktu zawierająca słowo workbench, oznaczające warsztat bądź stół laboratoryjny.

Pracując z EWB użytkownik wprowadza analizowany układ w postaci schematu ideowego, zaś zasila go, pobudza i dokonuje „pomiarów” za pomocą „wirtualnych przyrządów” jak multimetr, oscyloskop, generator przebiegów czy analizator stanów logicznych. Sama zaś aktywacja procesu analizy układu polega na załączeniu wirtualnego przycisku sieciowego w prawym górnym rogu okna roboczego.

EWB to jedna z najdalej idących realizacji „wirtualizacji” świata przetwarzania sygnałów elektrycznych - jedyny znany nam przykład bardziej zaawansowany w tym kierunku, to program EDISON, węgierskiej firmy Design Software [9], w którym elementy układu są reprezentowane przez trójwymiarowe ikony, włókna żarówek zmieniają kolor w zależności od natężenia prądu itd. Jednakże EDISON, podobnie jak oferowany przez tę samą firmę analogowo-cyfrowy symulator TINA - mający również „wirtualne oprzyrządowanie”, to produkty wyłącznie edukacyjne, nie pretendujące, w odróżnieniu od EWB, do zastosowań praktycznych.

Pracując z programem EWB, elektronik czuje się więc jak w rzeczywistym laboratorium pomiarowym. Przykładowo, chcąc zbadać odpowiedź układu na pobudzenia czasowe, wystarczy narysować jego schemat, po czym wziąć z „półki” przyrządów generator i oscyloskop. W generatorze mamy możliwość

wyboru typu przebiegu (prostokątny, trójkątny lub sinusoidalny) oraz jego parametrów, jak amplituda, współczynnik wypełnienia czy częstotliwość. Z kolei, na dwukanałowym oscyloskopie należy wybrać podstawę czasu, tryb pracy, sposób podłączenia torów (AC/GND/DC) oraz czułość poszczególnych kanałów. Najważniejszą zaletą tego podejścia jest przede wszystkim interaktywność pracy. Na szybkim komputerze i przy niewielkiej złożoności układu można na bieżąco, lub niemal na bieżąco, śledzić wpływ zmian sygnału wymuszającego na kształt odpowiedzi. Jest to zasadnicza zaleta w stosunku do pracy z postprocesorem graficznym, gdzie zwykle trzeba poczekać na zakończenie analizy, aby móc wizualizować jej wyniki, choć obecnie, przy pełnym dostosowaniu komputerów osobistych do pracy wielozadaniowej, można czasem uruchamiać postprocesor i żądać autoaktualizacji przebiegów - jak to ma miejsce np. w przypadku najnowszych wersji postprocesora Probe z pakietu Design Center firmy MicroSim/OrCAD. Tym niemniej, zasadniczą zaletą „wirtualnego oscyloskopu” wydaje się być **brak** autoskalowania wykonywanego rutynowo przez większość postprocesorów - co może czasami prowadzić do fałszywych wniosków wyciąganych przez mniej doświadczonych (i sportrzegawczych!) użytkowników. Cieszy możliwość przełączania oscyloskopu w tryb XY (użyteczna w przypadku określania np. charakterystyk układów przerzutników z histerezą), choć szkoda, że nie można sumować czy odejmować przebiegów jak w normalnym oscyloskopie. Wprawdzie elementarne (bardzo złożone też!) operacje arytmetyczne na wartościach sygnałów mogą być wykonywane za pomocą prostych układów ze źródłami sterowanymi (w ten sposób można też „skonstruować” np. sondę prądową), ale jest to już mniej „wygodne” i trochę przeczy ogólnej filozofii produktu. Pewnym ograniczeniem jest też możliwość obserwacji tylko dwóch sygnałów, ale - po pierwsze - jest to sytuacja w końcu dość typowa (oscyloskopy czteroi więcej kanałowe są jednak raczej wyjątkowe), dotyczy zasadniczo sygnałów analogowych (dla cyfrowych jest do dyspozycji 16-kanałowy analizator logiczny), i wreszcie, w przypadku konieczności jednoczesnej prezentacji większej liczby sygnałów analogowych, mamy do dyspozycji tradycyjną metodę z procesorem graficznym, do którego możemy przekazywać



Rys. 2.

dowolną liczbę napięć węzłowych. Trzeba tu jednak dość wyraźnie powiedzieć, że postprocesor graficzny EBW jest o klasę gorszy od odpowiadających mu programów innych producentów. W przypadku większych wymagań estetycznych nieodzownym może okazać się użycie zewnętrznych programów do obróbki i prezentacji danych. Eksport wyników symulacji w postaci liczbowej do pliku tekstowego jest przewidziany przez projektantów EWB.

Poza opisanymi przyrządami, na „półce” z aparaturą pomiarową (oczywiście wirtualną...) znajdują się jeszcze: wobuloskop oraz generator słów 16-bitowych, 16-kanałowy analizator logiczny oraz, nie mający raczej prostego odpowiednika w rzeczywistym świecie, konwerter logiczny dokonujący zamiany różnych reprezentacji funkcyjnych (tabela prawdy, wyrażenie w postaci alternatywnej lub koniunkcyjnej, symbol bramki, nazwa funkcyjna) pomiędzy sobą.

Po przeglądnięciu „szafy” z oprzyrządowaniem zobaczymy co mamy w szufladkach podręcznego magazynu części naszego wirtualnego laboratorium. Główną zaletą tej „szafki” jest „niewyczerpalność” zapasu poszczególnych podzespołów - bo przyrządy (oscyloskop, multimetr itd.) znikają jednak z półki po ich podłączeniu do układu - jak w zwykłym laboratorium, gdzie drogą aparaturę mamy zazwyczaj w pojedynczych egzemplarzach, ale części elementów pod dostatkiem. Niezależnie od powyższej zalety, naprawdę cieszy zasobność dostarczonych modeli. Nie jest to zapewne rzecz niezwykła dla użytkowników dobrze wyposażonego warsztatu, ale pamiętać należy, że w pierwotnym SPICE przewidziane są ogólne (skalowalne) modele podstawowych

przyrządów półprzewodnikowych: diody, tranzystora bipolarnego, tranzystorów polowych złączowych i z izolowaną bramką, elementów biernych (rezystor, kondensator, cewka indukcyjna i linia opóźniająca) oraz niezależnych i sterowanych źródeł napięcia oraz prądu.

Komercyjne wersje SPICE zaopatrzone są zwykle w biblioteki zawierające parametry skalujące ogólną postać równań modelu bazowego określonej klasy (np. tranzystora NPN) do rzeczywistych charakterystyk produkowanego i dostępnego w handlu elementu. Oprócz tego, biblioteki komercyjnych wersji SPICE zawierają dodatkowo makromodely² wzmacniaczy operacyjnych i komparatorów, a także modele funkcjonalne (behawioralne) większości popularnych rodzin cyfrowych układów scalonych, czasami włącznie z układami programowalnymi PAL/GAL (MicroSim/OrCAD).

Tych ostatnich nie ma co prawda w żadnej z „szuflad” EWB, ale brak ten, jakkolwiek dla niektórych dotkliwy, jest kompensowany opracowaniem i udostępnieniem modeli elementów, których na próżno szukać w innych symulatorach. Przykładem mogą tu być modele diod elektroluminescencyjnych (nie chodzi tu jednak o efekty optyczne, lecz o charakterystyki prądowo-napięciowe tych diod, odbiegające nieco od charakterystyk standardowej diody krzemowej), czy półprzewodnikowych prostotoków sterowanych (tyrystora, diaka, triaka - choć nie udało nam się znaleźć IGBT). Proste, zdawałoby się elementy, jak bezpiecznik czy klucz dwupołożeniowy, ze względu na fakt zmiany struktury analizowanego układu mogą występować tylko w interakcyjnych, jak EWB, wersjach symulatorów, gdzie, jak należy przypuszczać, symulator

SPICE jest uruchamiany w tle kilkakrotnie, a dopiero w warstwie prezentacyjnej wyniki są łączone.

Nie sposób tu wymienić wszystkich elementów pogrupowanych w dwunastu „szufladkach“, z których szczególną uwagę zwracają wskaźniki (Indicators), zawierające woltomierze i amperomierze (tak więc tylko multimetr występuje w pojedynczym egzemplarzu), ale także żarówki, wskaźniki siedmio-segmentowe czy zestawy diod luminescencyjnych w postaci „linijki świetlnej“, a nawet brzyczyk. Elementy te, pobudzone odpowiednimi sygnałami, „świecą“ lub wydają dźwięki z głośnika systemowego. Drugą bar-

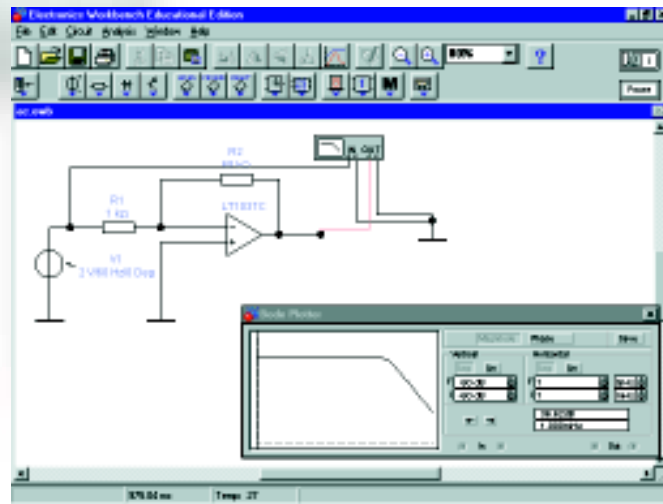
Rys. 3. Interesującą (choć trochę nieuporządkowaną - co zdarza się jednak w najlepszym warsztacie...) jest szuflada „różności“ (Miscellaneous Parts), w której znaleźć możemy wspomniane już bezpieczniki topikowe, silnik prądu stałego (z możliwością szeregowego lub równoległego łączenia stojana z wirnikiem; napięcie na umownej końcówce odpowiada prędkości obrotowej), a także kilka rodzajów przetwornic prądu stałego oraz lampy próżniowe.

Choć wszystkie szuflady otwierają się lekko, szybko i bezszelestnie (i nigdy nic się z nich nie wysypuje...), dla usprawnienia pracy można częściej używane elementy przełożyć do podręcznej szuflady pod blatem stołu laboratoryjnego (Favourites - w lewym, górnym rogu). Omówione na samym początku przyrządy wirtualne służą do przeprowadzania podstawowych typów analiz - stałoprądowej, małosygnałowej i procesów przejściowych (.DC, .AC i .TRAN). Oprócz tego, w EWB są możliwe wszystkie pozostałe analizy przewidziane przez standard Berkeley SPICE, a więc stałoprądowa analiza punktu pracy (.OP), analiza szumowa (.NOISE), analizy zniekształceń (.DISTO i .FOUR), analiza wrażliwościowa (.SENS), funkcji przejściowej (.TF) oraz biegunów i zer (.PZ). Jako rozszerzenie występują bardziej zaawansowane typy analiz, jak parametryczna (.STEP), Monte Carlo (.MC) czy statystyczna analiza najgorszego przypadku (.WCASE), w postaciach odpowiadających z grubsza rozszerzeniom wprowadzonym przez firmę MicroSim jeszcze w okresie jej samodzielnej działalności [2].

W wyliczeniu powyższym użyto dla przypomnienia (w nawiasach) mnemoników SPICE/PSpice, odpowiadających poszczególnym analizom, ale użytkownik aktywuje je wyłącznie przez wy-

pełnianie właściwych formułarzy. Zasadniczo EWB nie przewiduje bezpośredniego przetwarzania plików tekstowych z opisem zadania w języku SPICE, co jest trochę zaskakujące, zważywszy, że jądrem programu jest 32-bitowy kod SPICE 3F5, co bardzo eksponują producenci i dystrybutorzy. Nie oznacza to jednak braku możliwości symulowania netlist stworzonych przez inne programy lub wprowadzonych bezpośrednio jako pliki tekstowe. EWB może w takim wypadku zaimportować

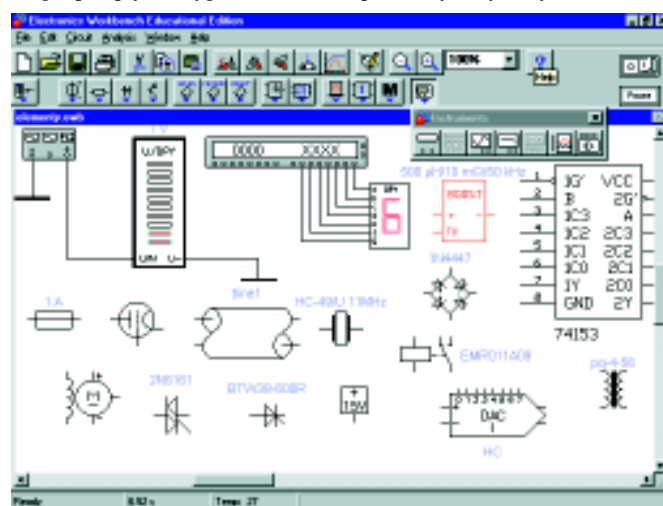
miast informacja topologiczna, nawet w tak pogmatwanym schemacie, jest wystarczająca dla symulatora jak i dowolnego programu do projektowania płytek drukowanych. EWB może eksportować schemat do programów OrCAD PCB, Tango, Protel, Layo1, Ultimate i - co oczywiste - do własnego programu do projektowania płytek: Electronics Workbench Layout. Możliwy jest także eksport w formacie standardowego SPICE, choć tu sprawa jest bardziej problematyczna z tego względu, że



zbiór z netlistą i stworzyć odpowiadający jej schemat. Użyteczność tego ostatniego jest w takim wypadku mocno ograniczona, gdyż automatyczne rozmieszczanie i łączenie rozpoznanych elementów układu prowadzi zazwyczaj do bardzo zagmatwanego schematu - często łamiącego wszystkie wskazówki zawarte w podręczniku Hilla i Horowitza [10]. Trudno jednak wymagać od algorytmu, żeby „domyślał“ się funkcji układu czy choćby kierunku zasadniczego przepływu sygnału. Nato-

w standardowym SPICE nie ma odpowiedników wielu elementów zdefiniowanych i używanych przez EWB.

Kolejnym ciekawym mechanizmem zaimplementowanym w EWB jest funkcja „uszkodzeń“ (faults). Dla każdego elementu występującego w analizowanym układzie można zdefiniować warunki krytyczne, po przekroczeniu których element nie spełnia już swej funkcji tylko zachowuje się jak zwarcie, rozwarcie lub rezystancja (upływ pomiędzy wybranymi końców-



Rys. 4.

kami. Uszkodzony element zmienia swój kolor na czerwony. Taka możliwość bardzo ułatwia diagnozowanie uszkodzeń układu i jest niesłychanie wartościowa pod względem dydaktycznym. Testowana przez nas wersja edukacyjna ma zresztą kilka dodatkowych opcji, których kontrolowanie wymaga hasła znanego nauczycielowi. Między innymi możliwe jest ukrywanie wspomnianych uszkodzeń, wtedy uczeń czy student musi samodzielnie zlokalizować uszkodzenie na podstawie zmian zewnętrznych. Ponadto jest możliwa blokada zmian parametrów modelu, dezaktywowanie niektórych analiz itp.

Wydaje się, że omawiany program jest bardzo ciekawym narzędziem, którego główną zaletą jest możliwość bardzo szybkiego opanowania go przez użytkownika dzięki przejrzystemu i bardzo przyjaznemu interfejsowi. Jedynym szybko zauważalnym mankamentem jest mało wygodny sposób cofania wprowadzonych zmian i poprawek - brak tu klasycznych funkcji Undo/Redo, a ich namiastką jest funkcja Revert to Saved, której użycie wymaga jednak dość częstego tworzenia kopii zapasowych. Jednocześnie dość wysoki stopień skomplikowania interfejsu użytkownika powoduje, że wykonanie mniej standardowych zadań albo dołączenie własnych, nowych modeli może być utrudnione. Jeżeli dodać do tego opisane wcześniej niedokonałości postprocesora graficznego, to profesjonalści, którzy znają dobrze język wejściowy programu SPICE, potrzebują i potrafią tworzyć własne biblioteki modeli i symboli oraz mają wyższe wymagania prezentacyjne (rysunek przebiegu na wirtualnym oscyloskopie wygląda niestety trochę amatorsko, a poziom tworzonych grafów też nie wszystkich satysfakcjonuje), mogą optować za innymi produktami, choć nawet wtedy niezaprzeczalnym atutem EWB jest stosunkowo niska cena (nawet wersji profesjonalnej). Program zaś jest chyba idealny dla uczniów, studentów i hobbystów. Należy jeszcze tylko na zakończenie przestrzec przed zbyt długim przebywaniem w wirtualnym warsztacie elektronicznym. Każda rzeczywistość jest bowiem zawsze bogatsza niż najbardziej rozwinięte jej modele i należy sobie zdawać sprawę, że istnieją klasy zjawisk występujące w układach, a nie mające swojego odbicia w ich modelach - w końcu wedle klasycznej definicji model odzwierciedla najważniejsze, a nie wszystkie cechy obiektu. Wy-

Kupon konkursowy

Jeżeli zainteresował Cię artykuł o programie Electronics Workbench wytnij i wyślij ten kupon na adres redakcji EP.

Masz szansę wylosować jedną z pięciu płyt z ewaluacyjną wersją pakietu.

Imię:

Nazwisko:

Adres:

Electronics
Workbench®

chodząc zaś z wirtualnego warsztatu nie zapomnijmy „zgasić światła“ głównym wyłącznikiem - wyniki długotrwałej symulacji są ciągle zapisywane na dysk i mogą spowodować jego przepełnienie.

Witold Machowski

Nagrody konkursowe ufundowała firma ONT tel. (0-12) 636-25-52.

Literatura:

- [1] www.microsim.com, www.orcad.com
- [2] J. Porębski, P. Korohoda SPICE - program nieliniowej analizy układów elektronicznych, WNT, Warszawa 1996, wyd. V
- [3] www.intusoft.com, europejski mirror www.softsim.com
- [4] www.deutsch.com
- [5] www.cadmigos.com
- [6] www.spectrum.co.uk
- [7] www.interactiv.com

[8] A.S. Sedra, K.C. Smith, Microelectronic Circuits, wyd. 4 Oxford University Press, 1998

[9] www.designsoftware.com

[10] P. Horowitz, W. Hill Sztuka elektroniki, wyd. 3, WKŁ, 1996, dodatek E, str. 641

¹ Patrz EP 2/97

² Istotą modelowania jest reprezentowanie obiektu na pożądanym stopniu szczegółowości i dokładności. W makromodelu zazwyczaj dążymy do wiernego opisanego zachowań złożonego układu elektronicznego za pomocą mniejszej liczby elementów. Na przykład, kilka tranzystorów bipolarnych, tworzących stopień wzmacniacza operacyjnego może być zastąpione źródłem sterowanym. Przyspiesza to analizę, nie wpływając przy tym znacząco na jej dokładność.