

# Przedmowa

Książka, którą oddajemy do rąk Czytelników jest efektem wieloletniej pracy naukowo-dydaktycznej autorów. Ma ona służyć jako pomoc w samodzielnym projektowaniu i analizie małosygnałowych wzmacniaczy pasmowych, zarówno tranzystorowych, jak i wykorzystujących wzmacniacze operacyjne. W kolejnych rozdziałach podręcznika przedstawiono:

- zasilanie i stabilizację punktu pracy tranzystora bipolarnego i polowego,
- małosygnałowe wzmacniacze pasmowe, zbudowane na tranzystorach bipolarnych i polowych,
- wzmacniacze pasmowe ze sprzężeniami zwrotnymi,
- wzmacniacze ze sprzężeniem bezpośrednim,
- układy zbudowane na wzmacniaczach operacyjnych,
- wzmacniacze selektywne,
- praktyczne wprowadzenie w dziedzinę komputerowej analizy układów elektronicznych.

Każdy temat zawiera podstawy teoretyczne i przykłady z rozwiązaniami lub odpowiedziami.

W celu przygotowania Czytelnika do samodzielnego projektowania elementarnych układów elektronicznych główny wysiłek skierowano na usystematyzowanie podstawowych zależności służących analizie i projektowaniu układów oraz na opracowaniu zbioru przykładów, który obejmuje wszystkie zagadnienia ujęte w części teoretycznej. Znaczna część przykładów ma charakter analityczny, pozwalający na wyciągnięcie wniosków z wyników obliczeń i dokonywanie na ich podstawie uogólnień.

Założono, że umiejętności uzyskane w trakcie lektury niniejszego podręcznika, wsparte przeanalizowanymi przykładami, ułatwią Czytelnikowi samodzielną pracę w zakresie:

- wyboru i stabilizacji punktu pracy tranzystora bipolarnego i polowego,
- analizy wpływu punktu pracy na parametry elementu aktywnego i projektowanego układu,
- tworzenia modeli elementów aktywnych i identyfikacji ich parametrów,
- tworzenia, dla określonych warunków, schematów zastępczych układów, upraszczających obliczenia i analizę,
- projektowania podstawowych, liniowych układów elektronicznych, a w szczególności:
  - małosygnałowych, pasmowych wzmacniaczy  $RC$ , zbudowanych z wykorzystaniem tranzystorów bipolarnych i polowych, w tym wzmacniaczy z ujemnym sprzężeniem zwrotnym,
  - wzmacniaczy stałoprądowych, w tym w szczególności wzmacniaczy różnicowych, dla różnych konfiguracji układowych, w tym układów ze źródłem i z quasi-źródłem prądowym, z lokalnym sprzężeniem zwrotnym oraz z każdą możliwą kombinacją wejście-wyjście (symetryczne, niesymetryczne),
  - układów pracujących na wzmacniaczach operacyjnych,

- jedno- i wieloobwodowych wzmacniaczy selektywnych *LC*, wzmacniaczy z filtrami elektromechanicznymi, z tranzystorami stabilnymi i niestabilnymi.

W analizie układów elektronicznych stosowanej w podręczniku wykorzystano metody:

- zaciskową – związaną z macierzowym opisem wielowrotników,
- sieciową – obejmującą metody: węzłową i oczkową,
- inżynierską – polegającą na takich uproszczeniach i przekształceniach rozpatrywanego układu, które prowadzą do poszukiwanego rozwiązania. Metoda ta wymaga dobrego zrozumienia zasad działania układu i fizycznej interpretacji efektów uproszczeń.

Wykorzystano również przybliżone i numeryczne metody analizy układów, w tym elementarną teorię sprzężenia zwrotnego i iteracyjną metodę Newtona-Raphsona.

Ponieważ stosowanie wyłącznie jednej metody do analizy bardziej złożonych układów jest nieefektywne i bardzo pracochłonne, dlatego najczęściej zadanie dzielono na etapy i rozwiązywano z pomocą najlepszych dla danego etapu metod.

Uważamy za celowe, aby przed przystąpieniem do lektury Czytelnik przypomniał sobie podstawowe twierdzenia z teorii obwodów, na podstawie których dokonywane są przekształcenia schematów. Są to:

- twierdzenie o superpozycji,
- twierdzenia o źródłach zastępczych (Thevenina i Nortona),
- twierdzenie o kompensacji,
- twierdzenie o wzajemności.

Doskonałym uzupełnieniem tzw. „obliczeń ręcznych” i jednocześnie elementem kontroli poprawności otrzymanych wyników są programy z grupy *Electronics CAD* (ang. *Computer Aided Design*), tzn. programy komputerowego wspomaganie projektowania. Programy takie umożliwiają wszechstronne sprawdzenie zaprojektowanego układu. Ich potężne możliwości znacznie przekraczają zakres materiału prezentowanego w niniejszym podręczniku, gdyż symulacja urządzenia (układu) jest jedynie ich częścią składową. Dla przykładu program *PCB Designer With PSpice* firmy *OrCAD* umożliwia między innymi:

- edycję schematów składających się na urządzenie,
- analizę i optymalizację układów analogowych i cyfrowych,
- automatyczne projektowanie i optymalizację wielowarstwowych płytek drukowanych,
- tworzenie pełnej dokumentacji technicznej, w tym m.in. wykazów użytych elementów oraz plików sterujących ploterami, wiertarkami numerycznymi itp.

Ten pobieżny wykaz możliwości przykładowego pakietu *CAD* ma prawo wzbudzić w Czytelniku wątpliwości, co do celowości obliczeń ręcznych. Uważamy jednak, że programy komputerowe nie zastąpią klasycznych metod analizy z tych samych powodów, z których kalkulatory nie zastąpiły zajęć z matematyki.

Podstawą znakomitej większości symulatorów istniejących obecnie w ofercie rynkowej jest *Berkeley SPICE* – ang. *Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*, co w wolnym przekładzie oznacza *Program symulacyjny ze szczególnym uwzględnieniem układów scalonych* [1]. Program *SPICE* w swojej pierwotnej

postaci powstał na początku lat 70. na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley i w krótkim czasie zyskał akceptację wydziałów elektroniki wielu uczelni, a firmy programistyczne zaczęły zaopatrywać dynamicznie rozwijający się przemysł układów scalonych w jego pochodne. Swego rodzaju fenomenem jest, że program SPICE stał się standardem przemysłowym bez udziału jakichkolwiek komisji do spraw standaryzacji. Najważniejszą przyczyną tej wyjątkowej popularności był fakt, że SPICE powstał na uczelni państwowej i od początku był projektem publicznym. Początkowo traktowany jako pomoc naukowa dla studentów, szybko został zaakceptowany na wielu wyższych uczelniach na świecie. Absolwenci rozpoczynający kariery w przemyśle mogli otrzymać bezpłatną kopię programu i stosować go w pracy, przyczyniając się tym samym do wzrostu jego popularności. Wygoda użytkowania oraz wyjątkowa wiarygodność i dokładność obliczeń spowodowały, że SPICE stał się wzorcem programu przeznaczonego do analizy obwodów i obecnie jest użytkowany także przy projektowaniu układów złożonych z elementów dyskretnych.

SPICE był ostatnim z wielu programów do analizy układów elektronicznych powstałych na Uniwersytecie Kalifornijskim w Berkeley i w dużej mierze był pochodną opracowanego w latach 1968...1970, przez studenta Laurence'a W. Nagela pod kierunkiem Ronalda H. Rohrera, programu CANCER (ang. *Computer Analysis of Nonlinear Circuits, Excluding Radiation*). Program CANCER ujrzał światło dzienne w artykule [2] opublikowanym w roku 1971. W latach 1972...1983 w Berkeley kontynuowano rozwój programu i wprowadzano kolejne poprawki. Student Ellis Cohen – zapalony programista – dokonał w programie znaczących zmian i przetworzył program, jaki pozostawił Nagel, w profesjonalne oprogramowanie, określające nieformalny standard – **Berkeley SPICE 2G.6**. W roku 1983 SPICE 2G.6 udośćpnięto jako program typu *public domain*. Była to ostatnia wersja uniwersytecka napisana w języku FORTRAN, notabene do dziś dostępna w Berkeley.

W roku 1984 opublikowano poprawioną wersję napisaną w całości w języku C, oznaczoną numerem 3A.7, która stała się podstawą programu *PSpice* (ang. *Personal Spice*) [3] – pierwszej komercyjnej realizacji standardu SPICE na komputery osobiste klasy PC wprowadzonej na rynek przez firmę *MicroSim* z Laguna Hills w Kalifornii w roku 1985 (jedną z najpopularniejszych obecnie wersji tego programu jest *PSpice Studio* [4] firmy *Cadence Design Systems*). Od tego czasu program SPICE 3 był systematycznie rozwijany i otrzymywał kolejne numery wersji, jednak dopiero na początku 1992 r. pojawiła się wersja **Berkeley SPICE 3E.2**, która mogła zastąpić poprzedni standard, gdyż oprócz wielu dodatkowych udoskonaleń miała wszystkie możliwości wersji 2G.6. Pierwszym programem komercyjnym opartym na 3E.2 był *IsSpice 3* [5] amerykańskiej firmy *Intusoft*. Pojawił się pod koniec roku 1992 w pakiecie z graficznym edytorem schematów, edytorem tekstowym i postprocesorem graficznym. Pakiet pracował pod kontrolą systemu operacyjnego *DOS* (z nakładką umożliwiającą wykorzystywanie rozszerzonej pamięci operacyjnej komputera). Jedną z najnowszych, udokumentowanych wersji programu *Berkeley SPICE* jest wersja oznaczona numerem **3F.3** [6].

Zaprezentowany w ostatnim rozdziale książki program *IsSpice 4* [7], będący podstawą pakietu symulacyjnego *ICAP/4Win* (ang. *Interactive Circuit Analysis Program*

For Windows) firmy Intusoft, oferuje dodatkowo rozszerzenia języka SPICE opracowane w roku 1992 w *Georgia Institute of Technology* w Atlancie i znane pod nazwą *XSPICE*. Nowością w stosunku do pierwowzoru z Berkeley było zdefiniowanie oryginalnego języka opisu sprzętu analogowego, który upraszcza opis układów mieszanych, tj. analogowo-cyfrowych i umożliwia tworzenie własnych podprogramów. Cechy te znacznie zwiększają możliwości modelowania behawioralnego układów i systemów elektronicznych.

Znajomość programu symulacyjnego umożliwi Czytelnikowi weryfikację rozważanych w książce zagadnień oraz rozwiązanie najbardziej pracochłonnych przykładów ze zbiorów zaprezentowanych w poszczególnych rozdziałach. W wielu przypadkach niezbędne będzie rozszerzenie bibliotek programu [1] o elementy zebrane w dodatku H.

Pisząc niniejszy podręcznik przyjęliśmy następującą konwencję dotyczącą oznaczeń prądów i napięć:

- duża litera z dużą literą w indeksie dolnym oznacza wielkość stałą (np.  $I_A$ ,  $U_A$ ),
- duża litera z małą literą w indeksie oznacza amplitudę sygnału harmonicznego (np.  $I_a$ ,  $U_a$ ),
- mała litera z dużą literą w indeksie oznacza wielkość chwilową (np.  $i_A$ ,  $u_A$ ),
- mała litera z małą literą w indeksie oznacza wartość skuteczną składowej zmiennej (np.  $i_a$ ,  $u_a$ ).

W trakcie pracy redakcyjnej staraliśmy się wykryć i wyeliminować z tekstu książki wszystkie napotkane błędy, zdajemy sobie jednak sprawę, że pewne niedociągnięcia mogły pozostać niezauważone. W związku z tym będziemy wdzięczni wszystkim Czytelnikom, którzy zechcą przesłać pod adresem [ADobrowolski@wat.edu.pl](mailto:ADobrowolski@wat.edu.pl) swoje krytyczne uwagi związane z dostrzeżonymi błędami, jak również propozycje poprawek i uzupełnień.

Pragniemy wyrazić serdeczną wdzięczność Panu dr. inż. Zdzisławowi Chudemu za czas poświęcony na przeczytanie i korektę pierwszej wersji rękopisu oraz za słowa szczerzej krytyki i dyskusje, które przyczyniły się do wzbogacenia niniejszego opracowania. Osobne podziękowania składamy Recenzentowi książki Panu dr. inż. Michałowi Nadachowskiemu za wszystkie wnikliwe uwagi i życzliwość, konstruktywną krytykę.

Autorzy  
Warszawa, czerwiec 2005