

**Sławomir Iskierka, Janusz
Krzemiński, Zbigniew Weźgowiec**

**Symulacje komputerowe w
dydaktyce teorii obwodów
elektrycznych**

Dydaktyka Informatyki 5, 143-149

2010

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach
dozwolonego użytku.

Sławomir Iskierka, Janusz Krzemiński, Zbigniew Weźgowiec

SYMULACJE KOMPUTEROWE W DYDAKTYCE TEORII OBWODÓW ELEKTRYCZNYCH

Wstęp

Teoria obwodów elektrycznych jest działem elektrotechniki teoretycznej, obejmującym szeroki zakres zagadnień związanych z projektowaniem, budową i obliczaniem podstawowych parametrów układów składających się z elementów elektrycznych biernych i czynnych. Obwody te mogą być zasilane prądem stałym, zmiennym sinusoidalnym i odkształconym, okresowym i nieokresowym. Możliwa ilość wzajemnych kombinacji tych parametrów powoduje, że projektowanie i analiza obwodów elektrycznych jest zajęciem złożonym i pracochłonnym. Istnieje jednak możliwość zautomatyzowania tych czynności. Kluczowym zagadnieniem w tym przypadku jest opracowanie modelu matematycznego danego obwodu i wykorzystanie tego modelu do badań symulacyjnych. Mając model matematyczny, najdogodniej symulację tę przeprowadzić stosując techniki komputerowe. Stosowane dawniej techniki analogowe (z wykorzystaniem maszyn analogowych) straciły obecnie na znaczeniu i praktycznie nie są już wykorzystywane.

1. Wykorzystanie symulacji komputerowych do analizy obwodów elektrycznych

Rozwój informatyki i technik komputerowych spowodował, że stosowane dawniej metody symulacji opierające się bardzo często na badaniu laboratoryjnych modeli rzeczywistych, wykonanych w pewnej skali i przy określonych parametrach, straciły na znaczeniu. Tego typu symulacje były możliwe do realizacji tylko wtedy, gdy istniała możliwość zbudowania odpowiedniego modelu i wykonania na nim prób. Obiektem takim mógł być na przykład model samolotu badany w tunelu aerodynamicznym. Obwody elektryczne ze swej natury są podatne na badania laboratoryjne. Stosunkowo prosto je zrealizować w warunkach laboratoryjnych i przebadać ich właściwości. Zasadnicze problemy pojawią się z chwilą wzrostu ich złożoności wynikającej z dużej liczby elemen-

tów tak czynnych, jak i biernych, stopnia wzajemnego ich powiązania i sygnałów, jakie w nich przebiegają. Koszty tego typu badań i czas ich trwania zdecydował o coraz powszechniejszym wykorzystywaniu do ich analizy symulacji komputerowych.

Teoria obwodów rozwijała się wraz z rozwojem elektrotechniki, elektroniki, telekomunikacji i teleinformatyki. W początkowym etapie obwodami elektrycznymi były przede wszystkim układy prądu stałego. Wraz ze skonstruowaniem generatorów synchronicznych i umieszczeniu ich w sieci energetycznej rozpoczęła era prądów zmiennych sinusoidalnych a wraz z nią teoria je opisująca. Rozwijająca się elektronika a zwłaszcza zbudowanie pierwszego układu scalonego postawiło przed teorią obwodów nowe wyzwania związane z drastycznym wzrostem rozmiarów sieci mierzonej ilością umieszczonych w niej elementów. Powstanie układów wielkiej skali integracji zintensyfikowało te wyzwania.

Obecnie teoria obwodów elektrycznych to rozległa dziedzina elektrotechniki teoretycznej obejmującej takie klasyczne zagadnienia, jak [Cholewicki 1967]: obwody prądu stałego liniowe i nieliniowe oraz obwody magnetyczne, obwody prądu sinusoidalnego nierozgałęzione i rozgałęzione, czwórniki i filtry częstotliwościowe, linie długie czy też znane z energetyki obwody trójfazowe i wielofazowe.

Znane od dawna pojęcie obwodu elektrycznego (sieci elektrycznej) w klasycznym rozumieniu uległo obecnie znacznej ewolucji i rozszerzeniu. Jako sieci elektryczne traktuje się dzisiaj układy scalone wielkiej i bardzo wielkiej skali integracji, w których ilość użytych elementów dochodzi do wieluset tysięcy czy nawet milionów [Ogrodzki 1994]. Formalnie sieciami elektrycznymi są również sieci transmisji danych.

Obliczanie i analizę współczesnych obwodów elektrycznych skutecznie ułatwiają dostępne na rynku oprogramowania komercyjne pakiety, które między innymi umożliwiają ich symulację komputerową. Do najpopularniejszych z nich należą Matlab i MathCad, a program PSpice jest wprost dedykowany do symulacji komputerowych obwodów elektrycznych. Ich możliwości są bardzo rozbudowane, a szczegółowych informacji na ten temat można zaczerpnąć między innymi z [Zimny, Karwowski 1996] – program PSpice, [Zalewski, Cegiela 2000] – program Matlab, [Jakubowski 2000] – MathCad. Każda kolejna wersja z tych programów charakteryzuje się przede wszystkim rozbudowanymi możliwościami i coraz bardziej przyjaznym interfejsem użytkownika.

W praktyce szkolnej bardzo popularny program Excel może również być wykorzystany do przeprowadzania licznych symulacji komputerowych [Obecny 2002], [Zawadzki 2002]. Wykorzystując jego bardziej zaawansowane funkcje, w połączeniu z wykorzystaniem języka VBA, można zaprojektować w pełni profesjonalne aplikacje symulacyjne [Bullen, Bovey, Greek 2006], [Bourg 2006].

Skalę i zakres wykorzystania przedstawionych powyżej programów w procesie dydaktycznym powinien precyzyjnie ustalić prowadzący przedmiot. Skupienie się przede wszystkim na opanowaniu możliwie wielu funkcji tych programów i sprawnego posługiwania się nimi może w praktyce doprowadzić u studentów do fałszywego przekonania, że opanowali oni trudną sztukę analizy obwodów elektrycznych.

2. Problemy związane z wykorzystaniem symulacji komputerowych w dydaktyce

Jak wspomniano wyżej, teoria obwodów elektrycznych jest dziedziną obejmującą bardzo szerokie spektrum zagadnień, a wraz z rozwojem techniki staje przed koniecznością rozwiązywania coraz to bardziej złożonych problemów.

Rosnący stopień trudności zagadnień, którymi zajmuje się obecnie teoria obwodów elektrycznych stwarza konkretne wyzwania dla dydaktyki tego przedmiotu. Jednym z najistotniejszych z nich jest konieczność wykorzystywania przez współczesną teorię obwodów elektrycznych rozbudowanego aparatu matematycznego obejmującego takie zagadnienia, jak teoria równań liniowych i nieliniowych, równań różniczkowych, rachunek macierzowy, rachunek prawdopodobieństwa, a częstokroć również i statystyka. Jeżeli do tych zagadnień dołączyć coraz bardziej niezbędną w teorii obwodów elektrycznych teorię sygnałów wraz z jej aparatem matematycznym, to w całej rozciągłości jawią się problemy, przed jakimi staje wykładowca tego przedmiotu.

Na te merytoryczne problemy nakłada się dodatkowe i to bardzo uciążliwe, a mianowicie powszechnie znana niechęć naszej młodzieży do nauki matematyki i fizyki. Zjawisko to występuje już na najwcześniejszych etapach kształcenia, a jego skutki stają się najbardziej odczuwalne na kierunkach technicznych wyższych uczelni. Omawianie go jednak w tym miejscu wydaje się niecelowe, ze względu na fakt, że pomimo poświęcenia mu znacznej ilości narad i konferencji, publikacji naukowych i popularnonaukowych, stopień przygotowania kandydatów na politechniki z tych przedmiotów ulega i tak ciągłej degradacji.

Wobec powyższych faktów, przy prowadzeniu zajęć z teorii obwodów elektrycznych wykładowca i studenci stają przed swoistym dylematem. Jak pogodzić złożoność materii, jaką jest teoria obwodów elektrycznych z koniecznością nauczania studentów, przyszłych inżynierów, rozwiązywania konkretnych zagadnień technicznych związanych z ich projektowaniem, budową i analizą. Praktyka życia codziennego pokazuje dwa podstawowe podejścia dotyczące rozwiązania tego problemu, z możliwością ich dalszych modyfikacji w zależności od merytorycznego przygotowania studentów, ilości dostępnych laboratoriów i ich wyposażenia oraz możliwości wykorzystywania sprzętu komputerowego, z zainstalo-

wanymi legalnymi kopiami oprogramowania, umożliwiającego symulacje obwodów elektrycznych.

Pierwsze możliwe jest do realizacji, gdy grupa studentów charakteryzuje się wysokimi predyspozycjami intelektualnymi, odpowiednią wiedzą matematyczną, a przede wszystkim chęcią do nauki. W tym przypadku można zagadnienia z teorii obwodów elektrycznych rozwiązywać w sposób wydaje się najbardziej naturalny, a mianowicie, wykorzystując odpowiednie działy matematyki szczególnie omawiać poszczególne zagadnienia, ilustrując treść wykładu przykładami rozwiązań konkretnych zadań. Celowe wydaje się również zintensyfikowanie ćwiczeń laboratoryjnych z tego przedmiotu poprzez wymaganie od studentów nie tylko wykonania ćwiczeń praktycznych i sporządzenie odpowiednich protokołów, ale zweryfikowania również otrzymanych wyników pomiarów, a przynajmniej ich części, poprzez samodzielnie wykonane symulacje sporządzone w dowolnym języku programowania na modelu matematycznym. Wymóg ten, choć najprawdopodobniej wywoła w pierwszym odruchu protest części studentów, wydaje się kluczowym zagadnieniem w całym procesie dydaktycznym tego przedmiotu. Jego realizacja wymaga bowiem aktywności i zaangażowania studentów. Wynika to z konieczności opanowania przez nich nie tylko zagadnień teoretycznych związanych z teorią obwodów, podstawowych metod numerycznych wraz z ich ograniczeniami i wprowadzanymi błędami, ale również umiejętność programowania niezbędną do samodzielnego zrealizowania odpowiedniego programu symulującego badany praktyczny układ. Takie podejście gwarantuje studentom w pełni panowanie nad stosowanymi metodami numerycznymi, umożliwiając im w ten sposób świadomy wybór odpowiedniego algorytmu rozwiązania konkretnego zagadnienia, co ma szczególne znaczenie przy wykorzystaniu w przyszłej pracy zawodowej komercyjnych programów umożliwiających symulacje zagadnień z teorii obwodów.

Opracowanie odpowiedniego programu symulacyjnego obejmującego wybrane zagadnienia z teorii obwodów, na przykład prądy zmienne w obwodach jedno- i wielooczkowych, może być zagadnieniem zbyt obszernym do opracowania przez studenta w trakcie odbywania laboratorium. Celowe jest podzielenie tego zadania na dwa etapy. Pierwszy obejmowałby tylko konkretny układ badany na laboratorium, co wydaje się zdaniem do wykonania przez studenta w trakcie odbywania laboratorium. W drugim etapie można powiązać opracowanie bardziej rozbudowanego programu, uwzględniającego większą klasę zagadnień i odpowiedni interfejs użytkownika z odpowiednim tematem pracy dyplomowej. Przykładem takiego podejścia jest praca [Molik 2004], której celem było opracowanie programu dotyczącego podstawowych praw elektrotechniki w obwodach prądu stałego i zmiennego. Program ten został napisany przy użyciu Microsoft Visual C++ 6.0 znajdującego się w pakiecie programów Microsoft Visual Studio 6.0. Umożliwia on analizę obwodów prądu stałego i zmiennego jedno-

i wielooczkowych. Przykładowe okno programu dotyczące II prawa Kirchhoffa przedstawia rys. 1.

Tych umiejętności najczęściej pozbawieni są studenci, którzy teorię obwodów elektrycznych poznają poprzez ogólny wykład teoretyczny połączony z prowadzonymi w sposób klasyczny ćwiczeniami laboratoryjnymi, nawet przy realizowanych równocześnie ćwiczeniach tablicowych.

II prawo Kirchhoffa dla prądu przemiennego

I prawo Kirchhoffa: W dowolnym oczku obwodu elektrycznego prądu sinusoidalnego suma algebraiczna wartości chwilowych (suma geometryczna wartości składowych) sinusoidalnych napięć źródełowych jest równa sumie algebraicznej wartości chwilowych (sumie geometrycznej wartości składowych) napięć na elementach R, L, C wchodzących w skład rozpatrywanego oczka.

$$\sum_{k=1}^n (\mathbf{e}_k) = \sum_{k=1}^m (\mathbf{u}_k), \quad \sum_{k=1}^n (\mathbf{E}_k) = \sum_{k=1}^m (\mathbf{U}_k)$$

Schemat obwodu elektrycznego.

Przykład obliczeniowy do schematu:

$E1_m = 810$ [V], $R2 = 20$ [Ω], $L4 = 220$ [mH]
 $E2_m = 210$ [V], $R6 = 90$ [Ω], $C5 = 150$ [μF]
 $R1 = 70$ [Ω], $L3 = 10$ [mH], $C6 = 80$ [μF]
 $f = 122$ [Hz], $\phi_1 = 0$ [st], $\phi_2 = 0$ [st]

Równania do schematu dla wartości skutecznych w zapisie liczb zespolonych wynikające z I i II prawa Kirchhoffa:

dla węzła a: $i_1 - i_4 - i_6 = 0$ dla oczka 1: $E1 = U_{R1} + U_{L4} + U_{L3}$
 dla węzła d: $i_4 + i_6 - i_3 = 0$ dla oczka 2: $E2 = U_{L3} + U_{C5} + U_{R2}$
 dla węzła c: $i_6 + i_2 - i_3 = 0$ dla oczka 3: $0 = U_{L4} - U_{R6} - U_{C6} - U_{C5}$

$X_{L3} = 7.665488$ [Ω] $X_{C6} = 16.306859$ [Ω]
 $X_{L4} = 168.640694$ [Ω]
 $X_{C5} = 8.696991$ [Ω]

Rys. 1. Realizacja II prawa Kirchhoffa w programie symulacyjnym

Oprócz tych dwóch sposobów postępowania, istnieją oczywiście warianty pośrednie, w których student, oprócz wykładu teoretycznego i ćwiczeń laboratoryjnych, posługuje się do weryfikacji otrzymanych wyników wybranymi (najczęściej przez prowadzącego zajęcia) komercyjnymi programami symulacyjnymi obwody elektryczne, dostępnymi na rynku. Takie podejście umożliwia co prawda opanowanie któregoś z narzędzi komercyjnych, pozbawia jednak studentów możliwości świadomej weryfikacji możliwości, jakie dane narzędzia oferują. Dodatkowym zagrożeniem przy tego typu koncepcji prowadzenia zajęć wydaje się, ze względu na przykład na stan laboratoriów, pokusa realizacji coraz większej ilości ćwiczeń jako symulacji komputerowych.

Podsumowanie

Stosowanie symulacji, poprzez wykorzystanie komercyjnych programów komputerowych, w procesie dydaktycznym w przypadku każdego z przedmio-

tów powinno być szczegółowo i precyzyjnie przemyślane. Stosowane pakiety oprogramowania mają bowiem zgromadzoną poprzez ich twórców (najczęściej bardzo wybitne jednostki i zespoły) wiedzę, którą właśnie student powinien nabyć w drodze samodzielnej, indywidualnej nauki na uczelni. Symulacje winny być traktowane tylko jako środki pomocnicze, umożliwiające pokazanie większej liczby przypadków, obiektów lub zdarzeń, których powtarzanie wiązałoby się z mechanicznym kopiowaniem już opanowanych umiejętności i nawyków.

Należy dążyć do wymuszania opracowywania przez studentów własnych programów (nawet ułomnych) symulujących działanie badanych układów, zdarzeń, zależności. Programy te mogą być pisane z wykorzystaniem różnych programów lub platform programistycznych, w zależności od posiadanych przez nich umiejętności. Przykładowo Excel, Visual Studio to popularne pakiety oprogramowania, które z powodzeniem mogą być wykorzystane do stworzenia wielu użytecznych symulacji komputerowych badanych układów czy zjawisk.

Samodzielne pisanie programów pozwala ich autorom bardziej intuicyjnie poznać mechanizmy i idee zawarte w różnych algorytmach i metodach numerycznych. Zdobyta w ten sposób wiedza będzie bardzo pomocna w przyszłej działalności zawodowej.

Stosowanie symulacji komputerowych w przemyśle, gospodarce, ekonomii czy badaniach naukowych jest oczywiście niezbędne i częstokroć stanowi jedyną możliwość przeanalizowania konkretnych problemów. Są to jednak zagadnienia daleko wykraczające poza ramy prezentowanych powyżej rozważań.

Bibliografia

- Aho A., V., Hopcroft J., E., Ullman J., D. (2003), *Algorytmy i struktury danych*, Gliwice.
- Aho A., V., Hopcroft J., E., Ullman J., D. (2003), *Projektowanie i analiza algorytmów*, Gliwice.
- Banachowski L., Diks K., Rytter W. (2001), *Algorytmy i struktury danych*, Warszawa.
- Bourg D., M. (2006), *Excel w nauce i technice. Receptury*, Gliwice.
- Bullen S., Bovey R., Greek J. (2006), *Excel. Programowanie dla profesjonalistów*, Gliwice.
- Chocjan J., Drygala A., Kolmer A. (1979), *Zbiór zadań z teorii obwodów III*, Gliwice.
- Cholewicki T. (1967), *Elektrotechnika teoretyczna, tom I*, Warszawa.
- Cholewicki T. (1971), *Elektrotechnika teoretyczna, tom II*, Warszawa.
- Dahlquist G., Bjorck A. (1983), *Metody numeryczne*, Warszawa.
- Garczarczyk Z. (1988), *Metody numeryczne w elektrotechnice teoretycznej. Część I. Analiza obwodów liniowych i nieliniowych*, Gliwice.
- Iskierka I., Iskierka S., Krzemiński J., Popov J., Weźgowiec Z., (2001), *Ćwiczenia komputerowe. Visual Basic, Borland C++, Delhi, MathCad, Excel*, Częstochowa.
- Jakubowski K. (2000), *Mathcad 2000 Professional*, Warszawa.
- Korol J. (2001), *Visual Basic w Excelu 2000*, Warszawa.
- Kościelski A. (1997), *Teoria obliczeń. Wykłady z matematycznych podstaw informatyki*, Wrocław.
- Król A., Moczko J. (2000), *PSPice. Symulacja i optymalizacja układów elektronicznych*, Poznań.
- Lafore R. (2004), *Java. Algorytmy i struktury danych*, Gliwice.

- Liengme B., V. (2002), *Microsoft Excel w biznesie i zarządzaniu*, Warszawa.
- Lipiński W. (2005), *Teoria obwodów elektrycznych w programach MathCad i PSpice*, Szczecin.
- Loudon K. (2003), *Algorytmy w C*, Gliwice.
- Lubelski K. (1998), *Elektrotechnika teoretyczna. Obwody elektryczne prądu stałego*, Częstochowa.
- Majchrzak E., Mochnacki B. (2004), *Metody numeryczne. Podstawy teoretyczne, aspekty praktyczne i algorytmy*, Gliwice.
- Majewski A. (1984), *Komputerowe metody rozwiązywania zagadnień brzegowych*, Warszawa.
- Michalski W. (1996), *Arkusze kalkulacyjne w zastosowaniach praktycznych*, Warszawa.
- Molik D. (2004), *Podstawowe prawa elektrotechniki*, Częstochowa.
- Obecny A. (2002), *Statystyka opisowa w Excelu dla szkół*, Gliwice.
- Ogrodzki J. (1994), *Komputerowa analiza układów elektronicznych*, Warszawa.
- Sedgewick R. (2003), *Algorytmy w C++*, Warszawa.
- Stephens R. (2000), *Algorytmy i struktury danych*, Gliwice.
- Stoer J., Bulirsch R. (1980), *Wstęp do metod numerycznych*, Warszawa.
- Tyszler J. (1978), *Symulacja cyfrowa*, Warszawa.
- Walkenbach J. (2006), *Excel. Najlepsze sztuczki i chwytaki*, Gliwice.
- Wróblewski P. (2003), *Algorytmy. Struktury danych i techniki programowania*, Gliwice.
- Zachara Z., Wojtuszkiewicz K. (2000), *PSpice. Przykłady praktyczne*, Warszawa.
- Zalewski A., Cegiela R. (2000), *Matlab – obliczenia numeryczne i ich zastosowania*, Poznań.
- Zawadzki M. (2002), *Fizyka. Rozwiązywanie zadań w Excelu. Ćwiczenia praktyczne*, Gliwice.
- Zimny P., Karwowski K. (1996), *Spice. Klucz do elektrotechniki. Instrukcja, program, przykłady*, Gdańsk.