

III Konferencja

eTechnologie w Kształceniu Inżynierów eTEE'2016

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, 11 kwietnia 2016

KSZTAŁCENIE W ZAKRESIE PODSTAW ELEKTRONIKI WSPOMAGANE TECHNIKAMI E-LEARNINGOWYMI

Witold MACHOWSKI, Piotr DZIURDZIA, Jacek KOŁODZIEJ, Jacek STĘPIEŃ

AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Wydział Informatyki, Elektroniki i Telekomunikacji, Katedra Elektroniki
tel.: +48 12 617 2758 e-mail: witold.machowski@agh.edu.pl

Streszczenie: W artykule przedyskutowano kilkuletnie doświadczenia uzyskane podczas pilotażowego programu nauczania przedmiotów "Układy elektroniczne I i II" oraz „Symulacja układów elektronicznych” wprowadzonego przy uruchomieniu programu kształcenia w języku angielskim "Electronics and Telecommunications". Przedstawiona zostanie również koncepcja rozszerzenia technik e-usługowych na zdalne pomiary rzeczywistych układów elektronicznych pozwalających na wirtualny udział w zajęciach klasycznego laboratorium studenckiego np. studentom z ograniczeniami ruchowymi. Koncepcja ta była przedmiotem projektu o akronimie "WILISEK" (Wirtualne laboratorium systemów elektronicznych) złożonego na konkurs w ramach Małopolskiego Regionalnego Programu Operacyjnego na lata 2007-2013.

Słowa kluczowe: podstawy elektroniki, techniki symulacyjne, e-learning.

1. WPROWADZENIE

Obecnie coraz częściej wyrażany jest pogląd o nikłej wartości techniki analogowej (teoria obwodów, elementy, układy i systemy elektroniczne) w programach kształcenia inżynierów branży ICT. Myślą tak nie tylko studenci, ale także - choć może w mniej ostentacyjnej formie - część ich mentorów, nawet tych odpowiedzialnych za ich kształcenie. Takie podejście wynika w głównej mierze z ustawicznie rozwijającego się stanu techniki i oczekiwań, że programy studiów, aby objąć najnowsze osiągnięcia branży, muszą siłą rzeczy zostać „odchudzone” o elementy bezpośrednio mniej użyteczne, bo we współczesnej elektronice dominuje technika cyfrowa. Tym niemniej na przykład przy przesyłaniu danych cyfrowych, niezależnie od medium transmisyjnego wraz ze zwiększającymi się prędkościami transmisji zawsze w głębszej analizie pojawią się zjawiska przypominające o analogowej w istocie strukturze otaczającej nas rzeczywistości. W terminologii angielskiej jest to oddane trafnie w postaci stwierdzenia „*digital goes analog*” i dlatego dobrze wykształcony inżynier branży elektrycznej, elektronicznej, telekomunikacyjnej i teleinformatycznej powinien dobrze rozumieć technikę analogową.

Każdy, kto prześledzi katalogi kursów oferowanych przez wydziały inżynierii elektrycznej i komputerowej (w świecie anglosaskim bardzo często *Electrical Engineering* jest łączone z *Computer Science* tworząc akronim EECS) czołowych uniwersytetów czy politechnik z

pewnością dostrzeże jak istotnym elementem oferty akademickiej są przedmioty w naszej rzeczywistości często ignorowane. Co więcej bardzo często autorami takich prowadzonych na dość elementarnym poziomie kursów są profesorowie o uznanym międzynarodowo dorobku naukowym. Będące owocem podjęcia takich wyzwań edukacyjnych podręczniki [1-4] uzupełniają wcześniejszy dorobek publikacyjny autorów, znanych czasami, jako twórcy znacznie bardziej zaawansowanych tematycznie monografii [5-7] czy też artykułów w czasopismach i wystąpienia konferencyjnych. Można tu dostrzec pewną analogię historyczną do misji R. Feynmana, który jako uznany naukowiec (kandydat do nagrody Nobla) na początku lat sześćdziesiątych ubiegłego wieku zdecydował się, ku zaskoczeniu środowiska, na wykładanie podstaw fizyki studentom kursów wstępnych na California Institute of Technology. Rezultatem tych wykładów jest najpopularniejszy chyba trzypomowy podręcznik fizyki [8], który pomimo upływu ponad pięćdziesięciu lat zachwyca swoją świeżością i zgodnie z przecuciem samego autora, przypominanym we wstępie do nowszych wydań – jest jego swoistym „pomnikiem”. Analogia z Richardem Feynmanem jest też innego rodzaju – Leopold Infeld scharakteryzował go w przedmowie do [8] jako typ wykładowcy, który nie epatuje słuchaczy postawą „patrzcie, jaki jestem mądry”, ale potrafi przybliżyć złożoną tematykę zdając się mówić „patrzcie, jakie to proste”. To uczucie towarzyszyło nam, gdy z uwagi na otwieranie studiów w języku angielskim dla kierunku Elektronika i Telekomunikacja, zaczęliśmy poszukiwać odpowiedniej do zarekomendowania studentom literatury przedmiotu w tymże języku. Bo pomimo faktu, że większość studentów kierunku Electronics and Telecommunications to Polacy, którym w praktyce można polecić dostępne i zalecane pozycje krajowego piśmiennictwa, wśród słuchaczy kursu rokrocznie są osoby nieposługujące się naszym językiem - albo odbywające regularne studia na naszej uczelni, albo przebywający w niej czasowo, w ramach różnych programów międzynarodowej wymiany studentów.

Podręczniki takie jak [1-4] nie mają niestety wśród znanych nam pozycji odpowiedników napisanych w języku polskim. Większość krajowych pozycji jest przeładowana złożonymi wzorami, będącymi wprawdzie wynikiem poprawnej analizy modelu matematycznego, ale o nikłej wartości praktycznej, niebudującej intuicji, ani

wspomagającej zrozumienia problemu. Allen i Holberg słusznie zauważają [9] „*one of the difficulties with straightforward algebraic analysis is that often the answer, while correct, is meaningless*”.

2. IDENTYFIKACJA I ANALIZA PROBLEMÓW

W nauczaniu fizycznych podstaw elektroniki jak mało gdzie indziej sprawdza się paradygmat "*learning by doing*" jako najlepsze podejście edukacyjne, tkwiące swoimi korzeniami w myśli konfucjańskiej Xun Kuanga, a często też przypisywane Benjaminowi Franklinowi - "*Tell me and I forget, teach me and I may remember, involve me and I learn*".

Nawet stosunkowo nieskomplikowane struktury połączeniowe pojedynczych prostych elementów tworzą układy o złożonych właściwościach, które student powinien poznać przede wszystkim w sposób intuicyjny i praktyczny. Niestety w obecnych realiach wszechobecnego trendu redukcji kosztów obsługi technicznej zauważalnym staje się zanik (czasem całkowity) demonstracji podczas wykładów – nawet fizyki, podczas gdy starsze podręczniki podstaw elektroniki (np. [9]) demonstracje takie uważają za oczywistość, skoro na końcu każdego rozdziału zawierają sugestie dla przygotowujących i przeprowadzających pokazy wykładowe.

Osobnym problemem są zajęcia laboratoryjne, bez których wszelkie zagadnienia omawiane na wykładach czy opisywane w studiowanych podręcznikach są absolutną abstrakcją, co powoduje, efekt zamkniętego koła – student nie rozumie podstawowych zjawisk, dlatego brak zrozumienia pogłębia się wraz z wchodzeniem w zagadnienia bardziej zaawansowane. Prowadzić to może i najczęściej prowadzi do mniejszego lub większego zniechęcenia i podchodzenie do przedmiotów związanych z techniką analogową tylko i wyłącznie jako formalnej uciążliwości związanej z koniecznością ich zaliczenia. Przy powszechnym stosowaniu prostych w poprawianiu testów, jako wygodnej formy egzaminacyjnej często zdarza się, że studenci, pomimo formalnego zaliczenia przedmiotu nie wynoszą zakładanych efektów kształcenia, co odbija się później negatywnie na zrozumieniu i korzystaniu z przedmiotów bardziej zaawansowanych.

Z drugiej strony uważny obserwator życia akademickiego z przykrością przyzna, że gorzkie (przynajmniej w obszarze techniki) owoce przyjęcia kilka lat temu systemu bolońskiego mają co najmniej kilka przyczyn. Jedną jest niewątpliwie coraz słabszy poziom wiedzy matematyczno-fizycznej absolwentów szkół średnich, niezbędnej przecież dla studiowania kierunków technicznych. Drugą - niż demograficzny wśród roczników potencjalnych studentów, duża liczba szkół wyższych – publicznych i prywatnych, walczących o kandydatów w sposób będący już przedmiotem skeczy kabaretowych. Ale nauczyciele akademicy z dłuższym stażem muszą także przyznać uczciwie, że reorganizacja studiów i reforma programowa z tym faktem związana, nie jest w praktyce tak gruntowna, jak powinno to wynikać z jej podstawowych założeń. W wielu przypadkach to, co dawniej było realizowane w dwu- a nawet trysemestralnych cyklach, niejednokrotnie - bez istotnych redukcji treści - próbuje się wtłoczyć w przedmiot prowadzony przez jeden semestr w wymiarze 3 godzin tygodniowo. Nie chodzi to o ocenę tego zjawiska, tylko samo stwierdzenie faktu. Zjawisko można bowiem zrozumieć – przedmioty podstawowe są

prowadzone dla zazwyczaj bardzo dużych grup studenckich, nauczanie poszczególnych przedmiotów, a nawet ich układ i nazewnictwo mają tradycję sięgającą czasem dziesięcioleci i wobec licznej i zmieniającej się obsady kadrowej – zwłaszcza dla zajęć laboratoryjnych odbywanych w ramach przygotowanych stanowisk i ściśle opracowanych instrukcji typu „krok-po-kroku” a nawet przygotowanych formularzy sprawozdań z pomiarów nie jest sprawą prostą i każda rewolucyjna zmiana wymaga tu daleko posuniętej ostrożności i rozwagi.

3. EKSPERYMENT NA MAŁEJ GRUPIE

Dobłą okazją do gruntownych systemowych zmian programu i zasad odbywania laboratorium z przedmiotu „Analog Electronic Circuits I” było uruchomienie w 2010 roku naboru na kierunek „Elektronika i Telekomunikacja” prowadzony w całości w języku angielskim. Jest on dotąd jednym z dwu (obok „Mechatroniki”) programów inżynierskich prowadzonych w języku obcym na Akademii Górniczo-Hutniczej, a jednym z motywów jego uruchomienia było stworzenie oferty dydaktycznej dla zagranicznych studentów przyjeżdżających w ramach programów wymiany – przede wszystkim ówczesnego programu Erasmus, gdyż odnotowywano wyraźny brak równowagi pomiędzy liczbą studentów wysyłanych w jego ramach na europejskie uniwersytety a liczbą studentów stamtąd przyjmowanych. Oczywiście trzon stanowić mieli studenci rekrutowani w ramach normalnego naboru, a zatem przyjmowanie pojedynczych studentów zagranicznych na poszczególne przedmioty nie generuje żadnych dodatkowych kosztów. W pierwszym roku rekrutacji przyjęto około 30 osób, z czego pierwszy rok zaliczyło mniej więcej 60% przyjętych. Grupa około dwudziestu osób jest w sam raz populacją, na której można wdrażać programy pilotażowe, zatem autorzy artykułu, którzy zostali odpowiedzialnymi za zajęcia ze wspomnianego przedmiotu, przy słabo wyrażanym sprzeciwie ówczesnego kierownictwa Katedry Elektroniki zaryzykowali dość istotne zmiany tak w zakresie treści jak i formy zajęć.

Podstawowym było urealnienie zakresu materiału. Po wyborze [1] jako rekomendowanego podręcznika i dokładnym przeglądzie treści, ze zdumieniem stwierdziliśmy, że zawiera on materiał na dwusemestralny kurs podstaw mikroelektroniki. Ale dokładniejsze przyjrzenie się dostępnym za pośrednictwem Internetu repozytoriom zasobów dydaktycznych (np. [10]) pozwala stwierdzić, że trzydzieści półtoragodzinnych wykładów pokrywa tylko część materiału podręcznika (choć należy uczciwie przyznać, że obejmuje on też zagadnienia poruszane w ramach odrębnego w AGH przedmiotu „Elementy elektroniczne”), a sama jego zawartość „układowa” jest skromniejsza niż w podręcznikach od lat rekomendowanych studentom analogicznego kursu prowadzonego w języku polskim. Czy zatem nasi studenci są znacząco lepiej przygotowani i zdecydowanie zdolniejsi w przyswajaniu nowej wiedzy niż ich koledzy z Cal - uniwersytetu należącego do pierwszej dwudziestki światowych rankingów?

Drugim zagadnieniem był sposób wykładania i układ treści. Fascynacja (głównie ze strony wykładowców) możliwościami środków wizualnych, kusząca tym bardziej, że dla większości podręczników zagranicznych znajdujących się w sprzedaży, zarejestrowani użytkownicy o statusie nauczyciela akademickiego mogą uzyskać dostęp do

towarzyszących książce „*companion sites*” oferującym między innymi komplety slajdów w formacie Powerpoint trwa jednak krótko. Sam autor [1] przygotował taki komplet materiałów uzupełniających, w zawartej w książce przedmowie kierowanej do wykładowców apeluje jednak o rozważenie wszelkich za- i przeciw- slajdom i tablicy. Deklaruje przy tym własne zdanie, według którego „*good old blackboard is still the best medium for teaching undergraduate microelectronics*”. Własne doświadczenia z przestrzeni pięciu ostatnich lat pozwalają nam podzielić to przekonanie w całej rozciągłości, głównie dlatego, że konieczność wykonywania przez studentów notatek z wykładu jest formą aktywizującą.

W stosunku do układu treści, po pominięciu rozdziałów związanych z przyrządami półprzewodnikowymi, zdecydowano się na istotną zmianę kolejności wykładu. Podręcznik Razaviego [1] wciela na swój sposób naturalny sposób narracji przyjmując kolejność prezentacji od szczegółu do ogółu (ang. *Bottom-Up*). Z grubsza rzecz biorąc polega to na omawianiu układów w kolejności ich złożoności topologicznej – poczynając od najprostszych struktur jedno-tranzystorowych przez elementarne bloki funkcjonalne do złożonych układów i systemów. Alternatywnym i coraz powszechniejszym w wielu programach i podręcznikach jest system od ogółu do szczegółu (ang. *Top-Down*) [2-4] gdzie najpierw rozważa się funkcjonalność bloku a dopiero później – jego implementację układową. W przełożeniu na konkrety omawianego przedmiotu – różnica pomiędzy tymi dwoma podejściami sprowadza się do tego, czy student najpierw zaznajamia się ze wzmacniaczem operacyjnym a w następnej kolejności ze wzmacniaczami z pojedynczym tranzystorem, czy też na odwrót. Wybór pierwszej opcji, był podyktowany przede wszystkim analizą wcale nie hipotetycznej sytuacji studenta, nieobebranego wcześniej z układami elektronicznymi a przekraczającego próg laboratorium.

W laboratorium wyposażonym w prawidłowo zaprojektowane i wszechstronnie przebadane modele podstawowych układów – jak na przykład opisane w [11] student uczestniczy dość biernie. Naszym celem była istotna aktywizacja studenta podczas zajęć laboratoryjnych, przy czym na obecnym etapie koncepcja laboratorium, jako warsztatu, dostępnego – jak biblioteka – przez większość dnia, w którym student, po wcześniejszej rezerwacji zasobów sam na swoją rękę może przeprowadzić przewidziane eksperymenty i pomiary jest jeszcze i zapewne długo jeszcze będzie nierealizowalna. Wyjściem z sytuacji jest więc laboratorium regularne, o normalnie harmonogramowanych zajęciach, ale w którym student jest w większym stopniu zaangażowany w konstrukcję fizyczną analizowanego obwodu. Jest to zatem laboratorium o „wysokim stopniu swobody” według klasyfikacji Tsividisa [12]. Korzyści odnoszone z tego tytułu są wielorakie – student ma okazję popełnić błędy w topologii połączeń i diagnozować takie błędy, ma fizyczny kontakt z elementami, poznając w praktyce używane sposoby etykietowania i kodowania wartości elementów i kolejność końcówek dla elementów wielokońcówkowych, co usprawnia mu późniejsze projektowanie płytki drukowanej (PCB). Dla usprawnienia i podniesienia bezpieczeństwa (ryzyko poparzeń narzędziami lutowniczymi) na wstępnym poziomie zazwyczaj rezygnuje się z konwencjonalnych w masowej produkcji i profesjonalnym prototypowaniu połączeń

lutowanych, zastępując je prototypowymi płytkami stykowymi (ang. *solderless protoboard*).

Przy takich założeniach podstawowych, istotnym jest wczucie się w sytuację studenta rozpoczynającego zajęcia w laboratorium układów elektronicznych. Są to zajęcia rozpoczynające się trzecim semestrze, a więc na początku drugiego roku. Student na tym etapie, o ile nie jest absolwentem średniej szkoły technicznej ma bardzo skromną praktykę w posługiwaniu się podstawowym sprzętem pomiarowym. Z drugiej strony przy założeniu laboratorium o charakterze „konstrukcyjnym” należy ważnym aspektem jest zasadnicza różnica pomiędzy wzmacniaczem zbudowanym z wykorzystaniem pojedynczego tranzystora a takim, który używa wzmacniacza operacyjnego. O ile ten drugi wystarczy odpowiednio podłączyć do napięć zasilających, żeby otrzymać funkcjonującą aplikację, dla wzmacniacza na pojedynczym tranzystorze konieczne jest właściwe zaprojektowanie i dobranie co najmniej 3-4 rezystorów dla uzyskania właściwej polaryzacji wstępnej. Ma to ogromne znaczenie dla studenta, bo oczywiście dla obu układów zawsze możliwe jest nieprawidłowe wykonanie połączeń, tym niemniej dla eksperymentu ze wzmacniaczem operacyjnym szansa sukcesu w postaci prawidłowo działającego układu jest bardzo duża, nawet, gdy elementy student dobierze w sposób nie tyle kunsztowny, co (niemal) dowolny. W ten sposób odwołujemy się (z zachowaniem proporcji oczywiście) do efektu w psychologii zwanego „prawem pierwszych połączeń”. Satysfakcja i radość, którą każda działalność powinna przynosić, osiągnięta na samym początku działalności może być (i jak obserwujemy – jest) ogromnym czynnikiem motywującym, podczas gdy porażka, zwłaszcza, gdy przychodzi jako pierwsze doświadczenie jest czynnikiem frustrującym. A pozostawiając na późniejszy okres dokładniejszą analizę z uwzględnieniem zjawisk o drugorzędym znaczeniu, student jest gotowy do eksperymentów ze wzmacniaczami operacyjnymi już po półgodzinnym wprowadzeniu na pierwszym wykładzie, bez konieczności opóźnienia między wykładem i ćwiczeniami rachunkowymi a laboratorium.

4. SYMULACJA JAKO ELEMENT WSPARCIA PROCESU UCZENIA

Przedstawione powyżej rozważania sprowadzają się w istocie do kwestii trudności, jakie student napotyka przy analizie zagadnień nieliniowych. O ile najprostsze układy ze wzmacniaczami operacyjnymi ze swojej natury mogą być analizowane wstępnie technikami, które student poznał wcześniej na zajęciach z „Teorii Obwodów”, to dla układów elementarnych z pojedynczymi tranzystorami nieliniowość charakterystyk musi być brana pod uwagę od samego początku. Niestety studenci nie są przygotowani do tego zadania – ani w ramach teorii obwodów, ani co szczególnie zaskakujące nie mają po zajęciach z analizy matematycznej wyrobionej intuicji lokalnej aproksymacji funkcji jej pochodną.

Wylizanie najprostszych danych – choćby punktu pracy dla układów bipolarnych ze względu na występujące nieliniowe zależności prądowo-napięciowe o charakterze eksponencjalnym nie jest możliwe w formie analitycznej. Da się to zrobić jedynie metodami przybliżonymi, opartymi o nomogramy i inne metody graficzne, albo metodami iteracyjnymi. Jednak od lat 70 ubiegłego wieku dostępne jest narzędzie (notabene uznane w 2011 roku przez IEEE jako kamień milowy rozwoju inżynierii elektrycznej i

komputerowej) symulator SPICE [13], który dzięki powszechnemu dostępowi do komputerów osobistych może być używany przez studentów jako istotne wsparcie edukacyjne. Oczywiście nie umniejsza to w żaden sposób rangi przybliżonych metod rachunkowych z użyciem kartki papieru i długopisu, tym niemniej jak pisze Hans Camenzind [14]: „*Ważne jest dobre zrozumienie podstaw, ale obliczanie szczegółów każdego projektu jest stratą czasu. Niech ten przykry obowiązek spełnia symulator – robi to szybciej i lepiej niż człowiek*”.

SPICE (Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis) pomyślany pierwotnie jako wsparcie dla wąskiej grupy specjalistów projektujących układy scalone dawno już wyszedł ze swojej pierwotnej niszy do szerokiego grona odbiorców w tym hobbystów i studentów. W zasadzie standardem przyjętym na całym świecie jest włączenie SPICE do programu studiów – bądź to w ramach kursu układów elektronicznych lub gdzieś w postaci odrębnego kursu. W naszym środowisku, które może poszczycić się pierwszą wydaną w ogólnopolskim wydawnictwie monografią i podręcznikiem użytkownika [15] programu, przyjęty jest ten drugi wariant. Oczywiście przy takim wyodrębnieniu przedmiotem dyskusji jest wzajemne powiązanie, a zwłaszcza relacja czasowa obu rozważanych kursów. I na przestrzeni kilkunastu lat w różnych planach studiów występowały różne sekwencje. Na pewnym etapie modyfikacji harmonogramów kierunku „Electronics and Telecommunications”, bardziej przypadkowo niż wskutek głębokiego namysłu, oba przedmioty umiejscowiono (inaczej niż w planie „polskim”) w tym samym semestrze. W związku ze swoista „unią personalną”, jaka występuje w obsadzie obu kursów prowadzonych w języku angielskim postanowiliśmy wykorzystać tkwiącą w tym synergii i w większym stopniu zsynchronizować, ale i poprzeplatać treści kształcenia dla obu przedmiotów tak, aby przerabiane w ich ramach zagadnienia wzajemnie się uzupełniały i objaśniały.

5. WSPARCIE E-LEARNINGOWE

W kontekście e-technologii najważniejszym elementem jest użycie platformy edukacyjnej moodle i oferowanych przez nią mechanizmów. Przy wspomnianym powiązaniu i synchronizacji kursów platforma e-learningowa przestaje być jedynie wirtualną „gąbłotką”, na której zamieszcza się slajdy czy notatki z wykładów, zadania domowe i instrukcje do ćwiczeń. Dzięki mechanizmom zadań i quizów może stać się mechanizmem wymuszania na studencie właściwego przygotowania do zajęć laboratoryjnych gwarantującego efektywne i owocne wykorzystanie czasu spędzanego w laboratorium na zajęciach. Zamiast kartkowego sprawdzianu na początku zajęć można wprowadzić egzekwowalny za pomocą platformy e-learningowej moduł zadania czy quizu stanowiący dopuszczenie do ćwiczenia. Niestety tak jak z wspomnianym wyżej „wymuszeniem” przygotowania do zajęć zderzenie z wykazywaną pomysłowością studentów przynosi gorzkie refleksje dotyczące (nie)uczciwości akademickiej. Otóż mechanizmy na platformie moodle tzw. quizy z losowanymi z przygotowanej bazy zadaniami typu obliczeniowego przewidują możliwość wielokrotnego podejścia do zadania, ale ponieważ te zadania dedykowane są zasadniczo do rozwiązywania bez kontaktu z nauczycielem jedną z opcji jest zaznajamianie uczestnika z poprawną wartością (zazwyczaj dopuszczalny jest także margines błędu związany z przybliżeniem inżynierskim)

odpowiedzi liczbowej na zadanie. Z drugiej strony miarą sprawności studenta jest szybkość udzielenia odpowiedzi i takie ograniczenie też może być wprowadzone. Niestety przy ustawionym braku ograniczenia liczby podejść zaobserwowano wymyślną technikę polegającą na tym, że studenci bardzo szybko dokonują wielu prób – tylko i wyłącznie po to, aby zapoznać się z wariantami liczbowymi zadania i „polują” następnie na powtórzenie się zestawu danych, co oczywiście musi nastąpić nawet, gdy baza pytań zawiera ich kilkadziesiąt. W krajowych realiach zawsze zmagaliśmy się z problemem społecznego przyzwolenia na ściąganie lub oszukiwanie na egzaminach w inny sposób i marną pociechą jest to, że choroba ta dotyka kraje, w których zjawiska te dotąd z determinacją zwalczano [16]. Koniecznością stało się więc istotne ograniczenie w liczbie dozwolonych podejść

5.1. Narzędzia symulacyjne

Program SPICE powstał jako efekt programu badawczego finansowanego ze środków budżetowych i dlatego efekt tego projektu, którym był kod źródłowy w języku FORTRAN był do dyspozycji fundatorów, czyli amerykańskich podatników. W zasadzie jest to chyba pierwszy produkt softwarowy typu OpenSource, choć wtedy (’70) jeszcze tego pojęcia. Wraz z rozwojem komputerów osobistych pojawił się wkrótce w wielu wersjach komercyjnych, ale i darmowych. Jednym z bardziej popularnych jest wersja, której obecnym właścicielem jest firma Cadence – pochodząca z połowy lat osiemdziesiątych wersja PSPICE – pierwsza kompilacja na platformy IBM PC. Współcześnie większość wersji – w tym pakiet PSPICE uzupełniony jest całą gamą narzędzi pomocniczych pozwalających na wprowadzenie analizowanego obwodu w postaci graficznej, biblioteki elementów dostępnych na rynku półprzewodników i wiele innych dodatków w stosunku do oryginalnej wersji [13]. Jednak przyjętą filozofią jest zapoznanie studentów z historyczną syntaktyką programu i interfejsem tekstowym – takim, jaki obowiązywał w chwili powstania. Pomimo pewnego oporu ze strony studentów koncepcję uważamy za właściwą. Syntaktyka programu jest zdecydowanie prostsza niż jakichkolwiek języków programowania, więc student może zapoznać się z nią w miarę szybko. Z drugiej strony do przeanalizowania prostego układu zawierającego kilka zaledwie elementów prościej jest napisać taką samą liczbę linijek tekstu niż narysować schemat w złożonym środowisku graficznym. Dodatkowo student poznawszy ten typ interfejsu (zwany zazwyczaj z angielskiego *netlistą*) bez większego problemu przeprowadzi prawidłową symulację w innym wariantcie programu, a przeprowadzenie mniej standardowych analiz czy dołączenie dostępnych w sieci modeli elementów jest zgoła niemożliwe bez znajomości tego poziomu abstrakcji.

Pewnym utrudnieniem w egzekwowaniu zadań, które mają być rozwiązane za pomocą symulatora może być kwestia oprogramowania. W laboratorium studenckim korzysta się z darmowej wersji hobbystycznej (*Lite*) programu PSPICE [17] umożliwiającej wszelkie możliwe do wykonania typy analiz dla układów zawierających nie więcej niż 20 tranzystorów, co wielokrotnie przekracza złożoność układów analizowanych przez studentów na tym etapie. Jednak nie wszyscy studenci chcą lub mogą zainstalować tę wersję na używanych przez siebie komputerach domowych – a przeniesienie części aktywności edukacyjnych do pracy samodzielnej jest istotnym założeniem. Pewnym

rozwiązaniem może być użycie wygenerowanych przez użytkowników za pomocą specjalnych narzędzi wersji przenośnej (ang. *portable*) aplikacji, co nie wymaga poprzedniej instalacji i nie zostawia żadnych trwałych śladów w systemie. Innym rozwiązaniem jest użycie znacznie mniej rozbudowanej wersji programu o nazwie LTSpice [18] oferowanego za darmo przez firmę Linear Technology. Jego podstawowymi zaletami jest brak jakichkolwiek ograniczeń – ani co do rozmiaru analizowanego układu, ani wykorzystania wyników symulacji (większość darmowych narzędzi symulacyjnych dopuszcza tylko użytek edukacyjny i hobbystyczny *non-profit*). Istotnym jest też dostępność kodu wykonywalnego na platformę Mac OS.

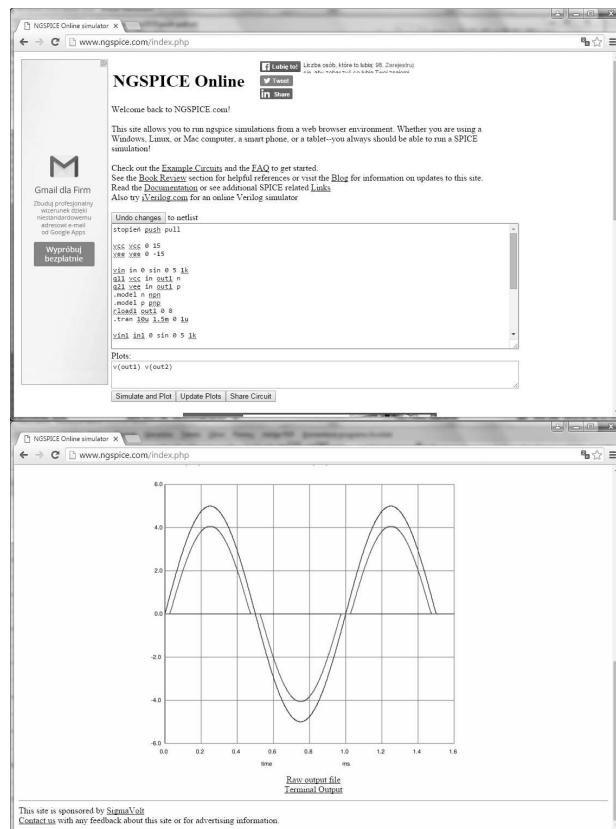
Z punktu widzenia egzekwowalnych obliczeń w ramach zadań domowych, zwłaszcza przy zastosowaniu pytań liczbowych i założeniu automatycznego oceniania/(dopuszczania do powiązanych problemów w programowanej ścieżce aktywności) istotne jest jednak użycie przez wszystkich studentów tego samego narzędzia, gdyż identyczne parametry wejściowe mogą być nieco różnie interpretowane przez różne warianty symulatora, w granicznym przypadku prowadząc nawet do błędów katastrofalny – powodujących odmowę uruchomienia zadania z uwagi na błędy syntaktyki (taka jest cena niezależnego przez kilkadziesiąt lat rozwoju poszczególnych „gałęzi” „drzewa” SPICE). Ten problem przestaje jednak istnieć, gdy wraz z rozwojem usług sieciowych dostępne stały się portale pozwalające na wykonywanie symulacji zadanej przez klienta sieci na maszynie serwera. Jednym z takich portali jest strona NGSPICE online [19], gdzie za cenę oglądnięcia kilku reklam użytkownik może przesyłować przygotowaną przez siebie *netlistę* i otrzymać wykresy interesujących go przebiegów. Na rysunku 1 przedstawiono zrzuty ekranu z tej aplikacji.

5.2. Ocena efektów

Z uwagi na niezbyt długi czas trwania pilotażu w całkowicie niezmiennych warunkach dość trudno jest sformułować bezdyskusyjne miary wzrostu jakości kształcenia, zwłaszcza, że odniesienie do ewentualnej grupy referencyjnej – studentów kursu w języku polskim nie może na razie być porównaniem „*ceteris paribus*”. W historii rekrutacji na kierunek prowadzony w języku polskim i angielskim występowało dość istotne zróżnicowanie wymaganego tzw. wskaźnika rekrutacyjnego, co oznacza, że potencjał obu grup studenckich nie był porównywalny i studenci E&T w powszechnym przekonaniu są nieco słabsi. Jest niezaprzeczalnym, że studenci E&T dobrze odbierają ofertę i chętnie przyjmują taką formę zajęć. Ponieważ jeden z autorów (WM) prowadził w tym roku akademickim seminarium dyplomowe obejmujące między innymi repetytorium z przedmiotów kierunkowych, może z odpowiedzialnością stwierdzić, że trwałość efektów kształcenia w zakresie podstaw elektroniki w obu grupach jest porównywalna, pomimo zauważalnej różnicy w wynikach testów zbiorczych.

6. PERSPEKTYWY

Opisane rozwiązania dotyczą kursu akademickiego realizowanego metodą konwencjonalną, gdzie techniki e-learningowe są tylko uzupełniającą i wspierającą formą zajęć. Jednak w perspektywie rozwoju e-usług autorzy przeprowadzili studium wykonalności [20] projektu efektem,



Rys. 1. Aplikacja NGSPICE Online – pokazano okno wprowadzania zadania symulacyjnego w postaci tekstowej oraz przebiegi wyjściowe. Przykład dotyczy metody eliminacji tzw. zniekształceń skrośnych w przeciwnym wzmacniaczu mocy

którego byłyby system nauczania podstaw elektroniki byłby w jeszcze większym stopniu oparty o usługi dostępne.

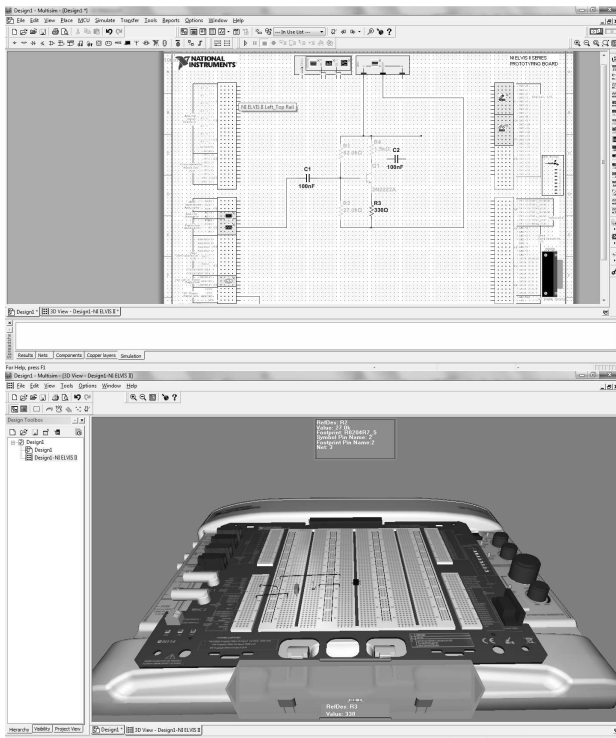
Zasadniczym i istotnym elementem byłoby tu rozszerzenie o możliwość zdalnego dokonywania pomiarów rzeczywistych układów elektronicznych wykonanych już nie osobiście przez studenta (lub uczestnika kursu zawodowego), ale według jego projektu zweryfikowanego wcześniej za pomocą symulatora Multisim firmy National Instruments – jest to zasadniczo też jedna z odmian SPICE, o rozbudowanym interfejsie graficznym [21].

Istotą pomysłu jest użycie urządzeń o nazwie ELVIS II produkowanych przez tę samą firmę, a które pozwalają na wykonywanie pomiarów elektrycznych – prądów i napięć stałych i zmiennych, oscyloskopowanie i wyznaczanie charakterystyk częstotliwościowych układów w oparciu tylko o to urządzenie oraz komputer osobisty PC. Ze względu na to, że urządzenie to – pomijając warstwę samego sprzętu – składa się w gruncie rzeczy ze sterowników napisanych w środowisku LabView - nic nie stoi na przeszkodzie, żeby kontrolę nad tymi urządzeniami mógł przejąć użytkownik zewnętrzny komunikujący się ze sterującym komputerem za pomocą usług sieciowych i odpowiednich dedykowanych aplikacji.

W ramach tzw. wkładu własnego zakupione zostało kilkanaście takich urządzeń, jednak ze względu na brak przyznanego finansowania projektu dalsze prace zostały zawieszono.

7. WNIOSKI KOŃCOWE

Przedstawiono doświadczenia uzyskane w trakcie wprowadzania pilotażowego programu nauczania podstaw elektroniki. Włączenie technik symulacyjnych pozwala na



Rys. 2. Symulator Multisim z aplikacją do wizualizacji projektowanego układu na stykowej płycie prototypowej w środowisku urządzenia ELVIS II

przeniesienie części aktywności studenta, których celem jest "obyć się" z podstawowymi układami do domowej pracy własnej - niemożliwej do wykonania poza laboratorium na rzeczywistych układach fizycznych, a z drugiej strony niezwykle prac- i czasochłonnej gdyby wykonywać ją w postaci obliczeń analitycznych. Wspomagane platformą e-learningową programowane zadania domowe pozwalają na znacznie efektywniejsze wykorzystanie czasu uczestnictwa w zajęciach laboratoryjnych. Naszkicowano również koncepcję rozszerzenia technik e-usługowych na zdalne pomiary rzeczywistych układów elektronicznych pozwalających na wirtualny udział w zajęciach klasycznego laboratorium studenckiego np. studentom z ograniczeniami ruchowymi. Koncepcja ta była przedmiotem projektu złożonego na konkurs w ramach Małopolskiego Regionalnego Programu Operacyjnego na lata 2007-2013.

8. BIBLIOGRAFIA

1. Razavi B.: Fundamentals of Microelectronics, Wiley, 2006, 2013 (drugie wydanie).

2. Maloberti F.: Understanding Microelectronics: A Top-Down Approach, Wiley-Blackwell, 2011
3. Jaeger R., Blalock T.: Microelectronic Circuit Design, McGraw-Hill Education, 1997, 2015 (piąte wydanie).
4. Sedra A. S., Smith K. C.: Microelectronic Circuits, Oxford University Press, 1982, 2014 (siódme wydanie).
5. Razavi B.: RF Microelectronics, Prentice Hall, 1998.
6. Razavi B.: Design of Integrated Circuits for Optical Communications, McGraw-Hill, 2003.
7. Maloberti F.: Data Converters, Springer, 2007 (tłumaczenie polskie: Przetworniki danych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, 2010).
8. Feynman R.: Feynmana wykłady z fizyki, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1968.
9. Gray P. E., Searle C. L.: Electronic principles: Physics, models, and circuits. Wiley, 1969 (tłumaczenie polskie Podstawy elektroniki, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1974).
10. <http://www-inst.eecs.berkeley.edu/~ee105/archives.html> (dostęp 02-02-2016).
11. Nowakowski W., Obłój A.: Laboratorium układów elektronicznych, Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, 1984.
12. Tsvividis Y.: A First Lab in Circuits and Electronics, Wiley, 2001.
13. Nagel, L. W., Pederson, D. O.: SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis), Memorandum No. ERL-M382, University of California, Berkeley, 1973.
14. Camenzind H. R. : Designing Analog Chips, BookSurge Publishing, 2005 (tłumaczenie polskie: Projektowanie analogowych układów scalonych, Wydawnictwo BTC, 2010).
15. Porębski J. Korohoda P.: SPICE : program analizy nieliniowej układów elektronicznych, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 1992.
16. https://en.wikipedia.org/wiki/2012_Harvard_cheating_scandal (dostęp 02-02-2016).
17. <http://www.orcad.com/products/orcad-pspice-designer/overview> (dostęp 02-02-2016).
18. <http://www.linear.com/designtools/software/#LTspice> (dostęp 02-02-2016).
19. <http://www.ngspice.com/> (dostęp 02-02-2016)
20. Kołodziej J., Machowski W., Stępień J., Dziurdzia P.: Wirtualnie Laboratorium Systemów Elektronicznych. Studium wykonalności projektu POIG, AGH Kraków, 2013.
21. Machowski W.: Electronics Workbench wirtualny warsztat elektronika, Elektronika Praktyczna 3/99, s. 31-34.

E-LEARNING SUPPORTED TEACHING OF ELECTRONICS FUNDAMENTALS

In the paper some experiences gained during a pilot programme of new concept of "Analog Electronic Circuits I & II" and "Simulation Techniques" courses. Both have been introduced some years ago – concurrently with introducing new study curriculum for Electronics and Telecommunications major taught entirely in English. Smaller auditory is a right group to perform educational experiments, and therefore the organization of aforementioned courses differs from that of regular study programme taught in Polish. A concept of expanding e-services for remote measurements of real electronics circuits allowing virtual access to hardware laboratory (dedicated e.g. for students with disabilities) is also presented. This concept was a subject of "WILISEK" (Wirtualne laboratorium systemów elektronicznych – Virtual Laboratory of Electronic Systems) grant proposal sent to Małopolska Regional Operational Programme.

Keywords: electronics fundamental, simulation techniques, e-learning.