

## Kurs Podstaw elektroniki dla studentów kierunku Automatyka i Robotyka

**Streszczenie.** W artykule zaprezentowano kurs Podstawy elektroniki opracowany dla kierunku Automatyka i robotyka. Inżynier automatyki powinien mieć ogólną wiedzę z podstaw teoretycznych, ale również znać nowoczesne, rozwiązania praktyczne układów zasilania, mocy, wzmacniaczy sygnałów, np. pochodzących z czujników pomiarowych. W związku z tym w wykładach uwzględniono zarówno podstawy teoretyczne półprzewodników, wzmacniaczy (w tym wzmacniaczy mocy), czy układów ze sprzężeniami zwrotnymi (sterowanie), jak i wiedzę praktyczną dotyczącą właściwości nowoczesnych komponentów (w tym SMD) i ich zastosowań w układach elektronicznych. Ćwiczenia laboratoryjne uzupełniające wykłady zaplanowano dwutorowo: pierwszy wątek to cykl badań i pomiarów elementów i podstawowych układów elektronicznych z wykorzystaniem oprogramowania i sprzętu firmy National Instruments, drugi wątek to cykl symulacji w środowisku wspomagania projektowania układów firmy Altium Designer.

**Abstract.** The paper presents the course of basics of electronics developed for the field of automation and robotics. The automation engineer should have general knowledge of theoretical foundations, but should also know modern, practical solutions for the power supply systems, power amplifiers, signal amplifiers, e.g. of signals coming from measurement sensors. Therefore, the lectures include both theoretical basics of semiconductors, amplifiers (including the power amplifiers), and feedback systems (control), as well as practical knowledge about the properties of modern components (including SMD) and their applications in electronic circuits. The lectures are supplemented by laboratories, which are planned in two ways: the first thread is a cycle of measurements of the main electronics components and basic electronic circuits using software and hardware from National Instruments, the second thread includes simulations in Altium Designer - the electronic CAD. **(Course on basics of electronics for students of automation and robotics)**

**Słowa kluczowe:** podstawy elektroniki, automatyka, robotyka, studia inżynierskie

**Keywords:** basics of electronics, automation, robotics, engineering studies.

### Wprowadzenie

Elementy i układy elektroniczne od wielu lat wspomagają życie ludzi i ich działania. Ze względu na szybki rozwój elektroniki, właściwe przygotowanie inżynierów do wykorzystania zasobów w tej dziedzinie staje się jednak coraz trudniejsze. Problem został zauważony już kilkanaście lat temu – prof. H. Tenhunen zaproponował odmianę znanego prawa Moore'a: „Wiedza potrzebna inżynierowi elektroniki podwaja się co dekadę” [1, 2]. W związku z tym faktem powstaje pytanie: jak uczyć coraz bardziej złożonej elektroniki, mając do dyspozycji czas ograniczony do jednego semestru akademickiego? Czy skupić się na podstawach teoretycznych, zakładając, że aspekty praktyczne studenci uzupełnią samodzielnie lub, jako absolwenci, zostaną doszkoleni w przyszłych zakładach pracy, czy przeciwnie – zrezygnować z teorii ucząc zastosowań technicznych? Obserwując znane projekty popularyzujące zastosowania mikrokontrolerów, takie jak np. Arduino [3], czy Raspberry-Pi [4] oraz ich popularność można odnieść wrażenie, że znajomość praw elektroniki wśród młodzieży rośnie. Okazuje się jednak, że gotowe płytki, moduły, biblioteki komunikacyjne i obliczeniowe, a także proste techniki połączeniowe, mimo że istotnie upraszczają przygotowanie projektów, równocześnie wpisują się w coraz wyraźniejszy trend: poszukaj rozwiązania w Internecie, skopiuj, wklej, powinno działać. Nie działa? Poszukaj innych rozwiązań, na pewno któreś zadziała. W efekcie, nie ma chęci poświęcenia czasu na samodzielne zgłębienie problemu i jego rozwiązywanie. Warto dodać, że wiele materiałów dostępnych w Internecie zawiera nieścisłości, błędy, a nawet niepoprawne, czy niebezpieczne rozwiązania, np. schematy ładowarek sieciowych bez izolacji galwanicznej. Autorzy w przygotowanych wykładach oprócz właściwych rozwiązań prezentują także te niepoprawne z odpowiednim komentarzem i wyjaśnieniem błędów.

W większości przypadków problemy pomogłaby rozwiązać wiedza pozyskana na wykładach z dobrej książki z podstaw elektroniki, czy od doświadczonego nauczyciela [5]. Zdarza się, że dochodzi do kuriozalnych sytuacji, w

których studenci budują zaawansowane systemy mikroprocesorowe, a nie potrafią dobrać rezystora ograniczającego prąd diody świecącej, powodując jej przepalenie.

Podjęcie do projektowania układów elektronicznych bazujące na wykorzystywaniu coraz większych i bardziej skomplikowanych tzw. „czarnych skrzynek” czyli bloków, komponentów, modułów, czy bibliotek wydaje się nieuniknione (choćby ze względu na rosnącą złożoność), ale odnosi się wrażenie, że przy niewystarczającej wiedzy podstawowej projektantów, powstają i trafiają na rynek urządzenia elektroniczne dalekie od rozwiązań optymalnych. Wymuszane przez rynek konsumencki i dużą konkurencję rozwiązania oszczędnościowe, a także dyrektywy ograniczające użycie związków szkodzących środowisku naturalnemu (np. RoHS) powodują, że produkowane są urządzenia coraz bardziej zawodne, a równocześnie nienaprawialne. To z kolei stwarza istotny problem z utylizacją odpadów elektronicznych, ponownym wykorzystaniem zasobów metali rzadkich i olbrzymimi stratami finansowymi.

Autorzy na przykładzie kursu *Podstaw elektroniki dla studentów pierwszego stopnia Automatyki i Robotyki* proponują wzajemne przeplatanie się dwóch wątków: teoretycznego i praktycznego. Kurs realizowany jest na 3 semestrze i składa się z 30 godzin wykładów i 30 godzin wiczeń laboratoryjnych. Studenci na wstępie posiadają już wiedzę z teorii obwodów, równocześnie zdobywają wiedzę z podstaw teorii sygnałów i informacji. Podstawowa wiedza z elektroniki jest jeszcze rozszerzana przedmiotem *Układy elektroniki użytkowej* (semestr 6), a na drugim stopniu studiów – przedmiotem *Elektronika praktyczna*.

### Wykłady

Cykl wykładów przedstawiono w Tabeli 1. Należy zwrócić uwagę, że autorzy dostosowali go do profilu absolwenta Automatyki i Robotyki, a także do spodziewanych wymagań na rynku pracy. Student powinien opanować podstawy teoretyczne i nowoczesne, rozwiązania układów zasilania, mocy, wzmacniaczy

sygnałowych, np. pochodzących z czujników pomiarowych. W związku z tym w wykładach uwzględniono zarówno podstawy teoretyczne półprzewodników, wzmacniaczy (w tym wzmacniaczy mocy), czy układów ze sprzężeniami zwrotnymi, jak i wiedzę praktyczną dotyczącą właściwości komponentów i ich zastosowań w układach elektronicznych. Duży nacisk położono na analizę właściwości i dobór komponentów do montażu powierzchniowego (SMD, ang. surface mounted device), które to istotnie różnią się od

rozwiązań klasycznych. W materiale zawarto również wiedzę dotyczącą układów energoelektronicznych (w tym układów wykonawczych, wzmacniaczy i zasilaczy impulsowych) wraz z problemami ich chłodzenia oraz żywotności.

Warto zwrócić uwagę, że wykłady prowadzą 3 osoby: profesor z dużą wiedzą teoretyczną i dwaj adiunkci będący doświadczonymi elektronikami – praktykami.

Tabela 1. Wykłady z przedmiotu Podstawy elektroniki na kierunku Automatyka i robotyka

L.p.	Temat	Poruszane zagadnienia
1	Wprowadzenie	Projektowanie urządzeń elektronicznych, technologie (SMD, przewlekane), dyrektywa RoHS
2	Elementy pasywne cz. 1	Rezystory, kondensatory – parametry, cechy elementów rzeczywistych, właściwości, zastosowania
3	Elementy pasywne cz. 2	Cewki, transformatory, bezpieczniki, przekaźniki, przełączniki
4	Półprzewodniki	Zjawiska półprzewodnikowe, przewodnictwo, półprzewodniki, budowa i działanie złącza p-n, równanie diody
5	Proste elementy półprzewodnikowe	Termistory, warystory, diody półprzewodnikowe, transoptory, parametry, zastosowania
6	Tranzystory w teorii	tranzystory złączone - BJT i polowe - FET, budowa, stany pracy, model transportowy, model Ebersa-Molla, charakterystyki
7	Tranzystory w praktyce	Układy z tranzystorami polowymi i bipolarnymi pracującymi jako klucze: przełącznik tranzystorowy, inwerter, bramka transmisyjna, układy cyfrowe TTL, CMOS, połączenia z układami analogowymi
8	Wzmacniacze tranzystorowe	Podstawowe parametry i właściwości wzmacniaczy tranzystorowych
9	Zasilacze liniowe	Zasilacze, stabilizatory liniowe, stabilizatory scalone
10	Układy impulsowe	Układy wykonawcze w automatyce: półmostek, mostek, stabilizatory i zasilacze impulsowe
11	Układy ze sprzężeniem zwrotnym	Pojęcie wzmacniacza operacyjnego, sprzężenia zwrotne, wzmacniacze ze sprzężeniem zwrotnym, układy ze wzmacniaczami operacyjnymi
12	Wzmacniacze operacyjne w praktyce	Typy wzmacniaczy operacyjnych, ich parametry, kompensacja i minimalizacja niedoskonałości, wad układowych i technologicznych
13	Wzmacniacze mocy	Klasy wzmacniaczy, zalety, wady, rozwiązania układowe
14	Elementy energoelektroniczne	Tyristory, triaki, tranzystory mocy, chłodzenie elementów elektronicznych
15	Projektowanie	Projektowanie układów elektronicznych z wykorzystaniem środowisk E-CAD

## Laboratoria

Wiedzę zdobywaną na wykładach ugruntowują zajęcia laboratoryjne. Podobnie, jak wykłady, również laboratoria zostały podzielone na dwa wątki: praktyczny oraz symulacyjny. Są one realizowane równoległe (naprzemiennie) w dwóch różnych salach, z różnym sprzętem i oprogramowaniem: Laboratorium z ćwiczeniami praktycznymi bazuje na sprzęcie i oprogramowaniu firmy National Instruments. Jest to moduł edukacyjny ELVIS II (zawierający wielokanałowe przetworniki A/C, C/A, interfejsy analogowe i cyfrowe, zasilacz, duże pole stykowe), komputer stacjonarny z oprogramowaniem LabVIEW, w którym wykorzystuje się ideę wirtualnych przyrządów pomiarowych, a także badane elementy elektroniczne (diody, tranzystory, wzmacniacze operacyjne, rezystory, kondensatory, przewody łączące) [6, 7].

Instrukcje laboratoryjne zawierają wstęp teoretyczny i szczegółowo opisany przebieg ćwiczenia. Przed

przystąpieniem do każdego zajęcia student ma obowiązek zapoznać się z realizowanymi zagadnieniami oraz, w celu prawidłowej realizacji ćwiczenia, czyli właściwego wykonania poleceń oraz poprawnej interpretacji uzyskanych wyników, samodzielnie przyswoić informacje teoretyczne przedstawione na wykładzie, w instrukcjach laboratoryjnych oraz w podanej literaturze. Przygotowanie do zajęć jest sprawdzane poprzez 10-minutowy test zawierający trzy pytania dotyczące omawianych zagadnień. Następnie studenci budują na płycie prototypowej wymagane obwody elektroniczne oraz dokonują niezbędnych pomiarów. Po zajęciach opracowują wyniki, w tym przeprowadzają obliczenia wymaganych parametrów elementów i obwodów. Zagadnienia realizowane w ramach tego wątku zaprezentowano w Tabeli 2. Drugi wątek – symulacyjny – wykorzystuje środowisko Altium Designer z wbudowanym symulatorem rodziny Spice. Zagadnienia tego wątku prezentuje Tabela 3.

Tabela 2. Laboratoria z przedmiotu Podstawy elektroniki – wątek praktyczny

L.p.	Cykl praktyczny	
	Temat	Poruszane zagadnienia
1	Złącze p-n	Badanie wybranych elementów półprzewodnikowych: diody prostownicze, diody Zenera, diody elektroluminescencyjne (LED). Wyznaczanie charakterystyk oraz podstawowych parametrów (m.in. napięcia progowego, rezystancji dynamicznych)
2	Tranzystor polowy	Wyznaczanie charakterystyk tranzystorów polowych złączowych (J-FET), na podstawie charakterystyk szacowanie wybranych parametrów (m.in. rezystancji kanału, napięcia odcięcia, transkonduktancji)
3	Tranzystor bipolarny	Pomiar charakterystyk tranzystora bipolarnego w układzie wspólnego emitera, wyznaczenie parametrów macierzowych $h$
4	Badanie bramki	Pomiar parametrów linii wejścia/wyjścia w układach scalonych (m.in. napięć progowych,

	CMOS	wpływu obciążenia na wyjścia, analiza pracy szybkich układów licznikowych)
5	Aktywne układy liniowe	Badanie podstawowych układów liniowych zrealizowanych z użyciem wzmacniaczy operacyjnych: wzmacniacz różnicowy, sumator. Analiza działania układów różnych sygnałów wejściowych
6	Badanie wzmacniacza operacyjnego	Zapoznanie z parametrami wzmacniaczy operacyjnych oraz metodami ich pomiaru, w tym: napięcia niezrównoważenia, prądu polaryzacji wejść, współczynnika tłumienia sygnału współbieżnego (CMRR), pola wzmocnienia, pasma przenoszenia

Tabela 3. Laboratoria z przedmiotu Podstawy elektroniki – wątek symulacyjny

L.p.	Cykl symulacyjny	
	Temat	Poruszane zagadnienia
1	Wprowadzenie do Altium Designer	Zapoznanie ze środowiskiem projektowania urządzeń elektronicznych Altium Designer i wbudowanym symulatorem rodziny Spice
2	Prostowniki	Symulacja podstawowych układów prostowników z filtrami. Wyznaczanie napięć, prądów, pomiar i analiza tętnień
3	Stabilizacja napięcia	Symulacja podstawowych układów stabilizatorów napięcia oraz zabezpieczeń ponadnapięciowych. Pomiar stabilizatora napięcia z wykorzystaniem diody Zenera. Analiza działania diody typu transil w układach zabezpieczeń
4	Wzmacniacz tranzystorowy	Symulacja wzmacniacza tranzystorowego w układzie wspólnego emitera. Analiza układu oraz pomiar: punktu pracy, wzmocnienia napięciowego, charakterystyki częstotliwościowej, przesunięcia fazowego
5	Tranzystor w układach cyfrowych	Symulacja podstawowych układów z tranzystorami bipolarnymi i polowymi w układach cyfrowych TTL i CMOS: klucza tranzystorowego, inwertera CMOS oraz bramki transmisyjnej. Pomiar charakterystyk, analiza zabezpieczeń tranzystora przy obciążeniu indukcyjnym, pomiar opóźnienia inwertera, analiza działania i sterowania bramki transmisyjnej, pomiar rezystancji bramki w stanach włączenia i wyłączenia
6	Wzmacniacz operacyjny	Symulacja podstawowych układów wzmacniacza operacyjnego: wzmacniacza odwracającego, nieodwracającego, sumującego (z zasilaniem symetrycznym i asymetrycznym). Pomiar parametrów układu: wzmocnienia, dopuszczalnego zakresu napięć wejściowych, częstotliwości granicznej, przesunięcia fazowego
7	Projektowanie płytek PCB	Projekt: wykonywanie płytki drukowanej (PCB) w środowisku Altium Designer dla prostego układu tranzystorowego

## Wnioski

Po przeprowadzonym kursie semestralnym, autorzy zauważyli wiele zjawisk, których analiza zostanie wykorzystana do optymalizacji sposobu prowadzenia przedmiotu w kolejnych edycjach.

Po przeprowadzeniu egzaminu obejmującego część wykładową autorzy dostrzegli duże braki w rozumieniu działania układów przez studentów. Propozycją rozwiązania tego problemu mogą być zadania domowe w formie zadań ćwiczeniowych do samodzielnego rozwiązania po wykładach i laboratoriach. Rozwiązanie nawet prostych zadań zobligowałoby studentów do samodzielnego, głębszego i systematycznego poznawania wymaganych tematów.

Z kolei w trakcie trwania zajęć laboratoryjnych studenci nie mieli żadnych problemów z połączeniem układów według przygotowanych instrukcji. Chętnie podejmowali się nowych doświadczeń, a wcześniejsze przygotowanie teoretyczne sprawiło że pewnie podchodzili do realizowanych zadań.

Główny problem, jaki zgłaszali studenci w trakcie realizacji kursu *Podstaw elektroniki* to szeroki zakres materiału do opanowania. Pewną trudność na początku semestru stanowiła nieznanomość obsługi rozbudowanego środowiska projektowego Altium Designer, jednak w trakcie kolejnych zajęć operowali w nim coraz pewniej.

Analizując laboratoria pod względem dydaktycznym, podział nauki na część laboratoryjną – praktyczną oraz symulacyjną okazał się dobrym rozwiązaniem. Dzięki niemu studenci mieli możliwość zapoznania się z wyglądem i działaniem rzeczywistych elementów elektronicznych (musieli rozpoznać i podłączyć tranzystor, znaleźć rezystory z oznaczeniami paskowymi, odczytać pojemności kondensatorów, zorientować i poprawnie podłączyć układy scalone). Z kolei część symulacyjna pozwoliła zdobyć informacje na temat działania bardziej skomplikowanych układów, również tych korzystających z wyższych napięć i prądów, których budowa i badanie w trakcie zajęć, z jednej

strony zajmowałoby dużo czasu, z drugiej, mogłoby być niebezpieczne.

Oceniając przygotowane sprawozdania napotkano zjawiska braku umiejętności korelacji wiedzy teoretycznej z otrzymywanymi wynikami pomiarów (np. brak sprawdzenia czy wartości uzyskanych parametrów macierzowych tranzystora są sensowne). Zdarzały się błędy elementarne, np. w obliczaniu wartości wielkości fizycznych z wykorzystaniem przedrostków wielokrotności (mA,  $\mu$ V, M $\Omega$ ).

Pod koniec semestru przeprowadzono wśród studentów anonimową ankietę, w której oceniali oni przeprowadzone zajęcia laboratoryjne. Według ankietowanych zajęcia praktyczne dały duże doświadczenie w pracy z konkretnymi układami i elementami. Bardzo dobrze został oceniony syntetyczny opis teoretyczny zagadnień realizowanych w danym ćwiczeniu.

W ocenie studentów część praktyczna zajęć była bardziej przydatna, gdyż pozwala dokładniej poznać układy. Dużo osób deklarowało chęć szerszego poznania badanych zjawisk, nauki samodzielnego projektowania układów w praktyce, diagnozowania uszkodzonych elementów i układów, a także projektowania i prototypowania płytek PCB.

W opinii studentów cenne jest ich przygotowanie do obsługi przyrządów elektronicznych oraz udostępnienie podstawowych elementów elektronicznych do samodzielnej budowy układów. Co było zaskakujące, ponad połowa studentów (16 z 31 biorących udział w ankiecie) doceniła sprawdzenie wiedzy przed rozpoczęciem zajęć (tzw. wejściówkę), która motywowała ich do systematycznego przygotowania i nauki.

Inną możliwością uzupełnienia i rozszerzenia wiedzy jest realizacja projektów. Mogą one odbywać się przykładowo w ramach projektów kół naukowych, prac dyplomowych, czy też samodzielnich inicjatyw studenckich.

**Podziękowania:** Pracę przygotowano w ramach projektu DS-2018/ZUEPS.

**Autorzy:** dr inż. Paweł Pawłowski, Politechnika Poznańska , Wydział Informatyki, Instytut Automatyki i Robotyki, Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań; prof. dr hab. inż. Adam Dąbrowski, Politechnika Poznańska , Wydział Informatyki, Instytut Automatyki i Robotyki, Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań; mgr inż. Agnieszka Stankiewicz, Politechnika Poznańska , Wydział Informatyki, Instytut Automatyki i Robotyki, Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań; mgr inż. Karol Piniarski, Politechnika Poznańska , Wydział Informatyki, Instytut Automatyki i Robotyki, Zakład Układów Elektronicznych i Przetwarzania Sygnałów, ul. Jana Pawła II 24, 60-965 Poznań.

#### LITERATURA

- [1] W. Kuźmicz, Microelectronics: Manufacturing, Design and Challenges for Education, *ANS'04*, Kraków, (2004)
- [2] H. Tenhunen, The platform as an interface in a SoC design curriculum, *European Workshop on Microelectronic Education EWME'04*, Lausanne, (2004)
- [3] Arduino, Open-source electronic prototyping platform, [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc), dostęp 1.03.2018
- [4] Raspberry Pi, Teach, Learn, and Make with Raspberry Pi, [www.raspberrypi.org](http://www.raspberrypi.org), dostęp 1.03.2018
- [5] P. Horowitz, W. Hill, *Sztuka elektroniki, cz. 1 i 2*, WKiŁ, Warszawa (2009)
- [6] *National Instruments*, NI ELVIS II, Educational Laboratory Virtual Instrumentation Suite, (2018)
- [7] A. Dąbrowski, A. Meyer, P. Pawłowski, R. Weychan, P. Kardyś, A. Chmielewska, A. Namerta, Od metrologii do systemów wizyjnych: środowisko NI LabVIEW w laboratoriach naukowych, *Wiadomości elektrotechniczne*, Wyd. Sigma NOT, LXXIX, 11/2011, (2011), 42–44