Zespół Autorski: Tomasz Skotnicki

Elektronika o Zerowym poborze Energii dla Układów Samozasilających IOT

(Zero-power Electronics for Self-supplied IOT Sensors)

Poziom kształcenia:	*drugiego stopnia*
Forma studiów i tryb prowadzenia przedmiotu:	*studia stacjonarne*
Kierunek studiów:	*Elektronika*
Profil studiów:	*ogólnoakademicki*
Specjalność:	*Systemy Zintegrowanej Elektroniki i Fotoniki*
Jednostka prowadząca:	*Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych*
Jednostka realizująca:	*Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki*
Koordynator przedmiotu:	
Poziom przedmiotu:	*zaawansowany*
Status przedmiotu:	*obieralny*
Język prowadzenia zajęć:	*polski*
Semestr nominalny:	*2 lub 3*
Minimalny numer semestru:	*2*
Wymagania wstępne/zalecane przedmioty poprzedzające:	*Podstawy z teamów: Układy elektroniczne i Technologie wytwarzania układów scalonych*
Dyskonta	---
Limit liczby studentów:	*30*

Powód zgłoszenia przedmiotu: *nowy program studiów II stopnia na kierunku Elektronika*

Cel przedmiotu:

wprowadzenie studentów w nowy obszar tak zwanej elektroniki „*zero-power*". Koncepcja ta jest wynikiem znacznej redukcji poboru mocy przez zaawansowane technologie CMOS, umożliwiającej ich zasilanie za pomocą energii zbieranej z otoczenia tzw. „*energy harvesting*". Ma to szczególne znaczenie dla rozwoju systemów Internetu Rzeczy (IOT) gdyż sensory IOT występują w tak wielkiej liczbie (tryliony sztuk) iż zasilanie bateryjne staje się niepraktyczne.

Skrócony opis przedmiotu *(max 1000 znaków)***:**

Koncepcja „*zero-power electronics*" pojawiła się jako wynik tak znacznej redukcji poboru mocy przez zaawansowane technologie CMOS, że ich zasilanie staje się możliwe za pomocą minimalnych ilości energii zbieranej z otoczenia, tzw. „*energy harvesting*". Ma to

szczególne znaczenie dla rozwoju systemów Internetu Rzeczy (IOT), gdyż sensory IOT występują w wielkiej liczbie (tryliony sztuk), co sprawia, że zasilanie bateryjne staje się niepraktyczne. Wykład składać się będzie z dwóch części. W części I – przedstawimy nowoczesne technologie CMOS zwracając uwagę na te cechy, które szczególnie przyczyniają się do ich wyjątkowo małego zapotrzebowania na energię. W części II – przedstawimy nowoczesne metody pozyskiwania energii z otoczenia z uwzględnieniem problemów prostowania małych sygnałów i przechowywania małych porcji energii. Omówione zostaną harvestery energii światła (ogniwa fotowoltaiczne), termo-generatory Seebecka, generatory wibracyjne, harvestery energii promieniowania elektromagnetycznego i inne innowacyjne metody pojawiające się obecnie w literaturze. Przedstawimy także metody konwersji energii mechanicznej w elektryczną, takie jak transducery piezoelektryczne, elektrostatyczne, elektromagnetyczne i inne.

Treści kształcenia:

Wykład:

Wykład składał się będzie z dwóch części. W pierwszej omówimy problematykę pracy samo-zasilających się sieci węzłów IoT. Wskażemy na zmianę paradygmatu pracy sieci IoT w stosunku do innych urządzeń elektronicznych (tzw. zmiana z paradygmatu Watta na paradygmat Joule'a). Przeanalizujemy schemat pracy węzła IoT. Następnie przedstawimy nowoczesne rozwiązania, które najskuteczniej przyczyniają się do zmniejszenia zapotrzebowania technologii CMOS na energię. Przeanalizujemy takie rozwiązania materiałowe jak: dielektryki HK (o wysokiej stałej dielektrycznej), naprężony krzem, krzemo-german, a także rozwiązania ingerujące w architekturę tranzystora (mowa o architekturach Bulk, FDSOI, FinFET, nano-druty), jak również rozwiązania układowe i systemowe (mowa tu o sleep-mode transistor, burst-mode, back-bias i forward-bias). Na zakończenie części pierwszej wykładu porównamy skuteczność przedstawionych rozwiązań i wybierzemy najlepszych kandydatów.

W drugiej części wykładu przeanalizujemy dostępne w otoczeniu źródła energii, które nadają się do zasilania sieci IoT. Przedstawimy zjawiska fizyczne i metody służące do pozyskiwania energii z tych źródeł. Przeanalizujemy ogniwa fotowoltaiczne służące do pozyskiwania energii elektrycznej z energii światła, zwracając uwagę na ich sprawność i metody jej poprawy, a także na ograniczenia fundamentalne. Następnie przedstawimy termo-generatory oparte na zjawisku Seebecka, służące do pozyskiwania energii elektrycznej z energii cieplnej, zwracając uwagę na ich optymalizacje pod względem doboru materiału i architektury. Następną kategorią będą generatory wibracyjne, służące do pozyskiwania energii elektrycznej z energii mechanicznej (wibracje). W odniesieniu do ostatniego punktu, przeanalizujemy transducery piezoelektryczne, elektrostatyczne i elektromagnetyczne. W końcu pokażemy nowe niekonwencjonalne metody harvestingu które pojawiają się w literaturze.

Laboratoria:

Przewidujemy trzy doświadczenia laboratoryjne. Każde z nich powinno być wykonane w dwóch sesjach po 2 godziny (tj. dwa laboratoria po 2 godziny przez dwa kolejne tygodnie).

1. Pierwsze doświadczenie będzie miało na celu zapoznanie się z pozyskiwaniem energii elektrycznej ze światła. Studenci otrzymają paski ogniw fotowoltaicznych. Ich

zadaniem będzie scharakteryzowanie prądu ogniwa w funkcji intensywności światła (przez zmianę kąta ekspozycji). Następnie, zadaniem studentów będzie zgromadzenie pozyskiwanej energii w kondensatorze i scharakteryzowanie napięcia i ilości gromadzonej energii w czasie. Efektywne zasilenie prostego urządzenia (węzła IOT lub innego) z naładowanego kondensatora będzie dowodem skutecznego pozyskania i przechowania energii.

2. Drugie doświadczenie będzie miało na celu zapoznanie się z pozyskiwaniem energii elektrycznej z energii cieplnej. Studenci otrzymają generatory Seebecka. Ich zadaniem będzie scharakteryzowanie napięcia i prądu generatora w funkcji czasu i temperatury. Następnie, zadaniem studentów będzie zgromadzenie pozyskiwanej energii w kondensatorze i scharakteryzowanie napięcia i ilości gromadzonej energii w czasie. Efektywne zasilenie prostego urządzenia (węzła IOT lub innego) z z naładowanego kondensatora będzie dowodem skutecznego pozyskania i przechowania energii.
3. Trzecie doświadczenie będzie miało na celu zapoznanie się z pozyskiwaniem energii elektrycznej z energii mechanicznej. Studenci otrzymają paski piezoelektryka i regulowane generatory wibracyjne (częstość i amplituda). Ich zadaniem będzie scharakteryzowanie impulsów napięcia na wyjściu piezoelektryka umocowanego na wibratorze w funkcji częstości i amplitudy wibracji. Następnie, zadaniem studentów będzie zgromadzenie pozyskiwanej energii w kondensatorze i scharakteryzowanie napięcia i ilości gromadzonej energii w czasie. Efektywne zasilenie prostego urządzenia (węzła IOT lub innego) z z naładowanego kondensatora będzie dowodem skutecznego pozyskania i przechowania energii.

Projekt:
Zaprojektowanie i wykonanie układu mającego istotne znaczenie w zastosowaniu do sieci samo-zasilających się i komunikujących sensorów IoT

Egzamin: *Nie*

Literatura:

1. Maciej Haras and Thomas Skotnicki; "**Thermoelectricity for IoT – a review"**; review paper, Nano Energy 54 (**2018**) 461–476.

Organizacja zajęć:

Wykład: 2 godziny wykładu tygodniowo.
Projekt 2 godziny tygodniowo, w tym 1 godz konsultacji
Laboratorium : trzy doświadczenia, każde wymagające 5-ciu godzin zajęć w laboratorium

Wymiar godzinowy zajęć:

W	C	L	P
2 (30)	-	*1 (15)*	*1 (15)*

Wymiar w jednostkach ECTS: *4*

Liczba godzin pracy studenta związanych z osiągnięciem efektów kształcenia (opis):

1. *liczba godzin kontaktowych – 55 godz., w tym:*

– *obecność na wykładach 30 godz.,*
– *obecność na laboratorium 15 godz.,*
– *udział w konsultacjach 10 godz.*

2. *praca własna studenta – 45 godz., w tym:*

– *przygotowanie do laboratoriów 10 godz.,*
– *przygotowanie do kolokwiów 10 godz.,*
– *praca nad projektem 20 godz.*
– *przygotowanie sprawozdań (laboratoria) 5 godz.*

Łączny nakład pracy studenta wynosi *100 godz.,* **co odpowiada** *4 pkt ECTS.*

Liczba punktów ECTS na zajęciach wymagających bezpośredniego udziału nauczycieli akademickich: *2.1 pkt ECTS, co odpowiada 55 godz. kontaktowym.*

Liczba punktów ECTS, którą student uzyskuje w ramach zajęć o charakterze praktycznym: *1.4 pkt ECTS, co odpowiada 35 godz. ćwiczeń laboratoryjnych*

Efekty kształcenia/uczenia się:

Efekty kształcenia/uczenia się student, który zaliczył przedmiot:	**forma zajęć/ technika kształcenia**	**sposób weryfikacji (oceny)**	**odniesienie do efektów uczenia się dla programu**
WIEDZA			
W02. Ma szczegółową wiedzę w zakresie wybranych kierunków rozwijających się w ścisłym związku z elektroniką.	wykład, laboratorium, projekt	Kolokwium Laboratorium	III.P7S_WG
W04. Ma podbudowaną teoretycznie szczegółową wiedzę związaną z nanoelektroniką lub fotoniką zintegrowaną,	wykład, laboratorium, projekt	Kolokwium Laboratorium	III.P7S_WG
W05. Ma wiedzę o trendach rozwojowych i najistotniejszych nowych osiągnięciach z zakresu elektroniki.	wykład, laboratorium, projekt	Kolokwium Laboratorium	III.P7S_WG
UMIEJĘTNOŚCI			
U01. Potrafi pozyskiwać informacje z literatury, baz danych oraz innych właściwie dobranych źródeł, także w języku angielskim; potrafi integrować uzyskane informacje, dokonywać ich interpretacji i krytycznej oceny,	wykład, laboratorium, projekt	Kolokwium Laboratorium	I.P7S_UK

a także wyciągać wnioski oraz formułować i wyczerpująco uzasadniać opinie.			
U02. Potrafi porozumiewać się przy użyciu różnych technik w środowisku zawodowym oraz w innych środowiskach, także w języku angielskim.	wykład, laboratorium, projekt	Kolokwium Laboratorium	I.P7S_UK
U05 Potrafi określić kierunki dalszego uczenia się i zrealizować proces samokształcenia.	wykład, laboratorium, projekt	Kolokwium Laboratorium	I.P7S_UU
U09. Potrafi przy formułowaniu i rozwiązywaniu zadań inżynierskich – integrować wiedzę z zakresu mikroelektroniki, fotoniki i nanotechnologii.	wykład, laboratorium, projekt	Kolokwium Laboratorium	III.P7S_UW.o
U11. Potrafi ocenić przydatność i możliwość wykorzystania nowych technologii w zakresie elektroniki i jej zastosowań.	wykład, laboratorium, projekt	Kolokwium Laboratorium	III.P7S_UW.o