

# Laboratorium Podstaw Energoelektroniki

Krzysztof Iwan Piotr Musznicki Jarosław Guziński Jarosław Łuszcz

Gdańsk 2011

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO  
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

*Romuald Szymkiewicz*

RECENZENT

*Piotr J. Chrzan*

PROJEKT OKŁADKI

*Piotr Musznicki*

Wydano za zgodą  
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem  
<http://www.pg.gda.pl/WydawnictwoPG>

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej  
Gdańsk 2011

Utwór nie może być powielany i rozpowszechniany, w jakiegokolwiek formie  
i w jakikolwiek sposób, bez pisemnej zgody wydawcy

ISBN 978-83-7348-398-9

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Wydanie I. Ark. wyd. 12,0, ark. druku 11,0, 980/656
---

# Spis treści

<b>1. Tranzystory mocy (<i>Krzysztof Iwan</i>)</b>	<b>1</b>
1.1 Wprowadzenie . . . . .	1
1.2 Podstawowe charakterystyki statyczne . . . . .	2
1.3 Model termiczny łącznika . . . . .	3
1.4 Ograniczenia dynamiczne . . . . .	5
1.5 Proces włączania i wyłączania . . . . .	5
1.6 Wyprowadzenia . . . . .	13
1.7 Instrukcja do ćwiczenia laboratoryjnego . . . . .	15
1.7.1 Pomiar charakterystyk statycznych . . . . .	16
1.7.2 Obserwacja procesów dynamicznych . . . . .	17
1.7.3 Pomiar jednostkowych strat przełączania . . . . .	17
1.7.4 Program ćwiczenia . . . . .	18
1.7.5 Opracowanie wyników pomiarów . . . . .	18
1.7.6 Pytania i zadania kontrolne . . . . .	19
<b>2. Tyrystory (<i>Piotr Musznicki</i>)</b>	<b>21</b>
2.1 Wprowadzenie . . . . .	21
2.2 Budowa i zasada działania tyrystora . . . . .	21
2.3 Zewnętrzna charakterystyka statyczna . . . . .	22
2.4 Parametry dynamiczne tyrystora . . . . .	25
2.5 Wrażliwość tyrystorów . . . . .	27
2.6 Specjalne typy tyrystorów . . . . .	28
2.7 Układy tyrystorowe – jednofazowe prostowniki sterowane . . . . .	29
2.7.1 Prostownik jednopulsowy . . . . .	29
2.7.2 Prostownik dwupulsowy . . . . .	33
2.8 Instrukcja do ćwiczenia laboratoryjnego . . . . .	36
2.8.1 Pomiar charakterystyk statycznych . . . . .	36
2.8.2 Jednopulsowy prostownik sterowany . . . . .	37
2.8.3 Opracowanie wyników . . . . .	38
2.8.4 Pytania kontrolne . . . . .	38
<b>3. Beztransformatoryjne przekształtniki DC-DC (<i>Krzysztof Iwan</i>)</b>	<b>41</b>
3.1 Wprowadzenie . . . . .	41
3.2 Układ obniżający napięcie (typu <i>buck</i> ) . . . . .	41
3.2.1 Sposoby pracy układu . . . . .	42
3.2.2 Tętnienia napięcia wyjściowego . . . . .	44
3.2.3 Uwagi . . . . .	47

3.3	Układ podwyższający napięcie (typu <i>boost</i> ) . . . . .	48
3.3.1	Działanie układu . . . . .	48
3.3.2	Tętnienia napięcia wyjściowego . . . . .	51
3.3.3	Uwagi . . . . .	53
3.4	Układ obniżająco-podwyższający napięcie . . . . .	53
3.4.1	Działanie układu . . . . .	54
3.4.2	Tętnienia napięcia wyjściowego . . . . .	55
3.4.3	Uwagi . . . . .	55
3.5	Sprawność beztransformatorowych przekształtników DC-DC . . . . .	56
3.6	Wyprowadzenia . . . . .	57
3.7	Instrukcja do ćwiczenia laboratoryjnego . . . . .	59
3.7.1	Program ćwiczenia . . . . .	61
3.7.2	Opracowanie wyników pomiarów . . . . .	62
3.7.3	Pytania i zadania kontrolne . . . . .	62
<b>4.</b>	<b>Transformatorowe przekształtniki DC-DC (<i>Krzysztof Iwan</i>)</b>	<b>65</b>
4.1	Wprowadzenie . . . . .	65
4.2	Przegląd transformatorowych układów DC-DC . . . . .	65
4.2.1	Przekształtnik dwutaktowy (flyback converter) . . . . .	66
4.2.2	Przekształtnik jednotaktowy (forward converter) . . . . .	68
4.3	Instrukcja do ćwiczenia laboratoryjnego . . . . .	72
4.3.1	Program ćwiczenia . . . . .	74
4.3.2	Opracowanie wyników pomiarów . . . . .	75
4.3.3	Pytania i zadania kontrolne . . . . .	75
<b>5.</b>	<b>Prostowniki diodowe jednofazowe (<i>Krzysztof Iwan</i>)</b>	<b>77</b>
5.1	Wprowadzenie . . . . .	77
5.2	Rodzaje jednofazowych prostowników diodowych . . . . .	77
5.3	Rola transformatorów w układach prostownikowych . . . . .	79
5.4	Narażenia elementów półprzewodnikowych . . . . .	79
5.5	Podstawowa analiza wybranych układów prostownikowych . . . . .	79
5.5.1	Działanie prostownika jednopulsowego z obciążeniem rezystancyjnym . . . . .	81
5.5.2	Działanie prostownika jednopulsowego z obciążeniem RL . . . . .	84
5.5.3	Działanie prostownika jednopulsowego z obciążeniem RLD . . . . .	85
5.5.4	Działanie prostownika jednopulsowego z obciążeniem RC . . . . .	87
5.5.5	Podsumowanie działania podstawowych układów jednopulsowych. . . . .	88
5.5.6	Działanie prostownika dwupulsowego z obciążeniem rezystancyjnym . . . . .	88
5.5.7	Działanie prostownika dwupulsowego z obciążeniem RL . . . . .	89
5.5.8	Działanie prostownika dwupulsowego z obciążeniem RC . . . . .	91
5.5.9	Działanie prostownika dwupulsowego z obciążeniem RLC . . . . .	93
5.5.10	Uwagi . . . . .	96
5.6	Wyprowadzenia . . . . .	97
5.7	Instrukcja do ćwiczenia laboratoryjnego . . . . .	99
5.7.1	Program ćwiczenia . . . . .	101
5.7.2	Opracowanie wyników pomiarów . . . . .	101
5.7.3	Pytania i zadania kontrolne . . . . .	102

<b>6. Jednofazowe falowniki napięcia (<i>Jarostaw Guziński</i>)</b>	<b>103</b>
6.1 Jednofazowy falownik napięcia . . . . .	104
6.1.1 Sterowanie pracą układu . . . . .	105
6.1.2 Regulacja napięcia wyjściowego falownika jednofazowego . . . . .	107
6.1.3 Czas martwy w falowniku . . . . .	111
6.1.4 Filtry wyjściowe falowników napięcia . . . . .	111
6.1.5 Uwagi . . . . .	112
6.2 Wyprowadzenia . . . . .	114
6.3 Instrukcja do ćwiczenia laboratoryjnego . . . . .	114
6.3.1 Program ćwiczenia . . . . .	119
6.3.2 Opracowanie wyników pomiarów . . . . .	120
6.3.3 Pytania i zadania kontrolne . . . . .	121
<b>7. Układy zasilania bezprzerwowego (UPS) (<i>Jarostaw Łuszcz</i>)</b>	<b>123</b>
7.1 Wprowadzenie . . . . .	123
7.2 Wymagania jakości zasilania urządzeń . . . . .	124
7.3 Podstawowe funkcje i właściwości UPS . . . . .	127
7.4 Parametry znamionowe UPS . . . . .	128
7.5 Klasyfikacja topologii układów UPS . . . . .	128
7.5.1 Klasyfikacja UPS pod względem jakości napięcia wyjściowego . . . . .	129
7.5.2 Układy o gotowości biernej typu „standby” (VFD) . . . . .	131
7.5.3 Układy interaktywne o gotowości aktywnej typu „line interactive”(VI) . . . . .	132
7.5.4 Układ typu „standby-ferro” ze sprzężeniem magnetycznym (VI) . . . . .	132
7.5.5 Układy typu Delta o gotowości „on line” (VI) . . . . .	133
7.5.6 Układy o gotowości aktywno-biernej typu „standby – on line” (VFI) . . . . .	136
7.5.7 Układy z podwójnym przetwarzaniem „true on line” (VFI) . . . . .	137
7.6 Źródła energii stosowane w UPS . . . . .	137
7.7 Podstawowe zasady doboru UPS . . . . .	140
7.8 Badania właściwości układów UPS . . . . .	141
7.8.1 Znornalizowane obciążenia liniowe . . . . .	142
7.8.2 Znornalizowane obciążenia nieliniowe . . . . .	142
7.8.3 Statyczne parametry znamionowe . . . . .	143
7.8.4 Znornalizowane właściwości dynamiczne . . . . .	144
7.9 Metody badań UPS . . . . .	145
7.9.1 Zasady stosowania nieliniowego obciążenia wzorcowego . . . . .	145
7.9.2 Zmiana trybu pracy . . . . .	147
7.9.3 Badania charakterystyk dynamicznych przy obciążeniu liniowym . . . . .	147
7.9.4 Badania charakterystyk wyjściowych przy nieliniowym obciążeniu wzorcowym . . . . .	148
7.9.5 Badanie zdolności magazynowania energii . . . . .	148
7.9.6 Badanie sprawności i współczynnika mocy wejściowej . . . . .	149
7.10 Badania laboratoryjne UPS . . . . .	149
7.10.1 Badania sprawności w różnych trybach pracy . . . . .	149
7.10.2 Badania oscyloskopowe przebiegów wyjściowych w stanach statycznych i dynamicznych . . . . .	150
7.11 Opracowanie wyników . . . . .	152
7.12 Pytania kontrolne . . . . .	152

<b>8. Sterownik prądu przemiennego (<i>Piotr Musznicki</i>)</b>	<b>155</b>
8.1 Wprowadzenie . . . . .	155
8.2 Budowa jednofazowego sterownika przemiennego . . . . .	155
8.3 Sterownik jednofazowy z obciążeniem rezystancyjnym . . . . .	156
8.4 Sterownik jednofazowy z obciążeniem o charakterze rezystancyjno-indukcyjnym . . . . .	159
8.5 Sterownik jednofazowy z obciążeniem indukcyjnym . . . . .	161
8.6 Podsumowanie . . . . .	163
8.7 Instrukcja do ćwiczenia laboratoryjnego: . . . . .	163
8.7.1 Program ćwiczenia . . . . .	164
8.7.2 Opracowanie wyników . . . . .	165
8.7.3 Pytania kontrolne . . . . .	166