

POLITECHNIKA GDAŃSKA

ARKADIUSZ LEWICKI

WYBRANE PROBLEMY
CYFROWEGO STEROWANIA
POŚREDNIMI
PRZEKSZTAŁTNIKAMI
NAPIĘCIA I PRĄDU



GDAŃSK 2013

PRZEWODNICZĄCY KOMITETU REDAKCYJNEGO
WYDAWNICTWA POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Janusz T. Cieśliński

REDAKTOR PUBLIKACJI NAUKOWYCH

Michał Szydłowski

REDAKTOR SERII

Zbigniew Krzemiński

RECENZENCI

Jarostaw Guziński

Jan Iwaszkiewicz

PROJEKT OKŁADKI

Jolanta Cieślawska

Wydano za zgodą
Rektora Politechniki Gdańskiej

Oferta wydawnicza Politechniki Gdańskiej jest dostępna pod adresem
www.pg.gda.pl/wydawnictwo/oferta

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2013

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

ISBN 978-83-7348-463-4

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

Wydanie I. Ark. wyd. 10,3, ark. druku 9,5, 132/724

Druk i oprawa: *EXPOL* P. Rybiński, J. Dąbek, Sp. Jawna
ul. Brzeska 4, 87-800 Włocławek, tel. 54 232 37 23

SPIS TREŚCI

WYKAZ WAŻNIEJSZYCH OZNACZEŃ	5
1. WSTĘP	9
2. CYFROWE STEROWANIE PRZEKSZTAŁTNIKAMI	15
3. MODULACJA SZEROKOŚCI IMPULSÓW – PODSTAWOWE ZALEŻNOŚCI ...	18
3.1. Modulacja szerokości impulsów w dwupoziomowym falowniku napięcia	18
3.2. Modulacja szerokości impulsów w trójpoziomowym falowniku napięcia z diodami poziomującymi	26
3.3. Modulacja szerokości impulsów w falowniku prądu	30
4. PROBLEMY FORMOWANIA WEKTORÓW NAPIĘCIA I PRĄDU W PRZEKSZTAŁTNIKACH ENERGOELEKTRONICZNYCH	38
4.1. Źródła zakłóceń napięcia wyjściowego falownika napięcia	38
4.2. Sterownik mikroprocesorowy	39
4.2.1. Błędy kwantyzacji	39
4.2.2. Opóźnienia związane z próbkowaniem napięć i prądów w przetwornikach analogowo-cyfrowych	41
4.2.3. Dokładność pomiarów prądów i napięć realizowanych za pośrednictwem przetworników analogowo-cyfrowych	42
4.3. Łączniki energoelektroniczne	42
4.3.1. Wpływ czasu martwego na napięcie wyjściowe falownika napięcia	42
4.3.2. Spadki napięcia na przewodzących łącznikach półprzewodnikowych	46
4.3.3. Zjawisko komutacji w falownikach napięcia i prądu	52
5. STRATEGIE STEROWANIA POŚREDNIMI PRZEKSZTAŁTNIKAMI NAPIĘCIA I PRĄDU	58
5.1. Metody ograniczania błędów napięcia wyjściowego falownika napięcia	58
5.2. Kompensacja błędów napięcia poprzez zmianę czasów załączenia tranzystorów	60
5.2.1. Identyfikacja kierunku przepływu prądu fazowego	63
5.2.2. Forsowanie kierunku przepływu prądu fazowego za pomocą dodatkowych wektorów aktywnych	65
5.2.3. Forsowanie kierunku przepływu prądu fazowego przez zmianę kolejności załączania wektorów aktywnych	68
5.2.4. Kompensacja pojemności pasożytniczych łączników półprzewodnikowych	71
5.2.5. Eliminacja krótkich wektorów aktywnych z sekwencji przełączeń	75
5.3. Kompensacja błędów napięcia poprzez zmianę zadanych składowych wektora napięcia wyjściowego	76
5.3.1. Estymacja i kompensacja błędów napięcia z wykorzystaniem dodatkowych pomiarów prądów i napięcia obwodu pośredniczącego	79
5.4. Strategie modulacji szerokości impulsów dla trójpoziomowego falownika napięcia z diodami poziomującymi	86

5.4.1. Metody sterowania trójpoziomym falownikiem napięcia z diodami poziomującymi	86
5.4.2. Formowanie wektora napięcia wyjściowego z wykorzystaniem trzech wektorów aktywnych	88
5.4.3. Strategie symetrycznej modulacji szerokości impulsów	92
5.4.4. Formowanie wektora napięcia wyjściowego z wykorzystaniem wektorów wirtualnych	96
5.4.5. Sterowanie napięciami obwodu pośredniczącego trójpoziomego falownika z diodami poziomującymi	97
5.4.6. Predykcyjne sterowanie napięciem niezrównoważenia falownika trójpoziomowego z diodami poziomującymi	101
5.4.7. Kompensacja błędów napięcia trójpoziomowego falownika z diodami poziomującymi	114
5.5. Strategie sterowania przekształtnikiem prądu	116
5.5.1. Modulacja szerokości impulsów w przekształtniku prądu	116
5.5.2. Napięciowa modulacja szerokości impulsów dla prostownika prądu	117
5.5.3. Sterowanie mocą bierną przekształtnika prądu	122
6. STEROWANIE PRZEKSZTAŁTNIKIEM O WYSOKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI PRZEŁĄCZANIA TRANZYSTORÓW	129
6.1. Łączniki energoelektroniczne z węgla krzemu w topologii przekształtników prądu i napięcia	129
6.2. Formowanie wektorów prądu lub napięcia wyjściowego w przekształtniku o wysokiej częstotliwości przełączania tranzystorów	130
7. PODSUMOWANIE	135
BIBLIOGRAFIA	138
Streszczenie w języku polskim	149
Streszczenie w języku angielskim	151