

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

Vũ Hoàng Phương

**ĐIỀU KHIỂN NGHỊCH LƯU NGUỒN Z ỨNG DỤNG CHO  
HỆ PHÁT ĐIỆN PHÂN TÁN**

Chuyên ngành: Kỹ thuật Điều khiển và Tự động hóa  
Mã số: 62520216

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ ĐIỀU KHIỂN VÀ TỰ ĐỘNG HÓA**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:**

1. TS. Trần Trọng Minh
2. TS. Phạm Quang Đăng

Hà Nội – 2014

---

## LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan rằng các kết quả khoa học được trình bày trong luận án này là thành quả nghiên cứu của bản thân tôi trong suốt thời gian làm nghiên cứu sinh và chưa từng xuất hiện trong công bố của các tác giả khác. Các kết quả đạt được là chính xác và trung thực.

Tác giả luận án

Vũ Hoàng Phương

## LỜI CẢM ƠN

Trước hết, tôi xin bày tỏ tấm lòng cảm ơn sâu sắc đối với sự chỉ dẫn tận tình, cũng như chia sẻ động viên chân thành của tập thể thầy giáo hướng dẫn: TS. Trần Trọng Minh, TS. Phạm Quang Đăng trong suốt quá trình, từ lúc hình thành ý tưởng đến các bước thực hiện cụ thể của đề tài nghiên cứu này.

Qua đây, tôi xin cảm ơn Viện Kỹ thuật Điều khiển và Tự động hóa (trước đây là Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ cao – HITECH), Bộ môn Tự động hóa XNCN – Viện Điện – ĐHBK Hà Nội, đã có những góp ý về nội dung nghiên cứu sâu sắc và tạo mọi điều kiện cho tôi trong suốt quá trình thực hiện luận án. Tôi xin gửi lời cảm ơn đến các thầy cô giáo trong Viện Điện – ĐHBK Hà Nội, với những hướng dẫn và trao đổi rất giá trị về chuyên môn. Tôi cũng xin cảm ơn ban chủ nhiệm và các thành viên thực hiện đề tài cấp nhà nước mã số KC.03.01/11-15, tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tôi trong quá trình thực hiện luận án và thử nghiệm các kết quả nghiên cứu.

Sau cùng, tôi dành những lời yêu thương nhất gửi đến gia đình tôi: bố mẹ, các anh chị em, đặc biệt là vợ và hai con gái. Sự động viên, chia sẻ và giúp đỡ của gia đình, là động lực mạnh mẽ giúp tôi vượt qua mọi khó khăn để hoàn thành luận án này.

## MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN.....	1
LỜI CẢM ƠN.....	2
MỤC LỤC .....	3
DANH MỤC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT .....	6
DANH MỤC BẢNG.....	9
DANH MỤC HÌNH VẼ.....	10
MỞ ĐẦU .....	13
1 TỔNG QUAN.....	16
1.1 Hệ phát điện phân tán tham gia trong mạng điện .....	16
1.2 Vai trò thiết bị biến đổi điện tử công suất cho hệ phát điện phân tán.....	18
1.3 Giới thiệu nghịch lưu nguồn Z .....	19
1.3.1 Cấu trúc mạch lực .....	19
1.3.2 Nguyên lý làm việc nghịch lưu nguồn Z.....	21
1.4 Các công trình nghiên cứu về nghịch lưu nguồn Z và hướng nghiên cứu luận án .....	25
1.4.1 Phương pháp điều chế độ rộng xung.....	25
1.4.2 Cấu trúc điều khiển nghịch lưu nguồn Z .....	26
1.4.3 Ứng dụng nghịch lưu nguồn Z.....	28
1.5 Kết luận.....	30
2 GIẢI PHÁP ĐCVTKG VÀ MÔ HÌNH TOÁN HỌC NGHỊCH LƯU BA PHA NGUỒN Z .....	31
2.1 Phương pháp điều chế vector không gian cho nghịch lưu nguồn Z.....	31
2.1.1 Giải pháp thực hiện điều chế vector không gian .....	31
2.1.2 Phân tích mẫu xung xuất hiện trong điều chế vector không gian .....	34
2.2 Mô hình toán học nghịch lưu nguồn Z .....	38
2.2.1 Mô hình nghịch lưu nguồn Z phía xoay chiều .....	39
2.2.2 Mô hình nghịch lưu nguồn Z phía một chiều với đầu vào nguồn dòng.....	40
2.2.3 Mô hình nghịch lưu nguồn Z phía một chiều với đầu vào nguồn áp.....	43
2.2.4 Điểm cân bằng trong mô hình phía một chiều nghịch lưu nguồn Z .....	45
2.3 Đặc điểm động học không của mô hình nghịch lưu nguồn Z phía một chiều với đầu vào nguồn áp.....	46

2.3.1	Khảo sát với đầu ra dòng điện trung bình chảy qua cuộn cảm ( $L_1 & L_2$ ) .....	46
2.3.2	Khảo sát với đầu ra điện áp trung bình trên tụ ( $C_1 & C_2$ ) .....	48
2.4	Kết luận .....	49
3	THIẾT KẾ CẤU TRÚC ĐIỀU KHIỂN NGHỊCH LƯU NGUỒN Z CHO PIN MẶT TRỜI .....	50
3.1	Điện tử công suất ứng dụng cho hệ phát điện mặt trời .....	50
3.2	Mô hình toán học pin mặt trời .....	52
3.3	Thiết kế cấu trúc điều khiển nghịch lưu nguồn Z nối lưới cho pin mặt trời .....	53
3.3.1	Xác định điểm làm việc có công suất lớn nhất của pin mặt trời .....	54
3.3.2	Mạch vòng điều chỉnh dòng điện phía xoay chiều nghịch lưu nguồn Z .....	58
3.3.3	Mạch vòng điều chỉnh điện áp phía một chiều nghịch lưu nguồn Z .....	59
3.3.3.1	Thiết kế theo phương pháp backstepping .....	59
3.3.3.2	Thiết kế theo phương pháp backstepping thích nghi .....	62
3.3.3.3	Thiết kế theo phương pháp tuyến tính hóa chính xác .....	64
3.4	Kết quả mô phỏng cấu trúc điều khiển nghịch lưu nguồn Z nối lưới cho pin mặt trời .....	66
3.4.1	Tham số mô phỏng .....	66
3.4.2	Kết quả mô phỏng .....	67
3.4.2.1	Kết quả mô phỏng theo phương pháp backstepping .....	68
3.4.2.2	Kết quả mô phỏng theo phương pháp tuyến tính hóa chính xác .....	71
3.5	Kết luận .....	74
4	THIẾT KẾ CẤU TRÚC ĐIỀU KHIỂN NGHỊCH LƯU NGUỒN Z CHO HỆ PHÁT ĐIỆN SỨC GIÓ .....	75
4.1	Điện tử công suất ứng dụng cho hệ phát điện sức gió .....	75
4.2	Công suất turbine gió .....	77
4.3	Thiết kế cấu trúc điều khiển nghịch lưu nguồn Z cho hệ phát điện sức gió .....	78
4.3.1	Tải mạch điện tương đương xác định .....	81
4.3.2	Tải mạch điện tương đương không xác định .....	83
4.4	Kết quả mô phỏng hệ thống điều khiển nghịch lưu nguồn Z cho hệ phát điện sức gió .....	86
4.4.1	Tham số mô phỏng .....	86

4.4.2	Kết quả mô phỏng kiểm chứng khả năng làm việc của phương pháp backstepping thích nghi .....	87
4.4.3	Kết quả mô phỏng trường hợp nối lưới (grid connected).....	89
4.4.4	Kết quả mô phỏng trường hợp độc lập (stand alone) .....	91
4.5	Kết luận.....	92
5	MÔ PHỎNG THỜI GIAN THỰC VÀ THÍ NGHIỆM CẤU TRÚC ĐIỀU KHIỂN NLNZ .....	93
5.1	Cấu trúc hệ thống mô phỏng thời gian thực .....	93
5.2	Chuẩn hóa thuật toán trong cấu trúc điều khiển nghịch lưu nguồn Z.....	95
5.3	Kết quả mô phỏng thời gian thực nghịch lưu nguồn Z nối lưới cho pin mặt trời .....	99
5.3.1	Phương pháp backstepping.....	99
5.3.2	Phương pháp tuyến tính hóa chính xác .....	101
5.4	Kết quả mô phỏng thời gian thực nghịch lưu nguồn Z nối lưới cho sức gió .....	104
5.5	Mô hình thực nghiệm nghịch lưu nguồn Z làm việc độc lập.....	105
5.5.1	Xây dựng mô hình.....	105
5.5.2	Kết quả thực nghiệm.....	106
5.6	Mô hình thực nghiệm nghịch lưu nguồn Z làm việc nối lưới .....	108
5.6.1	Xây dựng mô hình.....	108
5.6.2	Kết quả thực nghiệm.....	109
5.7	Kết luận.....	111
	KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	112
	TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	114
	DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA LUẬN ÁN.....	120
	PHỤ LỤC.....	121

## DANH MỤC KÝ HIỆU VÀ CHỮ VIẾT TẮT

### Các chữ viết tắt

<i>Chữ viết tắt</i>	<i>Ý nghĩa</i>
NLNZ	Nghịch lưu nguồn Z
NLNA	Nghịch lưu nguồn áp
NLND	Nghịch lưu nguồn dòng
ĐCVTKG	Điều chế vector không gian cho nghịch lưu nguồn Z
PLL	Vòng khóa pha (Phase Locked Loop)
DSP	Xử lý tín hiệu số (Digital Signal Processor)
VOC	Điều khiển tựa điện áp lưới (Voltage Oriented Control)
IG	Máy phát không đồng bộ lồng sóc (Squirrel Cage Induction Generator)
SG	Máy phát đồng bộ (Synchronous Generator)
PMSG	Máy phát đồng bộ nam châm vĩnh cửu (Permanent Magnet Synchronous Generator).
DFIG	Máy phát không đồng bộ nguồn kép (Doubly Fed Induction Generator)
ĐC/ĐK	Điều chỉnh/Điều khiển
HSCS	Hệ số công suất
ĐCCS	Điều chỉnh công suất
MPPT	Thuật toán xác định điểm làm việc có công suất lớn nhất (Maximum power point tracking)
PWM	Điều chế độ rộng xung (Pulse Width Modulation)
EMI	Nhiều điện từ (Electromagnetic interference)
UPS	Thiết bị cấp nguồn liên tục (Uninterruptible power supplier)
RHP	Điểm zero nằm bên phải mặt phẳng phức (Right half plane)
PV	Pin mặt trời (Photovoltaics)
FPGA	Field-programmable gate array
MBA	Máy biến áp
ADC	Chuyển đổi tương tự sang số (Analog to Digital Converter)
DAC	Chuyển đổi số sang tương tự (Digital to Analog Converter)
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor

### Các ký hiệu

<i>Ký hiệu</i>	<i>Đơn vị</i>	<i>Ý nghĩa</i>
$p$		Toán tử Laplace
$L_1$ & $L_2$	H	Giá trị điện cảm của mạch trở kháng nguồn Z

$C_1$ & $C_2$	F	Giá trị tụ điện của mạch trở kháng nguồn Z
$u_{dc}, U_{dc}$	V	Giá trị trung bình, xác lập điện áp sơ cấp đặt vào NLNZ
$i_{in}$	A	Dòng điện sơ cấp đặt vào NLNZ
$u_{inv}, \hat{u}_{inv}$	V	Điện áp tức thời, điện áp đỉnh đặt lên nhánh van mạch nghịch lưu
$i_{dc}$	A	Dòng điện trung bình chảy qua diode của nguồn Z
$i_L, I_L$	A	Giá trị trung bình, xác lập dòng điện chảy qua cuộn cảm ( $L_1$ & $L_2$ ) của nguồn Z
$i_L^*$	A	Giá trị đặt dòng điện chảy qua cuộn cảm ( $L_1$ & $L_2$ ) của nguồn Z
$\hat{i}_L^*$	A	Giá trị ước lượng dòng điện đặt chảy qua cuộn cảm ( $L_1$ & $L_2$ ) của nguồn Z
$u_C, U_C$	V	Giá trị trung bình, xác lập điện áp trên tụ ( $C_1$ & $C_2$ ) của nguồn Z
$u_C^*$	V	Lượng đặt điện áp trên tụ ( $C_1$ & $C_2$ ) của nguồn Z
$i_{inv}, I_{inv}$	A	Giá trị trung bình, xác lập dòng điện chảy vào nhánh van mạch nghịch lưu
$i_{load}$	A	Nguồn dòng đại diện tải mạch điện tương đương phía một chiều mạch nghịch lưu
$L_f, L_g$	H	Điện cảm phía mạch nghịch lưu, phía lưới bộ lọc LCL
$R_f$	$\Omega$	Nội trở của cuộn cảm $L_f$
$R_d$	$\Omega$	Điện trở giảm dao động (damping) bộ lọc LCL
$C_f$	F	Tụ điện mạch lọc LCL
$u_s, i_s$	V, A	Vector điện áp, dòng điện đầu ra mạch NLNZ
$i_g$	A	Vector dòng điện phía lưới
$\theta_s$	rad	Góc pha đồng bộ điện áp lưới
$\omega_s$	rad/s	Tần số lưới điện
$e_n$	V	Vector điện áp lưới
$i_{sd}, i_{sq}$	A	Thành phần dòng điện đầu ra NLNZ theo trục d, q của hệ tọa độ tựa điện áp lưới VOC
$I_{gd}, i_{gq}$	A	Thành phần dòng điện phía lưới theo trục d, q của hệ tọa độ tựa điện áp lưới VOC
$d$		Hệ số điều chế “ngắn mạch” của NLNZ ( $0 \leq d < 0,5$ )
$D$		Giá trị xác lập của hệ số điều chế “ngắn mạch” NLNZ
$d_a, d_b, d_c$		Hệ số điều chế mỗi pha của nghịch lưu nguồn áp
$d_{S1} \div d_{S6}$		Hệ số điều chế cho mỗi van bán dẫn NLNZ
$d_1, d_2$		Hệ số điều chế hai vector chuẩn trong mỗi sector
$M_a$		Hệ số điều chế mạch nghịch lưu
$B, G_a$		Hệ số tăng áp, truyền đạt điện áp NLNZ
$u_{pv}, i_{pv}$	V, A	Điện áp, dòng điện đầu ra pin mặt trời
$p_{pv}$	W	Công suất pin mặt trời



$u_{pv}^*$	V	Điện áp được tính toán từ thuật toán xác định điểm làm việc có công suất lớn nhất MPPT
$T$	$^{\circ}\text{C}$	Nhiệt độ môi trường làm việc pin mặt trời
$V_{mp}, I_{mp}$	V, A	Điện áp, dòng điện tại điểm làm việc có công suất lớn nhất trên đường đặc tính i-v pin mặt trời
$G$	$\text{W}/\text{m}^2$	Mật độ ánh sáng môi trường làm việc pin mặt trời
$N_s$		Số lượng cell trên mỗi tấm pin mặt trời
$N_{ss}, N_{pp}$		Số lượng tấm pin mặt trời mắc nối tiếp, song song
$i_{ph}$	A	Dòng điện quang năng
$i_{ph\_n}$	A	Dòng điện quang năng chuẩn hóa tại ( $25^{\circ}\text{C}$ và $1\text{kW}/\text{m}^2$ )
$i_0$	A	Dòng điện bão hòa trong mô hình PV
$i_{0\_n}$	A	Dòng điện bão hòa chuẩn hóa trong mô hình PV
$q$		Điện tích electron ( $=1.6.10^{-19}\text{C}$ )
$k$		Hằng số Boltzmann ( $=1.38.10^{-23}\text{J}/\text{K}$ )
$E_g$		Năng lượng bứt electron ra khỏi bề mặt chất bán dẫn ( $=1.12\text{eV}$ ) trong mô hình PV
$a$		Hằng số phụ thuộc vật liệu của PV ( $a=1,3$ )
$G_n$		Mật độ ánh sáng trong điều kiện chuẩn ( $1\text{kW}/\text{m}^2$ )
$T_n$		Nhiệt độ làm việc PV ở điều kiện tiêu chuẩn ( $25^{\circ}\text{C}$ )
$R_p$	$\Omega$	Điện trở song song, trong mạch điện tương đương mô hình PV
$R_s$	$\Omega$	Điện trở nối tiếp, trong mạch điện tương đương mô hình PV
$v$	m/s	Tốc độ gió
$\omega_t$	rad/s	Tốc độ turbine
$x^{DSP}$		Đại lượng $x$ được cài đặt trên DSP TMS320F2812 (sau khi chuẩn hóa)

## DANH MỤC BẢNG

<b>Bảng 1.1</b>	Tiêu chuẩn IEEE 1547 cho hệ thống PV khi điện áp thay đổi.....	17
<b>Bảng 1.2</b>	Tiêu chuẩn IEEE 1547 cho hệ thống PV khi tần số thay đổi.....	17
<b>Bảng 1.3</b>	Giới hạn thành phần sóng hài dòng điện theo tiêu chuẩn IEEE 1547....	17
<b>Bảng 1.4</b>	So sánh phần tử thụ động của bộ biến đổi có công suất 50kW ứng dụng cho Fuel Cell (nguồn: [10]).....	21
<b>Bảng 2.1</b>	Hệ số điều chế cho mỗi van bán dẫn NLNZ khi cho phép cả ba nhánh van mạch nghịch lưu “ngắn mạch” – mẫu xung $MX_3$ .....	37
<b>Bảng 2.2</b>	Hệ số điều chế cho mỗi van bán dẫn NLNZ khi cho phép hai nhánh van mạch nghịch lưu “ngắn mạch” – mẫu xung $MX_3$ .....	38
<b>Bảng 3.1</b>	Tham số mô phỏng nghịch lưu nguồn Z.....	66
<b>Bảng 3.2</b>	Tham số pin năng lượng mặt trời Shell-SQ160 (nguồn: [61]).....	67
<b>Bảng 3.3</b>	Giá trị $V_{mp}$ và $I_{mp}$ tại của pin mặt trời tại điều kiện làm việc khác nhau	67
<b>Bảng 4.1</b>	Tham số turbine, máy phát PMSG.....	87
<b>Bảng 4.2</b>	Tham số bộ biến đổi NLNZ.....	87
<b>Bảng 5.1</b>	Giao tiếp vật lý giữa Card ds1103 và TMS320F2812.....	93
<b>Bảng 5.2</b>	Giới hạn đại lượng chuẩn hóa theo mạch đo lường.....	95
<b>Bảng 5.3</b>	Tham số thí nghiệm nghịch lưu nguồn Z làm việc độc lập (stand alone).. .....	105
<b>Bảng 5.4</b>	Tham số thí nghiệm nghịch lưu nguồn Z làm việc nối lưới (grid connected).....	108