

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO  
ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN**

---

**NGUYỄN THỊ MAI HƯƠNG**

**SÁCH LƯỢC ĐIỀU KHIỂN NHẪM NÂNG CAO TÍNH  
BỀN VỮNG TRỤ LƯỚI CỦA HỆ THỐNG PHÁT ĐIỆN  
CHẠY SỨC GIÓ SỬ DỤNG MÁY ĐIỆN KHÔNG ĐỒNG  
BỘ NGUỒN KÉP**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. GS. TSKH. Nguyễn Phùng Quang
2. PGS. TS. Nguyễn Như Hiến

*Thái nguyên năm 2012*

## LỜI CAM ĐOAN

Tên tôi là: Nguyễn Thị Mai Hương

Nơi công tác: Phòng Quản lý Đào tạo Sau đại học, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên.

Tên đề tài: Sách lược điều khiển nhằm nâng cao tính bền vững trụ lưới của hệ thống phát điện chạy sức gió sử dụng máy phát không đồng bộ nguồn kép.

Chuyên ngành: Tự động hóa.

Mã số: 62526001

Tôi xin cam đoan, đây là luận án của riêng tôi. Ngoài các tài liệu tham khảo đã được trích dẫn, các kết quả mới trình bày trong luận án là do tôi phát triển, và chưa từng được công bố trong bất kỳ một tài liệu nào.

*Thái Nguyên, ngày 25 tháng 09 năm 2012*

Người viết

***Nguyễn Thị Mai Hương***

## LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin chân thành cảm ơn GS. TSKH. Nguyễn Phùng Quang – Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội đã tận tình hướng dẫn và khích lệ tác giả hoàn thành bản luận án này.

Tác giả xin chân thành cảm ơn PGS. TS. Nguyễn Như Hiến – Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp đã tận tình hướng dẫn và tạo mọi điều kiện để tác giả hoàn thành luận án.

Tác giả cũng xin được cảm ơn các thầy giáo, cô giáo, các anh chị tại Khoa Điện - Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp và Trung tâm Công nghệ cao- trường Đại học Bách Khoa Hà Nội đã tạo điều kiện về thời gian và cơ sở vật chất để tác giả thực hiện thành công luận án.

## MỤC LỤC

Trang phụ bìa .....	i
Lời cam đoan.....	ii
Lời cảm ơn .....	iii
Mục lục.....	iv
Danh mục các thuật ngữ, ký hiệu và từ viết tắt.....	vii
Danh mục các hình vẽ, đồ thị .....	x
Danh mục bảng .....	xiii
MỞ ĐẦU.....	1
NỘI DUNG	
<b>Chương 1. Tổng quan</b> .....	6
1.1 Khái quát về năng lượng gió .....	6
1.2 Hệ thống phát điện sức gió sử dụng máy điện không đồng bộ nguồn kép và các phương pháp điều khiển .....	8
1.2.1 Công suất của tuốc bin gió.....	9
1.2.2 Điều khiển tuốc bin gió.....	9
1.2.3 Điều khiển hệ thống máy phát nguồn kép.....	11
1.3 Yêu cầu điều khiển trụ lưới.....	12
1.3.1 Các sự cố và các yếu tố gây ảnh hưởng tới chất lượng vận hành của lưới.....	12
1.3.2 Yêu cầu trụ lưới.....	13
1.3.3 Các phương pháp điều khiển trụ lưới.....	14
<b>Chương 2. Mô hình và cấu trúc điều khiển hệ thống phát điện sức gió sử dụng MPKĐBNK</b> .....	17
2.1 Phép biến đổi hệ tọa độ .....	17
2.2 Mô hình máy điện không đồng bộ nguồn kép .....	18

2.3	Mô hình phía lưới.....	21
2.4	Điều khiển phía máy phát .....	23
2.4.1	Cấu trúc điều khiển .....	23
2.4.2	Thiết kế hệ thống điều khiển phía máy phát .....	26
2.4.3	Hòa đồng bộ với lưới .....	29
2.5	Điều khiển phía lưới.....	30
2.5.1	Cấu trúc điều khiển .....	30
2.5.2	Thiết kế hệ thống điều khiển.....	32
<b>Chương 3.</b>	<b>Thiết kế hệ thống điều khiển trụ lưới.....</b>	<b>38</b>
3.1	Một số khái niệm về các trạng thái làm việc không bình thường của lưới điện .....	38
3.2	Động học MPKĐBNK khi lỗi lưới .....	39
3.2.1	Động học MPKĐBNK khi lỗi lưới hoàn toàn .....	39
3.2.2	Động học MPKĐBNK khi lỗi lưới một phần .....	41
3.3	Sách lược điều khiển trụ lưới .....	42
3.3.1	Đề xuất sách lược điều khiển trụ lưới .....	42
3.3.2	Điều khiển bộ biến đổi phía rotor khi xảy ra lỗi lưới.....	42
3.4	Tích hợp chức năng lọc tích cực vào hệ thống điều khiển phía lưới .....	43
3.4.1	Tính toán các vector điện áp và dòng điện khi không có thành phần bậc zero.....	43
3.4.2	Phân tích công suất tức thời theo các thành phần Clarke .....	44
3.4.3	Lọc tích cực trên cơ sở bù công suất tức thời .....	45
3.4.4	Thiết kế bổ sung chức năng lọc tích cực cho hệ thống điều khiển phía lưới.....	47
3.5	Trụ lưới không đối xứng sử dụng bộ điều khiển với thành phần đối xứng ...	49
3.5.1	Biến đổi Park của hệ thống ba pha không đối xứng .....	49
3.5.2	Xác định các thành phần đối xứng theo phương pháp công suất tức thời .....	53
3.5.3	Xác định các thành phần đối xứng sử dụng bộ lọc đa biến .....	59

3.5.4	Thiết kế bộ điều khiển với thành phần đối xứng .....	63
3.6	Cấu trúc điều khiển của toàn bộ hệ thống .....	66
<b>Chương 4. Kết quả mô phỏng</b> .....		<b>70</b>
4.1	Các sơ đồ mô phỏng.....	70
4.2	Kết quả mô phỏng với lọc tích cực .....	76
4.2.1	Tải phi tuyến trong chế độ làm việc bình thường .....	76
4.2.2	Tải phi tuyến và lọc tích cực .....	78
4.3	Các kết quả mô phỏng khi lỗi lưới.....	81
4.3.1	Các kết quả mô phỏng khi lỗi lưới không có bảo vệ .....	81
4.3.2	Các kết quả mô phỏng khi lỗi lưới có bảo vệ bằng BNQĐA .....	83
4.3.3	Kết quả mô phỏng khi có bộ điều khiển tổng hợp đối xứng.....	85
4.4	So sánh các khả năng cân bằng dòng lưới khi lỗi lưới không đối xứng .....	87
<b>KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ</b> .....		<b>89</b>
<b>DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CÓ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN</b> .....		<b>91</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b> .....		<b>92</b>

## DANH MỤC CÁC THUẬT NGỮ, KÝ HIỆU VÀ TỪ VIẾT TẮT

STT	Ký hiệu	Ý nghĩa	Đơn vị
1	$P_{tb}$	Công suất của turbin gió	KW
2	$\rho_{tb}$	Mật độ không khí	Kg/m <sup>3</sup>
3	$R_{cg}$	Bán kính của cánh gió	m
4	$v_{gm}$	Tốc độ gió phía trước cánh gió	(m/s)
5	$C_{tb}$	Hệ số phụ thuộc vào cấu trúc hình học của turbin gió	
6	$\theta_p$	Góc xoay của cánh gió	
7	$\omega_{tb}$	Tốc độ góc của turbin	rad/s
8	$\lambda_{tb}$	Hệ số phụ thuộc vào tốc độ góc của turbin và tốc độ gió	
9	$\omega_s$	Vận tốc góc mạch stator	rad/s
10	$\omega_r$	Vận tốc góc mạch rotor	rad/s
11	$\omega_m$	Vận tốc góc cơ của rotor	rad/s
12	$\omega_n$	Vận tốc góc của mạch lưới	rad/s
13	$\mathbf{i}_n$	Véc tơ dòng điện lưới	
14	$\mathbf{i}_c$	Véc tơ dòng điện bộ biến đổi phía lưới	
15	$\mathbf{i}_s$	Véc tơ dòng điện stator máy phát	
16	$\mathbf{i}_r$	Véc tơ dòng điện rotor máy phát	
17	$\mathbf{i}_f$	Véc tơ dòng điện chạy qua nhánh song song của bộ lọc	
18	$i_{rd}$	Thành phần d của dòng điện rotor	
19	$i_{rq}$	Thành phần q của dòng điện rotor	

20	$i_{sd}$	Thành phần d của dòng điện sator	
21	$i_{sq}$	Thành phần q của dòng điện sator	
22	$i_{nd}$	Thành phần d của dòng điện lưới	
23	$i_{nq}$	Thành phần q của dòng điện lưới	
24	$i_{cd}$	Thành phần d của dòng điện bộ biến đổi phía lưới	
25	$i_{cq}$	Thành phần q của dòng điện bộ biến đổi phía lưới	
26	$i_{fd}$	Thành phần d của dòng điện qua nhánh song song của bộ lọc	
27	$i_{fq}$	Thành phần q của dòng điện qua nhánh song song của bộ lọc	
28	$\mathbf{u}_n$	Véc tơ điện áp lưới	
29	$\mathbf{u}_c$	Véc tơ điện áp bộ biến đổi phía lưới	
30	$\mathbf{u}_s^s$	Véc tơ điện áp stator trên hệ trục tọa độ sator	
31	$\mathbf{u}_r^r$	Véc tơ điện áp rotor trên hệ trục tọa độ rotor	
32	$\mathbf{u}_s$	Véc tơ điện áp stator trên hệ trục tọa độ dq	
33	$\mathbf{u}_r$	Véc tơ điện áp rotor trên hệ trục tọa độ dq	
34	$\mathbf{u}_{r0}$	Điện áp rotor khi hở mạch	
35	$\mathbf{u}_{sct}, \mathbf{u}_{sft}$	Thành phần thứ tự thuận của điện áp lưới trên hệ trục tọa độ $\alpha\beta$	
36	$\mathbf{u}_{scn}, \mathbf{u}_{sfn}$	Thành phần thứ tự ngược của điện áp lưới trên hệ trục tọa độ $\alpha\beta$	
37	$\mathbf{u}_{sdt}, \mathbf{u}_{sqt}$	Thành phần thứ tự thuận của điện áp lưới trên hệ trục tọa độ dq	
38	$\mathbf{u}_{sdn}, \mathbf{u}_{sqn}$	Thành phần thứ tự ngược của điện áp lưới trên hệ trục tọa độ dq	



39	$u_{rd}, u_{rq}$	Các thành phần điện áp rotor trong hệ tọa độ dq	
40	$u_{sd}, u_{sq}$	Các thành phần điện áp stator trong hệ tọa độ dq	
41	$u_{nd}, u_{nq}$	Các thành phần điện áp lưới trong hệ tọa độ dq	
42	$u_{cd}, u_{cq}$	Các thành phần điện áp bộ biến đổi phía lưới trong hệ tọa độ dq	
43	$J$	Mô men quán tính	$Kgm^2$
44	$L_m$	Điện cảm hỗ cảm giữa stator và rotor	H
45	$L_s = L_m + L_{\sigma s}$	Điện cảm stator	H
46	$L_r = L_m + L_{\sigma r}$	Điện cảm rotor	H
47	$L_{\sigma s}$	Điện cảm tản phía stator	H
48	$L_{\sigma r}$	Điện cảm tản phía rotor	H
49	$R_s$	Điện trở stato	$\Omega$
50	$R_r$	Điện trở rotor	$\Omega$
51	PKĐBNK	Máy phát không đồng bộ nguồn kép	
52	BBĐPMP	Bộ biến đổi phía máy phát	
53	BBĐPL	Bộ biến đổi phía lưới	
54	PBC	Passivity - Based Control	
55	EL	Euler - Lagrange	
56	THĐX	Tổng hợp đối xứng	
57	BNQĐA	Bộ ngắt quá điện áp	
58	TTGTĐ	Tính toán giá trị đặt	
59	PLL	Phase-locked Loop	
60	LL	Lỗi lưới	

## DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

Kí hiệu	Nội dung hình vẽ, đồ thị	Trang
1.1	Các loại máy phát điện được sử dụng trong hệ thống phát điện sức gió	6
1.2	Các chế độ vận hành của MPKĐBNK và dòng chảy năng lượng tương ứng. (a) các chế độ vận hành, (b) dòng chảy năng lượng ở chế độ dưới đồng bộ, (c) dòng chảy năng lượng ở chế độ trên đồng bộ	7
1.3	Hệ thống máy phát sức gió	8
1.4	Các vùng làm việc của một tuốc bin gió (nét đậm: đặc tính công suất tối ưu của hệ thống)	10
1.5	Các phương pháp điều khiển MPKĐBNK	12
1.6	Các sách lược trụ lưới	16
2.1	Biến đổi các hệ trục tọa độ	18
2.2	Mạch điện phía lưới (a) và mô hình phía lưới (b)	22
2.3	Sơ đồ khối điều khiển phía máy phát	24
2.4	Cấu trúc điều khiển kinh điển phía máy phát	25
2.5	Sơ đồ khối điều khiển phía lưới	31
2.6	Cấu trúc điều khiển phía lưới	32
2.7	Bù điện áp lưới	35
2.8	Bộ biến đổi phía lưới với bộ điều khiển deadbeat	36
3.1	Cấu trúc điều khiển phía máy phát	42
3.2	Các vector dòng áp trong hệ trục tọa độ $\alpha\beta$	44
3.3	Bộ lọc tích cực song song	45
3.4	Bộ lọc tích cực ba pha ba dây bù dòng	46
3.5	Công suất tác dụng trên tải	47
3.6	Nguyên lý bộ lọc tích cực bù thành phần công suất không đổi trúc điều khiển bộ biến đổi phía lưới	48
3.7	Nguyên lý chức năng lọc tích cực sẽ được tích hợp bổ sung vào	48