

การออกแบบตัวควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้ารวมโดยใช้ฟuzzyลอจิก

เชวศักดิ์ รักเป็นไทย

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
มีนาคม 2546

การออกแบบตัวควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้ารวมโดยใช้ฟuzzyลอจิก

เชวศักดิ์ รักเป็นไทย

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ เอื้อตรงจิตต์

..... กรรมการ

รองศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ ทายะติ

..... กรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิชัย เปรมฤดีปรีชาชาญ

..... กรรมการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชชัย แสงอุดม

20 มีนาคม 2546

© ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ เอื้อตรงจิตต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ความช่วยเหลือ และตรวจแก้ไขจนวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ ทายะดี ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิชัย เปรมฤดีปรีชาชาญ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชชัย แสงอุดม ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำเป็นอย่างดีตลอดมา

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์จิรศักดิ์ วัฒนาเดชาพันธ์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการจัดซื้อการ์ด PCI-1710

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้ความรัก ความเข้าใจ และกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

ขอขอบคุณ มูลนิธิเซล 100 ปี ที่ให้เงินทุนสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ หากมีสิ่งขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่องและความผิดพลาดนั้น และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วิทยานิพนธ์นี้คงมีประโยชน์ต่อผู้สนใจบ้างไม่มากนักน้อย

เชวศักดิ์ รักเป็นไทย

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์

การออกแบบตัวควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้ารวม
โดยใช้ฟuzzyลอจิก

ชื่อผู้เขียน

นายเชวศักดิ์ รักเป็นไทย

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ผศ. ดร. เสริมศักดิ์

เอื้อตรงจิตต์

ประธานกรรมการ

รศ. ดร. วรวิทย์

ทายะดิ

กรรมการ

ผศ. ดร. สุทธิชัย

เปรมฤดีปรีชาชาญ

กรรมการ

ผศ. ดร. รัชชัยแสงอุดม

กรรมการ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอตัวควบคุมฟuzzyลอจิก เพื่อปรับปรุงสมรรถนะด้านพลวัตของตัวควบคุมการไหลกำลังไฟฟ้ารวม (UPFC) ในโหมดควบคุมกำลังไฟฟ้า โดยตัวควบคุมฟuzzyลอจิกที่นำเสนอมีสี่ตัวควบคุม สำหรับควบคุมแรงดันบังคับด้านส่ง แหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเชื่อมโยงกำลังจริง และกำลังรีแอกทีฟที่ไหลในสายส่ง กฎทางฟuzzyได้จากการสังเกตพฤติกรรมระบบ และประสบการณ์ของผู้ออกแบบ

การจำลองสมรรถนะด้านพลวัตของ UPFC ที่ใช้ตัวควบคุมฟuzzyลอจิก เปรียบเทียบกับตัวควบคุมฟuzzyลอจิก ภายใต้สภาวะการทำงานที่เหมือนกัน ผลการจำลองชี้ให้เห็นว่าตัวควบคุมฟuzzyลอจิกให้สมรรถนะด้านพลวัตที่ดีกว่า และมีความทนทานสูงกว่าตัวควบคุมฟuzzyลอจิก

วงจรกำลัง และวงจรควบคุม สำหรับ UPFC ต้นแบบ ขนาดพิกัด 1 กิโลโวลต์แอมแปร์ ถูกออกแบบและติดตั้ง อย่างไรก็ตามเนื่องจากมีปัญหาในการซิงโครไนซ์ความถี่ จึงแทนคอนเวอร์เตอร์ขนานด้วยวงจรเรียงกระแสที่เป็นไดโอดสามเฟส ผลการทดสอบได้แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของตัวควบคุมฟuzzyลอจิกที่นำเสนอ

Thesis Title Design of a Unified Power Flow Controller Using Fuzzy Logic

Author Mr. Chawasak Rakpenthai

M. Eng. Electrical Engineering

Examining Committee

Asst. Prof. Dr. Sermsak Uatrongjit	Chairman
Assoc. Prof. Dr. Worawit Tayati	Member
Asst. Prof. Dr. Suttichai Premrudeepreechacharn	Member
Asst. Prof. Dr. Ratchai Saeng-udom	Member

ABSTRACT

In this thesis, a fuzzy logic controller for improving the dynamic performance of a Unified Power Flow Controller (UPFC) is presented. The proposed UPFC controller consists of four controllers for controlling input line voltage, dc-link voltage, real and reactive power flow in transmission line system. The fuzzy rule-base is obtained by inspecting system's behavior and from human experience.

Numerical simulations have been performed to compare the dynamic performance of UPFC fuzzy controller with conventional PI controllers. The simulation results indicate that the proposed fuzzy logic UPFC controller yield better the dynamic performances and has more robustness than those obtained from conventional PI controllers.

The prototype of the power and control circuit of 1-kVA UPFC is designed and implemented. However due to the problem of frequency synchronization, the shunt converter has been replaced by a three-phase diode rectifier. The experimental results also indicate the effectiveness of the proposed fuzzy UPFC controller.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 แนวทางการแก้ปัญหา	2
1.3 สรุปสาระสำคัญจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
1.5 ขอบเขตการวิจัย	5
1.6 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัยเชิงทฤษฎี และ/หรือเชิงประยุกต์	5
บทที่ 2 แบบจำลอง UPFC	7
2.1 แบบจำลอง UPFC ในโดเมนความถี่	7
2.2 แบบจำลอง UPFC ในโดเมนเวลา	9
2.2.1 วงจรอินพุต	10
2.2.2 วงจรเอาต์พุต	12
2.2.3 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเชื่อมโยง	13
2.2.4 วงจรสายส่ง	14
2.2.5 การควบคุมกำลังจริงและกำลังรีแอกทีฟในสายส่ง	14
2.2.6 การควบคุมแรงดันบัสด้านส่งและแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเชื่อมโยง	15
2.2.7 การเชื่อมต่อ UPFC กับแหล่งจ่ายไฟฟ้า	16
บทที่ 3 การออกแบบตัวควบคุมฟิโอะและตัวควบคุมพีซีลอจิก	18

3.1	การออกแบบตัวควบคุมพีไอและพีไอไอ	18
3.1.1	การออกแบบตัวควบคุมพีไอ	20
3.1.2	การออกแบบตัวควบคุมพีไอไอ	21
3.2	การออกแบบตัวควบคุมพีซีลอจิก	22
3.2.1	โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมพีซีลอจิก	23
3.2.2	การออกแบบฟังก์ชันสมาชิกและกฎพื้นฐานทางพีซี	26
บทที่ 4	ผลการจำลอง UPFC บนเครื่องคอมพิวเตอร์	30
4.1	ผลการจำลอง UPFC	30
4.2	สรุปผลการจำลอง	40
บทที่ 5	การออกแบบวงจร UPFC	41
5.1	วงจรกำลัง	41
5.2	วงจรควบคุม	43
5.2.1	วงจรวัดสัญญาณ	43
5.2.2	วงจรประวิงเวลา	44
5.2.3	วงจรป้องกันกระแสเกิน	44
5.3.4	วงจรขับเคลื่อนของ IGBT	45
5.4	ซอฟต์แวร์สำหรับควบคุม	48
5.4.1	โปรแกรมหลัก	49
5.4.2	โปรแกรมขัดจังหวะ	49
บทที่ 6	ผลการทดสอบวงจร UPFC	53
6.1	ผลการทดสอบ	53
6.2	สรุปผลการทดสอบ	66
บทที่ 7	สรุป ปัญหา และ ข้อเสนอแนะ	67
7.1	สรุปผลงาน	67
7.2	ปัญหา และ ข้อเสนอแนะ	68
ภาคผนวก ก	การใช้โปรแกรมจำลอง UPFC	70
ภาคผนวก ข	การมอดูเลตความกว้างพัลส์แบบสเปสเวกเตอร์	72
เอกสารอ้างอิง		77
ประวัติผู้เขียน		80

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 กฎพื้นฐานของตัวควบคุมแรงดันบั๊ต และแรงดันแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเชื่อมโยง	28
3.2 กฎพื้นฐานของตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ	28
4.1 ตัวแปรที่ใช้จำลองระบบ	31
4.2 ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอ	31
4.3 ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมพีไอไอ	32
4.4 ค่าอัตราขยายของตัวควบคุมพีซีลอจิก	32
6.1 อัตราขยายที่ใช้ทดสอบของตัวควบคุมพีไอ	54
6.2 อัตราขยายที่ใช้ทดสอบของตัวควบคุมพีไอไอ	54
6.3 อัตราขยายที่ใช้ทดสอบของตัวควบคุมพีซีลอจิก	55
6.4 ข้อมูลผลการทดสอบ	65
6.5 สรุปผลการวิเคราะห์	66
ข.1 สถานะการสวิตช์โดยหลักวิธีสเปสเวกเตอร์	74

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 โครงสร้างของ UPFC	2
1.2 บล็อกไดอะแกรมการควบคุม UPFC โดยใช้พีชชีลอจิก	3
2.1 วงจรสมมูลอย่างง่ายของระบบไฟฟ้ากำลังที่ติดตั้ง UPFC	7
2.2 เฟสเซอร์การควบคุมแบบอนุกรมในสายส่ง	8
2.3 วงจรสมมูลอย่างง่ายของระบบ UPFC และสายส่ง	9
2.4 วงจรสมมูลอย่างง่ายของ UPFC ที่ติดตั้งในระบบไฟฟ้ากำลัง	16
3.1 โบลไดอะแกรมของสายส่ง	19
3.2 โครงสร้างตัวควบคุมพีไอ	19
3.3 โครงสร้างตัวควบคุมพีชชีลอจิก	20
3.4 โครงสร้างตัวควบคุมพีไอไอ	20
3.5 โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมพีชชีลอจิก	23
3.6 ฟังก์ชันสมาชิกตัวควบคุมแรงดันบัส และแรงดันแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเชื่อมโยง	27
3.7 ฟังก์ชันสมาชิกของตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ	27
3.8 พื้นผิวผลตอบแทนของตัวควบคุมแรงดันบัส และแรงดันแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเชื่อมโยง	28
3.9 พื้นผิวผลตอบแทนของตัวควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ	29
4.1 วงจรสมมูลของระบบที่ใช้จำลอง	31
4.2 ผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าจากการจำลองในเงื่อนไขกำลังจริงถูกเปลี่ยนแบบขั้น	33
4.3 ผลตอบสนองของแรงดันจากการจำลองในเงื่อนไขกำลังจริงถูกเปลี่ยนแบบขั้น	34
4.4 ผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าจากการจำลองในเงื่อนไขกำลังรีแอกทีฟถูกเปลี่ยนแบบขั้น	35
4.5 ผลตอบสนองของแรงดันจากการจำลองในเงื่อนไขกำลังรีแอกทีฟถูกเปลี่ยนแบบขั้น	36
4.6 ผลตอบสนองของกำลังไฟฟ้าจากการจำลองในเงื่อนไขค่าตัวแปรสายส่ง เพิ่มขึ้น 100 เปอร์เซ็นต์ และกำลังจริงถูกเปลี่ยนแบบขั้น	37

4.7	ผลตอบสนองของแรงดันจากการจำลองในเงื่อนไขค่าตัวแปรสายส่งเพิ่มขึ้น 100 เปอร์เซ็นต์ และกำลังรีแอกทีฟถูกเปลี่ยนแบบขั้น	38
5.1	วงจรกำลัง UPFC ที่ใช้ทดสอบ	42
5.2	บล็อกไดอะแกรมของการควบคุม	43
5.3	วงจรวัดสัญญาณของแรงดันแต่ละเฟสและแรงดันของแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเชื่อมโยง	44
5.4	วงจรตรวจจับกระแสแต่ละเฟส	44
5.5	วงจรประวิงเวลา	45
5.6	วงจรป้องกันกระแสเกิน	46
5.7	วงจรขั้วขาเกตของ IGBT	47
5.8	การควบคุมวงจรกำลัง UPFC	48
5.9	ผังการไหลของโปรแกรมหลัก	50
5.10	ผังการไหลของโปรแกรมขัดจังหวะ	51
5.11	วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ทดสอบ	51
5.12	วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ทดสอบ (ต่อ)	52
5.13	วงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่ใช้ทดสอบ (ต่อ)	52
6.1	ผลตอบสนองจากการทดสอบเงื่อนไขที่ 1	57
6.2	ผลตอบสนองจากการทดสอบเงื่อนไขที่ 2	58
6.3	ผลตอบสนองจากการทดสอบเงื่อนไขที่ 3	59
6.4	ผลตอบสนองจากการทดสอบเงื่อนไขที่ 4	60
6.5	เวลาในการลู่เข้า	62
6.6	ค่ายอดสัมบูรณ์ของกำลังไฟฟ้าจากการทดสอบเงื่อนไขที่ 1 และ 3	62
6.7	ค่ายอดสัมบูรณ์ของกำลังไฟฟ้าจากการทดสอบเงื่อนไขที่ 2 และ 4	63
6.8	ส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ยจากการทดสอบเงื่อนไขที่ 1 และ 3	64
6.9	ส่วนเบี่ยงเบนสัมบูรณ์เฉลี่ยจากการทดสอบเงื่อนไขที่ 2 และ 4	64
ข.1	อินเวอร์เตอร์จ่ายแรงดันแบบสามเฟส	73
ข.2	แรงดันเอาต์พุตโดยหลักวิธีสเปสเวกเตอร์	73
ข.3	เวกเตอร์แสดงการหาเวลาในการสวิตช์	75
ข.4	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาในการสวิตช์กับมุม γ	76