# สารบาญ

| | หน้า |
|---|---|
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| สารบาญ | ฉ |
| สารบาญตาราง | ฌ |
| สารบาญภาพ | ญ |
| บทที่ 1 บทนำ | |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย | 2 |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย | 2 |
| 1.5 สรุปสาระสำคัญของเอกสารที่เกี่ยวข้อง | 2 |
| บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง | |
| 2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส | 5 |
| 2.1.1 พื้นฐานเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส | 5 |
| 2.1.2 โครงสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส | 5 |
| 2.1.3 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส | 7 |
| 2.1.4 อุปกรณ์ควบคุมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส | 9 |
| 2.2 ตัวชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแบบสถิต | 11 |
| 2.3 ระบบเอชวีดีซี | 12 |
| 2.3.1 พื้นฐานเกี่ยวกับเอชวีดีซี | 12 |
| 2.3.2 ชนิดเชื่อมต่อระบบเอชวีดีซี | 15 |
| 2.3.3 การควบคุมระบบเอชวีดีซี | 17 |
| 2.4 ความแข็งแรงของระบบ | 20 |
| 2.4.1 ค่าESCR | 21 |

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 3 การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าเมื่อมีการเชื่อมต่อกับระบบ HVDC
3.1 แบบจำลองของระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับระบบ HVDC 22
3.1.1 แบบจำลองในสภาวะคงตัว 23
3.1.2 แบบจำลองในสภาวะพลวัต 28
3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ 34
3.3 โปรแกรม DIgSILENT *Power Factory* 36
3.4 ขั้นตอนการทำงานเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับระบบ HVDC ด้วยโปรแกรม DIgSILENT *Power Factory* 36
3.5 ตัวอย่างการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับระบบ HVDC ด้วยโปรแกรม DIgSILENT *Power Factory* 36
บทที่ 4 ระบบที่ใช้เป็นกรณีศึกษา
4.1 ลักษณะทั่วไปของระบบไฟฟ้าภาคใต้ของประเทศไทยที่มีการเชื่อมต่อกับระบบเอชวีดีซี 44
4.2 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัสในระบบ 46
4.2.1 พารามิเตอร์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส 46
4.2.2 พารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 47
4.2.3 ระบบควบคุมในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 47
4.3 ข้อมูลตัวชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในระบบ (Static Var Compensator : SVC) 52
4.4 ข้อมูลสายส่งของระบบ 53
4.5 ข้อมูลแหล่งจ่ายไฟ 54
4.6 ข้อมูลโหลด 54
4.7 ข้อมูลระบบ HVDC 55
4.7.1 หม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ (Converter Tranformer) 55
4.7.2 รีแอกเตอร์ราบเรียบ (Smoothing Reactor) 56
4.7.3 สายส่งกระแสตรง ( DC Transmission Line) 56
4.7.4 ไทริสเตอร์วาล์ว (Thyristor Valve) 56
4.7.5 ตัวกรอง AC (AC Filter) 57
4.7.6 ระบบควบคุมในวงจร HVDC 57

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 5 การศึกษาผลจากการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าในระบบ HVDC
5.1 กรณีที่ค่ากลังไฟฟ้าในระบบ HVDC ไหลจากประเทศไทยไปประเทศมาเลเซีย 59
5.1.1 การทดสอบขนาดของการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ HVDC 73
5.1.2 การทดสอบเพิ่มความแข็งแรงของระบบ 74
5.1.3 การทดสอบผลตอบสนองของระบบควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 75
5.2 กรณีที่ระบบ HVDC เปลี่ยนทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้า 82
5.3 การใช้ระบบ HVDC เพื่อช่วยแก้ปัญหาเสถียรภาพในระบบไฟฟ้า 88
5.4 ผลของการติดตั้งตัวควบคุมเสถียรภาพระบบและตัวชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแบบสถิต 95
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ
6.1 โปรแกรมวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมโยงกับระบบ HVDC 102
6.2 ผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมโยงกับระบบ HVDC 102
6.3 ข้อเสนอแนะ 104
เอกสารอ้างอิง 105
ประวัติผู้เขียน 107

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

## สารบาญตาราง

ตาราง หน้า


4.1 ค่าพารามิเตอร์ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 46

4.2 พารามิเตอร์หม้อแปลงไฟฟ้าที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบ 47

4.3 ค่าพารามิเตอร์ในตัว AVR ชนิด IEEE AC2 48

4.4 ค่าพารามิเตอร์ในตัวบังคับสำหรับกังหันไอน้ำ 49

4.5 ค่าพารามิเตอร์ในตัวบังคับสำหรับกังหันน้ำ 50

4.6 ค่าพารามิเตอร์ในตัวบังคับสำหรับกังหันก๊าซ 51

4.7 ค่าพารามิเตอร์ในตัว SVC และหม้อแปลงที่ต่อกับ SVC 52

4.8 ค่าพารามิเตอร์ในตัวควบคุมสำหรับตัว SVC 53

4.9 ค่าพารามิเตอร์ในสายส่งแต่ละช่วง 54

4.10 ค่าอิมพีแดนซ์ลัดวงจรและค่ากระแสลัดวงจร 54

4.11 ข้อมูลโหลดในระบบเมื่อเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ 55

5.1 การจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว 60

5.2 ข้อมูลโหลดในแต่ละบัส 60

5.3 แรงดันที่บัสต่างๆในระบบ 64

5.4 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆใน เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 64

5.5 ค่าพารามิเตอร์ใหม่ของตัวบังคับในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า KN_1 และ KN_3 (กังหันไอน้ำ) 77

5.6 ค่าพารามิเตอร์ใหม่ของตัวบังคับในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า RPB (กังหันน้ำ) 78

5.7 ค่าพารามิเตอร์ใหม่ของตัวบังคับในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า KN_2 และ SRT (กังหันก๊าซ) 78

5.8 แรงดันที่บัสต่างๆ ภายหลังมีการเปลี่ยนทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ HVDC 87

5.9 ข้อมูลโหลดในแต่ละบัส 88

5.10 แรงดันที่บัสต่างๆในระบบ 89

5.11 แรงดันที่บัสต่างๆในระบบ เปรียบเทียบกรณีไม่มี กับ มีระบบ HVDC จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้ามาช่วย 94


ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

## สารบาญภาพ

รูป หน้า

2.1 วงจรสเตเตอร์และโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโครนัส 6
2.2 วงจรสมมูลแกน d 7
2.3 วงจรสมมูลแกน q 7
2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซิงโคนัสกังหันไอน้ำ พร้อมอุปกรณ์ควบคุม 10
2.5 รูปแบบการควบคุมของตัว AVR 11
2.6 วงจรทั่วไปของอุปกรณ์ SVC 11
2.7 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ SVC ในระนาบ U – Q 12
2.8 การทำงานของตัวเหนี่ยวนำชนิดปรับค่าได้ ในวงจรของ SVC 12
2.9 วงจรระบบ HVDC พร้อมรูปคลื่นแรงดันและกระแส 13
2.10 ระบบ HVDC แบบ 12 พัลส์ พร้อมรูปคลื่นแรงดัน DC และกระแส AC 15
2.11 การเชื่อมต่อแบบโมโนโพลาร์ 16
2.12 การเชื่อมต่อแบบไบโพลาร์ 16
2.13 การเชื่อมต่อแบบโฮโมโพลาร์ 17
2.14 ระบบ HVDC เพื่อแสดงการควบคุม 17
2.15 กราฟแรงดัน – กระแส แสดงการควบคุมของระบบ HVDC 18
2.16 กราฟแรงดัน – กระแส แสดงการควบคุมของระบบ HVDC ในทางปฏิบัติ 19
2.17 ลักษณะการควบคุมของคอนเวอร์เตอร์ที่สามารถเป็นทั้งเรกติไฟเออร์และอินเวอร์เตอร์ 20
3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับระบบHVDC 22
3.2 การทำงานของระบบ DC 23
3.3 วงจรสมมูลของระบบ DC 23
3.4 วงจรสมมูลของระบบ DC เมื่อยุบรวมค่าความต้านทานในระบบ 24
3.5 แบบจำลอง AC-DC คอนเวอร์เตอร์ ทั้งด้านเรกติไฟเออร์และอินเวอร์เตอร์ 26
3.6 ระบบไฟฟ้า AC (AC power system) 27

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.7 แบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์สภาวะพลวัตในสายส่ง DC 28
3.8 ระบบควบคุมความถี่และควบคุมกระแสด้าน เรกติไฟเออร์ 30
3.9 ตัวควบคุมแทปหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ด้าน เรกติไฟเออร์ 30
3.10 ตัวควบคุมกระแสด้าน อินเวอร์เตอร์ 30
3.11 ตัวควบคุมแทปหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ด้าน อินเวอร์เตอร์ 31
3.12 แบบจำลองของตัว AVR 33
3.13 แบบจำลองของตัวบังคับ 33
3.14 ขั้นตอนการวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าเมื่อมีระบบ HVDC เชื่อมต่อในระบบ 35
3.15 แผนภาพเส้นเดียวของระบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยโปรแกรม DIgSILENT *Power Factory* 37
3.16 กำลังไฟฟ้าลัดวงจรที่บัสด้านปฐมภูมิของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ 39
3.17 ผลกระทบต่อระบบ HVDC เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ HVDC 41
3.18 ผลกระทบต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ HVDC 42
4.1 ระบบไฟฟ้าภาคใต้ของประเทศไทยที่มีการเชื่อมต่อระบบ HVDC 45
4.2 ลักษณะการควบคุมของตัว AVR ชนิด IEEE AC2 47
4.3 ลักษณะการควบคุมของตัวบังคับชนิด TGOV1 49
4.4 ลักษณะการควบคุมของตัวบังคับชนิด HYGOV 50
4.5 ลักษณะการควบคุมของตัวบังคับชนิด GAST 51
4.6 ลักษณะการควบคุมในตัว SVC 53
5.1 แผนภาพเส้นเดียวของระบบเพื่อใช้วิเคราะห์ในโปรแกรม DIgSILENT *Power Factory* 62
5.2 กำลังไฟฟ้าลัดวงจรที่บัสสถานีคลองแงะ (KNE) 63
5.3 ผลกระทบต่อระบบ HVDC เมื่อกำลังไฟฟ้า เปลี่ยนจาก 30 MW เป็น 300 MW 65
5.4 ผลกระทบต่อค่ากำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ผ่านในหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์, จากบัสสถานีบางสะพาน (BSP) และจากบัสสถานีขนอม (KN) 66
5.5 ค่าแรงดันและความถี่ที่เปลี่ยนแปลงที่บัสสถานีคลองแงะ (KNE) 66
5.6 ผลกระทบต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว ในกรณีต่างๆ เมื่อกำลังไฟฟ้าในระบบ HVDC เปลี่ยนจาก 30 MW เป็น 300 MW 67
5.7 ผลกระทบต่อระบบ HVDC กรณีก่อนและหลังมีการต่อชุดตัวเก็บประจุเข้ากับระบบ 70
5.8 แรงดันบัส KNE กรณีก่อนและหลังมีการต่อชุดตัวเก็บประจุเข้ากับระบบ 71

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.9 ผลกระทบต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในระบบ HVDC จาก 30 MW เป็น 45 MW 73
5.10 กำลังไฟฟ้าลัดวงจรเมื่อทำการเพิ่มความแข็งแรงให้กับระบบ 74
5.11 ผลกระทบต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า KN_1 กรณีระบบมีความแข็งแรงกับกรณีระบบมีความแข็งแรงน้อยมาก 75
5.12 ผลตอบสนองในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว ต่อขนาดโหลดที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 76
5.13 ผลตอบสนองในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว ต่อขนาดโหลดที่เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เมื่อมีการปรับค่าพารามิเตอร์อุปกรณ์ควบคุมใหม่ 79
5.14 ผลกระทบต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว ในกรณีต่างๆ ภายหลังปรับค่าพารามิเตอร์อุปกรณ์ควบคุมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว 80
5.15 ผลกระทบต่อระบบ HVDC เมื่อมีการเปลี่ยนทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้า 83
5.16 ผลกระทบที่บัส KNE และที่หม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ 83
5.17 ผลกระทบต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว ในกรณีต่างๆ เมื่อเปลี่ยนทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ HVDC 84
5.18 ขนาดกำลังไฟฟ้าที่รับมาจากระบบภายนอก 89
5.19 ค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในสายส่งต่อเชื่อม (Tie – Line) 90
5.20 กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในระบบ HVDC จาก 30 MW เป็น 120 MW 91
5.21 ค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในสายส่งต่อเชื่อม กรณีไม่มี กับ มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากระบบ HVDC 91
5.22 ผลกระทบต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า SRT กรณีไม่มี กับ มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากระบบ HVDC 92
5.23 ลักษณะการควบคุมของตัวควบคุมเสถียรภาพระบบชนิด PSS2A 95
5.24 แสดงตำแหน่งที่มีการติดตั้งตัวชดเชยค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟแบบสถิตในระบบ 97
5.25 ค่ากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในสายส่งต่อเชื่อม ในกรณีต่างๆ 98
5.26 ผลกระทบต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า SRT ที่บัสสถานีสุราษฎร์ธานี ในกรณีต่างๆ 98

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved