



แบบจำลองสถานะชั่วคราวของระบบ เอชวีดีซี ระหว่างประเทศไทย – มาเลเซียด้วย
โปรแกรม แมทแลบ/ซิมูลิงค์

Transeint Modelling of Thailand-Malaysia HVDC interconnection by using
MATLAB/Simulink

นาย จิรัชฎีกร ลากชัยเจริญกิจ รหัส 45362704
นายปัญญา ย่องหยี รหัส 45362936
นายพัฒน์กรรณ์ ดรหงษา รหัส 45362985

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ..... 2 เม.ย. 2553
เลขทะเบียน..... 12993184.
เลขเรียกหนังสือ..... พ/ร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๑ 528 ๒/ 2548

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2548



ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ	แบบจำลองสภาวะชั่วคราวของระบบ เอชวีดีซี ระหว่างประเทศไทย – มาเลเซีย ด้วยโปรแกรมแมทแลบ/ซิมูลิงค์		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายจิรัฐกร	ลาภชัยเจริญกิจ	รหัส 45362704
	นายปัญญา	ย่องหิ	รหัส 45362936
	นายพัฒนากรณ์	ครหงษา	รหัส 45362985
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. ปิยคนัย	ภาชนะพรรณณ์	
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2548		

.....
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ
 (อ. ปิยคนัย ภาชนะพรรณณ์)

.....กรรมการ
 (ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

.....กรรมการ
 (ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช)

หัวข้อโครงการ	แบบจำลองสถานะชั่วคราวของระบบ เอชวีดีซี ระหว่างประเทศไทย – มาเลเซีย ด้วยโปรแกรมแมทแลบ/ซิมูลิงค์		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายจิรัฐิกร	ตากชัยเจริญกิจ	รหัส 45362704
	นายปัญญา	ย่องหี	รหัส 45362936
	นายพัฒนากรณั	ดรหงษา	รหัส 45362985
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. ปิยนัย ภาชนะพรรณ		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2548		

บทคัดย่อ

โครงการนี้นำเสนอการใช้โปรแกรมแมทแลบจำลองระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกันด้วยระบบ เอชวีดีซี โดยระบบจะประกอบด้วยสองส่วนใหญ่ๆคือ ส่วนส่งกำลังไฟฟ้าและส่วนรับกำลังไฟฟ้า โดยส่วนที่ส่งกำลังไฟฟ้าจะประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า ชุดเรกติไฟเออร์และชุดควบคุม ในส่วนที่รับกำลังไฟฟ้าจะประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า ชุดอินเวอร์เตอร์ และชุดควบคุม ซึ่งใช้สายส่งแบบกระแสตรงในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

ระบบที่ใช้ศึกษานี้จะเป็นระบบที่มีการเชื่อมต่อกันด้วยระบบเอชวีดีซี ระหว่างประเทศไทยและประเทศมาเลเซีย ขนาดพิกัดแรงดัน 300 กิโลโวลต์ พิกัดกระแส 1000 แอมแปร์ และพิกัดกำลัง 300 เมกกะวัตต์ โดยทำการวิเคราะห์ กระแส และแรงดัน ในสถานะปกติ และในสถานะเกิดความผิดปกติขึ้นในระบบ

Project title	Transeint Modelling of Thailand-Malaysia HVDC interconnection by using MATLAB/Simulink	
Name	Mr. Jirattikorn Lapchajaroenkit	ID. 45362704
	Mr.Panya Yongyee	ID. 45362936
	Mr.Pattanakorn Dornhongsa	ID. 45362985
Project advisor	Mr. Piyadanai Pachanapan	
Major	Electrical Engineering	
Department	Electrical and Computer Engineering	
Academic year	2005	

.....

ABSTRACT

This project develops the HVDC system modelling by using MATLAB program. This system has 2 parts. One is sending part. Another one is receiving part. For the sending part, it consists of the generator, transformer, convertor and controllers. Meanwhile, the receiving part consists of the generator, transformer, convertor and controllers. Both ports are linked by the DC line to transfer electric power.

The HVDC system that linked between Thailand & Malaysia is used to modelling for studying. The system is 300 kV rated, 1000 A rated and 300 MW rated. The study case are analyzing the transient condition of HVDC system when operated in normal and disturbance condition.

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำปริญญาบัตรในครั้งนี้ สำเร็จลงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือและให้คำแนะนำ จาก อ. ปิยฉนัย ภาชนะพรรณน์ ที่เป็นผู้เสนอหัวข้อและเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาบัตรในครั้งนี้ และขอขอบคุณ ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล และ ดร. สมพร เรืองสินชัยวานิช ที่ให้ความกรุณาเป็นผู้ตรวจสอบปริญญาบัตรและคอยให้คำแนะนำในส่วนของคุณวุฒิที่เกี่ยวข้องกับปริญญาบัตรในครั้งนี้ด้วย

ท้ายสุดขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ญาติพี่น้อง ที่คอยดูแล คอยเป็นกำลังใจและเป็นผู้สนับสนุนในด้านต่างๆมาโดยตลอดในการทำปริญญาบัตรนี้ และขอขอบคุณบุคคลต่างๆที่ไม่ได้กล่าวถึงรวมถึงแหล่งข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่อการทำปริญญาบัตรในครั้งนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ



สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการวิจัย	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบข่ายของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
1.5 แผนการดำเนินงาน	3
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.7 งบประมาณที่ใช้	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ระบบเอชวีดีซี (High Voltage Direct Current System, HVDC)	5
2.2 ชนิดการเชื่อมต่อของระบบเอชวีดีซี	8
2.3 การควบคุมระบบเอชวีดีซี	9
2.4 แบบจำลองของระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับระบบเอชวีดีซี	
บทที่ 3 แบบจำลองระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์	18
3.1 การสร้างแบบจำลองระบบเอชวีดีซี ด้วยโปรแกรมซิมูลิงค์	18
3.2 แบบจำลองระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์ โดยใช้โปรแกรมซิมูลิงค์	21
3.3 การทดสอบระบบที่สภาวะปกติ	22
3.4 การทดสอบระบบที่สภาวะผิดปกติ	28

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ระบบที่ใช้ในกรณีศึกษา	30
4.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบเอชวีดีซีที่ใช้เป็นกรณีศึกษา	31
4.2 การจำลองระบบเอชวีดีซีระหว่างประเทศไทย - มาเลเซีย ด้วยโปรแกรมซิมูลิงค์	33
4.3 วิธีการควบคุมระบบเอชวีดีซีระหว่างประเทศไทย - มาเลเซีย ด้วยโปรแกรมซิมูลิงค์	35
4.4 วิธีการทดสอบระบบเอชวีดีซีระหว่างประเทศไทย - มาเลเซีย ด้วยโปรแกรมซิมูลิงค์	37
บทที่ 5 ผลการทดสอบ	42
5.1 การทดสอบระบบในสถานะปกติ	44
5.2 การทดสอบระบบในสถานะผิดปกติ	60
บทที่ 6 บทสรุป	77
6.1 สรุปผล	77
6.2 ประเมินผล	77
6.3 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข	78
6.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	78
เอกสารอ้างอิง	79
ภาคผนวก	80
ประวัติผู้เขียนโครงการ	86

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 ตารางแสดงเวลาวิกฤตของการเกิดฟอลต์ในระบบ DC ที่ค่ากระแสต่างๆ	72



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	วงจรระบบเอชวีดีซีพร้อมรูปคลื่นแรงดันและกระแส	5
2.2	ระบบเอชวีดีซี แบบ 12 พัลส์ พร้อมรูปคลื่นแรงดัน DC และกระแส AC	7
2.3	การเชื่อมต่อแบบโมโนโพลาร์	8
2.4	การเชื่อมต่อแบบไบโพลาร์	8
2.5	การเชื่อมต่อแบบไฮโมโพลาร์	9
2.6	ระบบเอชวีดีซี เพื่อแสดงการควบคุม	9
2.7	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อของระบบเอชวีดีซี	11
2.8	การทำงานของระบบ DC	11
2.9	วงจรสมมูลของระบบ DC	12
2.10	วงจรสมมูลของระบบ DC เมื่อยุบรวมค่าความต้านทานในระบบ	12
2.11	แบบจำลอง AC-DC คอนเวอร์เตอร์ ทั้งด้านเรกติไฟเออร์และอินเวอร์เตอร์	12
2.12	ระบบไฟฟ้า AC (AC Power System)	14
2.13	แบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์สภาวะพลวัตในสายส่ง DC	15
2.14	แสดงแบบจำลองระบบควบคุมแบบปิด	16
2.15	แสดงแบบจำลองระบบควบคุมในส่วนเรกติไฟเออร์	17
2.16	แสดงแบบจำลองระบบควบคุมในส่วนอินเวอร์เตอร์	17
3.1	แบบจำลองระบบกำลังของระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์	18
3.2	แบบจำลองส่วนควบคุมด้านส่งกำลังไฟฟ้าของระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์	19
3.3	แบบจำลองส่วนควบคุมด้านรับกำลังไฟฟ้าของระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์	19
3.4	แบบจำลองระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์ โดยใช้โปรแกรมซิมูลิงค์	21
3.5	กราฟกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า	22
3.6	กราฟแสดงมุมจุดชนวนด้านส่งกำลังไฟฟ้า	23
3.7	กราฟแรงดันระบบ DC ด้านส่งรับไฟฟ้า	23
3.8	กราฟแสดงมุมดับ(γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า	23
3.9	กราฟกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า	24
3.10	กราฟแสดงมุมจุดชนวนด้านส่งกำลังไฟฟ้า	24
3.11	กราฟแรงดันระบบ DC ด้านส่งรับไฟฟ้า	25
3.12	กราฟแสดงมุมดับ(γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า	25

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 กราฟกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า	26
3.14 กราฟแสดงมุดจนวนด้านส่งกำลังไฟฟ้า	26
3.15 กราฟแรงดันระบบ DC ด้านส่งรับไฟฟ้า	26
3.16 กราฟแสดงมุดดับ(γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า	27
3.17 กราฟกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า	28
3.18 กราฟแสดงมุดจนวนด้านส่งกำลังไฟฟ้า	28
3.19 กราฟแรงดันระบบ DC ด้านส่งรับไฟฟ้า	28
3.20 กราฟแสดงมุดดับ(γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า	29
4.1 ระบบเอชวีดีซีที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าภาคใต้ของประเทศไทย	30
4.2 หม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ใน โปรแกรมซิมูลิคที่เปลี่ยนจากแบบจำลอง 6 พัลส์ เป็นแบบ 12 พัลส์	33
4.3 ชุดไทรสเตอร์วาล์วใน โปรแกรมซิมูลิคที่เปลี่ยนจากแบบจำลอง 6 พัลส์ เป็นแบบ 12 พัลส์	33
4.4 ชุดสร้างสัญญาณพัลส์ใน โปรแกรมซิมูลิคที่เปลี่ยนจากแบบจำลอง 6 พัลส์ เป็นแบบ 12 พัลส์	34
4.5 แบบจำลองระบบเอชวีดีซีระหว่างประเทศไทย – มาเลเซีย แบบ 12 พัลส์ โดยโปรแกรมซิมูลิค	34
4.6 แสดงชุดปรับค่ากระแสอ้างอิงด้านส่งกำลังไฟฟ้า	35
4.7 แสดงชุดปรับค่าแรงดันอ้างอิงด้านรับกำลังไฟฟ้า	36
4.8 แสดงชุดควบคุมแบบฟีดแบคของด้านส่งกำลังไฟฟ้า	36
4.9 แสดงชุดควบคุมแบบฟีดแบคของด้านรับกำลังไฟฟ้า	37
4.10 แสดงการปรับค่ากระแสอ้างอิง(ด้านส่งกำลังไฟฟ้า) ของการทดสอบที่ 1,2 และ3	38
4.11 แสดงการปรับค่าแรงดันอ้างอิง(ด้านรับกำลังไฟฟ้า) ของการทดสอบที่ 1,2 ,3และ4	38
4.12 แสดงการปรับค่ากระแสอ้างอิง(ด้านรับกำลังไฟฟ้า) ของการทดสอบที่ 4	39
4.13 การทดสอบฟอลต์ลงดินเส้นเดียวในระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า	40
4.14 การทดสอบสามเฟสฟอลต์ในระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า	40
4.15 การทดสอบฟอลต์ในสายส่งกระแสตรง	41
5.1 ระบบเอชวีดีซีแบบ 12 พัลส์ ที่มีการเชื่อมต่อบetweenประเทศไทยกับประเทศมาเลเซีย โดยโปรแกรมซิมูลิค	42

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
5.58	กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)	66
5.59	กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)	66
5.60	กราฟแสดงมุมจุดฉนวน(α) ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)	66
5.61	กราฟแสดงมุมดับ (γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)	67
5.62	กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)	68
5.63	กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)	68
5.64	กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)	68
5.65	กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)	69
5.66	กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)	69
5.67	กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)	69
5.68	กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)	70
5.69	กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)	70
5.70	กราฟแสดงมุมจุดฉนวน(α) ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)	70
5.71	กราฟแสดงมุมดับ (γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)	71
5.72	กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)	72
5.73	กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)	73
5.74	กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)	73
5.75	กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)	73
5.76	กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)	74
5.77	กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)	74
5.78	กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)	74
5.79	กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)	75
5.80	กราฟแสดงมุมจุดฉนวน(α) ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)	75
5.81	กราฟแสดงมุมดับ (γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นต่อชีวิตประจำวันมากและเนื่องจากการขยายทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมรวมถึงการขยายตัวจากชุมชนชนบทมาเป็นสังคมเมืองมากขึ้น ทำให้ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามีมากขึ้นด้วย แต่เนื่องจากกำลังการผลิตไฟฟ้าภายในประเทศไม่เพียงพอที่จะจ่ายให้กับโหลดในระบบ ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ต้องมีการซื้อขายพลังงานไฟฟ้ากับประเทศเพื่อนบ้าน ซึ่งในส่วนภาคใต้ของประเทศไทยได้มีการซื้อขายพลังงานไฟฟ้ากับประเทศมาเลเซีย โดยสถานีที่มีการเชื่อมต่อทั้งสองระบบเข้าด้วยกันจะอยู่ที่ สถานีไฟฟ้าแรงสูงคลองแงะประเทศไทยและสถานีไฟฟ้าแรงสูงกรุงประเทศมาเลเซีย โดยระบบการส่งพลังงานไฟฟ้าจะเป็นการส่งแบบกระแสตรงหรือที่เรียกว่าเอชวีดีซีทั้งนี้เพื่อขจัดปัญหาาระดับแรงดันและความถี่ของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีค่าไม่เท่ากันของทั้งสองระบบ

ดังนั้นสิ่งจำเป็นที่ควรศึกษาต่อไป คือ แบบจำลองโครงสร้างของระบบเอชวีดีซี ซึ่งจะทำให้เราสามารถรู้และเข้าใจ โครงสร้างของระบบ การเขียนแบบจำลองสถานะชั่วครู่ของระบบเอชวีดีซีระหว่างประเทศไทยและมาเลเซีย นั้น สามารถใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ได้หลายโปรแกรมไม่ว่าจะเป็นโปรแกรม อีเอ็มทีที (EMTP), อีเอ็มทีดีซี (EMTDC) หรือแมทแลบ (MATLAB) ซึ่งสามารถเลือกใช้แล้วแต่ความเหมาะสม

จากคุณสมบัติของโปรแกรมแมทแลบ ที่มีความสามารถในการคำนวณและความสามารถในการแสดงผลทางกราฟิก ผู้ทำโครงการจึงสนใจที่จะใช้โปรแกรมแมทแลบ มาเขียนแบบจำลองสถานะชั่วครู่ของระบบเอชวีดีซีระหว่างประเทศไทยกับประเทศมาเลเซียเนื่องจากโปรแกรมแมทแลบ สามารถใช้แสดงผลทางด้านกราฟิกและมีความสามารถในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นที่นิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรม ดังนั้นผลที่จะได้จากการใช้โปรแกรมแมทแลบ จะมีทั้งผลทางด้านกราฟิก, การคำนวณทางคณิตศาสตร์รวมถึงกราฟที่ใช้วิเคราะห์สถานะชั่วครู่ของระบบด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

สามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สร้างแบบจำลองของระบบเอชวีดีซี ระหว่างประเทศไทย กับ ประเทศมาเลเซีย เพื่อใช้วิเคราะห์ในสภาวะชั่วคราว

1.3 ขอบข่ายของโครงการ

จำลองการทำงานของระบบเอชวีดีซี ระหว่างไทย-มาเลเซียโดยส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากประเทศไทยไปประเทศมาเลเซีย โดยใช้โปรแกรมซิมูลิงค์ (simulink) ซึ่งแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถวิเคราะห์สภาวะชั่วคราวที่เกิดขึ้นในกรณีต่างๆและสามารถปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบเอชวีดีซี

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.4.1 ศึกษาการทำงานของระบบ เอชวีดีซี ที่ใช้ระหว่างประเทศไทย-มาเลเซีย
- 1.4.2 ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับวงจร คอนเวอร์เตอร์และออกแบบระบบควบคุม ที่ใช้กับระบบเอชวีดีซี
- 1.4.3 ศึกษาการใช้โปรแกรม แมทแล็บ เพื่อที่จะสร้างเป็นโปรแกรมซิมูลิงค์
- 1.4.4 ใช้โปรแกรมแมทแล็บ สร้างแบบจำลองในโปรแกรมซิมูลิงค์ ขึ้นมาเป็นแบบจำลองในการวิเคราะห์ สภาวะชั่วคราว
- 1.4.5 สรุปผลการทดลองและจัดทำรูปเล่มโครงการ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

- 1.4.1 สามารถใช้โปรแกรมซิมูเลชัน ในแมทเลบ สร้างแบบจำลอง ระบบไฟฟ้าได้
- 1.4.2 สามารถใช้แบบจำลองจาก 1.4.1 ไปพัฒนาเป็นโปรแกรมเพื่อศึกษาระบบ เอชวีดีซี ระหว่างประเทศไทยกับประเทศมาเลเซียได้
- 1.4.3 สามารถนำแบบจำลองมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาในด้านต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบ

1.7 งบประมาณที่ใช้

- 1.7.1 ค่าถ่ายเอกสารและค่าเช่าเล่ม
 - 1.7.2 ค่าหนังสือข้อมูลเกี่ยวกับโปรแกรมต่างๆ ที่ใช้ในการทำโครงการ
 - 1.7.3 ค่าหมึกพิมพ์
 - 1.7.4 อื่นๆ เช่น อุปกรณ์เครื่องเขียน
- รวมเป็นเงิน 3,000 บาท (สามพันบาทถ้วน)



บทที่ 2

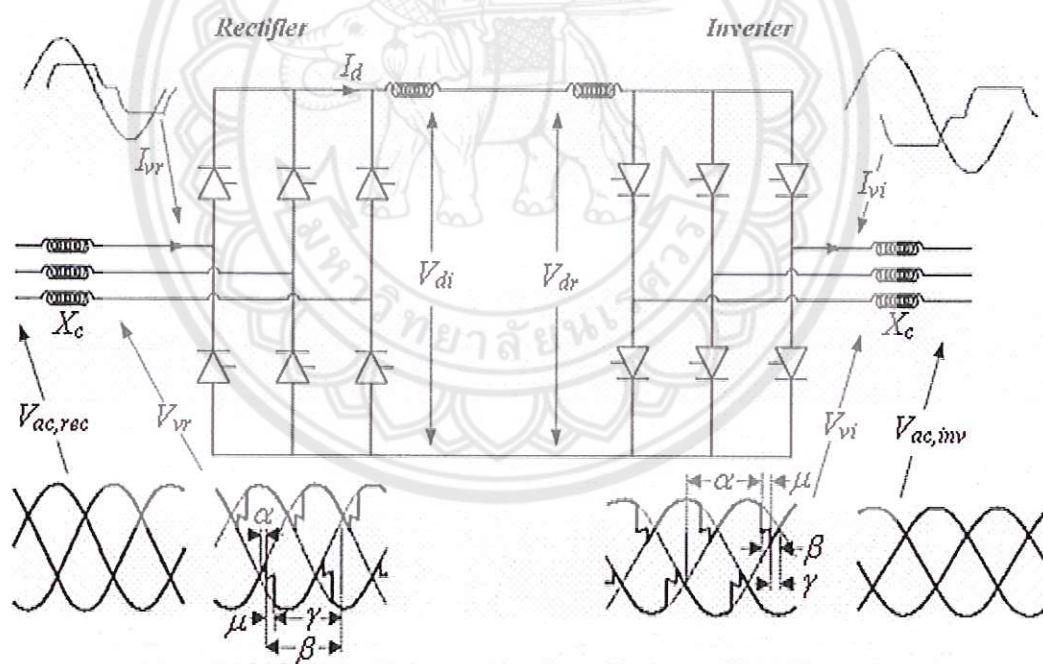
ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบเอชวีดีซี (High Voltage Direct Current System, HVDC)

2.1.1 พื้นฐานเกี่ยวกับระบบเอชวีดีซี

ระบบเอชวีดีซี เป็นระบบส่งผ่านพลังงานโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง โดยการนำพลังงานจากระบบ AC มาเปลี่ยนเป็นพลังงาน DC แปลงโดยใช้อุปกรณ์คอนเวอร์เตอร์ในสถานีคอนเวอร์เตอร์ พลังงาน DC ที่แปลงแล้วจะถูกส่งผ่านด้วยสายส่ง DC จากนั้นจะเปลี่ยนกลับเป็นพลังงาน AC ที่สถานีคอนเวอร์เตอร์ที่ตั้งอยู่อีกด้านหนึ่ง

คอนเวอร์เตอร์ด้านที่เปลี่ยนพลังงานจากระบบ AC เป็นระบบ DC เรียกว่าเรกติไฟเออร์ (Rectifier) และคอนเวอร์เตอร์ด้านที่เปลี่ยนพลังงานจากระบบ DC เป็น AC เรียกว่า อินเวอร์เตอร์ (Inverter) รูปวงจรระบบเอชวีดีซี แสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรระบบเอชวีดีซีพร้อมรูปคลื่นแรงดันและกระแส

จากรูปที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆคือ

V_{dr}	คือ	แรงดัน DC ด้านเรกติไฟเออร์
V_{di}	คือ	แรงดัน DC ด้านอินเวอร์เตอร์
$V_{ac,rec}$	คือ	แรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ด้าน

เรกติไฟเออร์

$V_{ac,inv}$	คือ	แรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ด้านอินเวอร์เตอร์
--------------	-----	--

i_{vr}, i_{vi}	คือ	กระแสที่วาล์วคอนเวอร์เตอร์ด้านเรกติไฟเออร์ และ
------------------	-----	--

อินเวอร์เตอร์

I_d	คือ	ไฟกระแสตรง
X_d	คือ	รีแอกแตนซ์การสับเปลี่ยน (Commutation Reactance)
α	คือ	มุมประวิง (Delay Angel)
μ	คือ	มุมเหลื่อม (Overlap Angle)
β	คือ	มุมแอดวานซ์ (Advance Angle) มีค่าเท่ากับ $(\gamma + \mu)$
γ	คือ	มุมดับ (Extinction Angle) มีค่าเท่ากับ $[180^\circ - \beta]$

แรงดันด้านเรกติไฟเออร์และด้านอินเวอร์เตอร์ มีค่าดังนี้

ด้านเรกติไฟเออร์

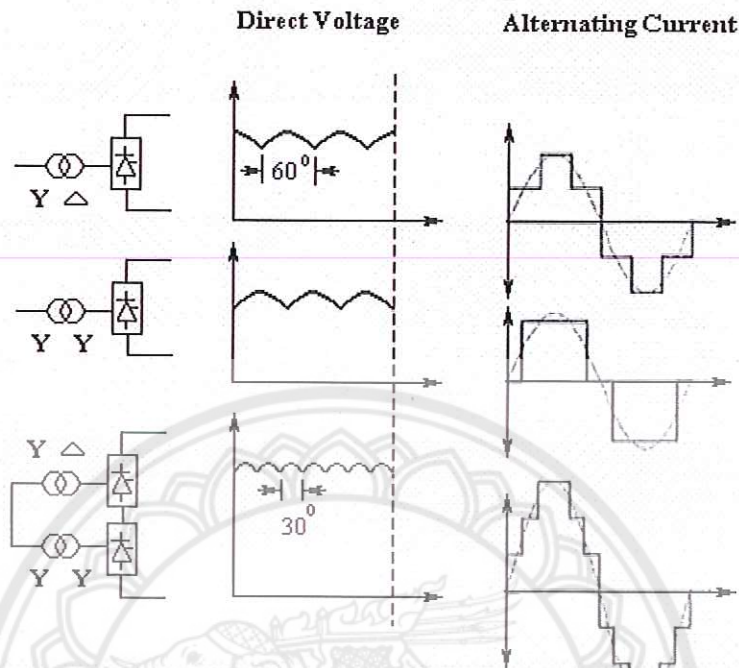
$$V_{dr} = 1.35V_{ac,rec} \cos \alpha - \frac{3X_c I_d}{\pi} \quad (2.1)$$

ด้านอินเวอร์เตอร์

$$V_{di} = 1.35V_{ac,inv} \cos \gamma - \frac{3X_c I_d}{\pi} \quad (2.2)$$

รูปที่ 2.1 เป็นระบบเอชวีดีซี แบบ 6 พัลส์ มีความหมายว่า 1 คาบของแรงดัน AC ระบบเอชวีดีซีสามารถสร้างแรงดัน DC ได้ 6 พัลส์ ส่วนรูปที่ 10 เป็นระบบเอชวีดีซี แบบ 12 โดยระบบจะประกอบด้วยตัวคอนเวอร์เตอร์จำนวน 2 ชุด โดยหม้อแปลงที่ต่อกับคอนเวอร์เตอร์ จะมีการต่อขดลวดไม่เหมือนกัน (ต่อแบบ Y-Y กับแบบ Y - Δ) ทั้งนี้ก็เพื่อให้แรงดัน DC ที่ออกมาจากคอนเวอร์เตอร์แต่ละชุด ทำมุมเฟสต่างกัน 30° เมื่อรวมแรงดัน DC ที่ได้จากคอนเวอร์เตอร์ทั้ง 2 ชุด จะได้แรงดัน DC

จำนวน 12 พัลส์ ต่อ 1 คาบของแรงดัน AC ส่งผลให้แรงดัน DC กระเพื่อมน้อยกว่ากรณีเป็นระบบแบบ 6 พัลส์



รูปที่ 2.2 ระบบเอชวีดีซี แบบ 12 พัลส์ พร้อมรูปคลื่นแรงดัน DC และกระแส AC

จากสมการที่ 2.1 และ 2.2 แรงดันด้านเรกติไฟเออร์และแรงดันด้านอินเวอร์เตอร์ของระบบเอชวีดีซี แบบ 12 พัลส์ มีค่าดังนี้
ด้านเรกติไฟเออร์

$$V_{dr} = 1.35BV_{ac,rec} \cos \alpha - \frac{3X_c BI_d}{\pi} \tag{2.3}$$

ด้านอินเวอร์เตอร์

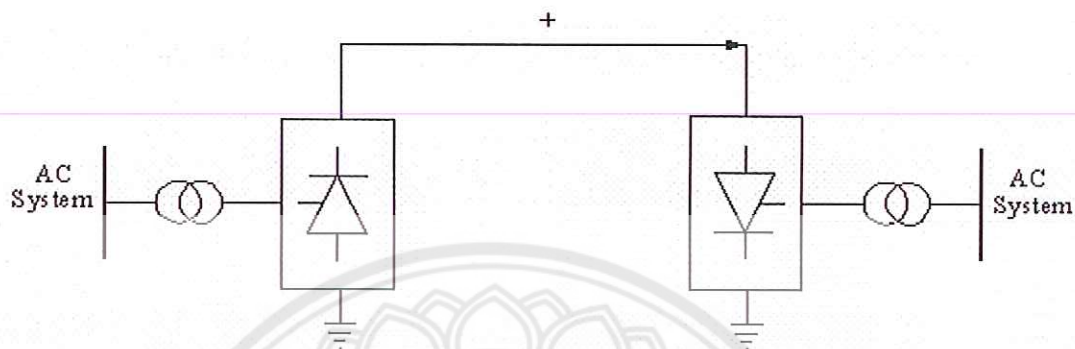
$$V_{di} = 1.35BV_{ac,inv} \cos \gamma - \frac{3X_c BI_d}{\pi} \tag{2.4}$$

เมื่อ B คือ จำนวนชุดคอนเวอร์เตอร์ (สำหรับวงจร 12 พัลส์ $B = 2$)

2.2 ชนิดการเชื่อมต่อของระบบเอชวีดีซี

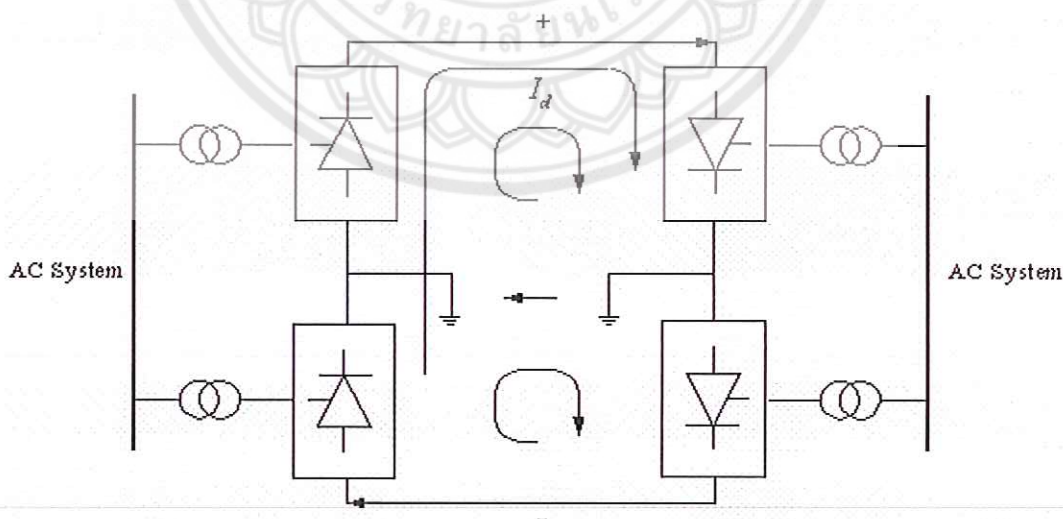
การเชื่อมต่อระบบเอชวีดีซีสามารถจำแนกได้ 3 ชนิด ดังนี้

1. การเชื่อมต่อแบบโมโนโพลาร์ (Monopolar Link) มีลักษณะแสดงในรูปที่ 2.3 เป็นการเชื่อมต่อโดยใช้ตัวนำ 1 เส้น และใช้ดินหรือน้ำทะเลเป็นตัวนำกลับ เป็นแบบที่ง่ายและราคาถูกที่สุด



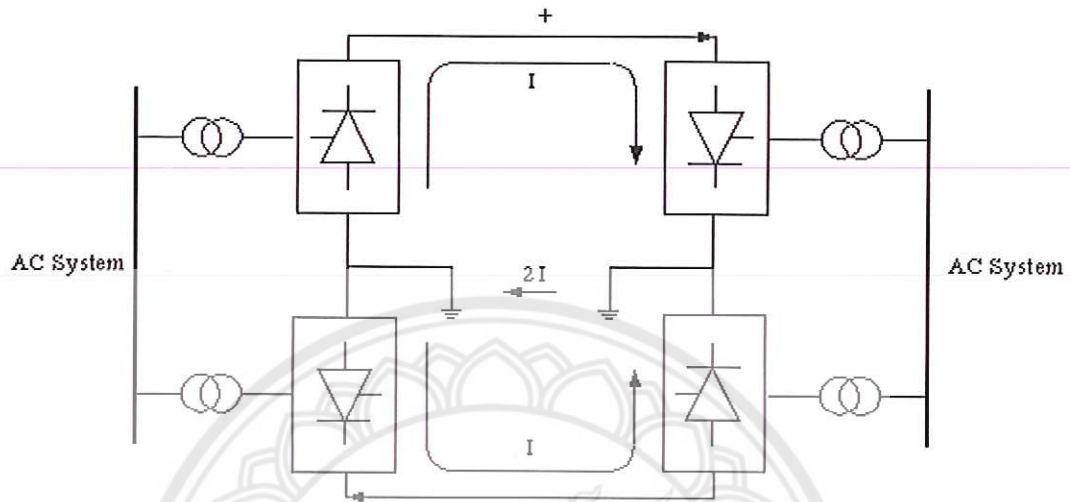
รูปที่ 2.3 การเชื่อมต่อแบบโมโนโพลาร์

2. การเชื่อมต่อแบบไบโพลาร์ (Bipolar Link) มีลักษณะดังรูป 2.4 เป็นการเชื่อมต่อโดยใช้ตัวนำ 2 เส้น เป็นขั้วบวกและขั้วลบ ที่ปลายแต่ละด้านมี คอนเวอร์เตอร์จำนวนสองตัวต่ออนุกรมกันอยู่ โดยมี พิกัดแรงดันเท่ากันทั้งสองตัว จุดนิวทรัลอาจมีอยู่ในด้านใน ด้านหนึ่ง หรือทั้งสองด้าน ถ้าต่อนิวทรัลทั้งสองด้านจะทำให้ขั้วทั้งสองทำงานโดยอิสระไม่ขึ้นต่อกัน เมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นที่ตัวนำเส้นใดเส้นหนึ่ง ตัวนำเส้นที่เหลือก็ยังสามารถจ่ายโหลดได้ครึ่งหนึ่งของพิกัดโหลด



รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อแบบไบโพลาร์

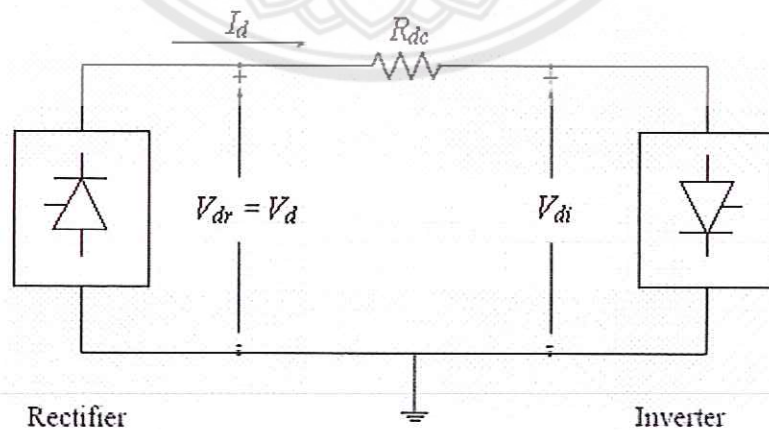
3. การเชื่อมต่อแบบโฮโมโพลาร์ (Homopolar Link) มีลักษณะดังรูปที่ 2.5 เป็นการเชื่อมต่อโดยใช้ตัวนำสองเส้นหรือมากกว่าและทั้งหมดเป็นขั้วเดียวกัน ซึ่งปกติจะเป็นขั้วลบ และมีกราวด์เป็นตัวนำกลับเสมอ เมื่อเกิดความผิดปกติที่ตัวนำเส้นใดเส้นหนึ่ง ระบบจะสามารถจ่ายโหลดได้ มากกว่าครึ่งหนึ่งของพิกัด โหลด



รูปที่ 2.5 การเชื่อมต่อแบบโฮโมโพลาร์

2.3 การควบคุมระบบเอชวีดีซี

การควบคุมการทำงานของระบบเอชวีดีซี สามารถอธิบายได้จากระบบเอชวีดีซี แบบ 1 ขั้ว แสดงในรูปที่ 2.6 ขั้วที่ใช้ในการส่งพลังงานคือขั้วบวก แรงดัน DC (V_d) คือแรงดันด้านเรกติไฟเออร์ (V_{dr})



รูปที่ 2.6 ระบบเอชวีดีซี เพื่อแสดงการควบคุม

กระแส DC (I_d) หาได้จาก

$$I_d = \frac{V_{dr} - V_{di}}{R_{dc}} \quad (2.5)$$

เมื่อ R_{dc} คือ ความต้านทานในสายส่ง DC

ในการควบคุมจะให้คอนเวอร์เตอร์ตัวหนึ่งควบคุมแรงดันในสายส่ง ส่วนอีกตัวจะควบคุมค่ากระแส I_d โดยที่คอนเวอร์เตอร์ด้านอินเวอร์เตอร์จะทำงานโดยบังคับให้มุม γ มีค่าคงที่ (Constant Extinction Angle : CEA) เพื่อควบคุมแรงดัน DC (V_d) ส่วนคอนเวอร์เตอร์ด้านเรกติไฟเออร์จะควบคุมกระแส I_d (Current Control : CC) ซึ่งเป็นการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่าน

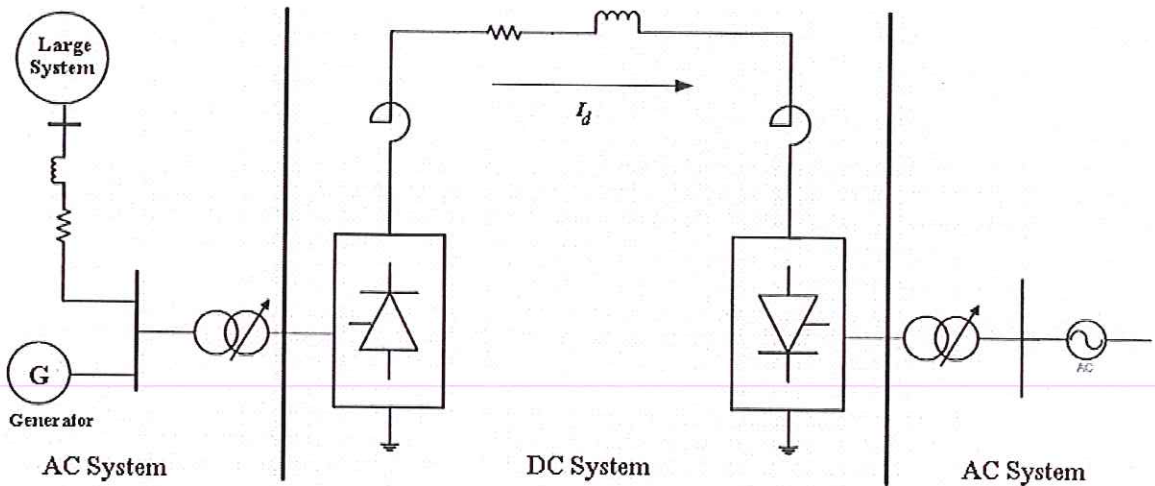
จากสมการที่ 2.4 แรงดัน DC (V_d) มีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned} V_d &= \left(1.35BV_{ac,rec} \cos \gamma - \frac{3X_c B I_d}{\pi} \right) + R_{dc} I_d \\ &= 1.35BV_{ac,inv} \cos \gamma - \left(\frac{3X_c B}{\pi} - R_{dc} \right) I_d \end{aligned} \quad (2.6)$$

2.4 แบบจำลองของระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับระบบเอชวีดีซี

ลักษณะของระบบไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อกับระบบเอชวีดีซี สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.7 โดยระบบแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นระบบ AC และส่วนที่เป็นระบบ DC โดยแต่ละส่วนประกอบด้วย ส่วนที่เป็นระบบ AC ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, วงจรสมมูลของระบบทั้งหมด (Equivalent Network) และหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์

ส่วนที่เป็นระบบ DC จะประกอบด้วย คอนเวอร์เตอร์, รีแอคเตอร์ราบเรียบ (Smoothing Reactor) และสายส่ง DC



รูปที่ 2.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีการเชื่อมต่อของระบบเอชวีดีซี

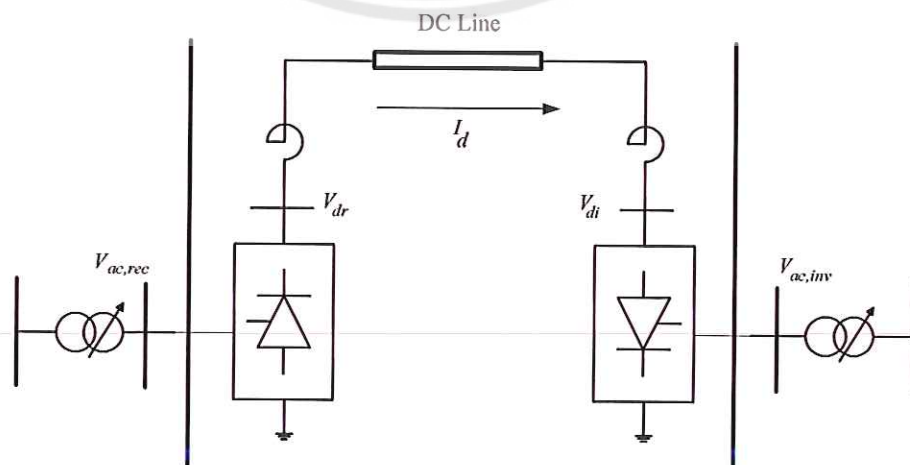
จากระบบ AC-DC ในรูปที่ 2.7 สามารถเขียนเป็นแบบจำลองในแต่ละส่วนของระบบ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ระบบได้ดังนี้

2.4.1 แบบจำลองในสถานะคงตัว (Steady State Modeling)

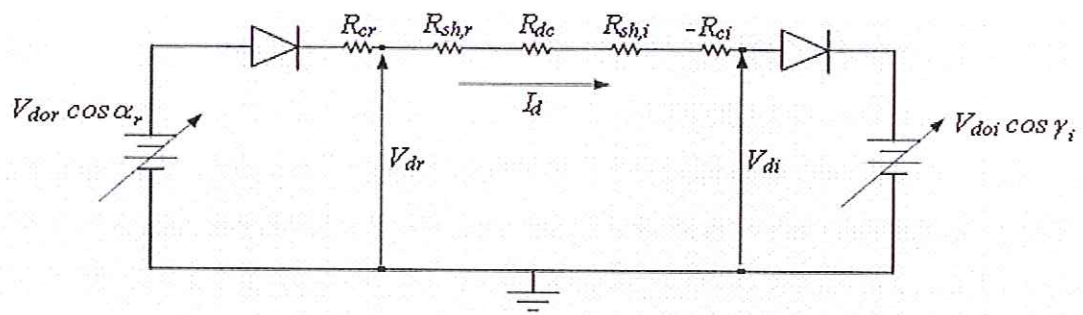
เป็นแบบจำลองเพื่อใช้ในการหาค่าต่างๆ ในระบบเมื่อระบบทำงานที่จุดทำงานจุดหนึ่ง โดยแบบจำลองในสถานะคงตัวจะนำมาใช้ในการคำนวณ โหลด โพล์ของระบบ

2.4.1.1. แบบจำลองของระบบ DC

กำหนดให้มีการไหลของกำลังไฟฟ้าจากด้านเรกติไฟเออร์ ไปด้านอินเวอร์เตอร์โดยสามารถแสดงการทำงานของระบบ DC ได้ดังรูปที่ 2.8 และวงจรสมมูลของระบบ DC แสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การทำงานของระบบ DC

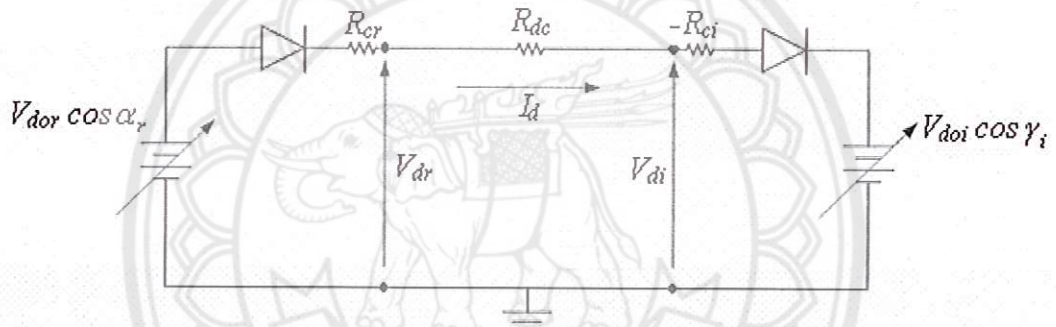


รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลของระบบ DC

จากวงจรสมมูลในรูปที่ 2.9 สามารถยุบรวมค่าความต้านทานในระบบได้เป็น

$$R_d = R_{sh,r} + R_{dc} + R_{sh,i} \tag{2.7}$$

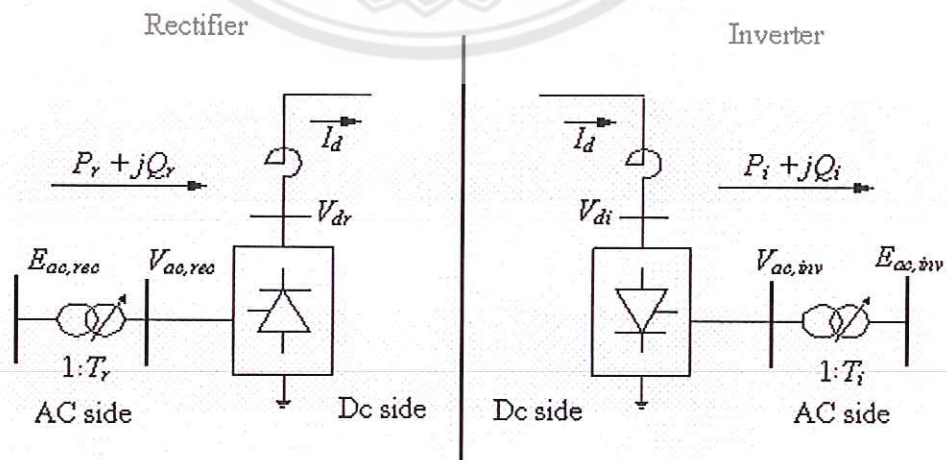
สามารถเขียนวงจรสมมูลใหม่ได้เป็นดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรสมมูลของระบบ DC เมื่อยุบรวมค่าความต้านทานในระบบ

2.4.1.2 แบบจำลอง AC-DC คอนเวอร์เตอร์

แบบจำลอง AC-DC คอนเวอร์เตอร์ แสดงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แบบจำลอง AC-DC คอนเวอร์เตอร์ ทั้งด้านเรกติไฟเออร์และอินเวอร์เตอร์

เมื่อไม่คิดค่าความสูญเสียในหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ สามารถวิเคราะห์ระบบได้ดังนี้

ด้านเรกติไฟเออร์

กำลังไฟฟ้าจริงมีค่าเท่ากับ

$$P_r = V_{dr} I_d \quad (2.8)$$

ตัวประกอบกำลังมีค่าเท่ากับ

$$\cos \theta_r = \frac{V_{dr}}{V_{dor}} \quad (2.9)$$

กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ มีค่าเท่ากับ

$$Q_r = P_r \tan \theta_r \quad (2.10)$$

แรงดันด้านปฐมภูมิของค่านหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ มีค่าเท่ากับ

$$E_{ac,rec} = \frac{\alpha_r}{T_r} V_{ac,rec} \quad (2.11)$$

เมื่อ T_r คือ อัตราส่วนแรงดันของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์

ด้านอินเวอร์เตอร์

กำลังไฟฟ้าจริงมีค่าเท่ากับ

$$P_i = V_{di} I_d \quad (2.12)$$

ตัวประกอบกำลังมีค่าเท่ากับ

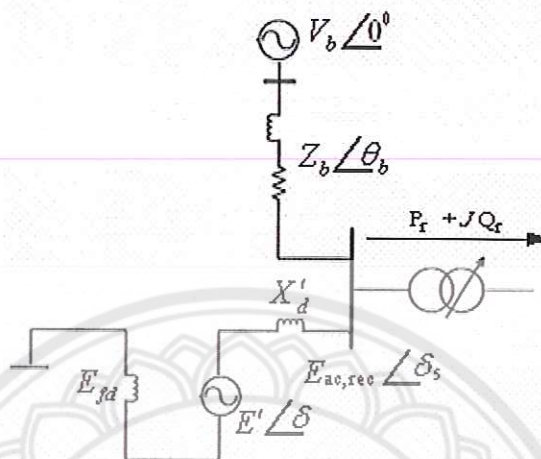
$$\cos \theta_i = \frac{V_{di}}{V_{doi}} \quad (2.13)$$

กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ มีค่าเท่ากับ

$$Q_i = P_i \tan \theta_i \quad (2.14)$$

2.4.1.3 แบบจำลองระบบ AC

จากระบบรวมในรูปที่ 2.7 ส่วนของระบบ AC สามารถแสดงได้ดังรูป 2.12



รูปที่ 2.12 ระบบไฟฟ้า AC (AC Power System)

จากรูปที่ 2.12 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบ AC คือ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

- E' คือ ขนาดแรงดันภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- δ คือ มุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- X'_d คือ ค่ารีแอกแตนซ์ชั่วคราวในแนวแกน d
- E'_{fd} คือ แรงดันขดลวดสนาม

ระบบภายนอกที่เชื่อมต่อ (Large System)

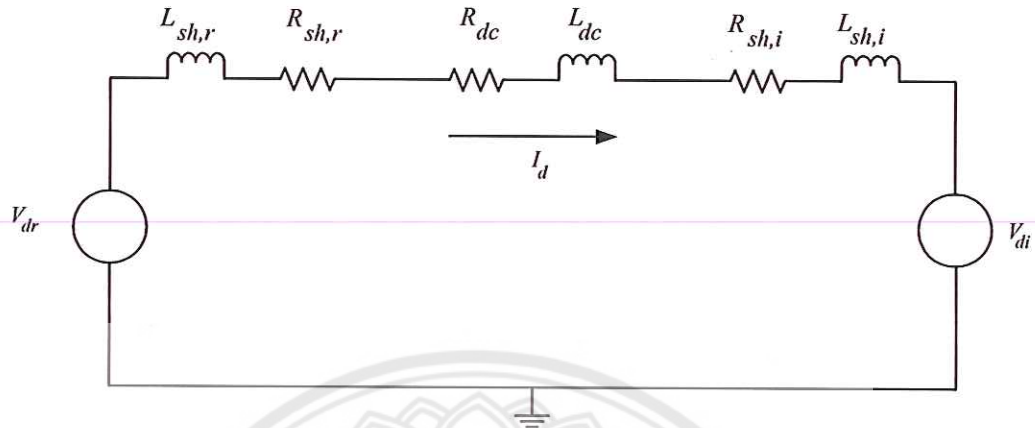
- V_b คือ ขนาดแรงดันที่บัสที่เชื่อมต่อกับระบบภายนอก
- Z_b คือ ขนาดอิมพีแดนซ์สมมูล (Equivalent Impedance)
- θ_b คือ มุมของอิมพีแดนซ์สมมูล

2.4.2 แบบจำลองในสถานะพลวัต (Dynamic Modeling)

เป็นแบบจำลองที่มีค่าขึ้นอยู่กับเวลา ใช้สำหรับวิเคราะห์ระบบในสถานะชั่วครู่ (Transient Analysis) ในการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าในระบบเอชวีดีซี สามารถทำได้ด้วยการควบคุมแรงดัน DC ให้มีค่าคงที่ และควบคุมกระแสตรงเพื่อให้ได้ค่ากำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการ

2.4.2.1 แบบจำลองสายส่ง DC

แบบจำลองสายส่ง DC ใช้สำหรับวิเคราะห์ค่ากระแสที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์ แสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์สภาวะพลวัตในสายส่ง DC

จากรูปที่ 2.13 $L_{sh,r}$, $L_{sh,i}$ คือ ตัวเหนี่ยวนำของรีแอกเตอร์ราบเรียบ
 L_{dc} คือ ตัวเหนี่ยวนำในสายส่ง DC

กำหนดให้

$$R_d = R_{sh,r} + R_{dc} + R_{sh,i} \quad (2.15)$$

$$L_d = L_{sh,r} + L_{dc} + L_{sh,i} \quad (2.16)$$

จากวงจรในรูปที่ 2.13

$$\frac{dI_d}{dt} = \frac{1}{L_d} (V_{dr} - V_{di} - R_d I_d) \quad (2.17)$$

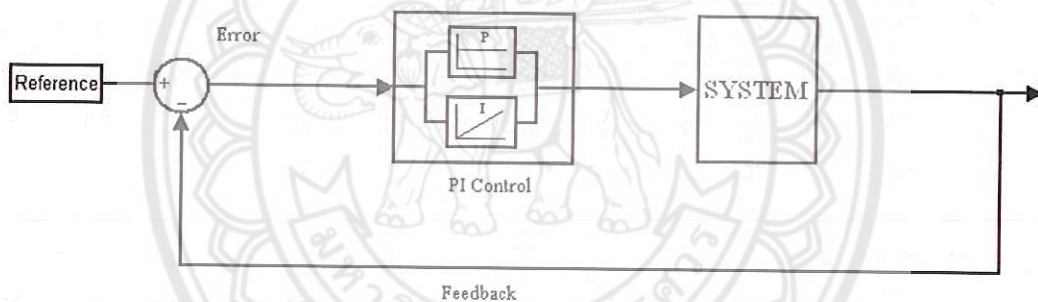
จากสมการที่ (2.17) พบว่าเวลาการตอบสนองของกระแส I_d จะมีค่าขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานและค่าความเหนี่ยวนำในระบบ

2.4.2.2 แบบจำลองระบบควบคุมในระบบเอชวีดีซี

ระบบควบคุมเพื่อใช้ในการเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าในระบบ เอชวีดีซีจะประกอบด้วย

- ตัวควบคุมความถี่ (Frequency Controller) ใช้ควบคุมความถี่จากระบบ AC เพื่อให้ความถี่ในการจุดชนวนของตัวคอนเวอร์เตอร์มีค่าคงที่ตลอดเวลา
- ตัวควบคุมกระแส (Current Controller) ใช้ปรับค่ากระแส DC เพื่อให้ได้ค่ากำลังตามที่ต้องการ
- ตัวควบคุมแรงดัน (Voltage Controller) ใช้ควบคุมค่าแรงดัน DC ให้มีค่าคงที่

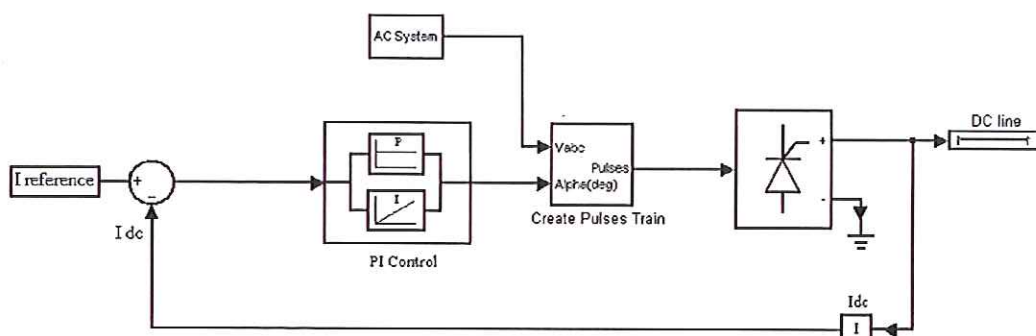
ระบบควบคุมในระบบเอชวีดีซีซึ่งเป็นระบบควบคุมแบบปิด (Closed-loop Control System) ซึ่งใช้ตัวควบคุมแบบพีไอ ในการปรับค่าต่างๆดังรูปที่ 2.14 โดยลักษณะการควบคุมแบบปิดจะเป็นการนำสัญญาณจากเอาต์พุตของระบบป้อนกลับเข้ามาเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตอ้างอิงที่ป้อนให้กับระบบ ซึ่งผลต่างระหว่างสัญญาณที่นำมาเปรียบเทียบนั้นจะเป็นสัญญาณค่าผิดพลาด(error) เพื่อที่จะใช้เป็นสัญญาณที่ป้อนเข้ากับตัวควบคุม (Controller) ให้ตัวควบคุมนำไปสร้างสัญญาณควบคุมใหม่เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบและทำให้ค่าเอาต์พุต ของระบบเข้าสู่ค่าที่เราต้องการ(Set point)



รูปที่ 2.14 แสดงแบบจำลองระบบควบคุมแบบปิด

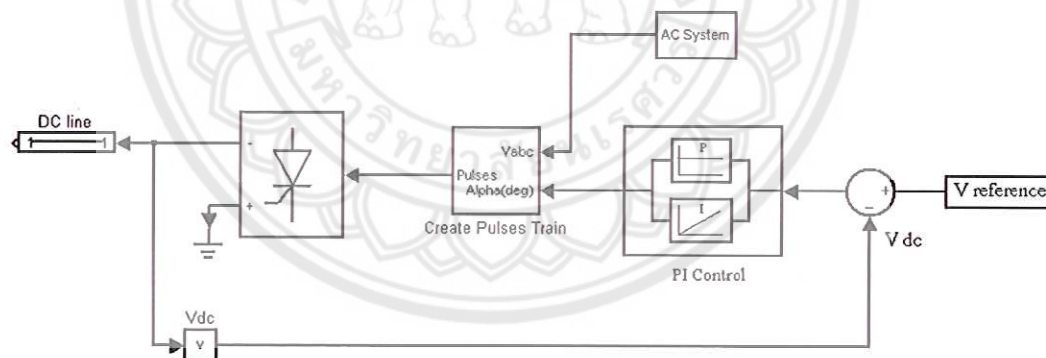
สำหรับในระบบเอชวีดีซีนีจะแบ่งส่วนของการควบคุมออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. การควบคุมในชุดเรกติไฟเออร์ ซึ่งในส่วนนี้ระบบควบคุมจะรับค่าสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นกระแสไฟตรง (I) กลับเข้ามาในชุดควบคุมเพื่อเปรียบเทียบกับค่าสัญญาณกระแสอ้างอิง ($I_{reference}$ หรือ Set point) ซึ่งจะช่วยให้ได้ค่าผลต่างระหว่างสองสัญญาณนั้น(error) ป้อนให้กับตัวควบคุมแบบพีไอ เพื่อกำหนดค่ามุม α จากนั้นจะส่งค่ามุม α ที่ได้ไปที่ชุดสร้างสัญญาณพัลส์ซึ่งจะรับสัญญาณความถี่จากระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้าด้วยเพื่อให้ความถี่ในการจุดชนวนของตัวคอนเวอร์เตอร์มีค่าคงที่ตลอดเวลาจากนั้นจะส่งสัญญาณพัลส์ไปควบคุมการทำงานของไทรสเตอร์ในชุดเรกติไฟเออร์ต่อไปดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงแบบจำลองระบบควบคุมในส่วนเรกติไฟเออร์

2. การควบคุมในชุดอินเวอร์เตอร์ ซึ่งในส่วนนี้ระบบควบคุมจะรับค่าสัญญาณเอาต์พุตที่เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงกลับเข้ามาในชุดควบคุมเพื่อเปรียบเทียบกับค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง ($V_{reference}$ หรือ Set point) ซึ่งจะทำให้ได้ค่าผลต่างระหว่างสองสัญญาณนั้น (error) ป้อนเข้ากับตัวควบคุมแบบพีไอ เพื่อกำหนดค่ามุม γ จากนั้นจะส่งค่ามุม γ ที่ได้ไปที่ชุดสร้างสัญญาณพัลส์ซึ่งจะรับสัญญาณความถี่จากระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้าด้วยเพื่อให้ความถี่ในการจุดชนวนของตัวคอนเวอร์เตอร์มีค่าคงที่ตลอดเวลาจากนั้นจะส่งสัญญาณพัลส์ไปควบคุมการทำงานของไทรสเตอร์ในชุดอินเวอร์เตอร์ต่อไปดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงแบบจำลองระบบควบคุมในส่วนอินเวอร์เตอร์

บทที่ 3

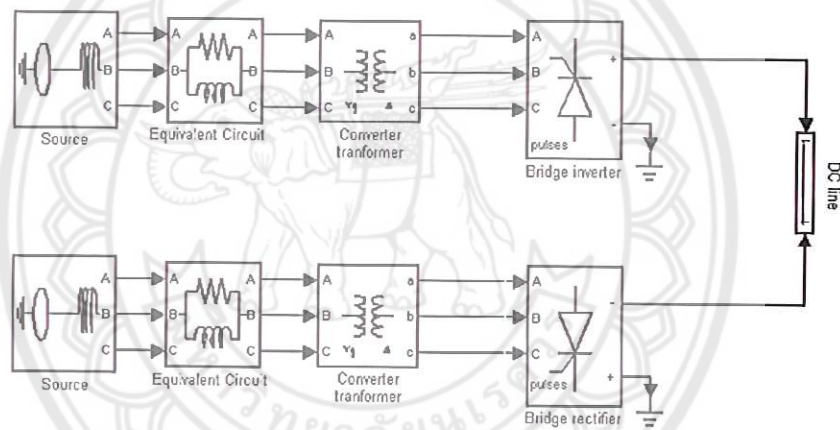
แบบจำลองระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์

3.1 การสร้างแบบจำลองระบบเอชวีดีซี ด้วยโปรแกรมซิมูลิงค์

แบบจำลองระบบเอชวีดีซีที่สร้างขึ้นจากโปรแกรมซิมูลิงค์ มีส่วนประกอบหลักๆ 3 ส่วน คือ

3.1.1 แบบจำลองระบบกำลังของระบบเอชวีดีซี

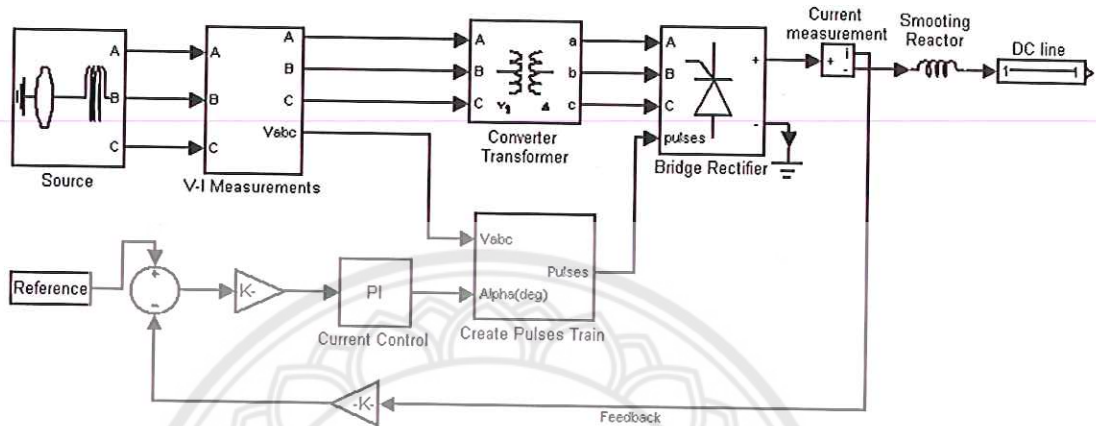
เป็นส่วนที่ใช้ในการส่งกำลังไฟฟ้าจากด้านหนึ่ง ไปยังอีกด้านหนึ่ง จะเป็นส่วนที่มีค่าพิกัดกระแส และแรงดันมีค่าสูง ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, วงจรสมมูลของระบบที่มีการเชื่อมต่อ หม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ และไทรสเตอร์วาล์ว โดยจะแยกเป็นด้านส่งและด้านรับ และมีสายส่ง DC ที่ใช้ในการเชื่อมต่อของระบบ ทั้งสอง เข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แบบจำลองระบบกำลังของระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์

3.1.2 แบบจำลองระบบควบคุมด้านส่งกำลังไฟฟ้า

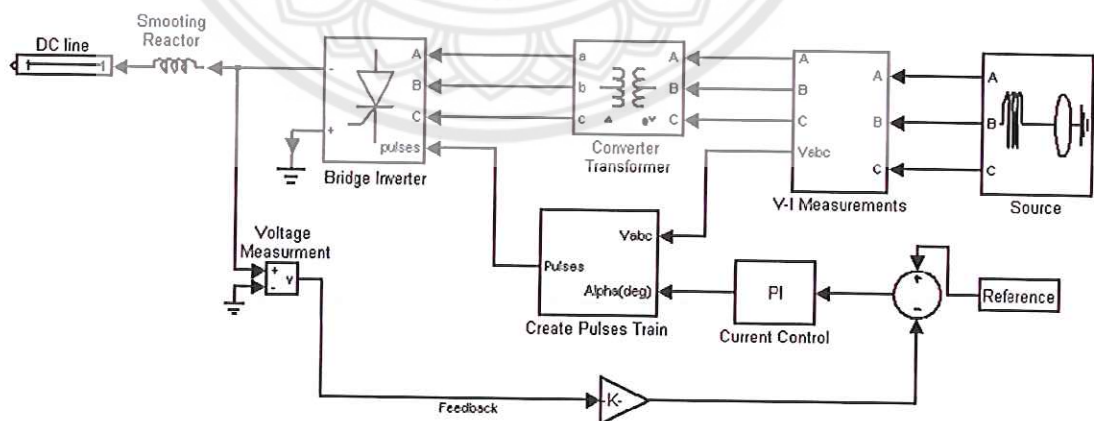
เป็นการควบคุมค่ากระแสในระบบ DC ให้มีค่าคงที่ โดยจะเป็นการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ประกอบด้วย ชุดควบคุมแบบพีไอ และชุดสร้างสัญญาณพัลส์ในการควบคุมคอนเวอร์เตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แบบจำลองส่วนควบคุมด้านส่งกำลังไฟฟ้าของระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์

3.1.3 แบบจำลองระบบควบคุมด้านรับกำลังไฟฟ้า

เป็นการควบคุมค่าแรงดันในระบบ DC ให้มีค่าคงที่ และจะเป็นส่วนที่ใช้ปรับความถี่ให้เท่ากับความถี่ของด้านรับกำลังไฟฟ้า ประกอบด้วยชุดควบคุมแบบพีไอ และชุดสร้างสัญญาณพัลส์ในการควบคุมคอนเวอร์เตอร์แสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.3 แบบจำลองส่วนควบคุมด้านรับกำลังไฟฟ้าของระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์

จากแบบจำลองระบบเอชวีดีซีชนิด 6 พัลส์ โดยมีการส่งกำลังไฟฟ้าจากด้านส่งกำลังไฟฟ้าไปยังด้านรับกำลังไฟฟ้ามีขั้นตอนการออกแบบระบบหลักๆ โดยใช้อุปกรณ์ในโปรแกรมซิมูลิงค์ดังนี้

แหล่งจ่ายแรงดัน ใช้แหล่งจ่ายแรงดัน 3 เฟส ที่ด้านส่งกำลังไฟฟ้าและด้านรับกำลังไฟฟ้าโดยมีค่าพารามิเตอร์ด้านส่งกำลังไฟฟ้ามีขนาดแรงดันเท่ากับ 230 kV มีความถี่เท่ากับ 50 Hz ส่วนด้านรับกำลังไฟฟ้ามีขนาดแรงดันเท่ากับ 275 kV ความถี่เท่ากับ 50 Hz

หม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ ใช้หม้อแปลงชนิด 2 ขดลวด ต่อแบบวาย-เดลต้า โดยด้านส่งกำลังไฟฟ้าแปลงแรงดันจาก 230 kV เป็น 122.24 kV และด้านรับกำลังไฟฟ้าแปลงแรงดันจาก 275 kV เป็น 122.24 kV

ไทรสเตอร์วาล์ว ใช้ ชุดไทรสเตอร์วาล์วแบบวงจรถูกัดด้านละ 1 ชุด โดยชุดวาล์วแบบ 6 พัลส์ แต่ละชุดจะทำการแปลงแรงดัน AC ขนาด 122.24 kV เป็นแรงดัน DC ขนาด 150 kV มีค่ารีแอกแตนซ์การสับเปลี่ยน (X_c) เท่ากับ 5 โอห์ม

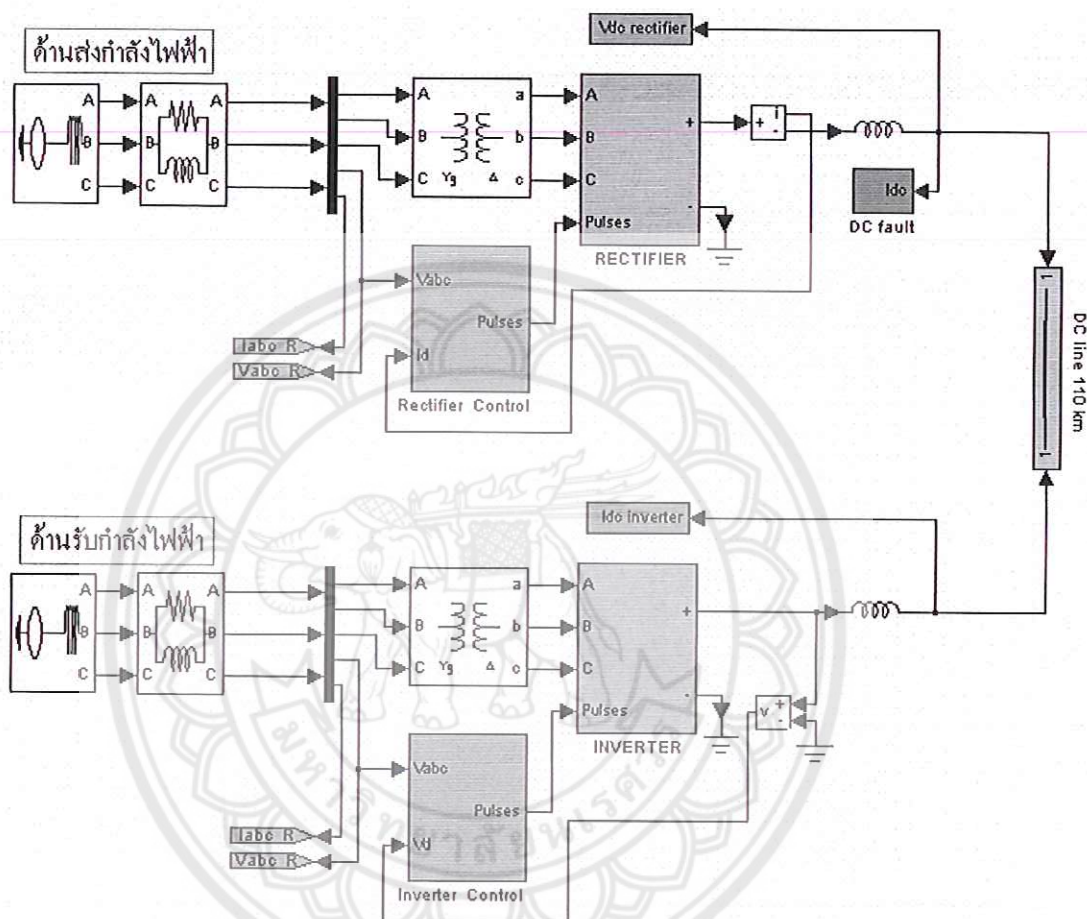
สายส่งกระแสตรง ใช้สายส่งกระแสตรงโดยเชื่อมระหว่างชุดคอนเวอร์เตอร์ทั้งสองด้าน โดยมีความยาว 110 กิโลเมตร

- ความต้านทาน 3.3 โอห์ม
- ความเหนี่ยวนำ 0.042 เฮนรี่

แบบจำลองระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์ที่สร้างขึ้นมีพิกัดแรงดันระบบ DC 150 kV พิกัดกระแส 1000 A พิกัดกำลังไฟฟ้า 150 kW และสามารถใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ข้างต้นมาสร้างแบบจำลองได้ดังนี้

3.2 แบบจำลองระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์ โดยใช้โปรแกรมซิมูลิงค์

จากแผนภาพแบบจำลองเอชวีดีซีชนิดการเชื่อมต่อแบบโมโนโพลาร์และค่าพารามิเตอร์ของระบบเอชวีดีซีที่ใช้เป็นกรณีศึกษา สามารถออกแบบแผนภาพแบบจำลองเอชวีดีซีไทยมาเลเซียชนิด 6 พัลส์ได้ ดังนี้



รูปที่ 3.4 แบบจำลองระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์ โดยใช้โปรแกรมซิมูลิงค์

การทดสอบระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์ จะทำการทดสอบโดยแสดงค่าเป็นแบบต่อหน่วยโดยมีค่าฐานดังต่อไปนี้

- ระบบ DC

แรงดันฐาน 150 kV กระแสฐาน 1000 A

- ระบบ AC (ด้านส่งกำลังไฟฟ้า)

แรงดันฐาน 230 kV กำลังไฟฟ้าฐาน 500 MVA

- ระบบ AC (ด้านรับกำลังไฟฟ้า)

แรงดันฐาน 275 kV กำลังไฟฟ้าฐาน 500 MVA

การควบคุมระบบเป็นแบบพีไอ แบ่งเป็น 2 ชุด คือชุดควบคุมด้านส่งกำลังไฟฟ้าและชุดควบคุมด้านรับกำลังไฟฟ้ามีค่าอัตราขยายดังนี้

ด้านส่งกำลังไฟฟ้า

อัตราขยายของการควบคุมแบบพี (Kp) = 60

อัตราขยายของการควบคุมแบบไอ (Ki) = 3500

ด้านรับกำลังไฟฟ้า

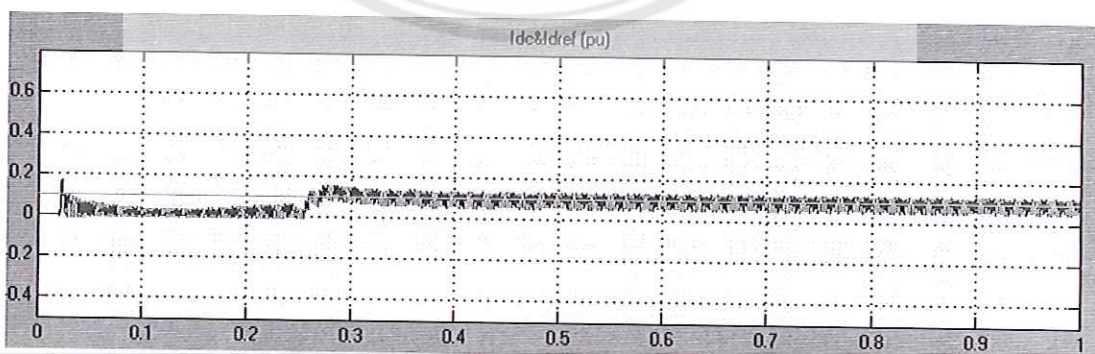
อัตราขยายของการควบคุมแบบพี (Kp) = 15

อัตราขยายของการควบคุมแบบไอ (Ki) = 1500

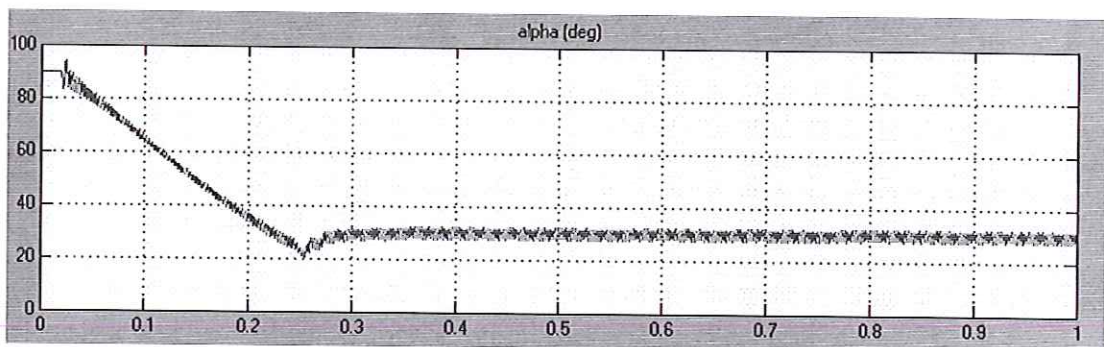
3.3 การทดสอบระบบที่สภาวะปกติ

การทดสอบระบบที่สภาวะปกติแบ่งเป็น 3 การทดสอบดังนี้

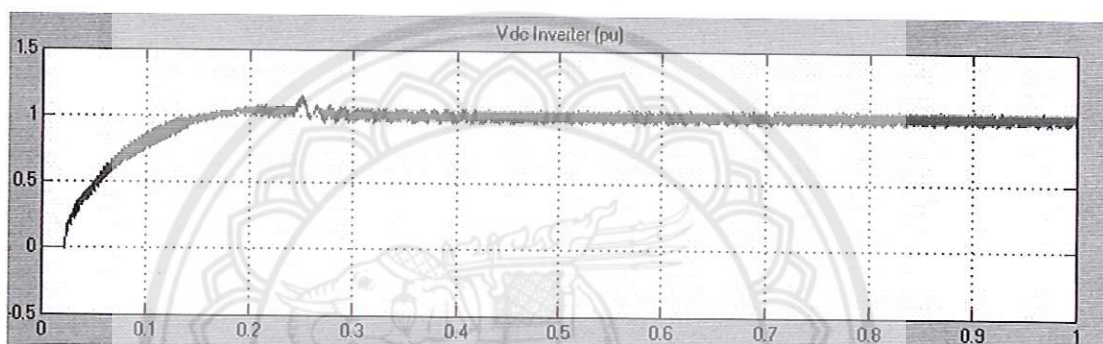
การทดสอบที่ 1 เมื่อทำการปรับค่ากระแสอ้างอิง 0.1pu. (100A) และปรับค่าแรงดันอ้างอิง 1 pu. (300 kV) เป็นการทดสอบเริ่มต้นการทำงานของระบบคือ ส่งกำลังไฟฟ้า 30 MW สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 3.5 ถึงรูปที่ 3.8



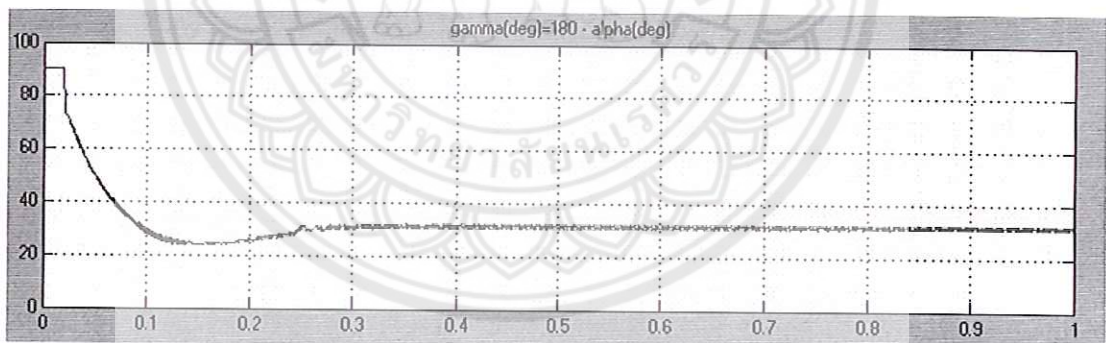
รูปที่ 3.5 กราฟกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงมุมจุดชนวนด้านส่งกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 3.7 กราฟแรงดันระบบ DC ด้านส่งรับไฟฟ้า

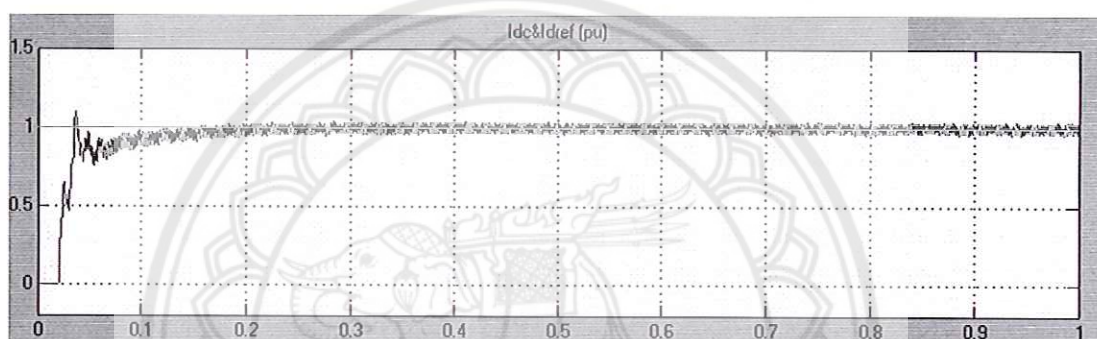


รูปที่ 3.8 กราฟแสดงมุมดับ(γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า

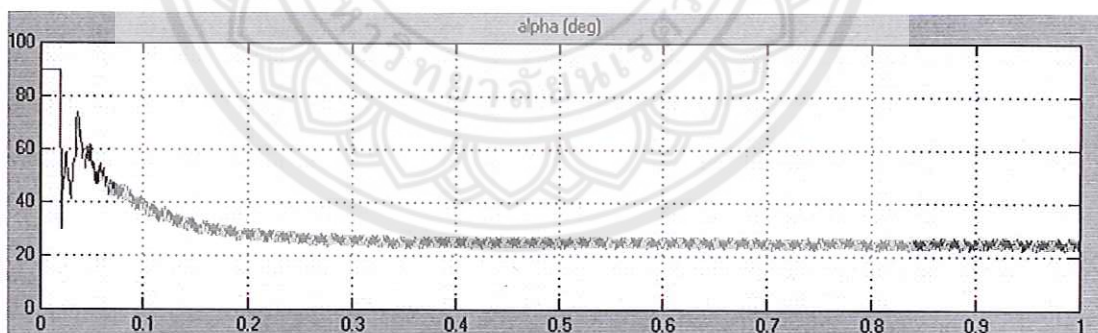
จากรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสและกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมจุดชนวน(α)ในช่วงสภาวะปกติ ด้านส่งกำลังไฟฟ้าจะเห็นได้ว่าค่าของกระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจาก 0 pu. จนถึงค่ากระแสที่กักที่ตั้งไว้คือ 0.1 pu. ที่เวลาประมาณ 0.1 วินาทีแล้วเข้าสู่สภาวะคงที่ที่เวลาประมาณ 0.27 วินาที ส่วนมุมจุดชนวน(α) จะมีค่าลดลงเรื่อยๆจาก 90 องศา และเข้าสู่สภาวะคงที่ที่มุม 30 องศา

จากรูปที่ 3.7 และรูป 3.8 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมดับ(γ)ในช่วงสภาวะปกติ ในส่วนของด้านรับกำลังไฟฟ้าจะเห็นได้ว่าค่าของแรงดันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจาก 0 pu. จนถึงค่าแรงดันพิกัดที่ตั้งไว้คือ 1 pu. ที่เวลาประมาณ 0.2 วินาที แล้ว เข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลาประมาณ 0.27 วินาที ส่วนมุมดับ(γ)จะมีค่าลดลงเรื่อยๆจาก 90 องศา และเข้าสู่สภาวะคงที่ที่มุม 30 องศาเช่นกัน

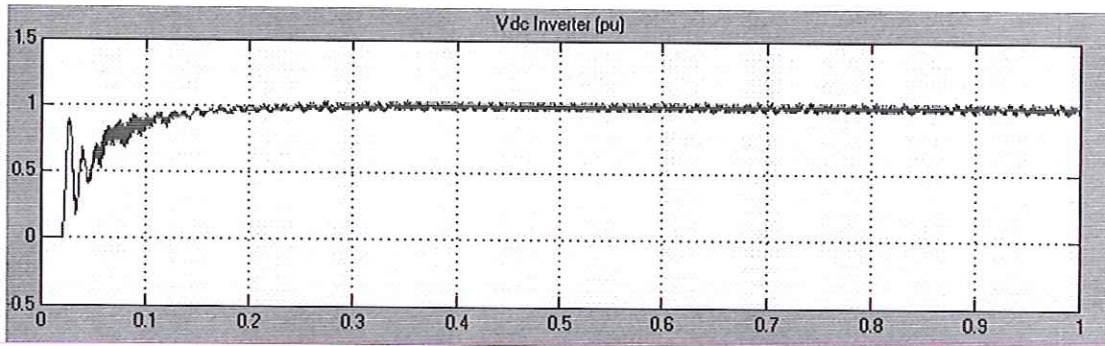
การทดสอบที่ 2 เมื่อทำการปรับค่ากระแสอ้างอิง 1pu.(1000A) และปรับค่าแรงดันอ้างอิง 1pu.(300 kV) เป็นการทดสอบเริ่มต้นการทำงานของระบบคือส่งกำลังไฟฟ้า 300 MW สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 3.9 ถึงรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.9 กราฟกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า

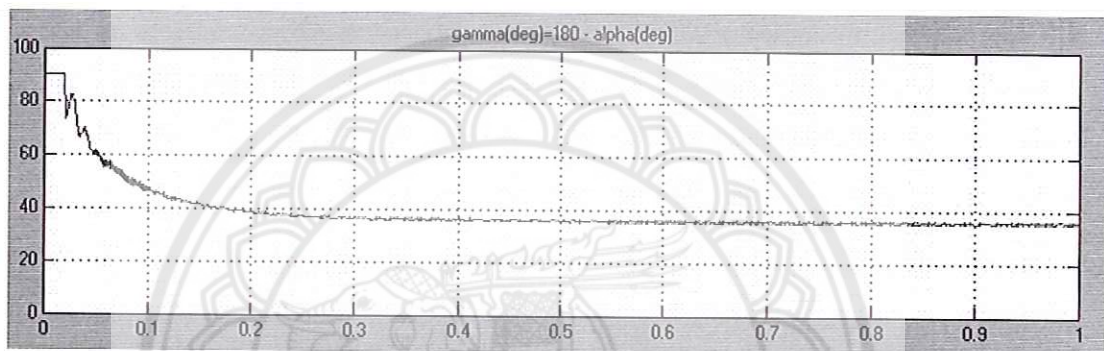


รูปที่ 3.10 กราฟแสดงมุมจุดชนวนด้านส่งกำลังไฟฟ้า



ร/ร.
จ 528 ข
2548

รูปที่ 3.11 กราฟแรงดันระบบ DC ด้านส่งรับไฟฟ้า

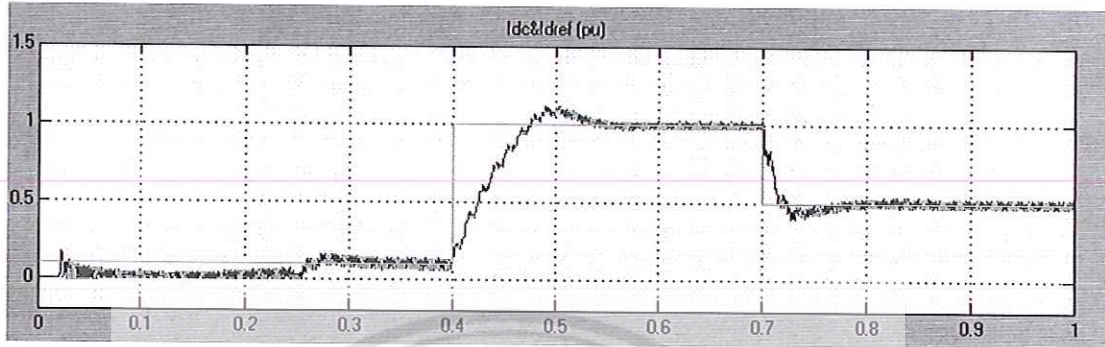


รูปที่ 3.12 กราฟแสดงมุมดับ(γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า

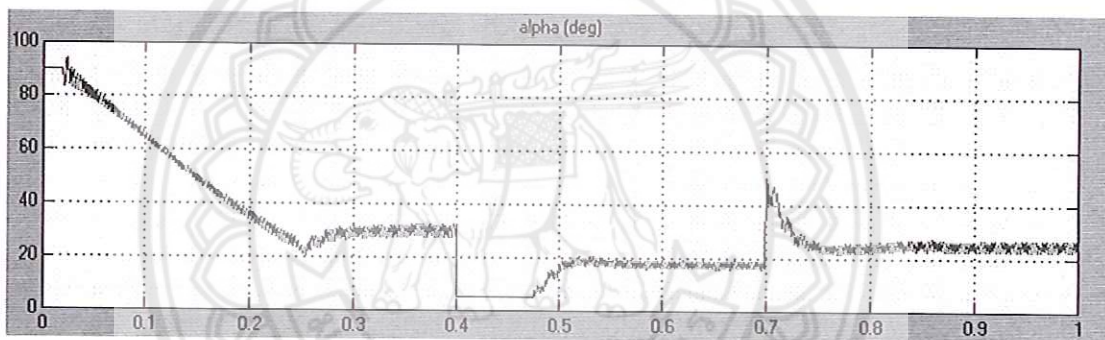
จากรูปที่ 3.9 และรูปที่ 3.10 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสและกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมจุดชนวน(α)ในช่วงสภาวะปกติ ในส่วนของด้านส่งกำลังไฟฟ้าจะเห็นได้ว่าค่าของกระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจาก 0 pu. จนถึงค่ากระแสพิกัดที่ตั้งไว้คือ 1 pu. ที่เวลาประมาณ 0.2 วินาทีและเข้าสู่สภาวะคงที่ด้วย ส่วนมุมจุดชนวน(α)จะมีค่าลดลงเรื่อยๆจาก 90 องศา และเข้าสู่สภาวะคงที่ที่มุมประมาณ 22 องศา

จากรูปที่ 3.11 และรูป 3.12 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมดับ(γ)ในช่วงสภาวะปกติ ในส่วนของด้านรับกำลังไฟฟ้าจะเห็นได้ว่าค่าของแรงดันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจาก 0 pu จนถึงค่าแรงดันพิกัดที่ตั้งไว้คือ 1 pu. ที่เวลาประมาณ 0.2 วินาทีและเข้าสู่สภาวะคงที่ด้วย ส่วนมุมดับ(γ)จะมีค่าลดลงเรื่อยๆจาก 90 องศา และเข้าสู่สภาวะคงที่ที่มุมประมาณ 37 องศา เช่นกัน

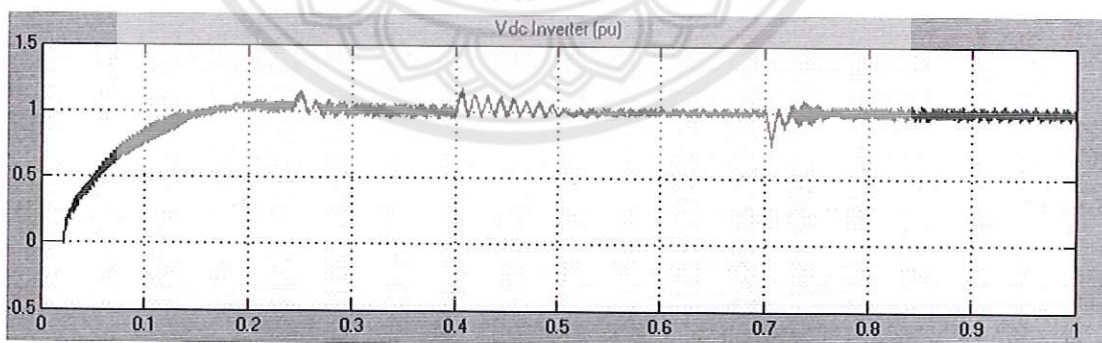
การทดสอบที่ 3 ในช่วงแรกปรับค่ากระแสอ้างอิงไว้ที่ค่า 0.1 pu. จากนั้นตั้งค่ากระแสอ้างอิงให้มีค่า 1 pu. ที่เวลา 0.4 วินาทีและทำการตั้งค่าให้กระแสอ้างอิงกลับที่ 0.5 pu. ที่เวลา 0.7 วินาที ดังรูปที่ 3.13 ถึงรูปที่ 3.16



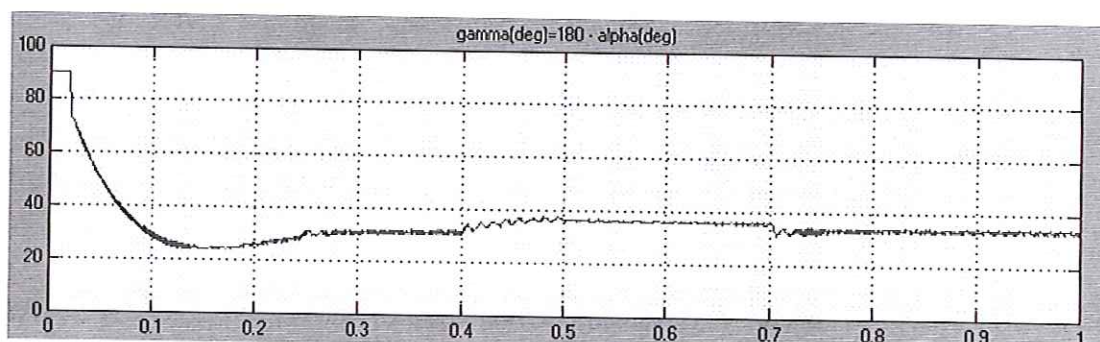
รูปที่ 3.13 กราฟกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 3.14 กราฟแสดงมุมจุดชนวนด้านส่งกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 3.15 กราฟแรงดันระบบ DC ด้านส่งรับไฟฟ้า



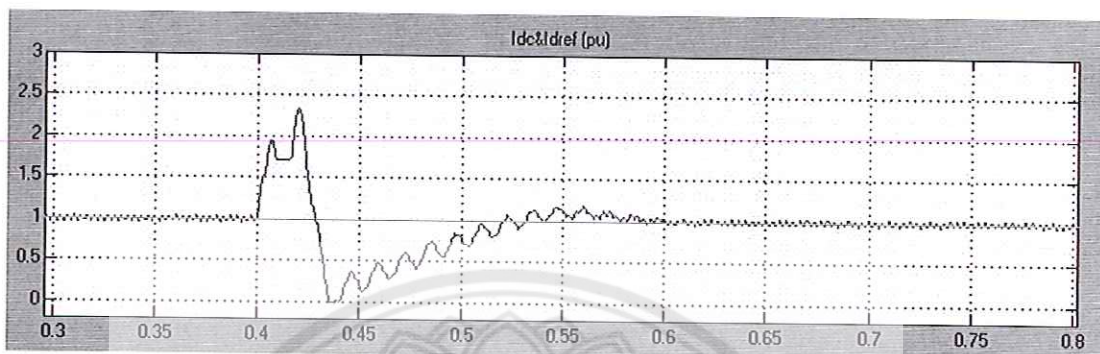
รูปที่ 3.16 กราฟแสดงมุมดับ(γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.13 และรูปที่ 3.14 เป็นกราฟไปแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสและกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมจุดชนวน(α)ในลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสฟัดด์ในส่วนทางด้านส่งกำลังไฟฟ้าจะเห็นได้ว่าค่าของกระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจาก 0 pu. จนถึงค่ากระแสฟัดด์ที่ตั้งไว้คือ 0.1 pu. ที่เวลาประมาณ 0.27วินาทีและที่เวลา 0.4 วินาทีกระแสจะเริ่มมีค่าเพิ่มขึ้นจนมีขนาด 1.0 pu ที่เวลา 0.55 วินาที จนถึงเวลา 0.7 วินาที แล้วกระแสจะเริ่มลดลงจนมีค่าเป็น 0.5 pu. ที่เวลาประมาณ 0.73 วินาที แล้วเข้าสู่สภาวะคงที่ ส่วนมุมจุดชนวน(α)จะมีค่าลดลงเรื่อยๆจาก 90 องศา และค่อยๆเปลี่ยนแปลงในลักษณะที่ผกผันกับค่ากระแส แล้วเข้าสู่สภาวะคงที่ที่มุม 22 องศา ที่เวลา 0.75 วินาที

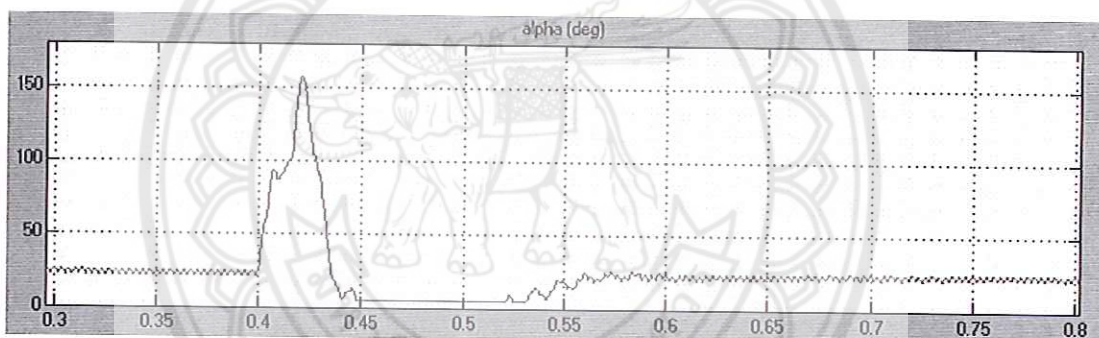
จากรูปที่ 3.15 และรูป 3.16 เป็นกราฟไปแสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมดับ(γ)ในลักษณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่ากระแสฟัดด์ ในส่วนทางด้านรับกำลังไฟฟ้าจะเห็นได้ว่าค่าของแรงดันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจาก 0 pu. จนถึงค่าแรงดันฟัดด์ที่ตั้งไว้คือ 1 pu. ที่เวลาประมาณ 0.2 วินาทีและเข้าสู่สภาวะคงตัวด้วย ส่วนมุมดับจะมีค่าลดลงเรื่อยๆจาก 90 องศา และเข้าสู่สภาวะคงตัวที่มุม 37 องศา

3.4 การทดสอบระบบที่สภาวะผิดปกติ

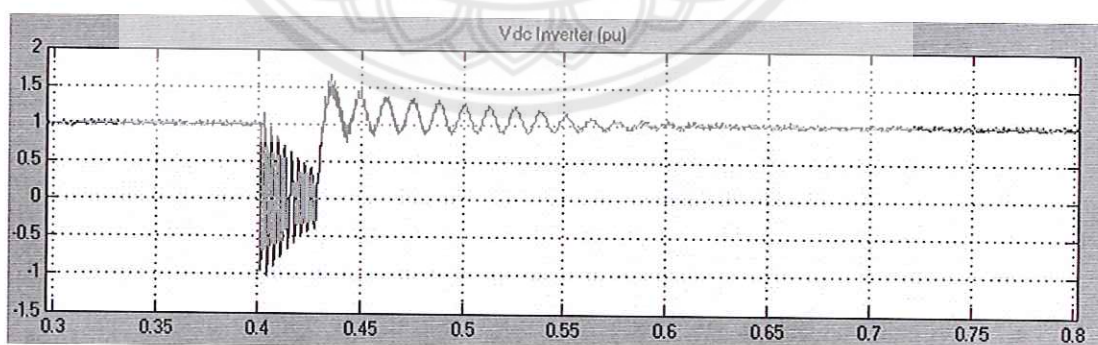
การทดสอบที่สภาวะผิดปกติโดยจะทดสอบความผิดปกติของในสายส่งกระแสตรง(DC Fault) ปรับค่ากระแสอ้างอิงไว้ที่ค่า 1.0 pu. และตั้งค่าตำแหน่งที่เกิดความผิดปกติในระบบไว้ที่ ช่วงเวลา 0.4-0.42 วินาที โดยมีสวิตช์ตั้งเวลาปิดเปิด ดังรูปที่ 3.17 ถึงรูปที่ 3.20



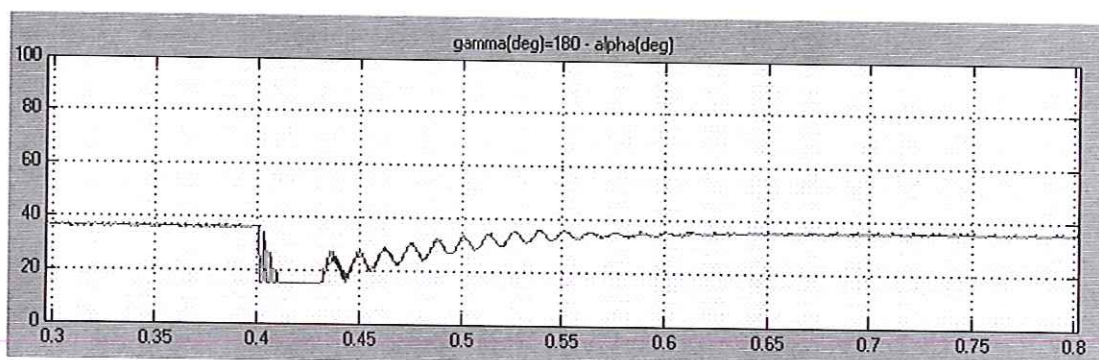
รูปที่ 3.17 กราฟกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 3.18 กราฟแสดงมุมจุดชนวนด้านส่งกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 3.19 กราฟแรงดันระบบ DC ด้านส่งรับไฟฟ้า



รูปที่ 3.20 กราฟแสดงมุมดับ (γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.17 และรูปที่ 3.18 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของกระแสและกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมจุดชนวน (α) ในขณะที่เกิดความผิดปกติ ในส่วนของด้านส่งกำลังไฟฟ้าจะเห็นว่าค่าของกระแสจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 0 pu. จนถึงค่ากระแสที่คิดที่ตั้งไว้คือ 1 pu. ที่เวลาประมาณ 0.2 วินาทีและระบบเกิดความผิดปกติที่เวลา 0.4 วินาทีทำให้กระแสพุ่งสูงมากประมาณ 2.5 pu. จากนั้นกระแสตกลงอย่างรวดเร็วจนไปถึงค่า 0 pu. แล้วกลับเข้าสู่ค่า 1.0 pu. ที่เวลาประมาณ 0.52 วินาทีแล้วเข้าสู่สภาวะคงที่ที่เวลา 0.6 วินาที ส่วนมุมจุดชนวน (α) จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จาก 90 องศา และในขณะที่เกิดความผิดปกติที่เวลา 0.4 วินาที มุมจุดชนวนจะมีค่าสูงถึง 160 องศา แล้วค่ามุมจุดชนวนตกลงมาอย่างรวดเร็วที่ 5 องศา ในช่วงเวลาประมาณ 0.45-0.52 วินาทีและเข้าสู่สภาวะคงตัวที่มุม 25 องศา ที่เวลา 0.6 วินาที

จากรูปที่ 3.19 และรูป 3.19 เป็นกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของมุมดับ (γ) ในขณะที่เกิดความผิดปกติ ในส่วนของด้านรับกำลังไฟฟ้าจะเห็นว่าค่าของแรงดันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จาก 0 pu. จนถึงค่าแรงดันที่คิดที่ตั้งไว้คือ 1 pu. ที่เวลาประมาณ 0.2 วินาทีและในขณะที่เกิดความผิดปกติที่เวลา 0.4 วินาทีแรงดันตกลงมาที่ 0 pu และจากนั้นแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่า 1.5 pu ในช่วงเวลาสั้นๆแล้วเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลา 0.6 วินาที ส่วนมุมดับ (γ) จะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จาก 90 องศา และในขณะที่เกิดความผิดปกติที่เวลา 0.4 วินาที มุมดับจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจนเกือบจะถึง 15 องศา แล้วกลับเข้าสู่สภาวะคงตัวที่มุม 38 องศาที่เวลา 0.6 วินาที

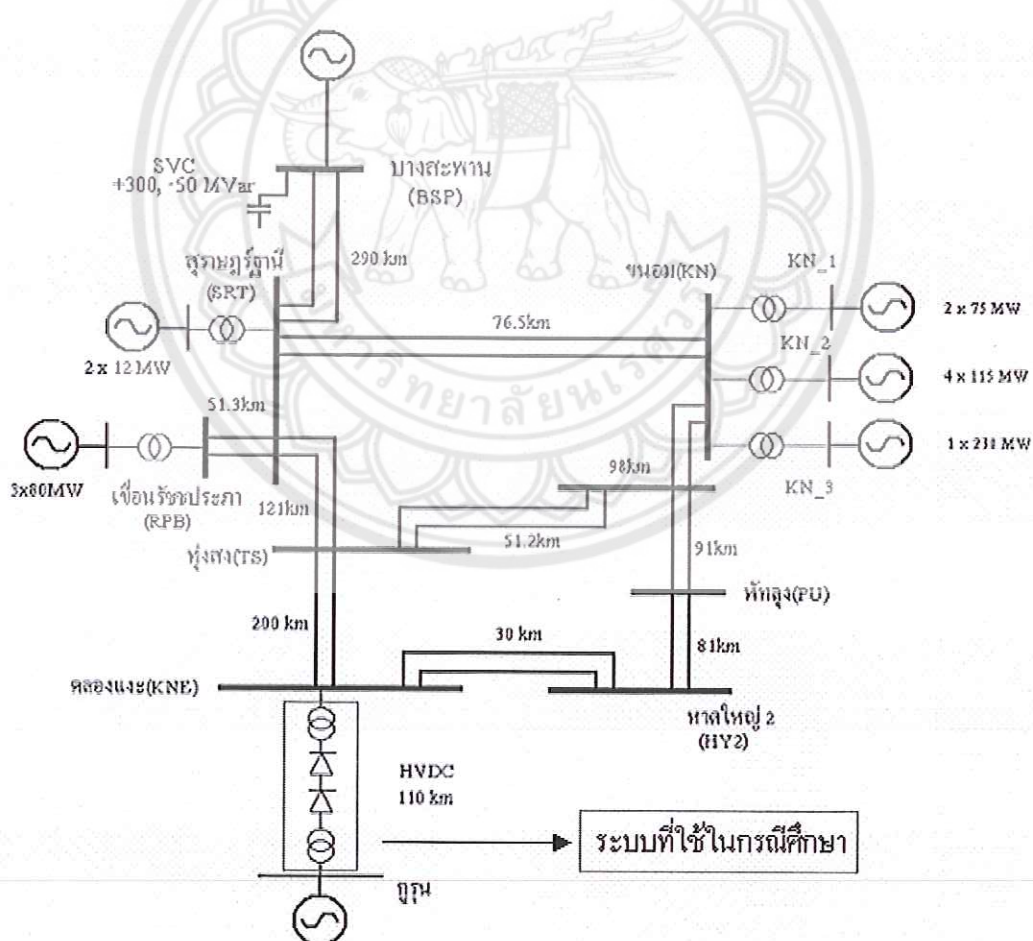
จากแบบจำลองระบบเอชวีดีซี ชนิด โมโนโพลาร์แบบ 6 พัลส์ในบทนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบจำลองระบบเอชวีดีซีระหว่างประเทศ ไทย-มาเลเซีย ชนิด โมโนโพลาร์แบบ 12 พัลส์ ในบทต่อไปซึ่งจะออกแบบโดยคำนึงถึงค่าพารามิเตอร์ให้ตรงตามกรณีศึกษามากที่สุด

บทที่ 4

ระบบที่ใช้ในกรณีศึกษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงข้อมูลของระบบ เอชวีดีซี ระหว่างประเทศไทยและประเทศมาเลเซียซึ่งเป็นระบบที่ใช้ในกรณีศึกษาในปริญญาโทนี้ โดยประกอบด้วยข้อมูลของระบบเอชวีดีซีที่เป็นค่าพารามิเตอร์ของระบบ(ในกรณีไม่มีข้อมูลโดยตรงจะทำการประมาณค่าข้อมูล เช่น ข้อมูลโหลดเป็นต้น) การสร้างแบบจำลองในกรณีศึกษา การควบคุมและวิธีการทดสอบระบบในกรณีศึกษาด้วย

ระบบเอชวีดีซี ที่ได้มีการเชื่อมต่อระหว่างประเทศไทย กับประเทศมาเลเซียเป็นระบบที่เชื่อมต่อด้วยสายส่ง DC เพียงเส้นเดียว (Monopolar link) พิกัดแรงดัน 300 kV พิกัดกำลัง 300 MW พิกัดกระแส 1000 A โดยสถานีที่ใช้เชื่อมต่อระบบทั้งสองเข้าด้วยกัน อยู่ที่สถานีกูรุนในประเทศมาเลเซียขนาดแรงดัน 275 kV และสถานีไฟฟ้าคลองแจะประเทศไทย ขนาดแรงดันมีค่า 230 kV ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ระบบเอชวีดีซีที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าภาคใต้ของประเทศไทย

4.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบเอชวีดีซีที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

4.1.1 หม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ (Converter Transformer)

เป็นหม้อแปลงชนิด 3 ขดลวดแบบ Yyn0d11 โดยหนึ่งขดต่อเข้ากับระบบ AC โดยมีการต่อขดลวดแบบวาย ส่วนอีกขดต่อเข้ากับไทรสเตอร์วาล์ว โดยมีการต่อขดลวดแบบวายขดหนึ่ง และเคลด้าอีกขดหนึ่ง เพื่อให้ค่ามุมของแรงดันไฟฟ้ามีค่าต่างกัน 30 องศา ค่าพารามิเตอร์ มีดังนี้

- ขนาดพิกัด	116/58/58	MVA
- แรงดันด้านที่ต่อระบบ AC (ขดลวดแบบ วาย)	$230/\sqrt{3}$	kV (บางสะพาน)
- แรงดันด้านที่ต่อกับระบบ AC (ขดลวดแบบ วาย)	$275/\sqrt{3}$	kV (กูรูน)
- แรงดันด้านที่ต่อกับวาล์ว (ขดลวดแบบวาย)	$122.24/\sqrt{3}$	kV
- แรงดันด้านที่ต่อกับวาล์ว (ขดลวดแบบ เคลด้า)	122.24	kV
- ค่าอิมพีแดนซ์หม้อแปลง (วาย-วาย)	11	%
- ค่าอิมพีแดนซ์หม้อแปลง (วาย-เคลด้า)	11	%

4.1.2 สมุดตั้งรีแอคเตอร์ (Smoothing Reactor)

เป็นตัวเหนี่ยวนำขนาด 100 mH ทำหน้าที่ช่วยลดการกระเพื่อม จากการสวิตช์จากไทรสเตอร์วาล์วและช่วยป้องกันไทรสเตอร์วาล์ว กรณีเกิดความผิดปกติในสายส่ง DC

4.1.3 สายส่งกระแสตรง (DC Transmission Line)

สายส่งเป็นแบบสองขั้ว มีความยาว 110 กิโลเมตร มีความสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้านี้

กำลังไฟฟ้า DC

- พิกัดกำลังไฟฟ้า	300	เมกะวัตต์
- กำลังไฟฟ้าสูงสุด(ทนได้ 10 นาที)	450	เมกะวัตต์
- กำลังไฟฟ้าต่ำสุด	30	เมกะวัตต์

กระแสไฟฟ้า DC

- กระแสไฟฟ้าพิกัด	1000	แอมแปร์
- กระแสไฟฟ้าสูงสุด(ทนได้ 10 นาที)	1560	แอมแปร์
- กระแสไฟฟ้าต่ำสุด	100	แอมแปร์

แรงดันไฟฟ้า DC

- แรงดันไฟฟ้าพิกัด	300	โวลต์
- แรงดันไฟฟ้าสูงสุด	308	โวลต์
- แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด	292	โวลต์

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในสายส่ง DC มีค่าดังนี้

- ความต้านทาน	3.3	โอห์ม
- ความเหนี่ยวนำ	0.042	เฮนรี่

4.1.4 ไทริสเตอร์วาล์ว (Thyristor Valve)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดัน AC เป็น DC เมื่อต้องการระบบเอชวีดีซีแบบ 12 พัลส์จะสามารถทำได้โดยใช้ชุด ไทริสเตอร์วาล์วแบบ 6 พัลส์ต่ออนุกรมกันโดยที่

- ชุดวาล์วแบบ 6 พัลส์ ชุดบนจะต่อกับสายส่ง DC จะแปลงแรงดันจากด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ที่มีการต่อขดลวดแบบววาย

- ชุดวาล์วแบบ 6 พัลส์ ชุดล่างจะต่อกับกราวด์หรือสายนิวทรัล DC จะแปลงแรงดันจากด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ที่มีการต่อขดลวดแบบเดลต้า

ชุดวาล์วแบบ 6 พัลส์แต่ละชุดจะทำการแปลงแรงดัน AC ขนาด 122.24 กิโลโวลต์ เป็นแรงดัน DC ขนาด 150 กิโลโวลต์ มีค่ารีแอคแตนซ์การสับเปลี่ยน (X_c) เท่ากับ 5 โอห์ม

4.2 การจำลองระบบเอชวีดีซีระหว่างประเทศไทย – มาเลเซีย ด้วยโปรแกรมซิมูลิงค์

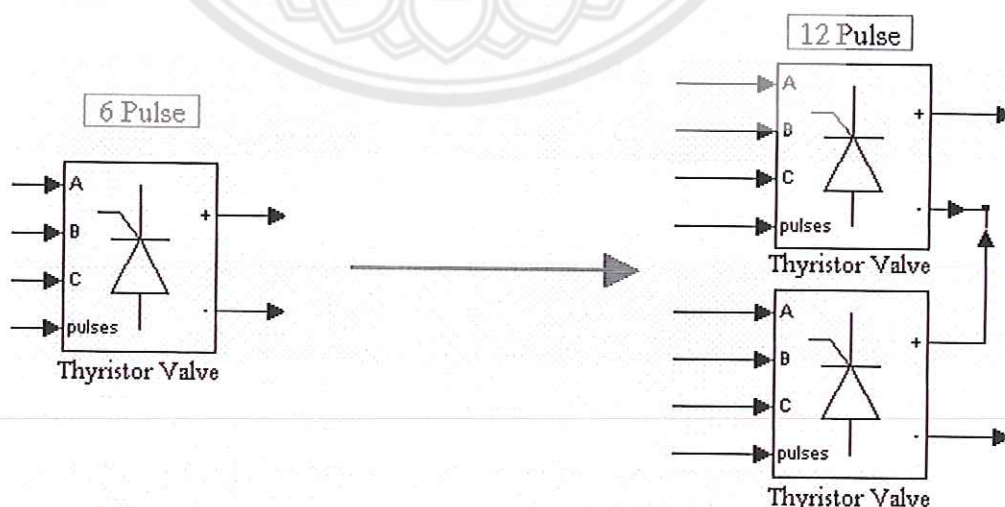
จากแบบจำลองระบบระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์ ในบทที่ 3 สามารถนำมาประยุกต์สร้างเป็นแบบจำลองระบบเอชวีดีซี ระหว่างประเทศไทย – มาเลเซีย ซึ่งเป็นแบบ 12 พัลส์ มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากประเทศไทยไปยังประเทศมาเลเซีย ได้โดยการเปลี่ยนอุปกรณ์บางชิ้นและปรับค่าพารามิเตอร์ให้เป็นระบบในกรณีศึกษาซึ่งจะทำการเปลี่ยนทั้งด้านส่งและรับกำลังไฟฟ้า โดยอุปกรณ์ที่ทำการเปลี่ยนมีดังนี้

1.หม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ จะทำการเปลี่ยนจากแบบ 2 ขดลวด เป็นแบบ 3 ขดลวดเพราะต้องจ่ายแรงดันให้กับชุดไทรสเตอร์วาล์ว 2 ชุด และแต่ละชุดต้องต่อกันแบบกันคือ แบบวายกับแบบเดลต้าเพื่อให้ค่ามมของแรงดันไฟฟ้ามีค่าต่างกัน 30 องศา



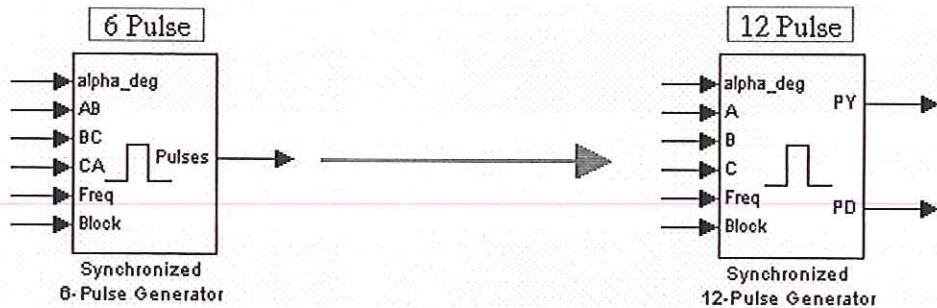
รูปที่ 4.2 หม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ใน โปรแกรมซิมูลิงค์ที่เปลี่ยนจากแบบจำลอง 6 พัลส์เป็น แบบ 12 พัลส์

2.ไทรสเตอร์วาล์ว จะทำการเพิ่มชุดไทรสเตอร์วาล์วแบบวงจรรีดจ์เข้าไปอีกหนึ่งชุด โดยจะนำชุดไทรสเตอร์วาล์วแบบวงจรรีดจ์ ทั้ง 2 ชุดมาต่อแบบอนุกรมกันจึงทำให้เป็นการเพิ่มแรงดันเป็น 2 เท่า



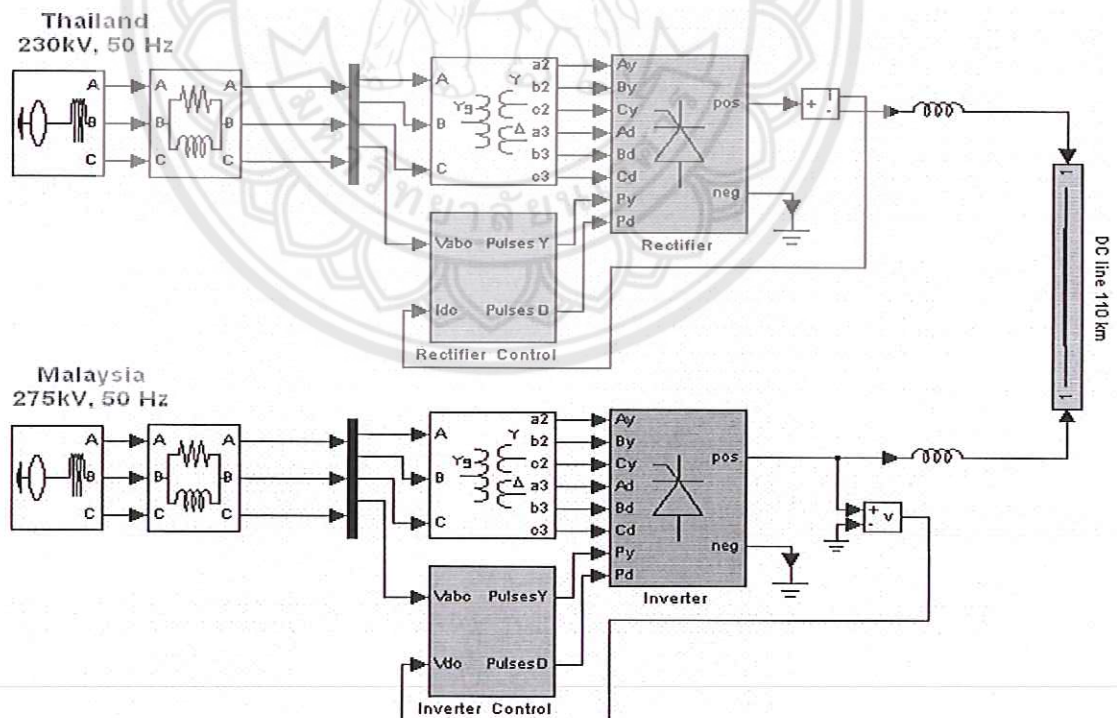
รูปที่ 4.3 ชุดไทรสเตอร์วาล์วใน โปรแกรมซิมูลิงค์ที่เปลี่ยนจากแบบจำลอง 6 พัลส์เป็นแบบ 12 พัลส์

3.ชุดสร้างสัญญาณพัลส์ จะทำการเปลี่ยนจากแบบที่สร้างสัญญาณพัลส์ออกมา 1 ชุดเป็นแบบที่สร้างสัญญาณออกมา 2 ชุด เพื่อส่งสัญญาณไปที่กับวงจรบริดจ์ไทรสเตอร์ทั้ง 2 ชุด



รูปที่ 4.4 ชุดสร้างสัญญาณพัลส์ใน โปรแกรมมซิมูลิงค์ที่เปลี่ยนจากแบบจำลอง 6 พัลส์เป็นแบบ 12 พัลส์

เมื่อนำแบบจำลองระบบเอชวีดีซีแบบ 6 พัลส์ มาประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองระบบเอชวีดีซี ระหว่างประเทศไทย – มาเลเซีย ซึ่งเป็นแบบ 12 พัลส์ โดยการปรับค่าพารามิเตอร์และเปลี่ยนอุปกรณ์บางตัวสามารถสร้างแบบจำลองได้ดังรูปที่ 4.5



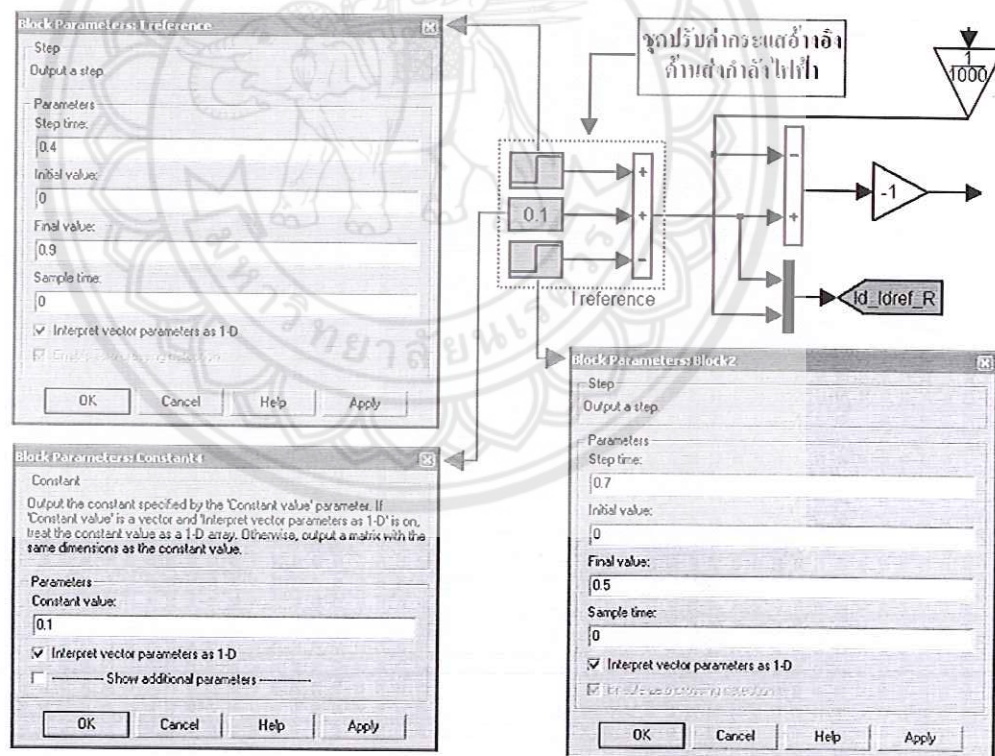
รูปที่ 4.5 แบบจำลองระบบเอชวีดีซีระหว่างประเทศไทย – มาเลเซีย แบบ 12 พัลส์โดยโปรแกรมมซิมูลิงค์

4.3 วิธีการควบคุมระบบเอชวีดีซีระหว่างประเทศไทย - มาเลเซีย ด้วยโปรแกรมซิมูลิงค์

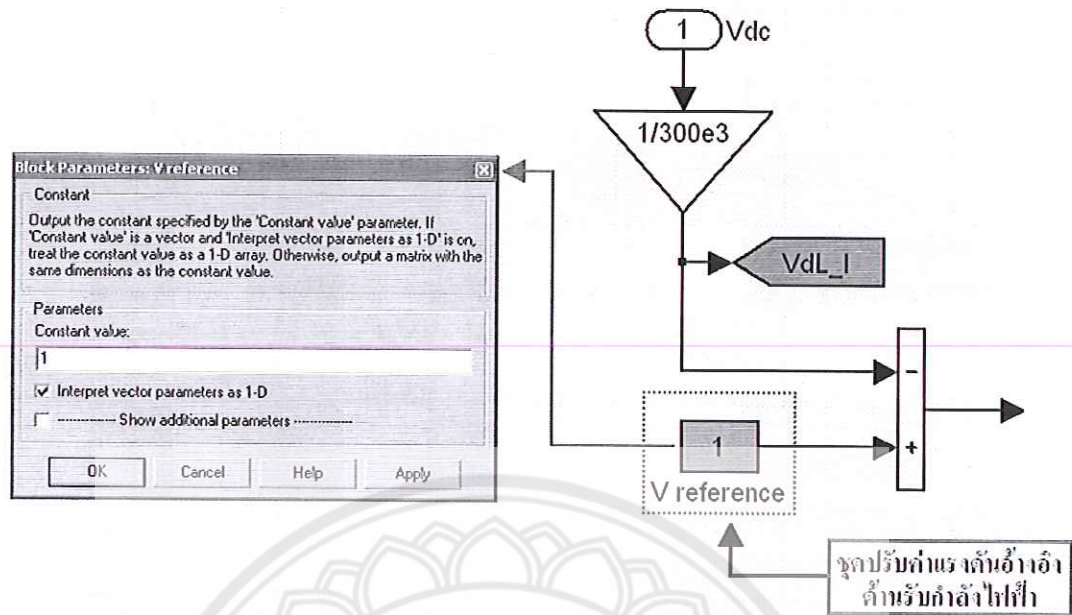
ก่อนที่จะทำการทดสอบระบบเอชวีดีซีได้นั้นจะต้องควบคุมระบบให้ได้ก่อนเป็นอันดับแรก การคุมเริ่มจากการปรับค่ากระแสอ้างอิงคงที่รูปที่ 4.5 (ด้านส่งกำลังไฟฟ้า)และการปรับค่าแรงดันอ้างอิงคงที่รูปที่ 4.6 (ด้านรับกำลังไฟฟ้า) จากนั้นทำการปรับค่าชุดควบคุมแบบพีไอของทั้งด้านส่งกำลังไฟฟ้ารูปที่ 4.7 (ควบคุมกระแสไฟฟ้าในระบบ DC) และด้านรับกำลังไฟฟารูปที่ 4.8 (ควบคุมกระแสไฟฟ้าในระบบ DC) โดยระบบควบคุมจะเริ่มทำงานที่เวลา 0.02 วินาที

ทำการปรับระบบควบคุมโดยใช้วิธีของ Ziegler and Nichols โดยมีวิธีการปรับดังนี้

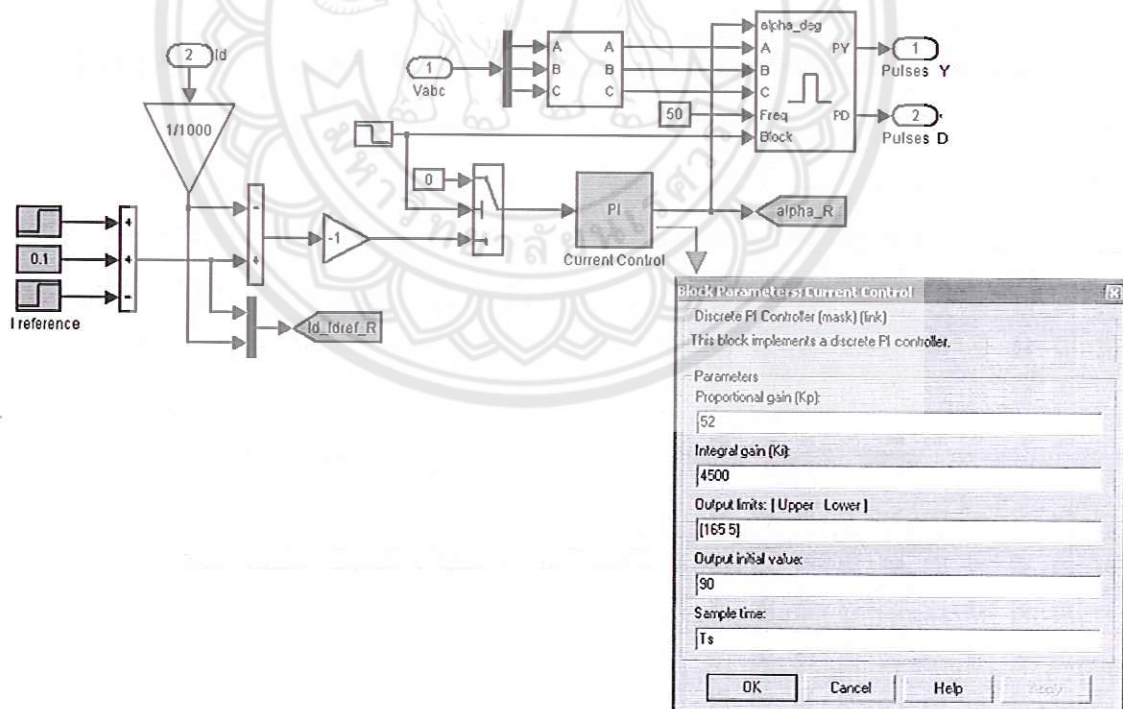
- 1.ปรับค่าอัตราขยายแบบไอ(Ki) เป็น 0 จากนั้นทำการปรับค่าอัตราขยายแบบพี(Kp) เพิ่มขึ้นกราฟจะค่อยๆ สูงขึ้นเข้าใกล้ค่าอ้างอิงแต่จะยังไม่ถึง(เป็นการปรับค่าอัตราส่วนอินพุตต่อเอาท์พุต)
- 2.เมื่อกราฟคงที่หลังจากปรับค่าอัตราขยายแบบพี(Kp) จากนั้นจะทำการปรับค่าอัตราขยายแบบไอ (Ki) เพิ่มขึ้นจนเห็นว่ากราฟสามารถเข้าคู่ค่าอ้างอิงได้และไม่เกิดการแกว่ง(เป็นการปรับค่าผิดพลาดของสถานะคงตัว)



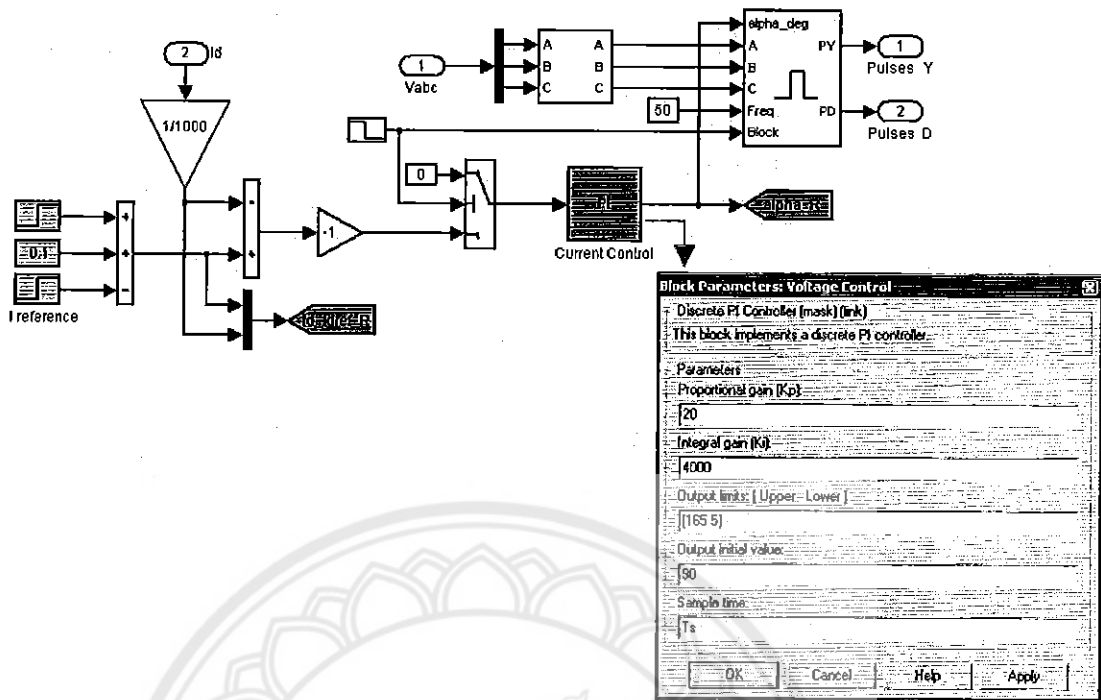
รูปที่ 4.6 แสดงชุดปรับค่ากระแสอ้างอิงด้านส่งกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 4.7 แสดงจุดปรับค่าแรงดันอ้างอิงด้านรับกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 4.8 แสดงชุดควบคุมแบบพีไอของด้านส่งกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 4.9 แสดงชุดควบคุมแบบพีไอของด้านรับกำลังไฟฟ้า

4.4 วิธีการทดสอบระบบเอชวีดีซีระหว่างประเทศไทย - มาเลเซียด้วยโปรแกรมซิมูลิงค์

วิธีการทดสอบนั้นจะเป็นการทดสอบดูว่าระบบที่สร้างขึ้นถูกต้องหรือไม่และดูว่าเกิดอะไรขึ้นบ้างเมื่อทำการทดสอบในแบบต่างๆ โดยจะทำการวิเคราะห์ในสถานะชั่วคราว ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ในช่วงเวลา 0 วินาทีถึง 1 วินาที แบ่งการทดสอบระบบเอชวีดีซีออกเป็น 2 แบบหลักดังนี้

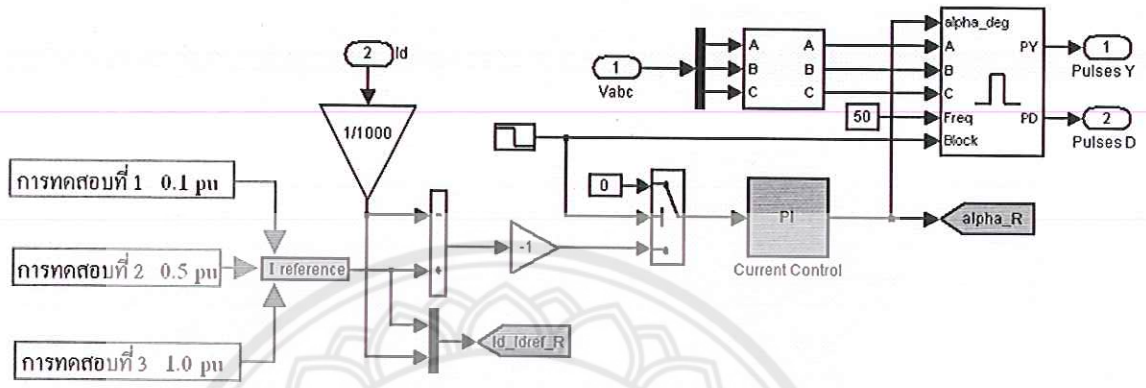
4.4.1 การทดสอบระบบในสถานะปกติ

การทดสอบระบบในสถานะปกติเป็นการทดสอบการทำงานที่ไม่มีความผิดปกติ (Fault) เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 การทดสอบดังนี้

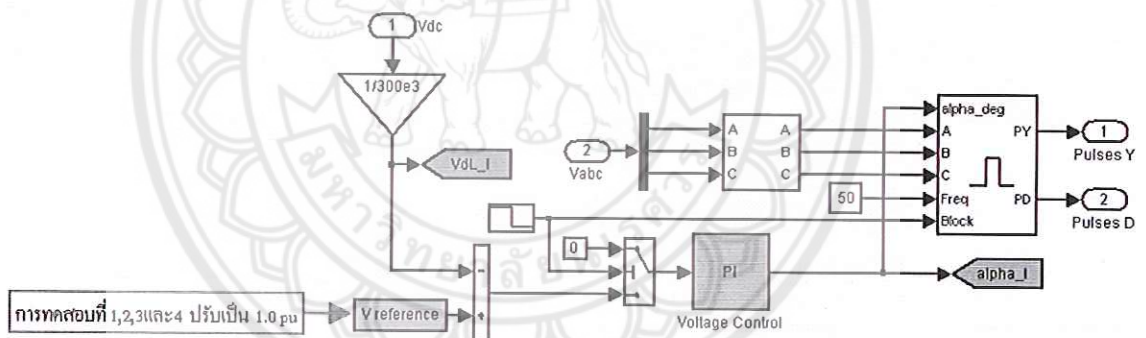
1. การทดสอบส่งกำลังไฟฟ้า 30 kW
2. การทดสอบส่งกำลังไฟฟ้า 150 kW
3. การทดสอบส่งกำลังไฟฟ้า 300 kW (พิกัดของระบบ)
4. การทดสอบเปลี่ยนค่าการส่งกำลังไฟฟ้าจาก 30 kW เป็น 300 kW และลดลงมาที่ 150 kW

การทดสอบที่ 1, 2 และ 3 สามารถทำการทดสอบโดยการปรับค่ากระแสอ้างอิงด้านส่งกำลังไฟฟ้าโดยจะปรับเป็น 0.1 pu(100 kA), 0.5 pu(500 kA) และ 1.0 pu(1000 kA) ตามลำดับดังรูปที่ 4.10 และทำการปรับค่าแรงดันอ้างอิงด้านรับกำลังไฟฟ้าโดยจะปรับเป็น 1.0 pu(300 kV) ดังรูปที่ 4.11 ทั้งสามการทดสอบ

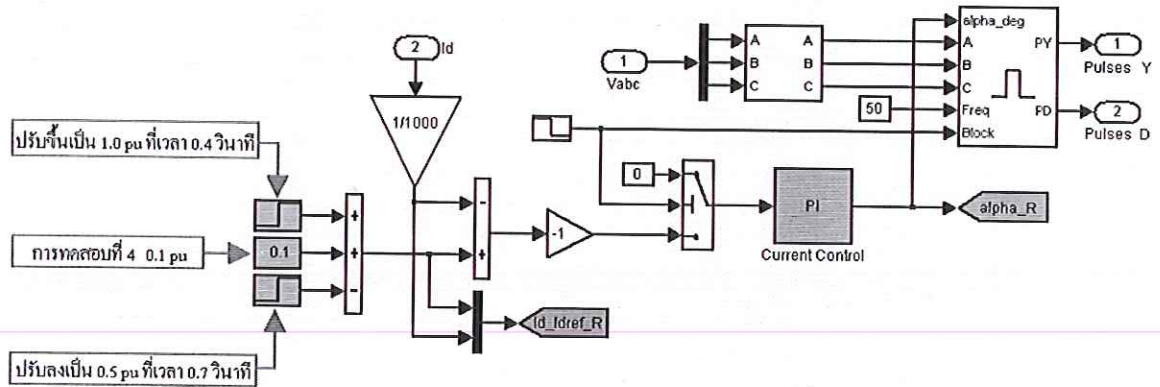
ส่วนการทดสอบที่ 4 จะเป็นการปรับค่ากระแสอ้างอิงด้านส่งกำลังไฟฟ้าขึ้นและลง โดยจะปรับเป็น 0.1 pu(100 kA)ตอนเริ่มต้นและปรับขึ้นเป็น 1.0 pu(1000 kA)ที่เวลา 0.4 วินาทีจากนั้นปรับลงเป็น 0.5 pu(500 kA)ที่ 0.7 วินาทีดังรูปที่ 4.12 แรงดันอ้างอิงด้านรับกำลังไฟฟ้ายังคงเท่ากับการทดสอบที่ 1,2 และ3 คือ 1.0 pu(300 kV)ตามรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 แสดงการปรับค่ากระแสอ้างอิง(ด้านส่งกำลังไฟฟ้า) ของการทดสอบที่ 1,2 และ3



รูปที่ 4.11 แสดงการปรับค่าแรงดันอ้างอิง(ด้านรับกำลังไฟฟ้า) ของการทดสอบที่ 1,2,3และ4



รูปที่ 4.12 แสดงการปรับค่ากระแสอ้างอิง(ด้านรับกำลังไฟฟ้า) ของการทดสอบที่ 4

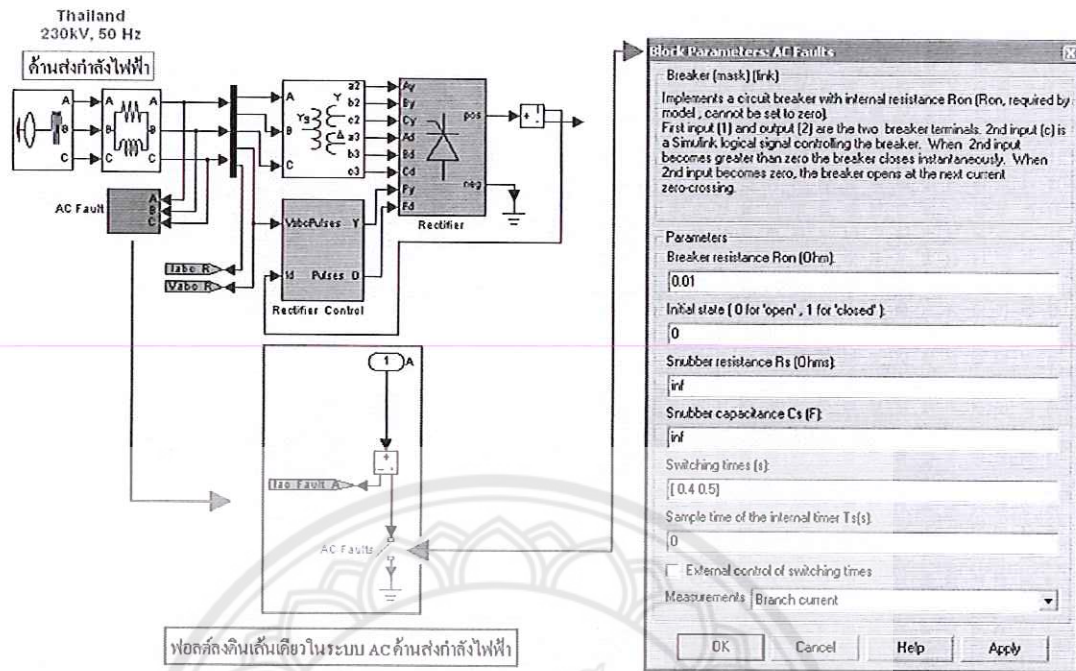
4.4.2 การทดสอบระบบในสภาวะผิดปกติ

การทดสอบระบบในสภาวะผิดปกติเป็นการทดสอบการทำงานที่มีความผิดปกติ (Fault) เกิดขึ้น โดยความผิดปกติที่ใช้การทดสอบมี 3 แบบคือ ความผิดปกติลงดินเส้นเดียว, สามเฟสความผิดปกติ, ความผิดปกติในสายส่งกระแสตรง โดยสามารถแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 การทดสอบดังนี้

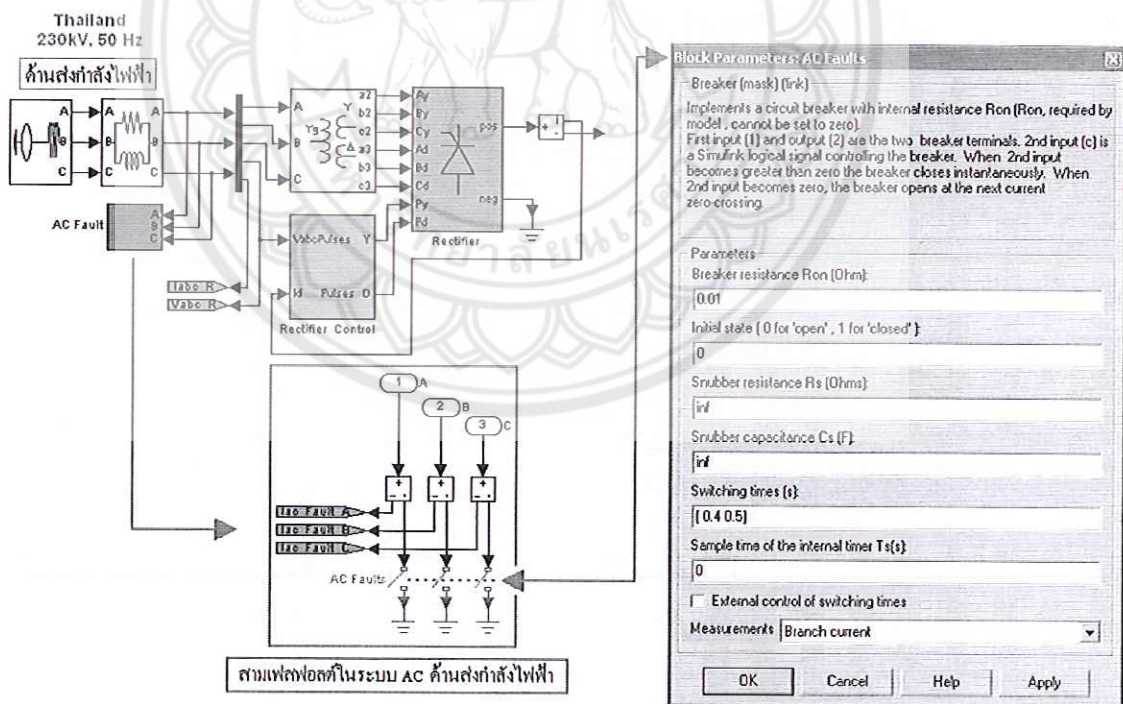
1. การทดสอบความผิดปกติลงดินเส้นเดียวในระบบ AC (ด้านส่งกำลังไฟฟ้า)
2. การทดสอบสามเฟสความผิดปกติในระบบ AC (ด้านส่งกำลังไฟฟ้า)
3. การทดสอบความผิดปกติในสายส่งกระแสตรง

การทดสอบที่ 1 ความผิดปกติลงดินเส้นเดียวในระบบ AC เป็นการลัดวงจรเส้นเดียวลงดินรูปที่ 4.13 โดยมีอุปกรณ์ที่ใช้ทำการลัดวงจรจะเป็นสวิตช์แบบตั้งเวลาปิดและเปิดวงจรในช่วงเวลาสั้นๆ โดยจะทำการต่อกับเส้นใดเส้นหนึ่งเท่านั้นในระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า จากนั้นก็วิเคราะห์ผลการทดสอบที่เกิดขึ้น ส่วนการทดสอบที่ 2 จะมีลักษณะเดียวกับการทดสอบแรกโดยจะต่างกันตรงที่ทำการลัดวงจรทั้งสามเส้นดังรูปที่ 4.14

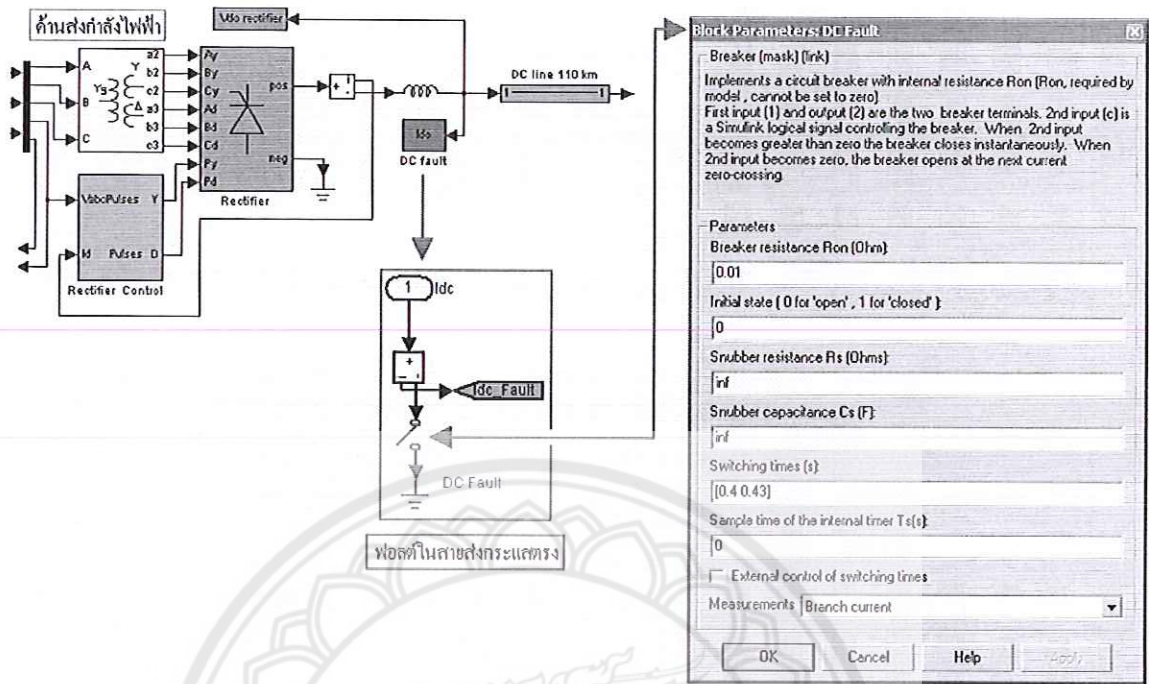
การทดสอบความผิดปกติในสายส่งกระแสตรง ก็จะทำการทดสอบคล้ายกับการทดสอบที่ 1 แต่จะทำในระบบ DC โดยจะมีเส้นเดียวดังรูปที่ 4.15 จากนั้นก็จะทำการเก็บผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลที่เกิดขึ้น



รูปที่ 4.13 การทดสอบความผิดพลาดของลงดินเส้นเดียวในระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 4.14 การทดสอบสามเฟสความผิดพลาดในระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า



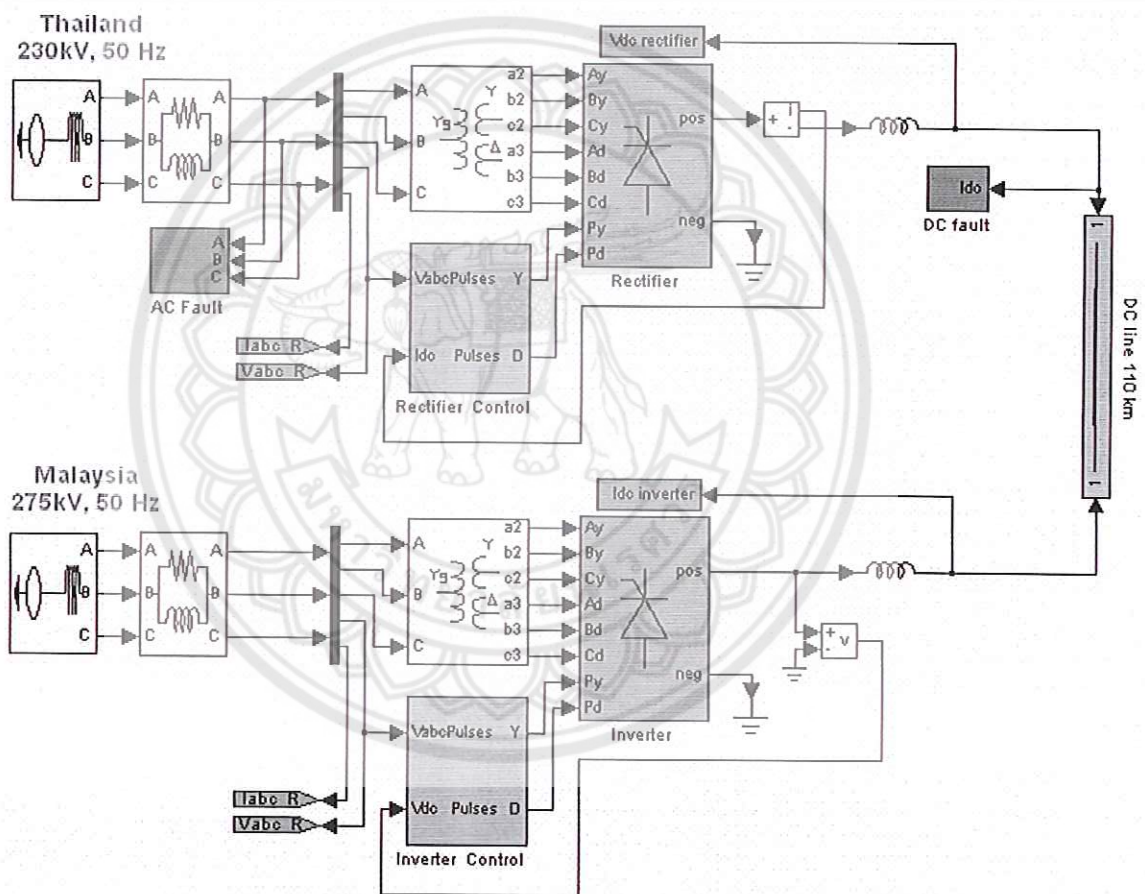
รูปที่ 4.15 การทดสอบความผิดปกติในสายส่งกระแสตรง

จากที่กล่าวมาทั้งหมดจะเป็นการสร้าง ควบคุม และวิธีการทดสอบแบบจำลองระบบเอชวีดีซีระหว่างประเทศไทย – มาเลเซียซึ่งเป็นแบบ 12 พัลส์ โดยจะทำการทดสอบระบบเพื่อวิเคราะห์ในสถานะชั่วคราวของระบบว่าเกิดอะไรขึ้นบ้างซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวจะอยู่ในบทถัดไป

บทที่ 5

ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะเป็นการนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นในกรณีศึกษาในบทที่ 4 ดังรูปที่ 5.1 ซึ่งเป็นแบบจำลองระบบเอชวีดีซีที่มีการเชื่อมต่อระหว่างประเทศไทยกับประเทศมาเลเซีย แบบ 12 พัลส์ โดยด้านประเทศไทยจะเป็นด้านส่งกำลังไฟฟ้าและมาเลเซียเป็นด้านรับกำลังไฟฟ้า มาทำการทดสอบระบบในสถานะชั่วคราวของระบบซึ่งจะทำการทดสอบดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 ระบบเอชวีดีซีแบบ 12 พัลส์ ที่มีการเชื่อมต่อระหว่างประเทศไทยกับประเทศมาเลเซียโดยโปรแกรมซิมูลิงค์

การทดสอบระบบเอชวีดีซี เป็นการทดสอบระบบการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากประเทศไทยไปยัง ประเทศมาเลเซีย โดยได้จำลองระบบส่งผ่านกำลังไฟฟ้า และทำการวิเคราะห์ระบบที่เวลา 0 ถึง 1 วินาที ในการควบคุมระบบจะแบ่งการควบคุมออกเป็น 2 ชุดการควบคุม คือ ชุดควบคุมกระแสไฟฟ้า DC (ด้านส่งกำลังไฟฟ้า) และชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้า DC (ด้านรับกำลังไฟฟ้า) โดยระบบควบคุมจะเริ่มการทำงานที่เวลา 0.02 วินาที ในการทดสอบระบบเอชวีดีซีจะใช้ค่าของระบบเป็นแบบต่อหน่วยโดยที่

- ระบบ DC

แรงดันฐาน 300 kV กระแสฐาน 1000 A

- ระบบ AC (ด้านส่งกำลังไฟฟ้า)

แรงดันฐาน 230 kV กำลังไฟฟ้าฐาน 500 MVA

- ระบบ AC (ด้านรับกำลังไฟฟ้า)

แรงดันฐาน 275 kV กำลังไฟฟ้าฐาน 500 MVA

การควบคุมระบบเป็นแบบพีไอ แบ่งเป็น 2 ชุด คือชุดควบคุมด้านส่งกำลังไฟฟ้าและชุดควบคุมด้านรับกำลังไฟฟ้ามีค่าอัตราขยายดังนี้

ด้านส่งกำลังไฟฟ้า

อัตราขยายของการควบคุมแบบพี (Kp) = 52

อัตราขยายของการควบคุมแบบไอ (Ki) = 4500

ด้านรับกำลังไฟฟ้า

อัตราขยายของการควบคุมแบบพี (Kp) = 20

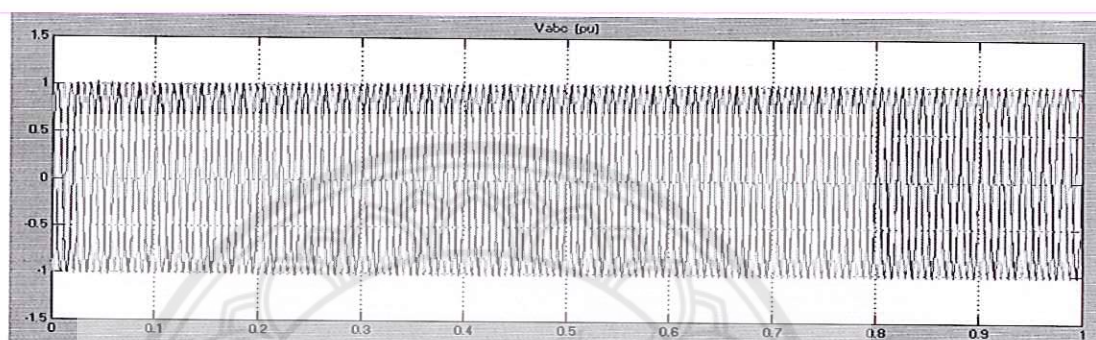
อัตราขยายของการควบคุมแบบไอ (Ki) = 4000

การทดสอบระบบเอชวีดีซีนั้นจะแบ่งเป็น 2 การทดสอบหลักๆ ดังนี้

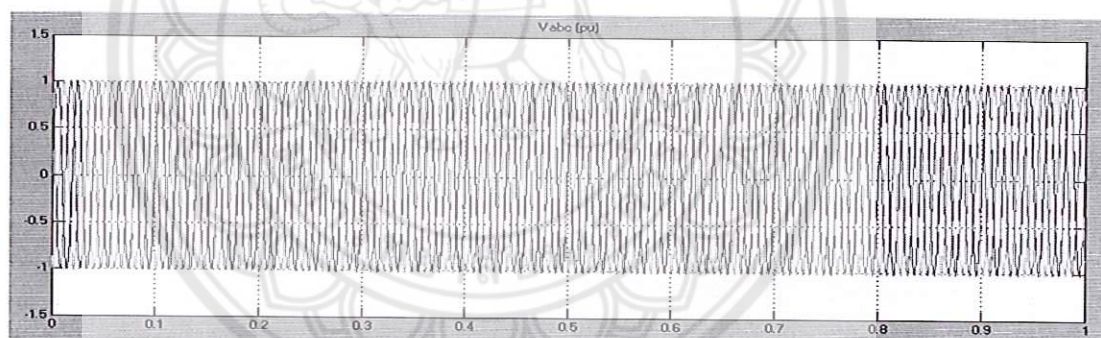
5.1 การทดสอบระบบในสภาวะปกติ

การทดสอบระบบในสภาวะปกติเป็นการทดสอบการทำงานที่ไม่มีความผิดปกติ (Fault) เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 การทดสอบดังนี้

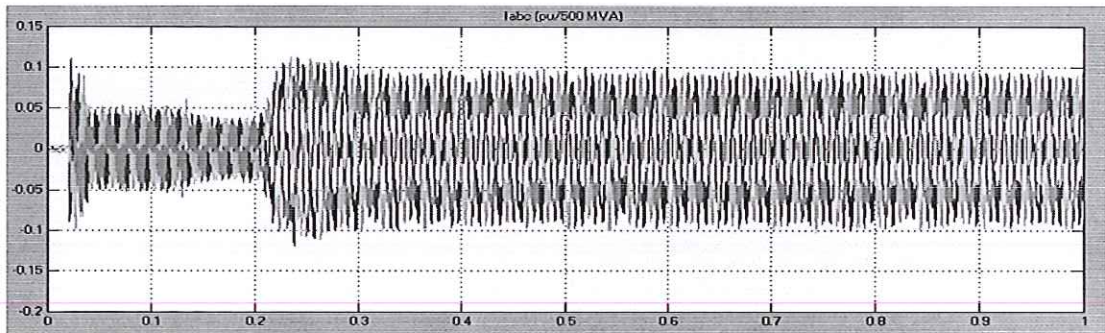
การทดสอบที่ 1 เมื่อทำการปรับค่ากระแสอ้างอิง 0.1 pu. (100A) และปรับค่าแรงดันอ้างอิง 1 pu. (300 kV) เป็นการทดสอบเริ่มต้นการทำงานของระบบคือส่งกำลังไฟฟ้า 30 MW สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 5.2 ถึงรูปที่ 5.11



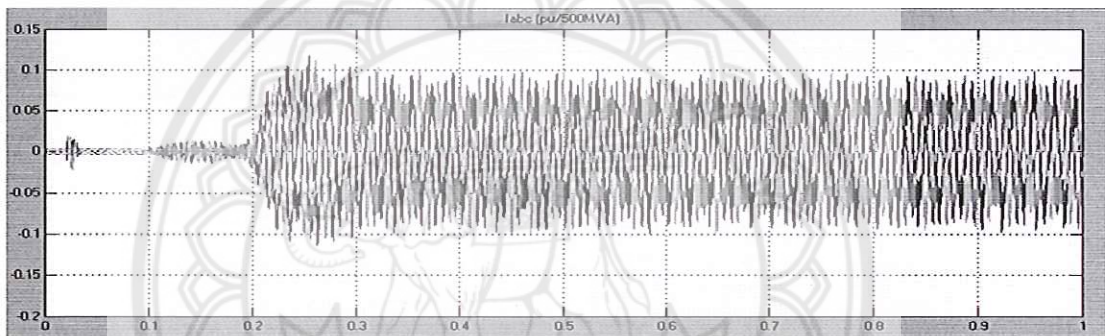
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 1)



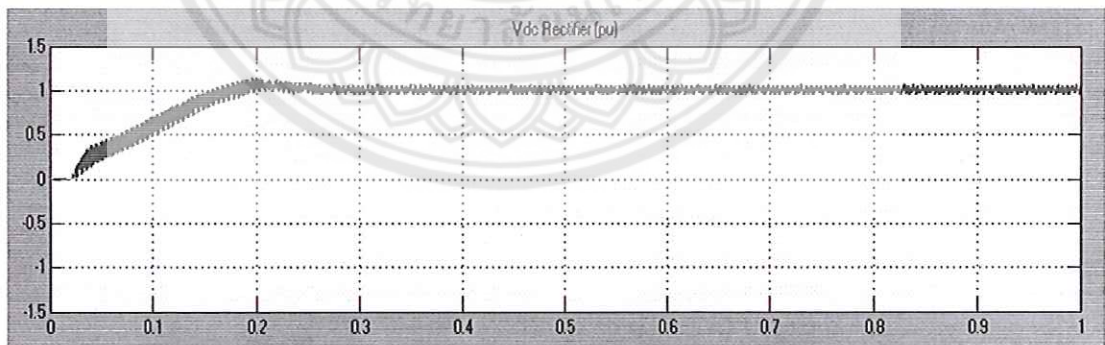
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 1)



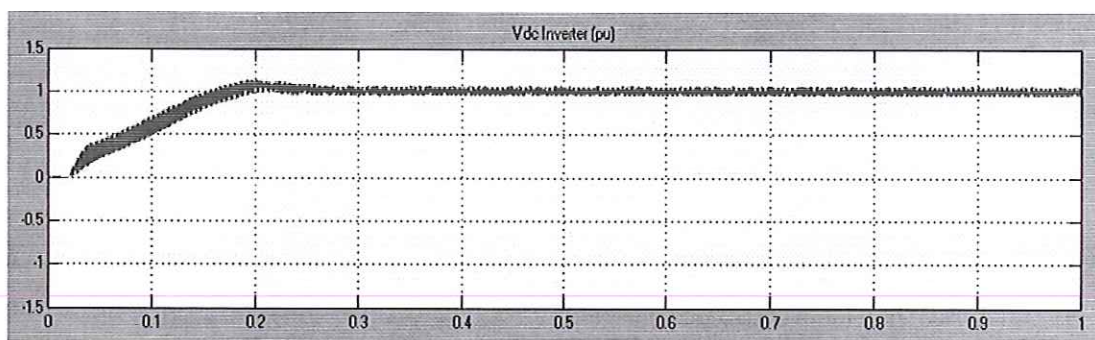
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงกระแสรอบระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 1)



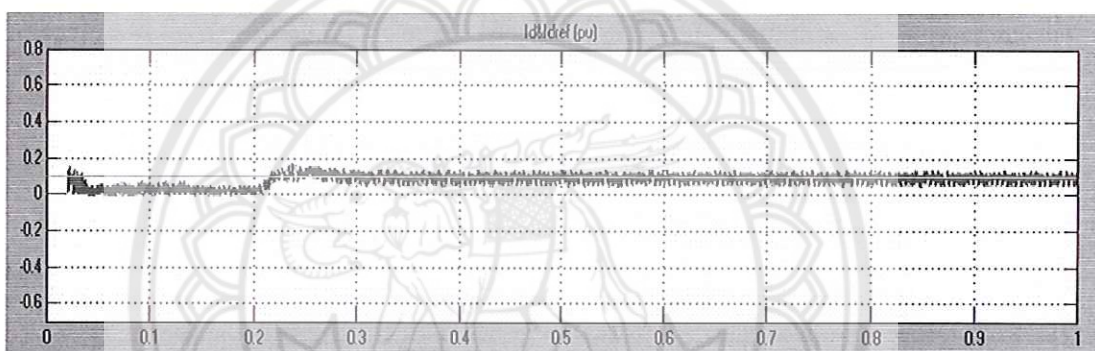
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงกระแสรอบระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 1)



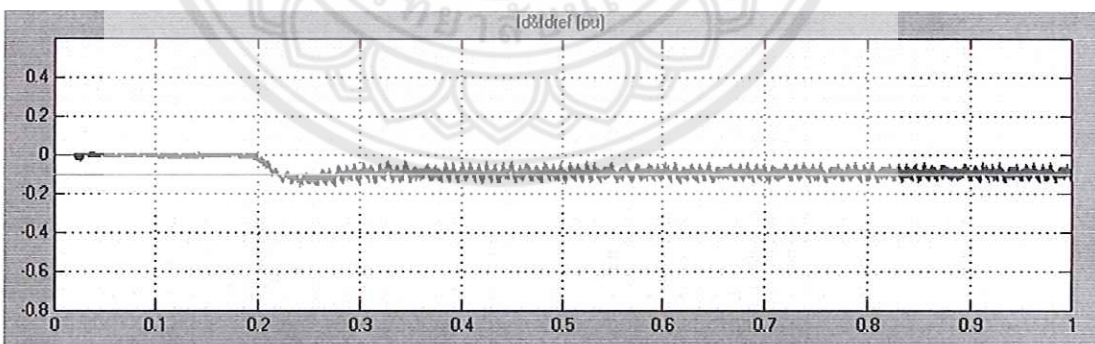
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 1)



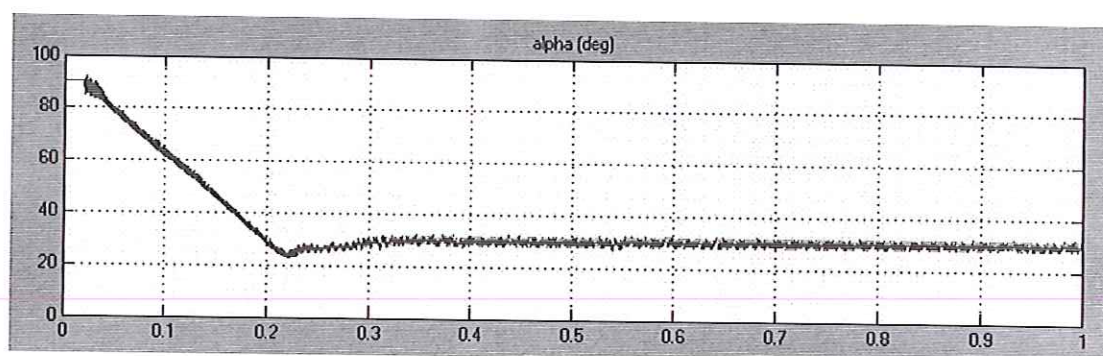
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 1)



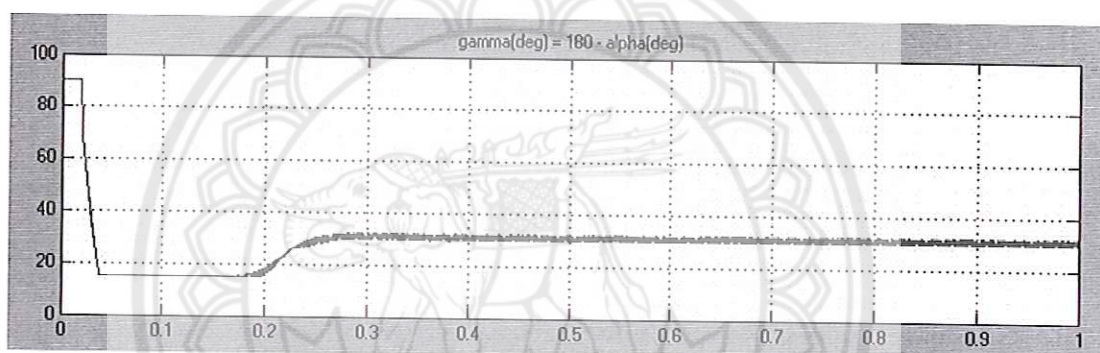
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 1)



รูปที่ 5.9 กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 1)



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงมุมจุดฉนวน (α) ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 1)

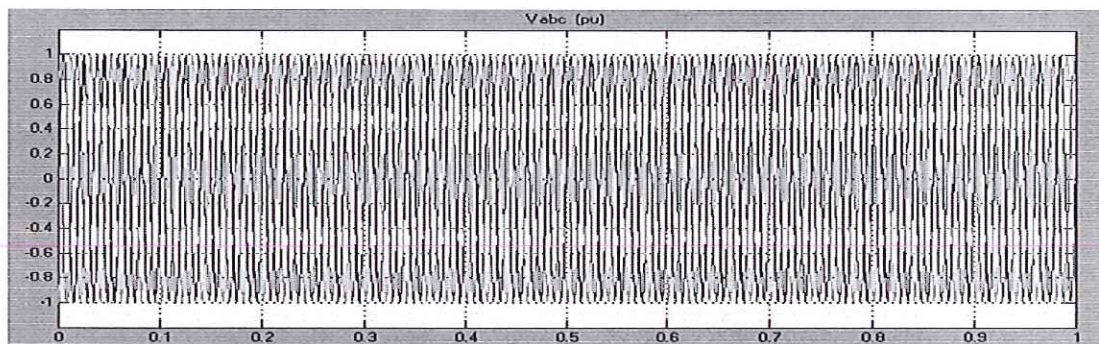


รูปที่ 5.11 กราฟแสดงมุมดับ (γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 1)

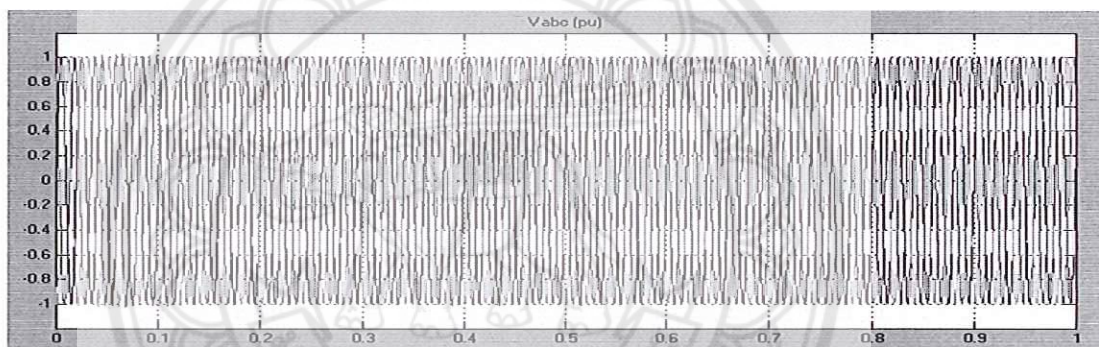
จากรูปที่ 5.2 และรูปที่ 5.3 เป็นกราฟแสดงค่า แรงดันของระบบ AC โดยค่าแรงดันจะเท่ากับ 1 pu. ทั้งด้านส่งและด้านรับกำลังไฟฟ้าส่วนในรูปที่ 5.4 และรูปที่ 5.5 เป็นกราฟแสดงค่ากระแสของระบบ AC ค่ากระแสเริ่มต้นจาก 0 pu. และจะเพิ่มขึ้นเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 0.08 pu ที่เวลาประมาณ 0.3 วินาที

ในระบบ DC ตามรูปที่ 5.8 โดยค่ากระแสจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจาก 0 pu. และเข้าสู่สภาวะคงตัวที่ 0.1 pu. ตามค่ากระแสอ้างอิง ที่เวลา 0.3 วินาที โดยเมื่อเราปรับค่ากระแสเพิ่มขึ้นระบบควบคุมพยายามปรับค่ามุม α ตามรูปที่ 5.10 ให้ลดลงเพื่อปรับค่ากระแสให้เพิ่มขึ้นเข้าสู่ค่ากระแสอ้างอิงที่ตั้งไว้ และเมื่อค่ากระแสเข้าสู่สภาวะคงตัวมุม α จะเริ่มคงที่ จะเป็นการควบคุมแบบกระแสคงที่ ส่วนฝั่งรับจะเป็นการควบคุมแรงดันในระบบ DC โดยจะปรับแรงดัน DC ให้คงที่ที่ 1 pu. ตามรูปที่ 5.6 การปรับจะเป็นการปรับมุม γ ให้คงที่ดังรูปที่ 5.11 การควบคุมด้านรับกำลังไฟฟ้านี้จะเป็นการควบคุมแบบแรงดันคงที่ โดยค่ากระแสและแรงดันจะเข้าสู่ค่าอ้างอิงเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับ การปรับค่าอัตราขยายในชุดควบคุมแบบพีไอ

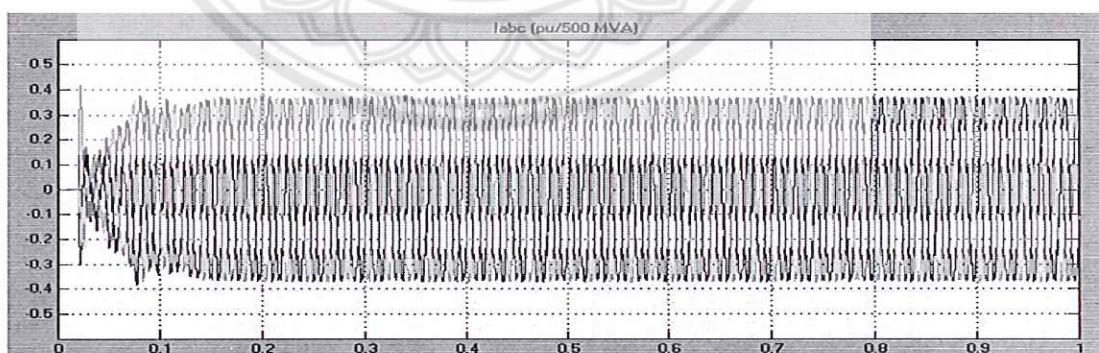
การทดสอบที่ 2 ปรับค่ากระแส 0.5 pu. (500 A) และปรับค่าแรงดัน 1 pu. (300 kV) เป็นการทดสอบการส่งกำลังไฟฟ้าที่ 15 MW ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5.12 ถึงรูปที่ 5.21



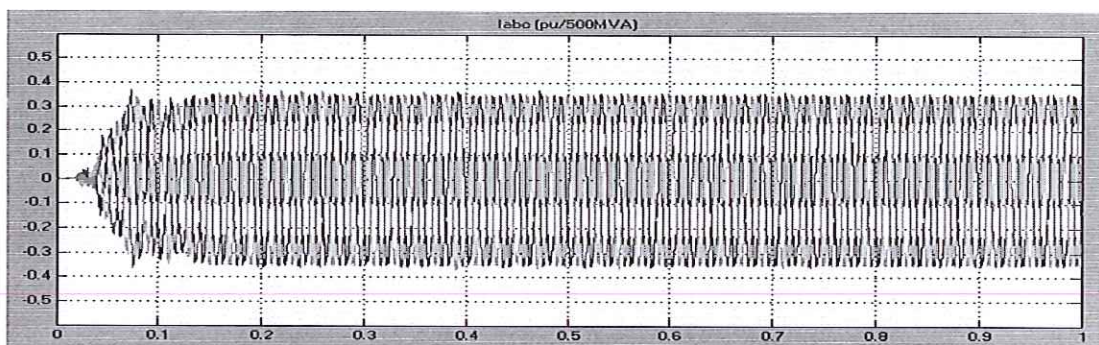
รูปที่ 5.12 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 2)



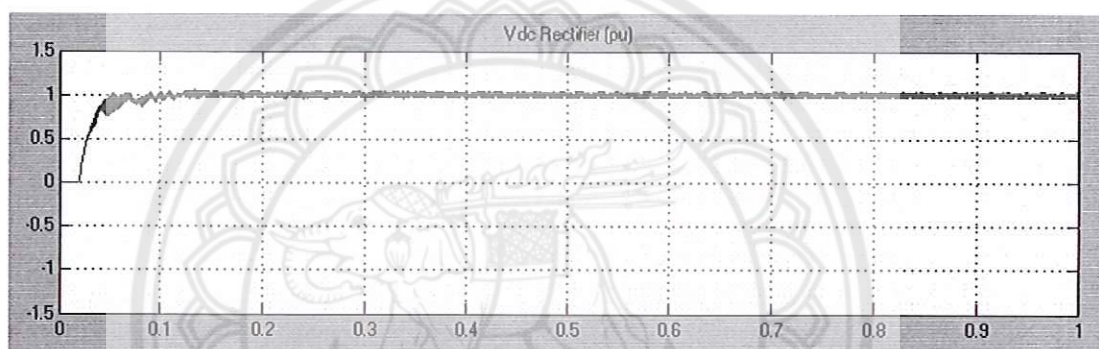
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 2)



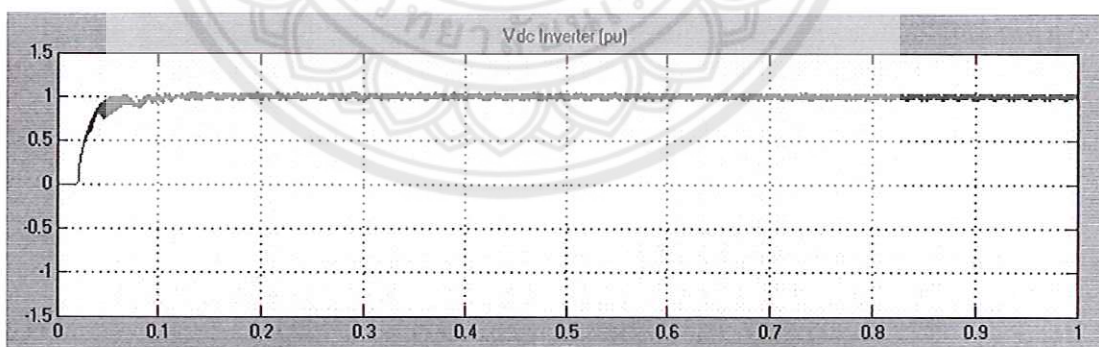
รูปที่ 5.14 กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 2)



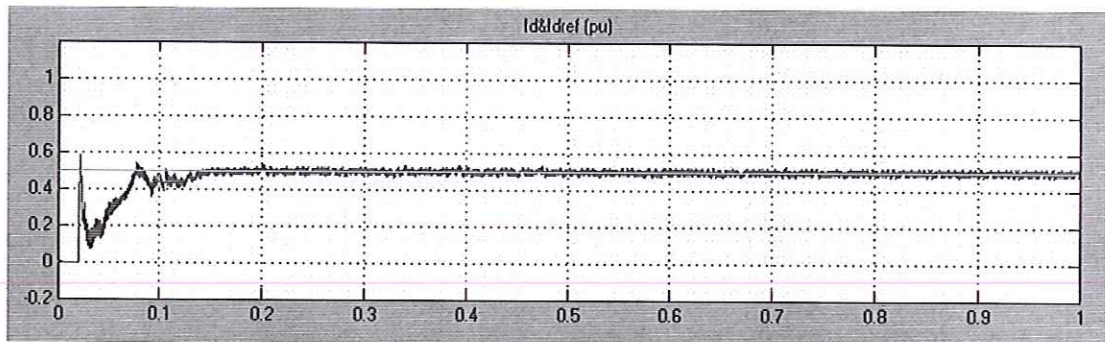
รูปที่ 5.15 กราฟแสดงกระแสรอบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 2)



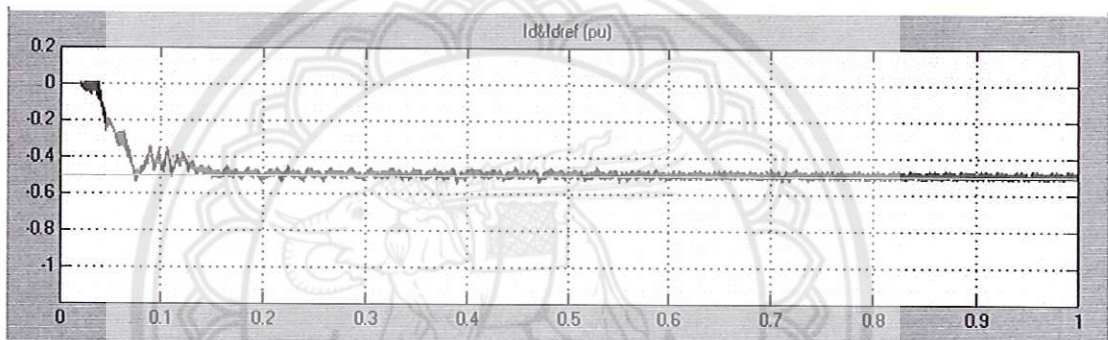
รูปที่ 5.16 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 2)



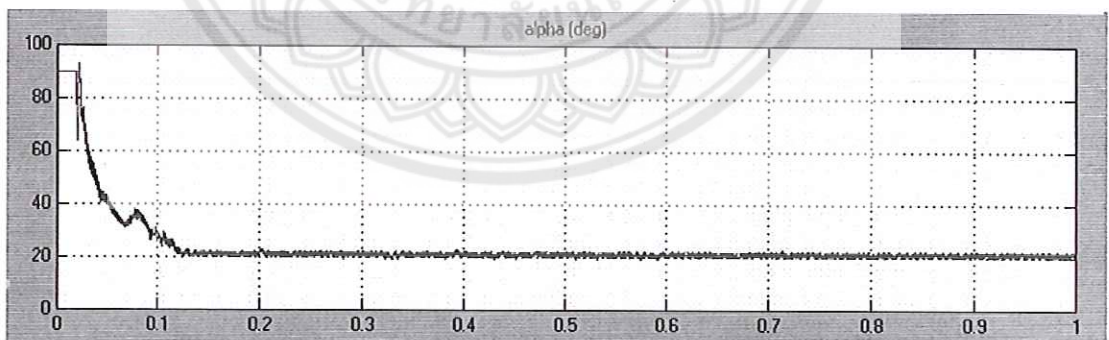
รูปที่ 5.17 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 2)



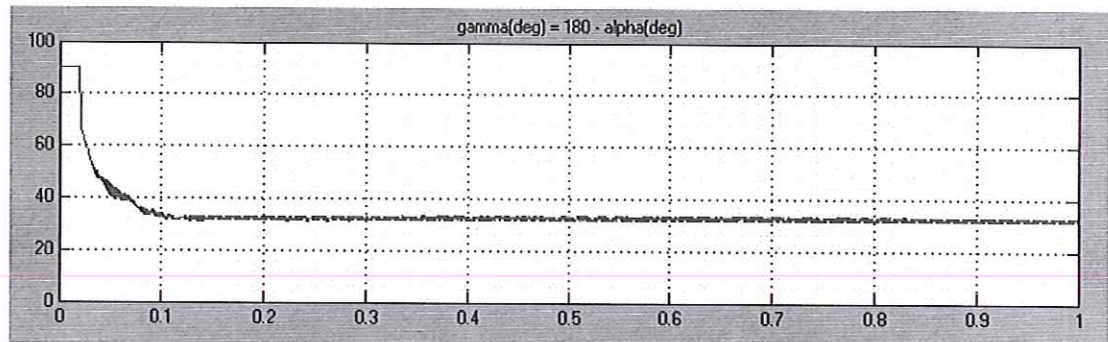
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 2)



รูปที่ 5.19 กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 2)



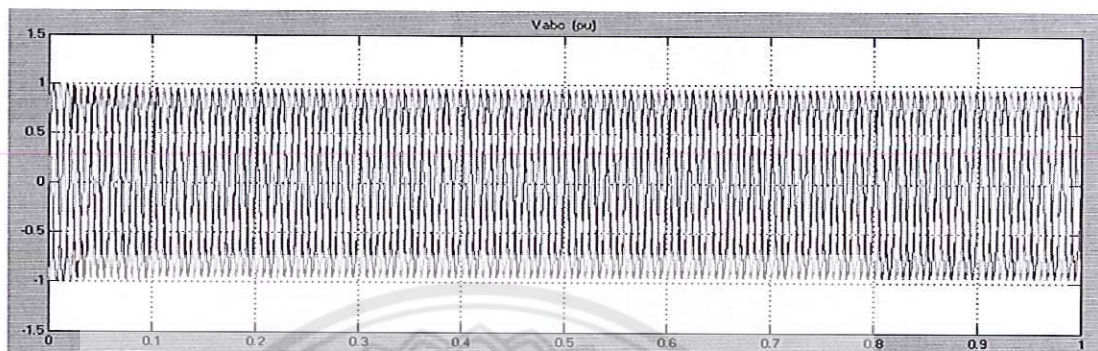
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงมุมจุดฉนวน (α) ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 2)



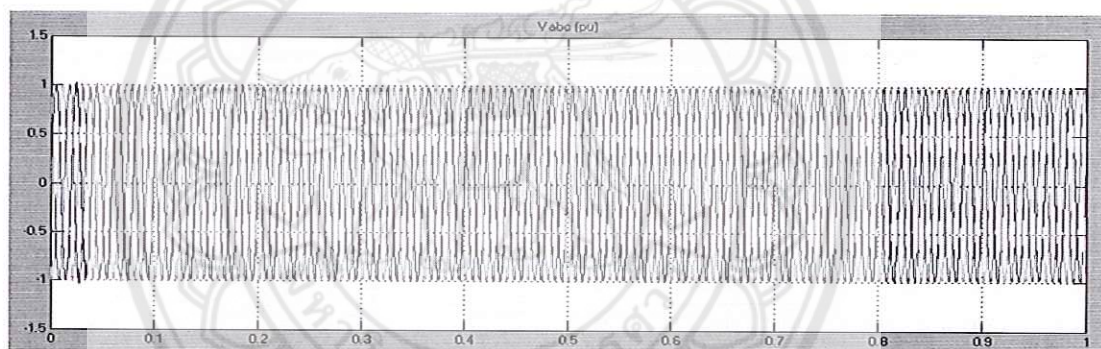
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงมุมดับ (γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 2)

การทดสอบที่ 2 นั้นจะเป็นการเพิ่มการส่งกำลังไฟฟ้าเป็น 150 kW โดยจะเป็นการปรับค่ากระแสในระบบ DC ขึ้นเป็น 0.5 pu. ค่ากระแสและแรงดันของระบบเอชวีดีซี ก็จะมีค่าลักษณะใกล้เคียงกับการทดลองที่ 1 เพียงแต่ค่ากระแสเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่ามุม α ลดลงต่ำกว่าการทดสอบแรก ตามรูปที่ 5.20 ส่วนด้านรับกำลังไฟฟ้ามุม γ รูปที่ 5.21 จะลดลงเล็กน้อยทำให้แรงดัน DC รูปที่ 5.16 ลดลงเล็กน้อย เพราะค่ากระแสสูงขึ้นทำให้เกิดค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายส่ง DC มากขึ้น แรงดันจึงลดลง

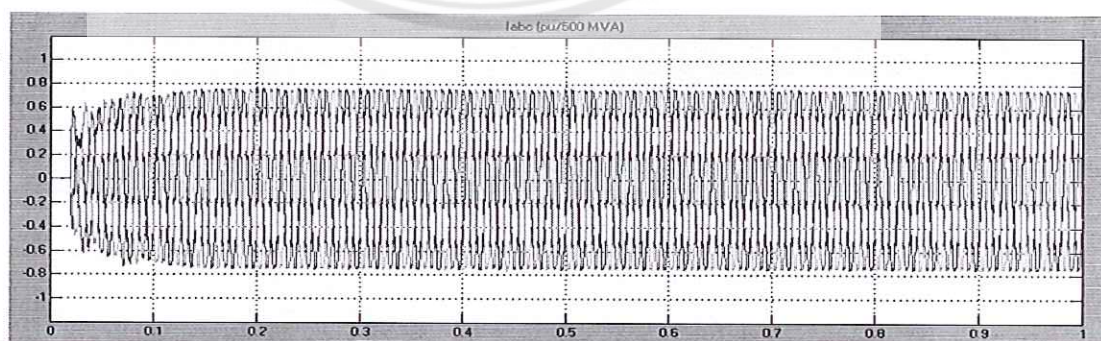
การทดสอบที่ 3 ปรับค่ากระแส 1 pu. (1 kA) และปรับค่าแรงดัน 1 pu. (300 kV) เป็นการปรับระบบที่ค่าพิกัดหรือจุดทำงานของระบบคือส่งกำลังไฟฟ้า 300 MW ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5.22 ถึงรูปที่ 5.31



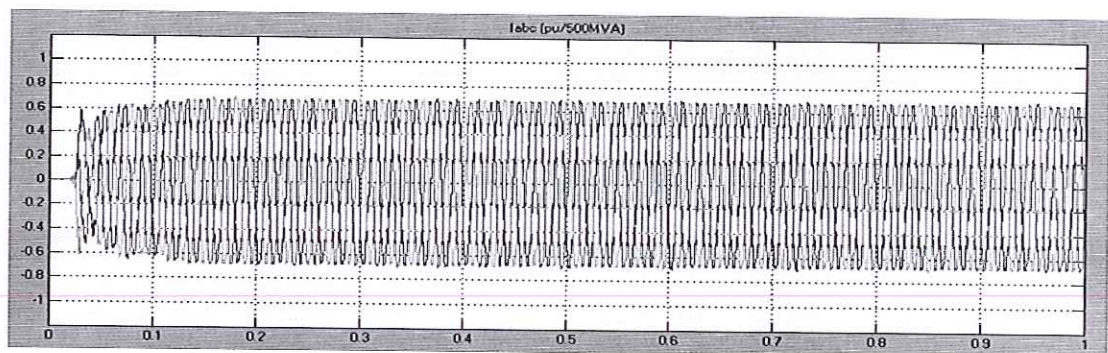
รูปที่ 5.22 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 3)



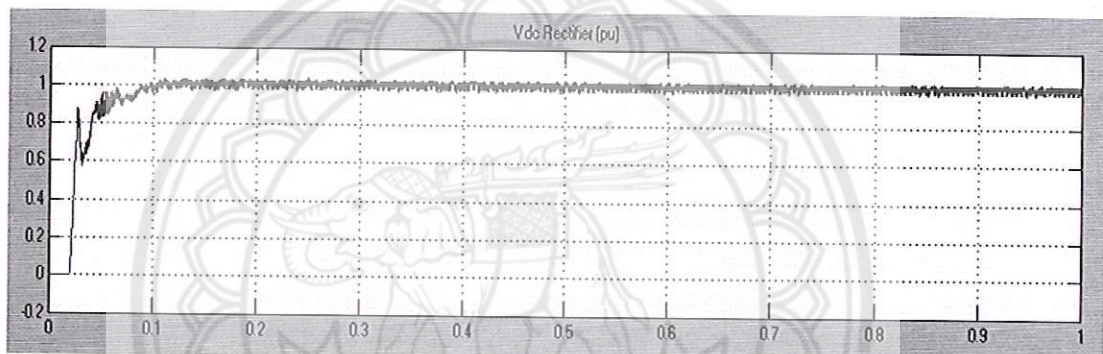
รูปที่ 5.23 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 3)



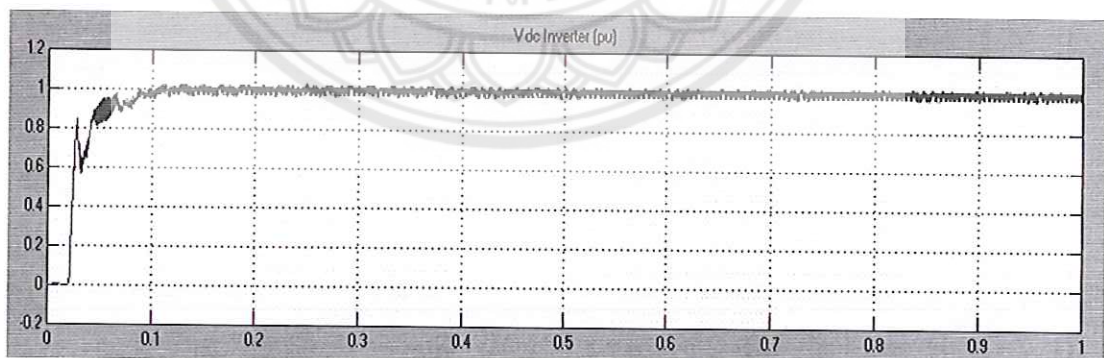
รูปที่ 5.24 กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 3)



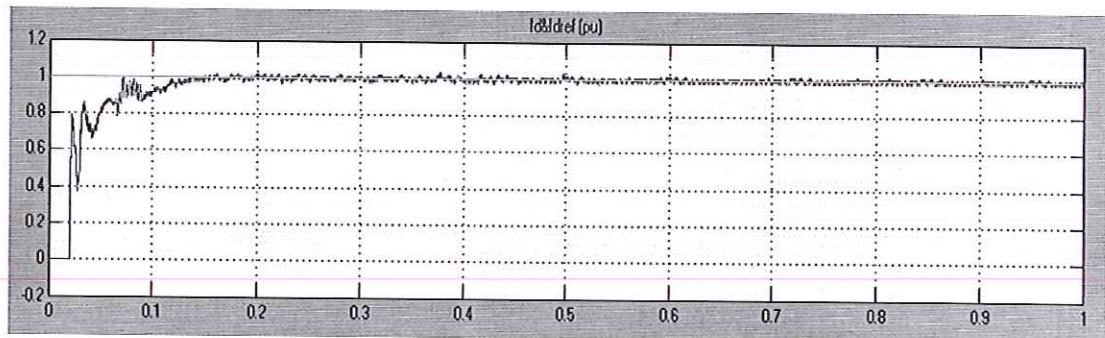
รูปที่ 5.25 กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 3)



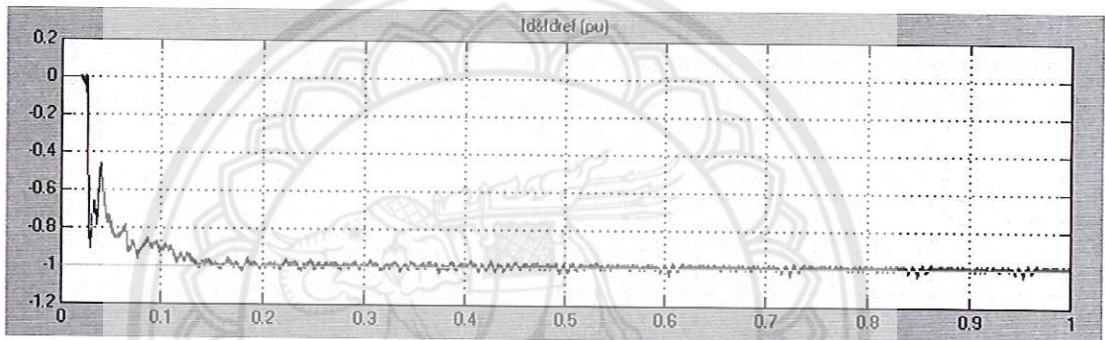
รูปที่ 5.26 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 3)



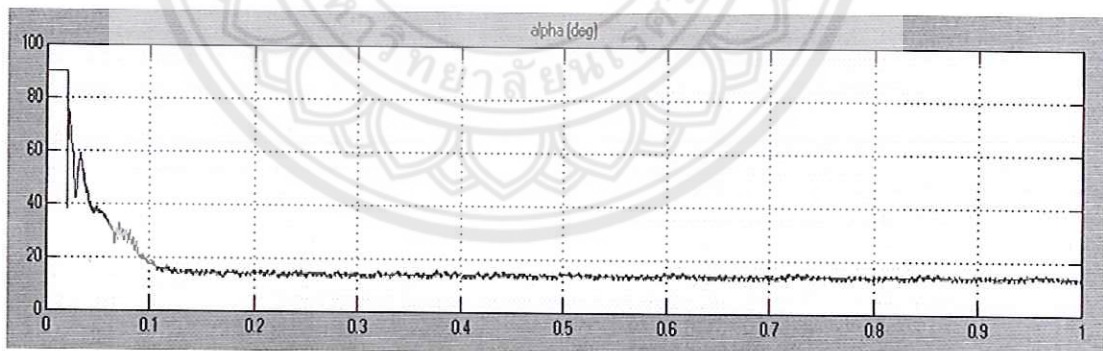
รูปที่ 5.27 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 3)



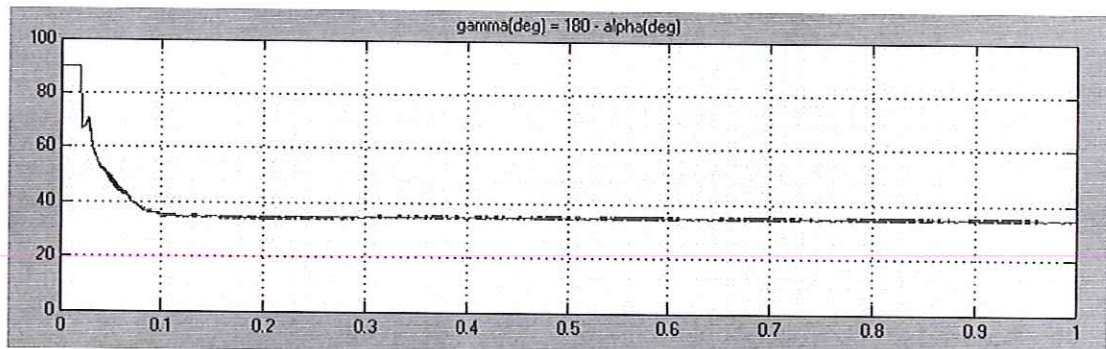
รูปที่ 5.28 กราฟแสดงกระแกระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 3)



รูปที่ 5.29 กราฟแสดงกระแกระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 3)



รูปที่ 5.30 กราฟแสดงมุมจุดชนวน (α) ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 3)

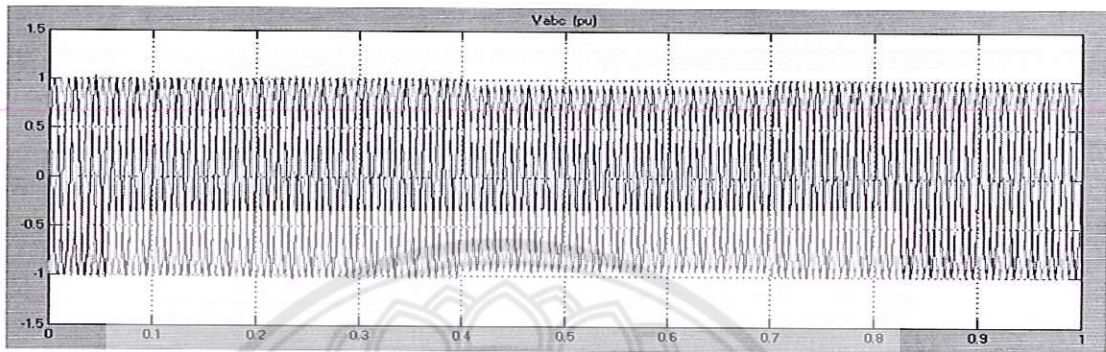


รูปที่ 5.31 กราฟแสดงมุมดับ (γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 3)

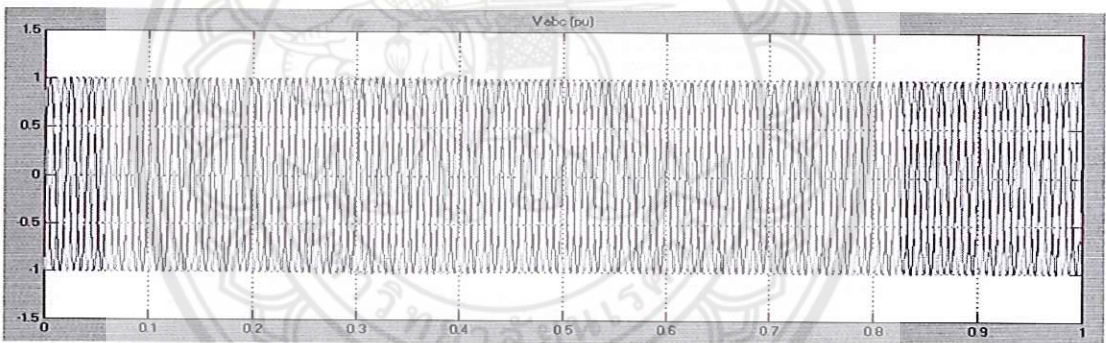
การทดสอบที่ 3 เป็นการส่งกำลังไฟฟ้าที่ค่าพิกัดของระบบเอชวีดีซี 300 MW โดยส่งกำลังไฟฟ้าที่กระแส DC 1000 A ซึ่งมีค่าสูง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟมากขึ้น ดังนั้นแรงดันระบบ AC ด้านส่งกำลังจึงลดลง (ไม่เท่ากับ 1 pu.) ดังรูปที่ 5.22 ส่วนด้านรับกำลังไฟฟ้ายังเป็นปกติเหมือนเดิม ดังรูปที่ 5.23

ในระบบ DC ระบบควบคุมพยายามปรับค่ามุม α ให้ลดลงดังรูปที่ 5.30 เพื่อปรับค่ากระแส DC รูปที่ 5.28 ให้เข้าสู่สภาวะคงตัวที่ค่า 1 pu. และฝั่งรับกำลังไฟฟ้าก็จะยังเป็นการควบคุมแรงดัน DC ให้คงที่ที่ 1 pu. แต่แรงดัน DC จะลดลงเล็กน้อยรูปที่ 5.27 แต่มากกว่าการทดสอบที่ 2 เพราะค่ากระแสของระบบมากกว่าทำให้แรงดันตกคร่อมสายส่งมากกว่า

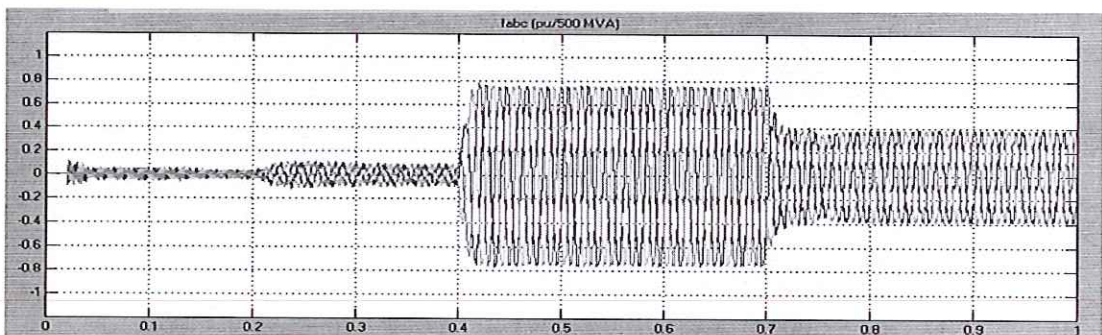
การทดสอบที่ 4 ปรับค่ากระแส 0.1 pu. (100 A) และปรับค่าแรงดัน 1 pu. (300 kV) จากนั้นปรับค่ากระแสขึ้นเป็น 1 pu. (1000 A) ที่เวลา 0.4 วินาที และหลังจากนั้นปรับค่ากระแสลงมาที่ 0.5 pu. (500 A) ที่เวลา 0.7 วินาที เป็นการทดสอบเปลี่ยนค่าการส่งกำลังไฟฟ้าที่ค่าต่างๆ ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5.32 ถึงรูปที่ 5.41



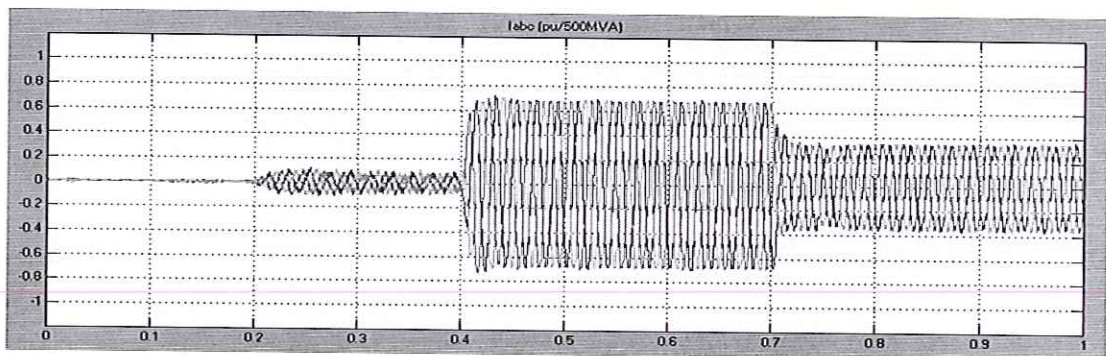
รูปที่ 5.32 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 4)



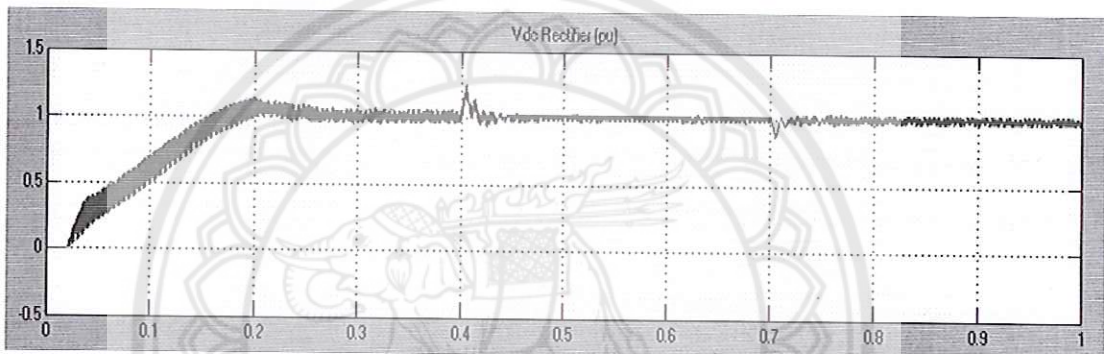
รูปที่ 5.33 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 4)



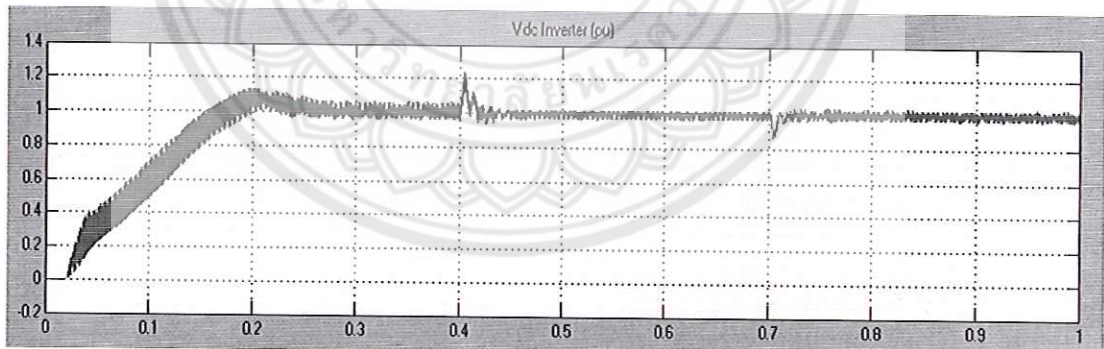
รูปที่ 5.34 กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 4)



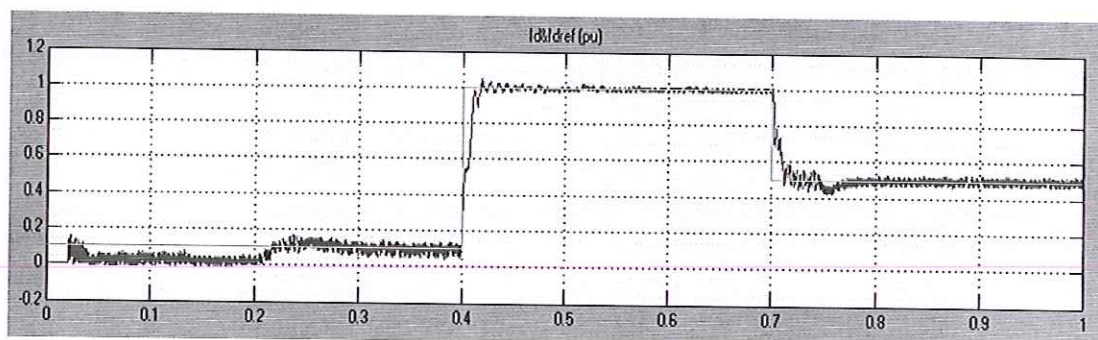
รูปที่ 5.35 กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 4)



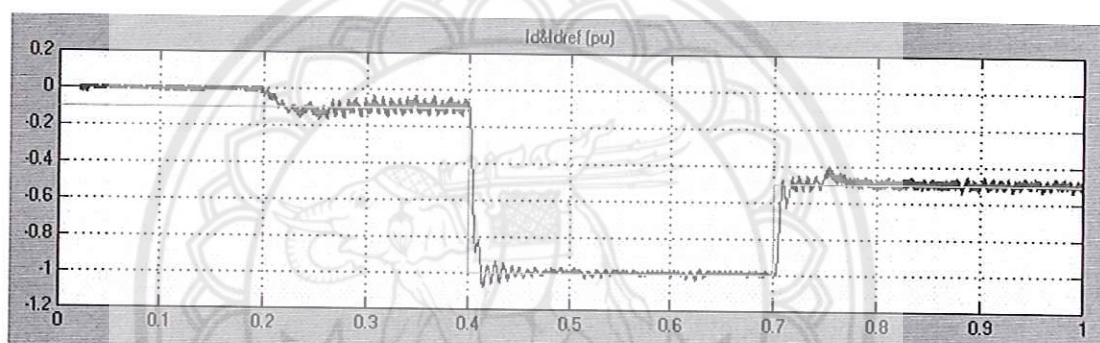
รูปที่ 5.36 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 4)



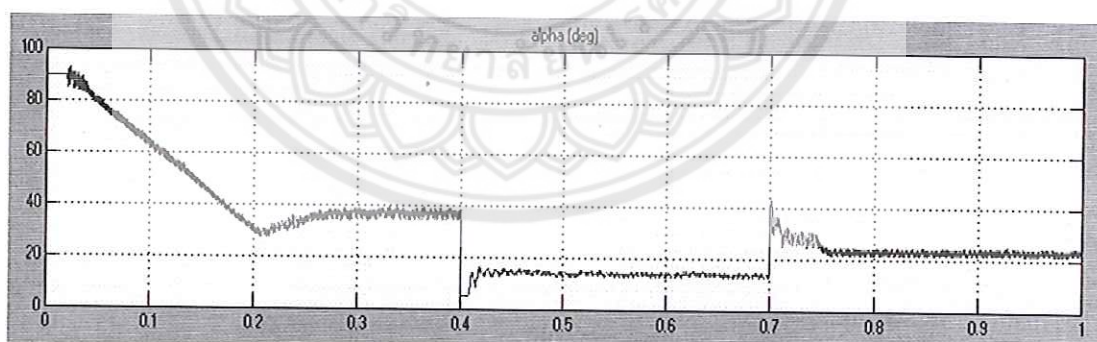
รูปที่ 5.37 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 4)



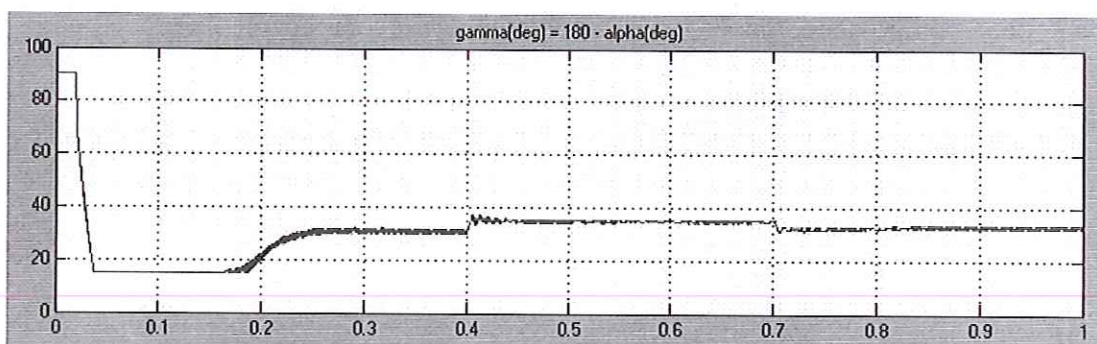
รูปที่ 5.38 กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 4)



รูปที่ 5.39 กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 4)



รูปที่ 5.40 กราฟแสดงมุมจุดคนวน (α) ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 4)



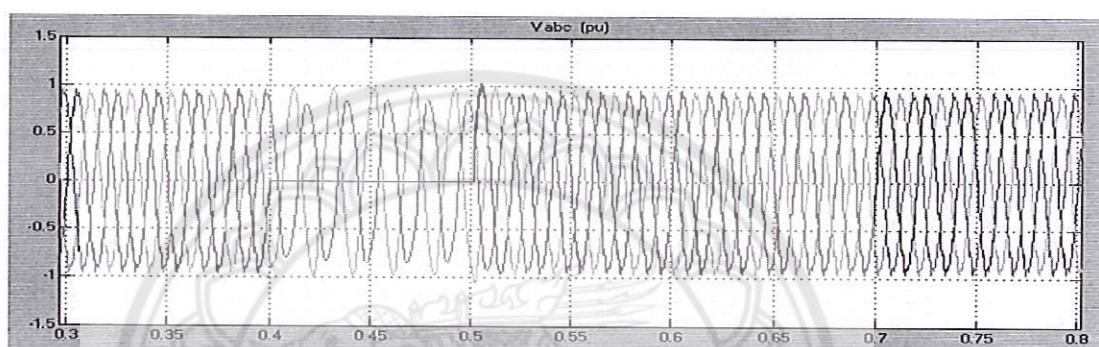
รูปที่ 5.41 กราฟแสดงมุมดับ (γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 4)

การทดสอบที่ 4 เป็นการทดสอบเปลี่ยนค่าการส่งกำลังไฟฟ้าโดยจะทำการปรับค่าการส่งกำลังไฟฟ้าขึ้นและปรับลง โดยจะทำการปรับค่ากระแสที่ค่าเริ่มต้นที่ 0.1 pu. และที่เวลา 0.4 วินาที จะปรับค่ากระแสเพิ่มเป็น 1 pu. และปรับค่ากระแสลดลงอีกครั้งที่เวลา 0.7 วินาที โดยจะปรับลงมาที่ 0.5 pu. ดังรูปที่ 5.38 ค่ามุม α รูปที่ 5.40 และมุม γ รูปที่ 5.41 ก็จะปรับค่าตามกระแสและแรงดันที่เปลี่ยนไปมีลักษณะเหมือนกับการทดสอบที่ 1, 2, 3 โดยการทดลองนี้จะเน้นการปรับค่าการส่งกำลังกำลังไฟฟ้าขึ้นลง โดยช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสระบบควบคุมก็พยายามปรับให้ค่ากระแสเปลี่ยนจากค่าหนึ่งไปอีกค่าหนึ่งให้เข้าสู่ภาวะคงตัวได้เร็ว ดังรูปที่ 5.38

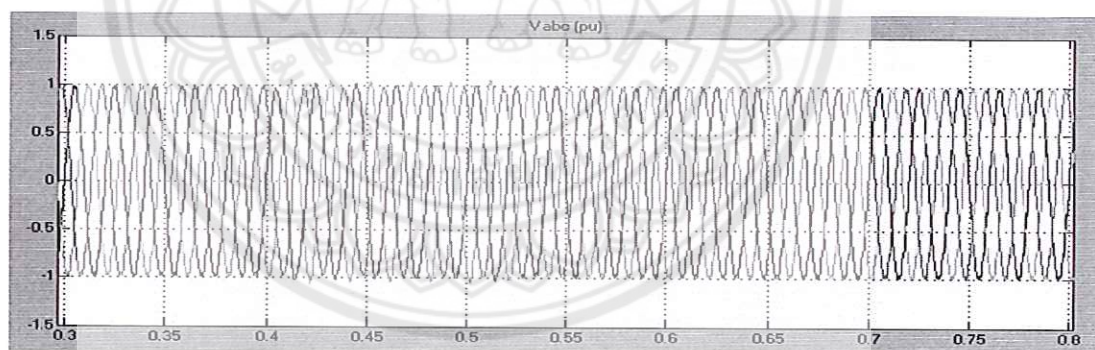
5.2 การทดสอบระบบในสภาวะผิดปกติ

การทดสอบระบบในสภาวะผิดปกติเป็นการทดสอบการทำงานที่มีความผิดปกติ (Fault) เกิดขึ้น โดยความผิดปกติที่ใช้การทดสอบมี 3 แบบคือ ความผิดปกติพ่วงลงดินเส้นเดียว, สามเฟสความผิดปกติพ่วง, ความผิดปกติพ่วงในสายส่งกระแสตรง โดยสามารถแบ่งการทดสอบออกเป็น 3 การทดสอบดังนี้

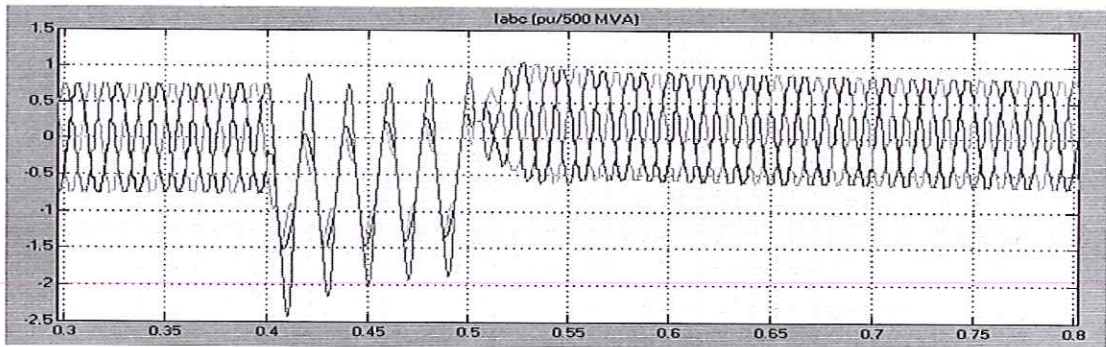
การทดสอบที่ 5 ปรับค่ากระแส 1 pu. (1000 A) และปรับค่าแรงดัน 1 pu. (300 kV) เป็นการทดสอบความผิดปกติพ่วงลงดินเส้นเดียว ในส่วนที่เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับโดยทดสอบ ที่เวลา 0.4 ถึง 0.5 วินาที (5 ไซเคิล) ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5.42 ถึงรูปที่ 5.51



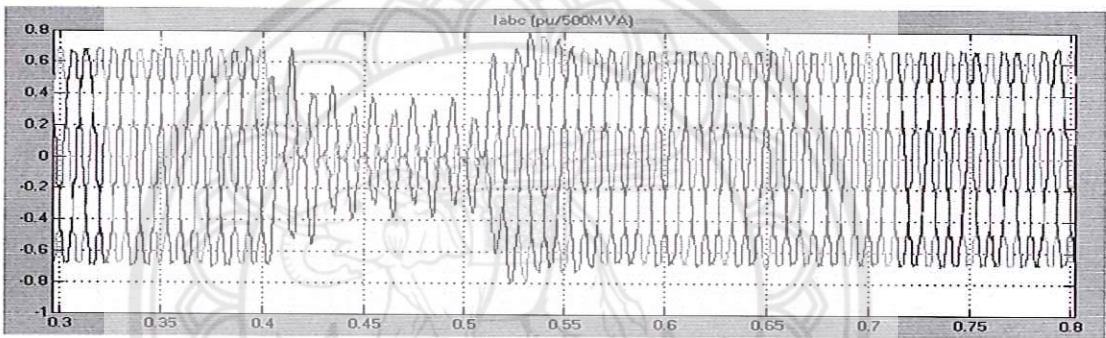
รูปที่ 5.42 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 5)



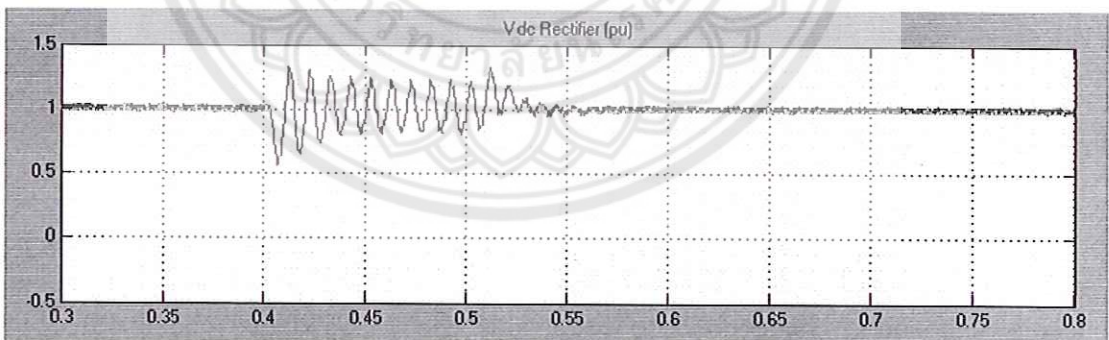
รูปที่ 5.43 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 5)



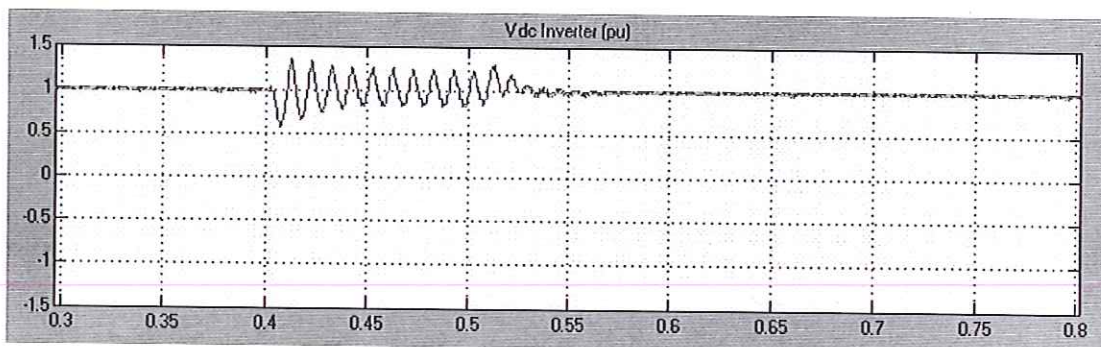
รูปที่ 5.44 กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 5)



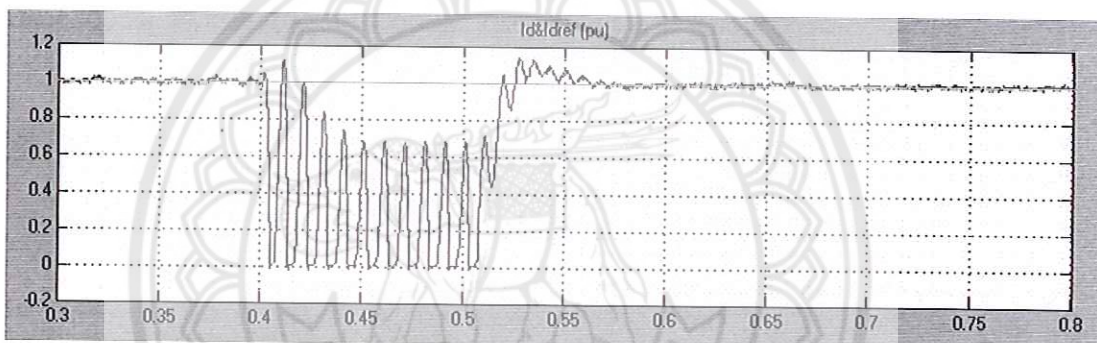
รูปที่ 5.45 กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 5)



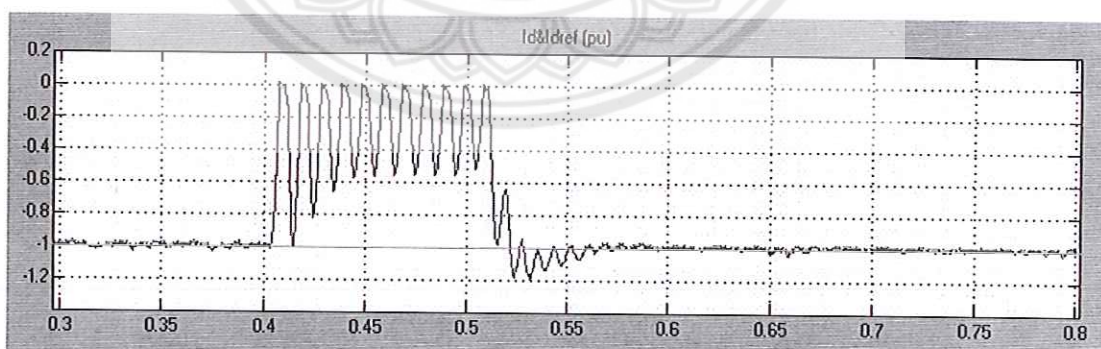
รูปที่ 5.46 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 5)



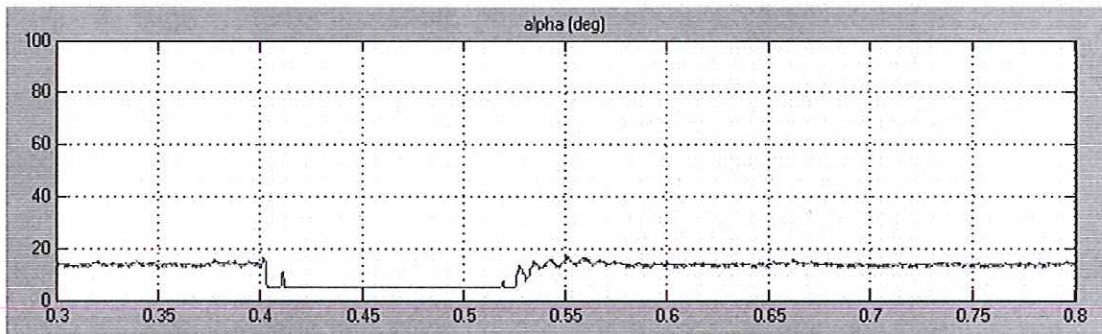
รูปที่ 5.47 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 5)



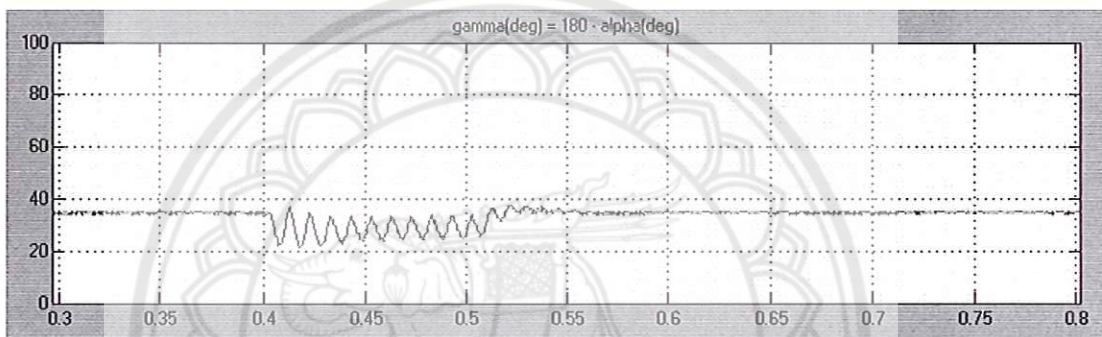
รูปที่ 5.48 กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 5)



รูปที่ 5.49 กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 5)



รูปที่ 5.50 กราฟแสดงมุมจุดชนวน (α) ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 5)

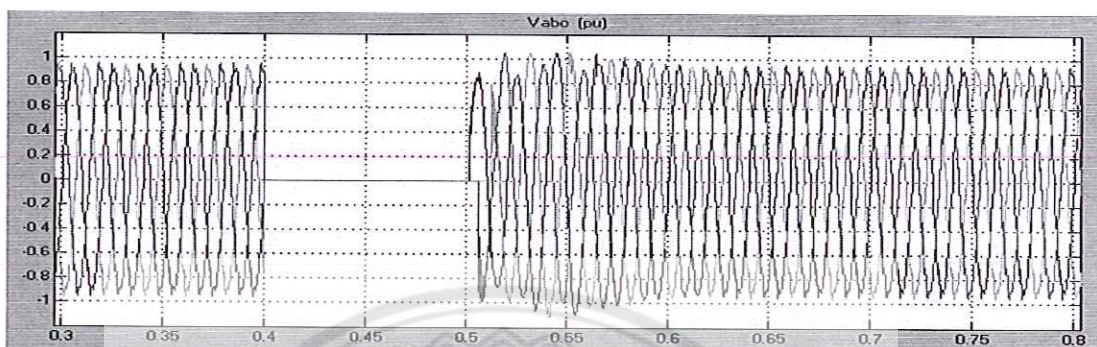


รูปที่ 5.51 กราฟแสดงมุมดับ (γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 5)

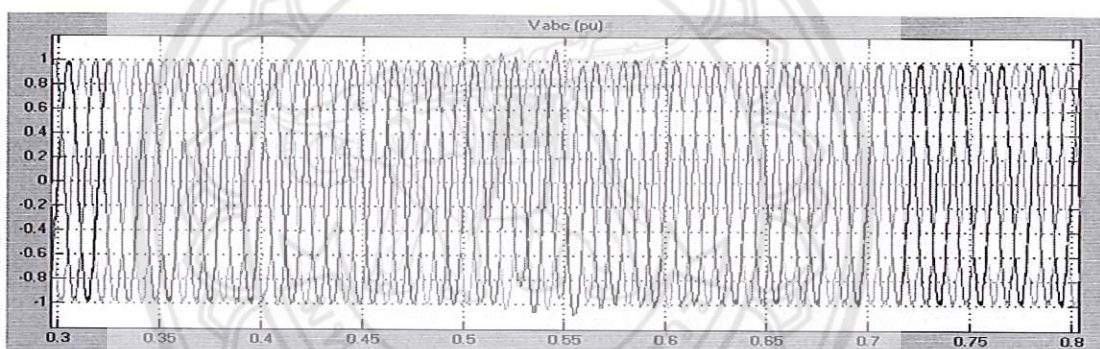
การทดสอบที่ 5 เป็นการทดสอบความผิดปกติของลงดินเส้นเดียว โดยทำการตัดวงจรลงดินที่เวลา 0.4 ถึง 0.5 วินาที พิจารณาค่าแรงดัน AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้าจะเห็นว่าแรงดันลดลงเป็น 0 pu. 1 เส้น ที่เวลา 0.4 ถึง 0.5 วินาทีดังรูปที่ 5.42 แต่ด้านรับกำลังไฟฟ้า แรงดันระบบ AC จะยังคงทนการเกิดความผิดปกติได้ปกติเหมือนเดิม รูปที่ 5.43 ส่วนค่ากระแสในระบบ AC จะเกิดการแกว่งและกระแสจะสูงขึ้นในช่วงเวลาที่เกิดความผิดปกติ โดยด้านส่งกำลังไฟฟ้าวรูปที่ 5.44 ค่ากระแสจะพุ่งสูงกว่าด้านรับกำลังไฟฟ้าวรูปที่ 5.45

ในระบบ DC ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงด้วยทั้งกระแสและแรงดันรูปที่ 5.48 และรูปที่ 5.46 ในช่วงเวลาที่เกิดความผิดปกตินั้นกระแสและแรงดันของระบบ DC จะเกิดการแกว่งโดยระบบควบคุมพยายามปรับมุม α รูปที่ 5.50 และมุม γ รูปที่ 5.51 เพื่อที่จะปรับค่ากระแสและแรงดันให้เข้าสู่สภาวะคงตัว จากรูปที่ 5.46 และรูปที่ 5.48 หลังจากที่เคลียร์ความผิดปกติแล้วค่าแรงดัน DC และกระแส DC จะปรับเข้าสู่สภาวะคงตัว

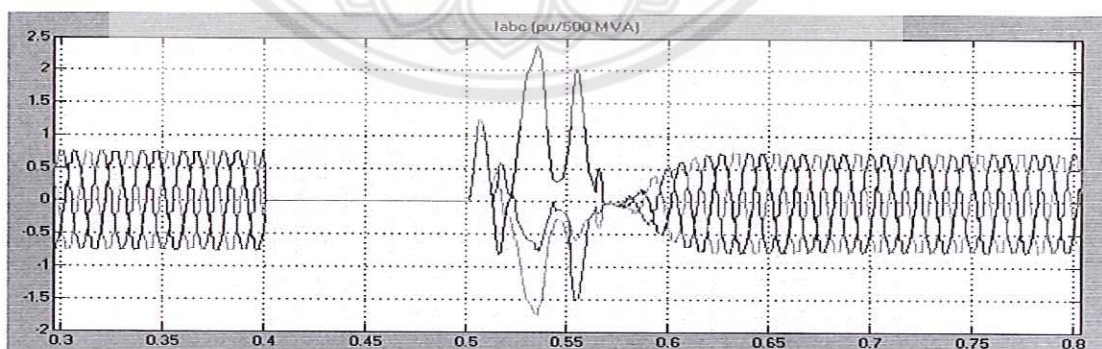
การทดสอบที่ 6 ปรับค่ากระแส 1 pu. (1000 A) และปรับค่าแรงดัน 1 pu. (300 kV) เป็นการทดสอบสามเฟสเพื่อความผิดปกติในส่วนที่เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับโดยทดสอบ ที่เวลา 0.4 ถึง 0.5 วินาที (5 ไซเคิล) ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5.52 ถึงรูปที่ 5.61



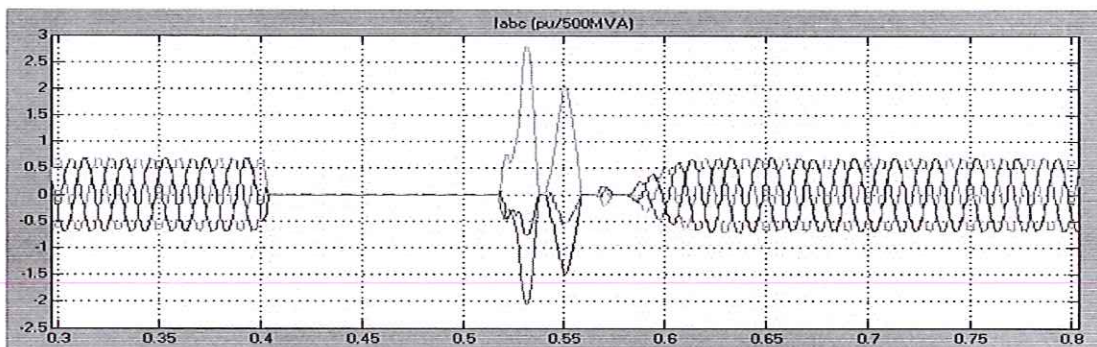
รูปที่ 5.52 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



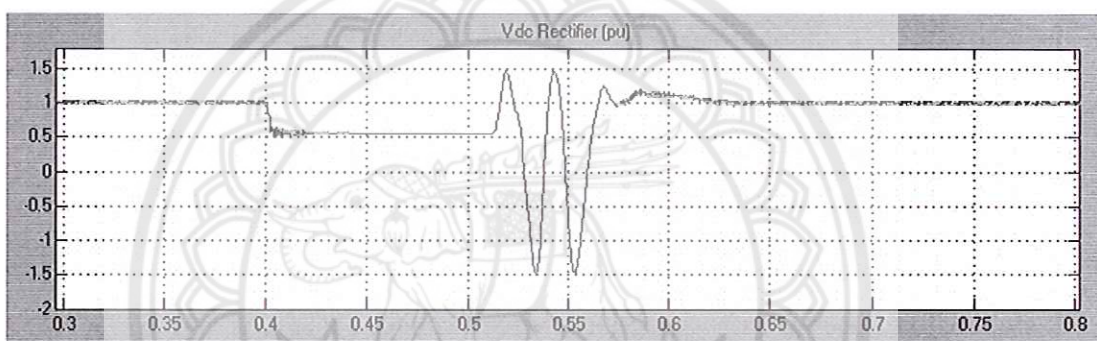
รูปที่ 5.53 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



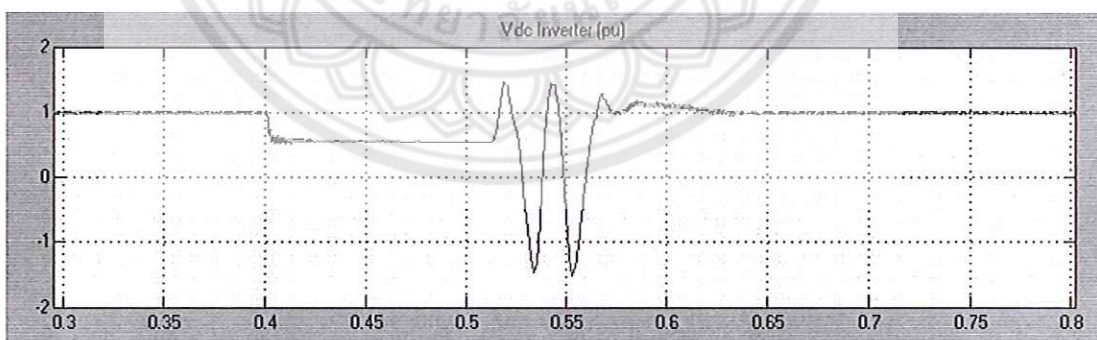
รูปที่ 5.54 กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



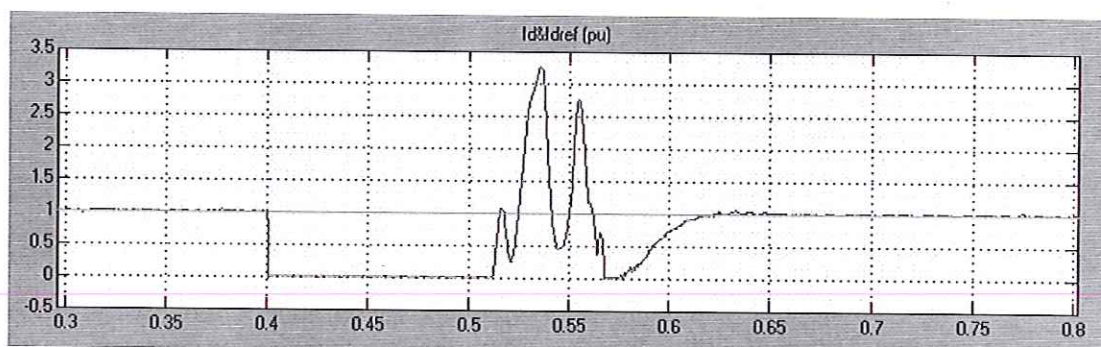
รูปที่ 5.55 กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



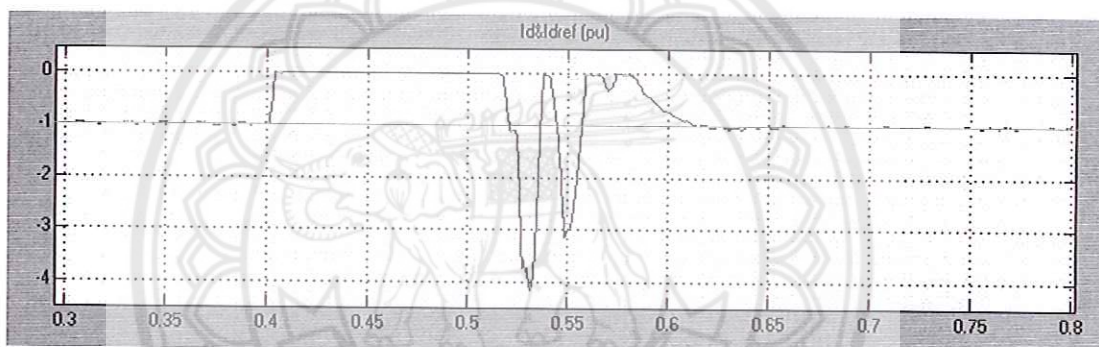
รูปที่ 5.56 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



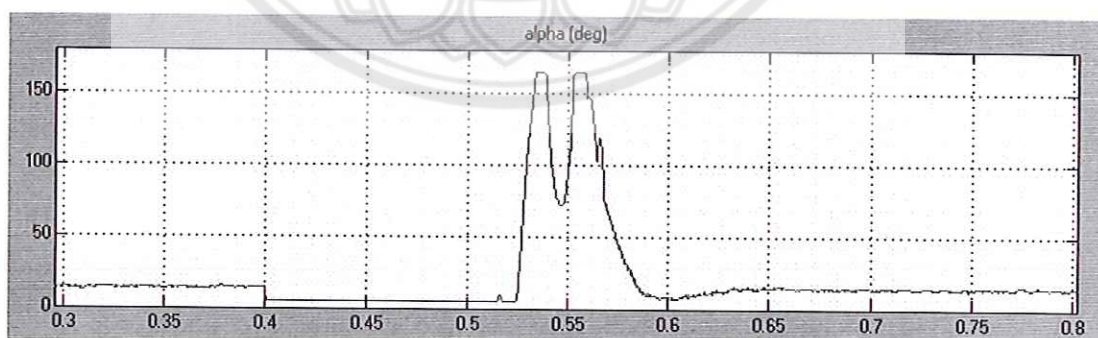
รูปที่ 5.57 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



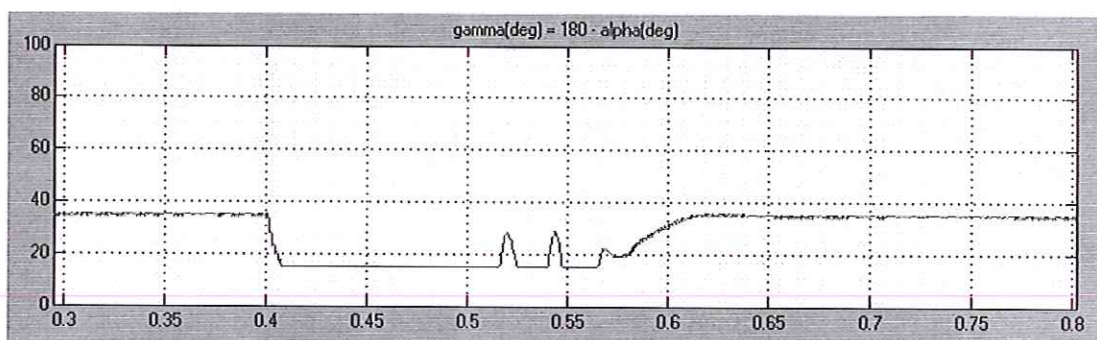
รูปที่ 5.58 กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



รูปที่ 5.59 กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



รูปที่ 5.60 กราฟแสดงมุมจุดฉนวน (α) ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)

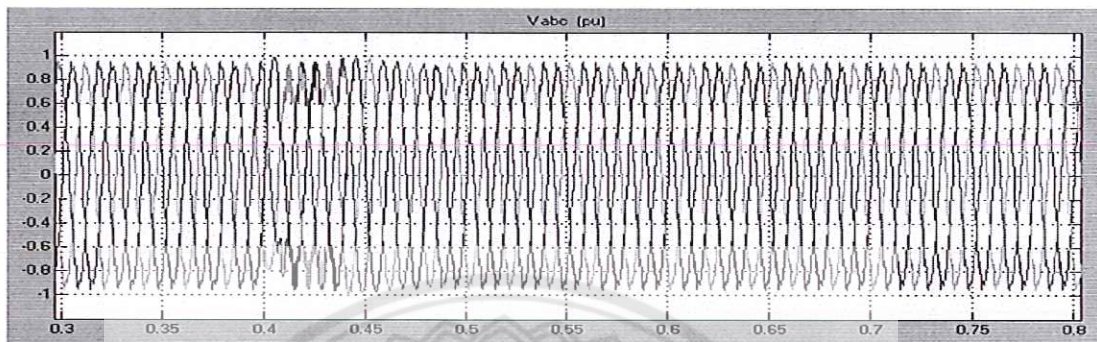


รูปที่ 5.61 กราฟแสดงมุมดับ (γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)

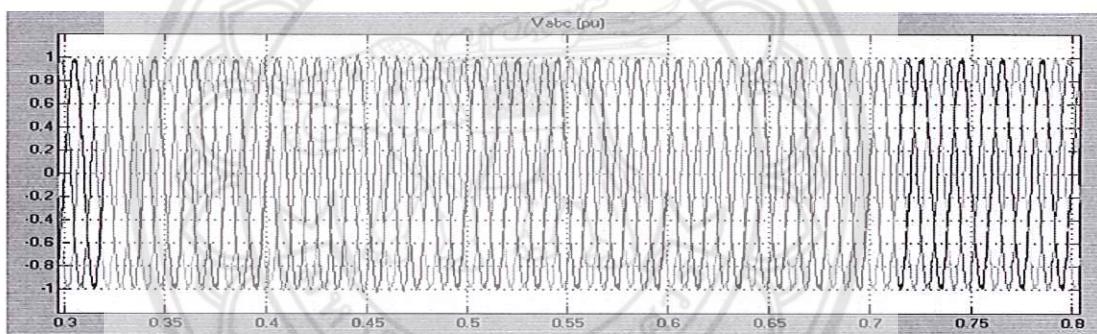
การทดสอบที่ 6 เป็นการทดสอบสามเฟสความผิดปกติ ทำการทดสอบโดยลัดวงจรทั้งสามเฟสที่ด้านส่งกำลังไฟฟ้า ที่ช่วงเวลา 0.4 ถึง 0.5 วินาที ทำให้แรงดันระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้ารูปที่ 5.52 มีเท่ากับ 0 pu. ทั้ง 3 เฟส แต่แรงดันด้านรับกำลังไฟฟ้ายังสามารถทนการเกิดความผิดปกติได้รูปที่ 5.53 ส่วนกระแสในระบบ AC ด้านส่งและรับกำลังไฟฟ้าจะสูงมากประมาณ 2.5 pu ดังรูปที่ 5.54 และรูปที่ 5.55 เนื่องจากการเกิดสามเฟสความผิดปกติก่อนข้างจะรุนแรง

ในระบบ DC ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงด้วย ทั้งแรงดันและกระแสตามรูปที่ 5.56 และรูปที่ 5.58 ในช่วงเวลาที่เกิดความผิดปกตินั้นกระแสและแรงดันของระบบ DC จะเท่ากับ 0 pu. และหลังจากเคลียร์ความผิดปกติ ระบบควบคุมพยายามปรับมุม α ดังรูปที่ 5.60 และมุม γ รูปที่ 5.61 (โดยช่วงนี้ค่ากระแสจะสูงมากประมาณ 3 pu) เพื่อที่จะปรับค่ากระแสและแรงดันให้เข้าสู่สภาวะคงตัว จากรูปที่ 5.56 และรูปที่ 5.58 หลังจากที่เคลียร์ความผิดปกติแล้วค่ากระแสและแรงดันจะปรับเข้าสู่สภาวะคงตัว

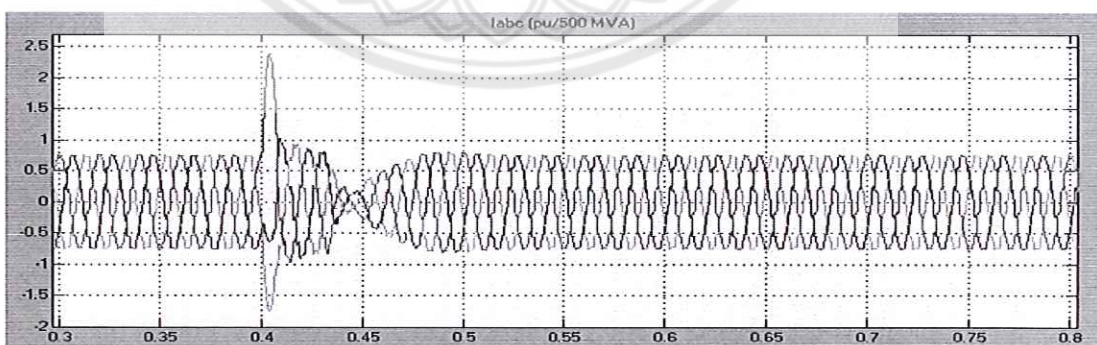
การทดสอบที่ 7 ปรับค่ากระแส 1 pu. (1000 A) และปรับค่าแรงดัน 1 pu. (300 kV) เป็นการทดสอบความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากระแสตรง ที่เวลา 0.4 ถึง 0.43 วินาที (เป็นช่วงเวลาที่เกิดความผิดปกติแล้วระบบยังสามารถกลับมาควบคุมได้) ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5.62 ถึงรูปที่ 5.71



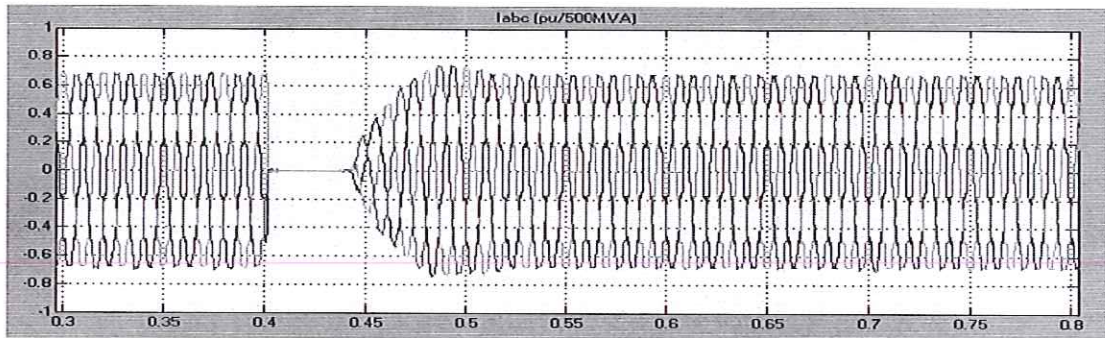
รูปที่ 5.62 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



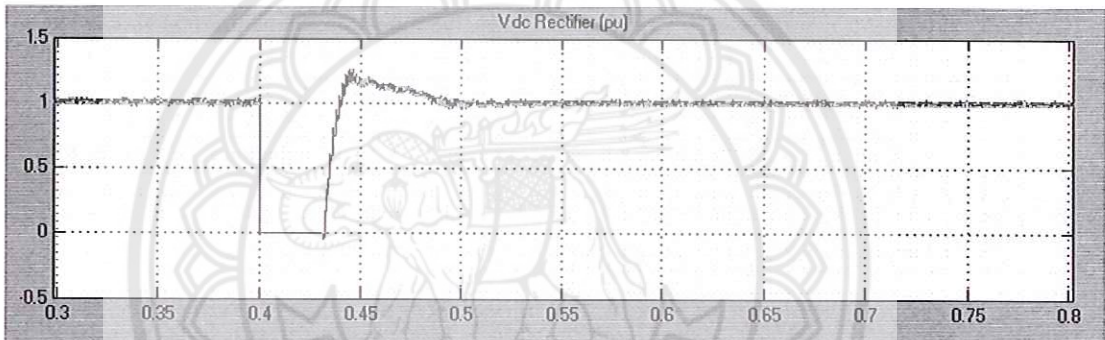
รูปที่ 5.63 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



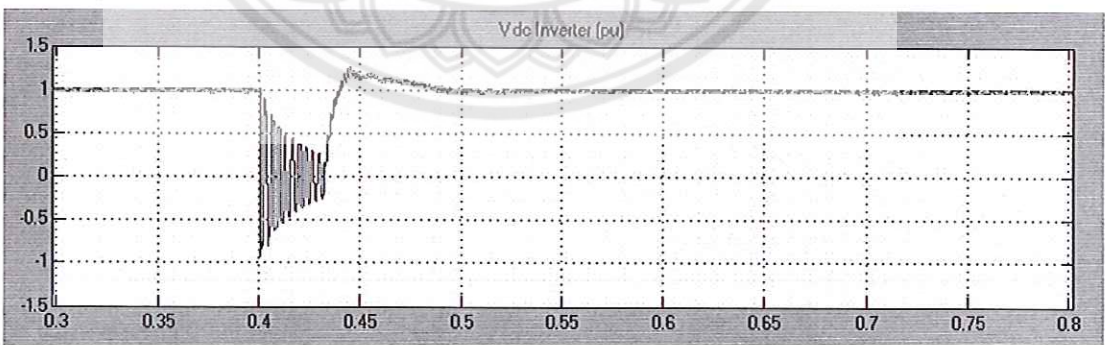
รูปที่ 5.64 กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



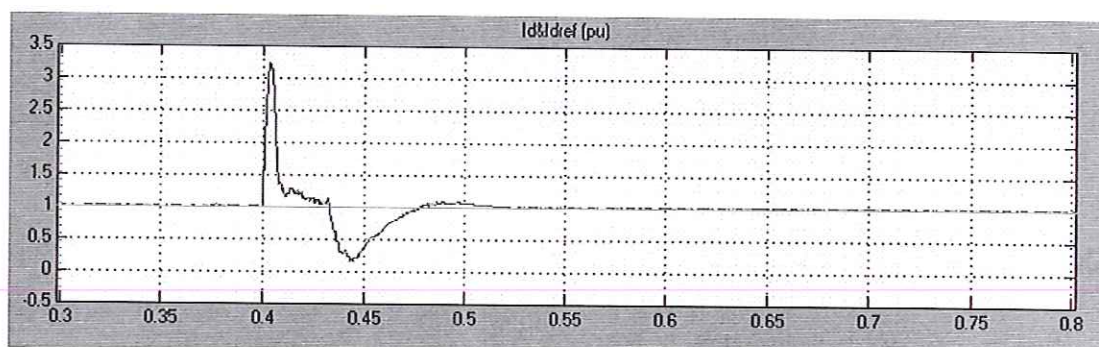
รูปที่ 5.65 กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



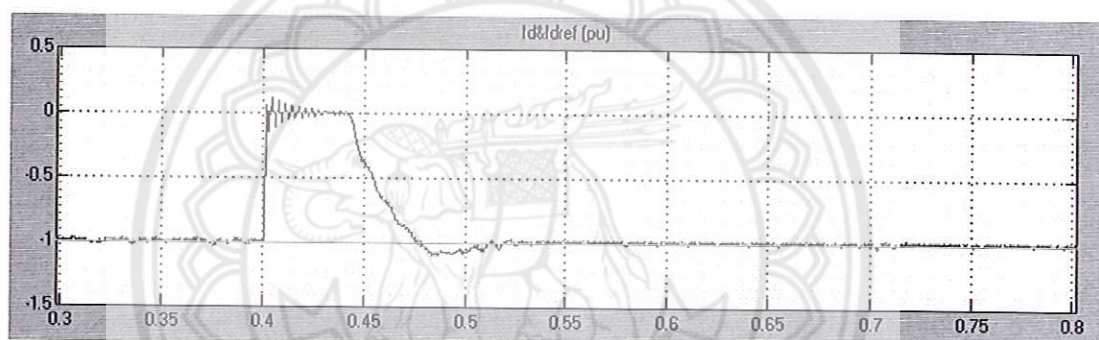
รูปที่ 5.66 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



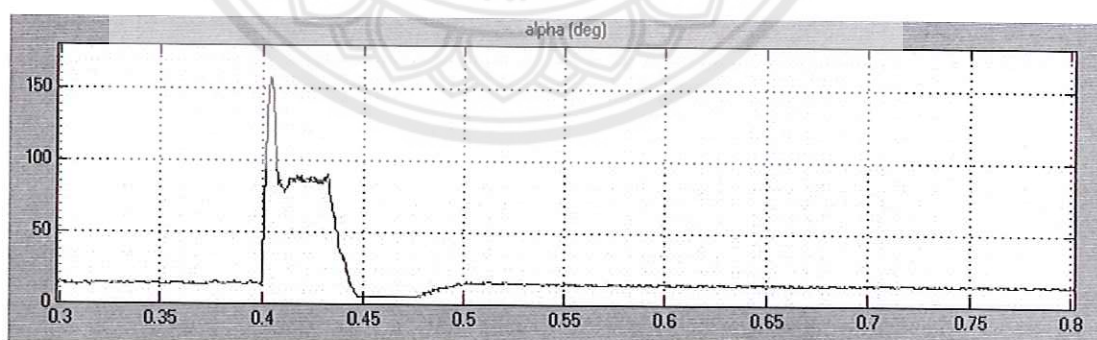
รูปที่ 5.67 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



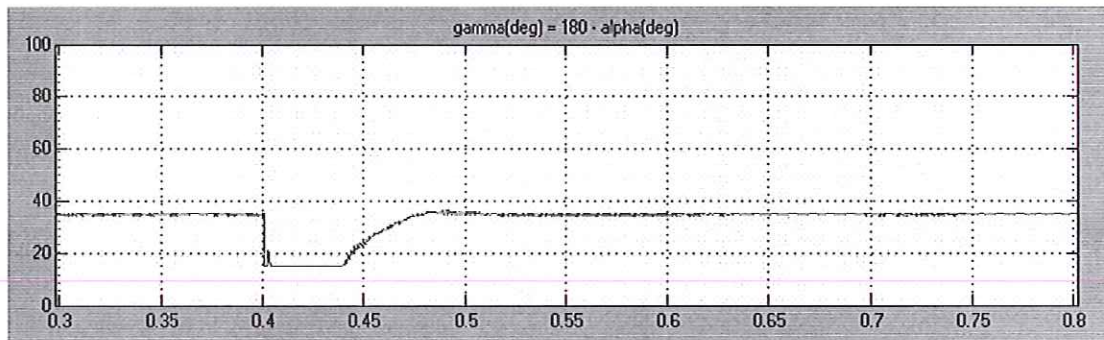
รูปที่ 5.68 กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



รูปที่ 5.69 กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



รูปที่ 5.70 กราฟแสดงมุมจุดชนวน(α) ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)



รูปที่ 5.71 กราฟแสดงมุมดับ (γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า (การทดสอบที่ 6)

จากการทดสอบ โดยทำการทดสอบความผิดพลาดลงคืนในสายส่งกระแสตรงที่ช่วงเวลา (0.4 ถึง 0.43 วินาที) จะส่งผลต่อแรงดันระบบ AC ด้านส่งและรับกำลังไฟฟ้าน้อยมากรูปที่ 5.62 และรูปที่ 5.63 แต่ค่ากระแสความผิดพลาดของระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้ารูปที่ 5.64 จะพุ่งสูงช่วงที่เริ่มดำเนินการเกิดความผิดพลาด และค่อยลดลงจนเข้าสู่สภาวะคงตัวหลังจากเคลียร์ความผิดพลาด ส่วนกระแส AC ด้านรับกำลังไฟฟ้ารูปที่ 5.65 จะไม่มีกระแสไหลช่วงการเกิดความผิดพลาด

ในระบบ DC แรงดัน DC ก็จะลดลงเป็น 0 pu. รูปที่ 5.66 เมื่อเริ่มทดสอบความผิดพลาดที่เวลา 0.4 วินาที และจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นเข้าสู่สภาวะคงตัวหลังจากเคลียร์ความผิดพลาดที่เวลา 0.43 วินาที ระบบก็จะพยายามควบคุมให้แรงดันมีค่าคงที่เหมือนเดิม (1 pu.) ส่วนค่ากระแสในระบบ DC รูปที่ 5.68 จะพุ่งสูงประมาณ 3 pu. ในช่วงเริ่มการทดสอบที่เวลา 0.4 วินาทีและจะค่อยๆ ลดลง จากนั้นระบบควบคุมพยายามปรับค่ามุม α รูปที่ 5.70 เพื่อให้ค่ากระแสเพิ่มขึ้นเข้าสู่สภาวะปกติหลังจากเคลียร์ความผิดพลาด ค่าแรงดัน DC ก็เช่นเดียวกันแต่จะเป็นการปรับค่ามุม γ รูปที่ 5.71 แทน

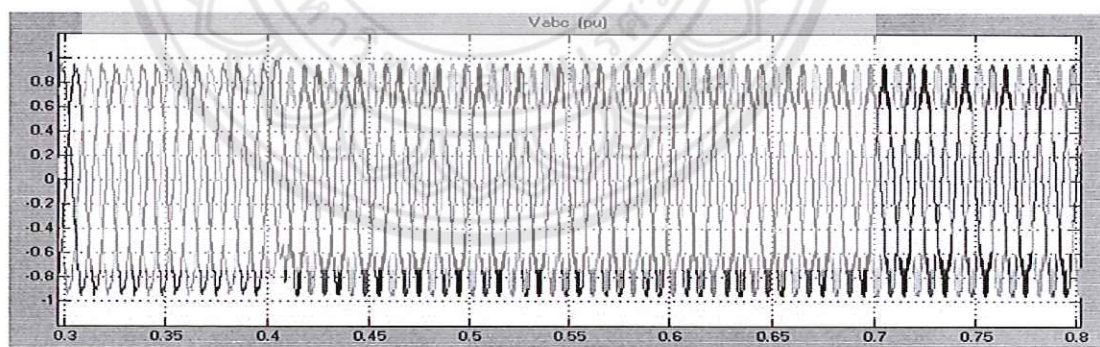
การเกิดความผิดปกติในระบบส่งกระแสตรงจะมีผลต่อการควบคุมของระบบเอชวีดีซี ทั้ง 2 ด้านอย่างมากอาจส่งผลให้ระบบไม่สามารถควบคุมได้ ตัวที่จะบ่งบอกว่าระบบยังคงจะควบคุมได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่าง คือ กระแสในระบบ และช่วงเวลาที่ระบบเกิดความผิดปกติ ตารางที่ 5.1 จะแสดงค่ากระแสในระบบ DC และเวลาวิกฤต (Critical Clearing Time หรือช่วงเวลาที่มากที่สุดที่ระบบเกิดความผิดปกติและสามารถกลับมาควบคุมได้)

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงเวลาวิกฤตของการเกิดความผิดปกติในระบบ DC ที่ค่ากระแสต่างๆ

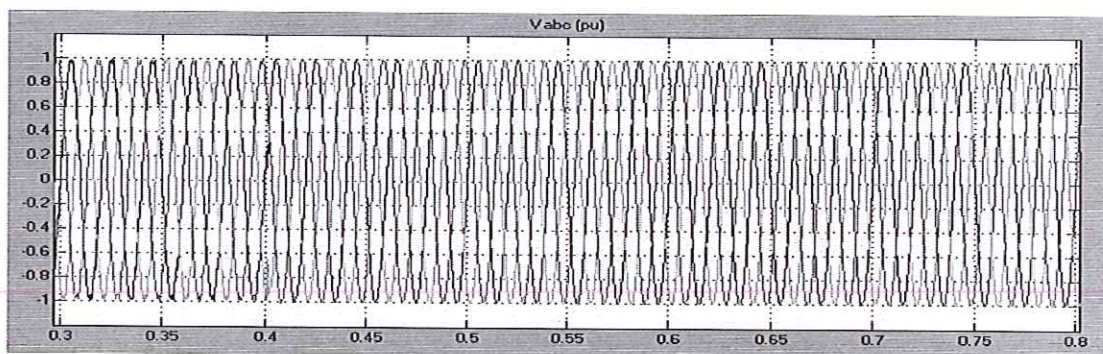
กระแส (I_c) (pu)	เวลาวิกฤต (CCT) (วินาที)
0.1	-
0.5	0.06
1.0	0.03

ตัวอย่างที่ 1 การทดสอบความผิดปกติระบบ DC ที่ทำให้ไม่สามารถควบคุมการทำงานของระบบได้

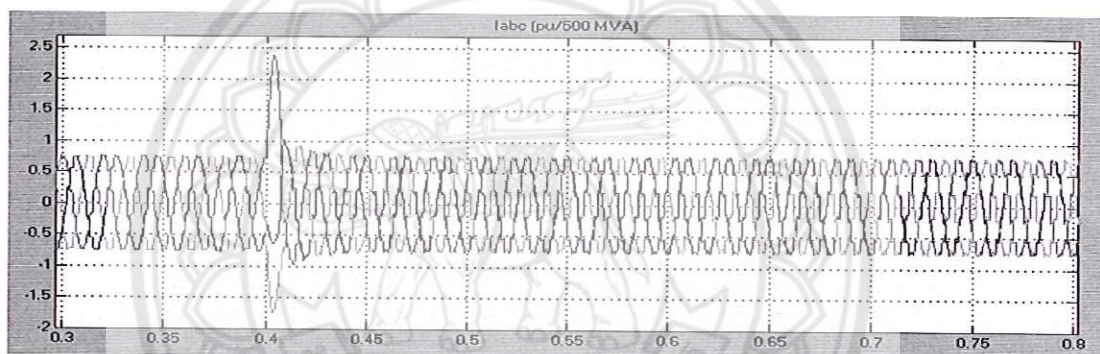
ปรับค่ากระแส 1 pu. (1000 A) และปรับค่าแรงดัน 1 pu. (300 kV) เป็นการทดสอบความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากระแสตรง ที่เวลา 0.4 ถึง 0.44 วินาที (เป็นช่วงเวลาที่เกิดความผิดปกติแล้วระบบไม่สามารถกลับมาควบคุมได้) ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 5.72 ถึงรูปที่ 5.73



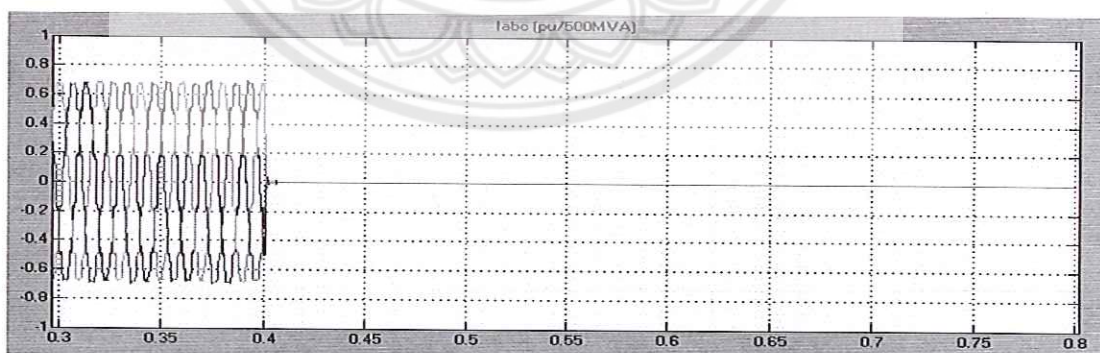
รูปที่ 5.72 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)



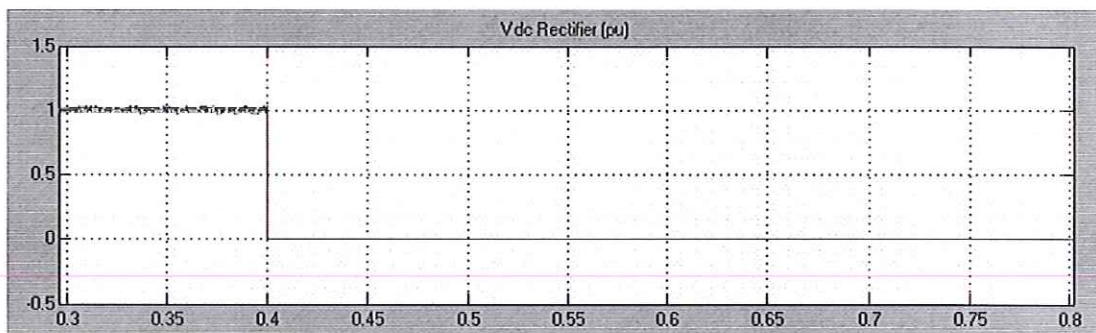
รูปที่ 5.73 กราฟแสดงแรงดันระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)



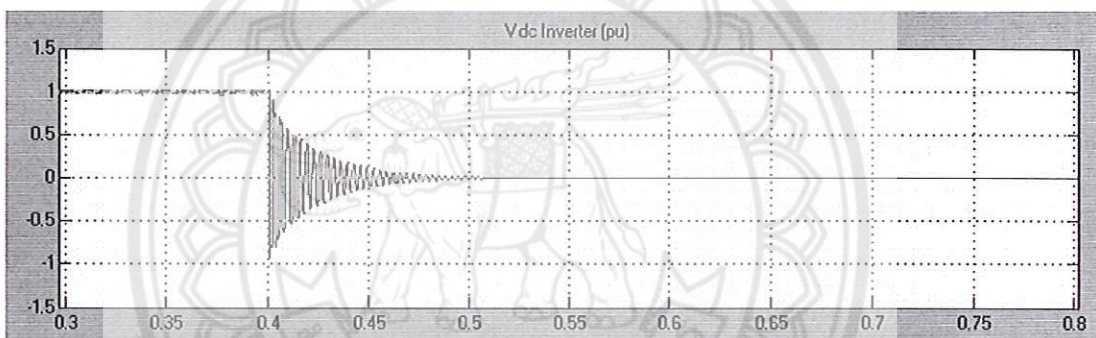
รูปที่ 5.74 กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)



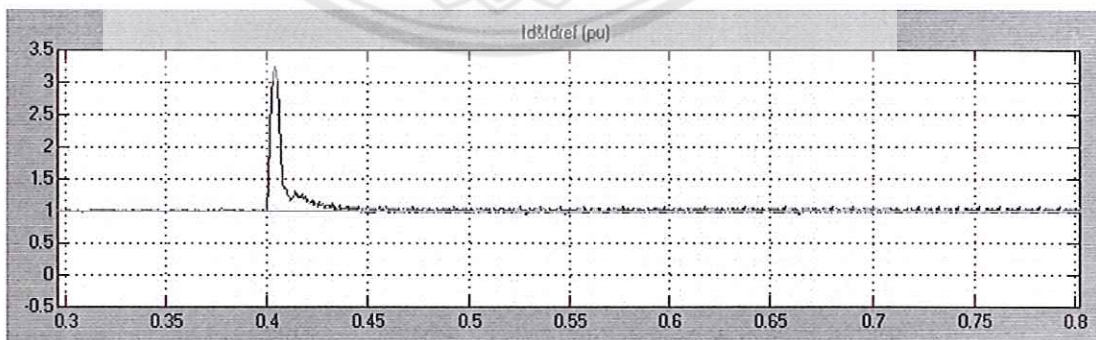
รูปที่ 5.75 กราฟแสดงกระแสระบบ AC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)



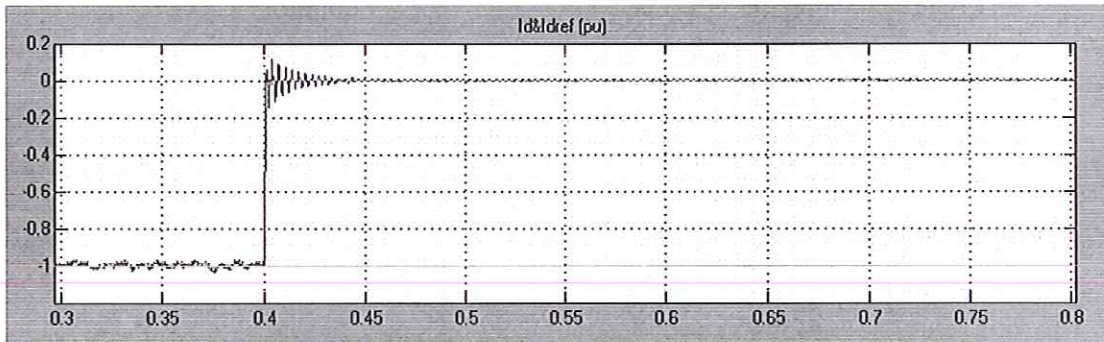
รูปที่ 5.76 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)



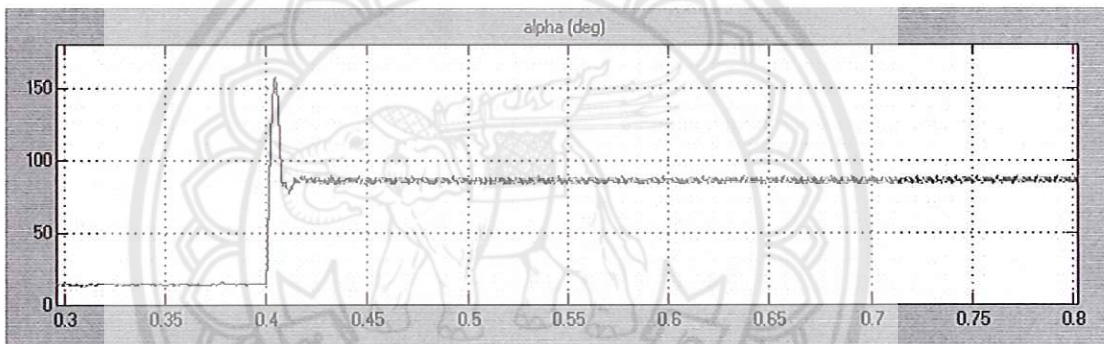
รูปที่ 5.77 กราฟแสดงแรงดันระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)



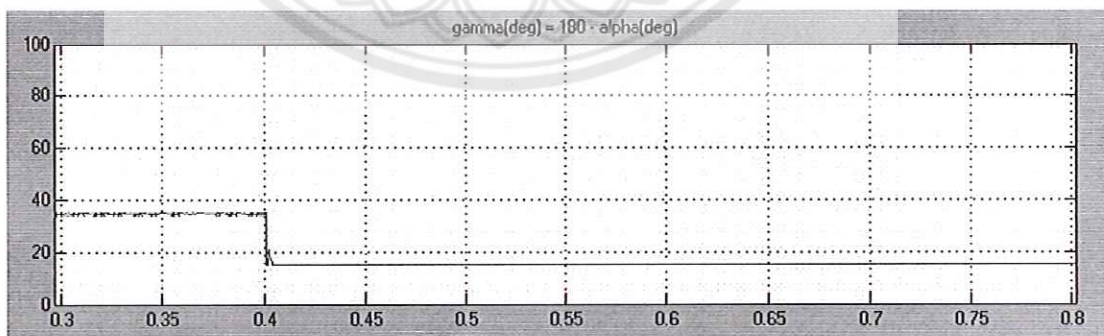
รูปที่ 5.78 กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)



รูปที่ 5.79 กราฟแสดงกระแสระบบ DC ด้านรับกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)



รูปที่ 5.80 กราฟแสดงมุมจุดกวน (α) ด้านส่งกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)



รูปที่ 5.81 กราฟแสดงมุมดับ (γ) ด้านรับกำลังไฟฟ้า (ตัวอย่างที่ 1)

ผลการทดสอบที่เวลา 0.4 ถึง 0.44 วินาที ระบบควบคุมไม่สามารถที่จะปรับให้กระแสไหลไปยังด้านรับกำลังไฟฟ้างรูปที่ 5.79 ได้หลังจากเคลียร์ความผิดปกติแล้ว แต่กระแสด้านส่งกำลังไฟฟ้ายังไหลอยู่เพราะด้านส่งกำลังไฟฟ้าควบคุมกระแสที่ไหลในระบบ DC รูปที่ 5.77 แต่ด้านรับกำลังไฟฟ้าควบคุมไม่ได้แล้วเพราะทำหน้าที่ควบคุมแรงดัน DC แรงดันระบบ DC จึงลดลงเป็น 0 pu. จึงส่งผลให้ระบบไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าจากด้านส่งไปยังด้านรับได้



บทที่ 6

บทสรุป

6.1 สรุปผล

โครงการนี้ ได้ทำการจำลองระบบเอชวีดีซี ระหว่างประเทศไทยและประเทศมาเลเซีย โดยส่งกำลังไฟฟ้าจากประเทศไทยไปยังประเทศมาเลเซีย โดยใช้โปรแกรมซิมูเลชันโปรแกรมแมทแล็บ โดยที่การจำลองระบบนั้นสามารถปรับค่ากำลังไฟฟ้าที่จะส่งผ่านได้ และทดสอบการเกิดความผิดปกติของระบบ คือความผิดปกติของแรงดันไฟฟ้า, สามเฟสความผิดปกติ, ความผิดปกติในสายส่งกระแสตรง ซึ่งทั้งหมดจะวิเคราะห์ในสภาวะชั่วคราว(Transient) จากผลการทดสอบแบ่งเป็น 2 การทดสอบหลักๆ คือ การทดสอบในสภาวะปกติ และการทดสอบในสภาวะเกิดความผิดปกติ

การทดสอบในสภาวะปกติ เป็นการปรับค่าแรงดันคงที่ในระบบดีซีและปรับค่ากระแสดีซีที่ไหลผ่านในระบบดีซีเพื่อเป็นการปรับค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่าน โดยสามารถเลือกค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านได้ในการปรับค่ากระแสอ้างอิงและใช้ การควบคุมแบบพีไอ ในการปรับค่ากระแสและแรงดันให้ระบบเข้าสู่ค่าอ้างอิง

การทดสอบในสภาวะเกิดความผิดปกติ โดยจะทดลองแยกเป็นความผิดปกติในระบบกระแสสลับและความผิดปกติในระบบกระแสตรง ความผิดปกติในระบบกระแสสลับนั้นจะแบ่งออกเป็นความผิดปกติของแรงดันไฟฟ้าและสามเฟสความผิดปกติ เมื่อเกิดความผิดปกติในระบบกระแสสลับจะส่งผลกระทบต่อระบบกระแสตรงด้วยหลังจากเคลียร์ความผิดปกติระบบควบคุมก็จะพยายามปรับค่าให้เข้าสู่ค่าอ้างอิงเหมือนตอนก่อนเกิดความผิดปกติ

ความผิดปกติในระบบกระแสตรง จะเป็นความผิดปกติในสายส่งกระแสตรงโดยระบบจำลองที่สร้างสามารถทนกระแสความผิดปกติได้ 0.03 วินาที (1.5 ไซเคิล) ถ้าเกิดความผิดปกติยาวนานกว่านี้จะทำให้ระบบไม่สามารถควบคุมได้

6.2 ประเมินผล

6.2.1 สามารถสร้างแบบจำลองระบบเอชวีดีซีระหว่างไทยกับมาเลเซียโดยส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากประเทศไทยไปยังประเทศมาเลเซียและสามารถปรับค่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านได้

6.2.2 สามารถประยุกต์ใช้โปรแกรมแมทแล็บซิมูเลชันในการวิเคราะห์สภาวะชั่วคราวของแบบจำลองระบบเอชวีดีซี

6.3 ปัญหา ข้อเสนอแนะ และแนวทางแก้ไข

6.3.1 ปัญหาเนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ที่ใช้ในการปรับเทียบหม้อแปลงในโปรแกรมซีมูลิงค์ ไม่มี ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่งกำลังไฟฟ้าที่ค่าต่างๆ เนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้าที่พิกัดกำลังสูงๆ จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟมาก ทำให้แรงดันไฟฟ้าตก จึงไม่สามารถปรับตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าใหม่ได้ จะแก้ไขโดยการปรับเทียบโดยใช้ตัวคูณปรับค่าอัตราส่วนของหม้อแปลง ที่การส่งกำลังไฟฟ้าต่างๆ กัน

6.3.2 ปัญหาเนื่องจากข้อมูลค่าพารามิเตอร์ของระบบเอชวีดีซีจริงๆ มีไม่เพียงพอในบางส่วน จึงใช้การประมาณค่าข้อมูล

6.4 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

จากผลการทดลองทำแบบจำลองของระบบเอชวีดีซีผลที่ได้จากการทดลองใน โครงการนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการสร้างแบบจำลองระบบเอชวีดีซีแบบส่งกำลังไฟฟ้าไปมาได้ทั้งสองด้าน โดยสามารถส่งได้ทั้งประเทศไทยไปยังประเทศมาเลเซียและส่งจากประเทศมาเลเซียมายังประเทศไทย และพัฒนาแบบจำลองระบบเอชวีดีซีให้มีเสถียรภาพในการควบคุมระบบให้ดีขึ้น

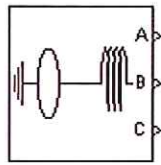


เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร.มนัส สัจวรศิลป์. คู่มือ MATLAB ฉบับสมบูรณ์. นนทบุรี : อินโฟเพรส. 2543.
- [2] ผศ.ชนบูรณ์ ศศิภาณุเดช. การป้องกันระบบไฟฟ้ากำลัง. กรุงเทพมหานคร : สกายบุ๊กส์. 2544.
- [3] รศ.สุมาลี อุณหวิชัย. ระบบควบคุม. กรุงเทพมหานคร : เพ็ชรสกุล. 2545.
- [4] รศ.ดร.วีระเชษฐ ชันเงิน, วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ.พรินติ้ง. 2547.

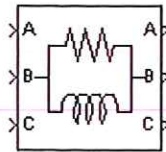






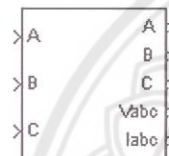
3-Phase Source

ใช้แทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของทั้งสองระบบ



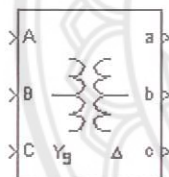
3- Phase Parallel RLC

ใช้แทนวงจรสมมูลของระบบที่มีการเชื่อมต่อของทั้งสองระบบ



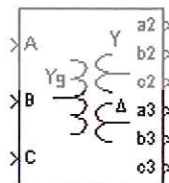
3- Phase VI Measurement

ใช้เป็นเครื่องวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้าแบบสามเฟส



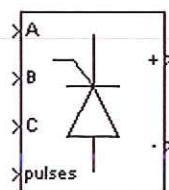
Three-phase Transformer (Two Windings)

ใช้เป็นหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ชนิดสองขดลวด
(แบบ 6 พัลส์)



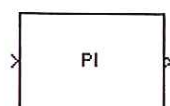
Three-Phase Transformer (Three Winding)

ใช้เป็นหม้อแปลงคอนเวอร์เตอร์ชนิดสามขดลวด
(แบบ 12 พัลส์)



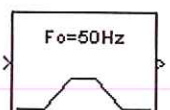
Universal Bridge

ใช้เป็นไทรสเตอร์วาล์วเป็นวงจรแบบบริดจ์



PI Controller

ใช้เป็นชุดควบคุมแบบพีไอ



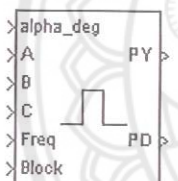
Discrete 2nd-Order Filter

ใช้เป็นวงจรกรองเลือกความถี่ที่ใช้งานผ่านได้



Discrete Synchronized 6-Pulse Generator

ใช้เป็นชุดสร้างสัญญาณพัลส์แบบ 6 พัลส์



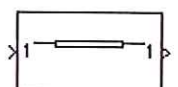
Discrete Synchronized 12-Pulse Generator

ใช้เป็นชุดสร้างสัญญาณพัลส์แบบ 12 พัลส์



Series RLC Branch

ใช้แทนรีแอกเตอร์ราบเรียบ



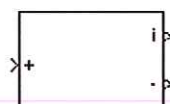
Distributed Parameters Line

ใช้แทนสายส่งกระแสตรง



Voltage Measurement

ใช้เป็นเครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าแบบหนึ่งเฟส



Current Measurement

ใช้เป็น เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าแบบหนึ่งเฟส



Constant

ใช้เป็นจุดสร้างสัญญาณค่าคงที่ต่างๆ ของระบบ



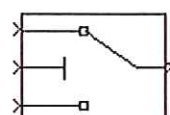
Step

ใช้เป็นจุดสร้างสัญญาณแบบปรับขึ้นลง โดยการตั้งเวลาในการปรับขึ้นลง



Sum

ใช้ในการนำสัญญาณมาบวกกลับกัน



Switch

ใช้เป็นสวิตช์แบบใช้สัญญาณกระตุ้นจากกลางเพื่อเลือกที่จะปรับใช้สัญญาณด้านบนหรือล่าง (ขึ้นอยู่กับที่ตั้งค่าของอุปกรณ์)



Mux

ใช้ในการรวมสัญญาณเข้าด้วยกัน



Demux

ใช้ในการแยกสัญญาณออกจากกัน



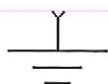
Goto

ใช้รับสัญญาณเพื่อจะนำสัญญาณไปแสดงผล
(ใช้ร่วมกับ From)



From

ใช้ นำสัญญาณไปแสดงออกที่จอแสดงสัญญาณ
(ใช้ร่วมกับGoto)



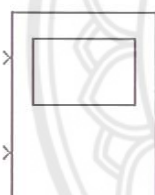
Ground

ใช้ในการต่อลงดินแบบรับสัญญาณ(output)



Ground

ใช้ในการต่อลงดินแบบป้อนสัญญาณ(input)



Scope

ใช้เป็นจอแสดงสัญญาณ



ประวัติผู้เขียนโครงการ

ชื่อ นายจิรัฐิกร ลากชัยเจริญกิจ
 ภูมิลำเนา 14/1 หมู่ 1 ต.ท่าเสา อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนอุตรดิตถ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

E-mail : se7venbox@hotmail.com

ชื่อ นายปัญญา ย่องหีบ
 ภูมิลำเนา 29/1 หมู่ 6 ต.ท่าฉนวน อ.มโนรมย์ จ.ชัยนาท
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนชัยนาทพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

E-mail : panya_nu@hotmail.com

ชื่อ นายพัฒน์กรณ์ ดรหงษา
 ภูมิลำเนา 109/3 บ้านโนนเมือง ต.แพ่ง อ.โกสุมพิสัย จ.มหาสารคาม
 ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเขวาสรีศึกษา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

E-mail : donhongsa@hotmail.com