

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า

Computer Models for Transformers

โดย

นาย ไชยวัฒน์ จันทรปลั่ง

นาย ณัฐนนท์ งามเจริญ

นาย วรเชษฐ กุลแสนเตา

นางสาว สิริพร ตั้งวันเจริญ

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน.....62665

วัน,เดือน,ปี 21 ส.ค. 2549

b. 11625078

i.

ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2548

แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า

Computer Models for Transformers



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. อานันท์วัฒน์ คุณากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2548


ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า

ผู้จัดทำ

1. นาย ไชยวัฒน์ จันทร์ปลั่ง
2. นาย ณัฐนนท์ งามเจริญ
3. นาย วรเชษฐ กุลแสนเตา
4. นางสาว สิริพร ตั้งวันเจริญ


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. อานันท์วัฒน์ คุณนกร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า

นาย ไชยวัฒน์ จันทร์ปลั่ง

นาย ณัฐนนท์ งามเจริญ

นาย วรเชษฐ กุลแสนเตา

นางสาว สิริพร ตั้งวันเจริญ

รศ.ดร. อานันท์วัฒน์ คุณากร อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส 2 ขดลวด เพื่อใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการทำงานในสภาวะปกติ การจำลองทางคอมพิวเตอร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดยอาศัย MATLAB/simulink แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อรวมผลของ phase shift เนื่องจาก vector group ของหม้อแปลงไฟฟ้า ผลของการ simulation แบบจำลองได้นำเสนอถึงความสามารถในการทำนายรูปคลื่นแรงดันและกระแสได้ถูกต้องและแม่นยำ

Computer Models for Transformers

Chaiwat Janplang

Nattanon Ngamcharoen

Worachet Koolsantao

Siriporn Tangwanchaoen

Assco. Prof. Dr. Anuntawat KunaKorn Advisor

2005

ABSTRACT

This thesis presents computer models for three-phase two windings transformers in order to study steady state operations. The computer models are developed based on MATLAB/Simulink. The computer models are modified so that the effects of phase shifts due to vector group connections of the transformers can be taken into account. The simulation results show that the models proposed in the thesis are able to predict the voltage and current waveforms of the transformer with satisfactory accuracy.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทฉบับนี้คงไม่อาจสำเร็จได้ ถ้าหากไม่ได้รับความช่วยเหลือ และร่วมมือจาก หลายๆ ฝ่ายด้วยกัน บุคคลแรกที่ต้องกล่าวถึงซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ปริญญาโทฉบับนี้เสร็จลุล่วงได้คือ รศ.ดร.อานันท์วัฒน์ คุณากร อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ที่ให้ความช่วยเหลือเอาใจใส่ พร้อมให้คำแนะนำที่ดีเสมอมา ต่อมาคือพี่ๆ นักศึกษาปริญญาโททุกคน ที่คอยช่วยแนะนำในสิ่งต่างๆ

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ผู้จัดทำมีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้จัดทำมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และเป็นผู้ให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมาในทุกๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าผู้จัดทำจึงขอระลึกในพระคุณอันสูงสุดประมาณและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาโทฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายไชยวัฒน์	จันทร์ปลั่ง
นายณัฐนนท์	งามเจริญ
นายวรเชษฐ	กุลแสนเตา
นางสาวสิริพร	ตั้งวันเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญรูป.....	VII
สารบัญตาราง.....	XIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 การแนะนำ.....	4
2.2 รูปแบบหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 1 เฟส 2 ขดลวด.....	4
2.2.1 สมการฟลักซ์เกี่ยวคัล้องขดลวด.....	5
2.2.2 สมการของแรงดัน.....	7
2.2.3 การแทนค่าในวงจรสมมูลย์.....	8
2.3 การต่อหม้อแปลง.....	9
2.3.1 หม้อแปลง 1 เฟส 2 ขดลวด.....	9
2.3.2 หม้อแปลง 3 เฟส.....	9
2.3.2.1 แบบวาย - วาย หรือ สตาร์ - สตาร์ ($Y-Y$ connection).....	9
2.3.2.2 แบบเดลต้า - เดลต้า ($\Delta-\Delta$ connection).....	10
2.3.2.3 แบบวาย - เดลต้า หรือ สตาร์ - เดลต้า ($Y-\Delta$ connection).....	12
2.3.2.4 แบบเดลต้า - วาย หรือ เดลต้า - สตาร์ ($\Delta-Y$ connection).....	13
2.4 เวกเตอร์กรุป.....	14
2.4.1 การตรวจสอบเวกเตอร์กรุปของหม้อแปลงไฟฟ้า.....	14
2.4.2 การแบ่งกลุ่มการต่อหม้อแปลง.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 3 การพัฒนาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า.....	18
3.1 การจำลองการทำงานของหม้อแปลงแบบ 1 เฟส 2 ขดลวด.....	18
3.2 สภาวะเงื่อนไขที่ขาออก.....	20
3.3 การรวมค่าการอิ่มตัวของแกนเหล็กกับการจำลองหม้อแปลง.....	21
3.4 การจำลองการทำงานของหม้อแปลง 3 เฟส.....	26
3.4.1 แบบจำลองหม้อแปลง 3 เฟส แบบ $Y-Y$ connection.....	26
3.4.2 แบบจำลองหม้อแปลง 3 เฟส แบบ $\Delta-\Delta$ connection.....	28
3.4.3 แบบจำลองหม้อแปลง 3 เฟส แบบ $\Delta-Y$ connection.....	29
3.4.4 แบบจำลองหม้อแปลง 3 เฟส แบบ $Y-\Delta$ connection.....	31
3.5 ระบบจำลองของหม้อแปลงที่สร้างขึ้นโดย Simulink ในโปรแกรม MATLAB.....	32
3.5.1 การใช้งานและการป้อนค่าให้กับระบบจำลองของอุปกรณ์ต่างๆ ในแบบจำลองหม้อแปลง 3 เฟส.....	32
3.5.1.1 หม้อแปลงไฟฟ้า(Transformer).....	32
3.5.1.2 แหล่งจ่ายสัญญาณแบบ Sine Wave(Source).....	34
3.5.1.3 นาฬิกา(Clock).....	37
3.5.1.4 สโคป(Scope).....	38
3.5.1.5 ตัวขยายสัญญาณ(Gain).....	38
3.5.1.6 Terminator.....	39
3.5.1.7 To Workspace.....	39
3.5.1.8 ตัวรวมสัญญาณ Output(Mux).....	40
3.5.1.9 ตัวรวมสัญญาณ Input(Sum).....	41
3.5.2 การใช้และป้อนค่าให้กับระบบจำลองของอุปกรณ์ต่างๆ ในแบบจำลองหม้อแปลง 3 เฟส แยกเวกเตอร์กรุป.....	42
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	43
4.1 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ขดลวด โดยใช้โปรแกรม MATLAB.....	43
4.2 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม MATLAB.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.1 แบบ $Y-Y$ connection.....	47
4.2.2 แบบ $\Delta-\Delta$ connection.....	47
4.2.3 แบบ $\Delta-Y$ connection.....	50
4.2.4 แบบ $Y-\Delta$ connection.....	53
4.3 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุป โดยใช้โปรแกรม MATLAB.....	56
4.3.1 $Yy0$	56
4.3.2 $Yy6$	59
4.3.3 $Dd0$	62
4.3.4 $Dd6$	65
4.3.5 $Yd1$	68
4.3.6 $Dy11$	71
4.4 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดล ของแบบจำลอง.....	74
4.4.1 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ขดลวดโดยใช้โปรแกรม MATLAB.....	74
4.4.2 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม MATLAB.....	75
4.4.2.1 แบบ $Y-Y$	75
4.4.2.2 แบบ $\Delta-\Delta$	76
4.4.2.3 แบบ $Y-\Delta$	77
4.4.2.4 แบบ $\Delta-Y$	78
4.4.3 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุป โดยใช้โปรแกรม MATLAB.....	79
4.4.3.1 $Yy0$	79
4.4.3.2 $Yy6$	80
4.4.3.3 $Dd0$	81
4.4.3.4 $Dd6$	82

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.3.5 Y_{d1}	83
4.4.3.6 D_{y11}	84
4.5 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดล ของแบบจำลอง.....	85
4.5.1 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ขดลวดโดยใช้โปรแกรม MATLAB.....	85
4.5.2 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม MATLAB.....	86
4.5.2.1 แบบ $Y-Y$	86
4.5.2.2 แบบ $\Delta-\Delta$	87
4.5.2.3 แบบ $Y-\Delta$	88
4.5.2.4 แบบ $\Delta-Y$	89
4.5.3 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุป โดยใช้โปรแกรม MATLAB.....	90
4.5.3.1 Y_{y0}	90
4.5.3.2 Y_{y6}	91
4.5.3.3 D_{d0}	92
4.5.3.4 D_{d6}	93
4.5.3.5 Y_{d1}	94
4.5.3.6 D_{y11}	95
4.6 ขนาดของแรงดันและกระแสที่อ่านได้จากกราฟ.....	96
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	98
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	98
5.2 แนวทางการพัฒนา.....	100
เอกสารอ้างอิง.....	101
กิตติกรรมประกาศ.....	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องคล่องในหม้อแปลงแบบ 2 ขดลวด.....	5
2.2 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงแบบ 2 ขดลวด.....	8
2.3 การต่อหม้อแปลงแบบ 1 เฟส 2 ขดลวด.....	9
2.4 การต่อหม้อแปลง 3 เฟส และเฟสเซอร์ไดอะแกรมแบบวาย – ยาย.....	10
2.5 การต่อหม้อแปลง 3 เฟส และเฟสเซอร์ไดอะแกรมแบบเดลต้า – เดลต้า.....	11
2.6 การต่อหม้อแปลง 3 เฟส และเฟสเซอร์ไดอะแกรมแบบวาย – เดลต้า.....	12
2.7 การต่อหม้อแปลง 3 เฟส และเฟสเซอร์ไดอะแกรมแบบเดลต้า – ยาย.....	13
3.1 การทำงานของตัวแปรในการจำลองระบบของหม้อแปลงแบบ 2 ขดลวด (กรณีเป็นเชิงเส้น).....	19
3.2 การจำลองระบบของหม้อแปลงแบบ 2 ขดลวด (กรณีเป็นเชิงเส้น).....	20
3.3 ลักษณะของการอิมิตัว.....	21
3.4 การทำงานของตัวแปรในการจำลองระบบของหม้อแปลงแบบ 2 ขดลวด (กรณีที่มีการอิมิตัวของฟลักซ์ที่เกี่ยวข้อง).....	23
3.5 การจำลองระบบของหม้อแปลง 2 ขดลวด.....	24
3.6 การต่อหม้อแปลงและวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงแบบ $Y-Y$	28
3.7 การต่อหม้อแปลงและวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงแบบ $\Delta-\Delta$	29
3.8 การต่อหม้อแปลงและวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงแบบ $\Delta-Y$	30
3.9 การต่อหม้อแปลงและวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงแบบ $Y-\Delta$	32
3.10 ระบบจำลองของ Subsystem ในโปรแกรม MATLAB.....	32
3.11 การป้อนค่าให้กับ Block Parameter ของ Subsystem ใน Line_unit.....	33
3.12 การป้อนค่าให้กับ Block Parameter ของ Subsystem ใน Ref_Load Line....	33
3.13 แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบ Sine Wave ในโปรแกรม MATLAB.....	34
3.14 การป้อนค่าให้กับ Block Parameter ของแหล่งจ่ายสัญญาณของ VAO.....	34
3.15 การป้อนค่าให้กับ Block Parameter ของแหล่งจ่ายสัญญาณของ VBO.....	35
3.16 การป้อนค่าให้กับ Block Parameter ของแหล่งจ่ายสัญญาณของ VCO.....	36
3.17 ระบบจำลองของนาฬิกาในโปรแกรม MATLAB.....	37
3.18 การป้อนค่าให้กับ Block Parameter ของตัวนาฬิกา.....	37
3.19 ระบบจำลองของสโคปในโปรแกรม MATLAB.....	38
3.20 ระบบจำลองของตัวขยายสัญญาณ (gain) ในโปรแกรม MATLAB.....	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.21 การป้อนค่าให้กับ Block Parameter ของตัวขยายสัญญาณ (gain).....	38
3.22 ระบบจำลองของ Terminator ในโปรแกรม MATLAB.....	39
3.23 ระบบจำลองของ To Workspace ในโปรแกรม MATLAB.....	39
3.24 การป้อนค่าให้กับ Block Parameter ของ To Workspace.....	39
3.25 ระบบจำลองของตัวรวมสัญญาณ output ในโปรแกรม MATLAB.....	40
3.26 การป้อนค่าให้กับ Block Parameter ของตัวรวมสัญญาณ output(Mux).....	40
3.27 ระบบจำลองของตัวรวมสัญญาณ input ในโปรแกรม MATLAB.....	41
3.28 การป้อนค่าให้กับ Block Parameter ของตัวรวมสัญญาณ input(sum).....	41
3.29 การป้อนค่าให้กับ Block Parameter ของตัวขยายสัญญาณ (เฉพาะแบบ Yy6 และ Dd6) To Workspace.....	42
4.1 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ขดลวด โดยใช้ MATLAB.....	43
4.2 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ Y-Y เฟส A โดยใช้ MATLAB.....	44
4.3 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ Y-Y เฟส B โดยใช้ MATLAB.....	45
4.4 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ Y-Y เฟส C โดยใช้ MATLAB.....	46
4.5 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ Δ - Δ เฟส A โดยใช้ MATLAB.....	47
4.6 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ Δ - Δ เฟส B โดยใช้ MATLAB.....	48
4.7 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ Δ - Δ เฟส C โดยใช้ MATLAB.....	49
4.8 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ Y- Δ เฟส A โดยใช้ MATLAB.....	50
4.9 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ Y- Δ เฟส B โดยใช้ MATLAB.....	51

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $Y-\Delta$ เฟส C โดยใช้ MATLAB.....	52
4.11 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $\Delta-Y$ เฟส A โดยใช้ MATLAB.....	53
4.12 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $\Delta-Y$ เฟส B โดยใช้ MATLAB.....	54
4.13 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $\Delta-Y$ เฟส C โดยใช้ MATLAB.....	55
4.14 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yy_0 เฟส A โดยใช้ MATLAB.....	56
4.15 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yy_0 เฟส B โดยใช้ MATLAB.....	57
4.16 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yy_0 เฟส C โดยใช้ MATLAB.....	58
4.17 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yy_6 เฟส A โดยใช้ MATLAB.....	59
4.18 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yy_6 เฟส B โดยใช้ MATLAB.....	60
4.19 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yy_6 เฟส C โดยใช้ MATLAB.....	61
4.20 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dd_0 เฟส A โดยใช้ MATLAB.....	62
4.21 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dd_0 เฟส B โดยใช้ MATLAB.....	63
4.22 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dd_0 เฟส C โดยใช้ MATLAB.....	64
4.23 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dd_6 เฟส A โดยใช้ MATLAB.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dd6 เฟส B โดยใช้ MATLAB.....	66
4.25 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dd6 เฟส C โดยใช้ MATLAB.....	67
4.26 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yd1 เฟส A โดยใช้ MATLAB.....	68
4.27 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yd1 เฟส B โดยใช้ MATLAB.....	69
4.28 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yd1 เฟส C โดยใช้ MATLAB.....	70
4.29 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dy11 เฟส A โดยใช้ MATLAB.....	71
4.30 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dy11 เฟส B โดยใช้ MATLAB.....	72
4.31 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dy11 เฟส C โดยใช้ MATLAB.....	73
4.32 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของ แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ขดลวด โดยใช้ MATLAB.....	74
4.33 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ Y-Y โดยใช้ MATLAB.....	75
4.34 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $\Delta-\Delta$ โดยใช้ MATLAB.....	76
4.35 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ Y- Δ โดยใช้ MATLAB.....	77
4.36 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $\Delta-Y$ โดยใช้ MATLAB.....	78

สารบัญรูป (ต่อ)

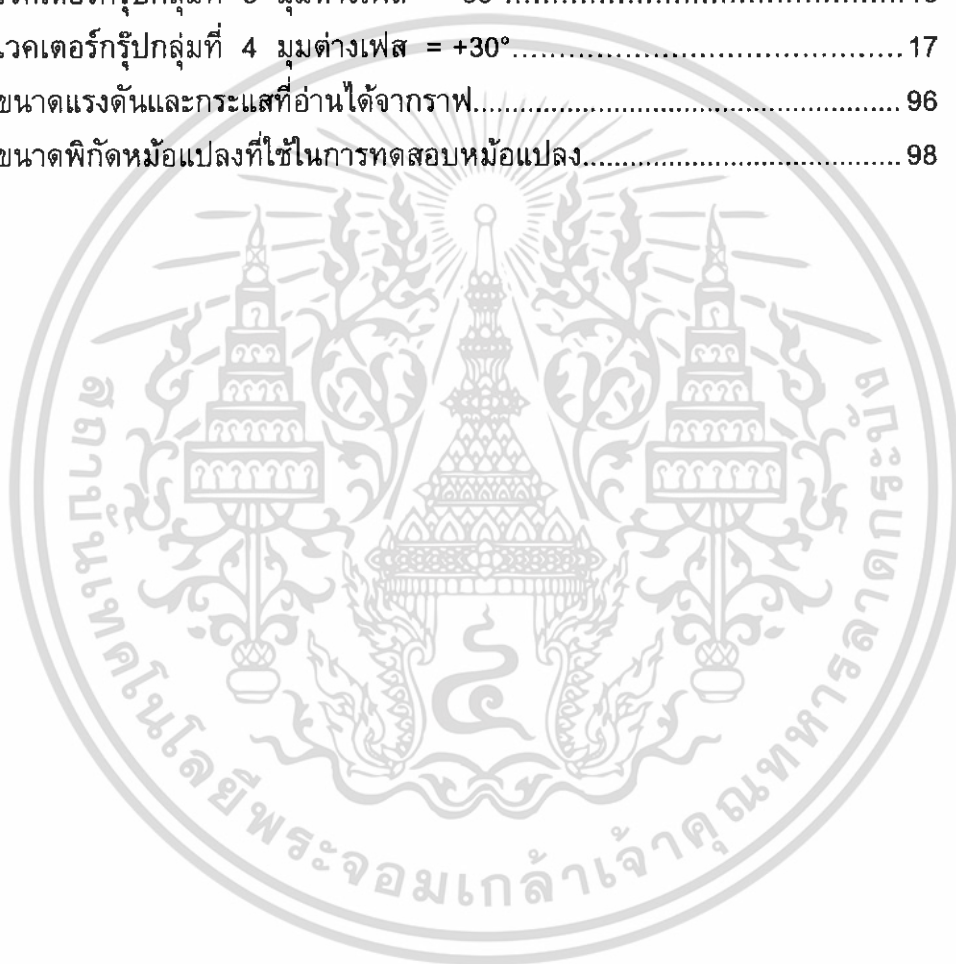
รูปที่	หน้า
4.37 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yy0 โดยใช้ MATLAB.....	79
4.38 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yy6 โดยใช้ MATLAB.....	80
4.39 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dd0 โดยใช้ MATLAB.....	81
4.40 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dd6 โดยใช้ MATLAB.....	82
4.41 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yd1 โดยใช้ MATLAB.....	83
4.42 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dy11 โดยใช้ MATLAB.....	84
4.43 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ขดลวดโดยใช้ MATLAB.....	85
4.44 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ Y-Y โดยใช้ MATLAB.....	86
4.45 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $\Delta-\Delta$ โดยใช้ MATLAB.....	87
4.46 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ Y- Δ โดยใช้ MATLAB.....	88
4.47 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $\Delta-Y$ โดยใช้ MATLAB.....	89

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.48 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yy0 โดยใช้ MATLAB.....	90
4.49 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yy6 โดยใช้ MATLAB.....	91
4.50 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dd0 โดยใช้ MATLAB.....	92
4.51 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dd6 โดยใช้ MATLAB.....	93
4.52 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yd1 โดยใช้ MATLAB.....	94
4.53 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dy11 โดยใช้ MATLAB.....	95
4.54 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันที่อ่านได้จากกราฟ.....	97
4.55 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสที่อ่านได้จากกราฟ.....	97

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 พิกัดของหม้อแปลง 3 เฟส.....	2
2.1 เวกเตอร์รูปกลุ่มที่ 1 มุมต่างเฟส = 0°	14
2.2 เวกเตอร์รูปกลุ่มที่ 2 มุมต่างเฟส = 180°	15
2.3 เวกเตอร์รูปกลุ่มที่ 3 มุมต่างเฟส = -30°	16
2.4 เวกเตอร์รูปกลุ่มที่ 4 มุมต่างเฟส = $+30^{\circ}$	17
4.1 ขนาดแรงดันและกระแสที่อ่านได้จากกราฟ.....	96
5.1 ขนาดพิกัดหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบหม้อแปลง.....	98



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา

ในระบบการส่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความสำคัญอีกประการหนึ่ง และหม้อแปลงไฟฟ้ามักจะเกิดปัญหาบ่อยครั้งในระบบการส่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง อันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆ อาทิเช่น กระแสฟอลต์ เป็นต้น ซึ่งหม้อแปลงที่ใช้ในปัจจุบันจะมีขนาดใหญ่และราคาค่อนข้างแพง ดังนั้นในการทดสอบหม้อแปลงค่อนข้างลำบากและอาจจะต้องใช้ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง

ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้โปรแกรม MATLAB ในการสร้างแบบจำลองการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า จะเป็นประโยชน์ในการช่วยค้นหาความผิดพลาดของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งบางครั้งหากเราจะทำการทดสอบจริงๆ ก็ระบบจะเป็นไม่ได้ค่อนข้างยากและอาจเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้นถ้าเราทำการทดสอบจากระบบจำลองทางคอมพิวเตอร์จะช่วยให้เราแก้ไขข้อผิดพลาดได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาแบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส ที่ได้จากหนังสือ Dynamic Simulation of Electrical Machinery^[1] ของ Chee-Mun Ong สมการที่นำมาใช้ และลักษณะการแทนค่าข้อมูลต่างๆ ในโปรแกรม MATLAB/ Simulink
2. จำลองระบบของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส ในโปรแกรม MATLAB/ Simulink ที่ได้จากหนังสือ Dynamic Simulation of Electrical Machinery^[1] ของ Chee-Mun Ong
3. สร้างแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส แบบ $Y-Y$, $\Delta-Y$, $\Delta-\Delta$ และ $\Delta-Y$ ในโปรแกรม MATLAB/ Simulink
4. ศึกษาการจำแนกแวกเตอร์กรุปจากการสร้างแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสทุกแบบ พร้อมวิเคราะห์ผล

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดในการวิจัย

1. ทำการศึกษาถึงลักษณะการต่อหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสแบบ $Y-Y$, $\Delta-\Delta$, $\Delta-Y$ และ $Y-\Delta$
2. ทำการศึกษาถึงวิธีการใช้บล็อกอุปกรณ์ไฟฟ้า วิธีการต่อวงจร การป้อนค่าข้อมูล การสั่งให้โปรแกรมทำงาน และการแสดงผลในโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อที่จะสามารถนำมาใช้ในการจำลองระบบของหม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นำระบบจำลองหม้อแปลงที่มีอยู่ในหนังสือ Dynamic Simulation of Electrical Machinery_[1] ของ Chee-Mun Ong มาใช้ประกอบในการสร้างแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส โดยหม้อแปลงมีพิกัดดังนี้

1.5 kVA, 120/240 V, 60 Hz, pole-type, Two-winding Distribution Transformer

ตารางที่ 1.1 พิกัดของหม้อแปลง 3 เฟส

Primary	Secondary
$R_1 = 0.25 \ \Omega$	$R_2 = 0.314 \ \Omega$
$X_{l1} = 0.056 \ \Omega$	$X_{l2} = 0.056 \ \Omega$
$X_m = 708.8 \ \Omega$	

4. สร้างระบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟส $Y-Y$, $\Delta-\Delta$, $\Delta-Y$ และ $Y-\Delta$ ขึ้นมาในฟังก์ชัน Simulink และป้อนค่าข้อมูลต่างๆ ให้ตรงตามพิกัดของหม้อแปลงที่ใช้ในหนังสือ Dynamic Simulation of Electrical Machinery_[1] ของ Chee-Mun Ong พร้อมทั้งจัดแบ่งเวกเตอร์กรุป

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย อาทิเช่น ลักษณะการต่อหม้อแปลงหนึ่งเฟสและสามเฟส ในโปรแกรม MATLAB ระบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าทางคอมพิวเตอร์ จากหนังสือ Dynamic Simulink of Electrical Machinery_[1] ของ Chee-Mun Ong และการจำลองระบบของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม MATLAB/ Simulink

2. จำลองระบบหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส และ 3 เฟส ในโปรแกรม MATLAB/ Simulink โดยใช้ค่าข้อมูลของระบบจำลองในหนังสือ Dynamic Simulation of Electrical Machinery_[1] ของ Chee-Mun Ong

3. ทดสอบระบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส เปรียบเทียบผลที่ได้กับผลในหนังสือ Dynamic Simulation of Electrical Machinery_[1] ของ Chee-Mun Ong

4. จากนั้นทำการศึกษาการสร้างแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าสามเฟสแบบ $Y-Y$ และ $\Delta-Y$ และเปรียบเทียบผลที่ได้กับผลในหนังสือ Dynamic Simulation of Electrical Machinery_[1] ของ Chee-Mun Ong และทำการสร้างแบบจำลองหม้อแปลงสามเฟสเพิ่มขึ้นไปอีก คือแบบ $\Delta-\Delta$ และ $\Delta-Y$ พร้อมกับจำลองระบบ ในโปรแกรม MATLAB/ Simulink

5. ทดสอบหาเวกเตอร์กรุป

6. วิเคราะห์กราฟของ V และ I ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. ได้ศึกษาทฤษฎีของหม้อแปลงที่จะนำไปสร้างเป็นโมเดล
2. ได้ทราบถึงหลักการการทำงานของหม้อแปลงในระบบการจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ในด้านต่างๆ ได้
3. ได้ทราบถึงลักษณะการต่อและผลของหม้อแปลงในเวคเตอร์กรุปต่างๆ ว่าเหมาะสมกับงานในลักษณะใดบ้าง
4. สามารถนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์หาสภาวะผิดปกติของหม้อแปลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแนะนำ

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นเครื่องจักรไฟฟ้ากระแสสลับที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงระดับศักดาไฟฟ้าจากระดับหนึ่งไปสู่ระดับหนึ่ง ซึ่งจุดประสงค์ในการเปลี่ยนแปลงระดับศักดาไฟฟ้าเนื่องมาจากถ้าต้องการส่งพลังงานไฟฟ้าในระยะไกลจำเป็นต้องยกระดับแรงดันให้สูงเพื่อการประหยัดทางด้านตัวนำ รวมไปถึงลดความสูญเสียเนื่องจากขดลวด (Copper loss, I^2R) เมื่อมาถึงจุดใช้งานจำเป็นต้องลดศักดาให้เหมาะสมกับการใช้งาน ซึ่งเรียกรวมการใช้งานแบบนี้ว่า Step-up หรือ Step-down voltage

ส่วนประกอบสำคัญของหม้อแปลงไฟฟ้าจะประกอบไปด้วยขดลวด 2 ขด หรือมากกว่าซึ่งในแต่ละขดลวดจะมีการเกี่ยวคล้องของสนามแม่เหล็กถึงกันเรียกว่า ฟลักซ์ที่เกี่ยวข้องร่วมกัน (Mutual flux, ϕ) โดยขดลวดอีกด้านหนึ่งเรียกว่า ขดลวดปฐมภูมิ (Primary Coil) ซึ่งขดลวดขดนี้จะต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับมีผลให้เกิดสนามแม่เหล็ก (ϕ) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับศักดาไฟฟ้าที่ป้อนเข้าทางขดลวดด้านปฐมภูมิและจำนวนรอบของขดลวดด้านปฐมภูมิ ส่วนเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในแกนแม่เหล็กที่ไปคล้องขดลวดอื่นที่พันร่วมแกนกัน เราเรียกว่า ฟลักซ์ที่เกี่ยวข้องร่วมกัน โดยขดลวดที่ถูกฟลักซ์ที่เกี่ยวข้องร่วมกันไปคล้อง จะเรียกว่าขดลวดทุติยภูมิ (Second Coil) ซึ่งขดลวดนี้จะเหนี่ยวนำศักดาไฟฟ้า (Induced Voltage) และค่าศักดาไฟฟ้าที่ได้จากการเหนี่ยวนำโดยฟลักซ์ที่เกี่ยวข้องร่วมกันจะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดทุติยภูมิโดยคุณสมบัติของอัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิต่อขดลวดทุติยภูมิจะเรียกว่า Voltage Turn Ratio หรือ Transformer Ratio (a)

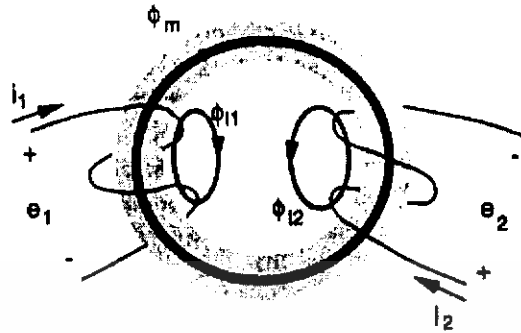
หม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำงานที่ความถี่ต่ำๆ ระหว่าง 20 ถึง 400 Hz มักจะมีแกนเหล็กเพื่อเป็นทางผ่านให้กับฟลักซ์ ที่เชื่อมต่อระหว่างขดลวด 2 ขด สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ทำงานที่ความถี่สูงๆ มักจะใช้แกนเฟอร์ไรต์ หรือ แกนอากาศ เพื่อลดการสูญเสียที่เกิดจากแกนเหล็ก โดยที่การสูญเสียในแกนเหล็ก (Eddy Current losses) สามารถลดได้โดยการใช้แผ่นเหล็ก (Lamination) บางๆ มาเรียงซ้อนกันเพื่อทำเป็นแกนเหล็ก สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้ทำงานที่ความถี่ 60 Hz จะใช้แผ่นเหล็กหนาประมาณ 0.014 นิ้ว (0.35 mm) จึงจะได้ผลดี

2.2 รูปแบบหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 1 เฟส 2 ขดลวด

ในหัวข้อนี้เราจะเริ่มโดยการนำสมการของฟลักซ์เกี่ยวข้องในหม้อแปลง และสมการอื่นๆ มาคำนวณร่วมกับความต้านทานและฟลักซ์รั่วไหลในขดลวด และความเหนี่ยวนำของแกนเหล็ก จนถึงท้ายหัวข้อ เราจะใช้สมการที่ได้ทั้งหมดมาประยุกต์ให้เป็นวงจรเพื่อใช้แทนหม้อแปลงตัวหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1) สมการฟลักซ์เกี่ยวค้อง



รูปที่ 2.1 เส้นแรงแม่เหล็กที่เกี่ยวข้องในหม้อแปลงแบบ 2 ขดลวด

เมื่อมีฟลักซ์เกิดขึ้นดังรูปที่ 2.1 ฟลักซ์ทั้งหมดที่เชื่อมถึงกันในแต่ละขดลวดอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ฟลักซ์ที่ใช้ร่วมกัน (ϕ_m) ซึ่งเชื่อมระหว่าง 2 ขดลวด และฟลักซ์รั่วไหล ซึ่งเกี่ยวเฉพาะตัวมันเอง ดังนั้นฟลักซ์รวมที่แต่ละขดลวดจะเขียนได้ดังนี้

$$\phi_1 = \phi_{l1} + \phi_m \quad (1)$$

$$\phi_2 = \phi_{l2} + \phi_m \quad (2)$$

เมื่อ ϕ_1 และ ϕ_2 คือส่วนของฟลักซ์ที่ไหลในขดลวด 1 และ 2 ตามลำดับในหม้อแปลง ในอุดมคติ ฟลักซ์ที่ใช้ร่วมกัน (ϕ_m) ได้ถูกสร้างโดยผลรวมของแรงเคลื่อนแม่เหล็กของขดลวด 2 ขดที่เคลื่อนที่รอบๆ แกนเหล็ก

เมื่อจำนวนรอบที่ขดลวด 1 (N_1) มีผลกับฟลักซ์ที่เกี่ยวข้องร่วมกัน และฟลักซ์ที่รั่วไหล (Leakage flux) ดังนั้นฟลักซ์ที่รั่วไหลในขดลวด 1 อาจนิยามในรูปของจำนวนรอบได้ดังนี้

$$\lambda_1 = N_1 \phi_1 = N_1 (\phi_{l1} + \phi_m) \quad (3)$$

ซึ่งเราสามารถแปลงเทอมทางขวามือให้อยู่ในเทอมของกระแสได้โดยที่ ϕ_{l1} ถูกสร้างจาก $N_1 i_1$ เคลื่อนผ่านความซึมซาบของแกนเหล็ก P_{l1} และ ϕ_m ถูกสร้างโดยแรงเคลื่อน $N_1 i_1 + N_2 i_2$ ผ่านความซึมซาบ ซึ่งนำมาเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\lambda_1 = N_1 (N_1 i_1 P_{l1} + (N_1 i_1 + N_2 i_2) P_m) = (N_1^2 P_{l1} + N_1^2 P_m) i_1 + N_1 N_2 P_m i_2 \quad (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นสมการของขดลวด 2 จะเป็นดังนี้

$$\begin{aligned}\lambda_2 &= N_2(\phi_{l_2} + \phi_m) = N_2(N_2 i_2 P_{l_2} + (N_1 i_1 + N_2 i_2) P_m) \\ &= (N_2^2 P_{l_2} + N_2^2 P_m) + N_1 N_2 P_m i_1\end{aligned}\quad (5)$$

โดยเราสามารถนำทั้ง 2 สมการที่ได้มาเขียนในรูปของความเหนี่ยวนำได้ดังนี้

$$\lambda_1 = L_{11} i_1 + L_{12} i_2 \quad (6)$$

$$\lambda_2 = L_{21} i_1 + L_{22} i_2 \quad (7)$$

โดยที่ L_{11} และ L_{22} คือตัวเหนี่ยวนำในตัวเองขดลวด 1 และ 2 และ L_{12} กับ L_{21} คือค่าความเหนี่ยวนำร่วมกันของทั้งสองขดลวด

ตัวเหนี่ยวนำของขดลวด 1 อาจรวมได้เป็น 2 องค์ประกอบ คือ L_{l_1} และ L_{m1} ดังนี้

$$L_{11} = \frac{\lambda_1 i_2=0}{i_1} = \frac{N_1(\phi_{l_1} + \phi_{m1})}{i_1} = N_1^2 P_{l_1} + N_1^2 P_m = L_{l_1} + L_{m1} \quad (8)$$

โดยที่ $\phi_{m1} = N_1 i_1 P_m$ และจะได้ขดลวด 2 ดังนี้

$$L_{22} = \frac{\lambda_2 i_1=0}{i_2} = \frac{N_2(\phi_{l_2} + \phi_{m2})}{i_2} = N_2^2 P_{l_2} + N_2^2 P_m = L_{l_2} + L_{m2} \quad (9)$$

โดยที่ $\phi_{m2} = N_2 i_2 P_m$ คือส่วนของฟลักซ์เกี่ยวคล้องที่ถูกสร้างโดย i_2 โดยทั่วไปแล้วค่าความอิมิตัวของแกนเหล็กจะมีผลกระทบต่อความเหนี่ยวนำของขดลวดด้วย

เมื่อเทียบอัตราส่วน L_{m1} กับ L_{m2} เราจะได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเหนี่ยวนำแม่เหล็กของ 2 ขดลวดดังนี้

$$L_{m2} = \frac{N_2 \phi_{m2}}{i_2} = \frac{N_2 L_{12}}{N_1} = N_2^2 P_m = \left(\frac{N_2}{N_1} \right) L_{m1} \quad (10)$$

ฟลักซ์เกี่ยวคล้องรวมทั้งหมดที่เชื่อมระหว่าง 2 ขดลวด สามารถเขียนในเทอมของค่าความเหนี่ยวนำแม่เหล็กของขดลวด คู่กับผลจากกระแสแม่เหล็กที่เกิดขึ้น เช่น ผลรวมของฟลักซ์ขดลวดที่ 1 สามารถเขียนในเทอมของตัวเหนี่ยวนำแม่เหล็กของมันเอง ดังนี้

$$N_1\phi_m = N_1(\phi_{m1} + \phi_{m2}) = \frac{L_{m1}(i_1 + N_2i_2)}{N_1} \quad (11)$$

ซึ่งจากสมการข้างบนจะเห็นได้ชัดว่า กระแสสร้างแม่เหล็กที่ขดลวด 1 คือผลรวมของ กระแสที่ขดลวด 1 กับกระแสของขดลวด 2 ที่ถูกทรานสเฟอร์มายังด้าน 1

2.2.2) สมการของแรงดัน

ค่าของแรงดันที่เหนี่ยวนำในขดลวดแต่ละด้านจะเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์ ตกค้างของขดลวด จากสมการที่ 6 เราจะได้สมการของแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวด 1 ดังนี้

$$e_1 = \frac{d\lambda_1}{dt} = L_{11} \frac{di_1}{dt} + L_{12} \frac{di_2}{dt} \quad (12)$$

แทนที่ค่า L_{11} ด้วย $Ll_1 + L_{m1}$ และค่า $L_{12}i_2$ ด้วย $\frac{N_2L_{m1}i_2}{N_1}$ ค่าแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวด 1 จะเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$e_1 = Ll_1 \frac{di_1}{dt} + L_{m1} \frac{d}{dt} \left(i_1 + \left(\frac{N_2}{N_1} \right) i_2 \right) \quad (13)$$

เพื่อความสะดวกในการคำนวณ เราจึงจะทำการแปลงค่าของพารามิเตอร์ค่าต่างๆ มาไว้ยัง ด้าน 1 โดยเทียบกับอัตราส่วนจำนวนรอบของขดลวด และจะแทนค่าของ i_2 ที่ทรานสเฟอร์ มาด้าน 1 ด้วย i_2' ซึ่งจะเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

$$e_1 = Ll_1 \frac{di_1}{dt} + L_{m1} \frac{d}{dt} (i_1 + i_2') \quad (14)$$

เพราะฉะนั้นทางด้าน 2 จะได้ดังนี้

$$e_2 = Ll_2 \frac{di_2}{dt} + L_{m1} \frac{d}{dt} \left[\left(\frac{N_1}{N_2} \right) i_1 + i_2 \right] \quad (15)$$

แรงดันทางด้าน 2 (e_2) สามารถย้ายมาทางด้านขดลวด 1 ได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของ ขดลวด N_1 กับ N_2 โดยคูณ $\frac{N_1}{N_2}$ กับสมการของ e_2 ข้างต้น และเขียนแทน $\frac{N_1e_2}{N_2}$ ด้วย e_2' และแทนค่าของ $\frac{N_1^2L_{m2}}{N_2^2}$ ด้วย L_{m1} ดังนั้นจะเขียนสมการ e_2' ใหม่ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$e_2' = Ll_2 \frac{di_1}{dt} + L_{m1} \frac{d}{dt}(i_1 + i_2) \quad (16)$$

แรงดันที่ด้านปลายของขดลวด คือ ผลรวมของแรงดันที่เหนี่ยวนำและความต้านทานที่ตกคร่อมขดลวด ซึ่งจะแสดงแรงดันที่ขดลวด 1 ได้ดังนี้

$$v_1 = i_1 r_1 + e_1 = i_1 r_1 + Ll_1 \frac{di_1}{dt} + L_{m1} \frac{d}{dt}(i_1 + i_2) \quad (17)$$

เขียนค่าของแรงดันขดลวด 2 ใหม่โดยทรานสเฟอ์มาด้าน 1 เหมือนข้างต้น ซึ่งจะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} v_2' &= \frac{N_1}{N_2} V_2 = \left(\frac{N_2}{N_1} i_2\right) \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2 r_2 + e_2' \\ &= i_2 r_2 + Ll_2 \frac{di_2}{dt} + L_{m1} \frac{d}{dt}(i_1 + i_2) \end{aligned} \quad (18)$$

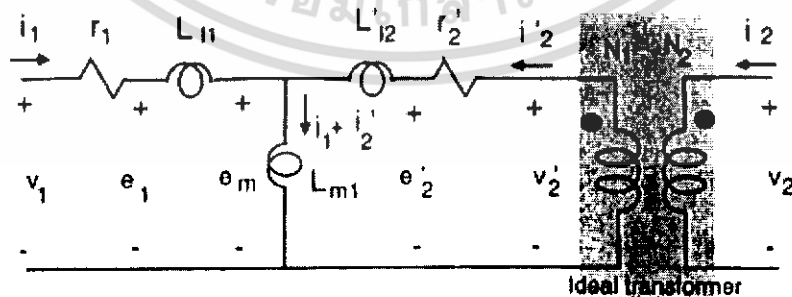
สมการข้างต้นคือการย้ายค่าตัวแปรทั้งหมดทางด้าน 1 ถ้าเราต้องการย้ายไปทางด้าน 2 ก็สามารทำได้โดยวิธีเดียวกันนี้

2.2.3) การแทนค่าในวงจรสมมูลย์

นำค่าสมการที่ได้ทั้งหมดมาสร้างเป็นวงจรของหม้อแปลงได้ดังรูปที่ 2.2 โดยที่ค่าทั้งหมดที่ด้าน 2 ได้ถูกทรานสเฟอ์มาทางด้าน 1 หมดแล้วโดยใช้ความสัมพันธ์ ดังนี้

$$N_1 i_2' = N_2 i_2 \quad (19)$$

$$\frac{V_2'}{V_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (20)$$



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงแบบ 2 ขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และที่หม้อแปลงไฟฟ้า จะมีค่าของความเหนี่ยวนำของแกนเหล็กด้วย ดังนั้นเราจึงจะแทนค่าของความเหนี่ยวนำรวมที่ขดลวด 1 คือ L_{m1} และค่าพารามิเตอร์อื่นๆ จะหาได้จากความสัมพันธ์ดังนี้

$$r_2 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right)^2 r_1 \quad (21)$$

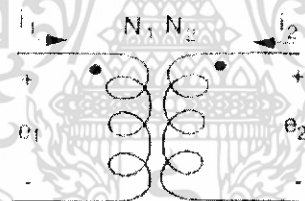
$$L_2 = \left(\frac{N_1}{N_2} \right) L_1 \quad (22)$$

ถ้าเราต้องการรวมค่าความสูญเสียในแกนเหล็กเข้าไปด้วย เราสามารถใส่ค่าความต้านทานต่อขานกับค่า L_{m1} ที่มีอยู่ในรูปได้ เพื่อแสดงถึงการมีค่าความสูญเสียในแกนเหล็ก

2.3 การต่อหม้อแปลง

2.3.1) หม้อแปลง 1 เฟส

หม้อแปลงแบบ 1 เฟส ดังแสดงในรูปที่ 2.3 มีขดจ่ายไฟอยู่ 2 ขด ดังนั้นจึงทำให้จ่ายค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าได้หลายค่า โดยการสับเปลี่ยนการต่อทางขดการจ่ายไฟไปมา การต่อนี้จำเป็นที่จะต้องทราบว่าจะขั้วไหนของปลายไหนเป็น + หรือ - (เป็นต้นขั้วหรือปลายขั้ว) ถ้าไม่ทราบอาจทำให้เกิดการลัดวงจรได้

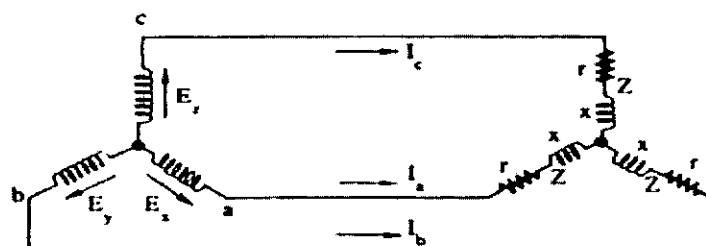


รูป 2.3 การต่อหม้อแปลงแบบ 1 เฟส 2 ขดลวด

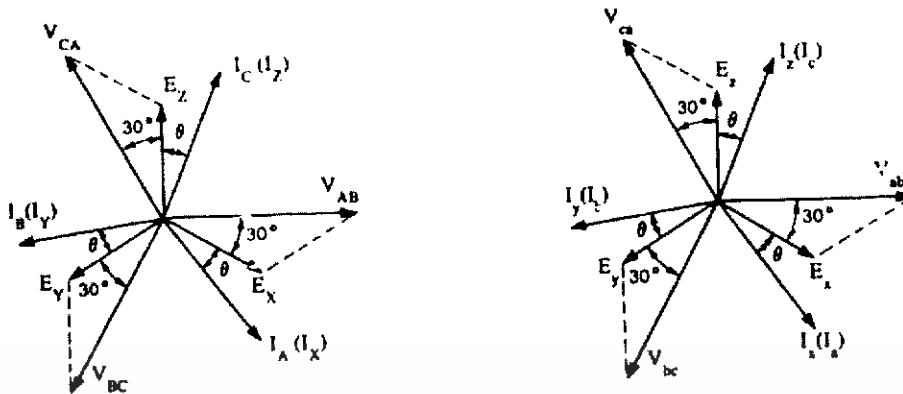
2.3.2) หม้อแปลง 3 เฟส สามารถต่อได้ 4 แบบ คือ

2.3.2.1.) แบบวาย-วายหรือ สตาร์-สตาร์ (Y-Y connection)

การต่อหม้อแปลงแบบวาย-วาย แสดงไว้ดังรูปที่ 2.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) เฟสเซอร์ไดอะแกรม

รูปที่ 2.4 การต่อหม้อแปลง 3 เฟส และเฟสเซอร์ไดอะแกรมแบบวาย-วาย

ข้อดี ของการต่อแบบวาย-วาย คือ แรงดันไฟฟ้าระหว่างเฟสจะมีค่าเพียง 57.7% ของแรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย จึงทำให้ลดค่าใช้จ่ายด้านฉนวนของขดลวดลงได้และจำนวนรอบต่อเฟสของขดลวดที่ใช้พื้นที่ลดลงด้วย

ข้อเสีย การต่อแบบวาย-วาย คือ ความไม่เสถียรของจุดนิวตรอน ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อหม้อแปลงและระบบที่ต่ออยู่ ลักษณะเช่นนี้เกิดจากกระแสในแต่ละเฟส มีความสัมพันธ์กันตามกฎเคอร์ซอพฟ์ กล่าวว่าการสั่นที่ไหลเข้าจุดนิวตรอนจากเฟสใดเฟสหนึ่ง จะไหลออกผ่านทางอีกสองเฟส การที่ค่าของกระแสผิดปกติ เช่นนี้เกิดจากโหลดไม่สมดุลและเกิดจากกระแสคลื่นรบกวนที่สาม (third harmonic current)

ในการต่อหม้อแปลงแบบวาย-วายนี้ จะทำให้ได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าดังนี้

ทางด้านปฐมภูมิ

$$V_L = \sqrt{3}V_P$$

$$I_L = I_P$$

ทางด้านทุติยภูมิ

$$V_L = \sqrt{3}V_P$$

$$I_L = I_P$$

(23)

(24)

2.3.2.2) แบบเดลต้า-เดลต้า ($\Delta-\Delta$ connection)

การต่อหม้อแปลงแบบเดลต้า-เดลต้า แสดงไว้ดังรูปที่ 2.5 ถ้าต่อแบบไม่มีสายนิวตรอน (neutral) จะไม่มี harmonic ที่ 3 ใน line ฉะนั้นการต่อแบบนี้จึงไม่มีกระแส harmonic ที่ 3 ไหล นอกเสียจากว่าจะต่อแบบ 4 เส้น ถ้าหม้อแปลงทำงานที่มีความหนาแน่นของเส้นแรงตามปกติก็จะทำให้ศักดาที่จุดนิวตรอน (neutral potential) เกิดการสั่น (oscillate) และมี Phase Voltage ที่เป็น harmonic ที่ 3 มีค่าสูง

ข้อดี ของการต่อหม้อแปลงแบบเดลต้า-เดลต้า คือ หากเฟสใดเฟสหนึ่งของหม้อแปลงขัดข้องไม่สามารถใช้งานได้ หม้อแปลงที่เหลืออีกสองเฟสก็ยังสามารถจ่ายโหลดได้ต่อไป แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่าจะในรูปแบบใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังเอาต์พุตจะลดลงเหลือแค่ 86.7 % ของพิกัดกำลังของหม้อแปลงทั้งสองเฟสที่เหลือหรือ 57.5% ของพิกัดกำลังของทั้งสามตัว และอีกประการหนึ่งคือ เนื่องจากขดลวดทั้งสามเฟส (ของทั้งสองด้าน) ต่อในลักษณะวงจรปิด จึงทำให้คลื่นฮาร์โมนิกส์ที่ 3 หมุนวนอยู่ในวงจรปิดนั้น จึงมีฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้นในสาย

ข้อเสีย ของการต่อแบบเดลต้า-เดลต้า คือ ถ้าอัตราส่วนจำนวนรอบของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละเฟสต่างกัน จะมีกระแสไหลวนอยู่ในขดลวดทั้งสองด้าน ทำให้ขดลวดแต่ละเฟสรับโหลดได้ไม่เท่ากัน

ในการต่อหม้อแปลงแบบเดลต้า-เดลต้า นี้ จะทำให้ได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าดังนี้

ทางด้านปฐมภูมิ

$$V_L = V_P$$

$$I_L = \sqrt{3}I_P$$

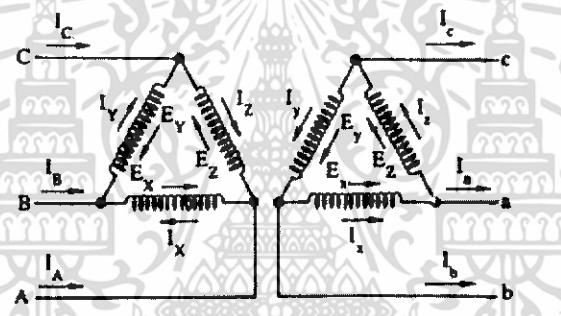
ทางด้านทุติยภูมิ

$$V_L = V_P$$

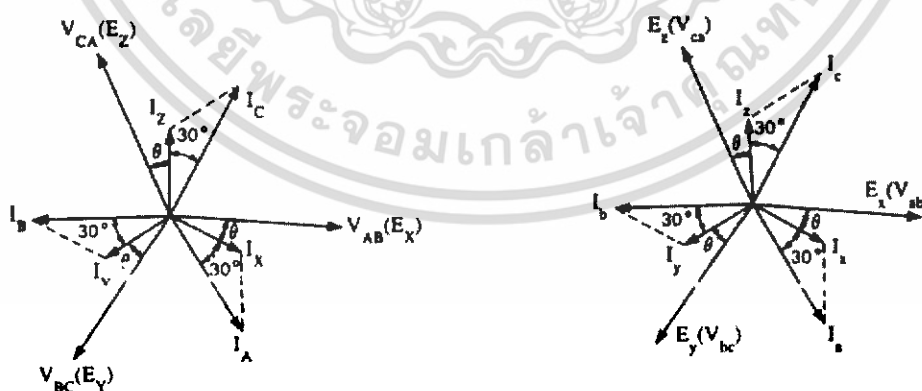
$$I_L = \sqrt{3}I_P$$

(25)

(26)



(a) การต่อหม้อแปลง 3 เฟส แบบเดลต้า-เดลต้า



(b) เฟสเซอร์ไดอะแกรม

รูปที่ 2.5 การต่อหม้อแปลง 3 เฟส และเฟสเซอร์ไดอะแกรมแบบเดลต้า-เดลต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.3) แบบวาย-เดลต้า หรือ สตาร์-เดลต้า ($Y-\Delta$ connection)

การต่อหม้อแปลงแบบวาย-เดลต้า แสดงไว้ดังรูปที่ 2.6 คือ นำขดลวดด้านปฐมภูมิต่อแบบวาย ส่วนขดลวดทุติยภูมิต่อแบบเดลต้า

การต่อหม้อแปลงที่นิยมใช้หม้อแปลงเป็นตัวจ่ายไฟฟ้า (power supply transformer) ส่วนมากใช้กับการลดแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันสูงเป็นแรงดันขนาดปานกลางหรือแรงดันต่ำ เนื่องจากการต่อแบบวายทางด้านแรงสูง ช่วยให้จุดนิวตรอนลงดินได้ ทั้งยังสามารถต่อโหลดได้ทั้งสามเฟสและเฟสเดียว ส่วนทางด้านแรงดันต่ำหรือด้านทุติยภูมิต่อแบบเดลต้าทำให้ลดกระแสฮาร์มอนิกส์ที่ 3 ซึ่งเกิดขึ้นที่จุดนิวตรอนลงดินได้ ทำให้จุดนิวตรอนมีเสถียรภาพดีขึ้น นอกจากนี้การที่ด้านแรงสูงต่อแบบวายยังช่วยประหยัดฉนวนลงได้

ในการต่อหม้อแปลงแบบวาย-เดลต้า นี้ จะทำให้ได้แรงดันและกระแสไฟฟ้าดังนี้

ทางด้านปฐมภูมิ

$$V_L = \sqrt{3}V_P$$

$$I_L = I_P$$

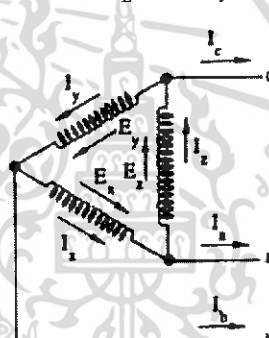
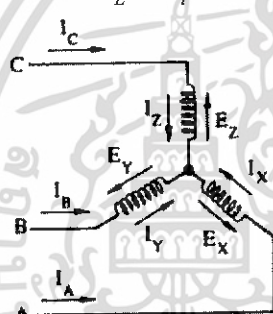
ทางด้านทุติยภูมิ

$$V_L = V_P$$

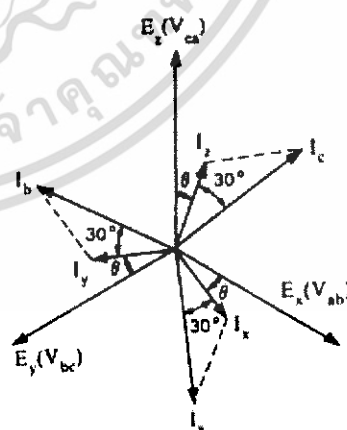
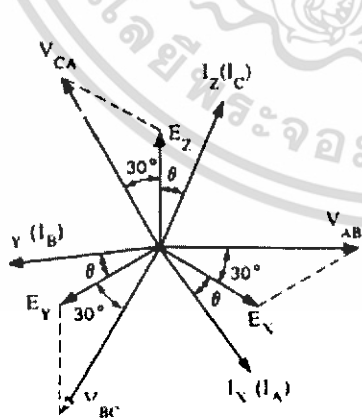
$$I_L = \sqrt{3}I_P$$

(27)

(28)



(a) การต่อหม้อแปลง 3 เฟส แบบวาย-เดลต้า



(b) เฟสเซอร์ไดอะแกรม

รูปที่ 2.6 การต่อหม้อแปลง 3 เฟส และเฟสเซอร์ไดอะแกรมแบบวาย-เดลต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.4) แบบเดลต้า-วาย หรือ เดลต้า-สตาร์ (Δ-Y connection)

การต่อหม้อแปลงแบบเดลต้า-วาย แสดงไว้ดังรูปที่ 2.7 คือ นำขดลวดปฐมภูมิ ต่อแบบเดลต้า ส่วนขดลวดทุติยภูมิต่อแบบวาย

การต่อแบบนี้เหมาะสำหรับการแปลงแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงได้รับจะถูกแปลงให้สูงขึ้นโดยอัตราส่วนของหม้อแปลง และจะทำให้มีค่าสูง แรงดันสูงที่จ่ายออกจากหม้อแปลงจะถูกต่อเข้ากับสายส่งกำลังไฟฟ้าสามเฟส เพื่อส่งกำลังไปยังโรงงานอุตสาหกรรม อีกประการก็คือสามารถลดขนาดที่ใช้ในขดลวดทุติยภูมิลงได้

ในการต่อหม้อแปลงแบบเดลต้า-วาย นี้ จะทำให้ได้แรงดันและกระแสไฟฟ้างดังนี้

ทางด้านปฐมภูมิ

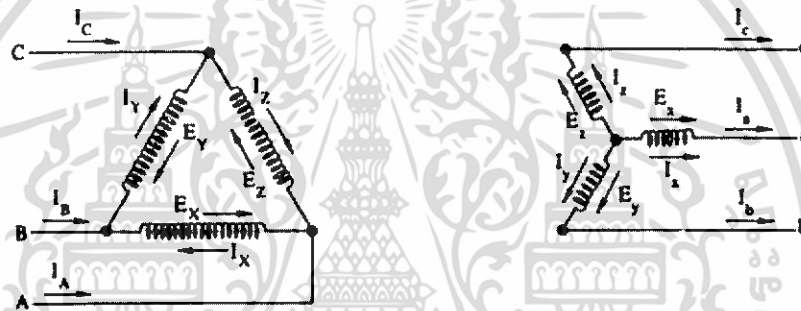
$$V_L = V_p$$

$$I_L = \sqrt{3}I_p$$

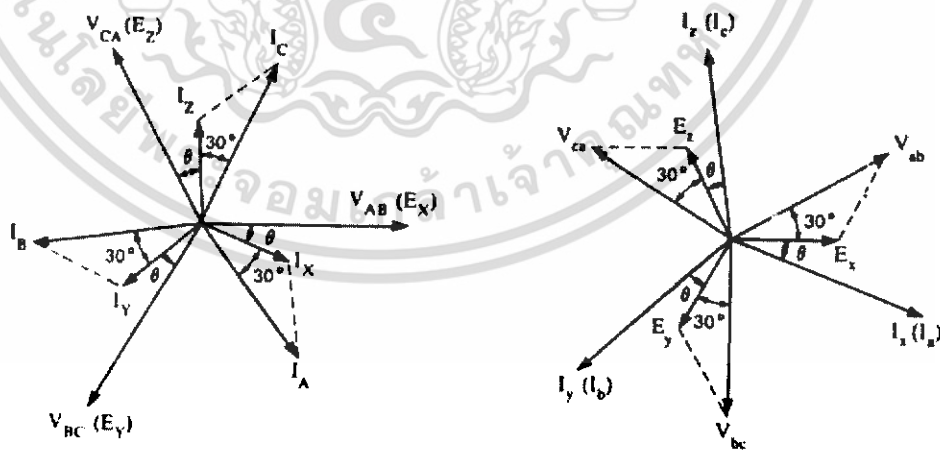
ทางด้านทุติยภูมิ

$$V_L = \sqrt{3}V_p \tag{29}$$

$$I_L = I_p \tag{30}$$



(a) การต่อหม้อแปลง 3 เฟส แบบเดลต้า-วาย



(b) เฟสเซอร์ไดอะแกรม

รูปที่ 2.7 การต่อหม้อแปลง 3 เฟส และเฟสเซอร์ไดอะแกรมแบบเดลต้า-วาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เวกเตอร์กรุป (Vector Group)

2.4.1) การตรวจสอบเวกเตอร์กรุปของหม้อแปลงไฟฟ้า

กลุ่มเวกเตอร์กรุปของหม้อแปลงไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับลักษณะการต่อขดลวดหม้อแปลง การเรียกลักษณะการต่อขดลวดนั้นอาศัยการนับตัวเลขบนหน้าปัดนาฬิกาเป็นตัวเปรียบเทียบ และอ้างอิง การเปรียบเทียบนี้ใช้ด้านแรงดันสูงเป็นหลัก โดยกำหนดให้เวกเตอร์ของเฟส A (H.V.) ซี่อยู่ที่เลข 12 บนหน้าปัดนาฬิกาเสมอ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ เวกเตอร์ของเฟส A เป็นศูนย์ ซึ่งใช้เป็นหลักอ้างอิงเพื่อเปรียบเทียบกับเวกเตอร์ของเฟส a(L.V.) ทางด้านแรงดันต่ำ

2.4.2) การแบ่งกลุ่มการต่อหม้อแปลง โดยทั่วไปแบ่งออกได้ 4 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 มุมต่างเฟสของแรงดันทางด้าน H.V. และ L.V. เป็นศูนย์องศา (Angular displacement = 0°) การต่อขดลวดหม้อแปลงกลุ่มนี้ได้แก่ Dd0, Yy0 ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เวกเตอร์กรุปกลุ่มที่ 1 มุมต่างเฟส = 0°

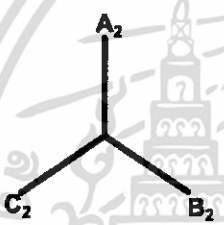
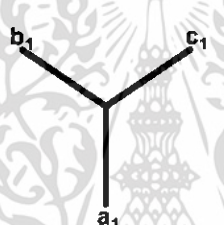
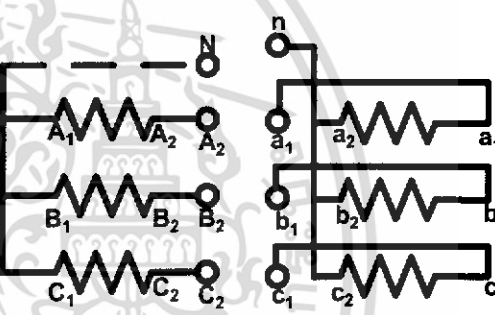
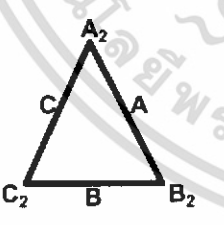
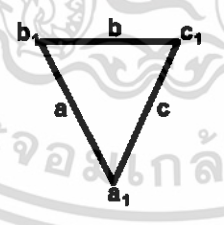
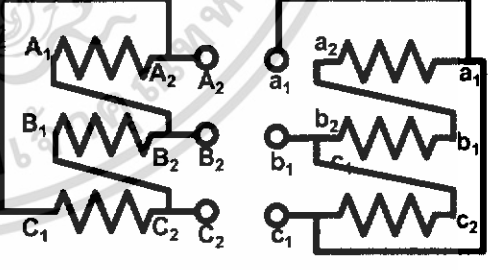
Group NO.1 Phase Displacement = 0°			
Vector Symbols	Line Terminal Markings and Vector Diagram of Induced Voltage		Winding Connection
	H.V. Winding	L.V. Winding	
Yy0			
Dd0			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 2 มุมต่างเฟสของแรงดันทางด้าน H.V. และ L.V. เป็น 180° องศา (angular displacement = 180°) การต่อขดลวดหม้อแปลงกลุ่มนี้ได้แก่ Dd6 , Yy6 ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เวกเตอร์กรุปกลุ่มที่ 2 มุมต่างเฟส = 180°

Group NO.2 Phase Displacement = 180°			
Vector Symbols	Line Terminal Markings and Vector Diagram of Induced Voltage		Winding Connection
	H.V. Winding	L.V. Winding	
Yy6			
Dd6			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 3 มุมต่างเฟสของแรงดันทางด้าน H.V. ตามหลัง L.V. เป็น 30 องศา (angular displacement = -30 °) การต่อขดลวดหม้อแปลงกลุ่มนี้ได้แก่ Dy1 , Yd1 ดังตารางที่ 2.3

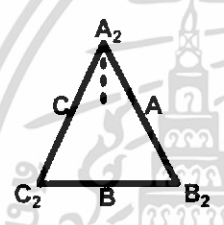
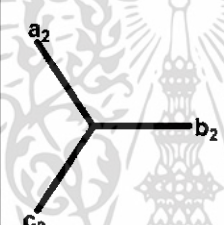
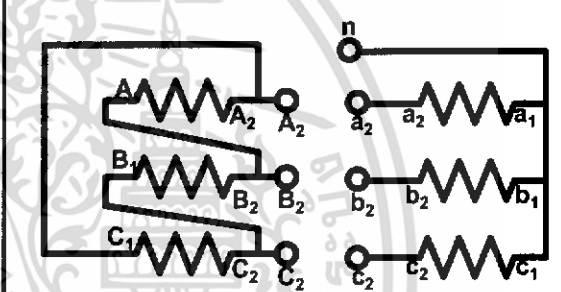
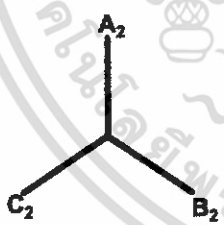
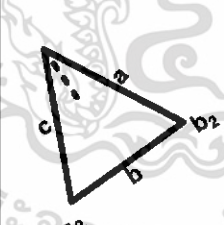
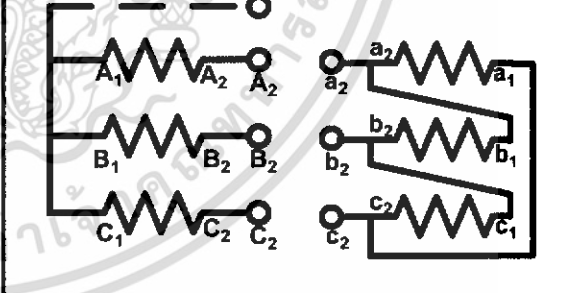
ตารางที่ 2.3 เวกเตอร์กรุปกลุ่มที่ 3 มุมต่างเฟส = -30 °

Group NO.3 Phase Displacement = Minus(- 30)			
Vector Symbols	Line Terminal Markings and Vector Diagram of Induced Voltage		Winding Connection
	H.V. Winding	L.V. Winding	
Dy1			
Yd1			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 4 มุมต่างเฟสของแรงดันทางด้าน H.V. นำหน้าด้าน L.V. เป็น 30 องศา (angular displacement = +30°) การต่อขดลวดหม้อแปลงกลุ่มนี้ได้แก่ Dy11, Yd11 ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 เวกเตอร์กรุปกลุ่มที่ 3 มุมต่างเฟส = + 30°

Group NO.4 Phase Displacement = Plus(+ 30)			
Vector Symbols	Line Terminal Markings and Vector Diagram of Induced Voltage		Winding Connection
	H.V. Winding	L.V. Winding	
Dy11			
Yd11			

บทที่ 3

การพัฒนาแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า

3.1 การจำลองการทำงานของหม้อแปลงแบบ 1 เฟส 2 ขดลวด

ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงวิธีการนำเอาสมการของแรงดันและฟลักซ์เกี่ยวค้ำของหม้อแปลงขดลวดมาจำลองการทำงานโดยคอมพิวเตอร์ ซึ่งจริงๆ แล้วมีวิธีการจำลอง การทำงานของหม้อแปลงได้หลายวิธีด้วยกัน แต่ในกรณีนี้จะนำค่าของฟลักซ์เกี่ยวค้ำของขดลวดทั้ง 2 มาทำแบบ State variable ซึ่งจะสามารถเขียนสมการของแรงดันใหม่ ดังนี้

$$V_1 = i_1 r_1 + \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \psi_1 \quad (31)$$

$$V_2 = i_2 r_2 + \frac{1}{\omega_b} \frac{d}{dt} \psi_2 \quad (32)$$

โดยที่ $\psi_1 = \omega_b \lambda_1, \psi_2 = \omega_b \lambda_2$ โดยที่ ω_b คือความถี่พื้นฐานที่ใช้งาน
ค่าของฟลักซ์เกี่ยวค้ำต่อวินาทีของขดลวดสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\psi_1 = \omega_b \lambda_1 = X l_1 i_1 + \psi_m \quad (33)$$

$$\psi_2 = \omega_b \lambda_2 = X l_2 i_2 + \psi_m \quad (34)$$

และ
$$\psi_m = \omega_b L_{m1} (i_1 + i_2) + X_{m1} (i_1 + i_2) \quad (35)$$

โดยที่ค่าของ ψ_m ได้ถูกทรานสเฟอร์มาทางด้าน 1 พร้อมกับ L_{m1}

ค่าของกระแส i_1 สามารถเขียนใหม่ในรูปของ ψ_1 กับ ψ_m และ i_2 ก็สามารถเขียนในรูปของ ψ_2 และ ψ_m โดยใช้ความสัมพันธ์จากสมการ 33 และ 35 ข้างต้น

$$i_1 = \frac{(\psi_1 - \psi_m)}{X l_1} \quad (36)$$

$$i_2 = \frac{(\psi_2 - \psi_m)}{X l_2} \quad (37)$$

นำค่าของ i_1 และ i_2 ไปแทนในสมการของ ψ_m ได้

$$\frac{\psi_m}{X_{m1}} = \frac{(\psi_1 - \psi_m)}{X l_1} + \frac{(\psi_2 - \psi_m)}{X l_2} \quad (38)$$

รวม ψ_m ไว้ในเทอมเดียวเราจะได้สมการของ ψ_m ในเทอมของสองสถานะ พิจารณาดังนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในงานวิจัยเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\psi_m \left(\frac{1}{X_{m1}} + \frac{1}{X'_{l1}} + \frac{1}{X'_{l2}} \right) = \frac{\psi_1}{X'_{l1}} + \frac{\psi_2}{X'_{l2}} \quad (39)$$

$$\text{ให้} \quad \frac{1}{X_{M1}} = \frac{1}{X_{m1}} + \frac{1}{X'_{l1}} + \frac{1}{X'_{l2}} \quad (40)$$

เราจะเขียนสมการใหม่ได้ดังนี้

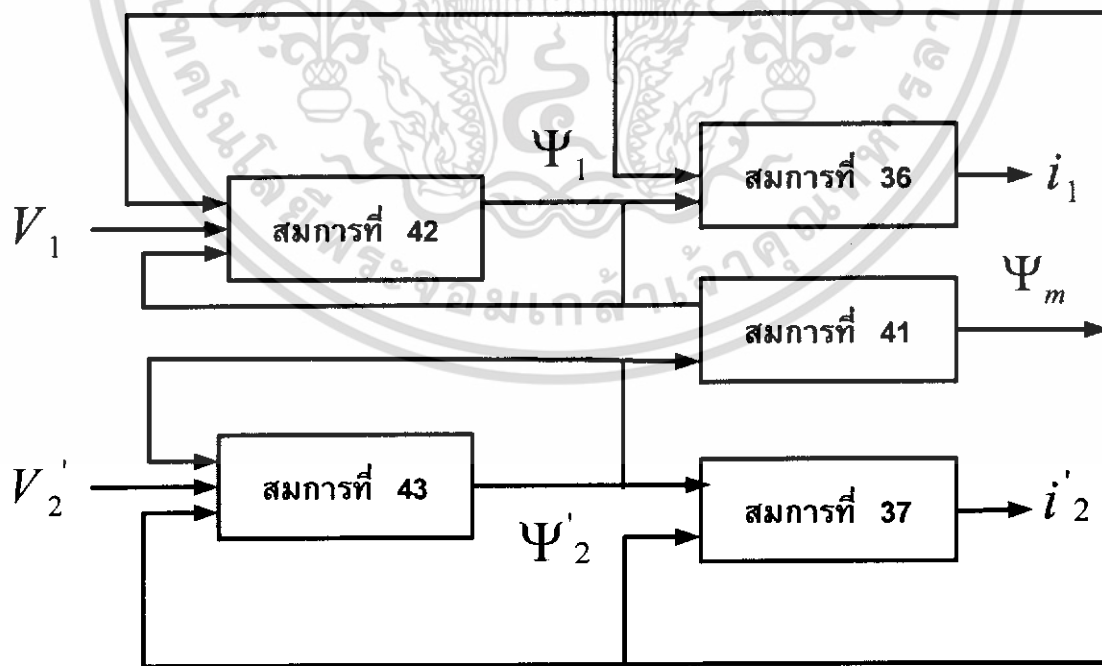
$$\psi_m = X_M \left(\frac{\psi_1}{X'_{l1}} + \frac{\psi_2}{X'_{l2}} \right) \quad (41)$$

เมื่อรวมทั้งหมัดเข้าด้วยกัน เราจะได้สมการของฟลักซ์เกี่ยวค้ำของแต่ละขดลวด ในรูปของการอินทิเกรต ดังนี้

$$\psi_1 = \int \{ \omega_b v_1 - \omega_b r_1 \left(\frac{\psi_1 - \psi_m}{X'_{l1}} \right) \} dt \quad (42)$$

$$\psi_2 = \int \{ \omega_b v_2 - \omega_b r_2 \left(\frac{\psi_2 - \psi_m}{X'_{l2}} \right) \} dt \quad (43)$$

ตามระบบจำลองที่ได้ ค่าของฟลักซ์เกี่ยวค้ำตัวแปรภายใน ค่าของแรงดันขาออกเป็นค่าของอินพุทและกระแสในขดลวดเป็นค่าเอาต์พุท ดังรูป 3.1 แสดงถึงการทำงานของตัวแปรในการจำลองการทำงานของหม้อแปลง 2 ขดลวด (กรณีเป็นเชิงเส้น) ที่ต้องการค่าของแรงดันขาออกขณะนั้นของทั้ง 2 ขดลวดเป็นค่าเริ่มต้นของการจำลองระบบ รูป 3.2 แสดงวงจรที่ใช้งานโดยโปรแกรม MATLAB ที่ประยุกต์มาจากการทำงานของตัวแปรในรูป 3.1 ซึ่งมันจะบอกค่าของตัวแปรภายใน คือ ψ_1 , และ ψ_m ที่หาได้โดยตรงจากการจำลองระบบนี้



รูปที่ 3.1 การทำงานของตัวแปรในการจำลองระบบของหม้อแปลงแบบ 2 ขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า (กรณีเป็นเชิงเส้น)

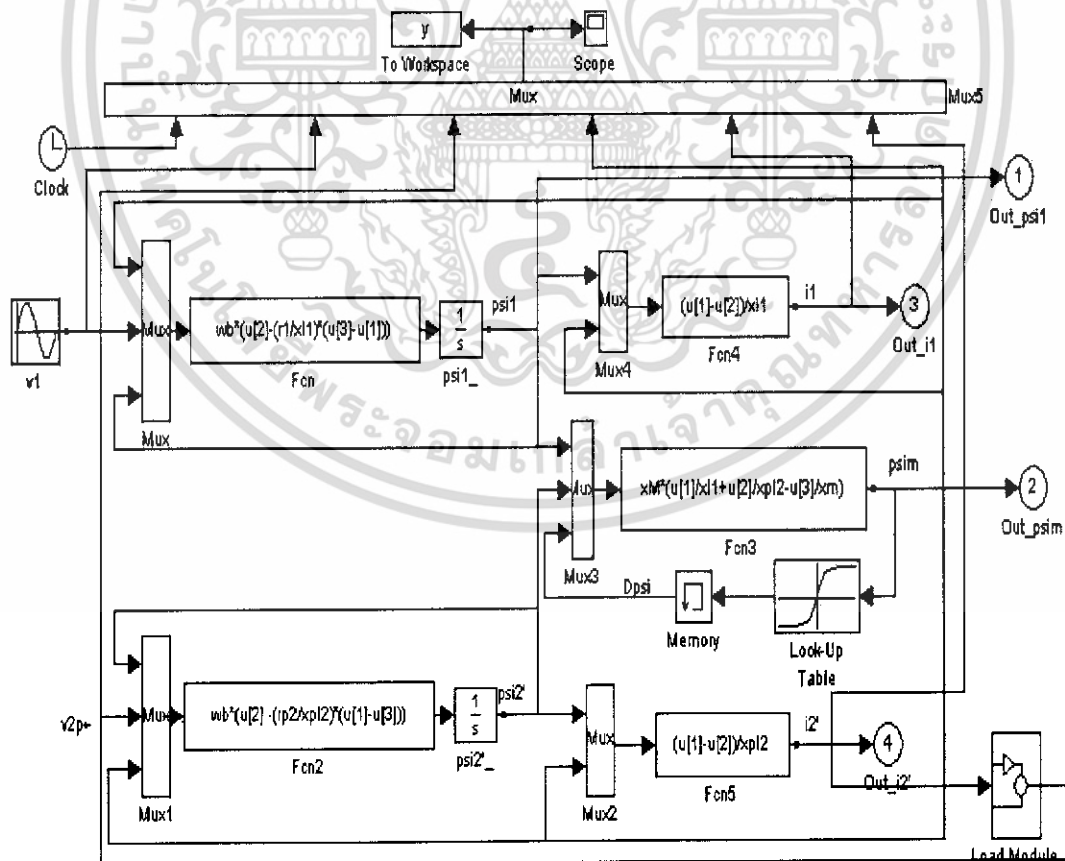
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สภาวะเงื่อนไขที่ขาออก

ดังแสดงในรูปที่ 3.2 คือการจำลองระบบของขดลวดหม้อแปลงแบบ 2 ขดลวดโดยใช้แรงดันขาออกของขดลวดทั้ง 2 เป็นอินพุตให้การจำลองระบบและสร้างกระแสขดลวดเป็นเอาต์พุต ค่าแรงดันอินพุตที่ป้อนเข้าขดลวด 1 (V_1) เป็นได้ทั้งค่าที่ระบบได้ก่อนแล้ว หรือจะเป็นค่าที่ได้มาจากส่วนอื่นในระบบจำลองที่เชื่อมต่อกับขดลวด 1 อยู่แล้ว ซึ่งเราจะเห็นภาพได้ชัดเจนขึ้นเมื่อพิจารณาถึงการได้มาของค่าแรงดันป้อนเข้าที่ขาของ V_2

สภาวะที่เราทำการ short-circuit ที่ด้านขดลวด 2 จะง่ายต่อการจำลองระบบมาก เพราะจะได้ค่า $V_2 = 0$ สภาวะ open-circuit ไม่สามารถจำลองระบบได้ง่ายเหมือนสภาวะ short-circuit เพราะสภาวะ short-circuit ที่ด้านขดลวด 2 จะทำให้ i_2 เป็น 0 ซึ่งจากสมการที่ผ่านมาจะได้ $V_{2oc} = \frac{d}{dt} \psi_m$ เพื่อหลีกเลี่ยงการนำเอาค่าของ ψ_m มาใช้ เราจึงหาค่าของแรงดันป้อนเข้าทางด้านขดลวด 2 จากค่าของ $\frac{d}{dt} \psi_m$ ดังนั้น ความสัมพันธ์ที่ได้ในสภาวะที่ $i_2 = 0$ คือ

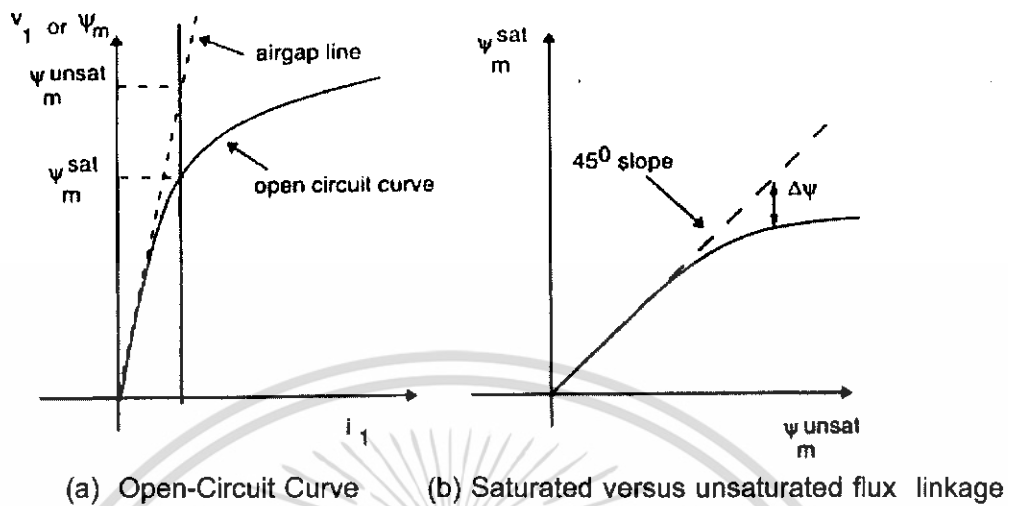
$$V_{2oc} = \frac{d}{dt} \psi_m = \frac{X_{m1}}{X_{l1} + X_{m1}} \frac{d}{dt} \psi_1 = \frac{X_{m1}}{X_{l1} + X_{m1}} (v_1 - i_1 r_1) \omega_b \quad (44)$$



รูปที่ 3.2 การจำลองระบบของหม้อแปลงแบบ 2 ขดลวด (กรณีเป็นเชิงเส้น)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้ในเชิงวิชาการเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นประโยชน์ในการนำ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การรวมค่าการอิ่มตัวของแกนเหล็กกับการจำลองหม้อแปลง



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของการอิ่มตัว

การอิ่มตัวของแกนเหล็กเป็นตัวแปรหลักที่มีผลกระทบต่อค่าความเหนี่ยวนำรวมกัน และค่าความเหนี่ยวนำที่รั่วไหล (มีผลน้อยกว่ามาก) แม้ว่าจะมีขนาดเล็กมากแต่ผลของการอิ่มตัวที่มีผลต่อตัวต้านทานก็ยังคงการคำนวณที่มากขึ้นกว่าในปัจจุบัน ในการจำลองระบบหลายๆ แบบผลของการอิ่มตัวของแกนเหล็กอาจจะประมาณได้ว่าเป็นการจำลองขอบเขตของทางเดินฟลักซ์ ดังนั้นพฤติกรรมของการอิ่มตัวของแกนเหล็กสามารถประมาณจากกราฟของเส้นแรงแม่เหล็กของหม้อแปลงขณะเปิดวงจรสามารถหาได้โดยการพล็อตค่าของแรงดันที่ได้กับกระแสขณะไม่ต่อโหลดที่ขดลวด 1 เมื่อทางด้านทุติยภูมิได้ทำการเปิดวงจร ดังรูป 3.3

เมื่อเราไม่คิดการสูญเสียในแกนเหล็ก กระแสขณะไม่มีโหลดก็คือ กระแสกระตุ้นแม่เหล็ก (Magnetizing, $I_{m,rms}$) เมื่อมีแค่กระแสขณะไม่จ่ายโหลดไหลในขดลวด 1 แรงดันที่ตกคร่อมค่าความต้านทาน ($r_1 + j\omega L_1$) จึงมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับที่ตกคร่อม ตัวเหนี่ยวนำที่มีขนาดใหญ่ ($\frac{X_{m1}}{I_{m,rms}}$) เมื่อด้านทุติยภูมิเปิดวงจรจะทำให้ $i_2 = 0$ ดังนั้น $V_{1,rms} \approx I_{m,rms} + X_{m1}$

ในช่วงที่ยังไม่อิ่มตัวอัตราส่วนของ ($\frac{X_{m1}}{I_{m,rms}}$) จะยังคงที่แต่ค่าของแรงดันจะเพิ่มในช่วงเหนือจาก

ช่วงโค้งของกราฟขณะเปิดวงจรซึ่งในช่วงนี้ค่าอัตราส่วนจะลดลงเรื่อยๆ อย่างรวดเร็ว ซึ่งวิธีนี้เราจะใช้ในการคำนวณเมื่อรวมผลของการอิ่มตัวของแกนเหล็กเข้ามาด้วย คือใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของฟลักซ์เกี่ยวคล้องร่วมกันที่อิ่มตัวและไม่อิ่มตัวมาพิจารณาเมื่อค่าของฟลักซ์เกี่ยวคล้องนั้นถูกทำเป็น State variable แล้ว แต่ก่อนที่จะไปพูดถึงวิธีการสร้างและใช้งานโมเดลของหม้อแปลง เราจะมาดูกันที่การแปลงตัวแปรในสมการที่ผ่านมาก่อนเพื่อให้สามารถแยกแยะได้ถูกระหว่างค่าของฟลักซ์เกี่ยวคล้องร่วมกันทั้งที่อิ่มตัว และไม่อิ่มตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ 35 เราจะได้รูปแบบของสมการใหม่ดังนี้

$$\psi_m^{unsat} = \omega_b L_{m1}^{unsat} (i_1 + i_2) = X_{m1}^{unsat} (i_1 + i_2) \quad (45)$$

ในทางเดียวกันกับเทอมของฟลักซ์เกี่ยวกับคล่องที่อิ่มตัว เราจะเขียนค่าสมการของกระแสที่ไหลในขดลวดได้ใหม่ดังนี้

$$i_1 = \frac{\psi_1 - \psi_m^{sat}}{X'_{l1}} \quad (46)$$

$$i_2 = \frac{\psi_2 - \psi_m^{sat}}{X'_{l2}} \quad (47)$$

ดังนั้นเทอมของ ψ_m^{unsat} ข้างต้น จะสามารถ เขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\frac{\psi_m^{unsat}}{X_{m1}^{unsat}} = \frac{\psi_1 - \psi_m^{sat}}{X'_{l1}} + \frac{\psi_2 - \psi_m^{sat}}{X'_{l2}} \quad (48)$$

กำหนดให้ค่าของ ψ_1 และ ψ_2 ในสมการข้างต้น เป็นค่าที่อิ่มตัวแล้ว แทนที่ค่าของ $\psi_m^{sat} + \Delta\psi$ แล้วรวมสมการให้อยู่ในรูปของ ψ_m^{unsat} ได้ดังนี้

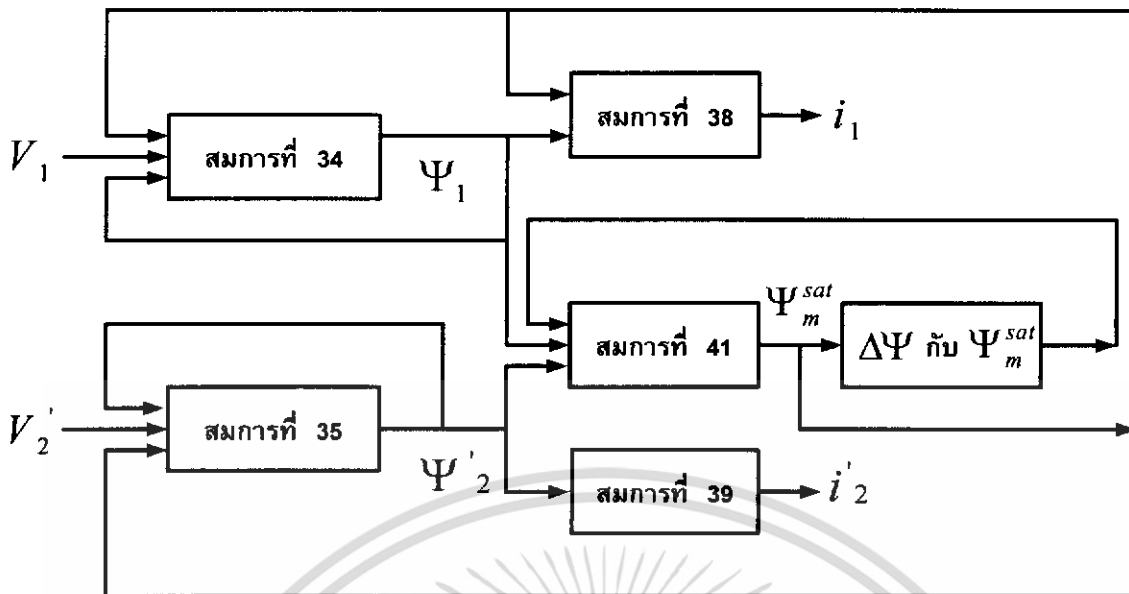
$$\psi_m^{sat} = X_m \left(\frac{\psi_1}{X'_{l1}} + \frac{\psi_2}{X'_{l2}} + \frac{\Delta\psi}{X_{m1}^{unsat}} \right) \quad (49)$$

โดยค่าของ X_m ในกรณีที่ไม่อิ่มตัวคือ

$$\frac{1}{X_M} = \frac{1}{X_{m1}^{unsat}} + \frac{1}{X'_{l1}} + \frac{1}{X'_{l2}} \quad (50)$$

การเปรียบเทียบสมการข้างต้นในสภาวะอิ่มตัว กับสมการในสภาวะที่ยังไม่อิ่มตัวหรือในช่วงที่ยังเป็นเชิงเส้นอยู่นั้น จะแสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการอิ่มตัวของฟลักซ์ที่ใช้ร่วมกัน เราจำเป็นต้องประมาณค่าของ $\Delta\psi$ ที่อยู่ด้านขวาของสมการ ψ_m^{sat} ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ $\Delta\psi$ กับ ψ_m^{sat} การคำนวณค่าของฟลักซ์ที่ใช้ร่วมกันที่อิ่มตัวได้แสดงไว้ดังรูป 3.4 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับในรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นสภาวะอิ่มตัวจะเห็นได้ว่ามีเทอมที่ต่างกันอยู่ คือ เทอมสุดท้ายในสมการ ψ_m^{sat} ซึ่งโมเดลที่ได้เพิ่มขึ้นมาเพิ่มคำนวณหาค่า $\Delta\psi$ จากค่าของ ψ_m^{sat} โดยที่รูปของ $\Delta\psi$ ก็คือรูปการคำนวณทางคณิตศาสตร์นั่นเอง

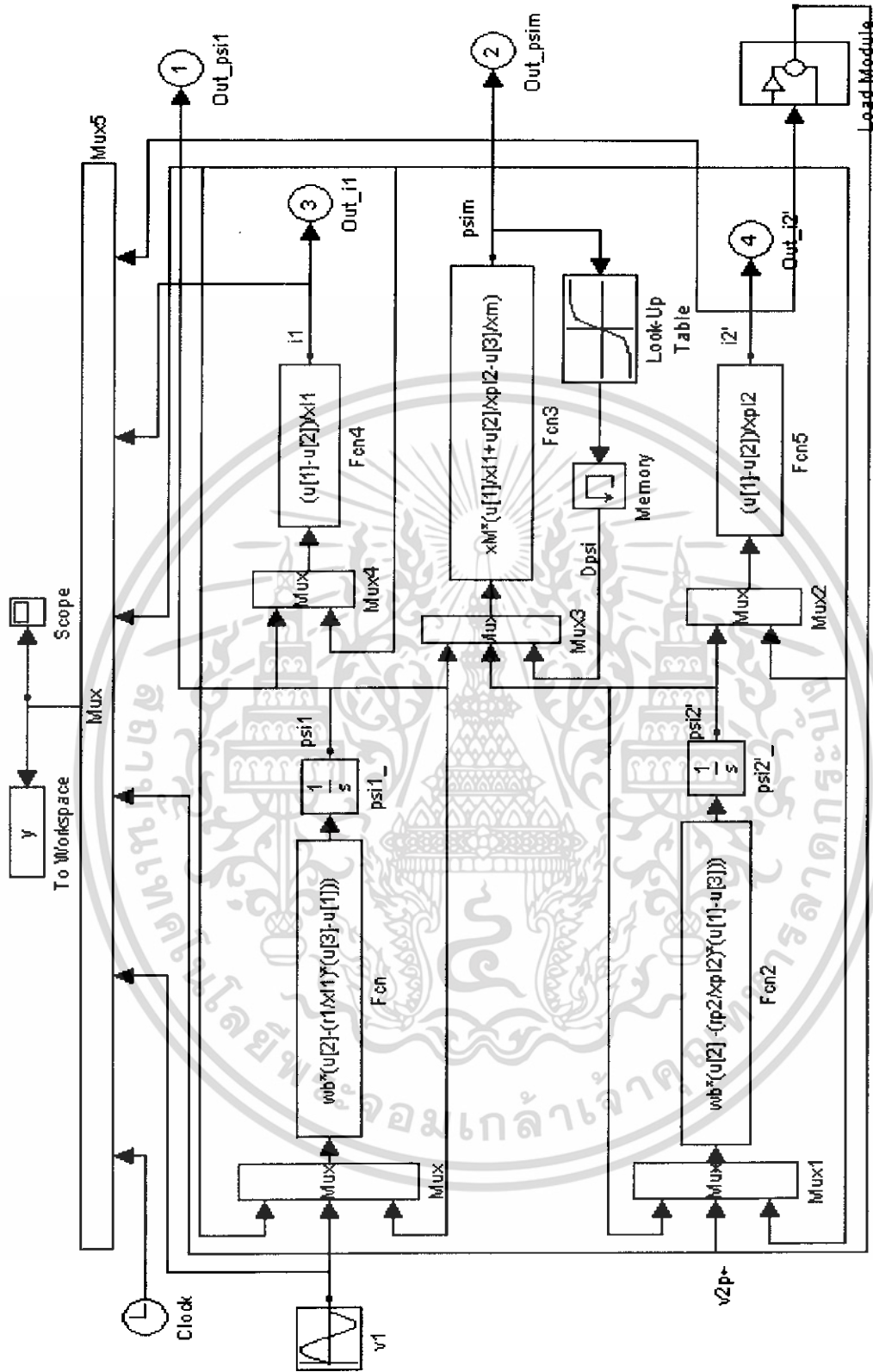
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การทำงานของตัวแปรในการจำลองระบบของหม้อแปลงแบบ 2 ขดลวด (กรณีที่มีการอิ่มตัวของฟลักซ์เกี่ยวคล้อง)

ในการจำลองระบบด้วยคอมพิวเตอร์ ค่าปัจจุบันของ $\Delta\psi$ สามารถประมาณได้โดยใช้ a look-up table ที่มีอยู่ในโปรแกรม MATLAB ซึ่งจะใช้วิธีการ interpolation หรือคือวิธีการประมาณค่าฟังก์ชันตามปกติของช่วงของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ $\Delta\psi$ กับ ψ_m^{sat} ในการใช้งาน Simulink (การจำลองระบบ) ตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าของ $\Delta\psi$ กับ ψ_m^{sat} สามารถถูกคำนวณโดยใช้โมเดลของ look-up table ที่มีอยู่ใน Nonlinear block library ในโปรแกรม MATLAB ส่วนค่าของอินพุตและเอาต์พุตที่ได้จากโมเดล look-up table จะได้มาจากอะเรย์ที่มีค่าไม่แน่นอนของค่าอินพุตที่มีความยาวของอะเรย์เท่ากัน

จากรูปที่ 3.2 เราสามารถนำความสัมพันธ์ของสมการและวิธีการคำนวณหาค่าของ $\Delta\psi$ จากรูป 3.4 มาสร้างเป็นระบบจำลองของหม้อแปลงที่จะนำไปใช้ในการทดลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB ได้ ดังแสดงตามรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.5 การจำลองระบบของหม้อแปลงแบบ 2 ขดลวด

(กรณีที่มีการอิมิตัวของฟลักซ์เกี่ยวคดล้ง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลให้หน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ค่าของสมการในระบบจำลองจะเป็นดังนี้

$$\text{สมการที่ 34.) } \psi_1 = \int \{ \omega_b v_1 - \omega_b r_1 \left(\frac{\psi_1 - \psi_m}{Xl_1} \right) \} dt$$

- โดยที่ ψ_1 คือ เส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวคล้องต่อเวลาของขดลวดปฐมภูมิ
 ω_b คือ ความถี่พื้นฐาน
 V_1 คือ ค่าศักดาไฟฟ้าทางด้านปฐมภูมิ
 r_1 คือ ค่าความต้านทานของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ
 ψ_m คือ เส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวคล้องต่อเวลาของขดลวดทั้ง 2 ด้าน
 Xl_1 คือ ค่า Leakage reactance ของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

$$\text{สมการที่ 35.) } \psi'_2 = \int \{ \omega_b v'_2 - \omega_b r'_2 \left(\frac{\psi'_2 - \psi_m}{X'l_2} \right) \} dt$$

- โดยที่ ψ'_2 คือ เส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวคล้องต่อเวลาของขดลวดทุติยภูมิที่
 ถูกทรานสเฟอร์มายังด้านปฐมภูมิ
 ω_b คือ ความถี่พื้นฐาน
 V'_2 คือ ค่าศักดาไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิที่ถูกทรานสเฟอร์มายัง
 ด้านปฐมภูมิ
 r'_2 คือ ค่าความต้านทานของขดลวดทางด้านทุติยภูมิที่ถูก
 ทรานสเฟอร์มายังด้านปฐมภูมิ
 ψ_m คือ เส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวคล้องต่อเวลาของขดลวดทั้ง 2 ด้าน
 $X'l_2$ คือ ค่า Leakage Reactance ของขดลวดทางด้านทุติยภูมิที่ถูก
 ทรานสเฟอร์มายังด้านปฐมภูมิ

$$\text{สมการที่ 41.) } \psi_m^{sat} = X_M \left(\frac{\psi_1}{Xl_1} + \frac{\psi'_2}{X'l_2} + \frac{\Delta\psi}{X_{m1}^{unsat}} \right)$$

- โดยที่ ψ_m^{sat} คือ เส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวคล้องขณะอิ่มตัวต่อเวลาของ
 ขดลวดทั้ง 2 ด้าน

$$X_M = \frac{1}{X_{m1}^{unsat}} + \frac{1}{Xl_1} + \frac{1}{X'l_2}$$

- X_{m1}^{unsat} คือ ค่า Leakage Reactance ที่ใช้ร่วมกันของขดลวดทางด้าน
 ปฐมภูมิขณะที่ยังไม่อิ่มตัว

$$\psi_m^{sat} = \psi_m^{sat} + \Delta\psi$$

$$\text{สมการที่ 38.) } I_1 = \frac{\psi_1 - \psi_m^{sat}}{Xl_1}$$

- โดยที่ I_1 คือ ค่าของกระแสทางด้านปฐมภูมิ
 ψ_1 คือ เส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวคล้องต่อเวลาของขดลวดปฐมภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ψ_m^{sat}	คือ	เส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวกับคล่องขณะอิ่มตัวต่อเวลาของขดลวดทั้ง 2 ด้าน
	Xl_1	คือ	ค่า Leakage Reactance ของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ
สมการที่ 39.)	$i_2 = \frac{\psi'_2 - \psi_m^{sat}}{X'l_2}$		
โดยที่	i_2	คือ	ค่าของกระแสทางด้านทุติยภูมิที่ทรานสเฟอ์มายังด้านปฐมภูมิ
	ψ'_2	คือ	เส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวกับคล่องต่อเวลาของขดลวดทางด้าน ทุติยภูมิที่ถูกทรานสเฟอ์มายังด้านปฐมภูมิ
	ψ_m^{sat}	คือ	เส้นแรงแม่เหล็กเกี่ยวกับคล่องขณะอิ่มตัวต่อเวลาของขดลวด ทั้ง 2 ด้าน
	$X'l_2$	คือ	ค่า Leakage Reactance ของขดลวดทางด้านทุติยภูมิที่ถูก ทรานสเฟอ์มายังด้านปฐมภูมิ

3.4 การจำลองการทำงานของหม้อแปลงสามเฟส

การกำเนิดและการส่งจ่ายของระบบไฟฟ้ากำลังกระแสสลับ ส่วนมากเป็นระบบไฟฟ้า 3 เฟส เมื่อระบบไฟฟ้า 3 เฟส เป็นผลที่อยู่ภายใต้สภาวะสมดุลย์ สามารถที่จะใช้แสดงสำหรับการพิจารณาจุดมุ่งหมายโดยแสดงในรูป Equivalent Single-Phase ดังนั้นนอกจากประสบการณ์ในการคำนวณจะต้องอาศัยความพยายามด้วย สำหรับผลที่เกิดจากสภาวะไม่สมดุลย์ ระบบไฟฟ้า 3 เฟส จะมีการแสดงหรือการรวมกันของ Sequence Network ในส่วนนี้ จะพิจารณาวิธีที่สามารถใช้ในการ Simulate ร่วมกับการต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส เหมือนกับการศึกษา Electromechanical Transient

โดยทั่วไป ผลของตัวแปรของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส จะไม่ขึ้นอยู่กับการต่อขดลวดเพียงอย่างเดียว แต่จะขึ้นอยู่กับ Magnetic Current ในแกนเหล็กด้วย เมื่อขดลวดของเฟสที่ต่างกันได้แบ่งส่วนของแกนเหล็กที่เตรียมไว้เป็นทางเดินของแม่เหล็กสำหรับ Mutual Flux ซึ่งเป็นตัวต่อร่วมระหว่างขดลวดทั้งสอง

การต่อขดลวดในแบบสตาร์และเดลต้า การต่อแบบสตาร์จะเป็นที่นิยมมากกว่าการต่อแบบเดลต้า ที่ระดับของแรงดันที่สูงกว่า แต่การต่อแบบเดลต้าจะได้เปรียบเมื่อระดับของกระแสที่สูงกว่า สำหรับองค์ประกอบอื่นๆ ที่เพิ่มเข้ามาของการต่อลงดินจากจุดของความปลอดภัยและการป้องกัน รวมถึงส่วนของฮาร์โมนิกส์และฟลักซ์จะลดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแรงดัน

3.4.1) แบบจำลองหม้อแปลง 3 เฟส แบบ Y-Y Connection

จุดนิวตรอนของด้าน Primary ได้ต่อกราวด์ไปยังตัวต้านทาน R_N และด้าน Secondary กับแหล่งจ่ายได้มีการต่อกราวด์แล้ว เนื่องจากจุดนิวตรอนของด้าน Primary ไม่ได้ต่อกราวด์อย่างมั่นคง ค่าต่างๆ ภายในด้าน Primary จะคำนึงถึงระบบกราวด์ (G) ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงานไม่ว่าจะสมดุลหรือไม่ Phase-to-Neutral Voltage ที่ผ่านด้าน Primary จะไม่เหมือนกับ Phase-to-Neutral Voltage ของตัวแหล่งจ่าย เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{AN} = V_{AG} - V_{NG}$$

$$V_{BN} = V_{BG} - V_{NG}$$

$$V_{CN} = V_{CG} - V_{NG}$$

เมื่อ $V_{AG} = V_{AO}$, $V_{BG} = V_{BO}$ และ $V_{CG} = V_{CO}$ ใน Equivalent Circuit ได้แสดงให้เห็นเพียงเฟสเดียวเท่านั้น V_{NG} จะสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของแรงดันที่ตกคร่อมที่ R_N

$$V_{NG} = (i_A + i_B + i_C) R_N$$

R_N เป็นตัวต้านทานที่สมมติขึ้นในกรณีจุดนิวตรอน (N) ไม่ได้ต่อกราวด์ และสามารถหา Line-to-Neutral ของแหล่งจ่ายด้าน Primary ได้คือ

$$V_{AB} = V_{AN} - V_{BN}$$

$$V_{BC} = V_{BN} - V_{CN}$$

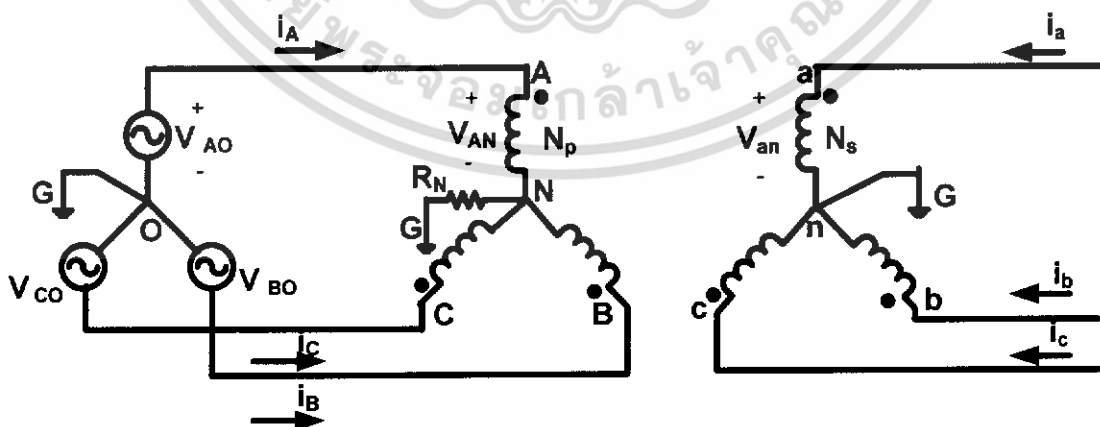
$$V_{CA} = V_{CN} - V_{AN}$$

ส่วนด้าน Secondary จะสามารถหาได้ในทำนองเดียวกัน

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn}$$

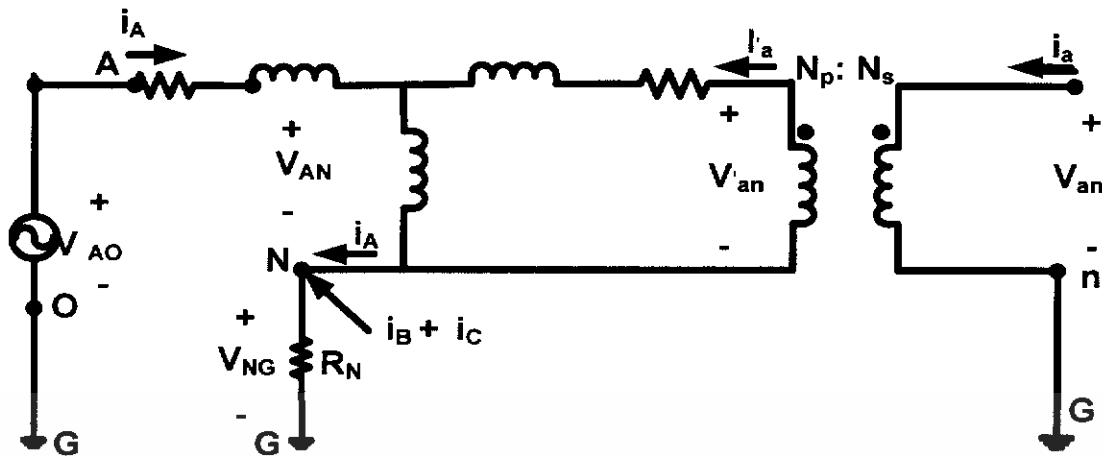
$$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn}$$

$$V_{ca} = V_{cn} - V_{an}$$



(a) การต่อหม้อแปลง 3 เฟส แบบ Y-Y กับแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) วงจรสมมูลโดยพิจารณาที่ขดลวดเฟส A

รูปที่ 3.6 การต่อหม้อแปลง และวงจรสมมูลของหม้อแปลงแบบ Y-Y

3.4.2) แบบจำลองหม้อแปลง 3 เฟส แบบ Δ - Δ Connection

ในการต่อหม้อแปลงแบบ Delta-Delta จุดนิวตรอนของด้าน Primary และด้าน Secondary ได้ต่อกราวด์กับแหล่งจ่ายแล้ว และด้านทั้งสองได้ต่อกราวด์อย่างมั่นคง ค่าต่างๆ จึงไม่ต้องคำนึงถึงระบบกราวด์ ซึ่งสามารถหาค่า Line ด้าน Primary ได้ดังนี้

$$V_{AB} = V_{AO} - V_{BO}$$

$$V_{BC} = V_{BO} - V_{CO}$$

$$V_{CA} = V_{CO} - V_{AO}$$

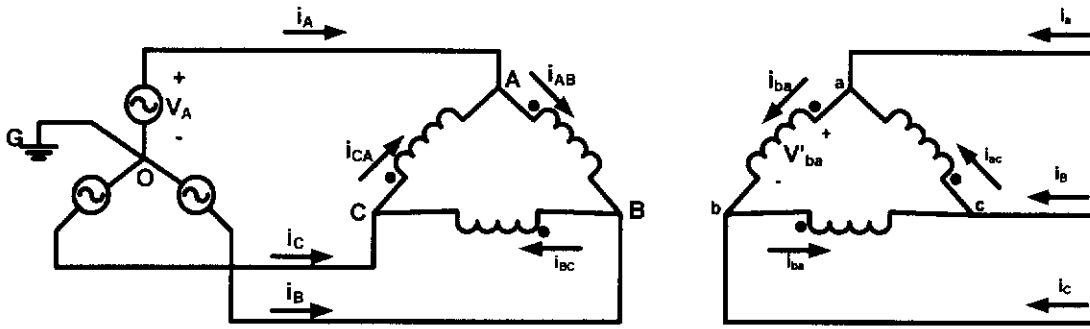
และในทำนองเดียวกัน ก็สามารถหาค่า Line ด้าน Secondary ได้คือ

$$V_{ab} = V_{ao} - V_{bo}$$

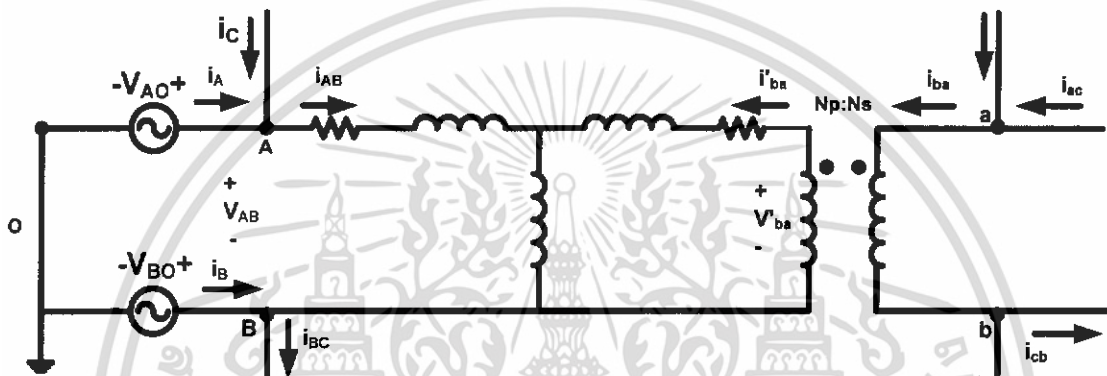
$$V_{bc} = V_{bo} - V_{co}$$

$$V_{ca} = V_{co} - V_{ao}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) การต่อหม้อแปลง 3 เฟส แบบ Δ-Δ กับแหล่งจ่าย



(b) วงจรสมมูลโดยพิจารณาที่ขดลวดเฟส A

รูปที่ 3.7 การต่อหม้อแปลง และวงจรสมมูลของหม้อแปลงแบบแบบ Δ-Δ

3.4.3) แบบจำลองหม้อแปลง 3 เฟส แบบ Δ-Y Connection

ในการต่อหม้อแปลง 3 เฟส แบบ Delta-Wye จุดนิวตรอนของด้าน Secondary ได้ต่อลงกราวด์ไปยังตัวต้านทาน R_N ผลของ Turn Ratio ของด้าน Secondary ต่อด้าน Primary คือ $\sqrt{3} \left(\frac{N_s}{N_p} \right)$ และเฟสเซอร์ของแรงดันด้าน Secondary ได้เลื่อนไป 30° ตามเข็มนาฬิกาเพื่อให้สอดคล้องกับเฟสเซอร์ของด้าน Primary

การป้อนไฟเข้าทางด้าน Primary จะคำนวณได้จากแหล่งจ่ายไฟ AC นั่นคือ

$$\begin{aligned} V_{AB} &= V_{AO} - V_{BO} \\ V_{BC} &= V_{BO} - V_{CO} \\ V_{CA} &= V_{CO} - V_{AO} \end{aligned}$$

และไฟป้อนเข้าด้าน Secondary ที่มีจุดนิวตรอนไปยังระบบกราวด์ นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_{an} = V_{an} - V_{nG}$$

$$V_{bn} = V_{bn} - V_{nG}$$

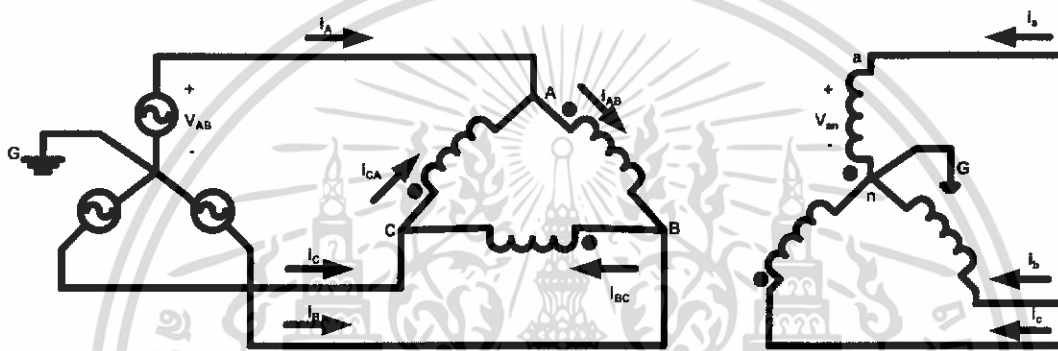
$$V_{cn} = V_{cn} - V_{nG}$$

ซึ่ง $V_{nG} = (i_a + i_b + i_c)R_N$ และ Line Current ด้าน Primary จะคำนวณจากกระแสด้าน Primary ขาออก โดยการใช้

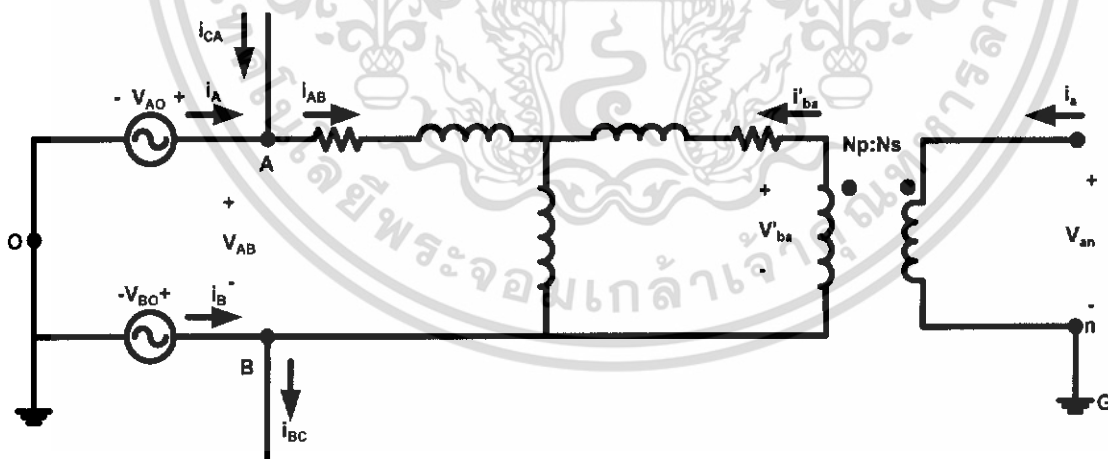
$$i_A = i_{AB} - i_{CA}$$

$$i_B = i_{BC} - i_{AB}$$

$$i_C = i_{CA} - i_{BC}$$



(a) การต่อหม้อแปลง 3 เฟส แบบ Δ -Y กับแหล่งจ่าย



(b) วงจรสมมูลย์โดยพิจารณาที่ขดลวดเฟส A

รูปที่ 3.8 การต่อหม้อแปลง และวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงแบบแบบ Δ -Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4) แบบจำลองหม้อแปลง 3 เฟส แบบ Y-Δ Connection

การต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ Wye-Delta จุดนิวตรอนของด้าน Primary ได้ต่อลงกราวด์ไปยังตัวต้านทาน R_N ผลของ Turn Ratio ของด้าน Secondary ต่อด้าน Primary คือ $\frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{N_s}{N_p} \right)$ และเฟสเซอร์โวลเตจของด้าน Secondary ได้เลื่อนไป 30° ทวนเข็มนาฬิกาเพื่อให้สอดคล้องกับเฟสเซอร์ของด้าน Primary

การป้อนไฟเข้าทางด้าน Primary ซึ่งใช้ที่มีจุดนิวตรอนไปยังระบบกราวด์ นั่นคือ

$$V_{AN} = V_{AN} - V_{NG}$$

$$V_{BN} = V_{BN} - V_{NG}$$

$$V_{CN} = V_{CN} - V_{NG}$$

และไฟป้อนเข้าด้าน Secondary จะคำนวณได้จากแหล่งจ่ายไฟ AC นั่นคือ

$$V_{ab} = V_{ao} - V_{bo}$$

$$V_{bc} = V_{bo} - V_{co}$$

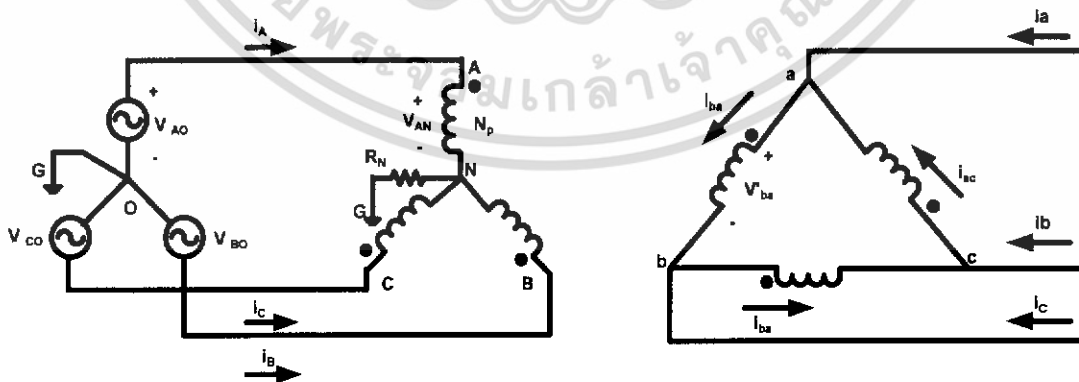
$$V_{ca} = V_{co} - V_{ao}$$

ซึ่ง $V_{NG} = (i_A + i_B + i_C) R_N$ และ Line Current ด้าน Primary จะคำนวณจากกระแสด้าน Primary ขาออก โดยการใช้

$$i_A = i_A$$

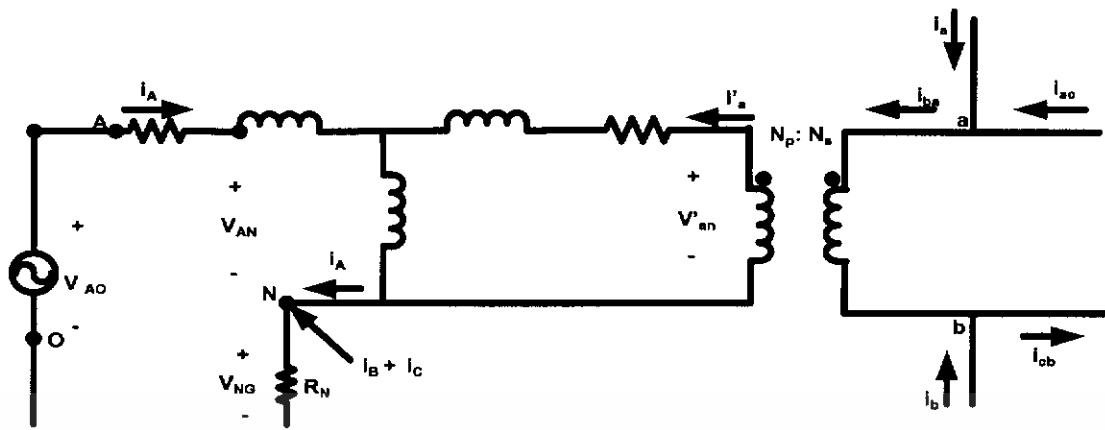
$$i_B = i_B$$

$$i_C = i_C$$



(a) การต่อหม้อแปลง 3 เฟส แบบ Y-Δ กับแหล่งจ่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(b) วงจรสมมูลย์โดยพิจารณาที่ขดลวดเฟส A

รูปที่ 3.9 การต่อหม้อแปลง และวงจรสมมูลย์ของหม้อแปลงแบบแบบ Y-Δ

3.5 ระบบจำลองของหม้อแปลงที่สร้างขึ้นโดย Simulink ในโปรแกรม MATLAB

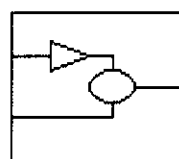
การสร้างโมเดลของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้ Simulink คือ การนำเอาหม้อแปลงที่มีอยู่ในโปรแกรม MATLAB มาต่อเป็นวงจรให้เหมือนกับระบบการใช้งานจริง และทดสอบการจ่ายแรงดันให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อดูผลที่ได้ โดยไม่จำเป็นต้องทดสอบกับหม้อแปลงไฟฟ้าจริง

วิธีการสร้างระบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าที่นี่ จะอ้างอิงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากหนังสือ Dynamic Simulink of Electrical Machinery^[1] ของ Chee-Mun Ong และจะต้องเหมาะสมกับระบบจำลองที่มีในโปรแกรม MATLAB ด้วย

3.5.1) การใช้งานและการป้อนค่าให้กับระบบจำลองของอุปกรณ์ต่างๆ ในแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

3.5.1.1) หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

เราใช้สัญลักษณ์ Subsystem เปรียบเสมือนหม้อแปลง ดังรูปที่ 3.10 ซึ่งในตัว subsystem จะสามารถสร้างโมเดลขึ้นมาใหม่ได้ จะทำให้ประหยัดเนื้อที่ โดยค่าที่ได้ป้อนใส่จะเป็นแบบจำลองของหม้อแปลง 1 เฟส 2 ขด ดังรูปที่ 3.11 และสำหรับ Ref_Load Line เป็นค่าที่ป้อนกลับไปเพื่อต่อกับตัวขยายสัญญาณ และนำค่าที่ได้ไปรวมกับตัวรวมสัญญาณที่ Sum ดังรูปที่ 3.12

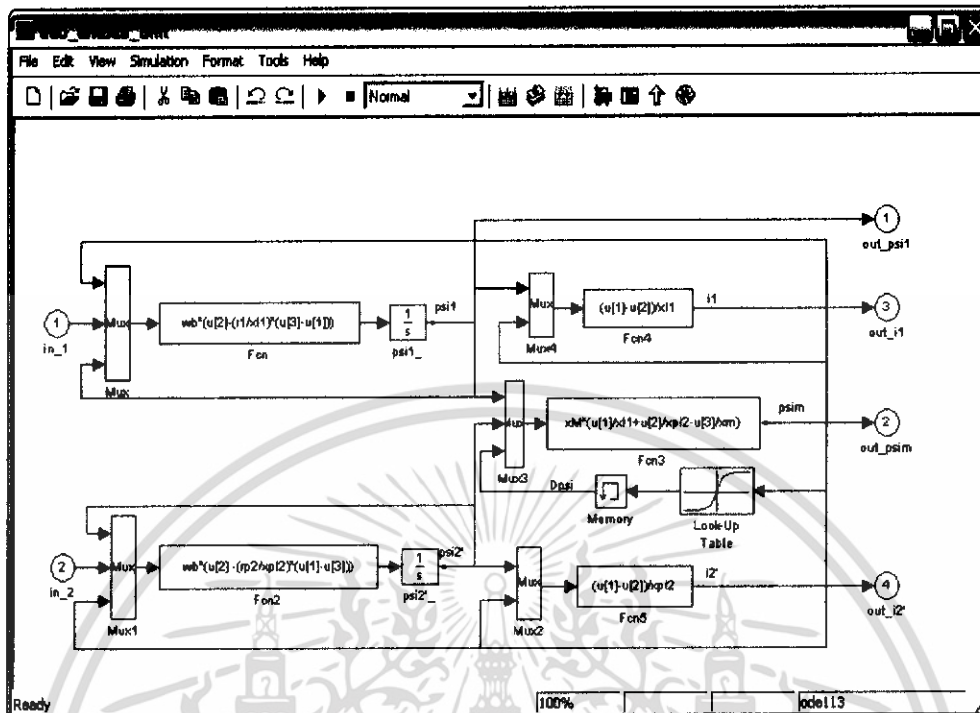


Subsystem

รูปที่ 3.10 ระบบจำลองของ Subsystem ในโปรแกรม MATLAB

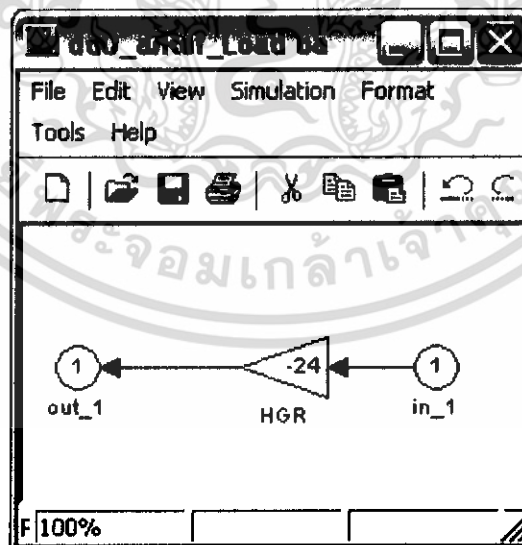
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.) Line_unit



รูปที่ 3.11 การป้อนค่าให้กับโมเดลของ Subsystem ใน Line_unit

2.) Ref_Load Line

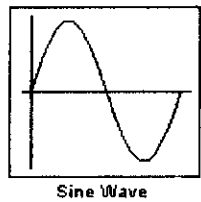


รูปที่ 3.12 การป้อนค่าให้กับโมเดลของ Subsystem ใน Ref_Load Line

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1.2) แหล่งกำเนิดสัญญาณแบบ Sine wave (Source)

ในแบบจำลองนี้เราจะใช้ตัวจ่ายสัญญาณแบบ Sine wave โดยมีรูปร่างดังนี้



รูปที่ 3.13 ระบบจำลองของแหล่งกำเนิดสัญญาณแบบ Sine wave
ในโปรแกรม MATLAB

สำหรับการป้อนค่า Block parameter ป้อนค่าดังนี้

1.) VAO

Block Parameters: VAO

Sine Wave

Output a sine wave where the sine type determines the computational technique used. The parameters in the two types are related through:

Samples per period = $2\pi / (\text{Frequency} * \text{Sample time})$

Number of offset samples = $\text{Phase} * \text{Samples per period} / (2\pi)$

Use the sample-based sine type if numerical problems due to running for large times (e.g. overflow in absolute time) occur.

Parameters

Sine type:

Amplitude:

Bias:

Frequency (rad/sec):

Phase (rad):

Sample time:

Interpret vector parameters as 1-D

OK Cancel Help Apply

รูปที่ 3.14 การป้อนค่าให้กับ Block parameter ของแหล่งกำเนิดสัญญาณของ VAO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่อง Sine type ป้อนค่าเป็น Time based
 ช่อง Amplitude ป้อนค่าเป็น 169.7/sqrt(3)

$$\begin{aligned} \text{จาก } V_{\max} &= \sqrt{2}V_{rms} \\ &= \sqrt{2} \times 120 \\ &= 169.7 \\ V_{phase} &= \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}} \\ &= \frac{169.7}{\sqrt{3}} \end{aligned}$$

ช่อง Bias ป้อนค่าเป็น 0
 ช่อง Frequency ป้อนค่าเป็น 120*pi
 ช่อง phase ป้อนค่าเป็น 0
 ช่อง Sample time ป้อนค่าเป็น -1

2.) VBO

Block Parameters: vBO

Sine Wave

Output a sine wave where the sine type determines the computational technique used. The parameters in the two types are related through:

$$\text{Samples per period} = 2 \cdot \pi / (\text{Frequency} \cdot \text{Sample time})$$

$$\text{Number of offset samples} = \text{Phase} \cdot \text{Samples per period} / (2 \cdot \pi)$$

Use the sample-based sine type if numerical problems due to running for large times (e.g. overflow in absolute time) occur.

Parameters

Sine type: Time based

Amplitude:

169.7/sqrt(3)

Bias:

0

Frequency (rad/sec):

120*pi

Phase (rad):

-2*pi/3

Sample time:

-1

Interpret vector parameters as 1-D

OK

Cancel

Help

Apply

รูปที่ 3.15 การป้อนค่าให้กับ Block parameter ของตัวขยายสัญญาณของ VBO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่อง Sine type	ป้อนค่าเป็น Time based
ช่อง Amplitude	ป้อนค่าเป็น $169.7/\sqrt{3}$
จาก	$V_{\max} = \sqrt{2}V_{\text{rms}}$ $= \sqrt{2} \times 120$ $= 169.7$ $V_{\text{phase}} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}}$ $= \frac{169.7}{\sqrt{3}}$
ช่อง Bias	ป้อนค่าเป็น 0
ช่อง Frequency	ป้อนค่าเป็น $120 \cdot \pi$
ช่อง phase	ป้อนค่าเป็น $-2 \cdot \pi/3$
ช่อง Sample time	ป้อนค่าเป็น -1

3.) VCO

Block Parameters: VCO

Sine Wave
 Output a sine wave where the sine type determines the computational technique used. The parameters in the two types are related through:
 Samples per period = $2 \cdot \pi / (\text{Frequency} \cdot \text{Sample time})$
 Number of offset samples = $\text{Phase} \cdot \text{Samples per period} / (2 \cdot \pi)$
 Use the sample-based sine type if numerical problems due to running for large times (e.g. overflow in absolute time) occur.

Parameters

Sine type:

Amplitude:

Bias:

Frequency (rad/sec):

Phase (rad):

Sample time:

Interpret vector parameters as 1-D

OK Cancel Help Apply

รูปที่ 3.16 การป้อนค่าให้กับ Block parameter ของตัวขยายสัญญาณของ VCO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่อง Sine type ป้อนค่าเป็น Time based
 ช่อง Amplitude ป้อนค่าเป็น $169.7/\sqrt{3}$
 จาก $V_{\max} = \sqrt{2}V_{rms}$
 $= \sqrt{2} \times 120$
 $= 169.7$
 $V_{phase} = \frac{V_{\max}}{\sqrt{3}}$
 $= \frac{169.7}{\sqrt{3}}$

ช่อง Bias ป้อนค่าเป็น 0
 ช่อง Frequency ป้อนค่าเป็น $120 \cdot \pi$
 ช่อง phase ป้อนค่าเป็น $-4 \cdot \pi/3$
 ช่อง Sample time ป้อนค่าเป็น -1

2.5.1.3) นาฬิกา (Clock)

สำหรับนาฬิกาเป็นตัวที่ใช้ในการบอกเวลาสำหรับการ Simulation โดยมีรูปร่างดังนี้



รูปที่ 3.17 ระบบจำลองของนาฬิกาในโปรแกรม MATLAB

การป้อนค่าใน Block Parameter ป้อนค่าดังนี้

Block Parameters: Clock

Clock
Output the current simulation time.

Parameters

Display time

Decimation:
10

OK Cancel Help Apply

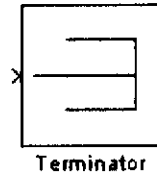
รูปที่ 3.18 การป้อนค่าให้กับ Block parameter ของตัวนาฬิกา

ช่อง Decimation ป้อนค่าเป็น 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1.6) Terminator

ใช้สำหรับเป็นตัวบอกจุดสิ้นสุดของสัญญาณเอาต์พุต



รูปที่ 3.22 ระบบจำลองของ Terminator ในโปรแกรม MATLAB

2.5.1.7) To Workspace

เป็นการเขียนค่า input ที่ระบุค่า Array หรือ โครงสร้าง ใน main workspace ของโปรแกรม MATLAB



รูปที่ 3.23 ระบบจำลองของ To Workspace ในโปรแกรม MATLAB

การป้อนค่าใน Block Parameter ป้อนค่าดังนี้

รูปที่ 3.24 การป้อนค่าให้กับ Block parameter ของ To Workspace

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่อง Variable name	ป้อนค่าเป็น y
ช่อง Limit data point to last	ป้อนค่าเป็น 10000
ช่อง Decimation	ป้อนค่าเป็น 1
ช่อง Sample time	ป้อนค่าเป็น 0
ช่อง Save format	ป้อนค่าเป็น Array

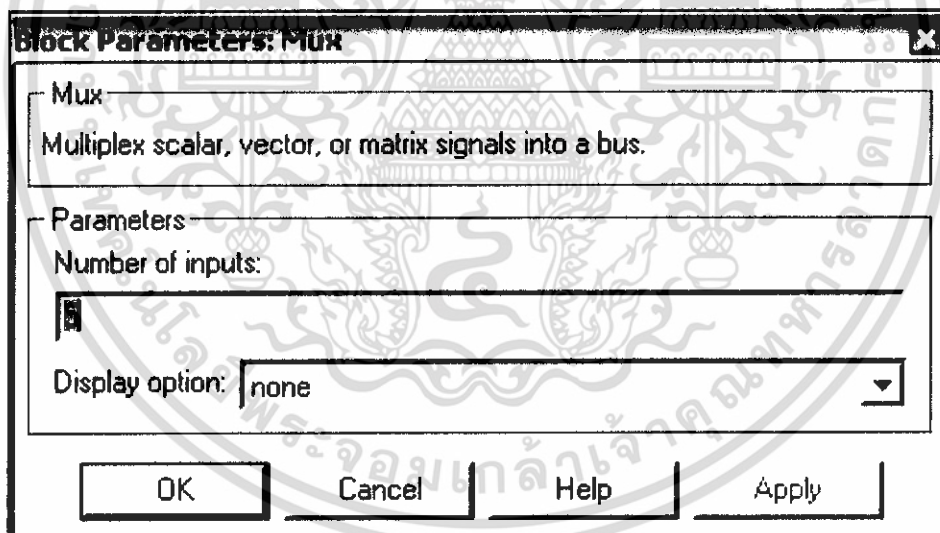
2.5.1.8) ตัวรวมสัญญาณ output (Mux)

เป็นจุดรวมสัญญาณ output เพื่อส่งผลที่ได้ไปที่สโคป



รูปที่ 3.25 ระบบจำลองของตัวรวมสัญญาณ output ในโปรแกรม MATLAB

การป้อนค่าใน Block Parameter ป้อนค่าดังนี้



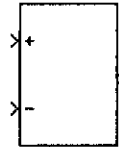
รูปที่ 3.26 การป้อนค่าให้กับ Block parameter ของตัวขยายสัญญาณ

ช่อง Number of input	ป้อนค่าเป็น 5
ช่อง Display option	ป้อนค่าเป็น none

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

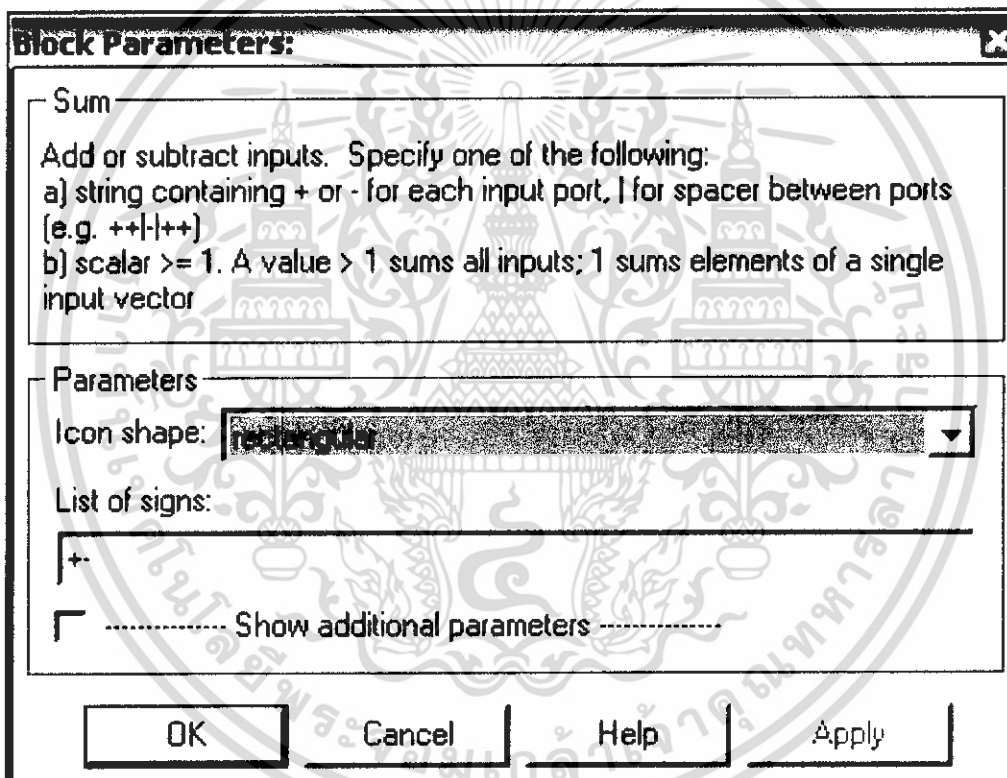
2.5.1.9) ตัวรวมสัญญาณ input (sum)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรวมสัญญาณ input การป้อนค่าจะสามารถป้อนได้ทั้งตัวเลข และเครื่องหมาย + และ -



รูปที่ 3.27 ระบบจำลองของตัวรวมสัญญาณ input ในโปรแกรม MATLAB

การป้อนค่าใน Block Parameter ป้อนค่าดังนี้



รูปที่ 3.28 การป้อนค่าให้กับ Block parameter ของตัวขยายสัญญาณ

ช่อง Icon shape	ป้อนค่าเป็น rectangular
ช่อง List of sign	ป้อนค่าเป็น +- หรือ -+

3.5.2) การใช้และการป้อนค่าให้กับระบบจำลองของอุปกรณ์ต่างๆ ในแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุป

สำหรับการป้อนค่าในแบบจำลอง 3 เฟส เมื่อแยกแวกเตอร์กรุป ค่าต่างๆ ยังเหมือนเดิม ยกเว้น แต่ค่าของตัวขยายสัญญาณ(ที่ต่อมาจากแรงดันด้านทุติยภูมิ) ที่ต้องเปลี่ยนค่า ดังนี้

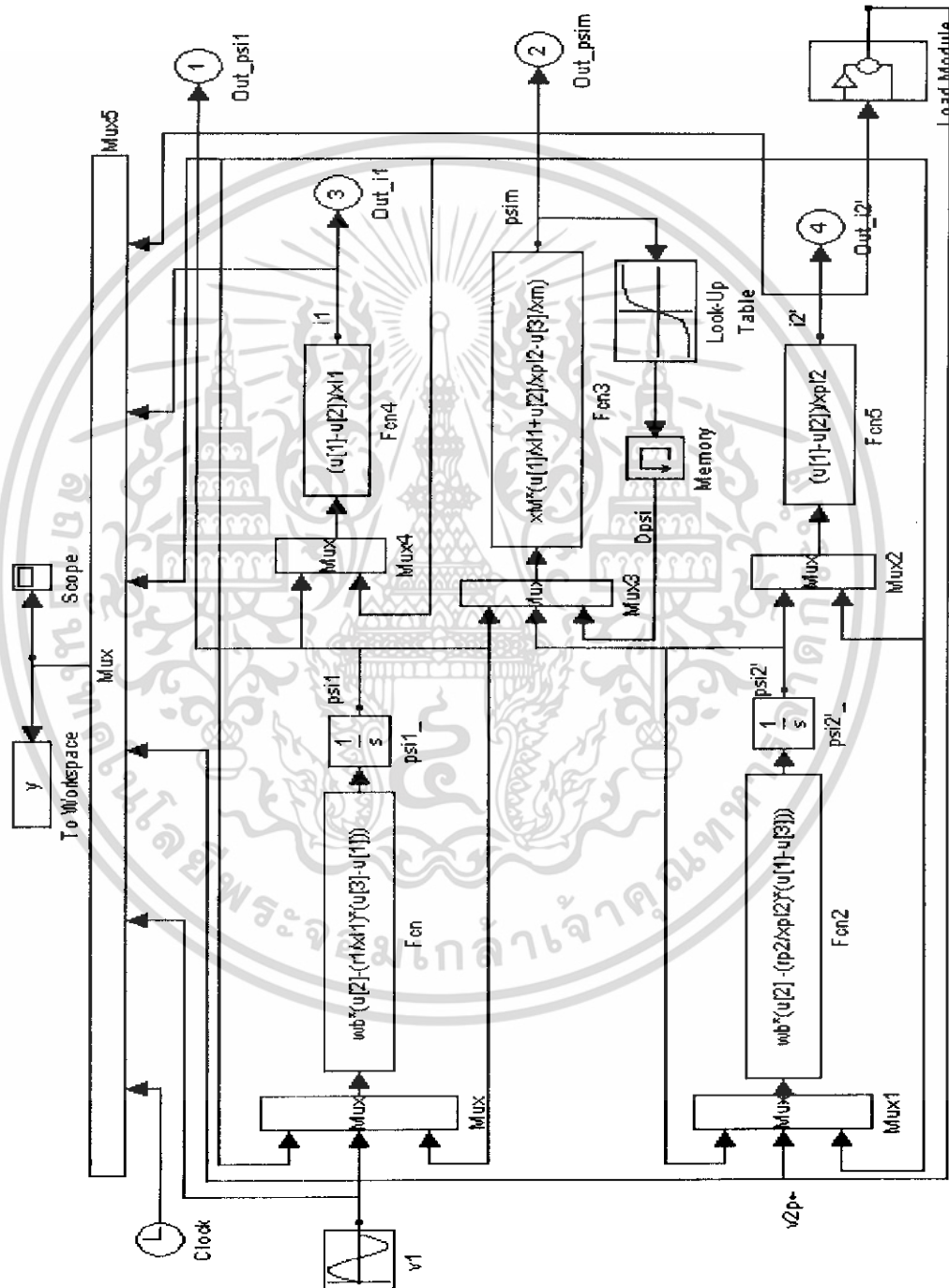
รูปที่ 3.29 การป้อนค่าให้กับ Block parameter ของตัวขยายสัญญาณ (เฉพาะแบบ Yy6 และ Dd6)

ช่อง Gain	ป้อนค่าเป็น $-1/NpbyNs$
ช่อง Multiplication	ป้อนค่าเป็น Element-wise($K*u$)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ขดลวด โดยใช้โปรแกรม MATLAB



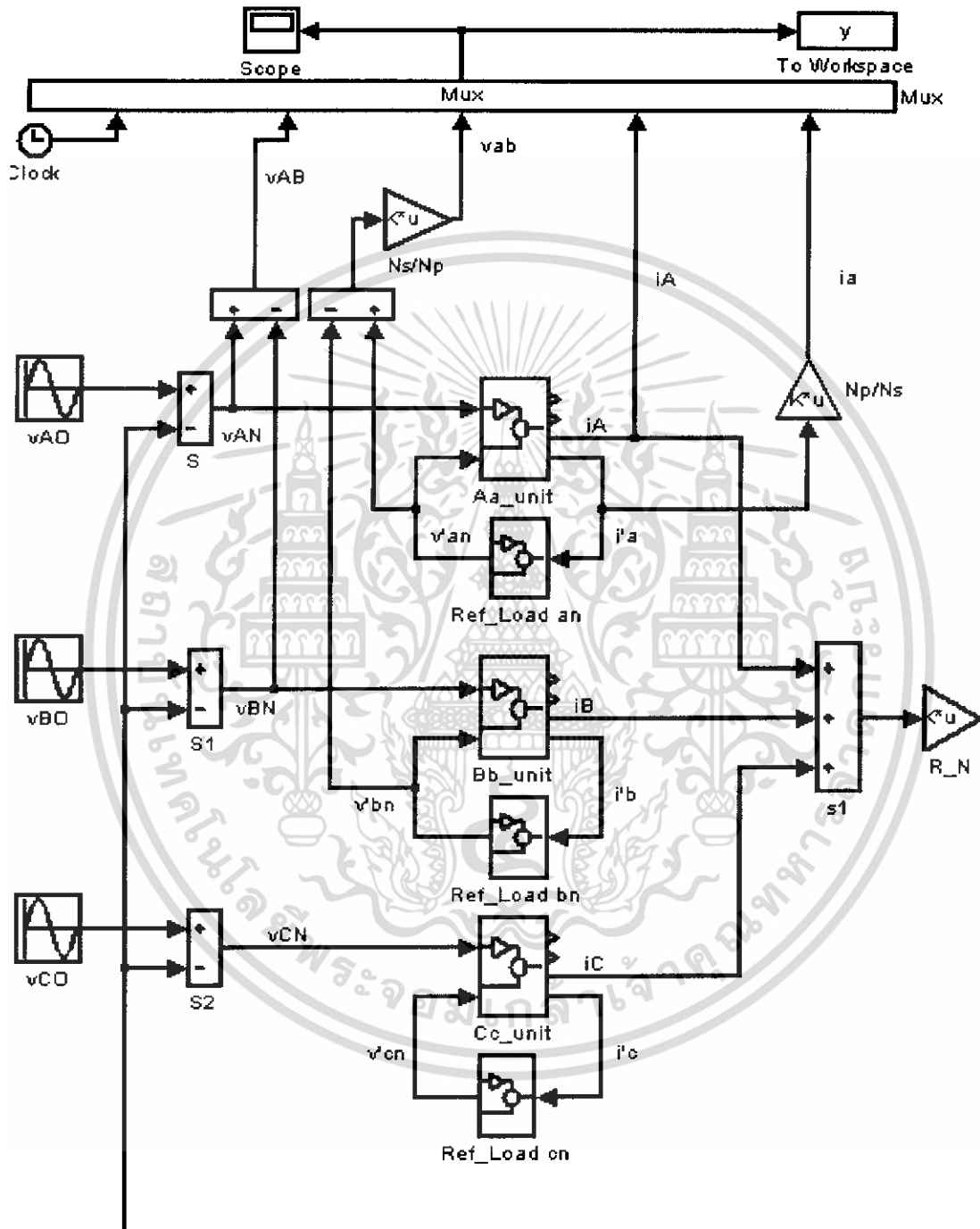
รูปที่ 4.1 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม MATLAB

4.2.1) แบบ $Y-Y$ Connection

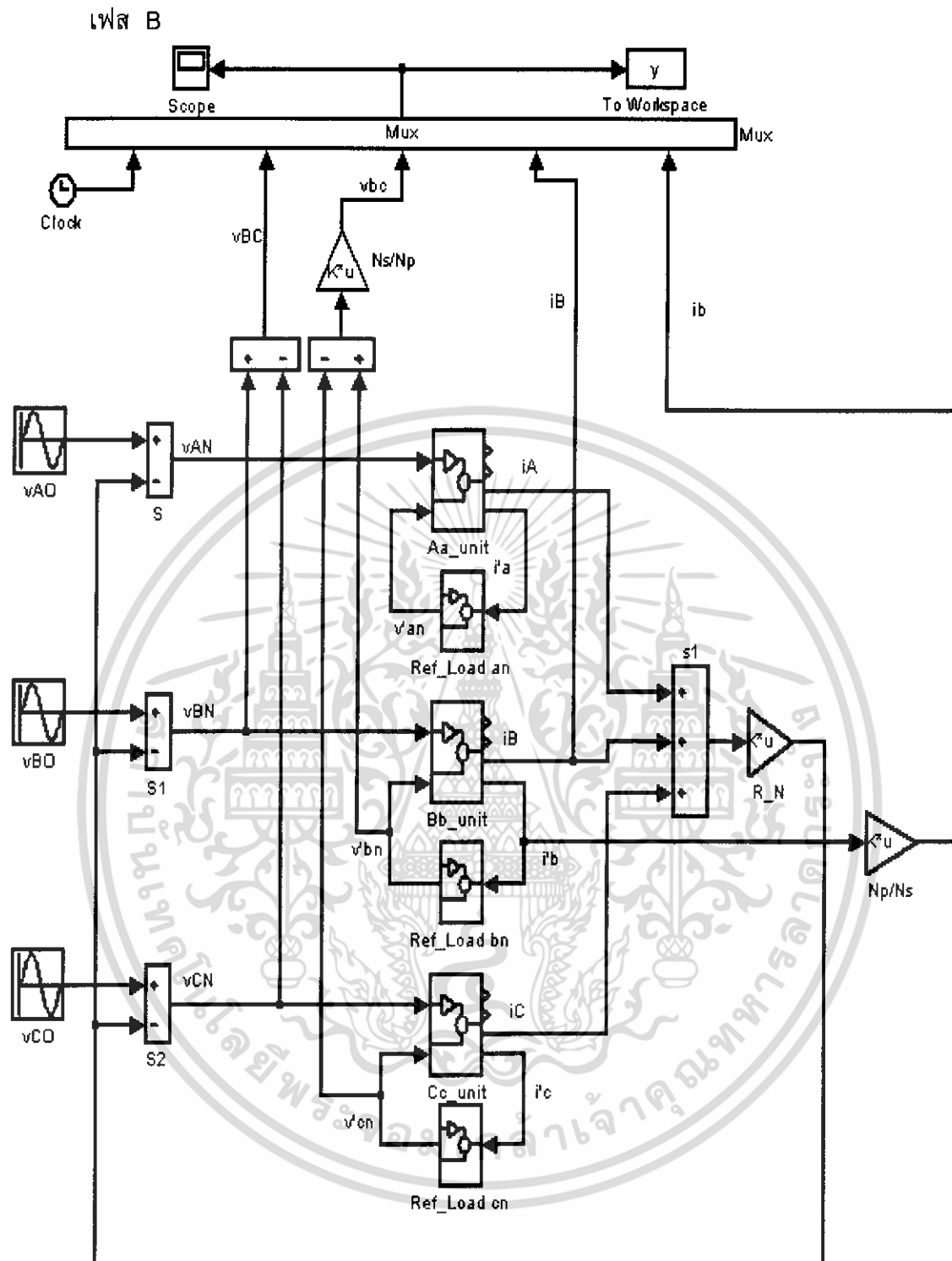
เฟส A



รูปที่ 4.2 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

แบบ $Y-Y$ เฟส A โดยใช้โปรแกรม MATLAB

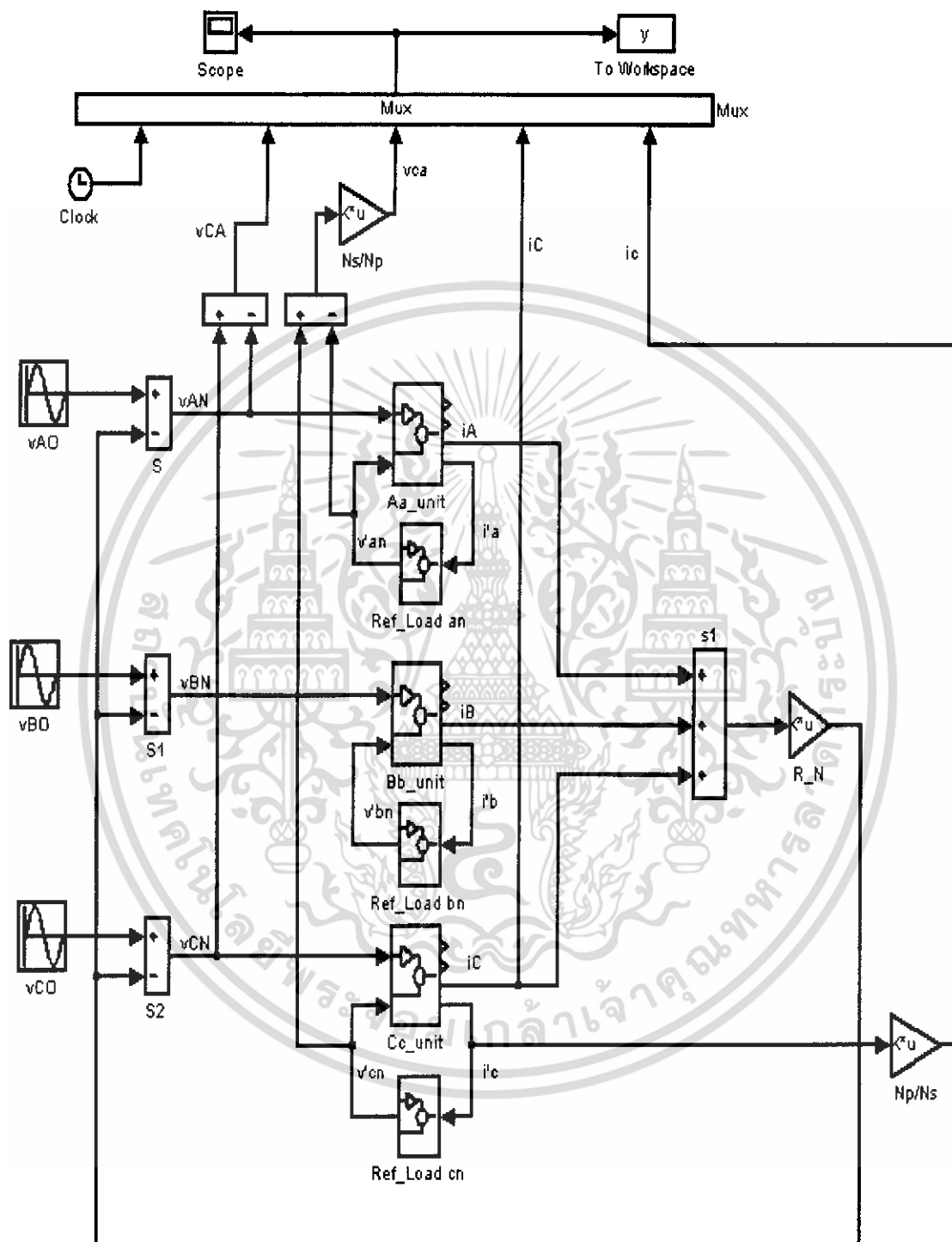
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
แบบ Y-Y เฟส B โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟส C

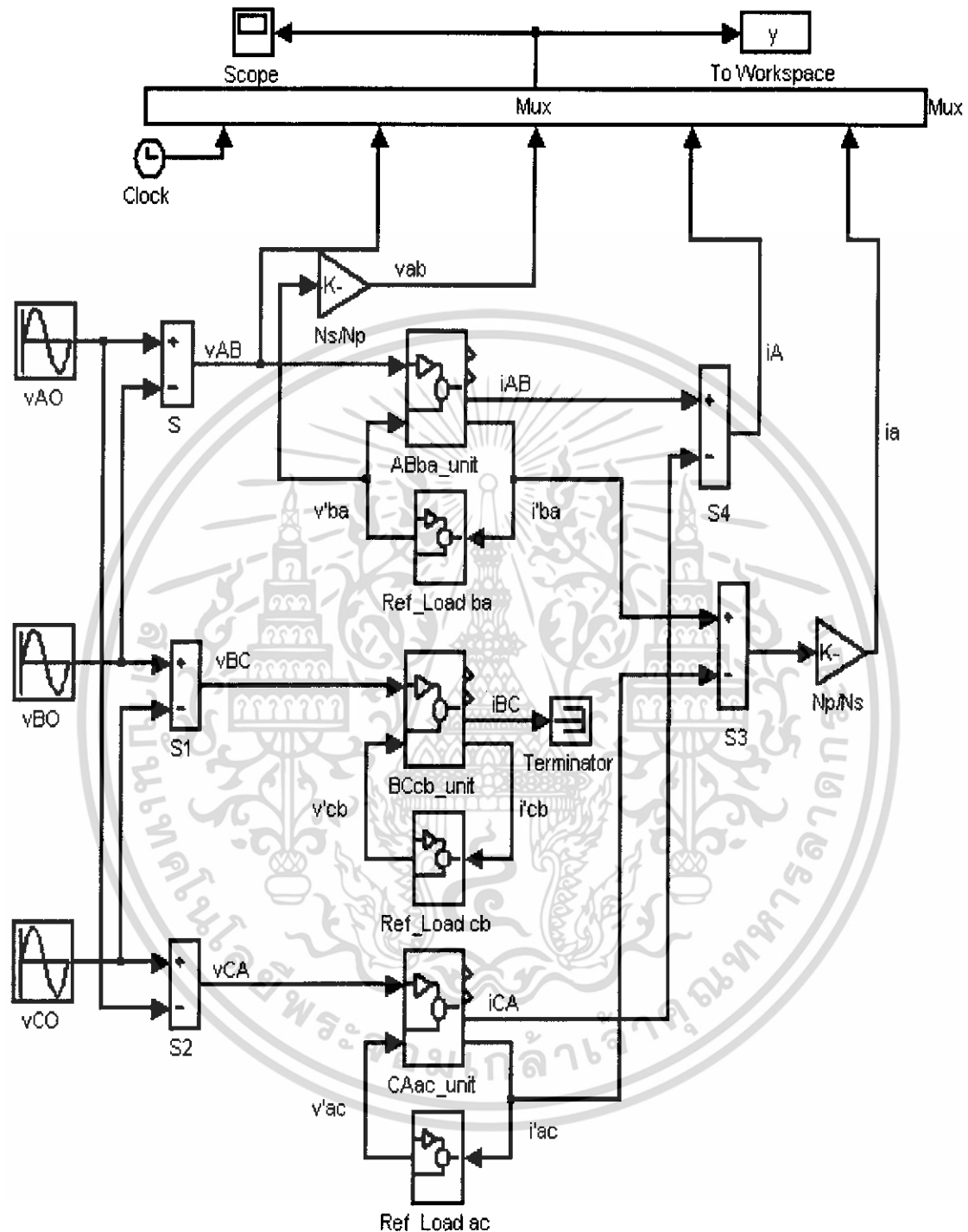


รูปที่ 4.4 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนแบบ หรือ $Y-Y$ เฟส C โดยใช้ MATLAB อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2) แบบ $\Delta - \Delta$

เฟส A

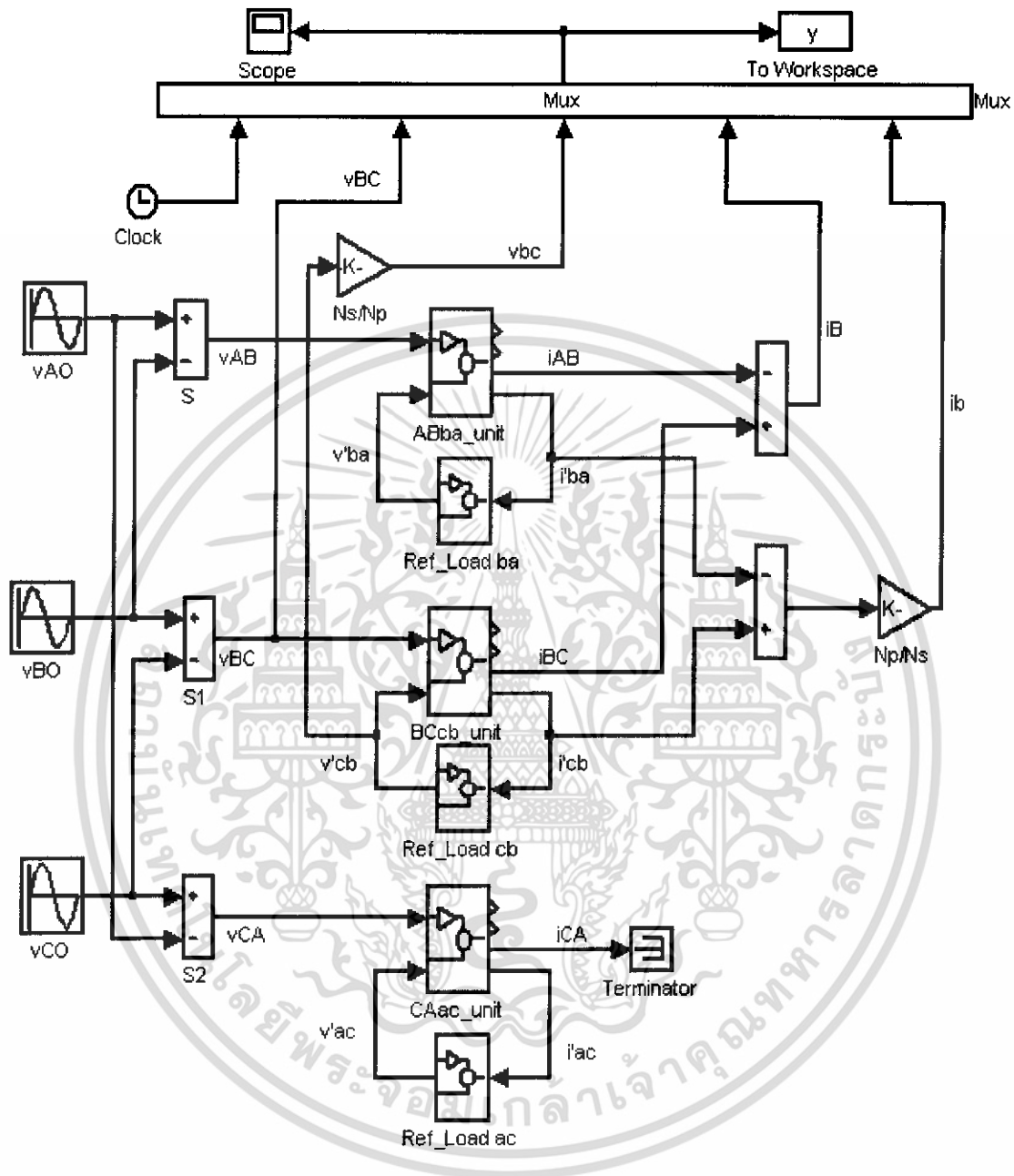


รูปที่ 4.5 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า

3 เฟส แบบ $\Delta - \Delta$ เฟส A โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

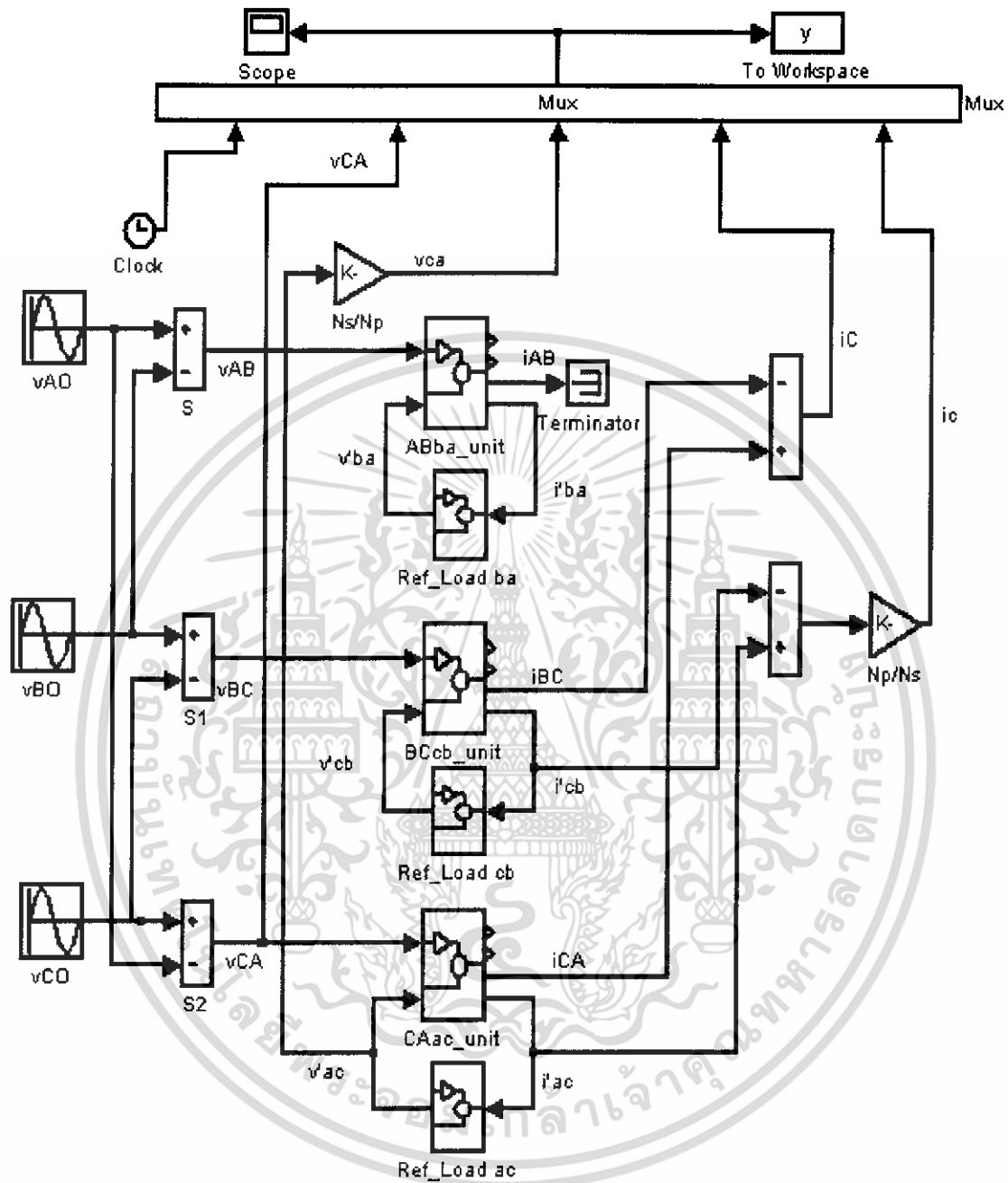
เฟส B



รูปที่ 4.6 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า
3 เฟส แบบ $\Delta-\Delta$ เฟส B โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟส C

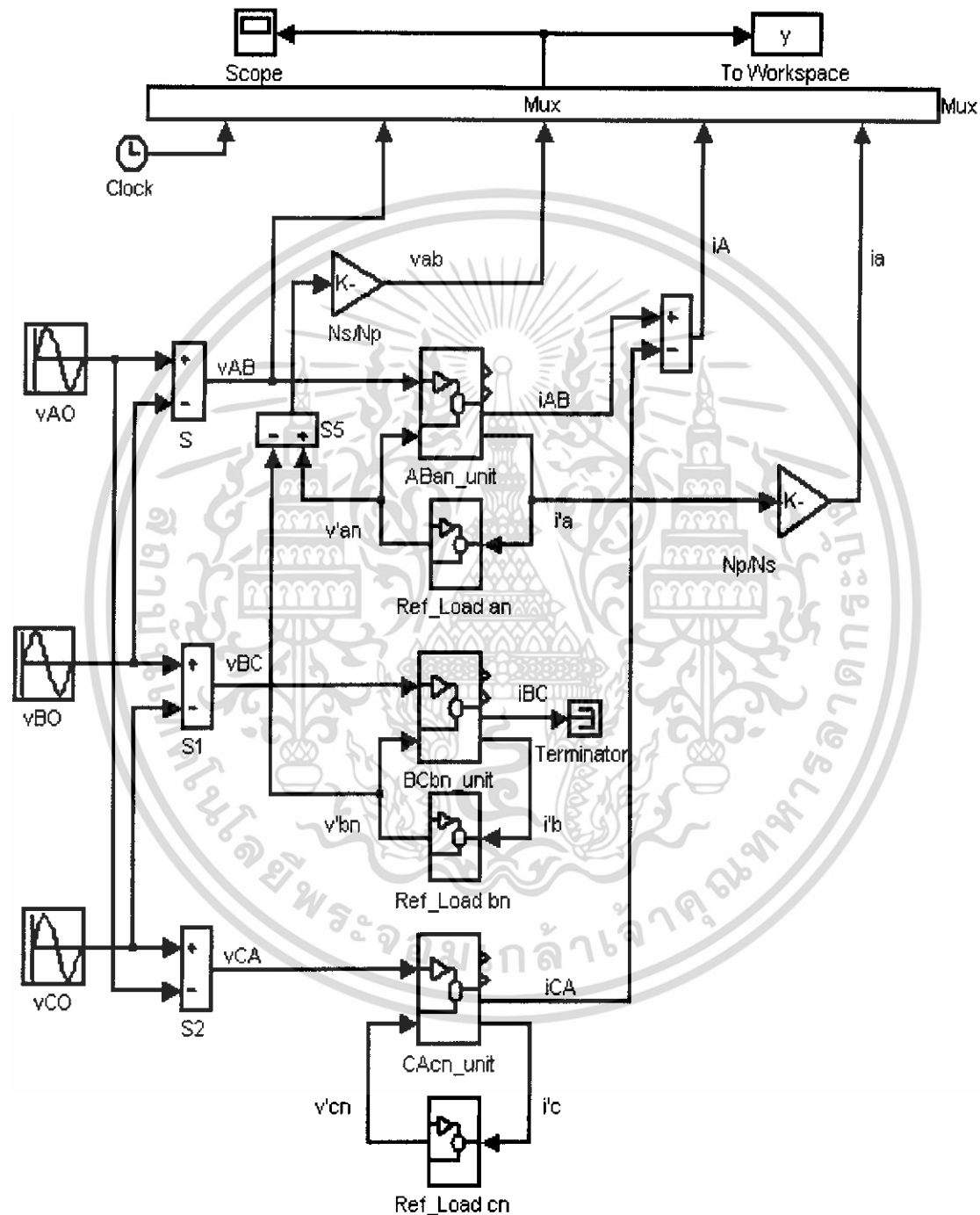


รูปที่ 4.7 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า
3 เฟส แบบ $\Delta-\Delta$ เฟส C โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3) แบบ $\Delta-Y$

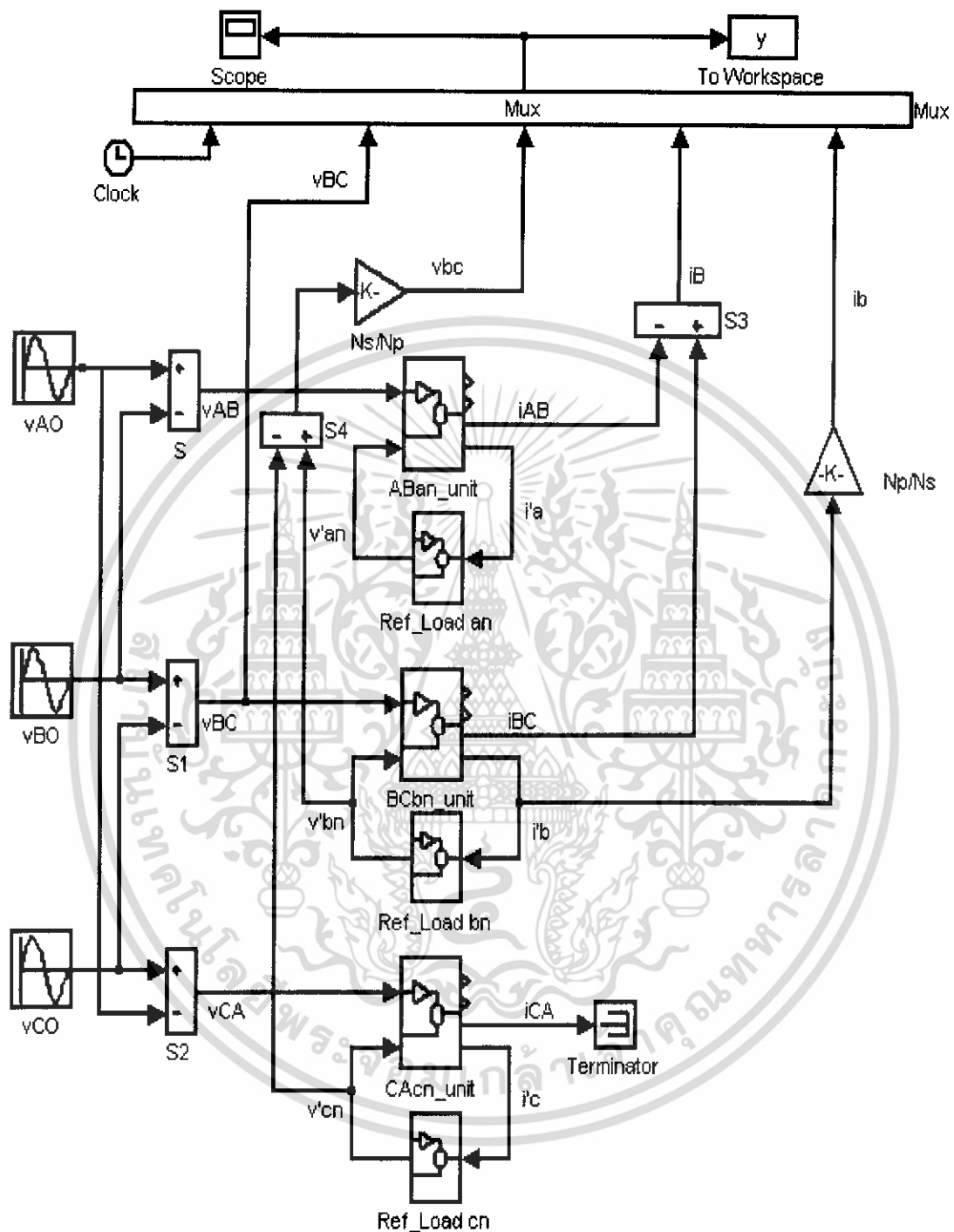
เฟส A



รูปที่ 4.8 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า
3 เฟส แบบ $\Delta-Y$ เฟส A โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

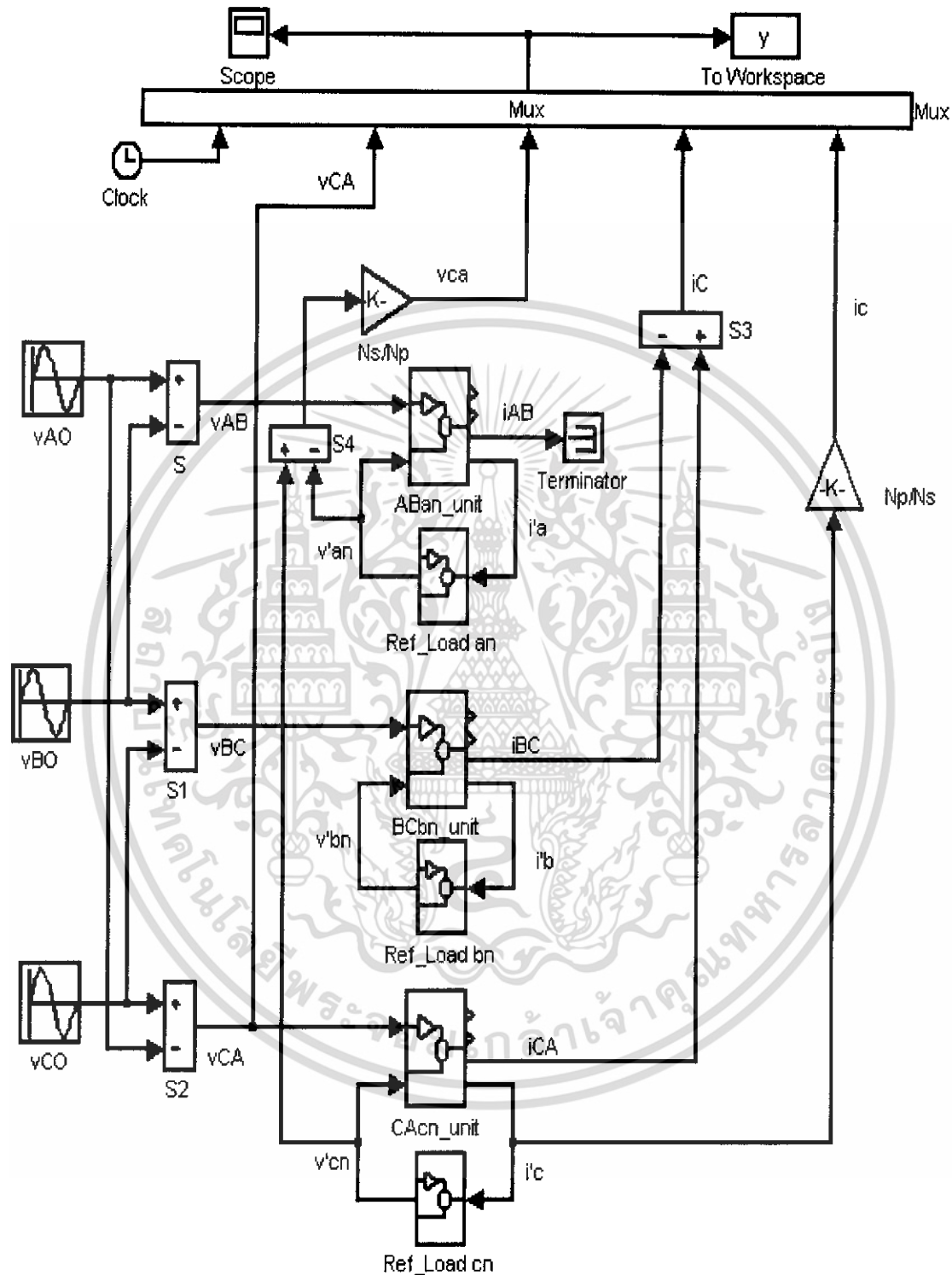
เฟส B



รูปที่ 4.9 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า
3 เฟส แบบ Δ -Y เฟส B โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟส C

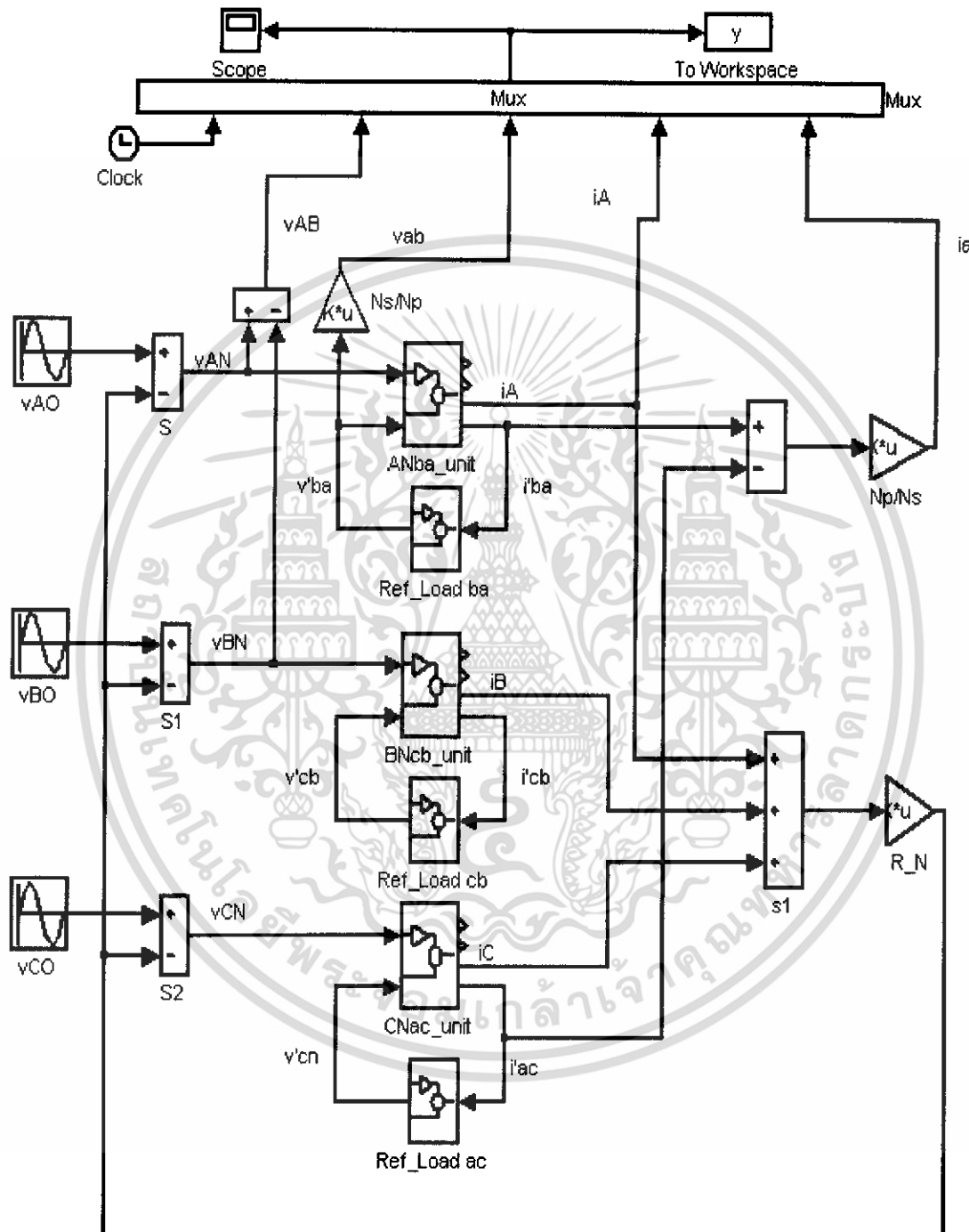


รูปที่ 4.10 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า
3 เฟส แบบ Δ - Y เฟส C โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4) แบบ $Y-\Delta$

เฟส A

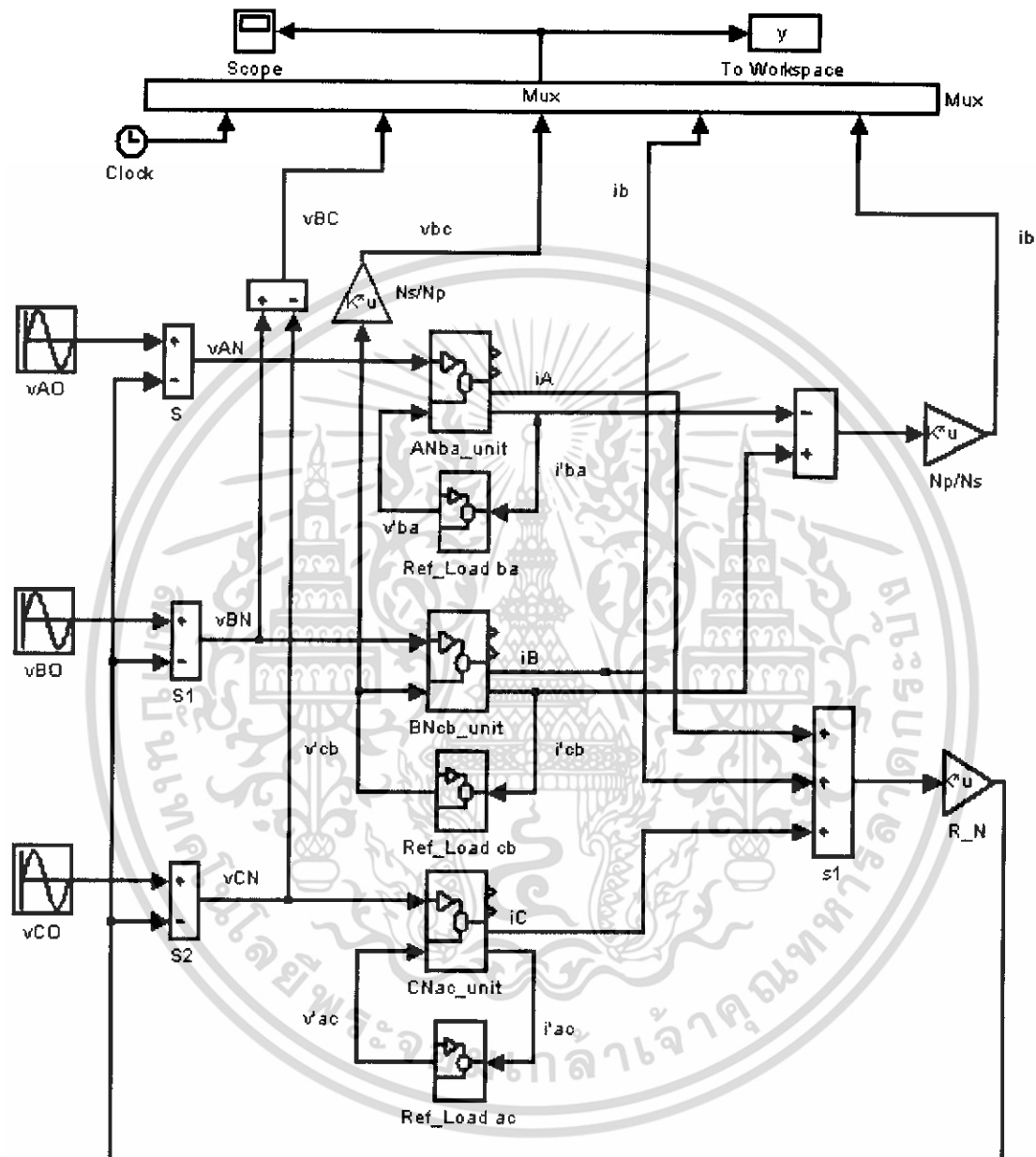


รูปที่ 4.11 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า

3 เฟส แบบ $Y-\Delta$ เฟส A โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

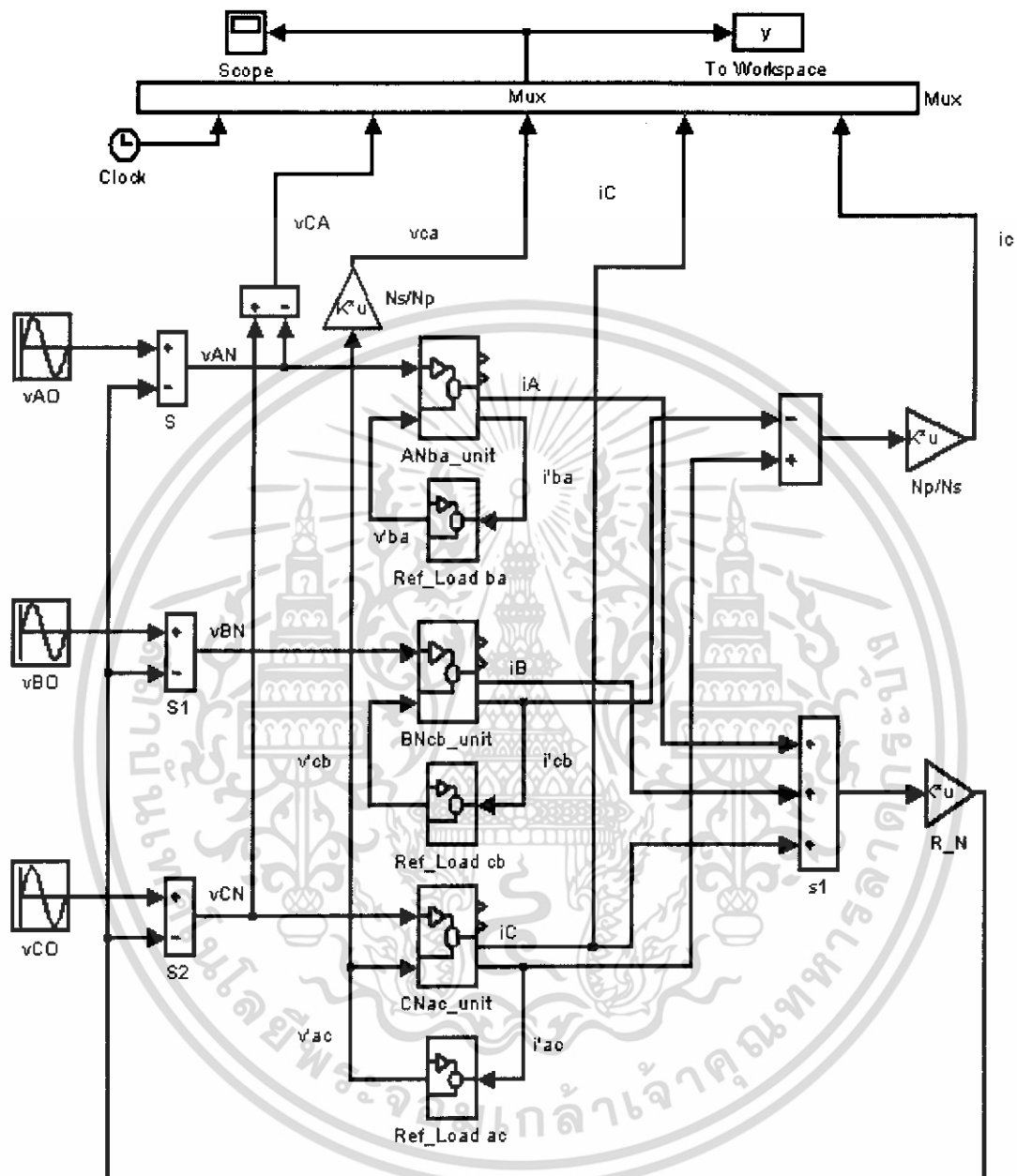
เฟส B



รูปที่ 4.12 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า
3 เฟส แบบ $Y-\Delta$ เฟส B โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟส C



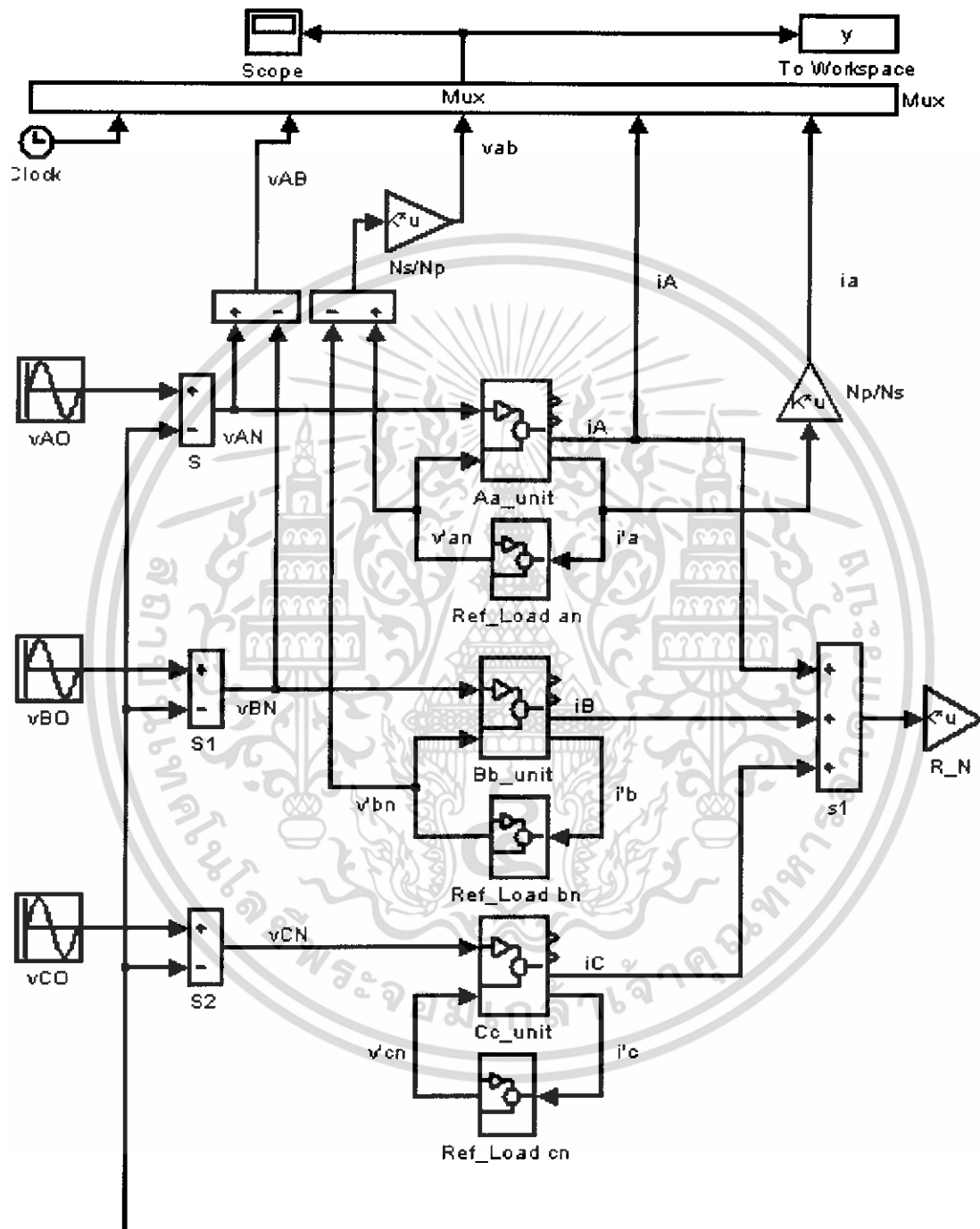
รูปที่ 4.13 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า
3 เฟส แบบ $Y-\Delta$ เฟส C โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยก เวกเตอร์กรุป โดยใช้โปรแกรม MATLAB

4.3.1) Y_{y0}

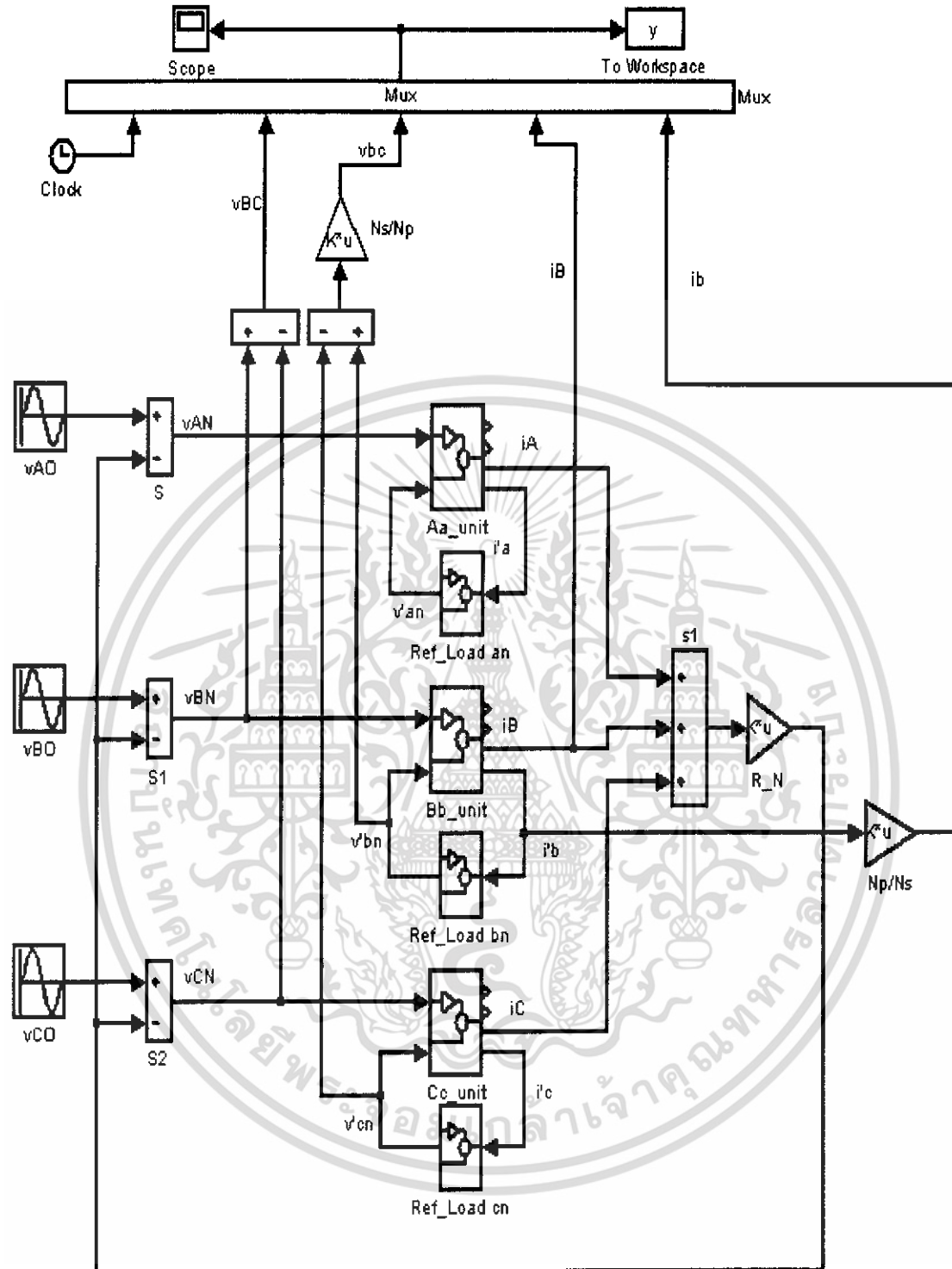
เฟส A



รูปที่ 4.14 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
 แยกเวกเตอร์กรุปแบบ Y_{y0} เฟส A โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

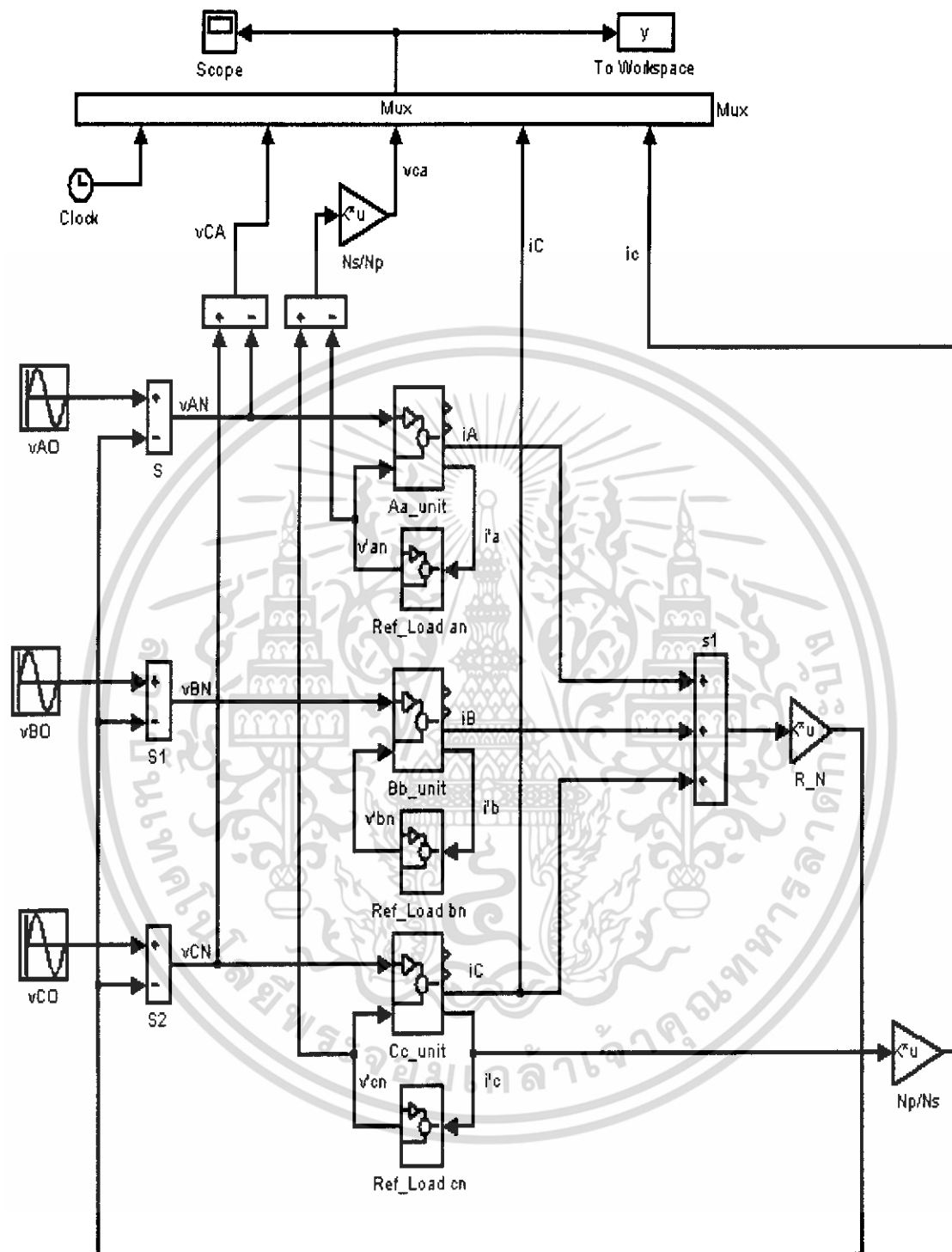
เฟส B



รูปที่ 4.15 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
แยกเวกเตอร์รูปแบบ $Yy0$ เฟส B โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟส C



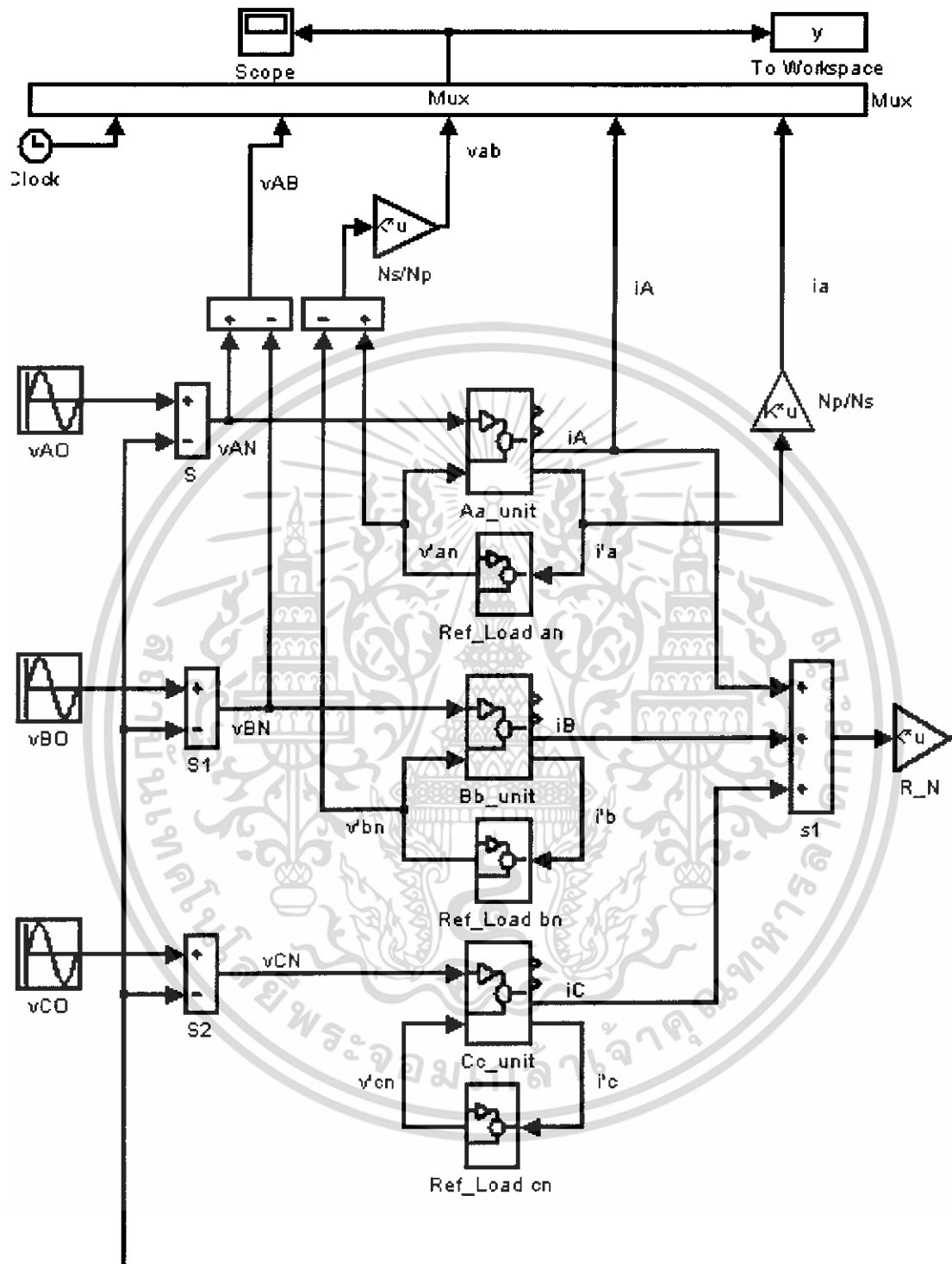
รูปที่ 4.16 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

แยกแวกเตอร์กรุปแบบ $Yy0$ เฟส C โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2) Yy6

เฟส A

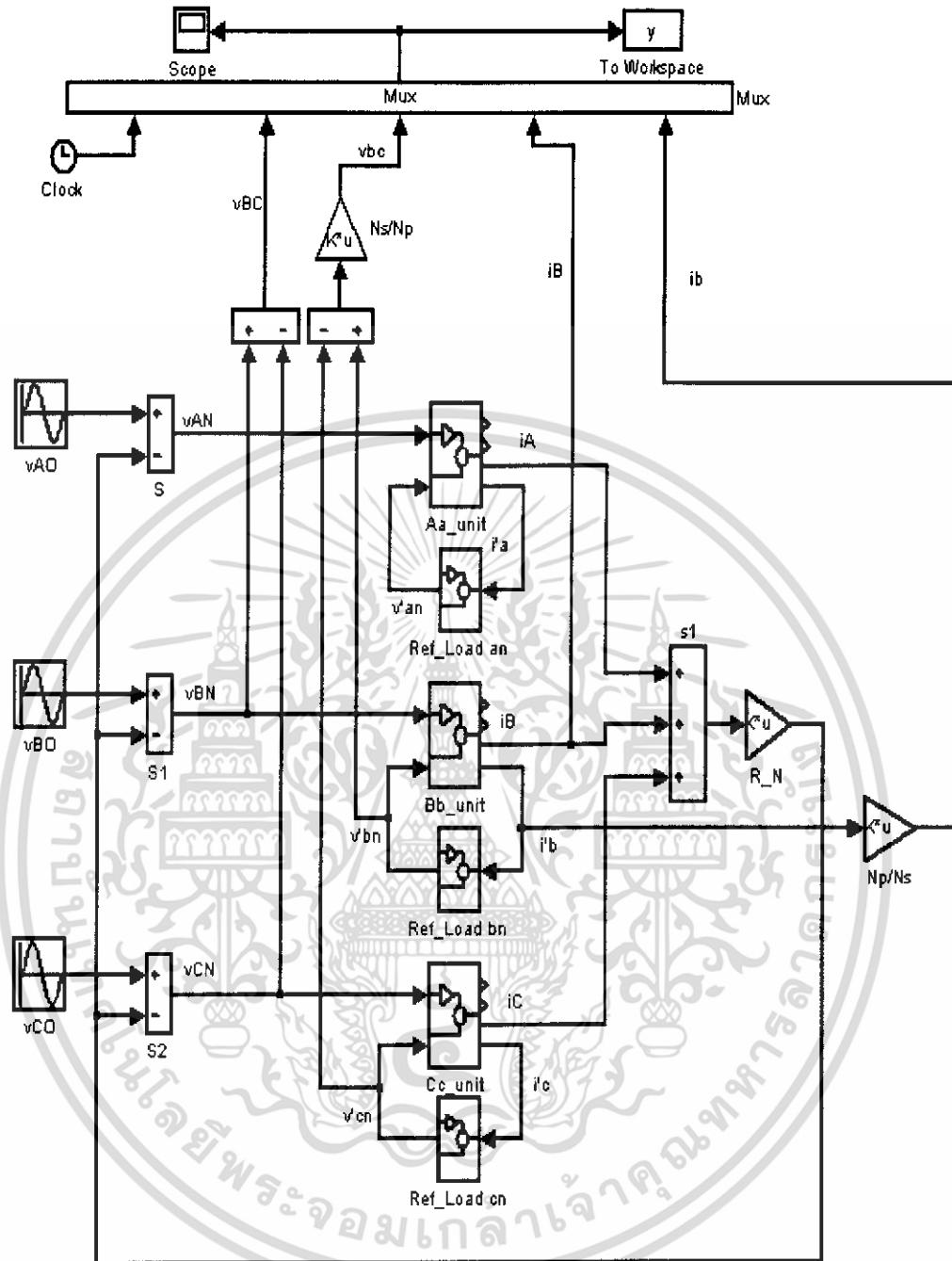


รูปที่ 4.17 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yy6 เฟส A โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

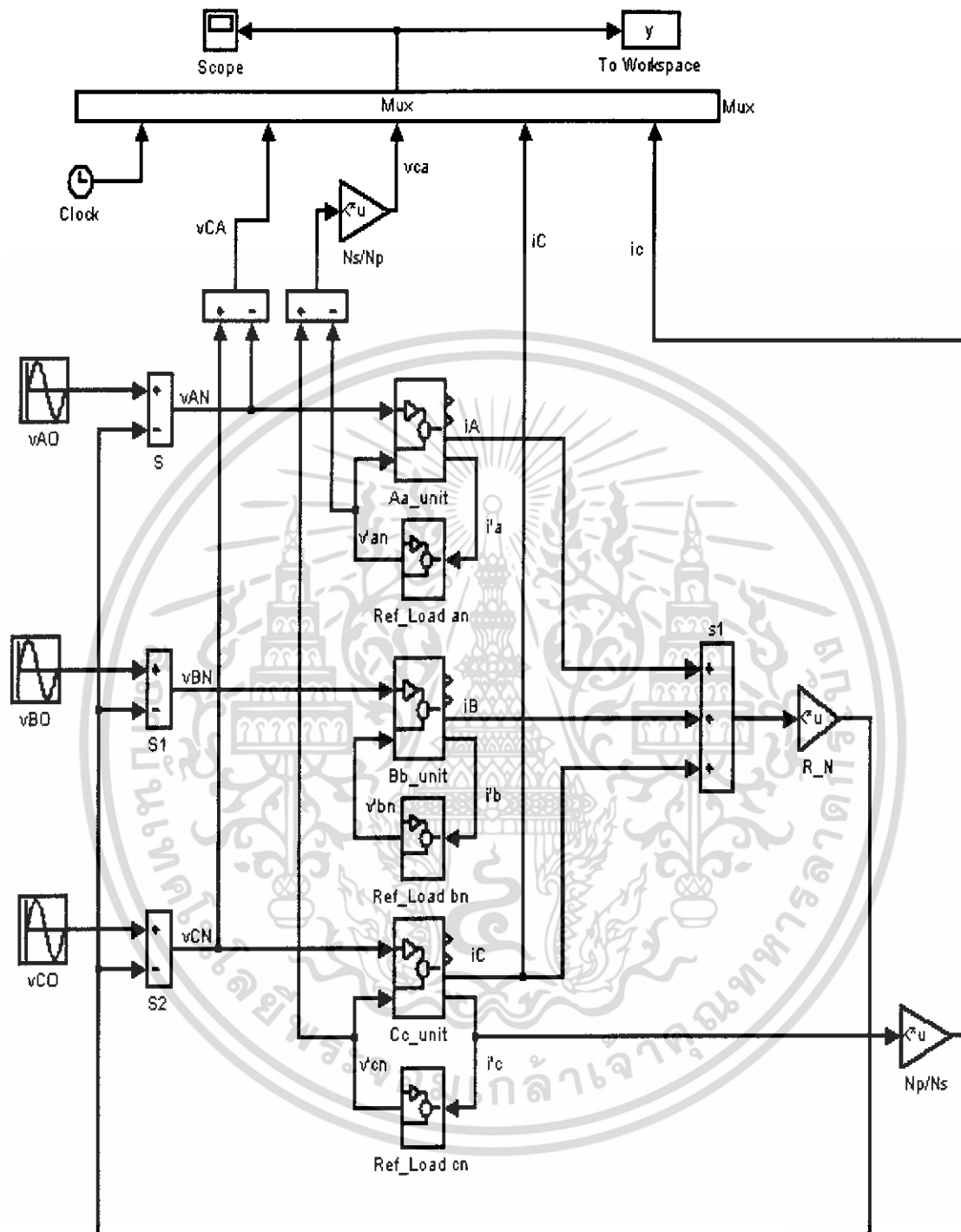
เฟส B



รูปที่ 4.18 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yy6 เฟส B โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟส C



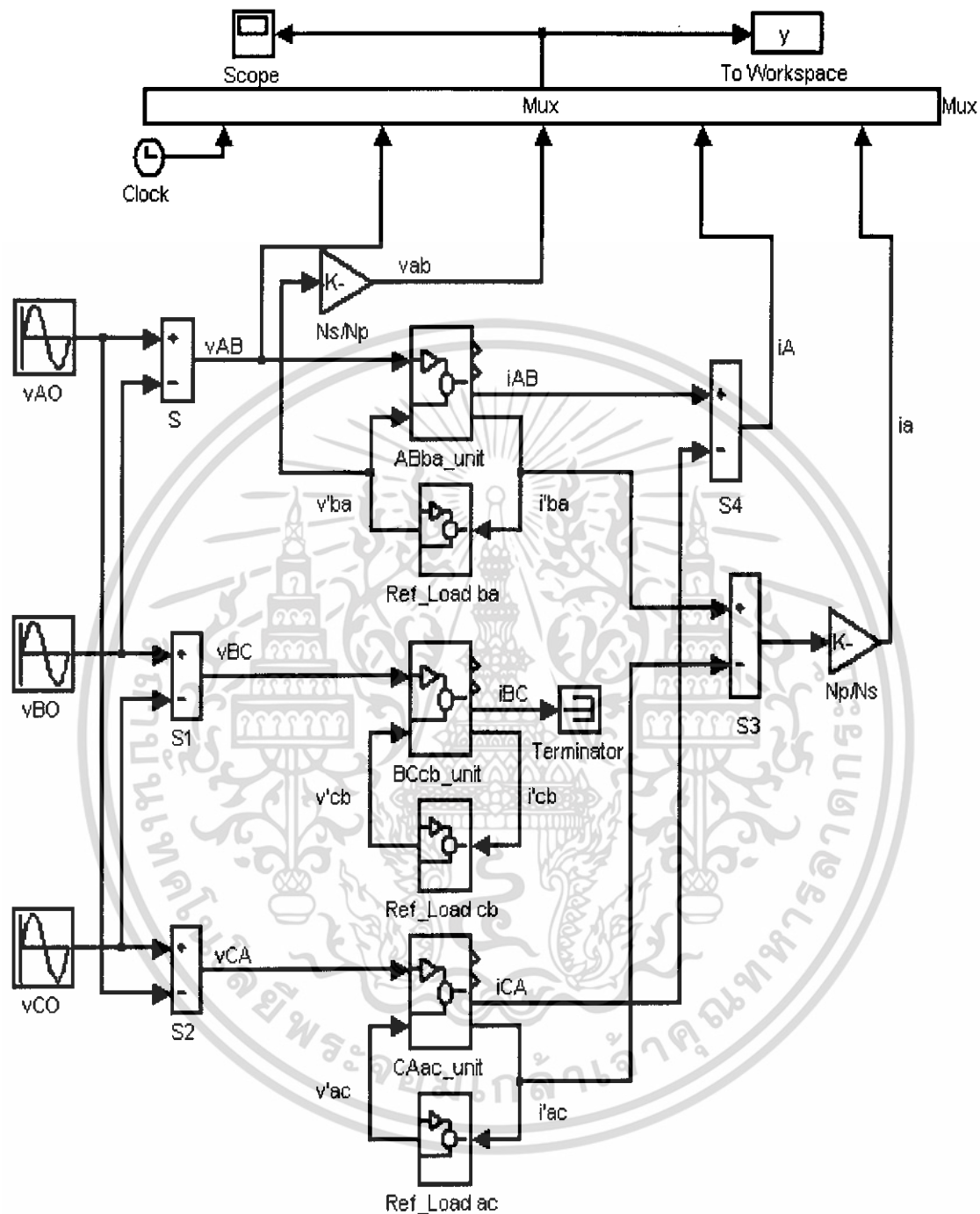
รูปที่ 4.19 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yy_6 เฟส C โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3) Dd0

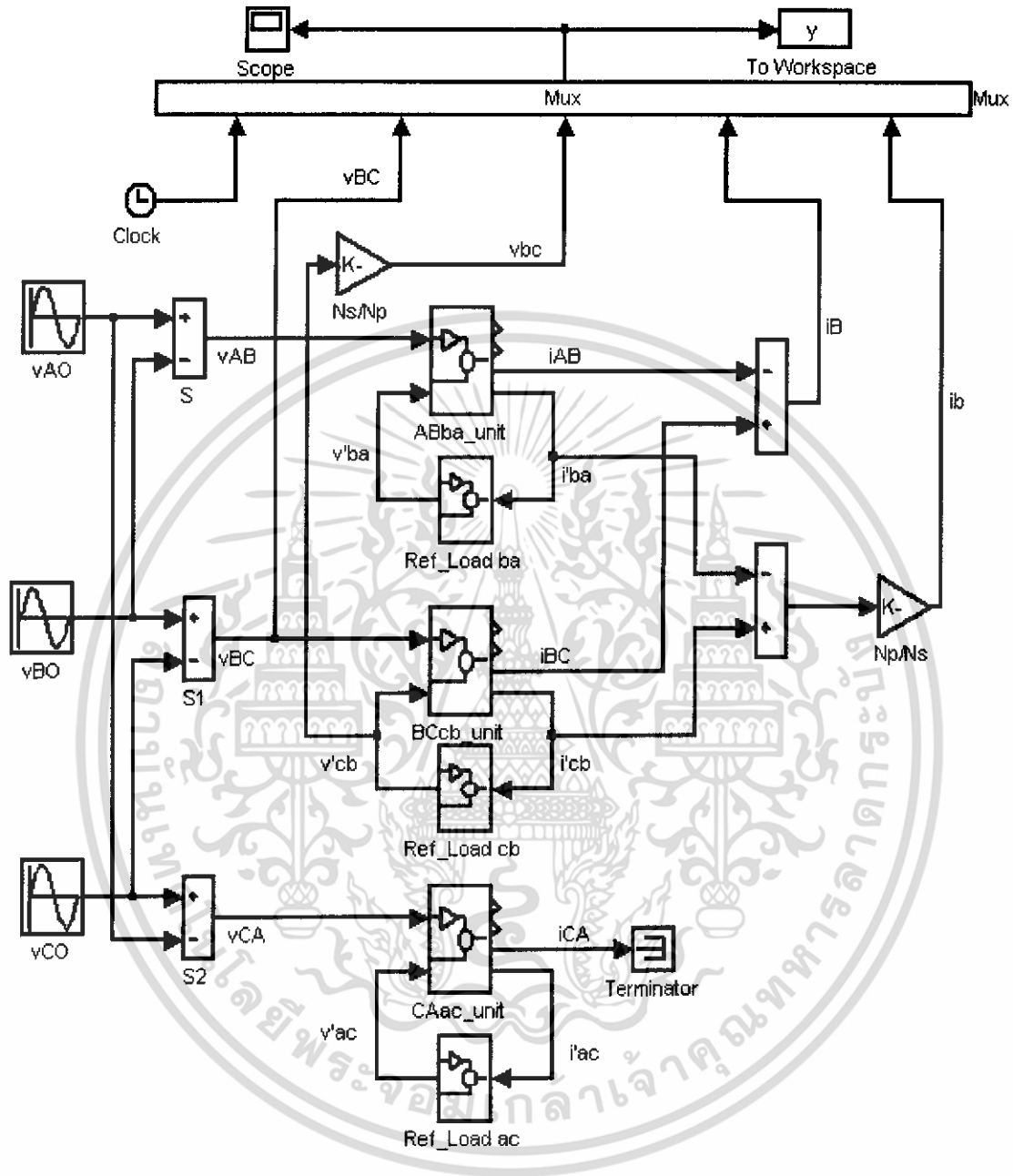
เฟส A



รูปที่ 4.20 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
แยกแวกเตอร์รูปแบบ Dd0 เฟส A โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

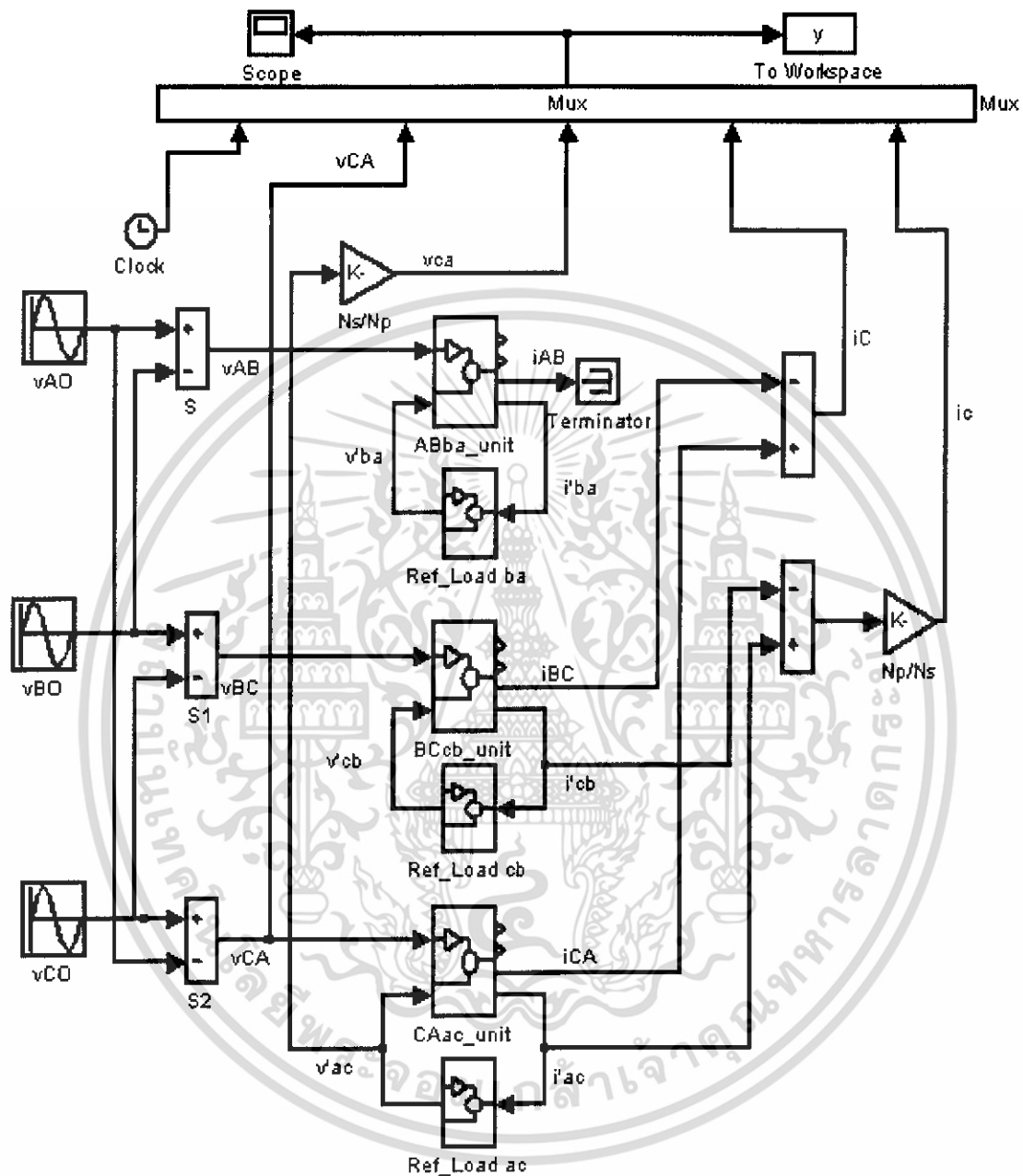
เฟส B



รูปที่ 4.21 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
แยกแวกเตอร์รูปแบบ Dd0 เฟส B โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟส C

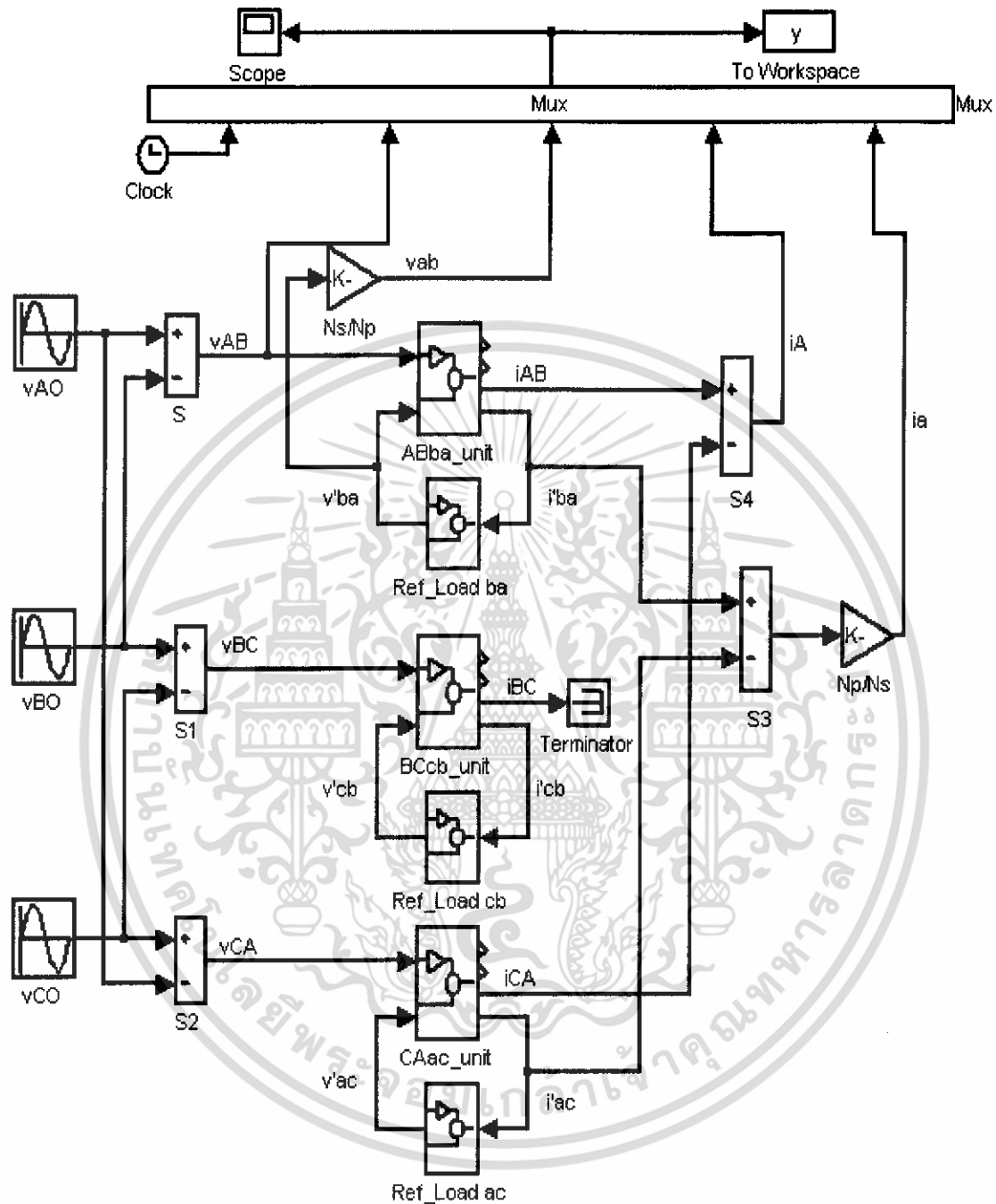


รูปที่ 4.22 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
แยกแวกเตอร์รูปแบบ Dd0 เฟส C โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.4) Dd6

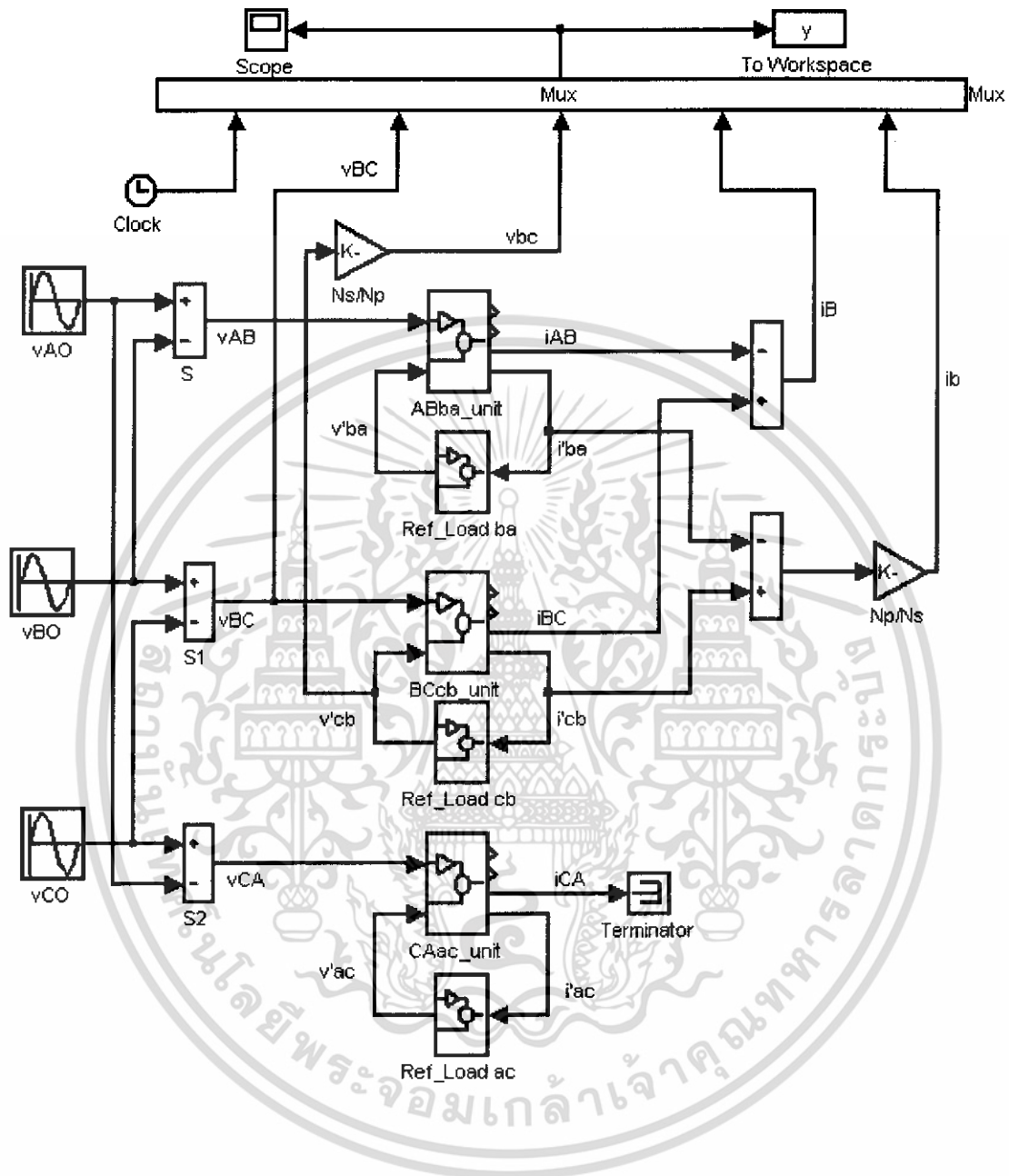
เฟส A



รูปที่ 4.23 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dd6 เฟส A โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

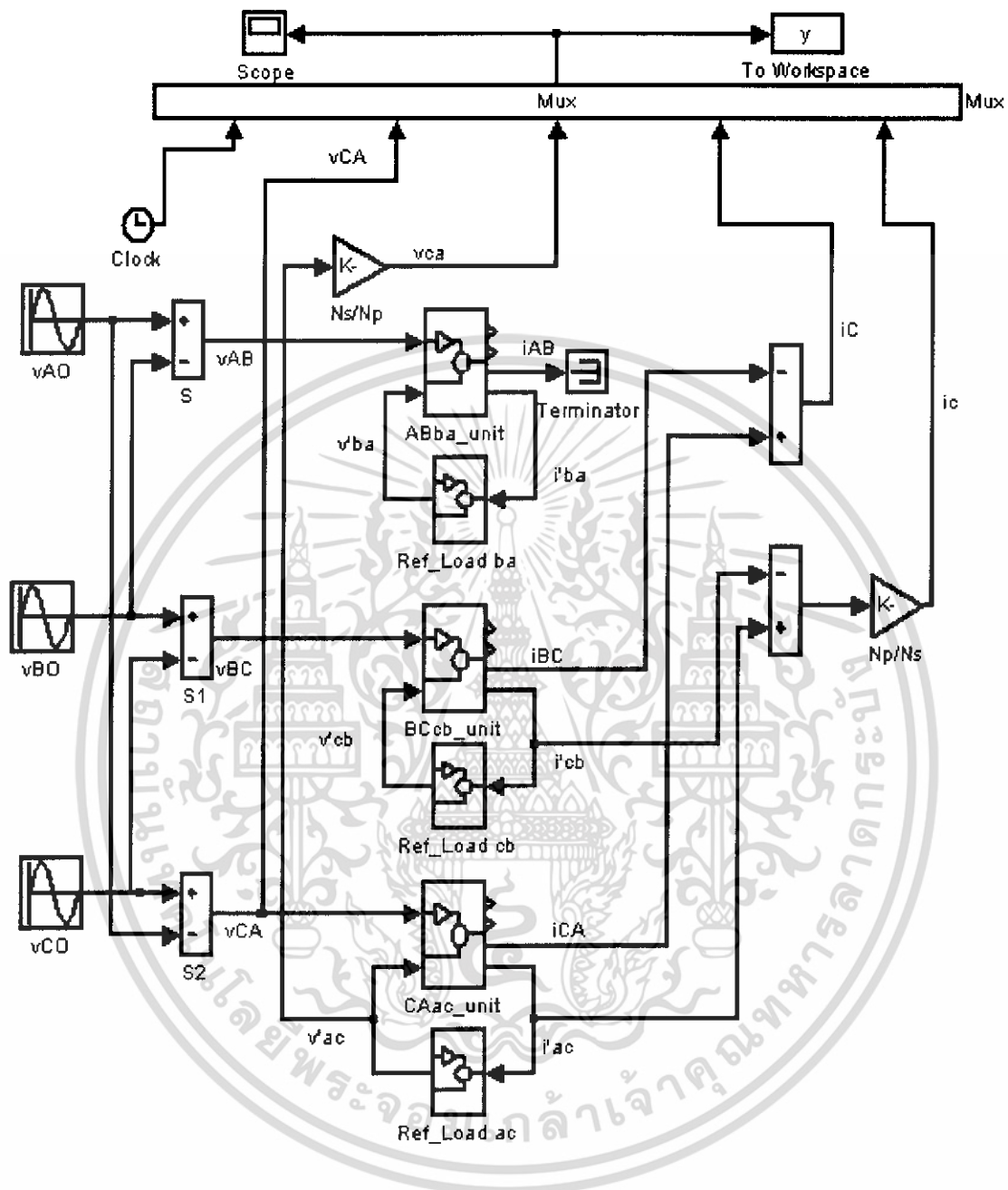
เฟส B



รูปที่ 4.24 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
แยกเวกเตอร์กรุปแบบ Dd6 เฟส B โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟส C

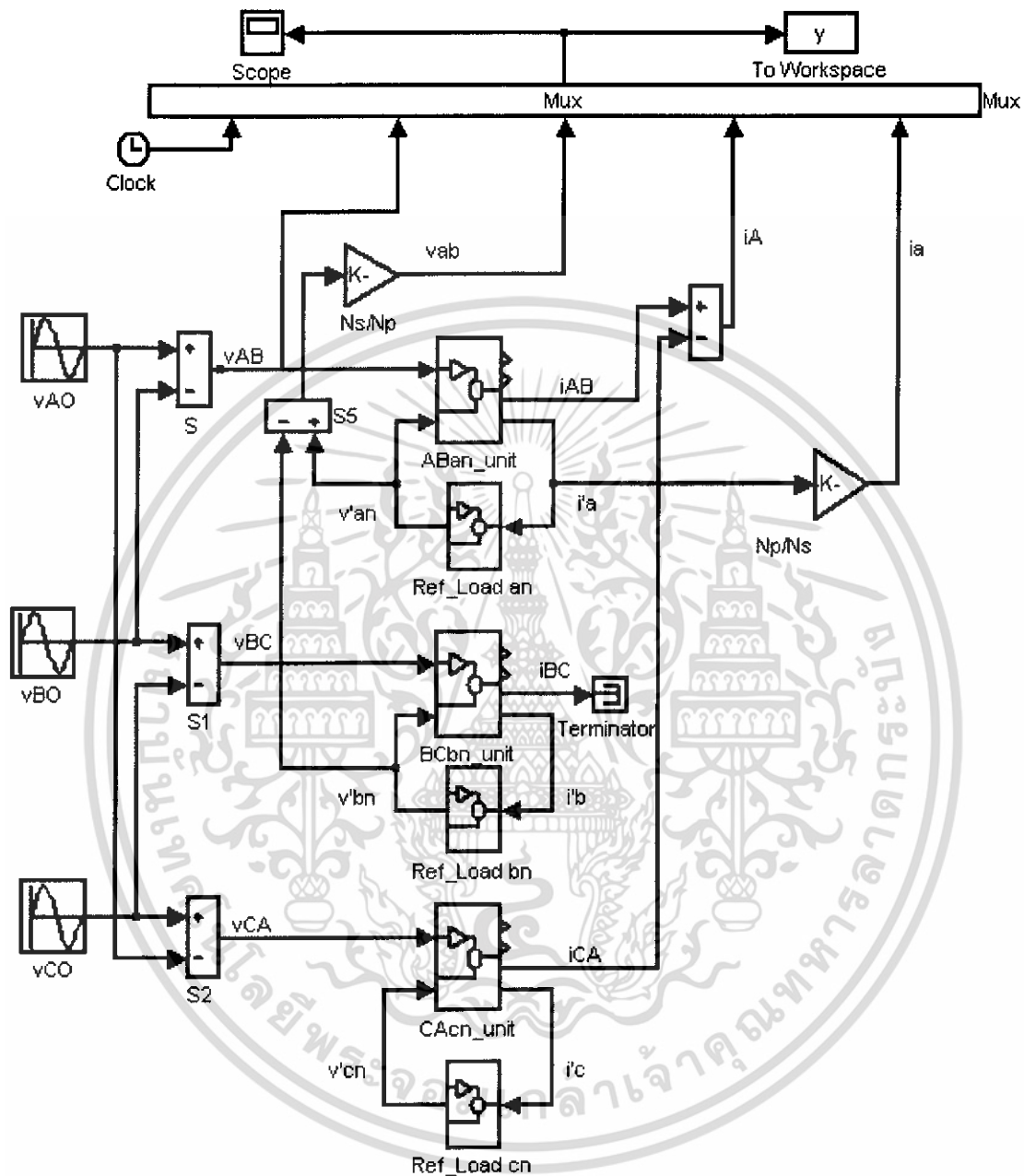


รูปที่ 4.25 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
แยกแวกเตอร์รูปแบบ Dd6 เฟส C โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.5) Yd1

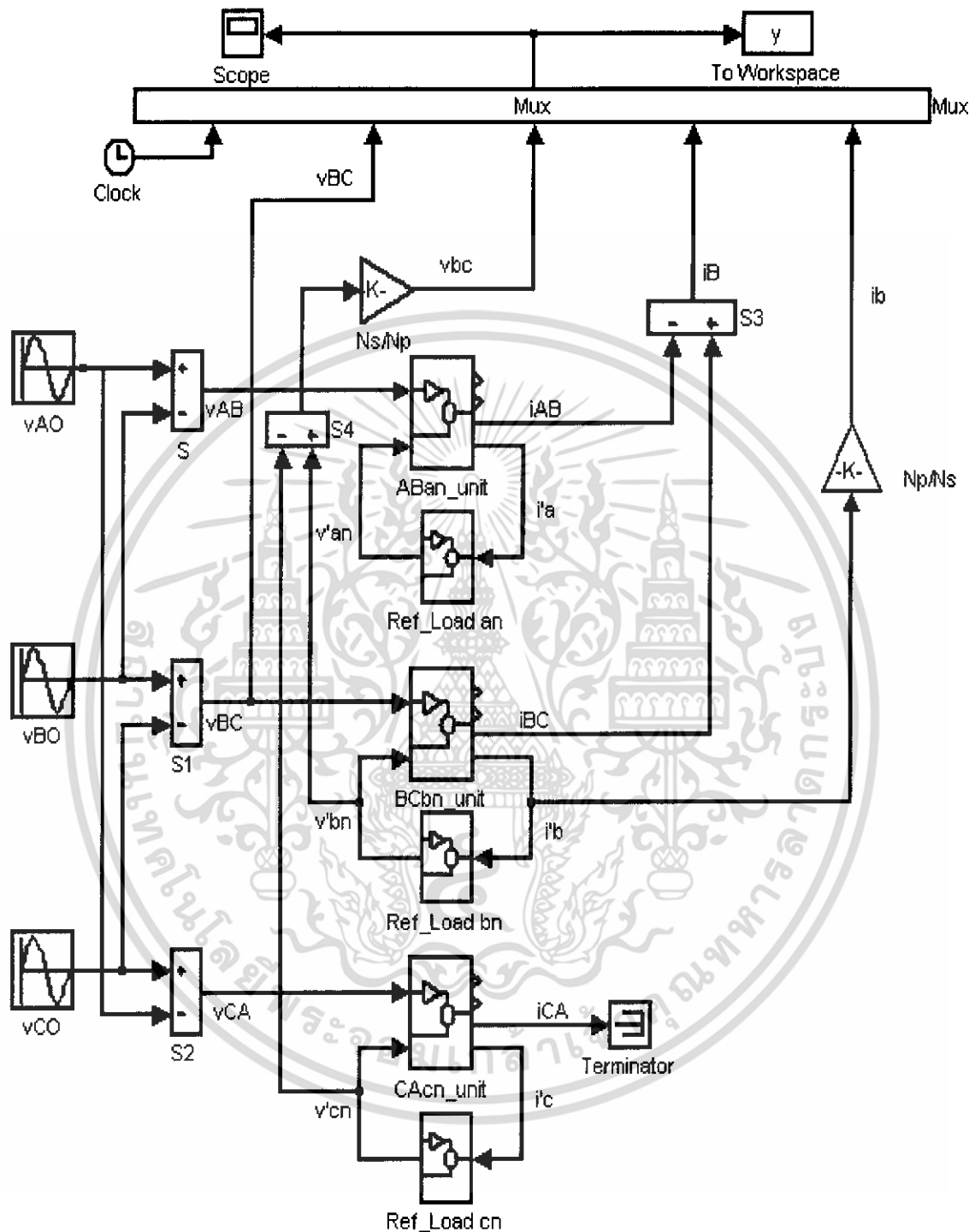
เฟส A



รูปที่ 4.26 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yd1 เฟส A โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

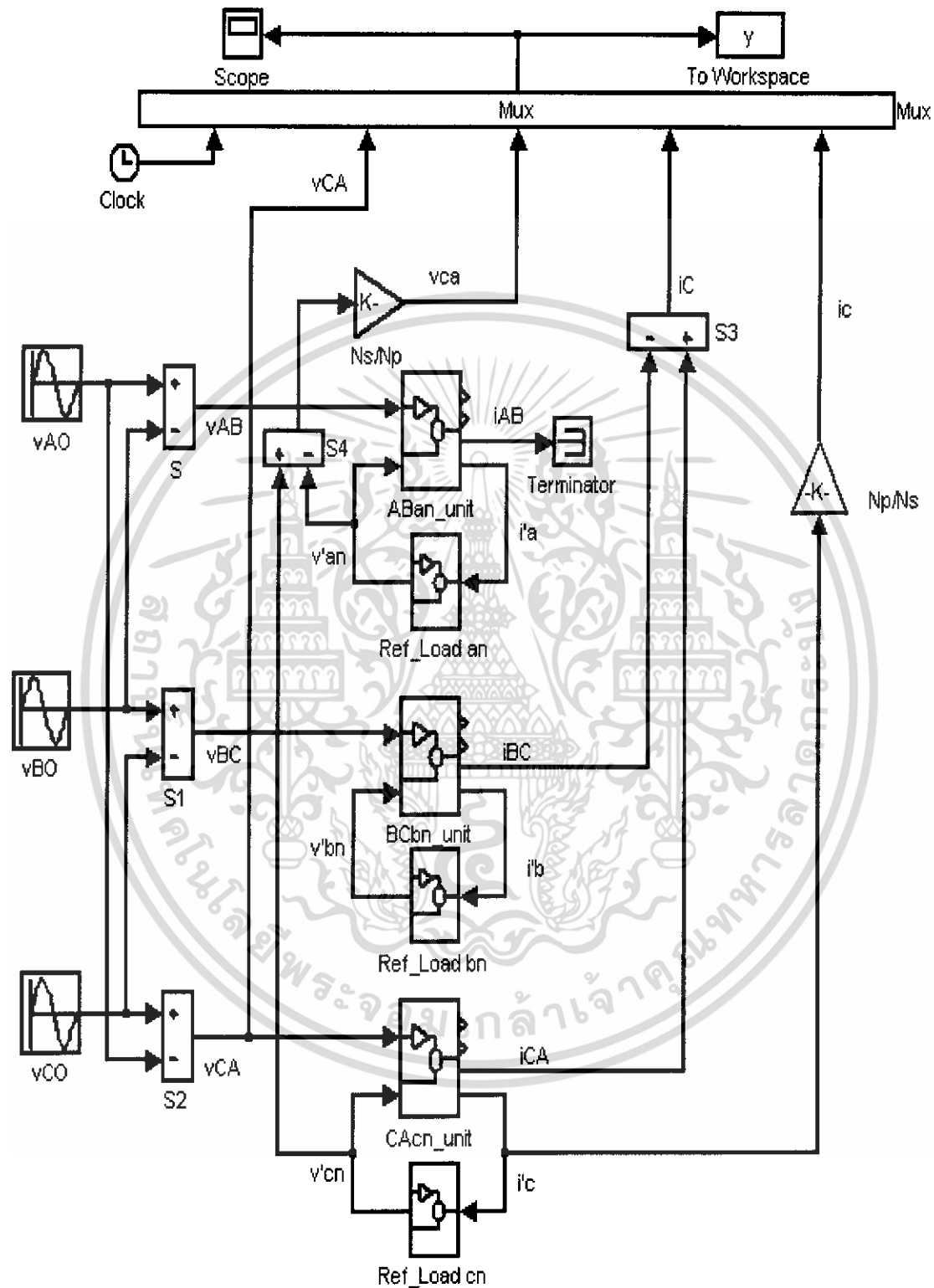
เฟส B



รูปที่ 4.27 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yd1 เฟส B โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟส C

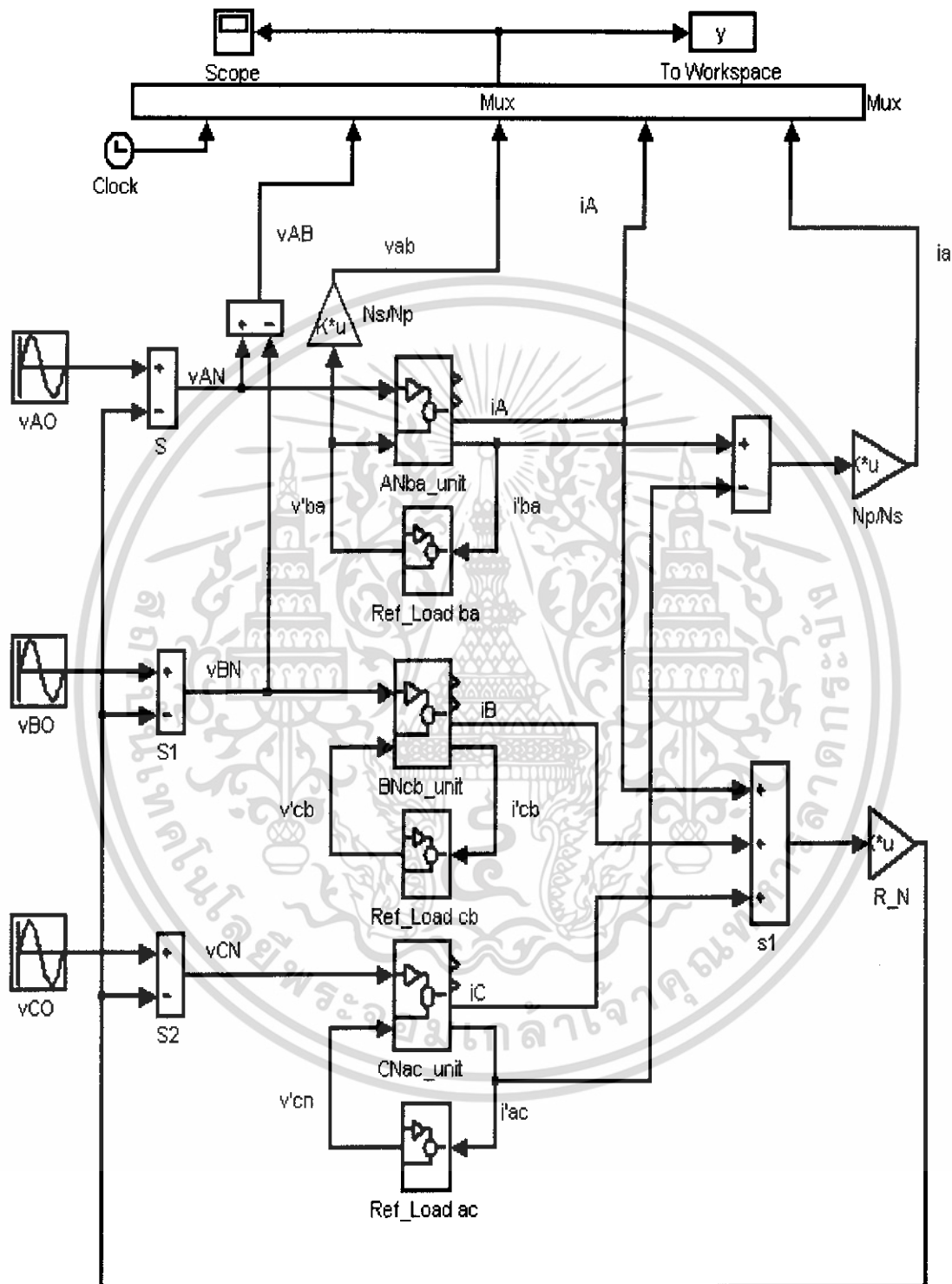


รูปที่ 4.28 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
แยกแวกเตอร์กรุปแบบ $Yd1$ เฟส C โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.6) Dy11

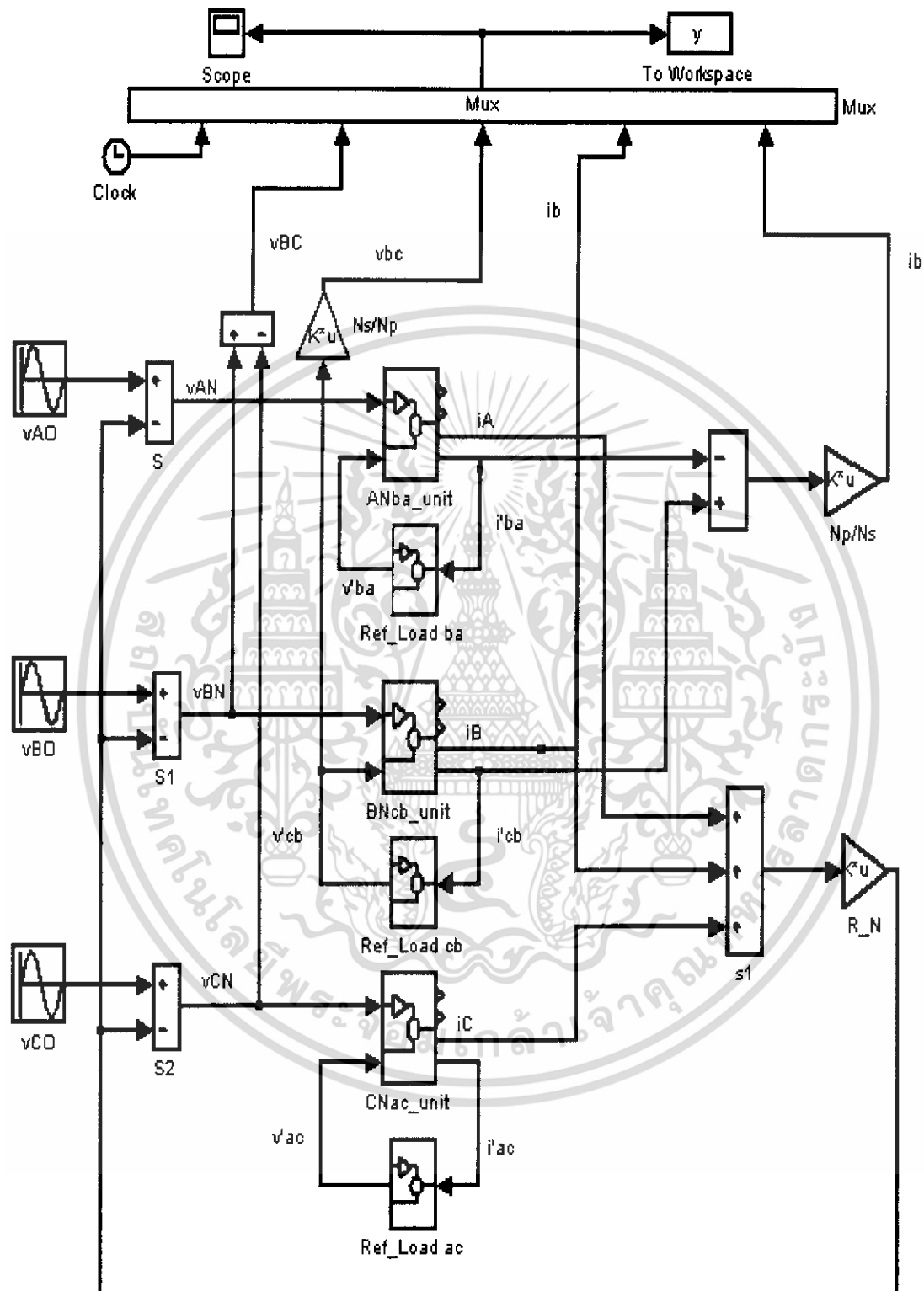
เฟส A



รูปที่ 4.29 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dy11 เฟส A โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

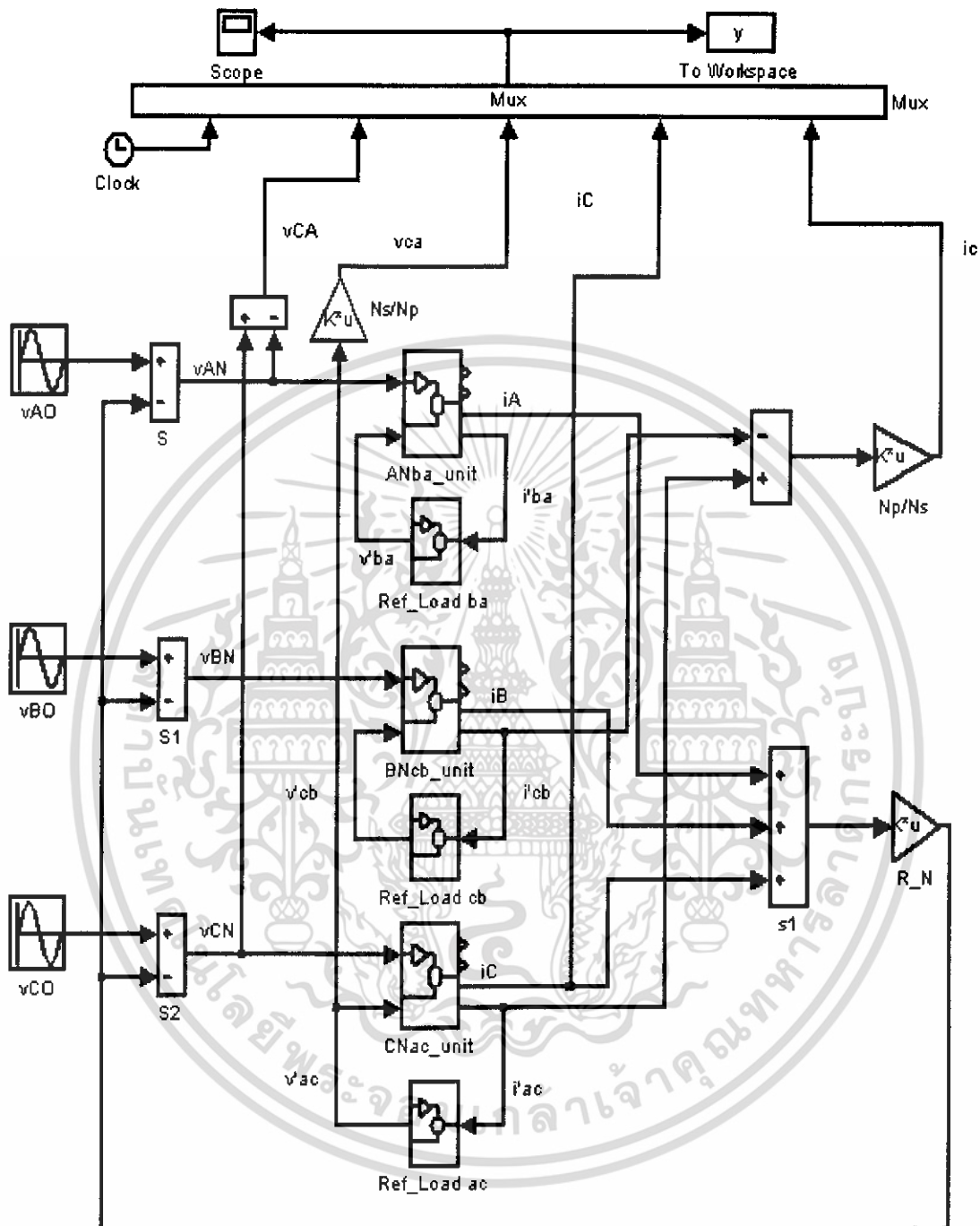
เฟส B



รูปที่ 4.30 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส
แยกเวกเตอร์กรุปแบบ Dy11 เฟส B โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟส C



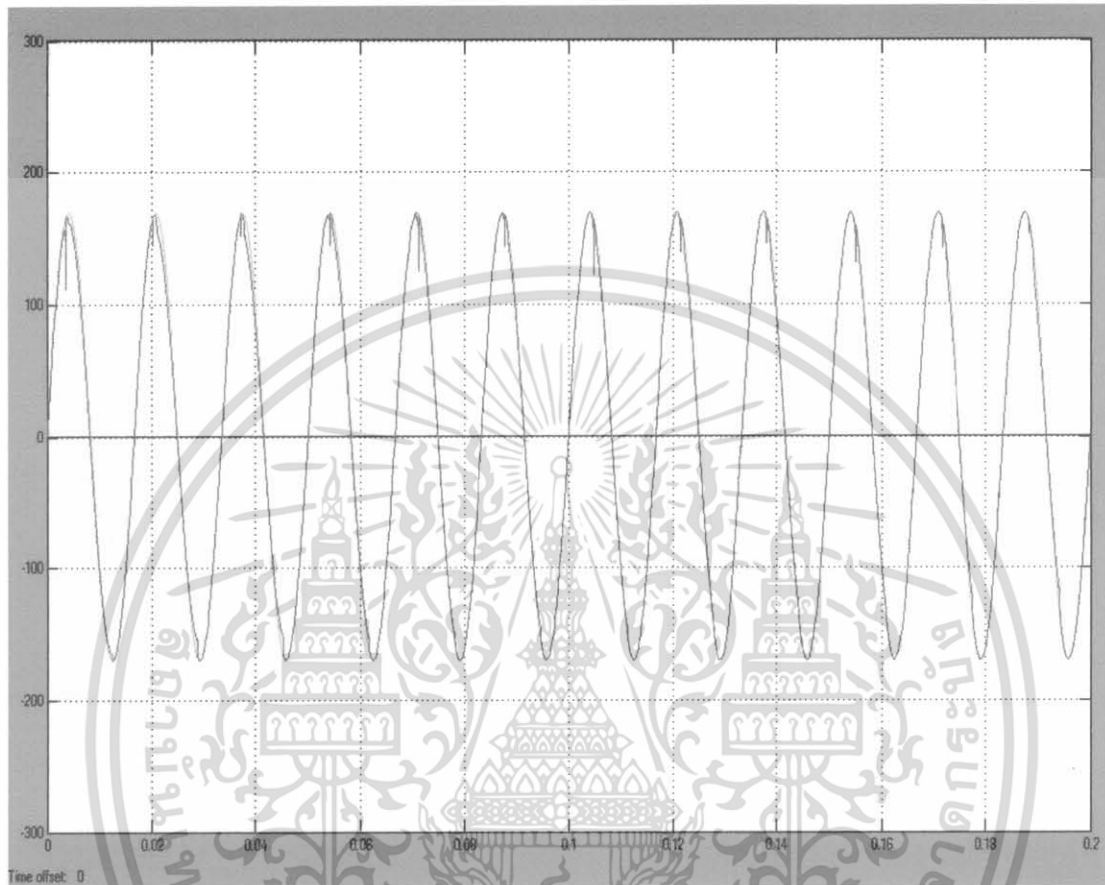
รูปที่ 4.31 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกเวคเตอร์กรุปแบบ Dy11 เฟส C โดยใช้ MATLAB

หมายเหตุ สำหรับการต่อเวคเตอร์กรุปแบบ Yd11 และ Dy1 ไม่สามารถที่จะทำการจำลองระบบได้ เพราะมีความจำกัดในค่าพารามิเตอร์ที่ได้กำหนดมาในแบบจำลองการต่อหม้อแปลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลอง

4.4.1) การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส

2 ขดลวดโดยใช้ MATLAB



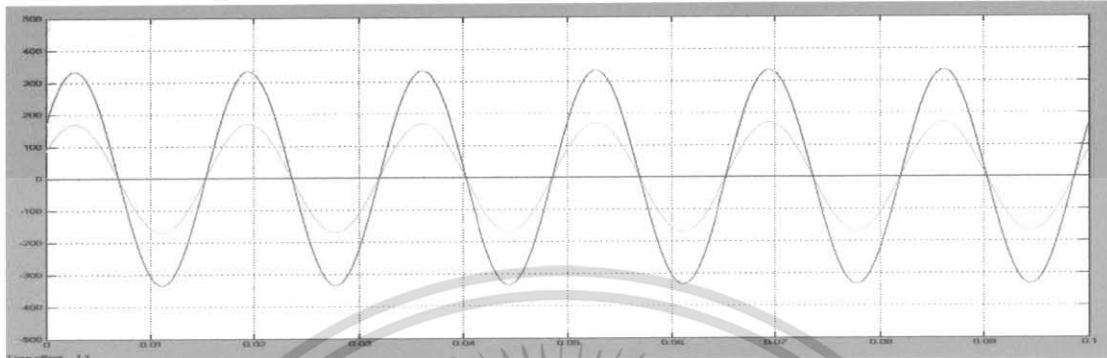
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ขดลวด โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2) การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส โดยใช้โปรแกรม MATLAB

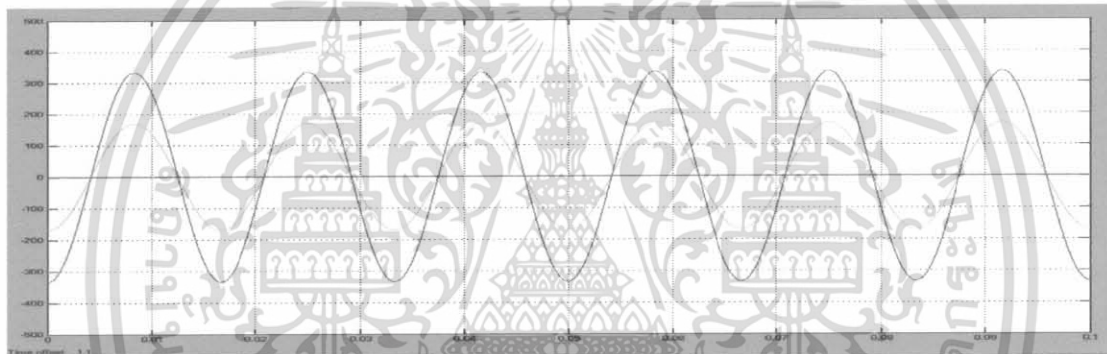
4.4.2.1) แบบ $Y-Y$

เฟส A



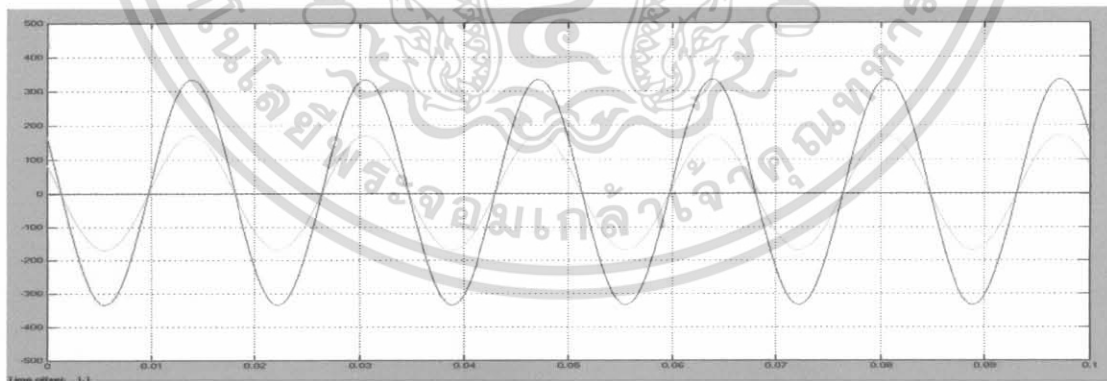
(a) กราฟแรงดันเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ $Y-Y$

เฟส B



(b) กราฟแรงดันเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ $Y-Y$

เฟส C



(c) กราฟแรงดันเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ $Y-Y$

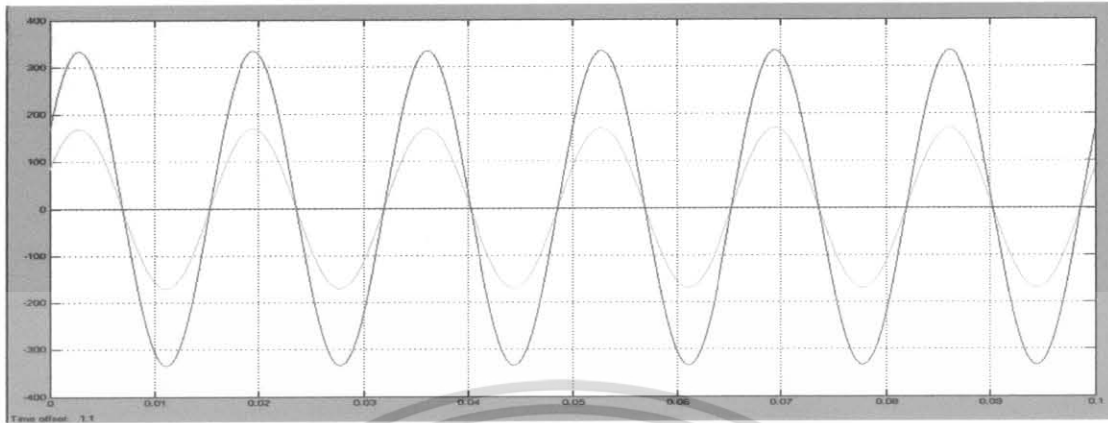
— — — — — ด้าน primary
 — — — — — ด้าน secondary

รูปที่ 4.33 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $Y-Y$ โดยใช้ MATLAB

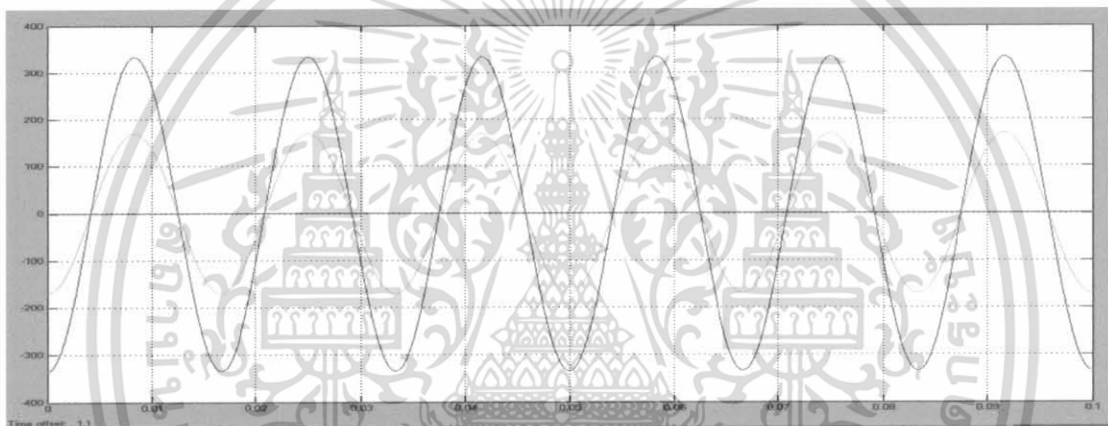
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.2) แบบ $\Delta-\Delta$

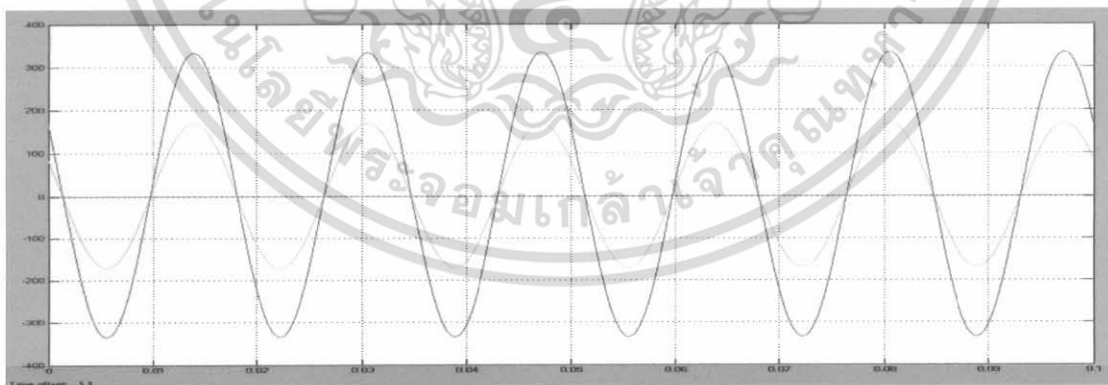
เฟส A

(a) กราฟแรงดันเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ $\Delta-\Delta$

เฟส B

(b) กราฟแรงดันเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ $\Delta-\Delta$

เฟส C

(c) กราฟแรงดันเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ $\Delta-\Delta$

— ด้าน primary

— ด้าน secondary

รูปที่ 4.34 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของ

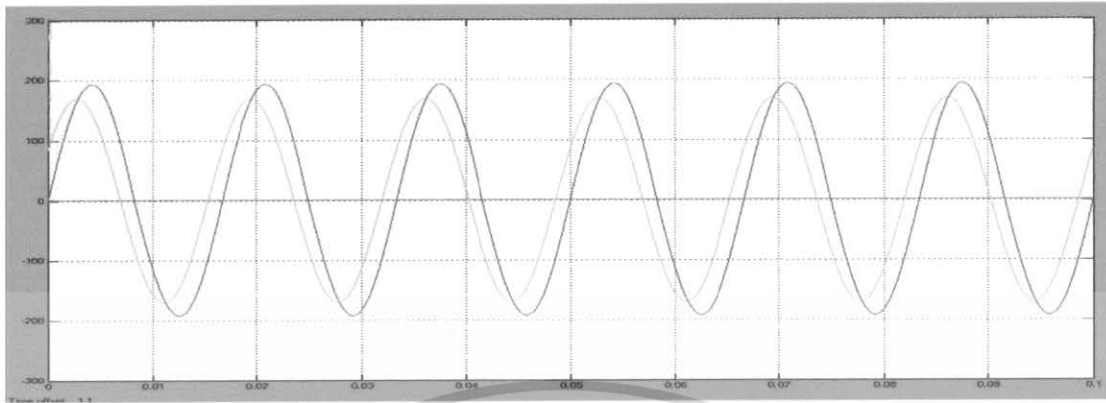
แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $\Delta-\Delta$ โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

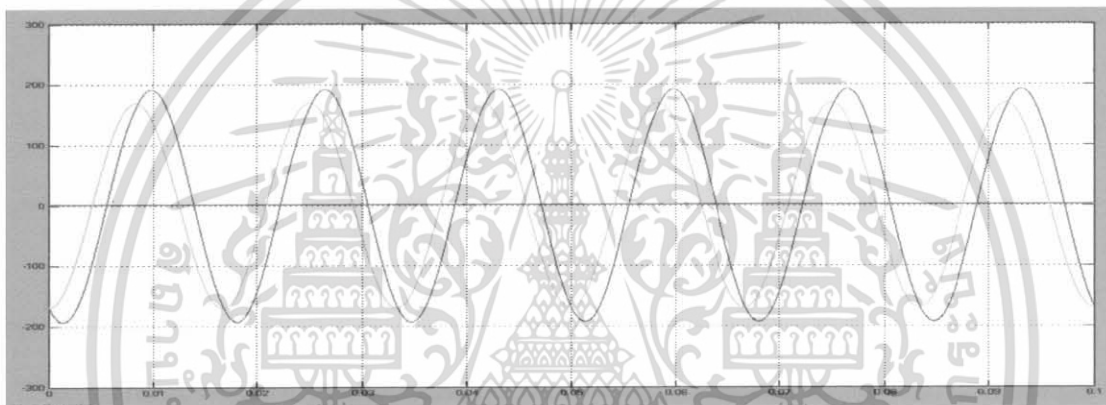
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.3) แบบ $Y-\Delta$

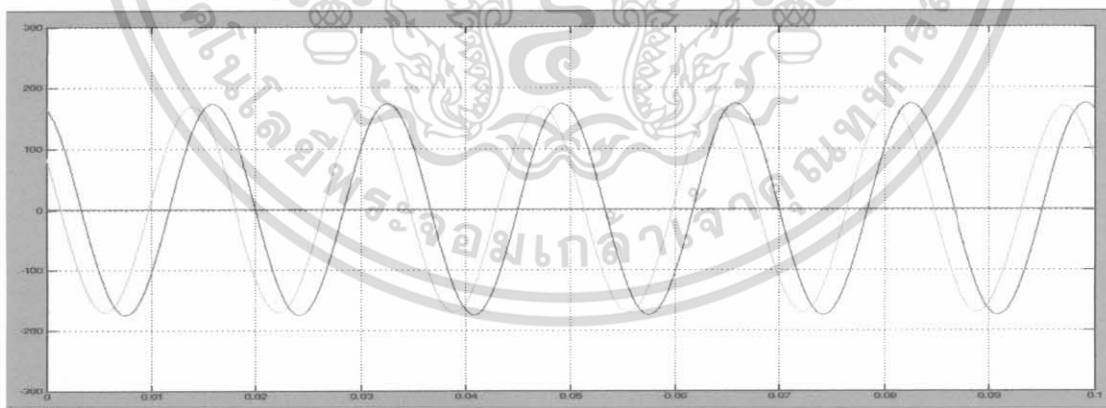
เฟส A

(a) กราฟแรงดันเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ $Y-\Delta$

เฟส B

(b) กราฟแรงดันเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ $Y-\Delta$

เฟส C

(c) กราฟแรงดันเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ $Y-\Delta$

— — — — — ด้าน primary

— — — — — ด้าน secondary

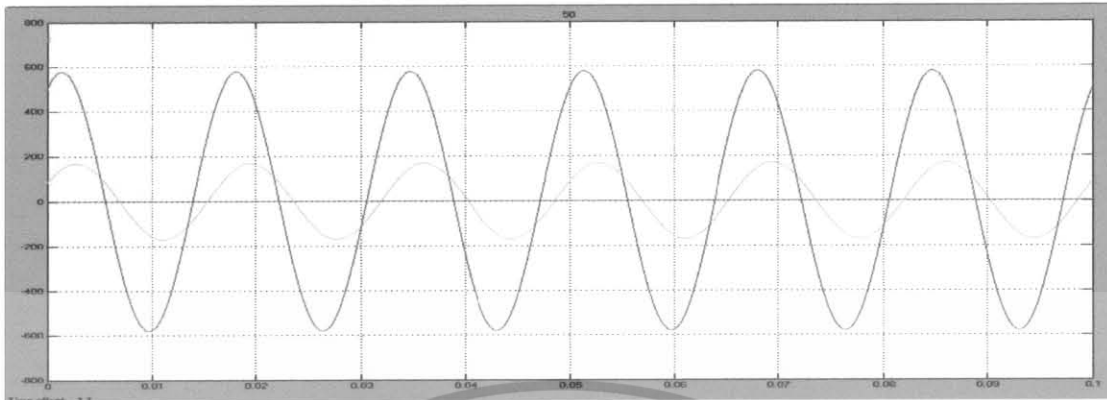
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของ

แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $Y-\Delta$ โดยใช้ MATLAB

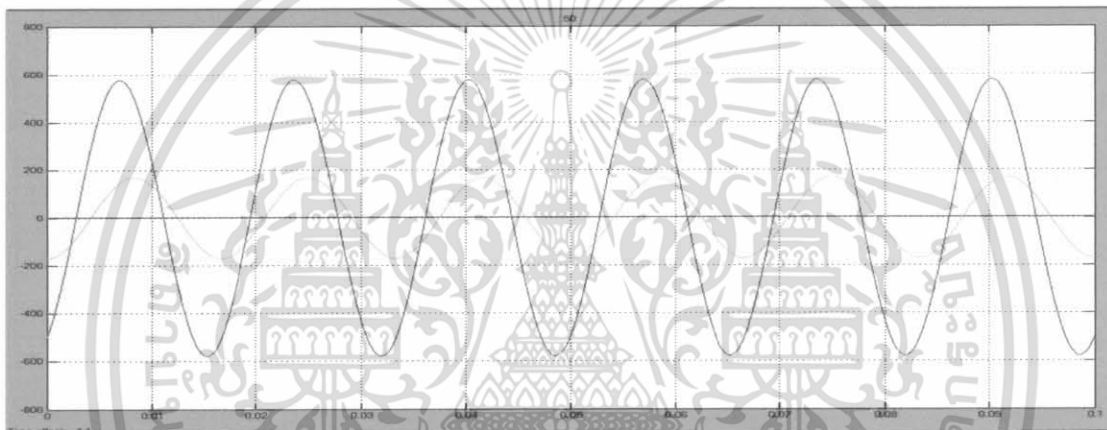
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.4) แบบ $\Delta-Y$

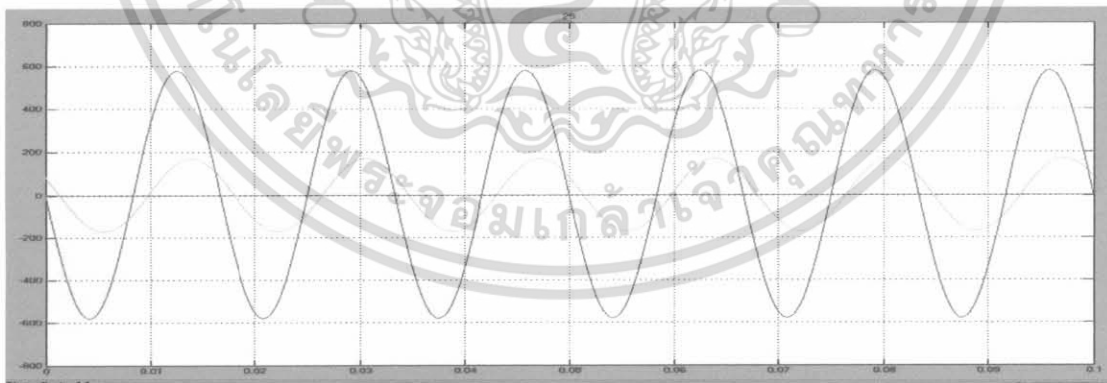
เฟส A

(a) กราฟแรงดันเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ $\Delta-Y$

เฟส B

(b) กราฟแรงดันเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ $\Delta-Y$

เฟส C

(c) กราฟแรงดันเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ $\Delta-Y$

— — — — — ด้าน primary

— — — — — ด้าน secondary

รูปที่ 4.36 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของ

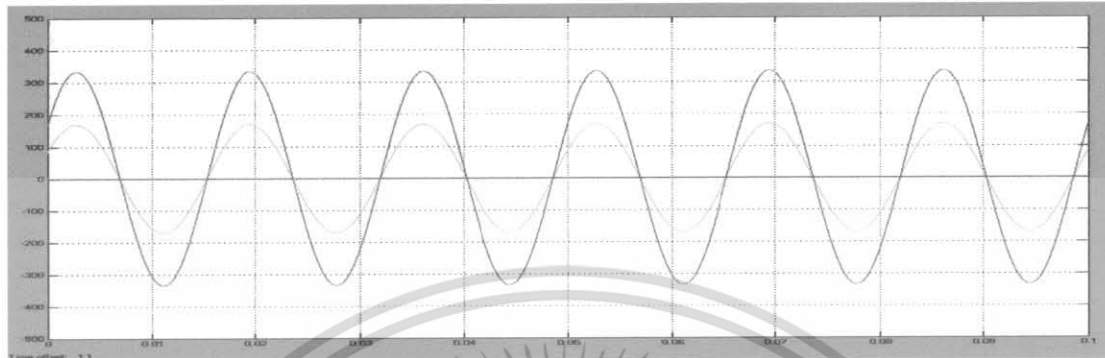
แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $\Delta-Y$ โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3) การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยก เวกเตอร์กรุป โดยใช้โปรแกรม MATLAB

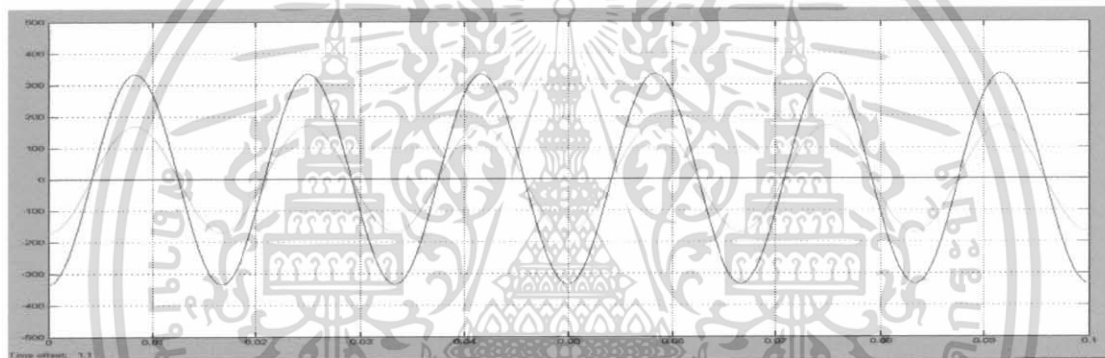
4.4.3.1) $Yy0$

เฟส A



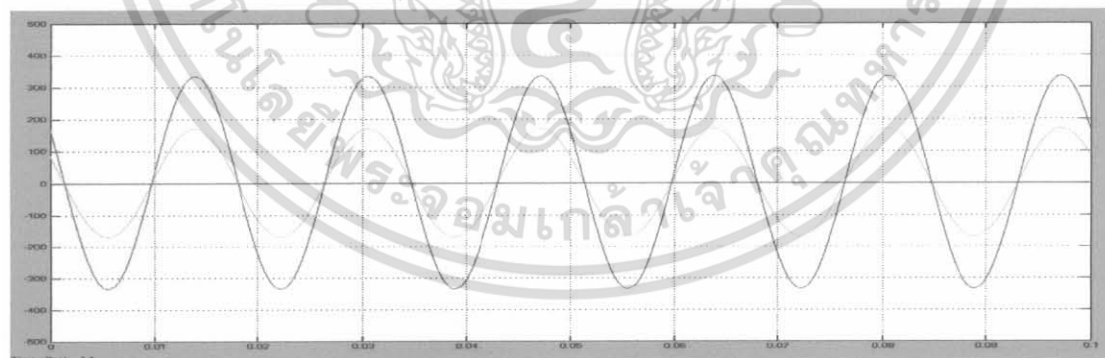
(a) กราฟแรงดันเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ $Yy0$

เฟส B



(b) กราฟแรงดันเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ $Yy0$

เฟส C



(c) กราฟแรงดันเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ $Yy0$

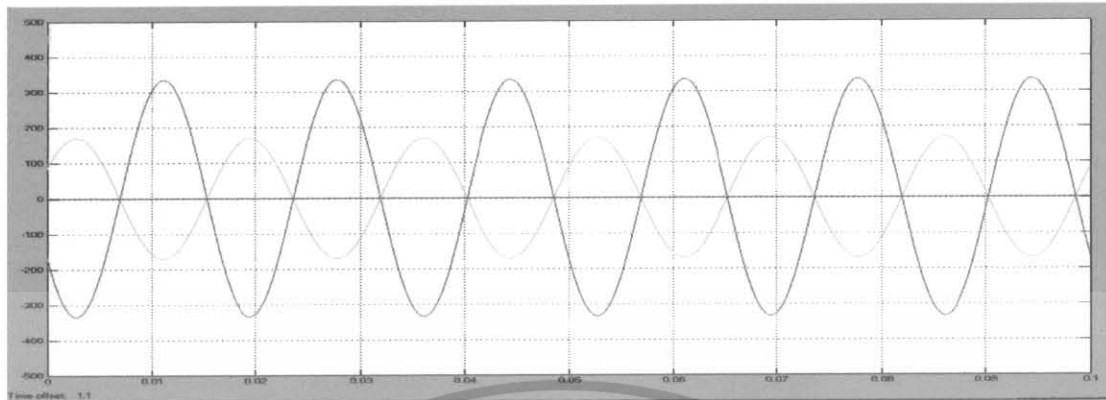
- ด้าน primary
— ด้าน secondary

รูปที่ 4.37 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกเวกเตอร์กรุปแบบ $Yy0$ โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

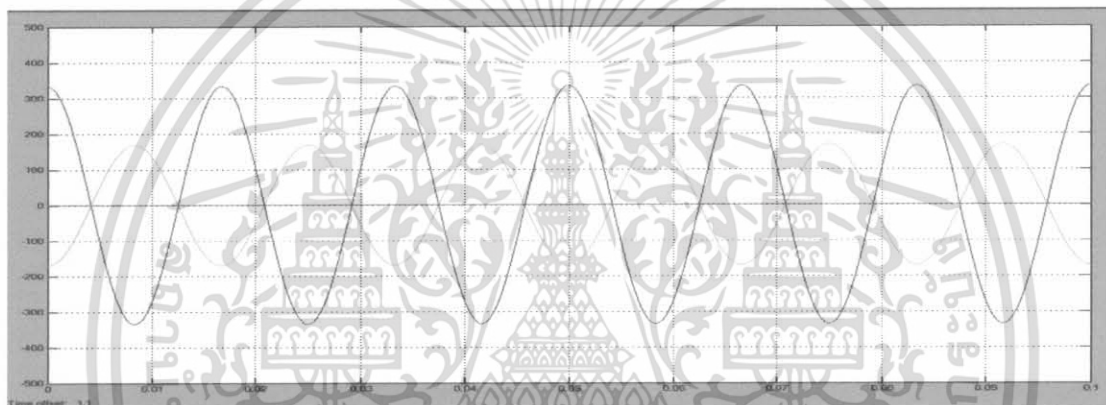
4.3.3.2) Yy6

เฟส A



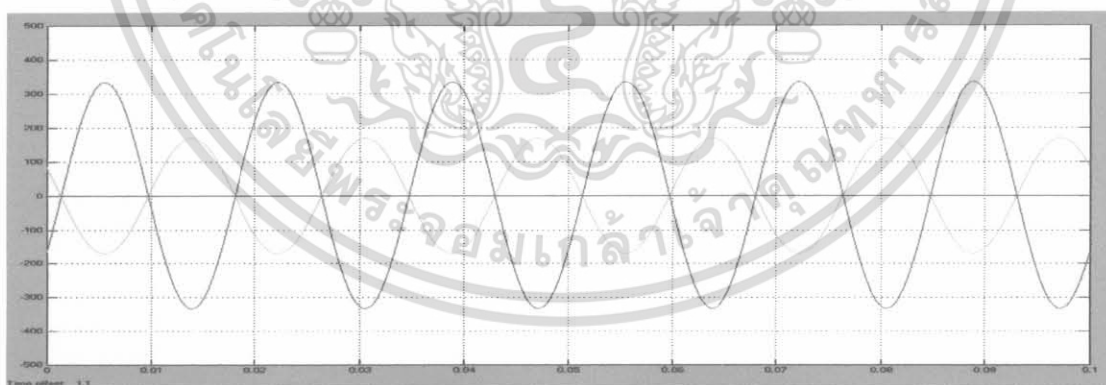
(a) กราฟแรงดันเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ Yy6

เฟส B



(b) กราฟแรงดันเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ Yy6

เฟส C



(c) กราฟแรงดันเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ Yy6

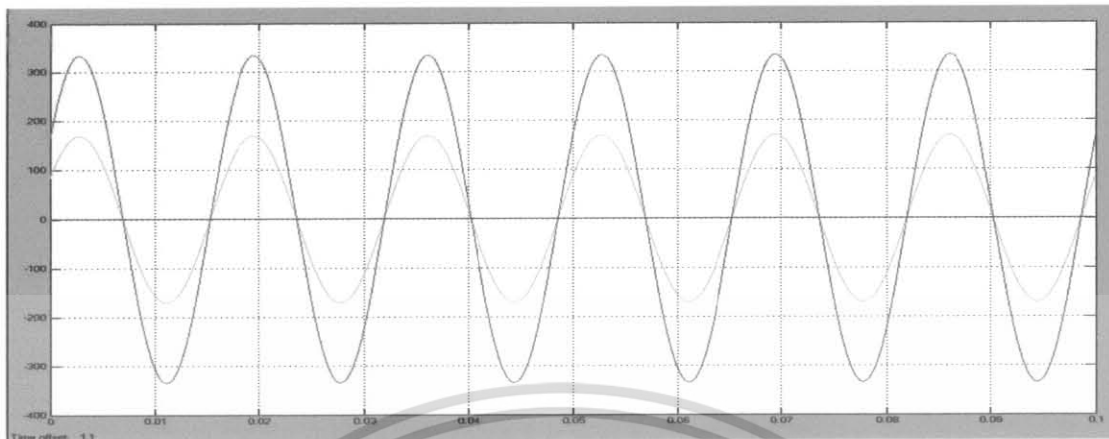
— ด้าน primary
 — ด้าน secondary

รูปที่ 4.38 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกเวกเตอร์กรุปแบบ Yy6 โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

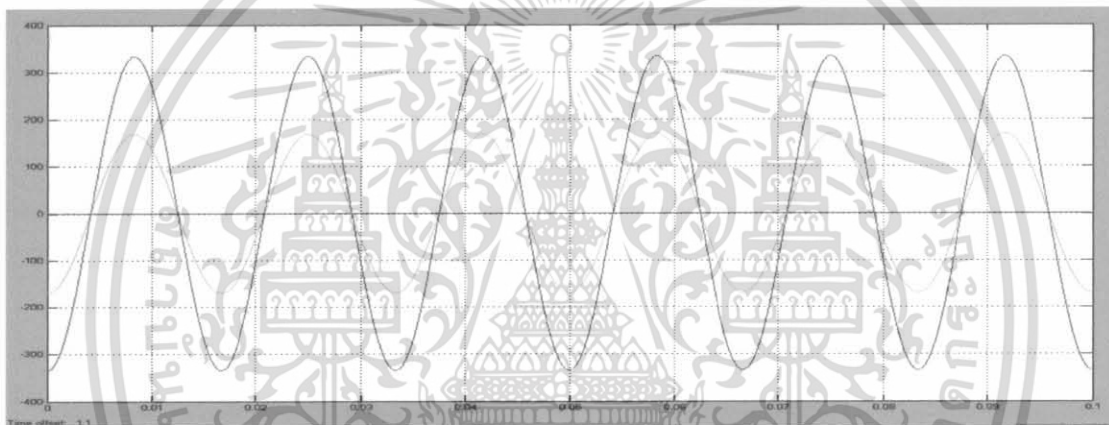
4.4.3.3) Dd0

เฟส A



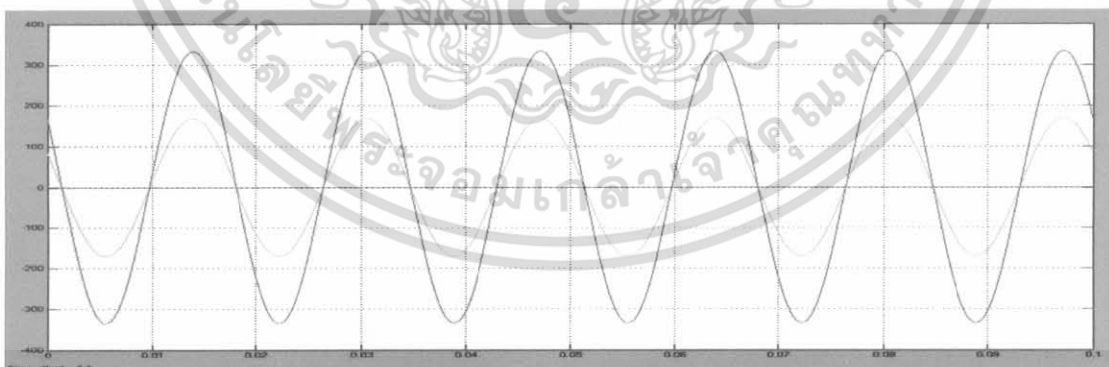
(a) กราฟแรงดันเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dd0

เฟส B



(b) กราฟแรงดันเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dd0

เฟส C



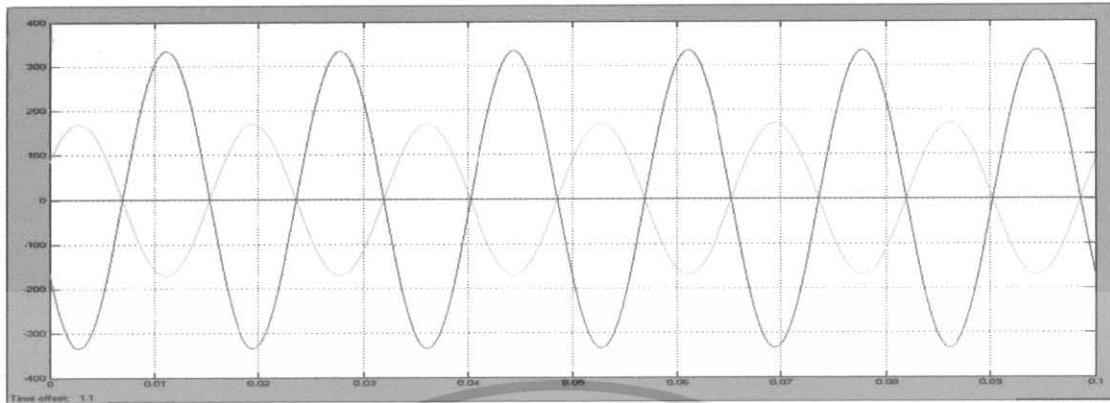
(c) กราฟแรงดันเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dd0

— — — — —
— — — — —
ด้าน primary— — — — —
— — — — —
ด้าน secondary

รูปที่ 4.39 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกเวกเตอร์รูปแบบ Dd0 โดยใช้ MATLAB เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

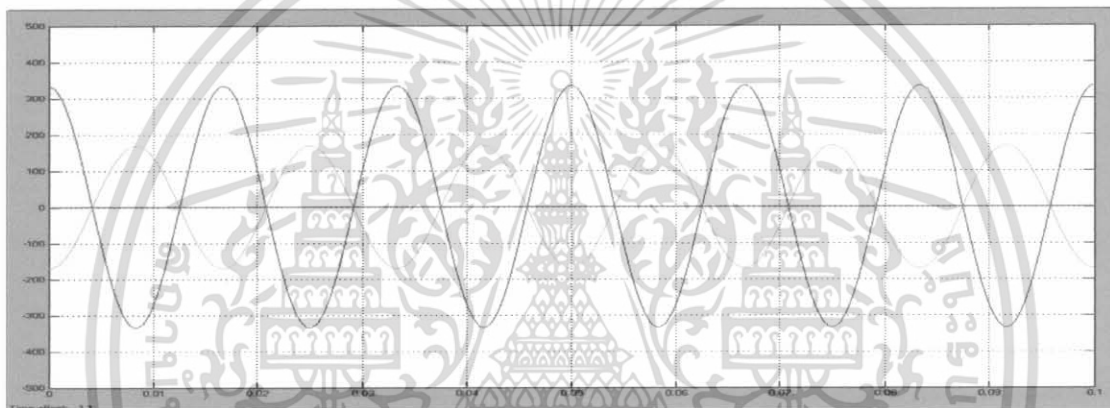
4.4.3.4) Dd6

เฟส A



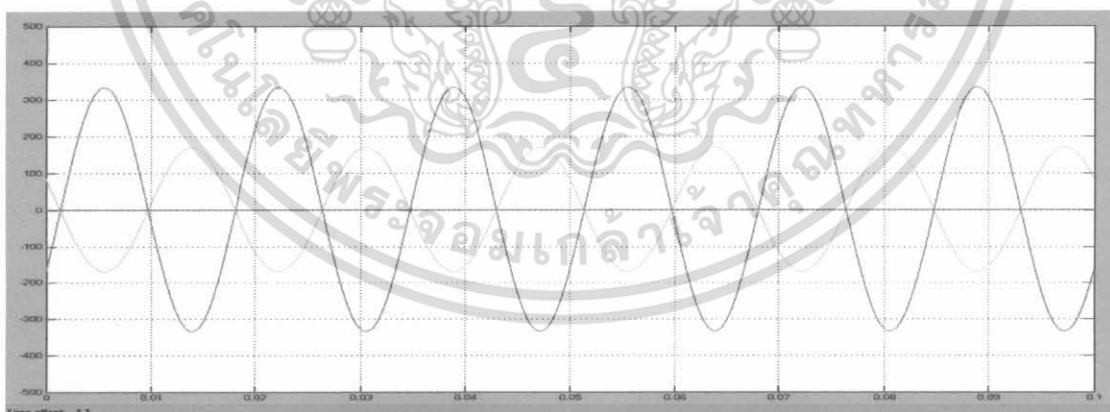
(a) กราฟแรงดันเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dd6

เฟส B



(b) กราฟแรงดันเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dd6

เฟส C



(c) กราฟแรงดันเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dd6

— ด้าน primary

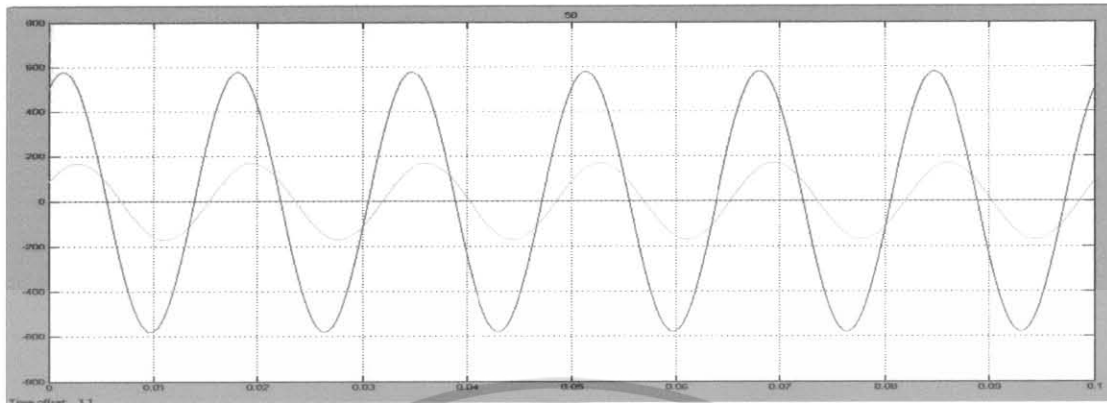
— ด้าน secondary

รูปที่ 4.40 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์รูปแบบ Dd6 โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

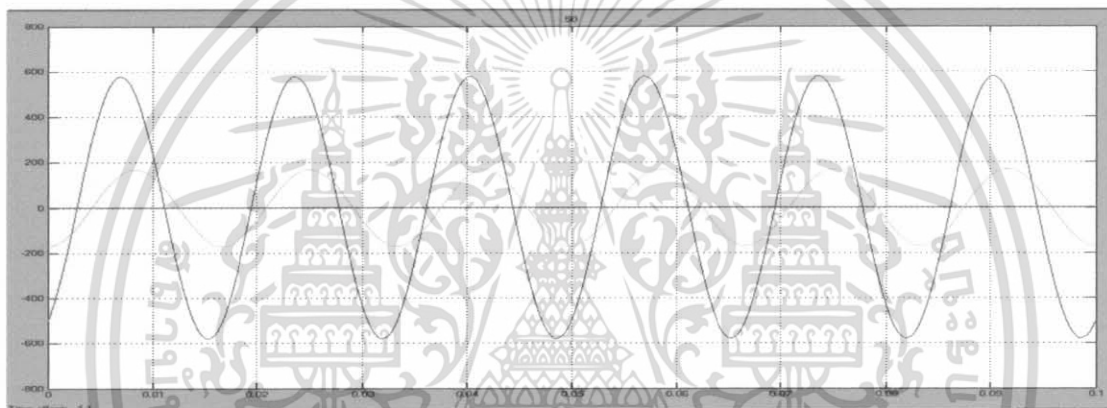
4.4.3.5) Yd1

เฟส A



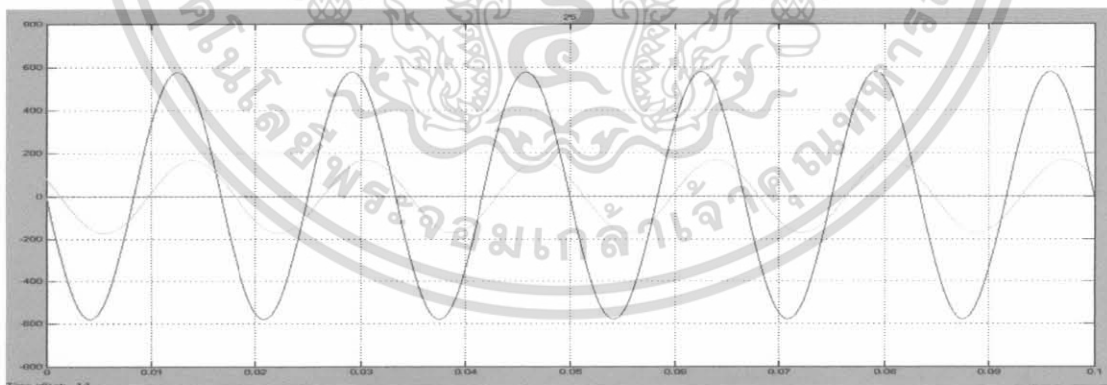
(a) กราฟแรงดันเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ Yd1

เฟส B



(b) กราฟแรงดันเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ Yd1

เฟส C



(c) กราฟแรงดันเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ Yd1

— — — — — ด้าน primary

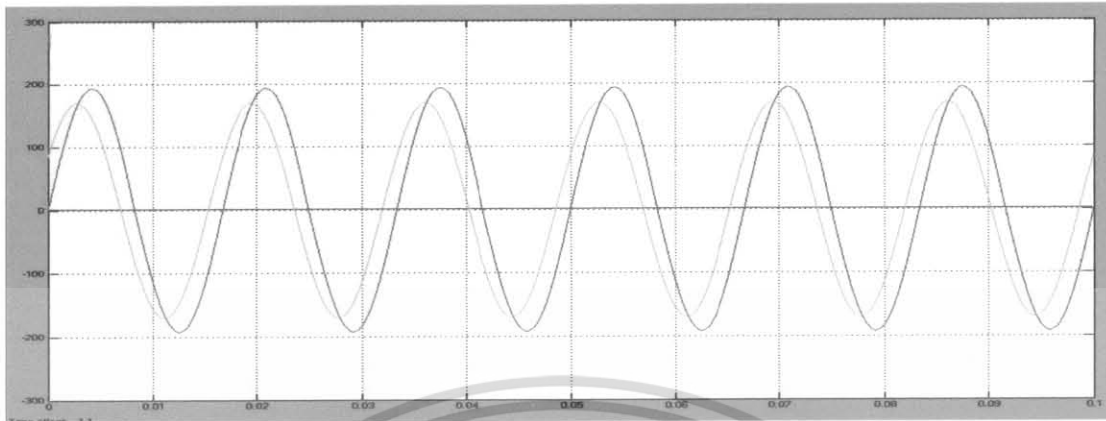
— — — — — ด้าน secondary

รูปที่ 4.41 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของการจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์รูปแบบ Yd1 โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

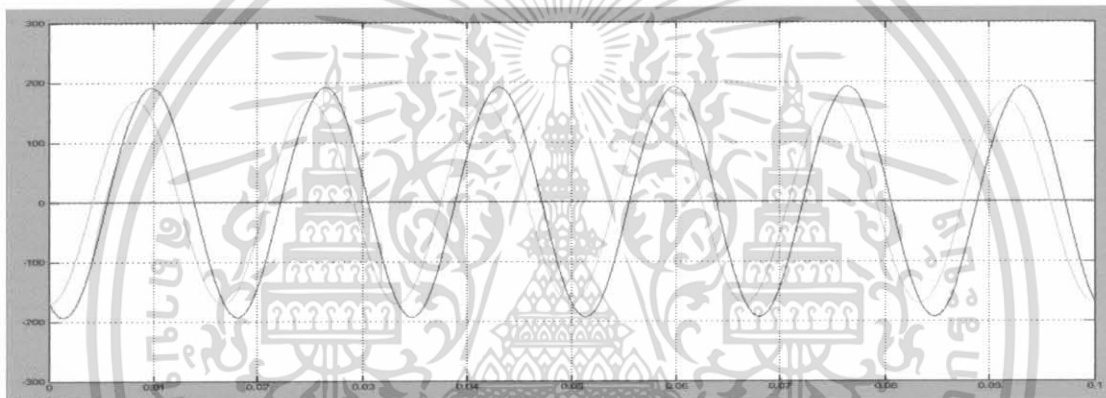
4.4.3.6) Dy11

เฟส A



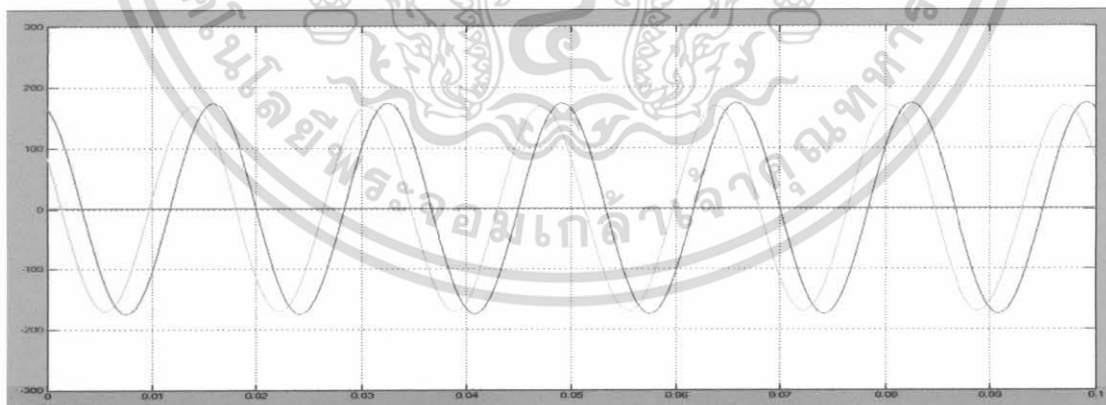
(a) กราฟแรงดันเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dy11

เฟส B



(b) กราฟแรงดันเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dy11

เฟส C



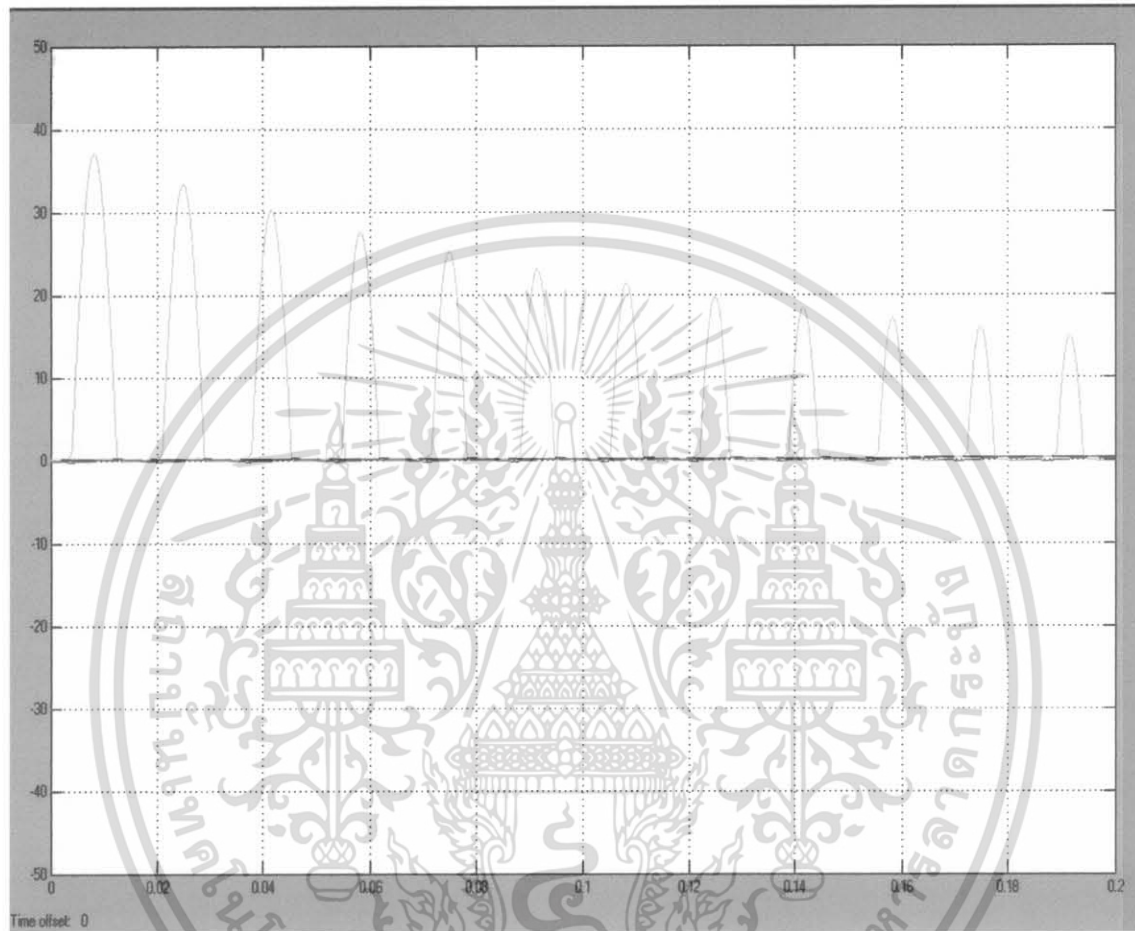
(c) กราฟแรงดันเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dy11

— ด้าน primary
 — ด้าน secondary

รูปที่ 4.42 กราฟแสดงผลของค่าแรงดันที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์รูปแบบ Dy11 โดยใช้ MATLAB เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลอง

4.5.1 การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ขดลวด โดยใช้ MATLAB



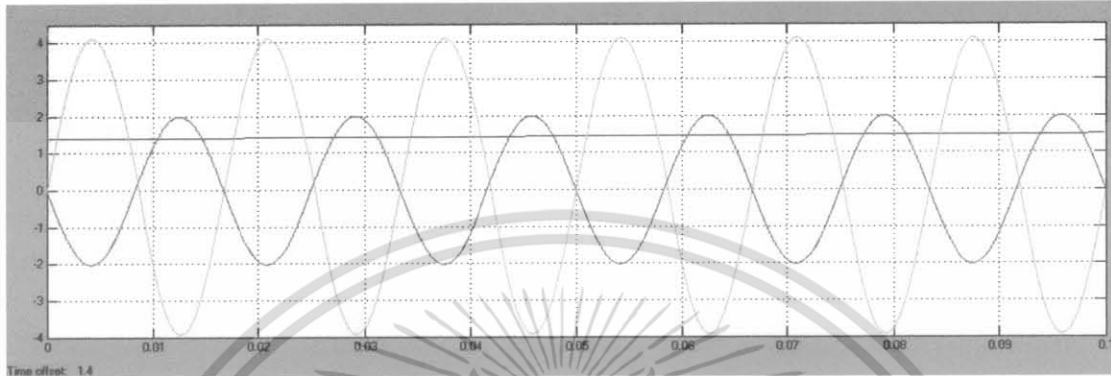
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 1 เฟส 2 ขดลวดโดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 การจำลองระบบโมเดลของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้ MATLAB แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส

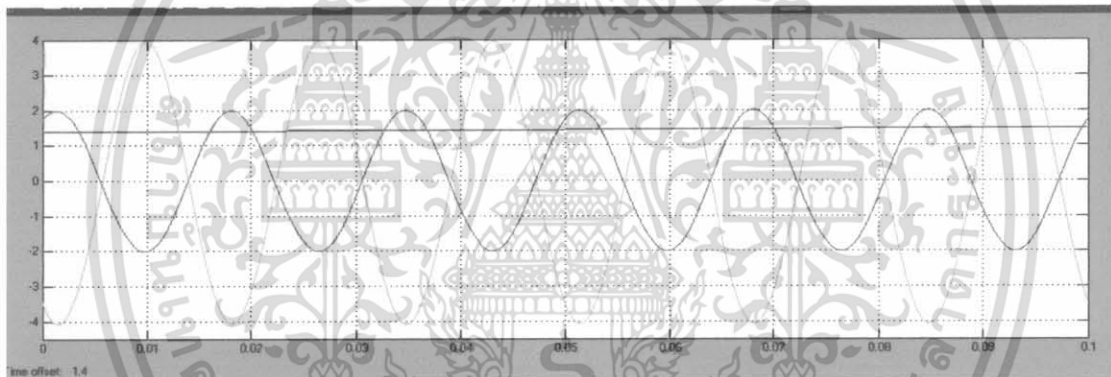
4.5.2.1) แบบ $Y-Y$

เฟส A



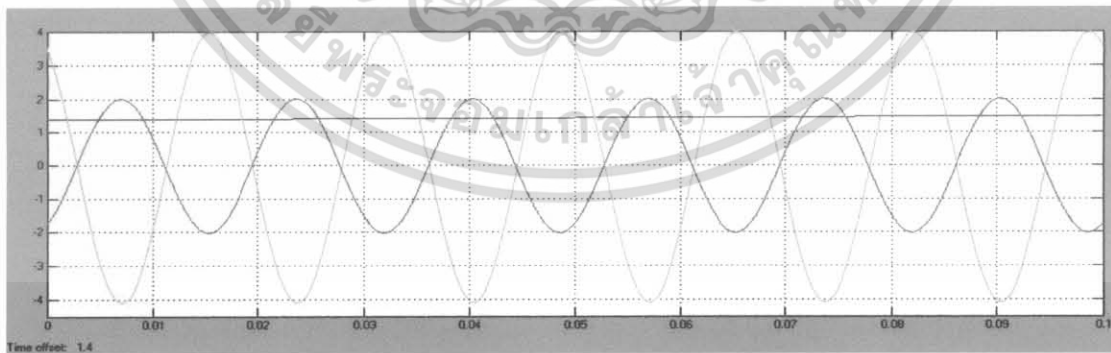
(a) กราฟกระแสเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ $Y-Y$

เฟส B



(b) กราฟกระแสเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ $Y-Y$

เฟส C



(c) กราฟกระแสเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ $Y-Y$

— ด้าน primary

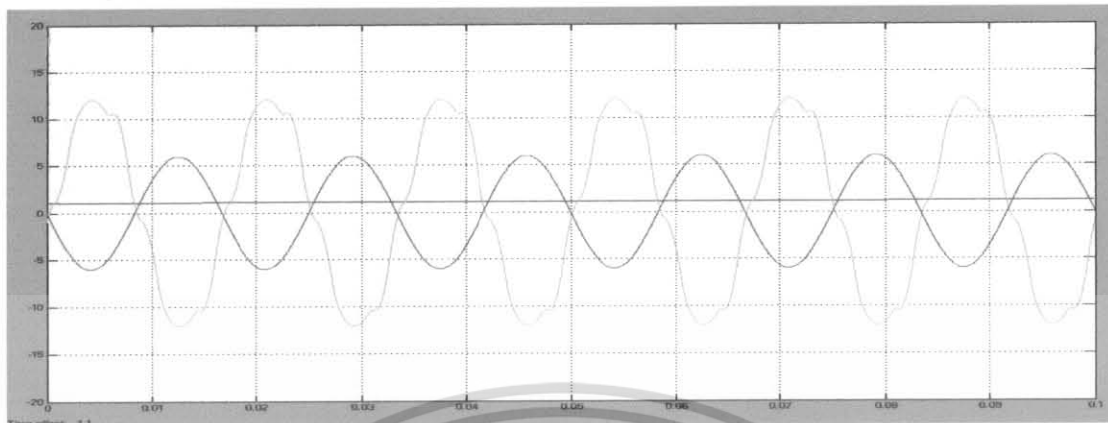
— ด้าน secondary

รูปที่ 4.44 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $Y-Y$ โดยใช้ MATLAB

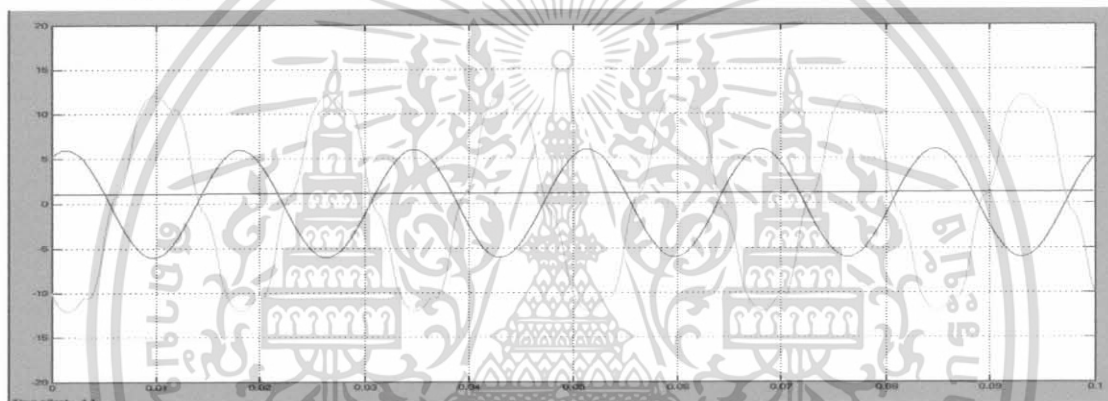
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.2) แบบ $\Delta-\Delta$

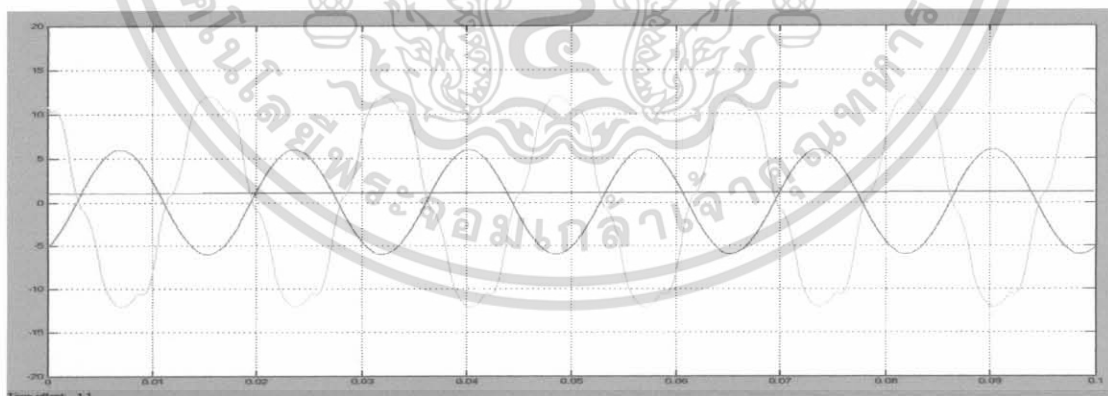
เฟส A

(a) กราฟกระแสเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ $\Delta-\Delta$

เฟส B

(b) กราฟกระแสเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ $\Delta-\Delta$

เฟส C

(c) กราฟกระแสเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ $\Delta-\Delta$

— ด้าน primary

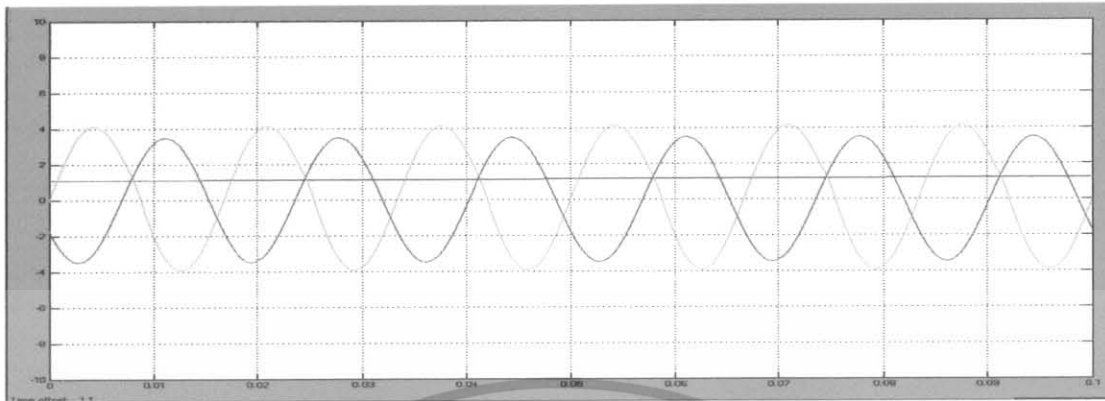
— ด้าน secondary

รูปที่ 4.45 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $\Delta-\Delta$ โดยใช้ MATLAB

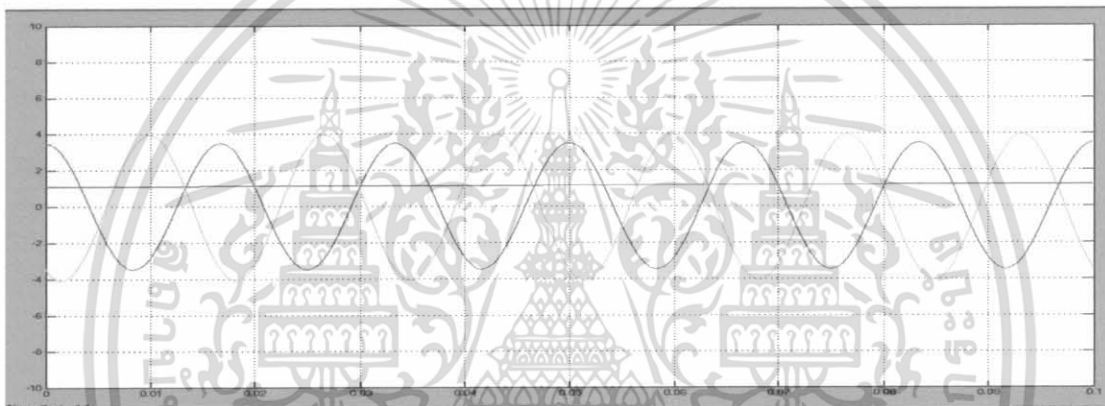
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.3) แบบ $Y-\Delta$

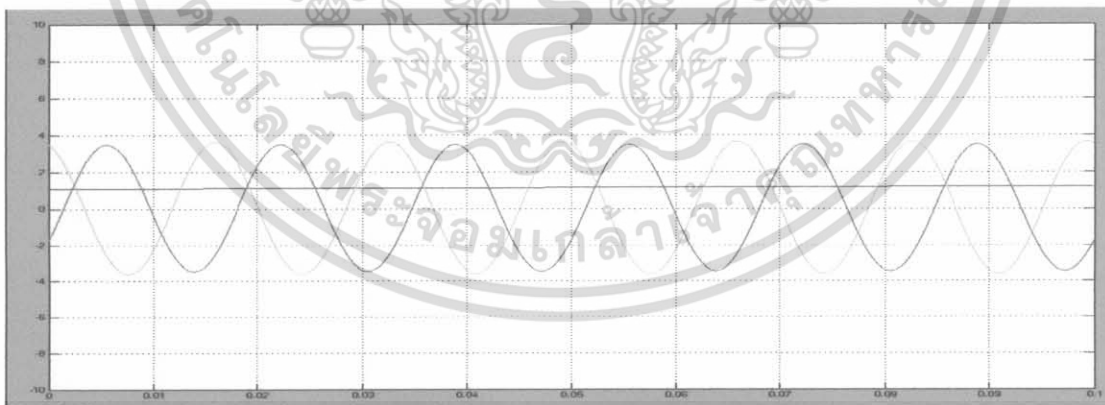
เฟส A

(a) กราฟกระแสเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ $Y-\Delta$

เฟส B

(b) กราฟกระแสเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ $Y-\Delta$

เฟส C

(c) กราฟกระแสเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ $Y-\Delta$

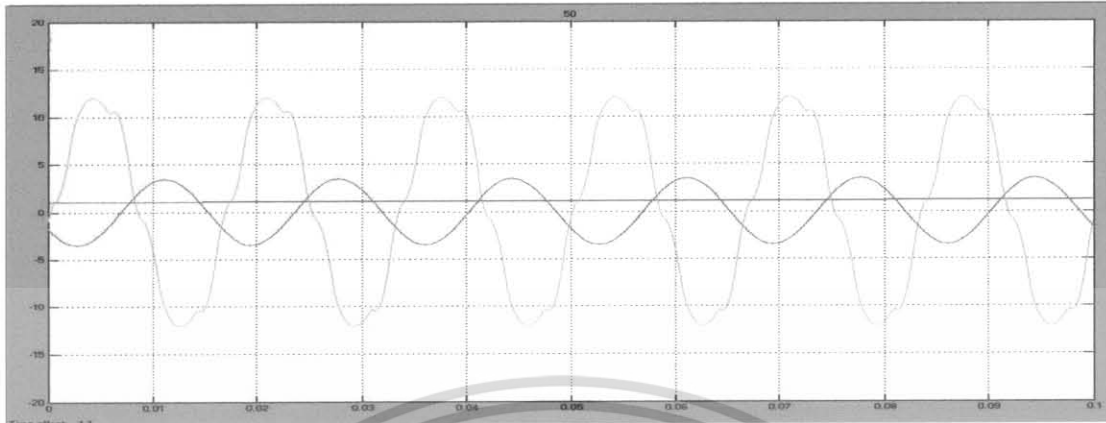
— ด้าน primary
 - - - ด้าน secondary

รูปที่ 4.46 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $Y-\Delta$ โดยใช้ MATLAB

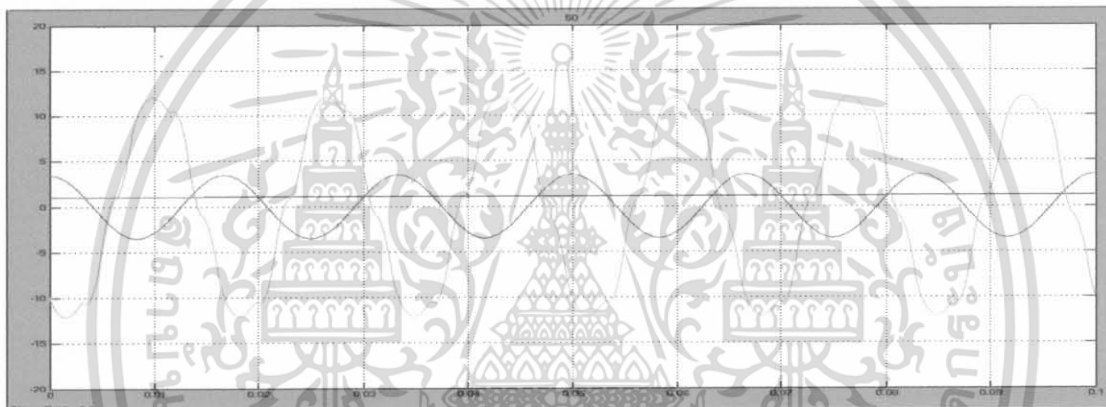
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2.4) แบบ $\Delta-Y$

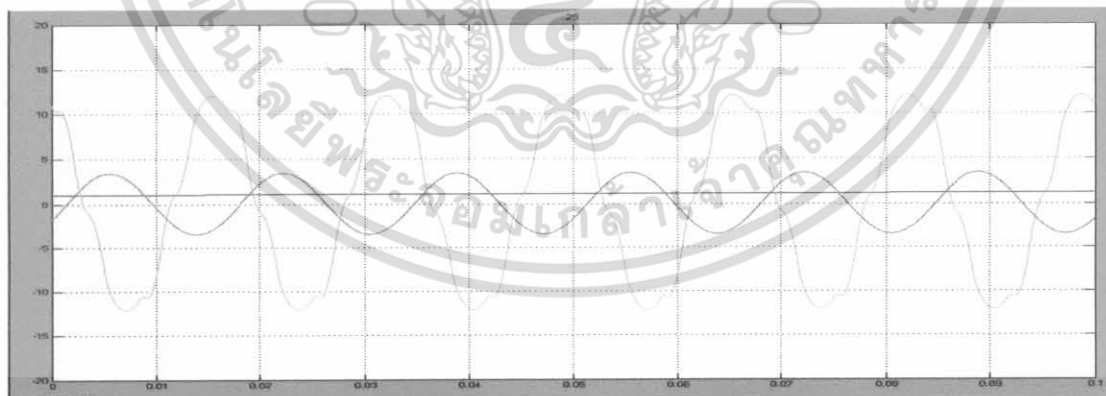
เฟส A

(a) กราฟกระแสเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ $\Delta-Y$

เฟส B

(b) กราฟกระแสเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ $\Delta-Y$

เฟส C

(c) กราฟกระแสเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ $\Delta-Y$

— ด้าน primary
 — ด้าน secondary

รูปที่ 4.47 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลอง

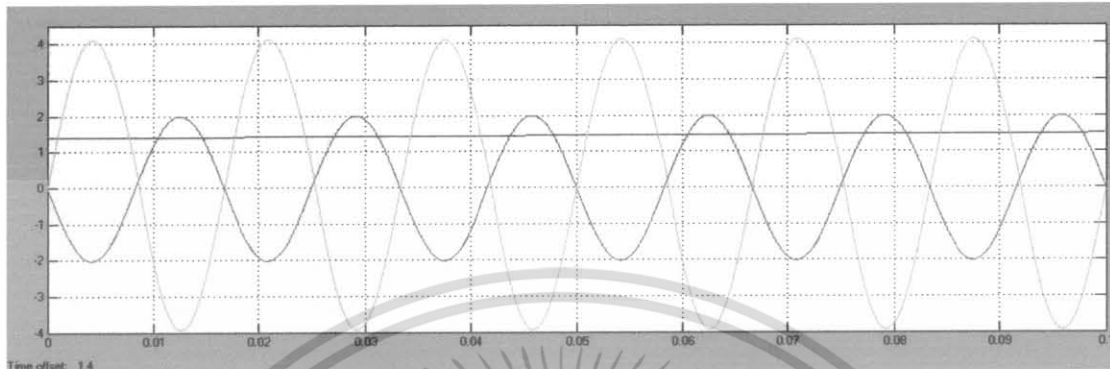
หม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แบบ $\Delta-Y$ โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3) การจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยก เวกเตอร์กรุป โดยใช้ MATLAB

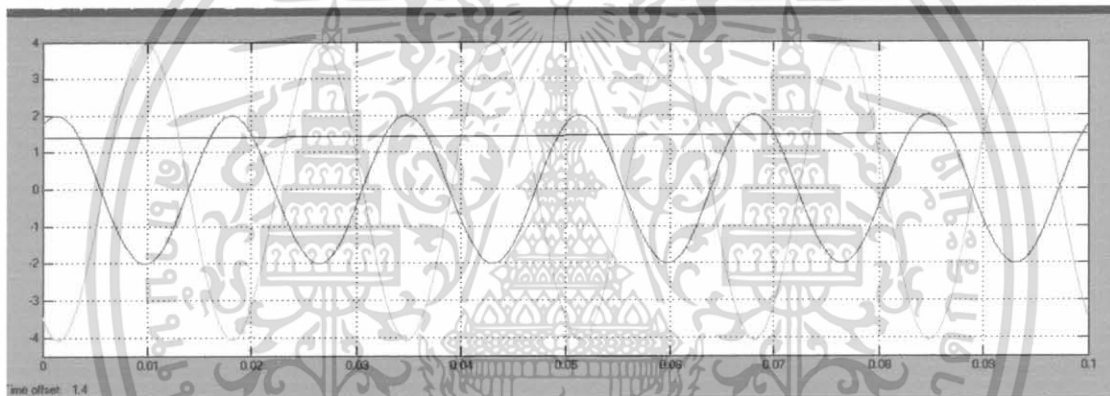
4.5.3.1) Yy0

เฟส A



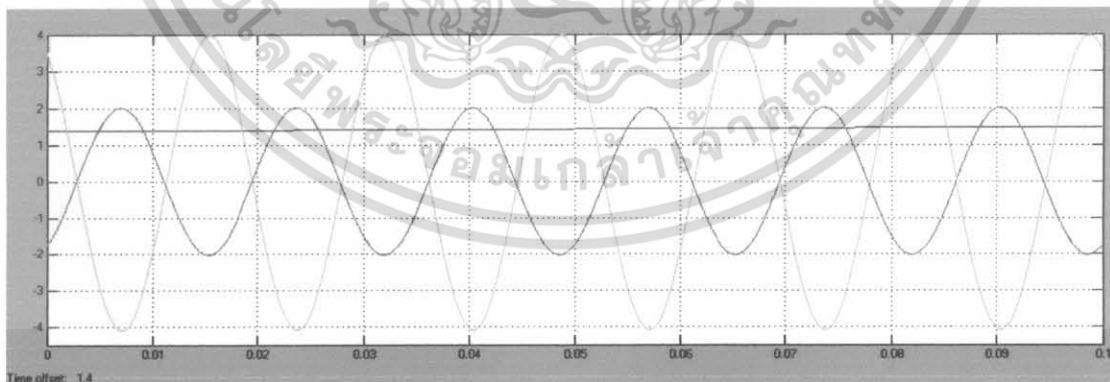
(a) กราฟกระแสเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ Yy0

เฟส B



(b) กราฟกระแสเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ Yy0

เฟส C



(c) กราฟกระแสเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ Yy0

— ด้าน primary

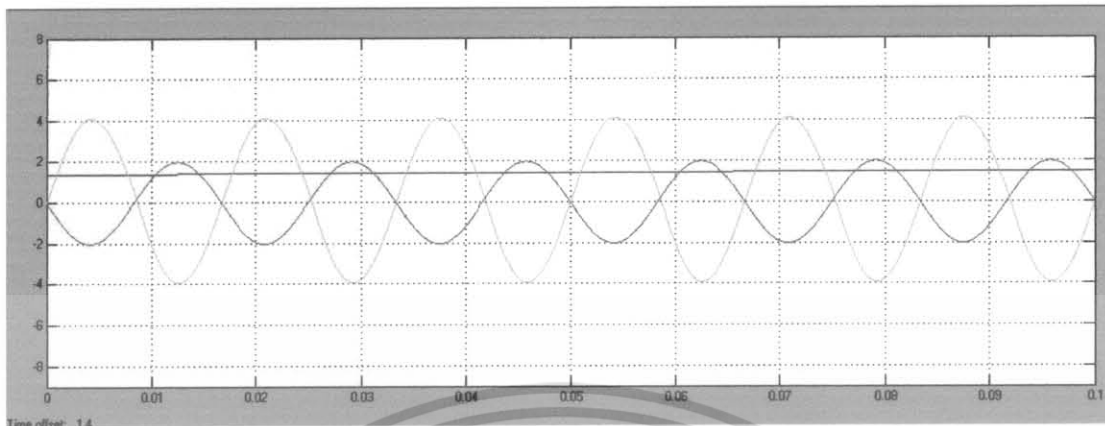
— ด้าน secondary

รูปที่ 4.48 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกเวกเตอร์กรุปแบบ Yy0 โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

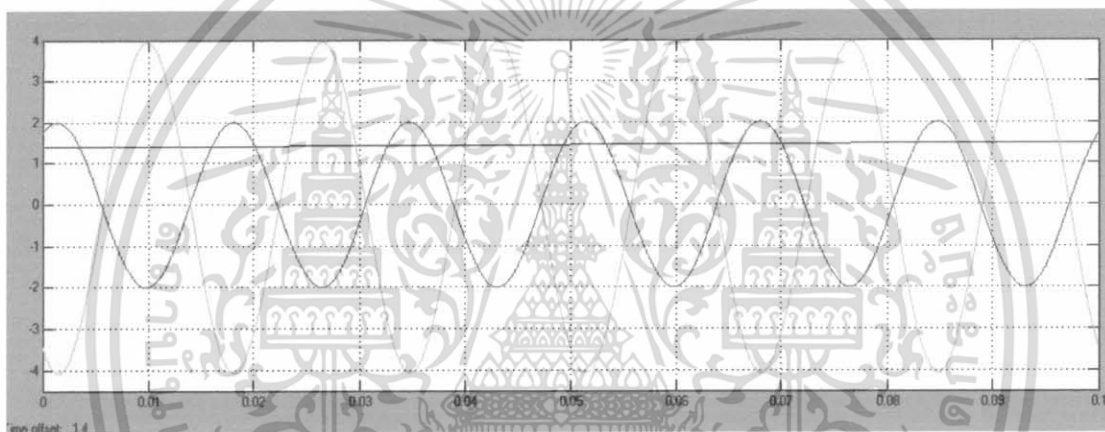
4.5.3.2) Yy6

เฟส A



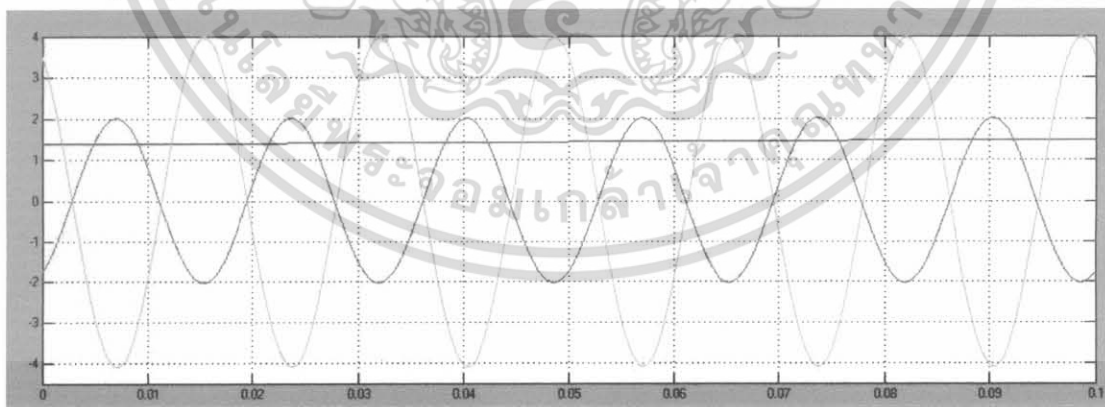
(a) กราฟกระแสเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ Yy6

เฟส B



(b) กราฟกระแสเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ Yy6

เฟส C



(c) กราฟกระแสเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ Yy6

— ด้าน primary

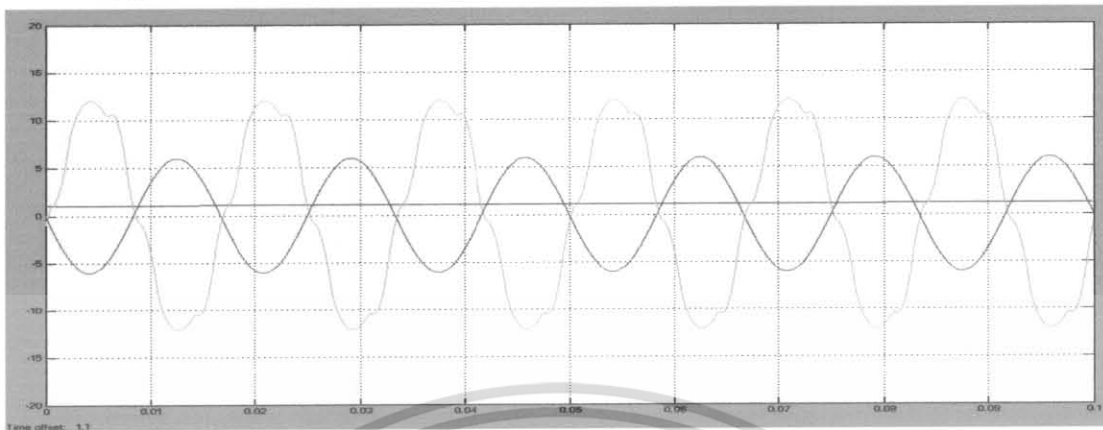
- - - ด้าน secondary

รูปที่ 4.49 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์รูปแบบ Yy6 โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

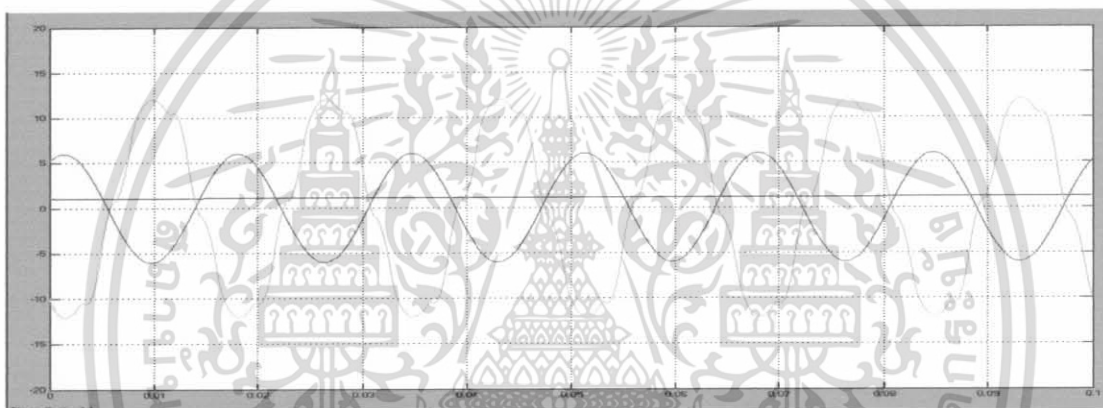
4.5.3.3) Dd0

เฟส A



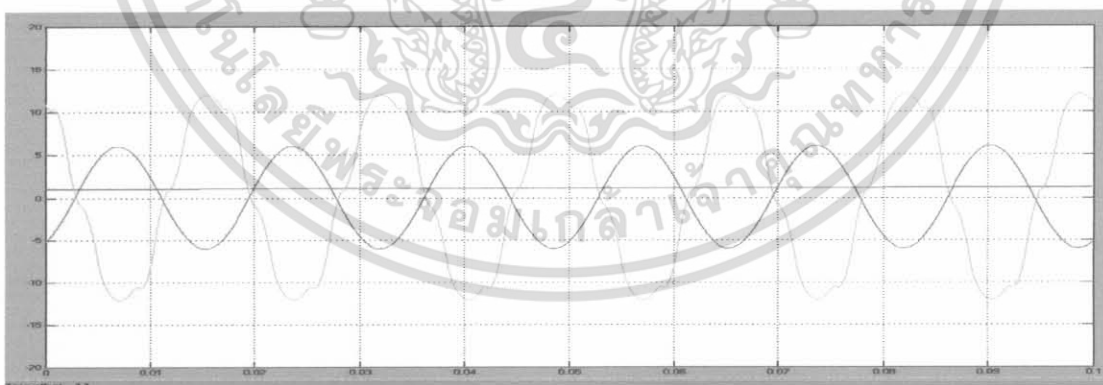
(a) กราฟกระแสเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dd0

เฟส B



(b) กราฟกระแสเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dd0

เฟส C



(c) กราฟกระแสเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dd0

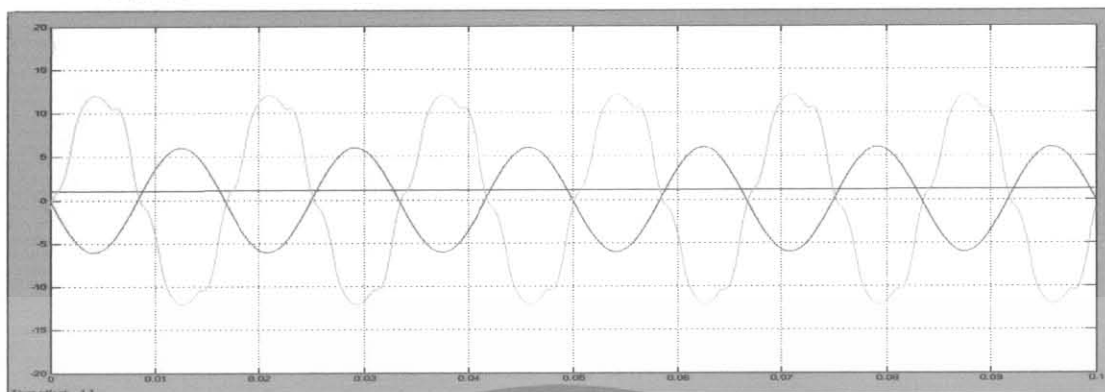
- ด้าน primary
 — ด้าน secondary

รูปที่ 4.50 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dd0 โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

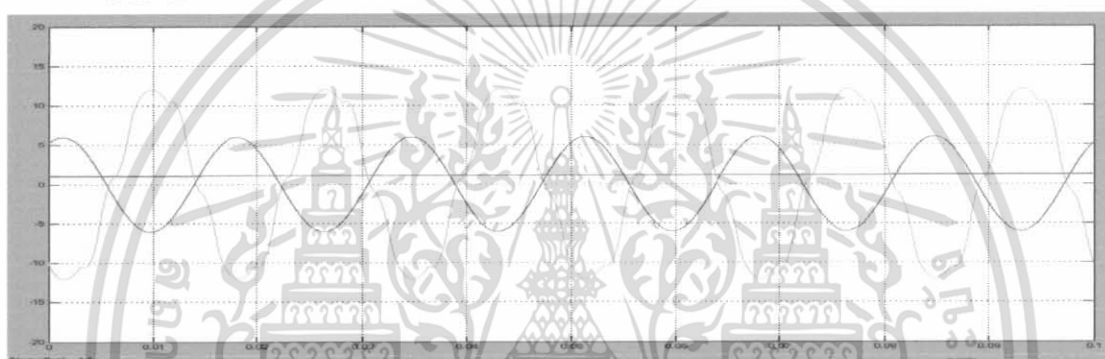
4.5.3.4) Dd6

เฟส A



(a) กราฟกระแสเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dd6

เฟส B



(b) กราฟกระแสเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dd6

เฟส C



(c) กราฟกระแสเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dd6

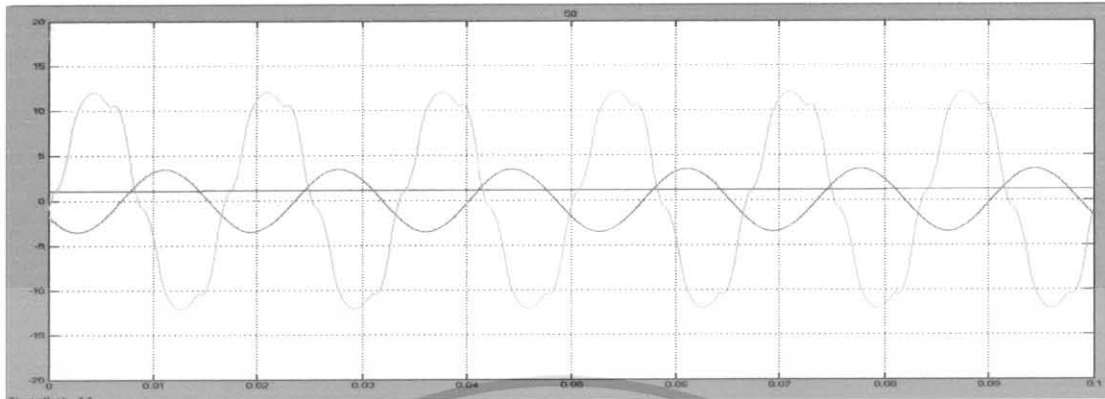
— ด้าน primary
 - - - - - ด้าน secondary

รูปที่ 4.51 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dd6 โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

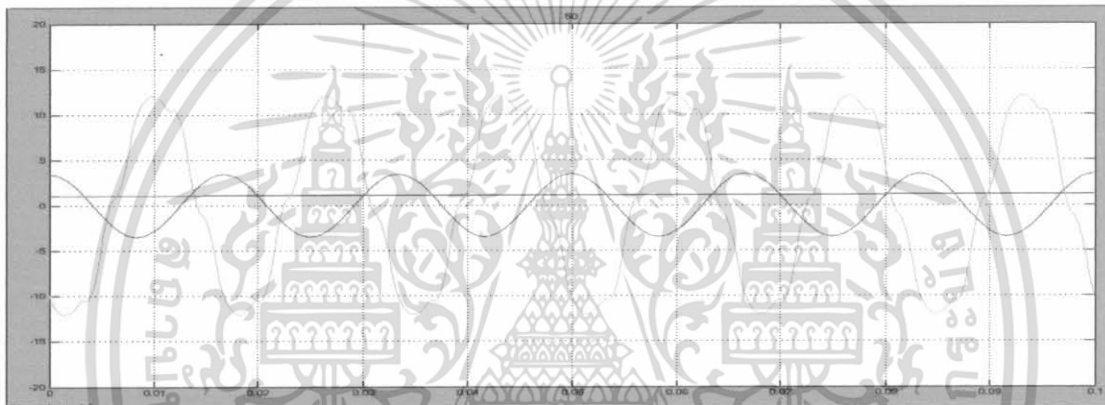
4.5.3.5) Yd1

เฟส A



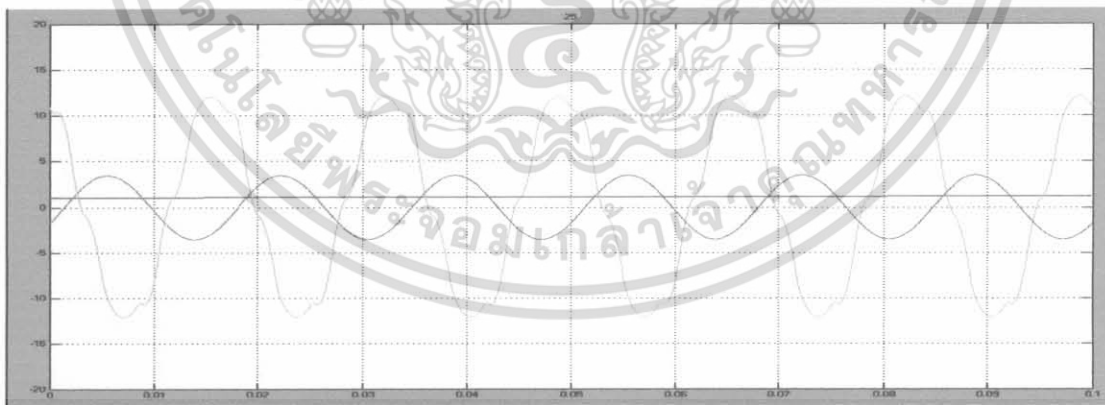
(a) กราฟกระแสเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ Yd1

เฟส B



(b) กราฟกระแสเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ Yd1

เฟส C



(c) กราฟกระแสเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ Yd1

— ด้าน primary

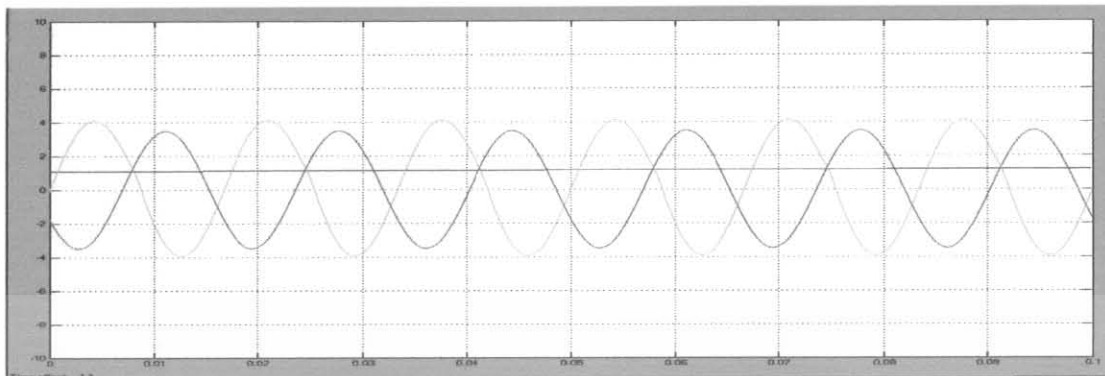
— ด้าน secondary

รูปที่ 4.52 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Yd1 โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

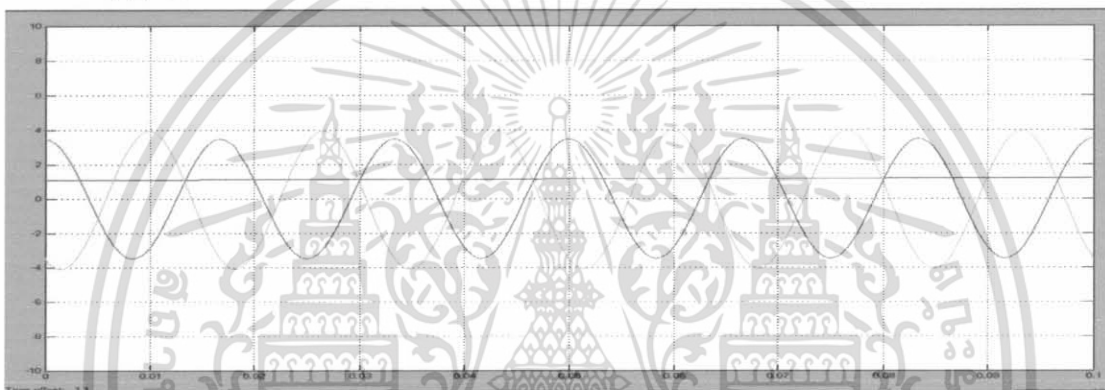
4.5.3.6) Dy11

เฟส A



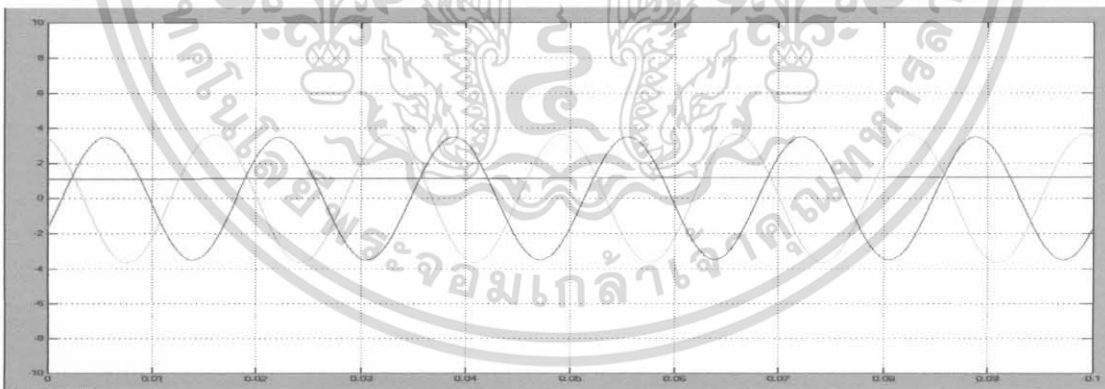
(a) กราฟกระแสเฟส A ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dy11

เฟส B



(b) กราฟกระแสเฟส B ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dy11

เฟส C



(c) กราฟกระแสเฟส C ของการต่อหม้อแปลงแบบ Dy11

— ด้าน primary

— ด้าน secondary

รูปที่ 4.53 กราฟแสดงผลของค่ากระแสที่ได้จากการจำลองระบบโมเดลของแบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส แยกแวกเตอร์กรุปแบบ Dy11 โดยใช้ MATLAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

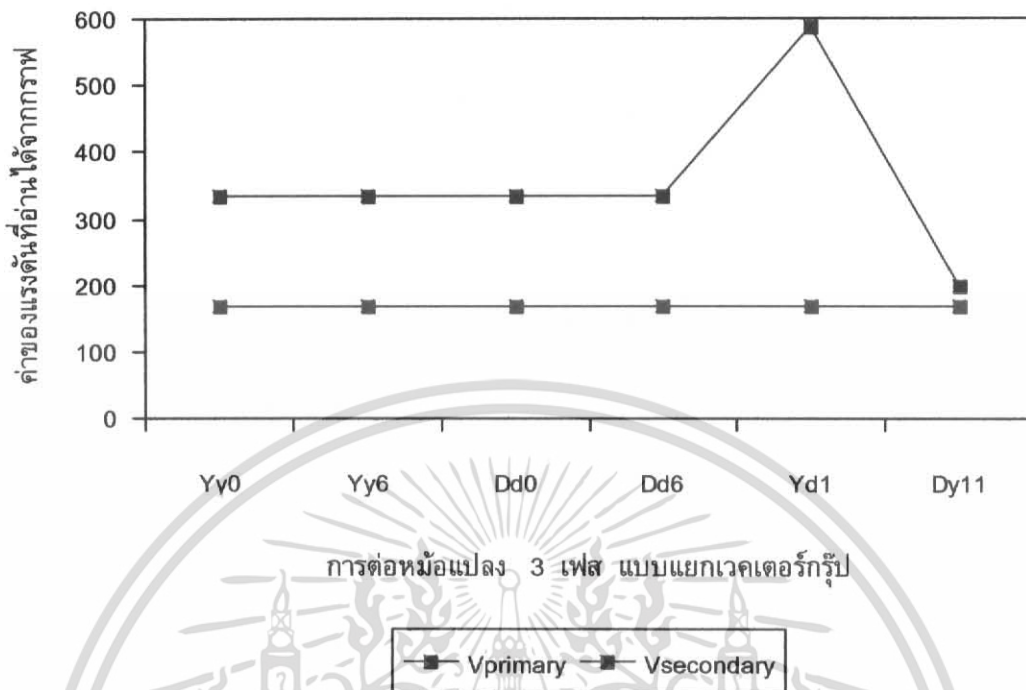
4.6 ขนาดของแรงดันและกระแสที่อ่านได้จากกราฟ

ตารางที่ 4.1 ขนาดของแรงดันและกระแสที่อ่านได้จากกราฟ

การต่อหม้อแปลง	เวกเตอร์กรุป		V_L		I_L	
			$V_{Primary}$	$V_{Secondary}$	$I_{Primary}$	$I_{Secondary}$
1. $Y-Y$	Yy0	เฟส A	169.7	334.02	4.15	1.93
		เฟส B	169.7	334.02	4.15	1.93
		เฟส C	169.7	334.02	4.15	1.93
	Yy6	เฟส A	169.7	334.02	4.15	1.93
		เฟส B	169.7	334.02	4.15	1.93
		เฟส C	169.7	334.02	4.15	1.93
2. $\Delta-\Delta$	Dd0	เฟส A	169.7	334.02	12.06	6.02
		เฟส B	169.7	334.02	12.06	6.02
		เฟส C	169.7	334.02	12.06	6.02
	Dd6	เฟส A	169.7	334.02	12.06	6.02
		เฟส B	169.7	334.02	12.06	6.02
		เฟส C	169.7	334.02	12.06	6.02
3. $Y-\Delta$	Yd1	เฟส A	169.7	587.54	12.06	3.48
		เฟส B	169.7	587.54	12.06	3.48
		เฟส C	169.7	587.54	12.06	3.48
4. $\Delta-Y$	Dy11	เฟส A	169.7	197.78	4.12	3.48
		เฟส B	169.7	197.78	4.12	3.48
		เฟส C	169.7	197.78	4.12	3.48

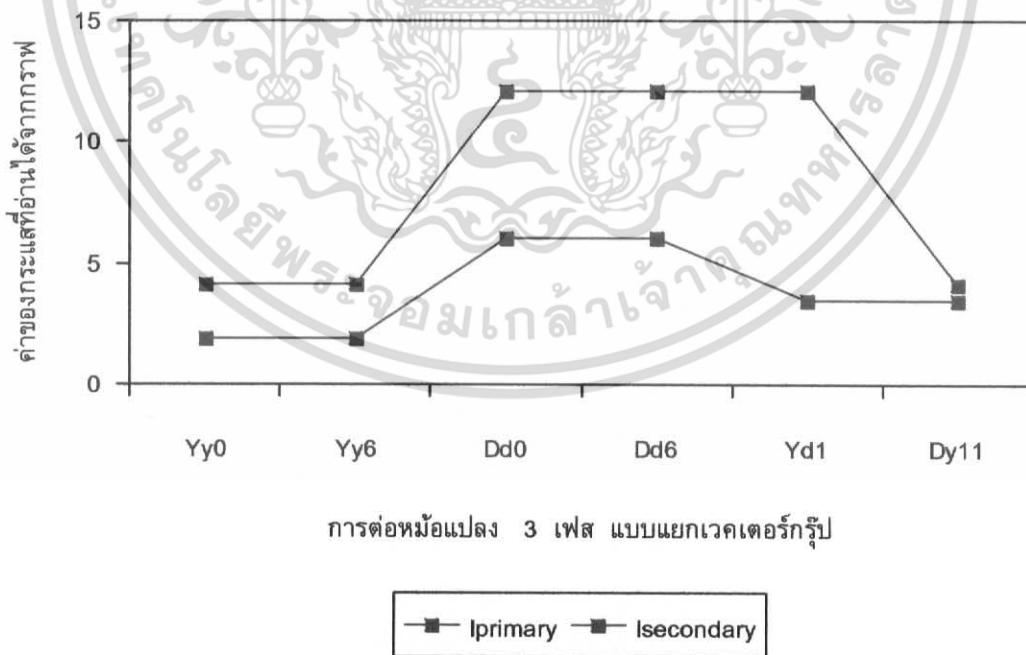
จากค่าในตารางที่ 4.1 เมื่อนำค่าไปพล็อตกราฟเพื่อแสดงขนาดของแรงดันและกระแสที่อ่านได้จากกราฟ เพื่อทำการเปรียบเทียบแนวโน้มของขนาดแรงดันและกระแสที่ได้จากการจำลองระบบได้ดังรูปที่ 4.54 และรูปที่ 4.55

กราฟแสดงการเปรียบเทียบขนาดของแรงดันที่อ่านได้จากกราฟ



รูปที่ 4.54 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าแรงดันที่อ่านได้จากกราฟ

กราฟแสดงการเปรียบเทียบขนาดของแรงดันที่อ่านได้จากกราฟ



รูปที่ 4.54 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่ากระแสที่อ่านได้จากกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ การสร้างแบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้าแบบ 1 เฟส 2 ขดลวด และหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ซึ่งในสร้างแบบจำลองของหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส ได้ศึกษาการจำลองระบบเวกเตอร์กรุปด้วย เพื่อถ่ายทอดการดำเนินการในระบบไฟฟ้ากำลัง โดยในการสร้างแบบจำลองนี้ได้อ้างอิงค่าต่างๆ จากหนังสือ Dynamic Simulink of Electrical Machinery^[1] ซึ่งเขียนโดย Chee-Mun Ong มาทำการจำลองระบบ (Simulate) เพื่อหาขนาดของแรงดันและกระแสที่เกิดขึ้นจากการจำลองระบบของหม้อแปลงที่สร้างขึ้นโดยใช้โปรแกรม MATLAB/simulink

5.2 สรุปผลการทดลอง

การทดลองนี้กำหนดให้ใช้ระบบจำลองของไฟฟ้า 1 เฟส 2 ขดลวด ขนาดพิกัด 1.5 kVA, 120/240 V, 60 Hz, pole-type โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ขนาดพิกัดหม้อแปลงที่ใช้ในการทดสอบหม้อแปลง

Primary	Secondary
$R_1 = 0.25 \ \Omega$	$R_2 = 0.314 \ \Omega$
$X_{l1} = 0.056 \ \Omega$	$X_{l2} = 0.056 \ \Omega$
$X_{m1} = 708.8 \ \Omega$	

ซึ่งการจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส จะประกอบด้วยหม้อแปลง 1 เฟส 2 ขดลวด จำนวน 3 ชุด นำมาแบงก์ (Bank) กัน สิ่งสำคัญในการนำหม้อแปลง 1 เฟส 2 ขดมาทำการต่อเป็นหม้อแปลง 3 เฟสนั้น ต้องเหมือนกันทุกประการคือ

1. ขนาด kVA
2. ความถี่
3. แรงดันพิกัด
4. ขั้วต้องเหมือนกัน

วิธีการต่อหม้อแปลง 3 เฟส คือ ต่อแบบเดลต้าหรือแบบวาย แต่เนื่องจากหม้อแปลงมีทั้งขดปฐมภูมิและขดทุติยภูมิ จึงสามารถต่อได้ 4 วิธีคือ

1. แบบวาย-วาย หรือ สตาร์-สตาร์ ($Y-Y$ connection)
2. แบบเดลต้า-เดลต้า ($\Delta-\Delta$ connection)
3. แบบวาย-เดลต้า หรือ สตาร์-เดลต้า ($Y-\Delta$ connection)
4. แบบเดลต้า-วาย หรือ เดลต้า-สตาร์ ($\Delta-Y$ connection)

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หม้อแปลง 3 เฟสด้านปฐมภูมิจะต่อกับแหล่งจ่ายกระแสสลับตามลำดับเฟส ทำการวัดค่าแรงดันและกระแสที่ได้จากสโคป ซึ่งผลที่ได้จะแสดงถึงค่า Line จากผลการทดลองจะได้กราฟแรงดันเอาท์พุท ลักษณะ Sine wave ที่สมบูรณ์ และกราฟกระแสที่มีลักษณะเป็น Sine wave ที่สมบูรณ์เมื่อด้านปฐมภูมิต่อแบบวาย และจะเป็น Sine wave ที่ไม่สมบูรณ์เมื่อขดลวดต่อแบบเดลต้า เป็นเพราะเหตุนี้เนื่องจากการต่อแบบเดลต้าจะมีฮาร์มอนิกเกิดขึ้น

ส่วนในการแบ่งเวกเตอร์กรุปเราแบ่งได้ 4 กลุ่ม คือ

กลุ่มที่ 1 ความต่างเฟสของด้าน H.V. ต่อด้าน L.V. เป็น 0°

- แบบ Yy0 ซึ่งในแบบจำลองการต่อแบบวาย-วาย ผลของ Turn Ratio ทางด้าน Secondary ต่อด้าน Primary คือ $\frac{N_s}{N_p}$ และเฟสเซอร์แรงดันด้าน Secondary

ต่อด้าน Primary จะมีมุมต่างเฟส 0°

- แบบ Dd0 ซึ่งในแบบจำลองการต่อแบบเดลต้า-เดลต้า ผลของ Turn Ratio ทางด้าน Secondary ต่อด้าน Primary คือ $\frac{N_s}{N_p}$ เฟสเซอร์แรงดันด้าน Secondary

ต่อด้าน Primary จะมีมุมต่างเฟส 0°

กลุ่มที่ 2 ความต่างเฟสของด้าน H.V. ต่อด้าน L.V. เป็น 180°

- แบบ Yy6 ซึ่งในแบบจำลองการต่อแบบเดลต้า-เดลต้า ผลของ Turn Ratio ทางด้าน Secondary ต่อด้าน Primary คือ $\left(-\frac{N_s}{N_p}\right)$ เฟสเซอร์แรงดันด้าน Secondary ต่อด้าน Primary จะมีมุมต่างเฟส 180° เพื่อให้สอดคล้องกับเฟสเซอร์ด้าน Primary

- แบบ Dd6 ซึ่งในแบบจำลองการต่อแบบเดลต้า-เดลต้า ผลของ Turn Ratio ทางด้าน Secondary ต่อด้าน Primary คือ $\left(-\frac{N_s}{N_p}\right)$ เฟสเซอร์แรงดันด้าน Secondary เพื่อให้สอดคล้องกับเฟสเซอร์ด้าน Primary จะมีมุมต่างเฟส 180° เพื่อให้สอดคล้องกับเฟสเซอร์ด้าน Primary

กลุ่มที่ 3 ความต่างเฟสของด้าน L.V. จะตามหลังด้าน H.V. อยู่ 30° (angular displacement = -30°)

- แบบ Dy1 ซึ่งในการจำลองแบบนี้ไม่สามารถที่จะแสดงผลได้เพราะว่ามีข้อจำกัดในการออกแบบมาตั้งแต่แรก

- แบบ Yd1 ซึ่งในแบบจำลองการต่อแบบวาย-เดลต้า ผลของ Turn Ratio ของด้าน Secondary ต่อด้าน Primary คือ $\sqrt{3}\left(\frac{N_s}{N_p}\right)$ และเฟสเซอร์แรงดันของด้าน

Secondary ได้เลื่อนไป 30° ทวนเข็มนาฬิกาเพื่อให้สอดคล้องกับเฟสเซอร์ของด้าน Primary

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มที่ 4 ความต่างเฟสของด้าน H.V. จะตามหลังด้าน L.V. อยู่ 30° (angular displacement = $+30^\circ$)

- แบบ Dy11 ซึ่งในแบบจำลองการต่อแบบเดลต้า-วาย ผลของ Turn Ratio ของด้าน Secondary ต่อด้าน Primary คือ $\frac{1}{\sqrt{3}} \left(\frac{N_s}{N_p} \right)$ และเฟสเซอร์แรงดันของด้าน Secondary ได้เลื่อนไป 30° ทวนเข็มนาฬิกาเพื่อให้สอดคล้องกับเฟสเซอร์ของด้าน Primary
- แบบ Yd11 ซึ่งในการจำลองแบบนี้ไม่สามารถที่จะแสดงผลได้เพราะว่ามีข้อจำกัดในการออกแบบมาตั้งแต่แรก

5.2 แนวทางการพัฒนา

การทดลองนี้ได้ทดลองการจำลองระบบหม้อแปลงไฟฟ้า 3 เฟส และได้ทำการแยกเวกเตอร์ในรูปแบบต่างๆ ดังนั้นในการพัฒนาดังต่อไปนี้ อาจทำการทดลองถึงการป้องกันระบบกระแสฟอลต์และวิเคราะห์กระแสฟอลต์ หรือทำการต่อโหลดเพิ่มเติม เพื่อดูผลความสัมพันธ์ที่เชื่อมโยงกับทฤษฎี นอกจากนั้นอาจจะพิจารณาถึงปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อหม้อแปลงที่ต่ออยู่ในระบบ อาทิเช่น ไฟฟ้า แผ่นดินไหว เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Chee-Mun Ong, "Dynamic Simulation of Electric Machinery", Prentice Hall PTR, 1998, 85-121 pp.
- [2] Hadi Saadat, "Power System Analysis " , Second Edition. Singapore: McGraw-Hill. 2004, 65-91 pp.
- [3] Hydro-Quebec, "Power System Blockset for use with Simulink", TEQSIM International, 4-143 – 4-188 pp.
- [4] M.V. Deshpande, "Element of Electrical Power Station Design", Third Edition. New Delhi: Wheeler Publishing. 1986, 384 – 390 pp.
- [5] พิเชิด ล้ายอง , "เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1", พิมพ์ครั้งที่ 3. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, สิงหาคม 2540. 38-41, 57-105 pp.
- [6] วิริยะ พิเชฐจำเริญ, "เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1", กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ด ยูเอชเอ็น .2521, 12-226 pp
- [7] ธวัชชัย อัดถวิบูลย์, "หม้อแปลงไฟฟ้า 1", กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, 2538. 130-143 pp.
- [8] ธวัชชัย อัดถวิบูลย์, "หม้อแปลงไฟฟ้า 2", กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมอาชีพ, 2527. 165-190 pp.
- [9] สัมพันธ์ หาญชาติ, "เครื่องจักรกลไฟฟ้า 1 เล่ม 1", พิมพ์ครั้งที่ 6, กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2533, 92-106 pp.
- [10] ศุภชัย สุทธิวงศ์, "เครื่องจักรกลไฟฟ้า 2 เล่ม 1", พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2543, 173-180 pp.
- [11] โฆษิต เอ่งฉ้วน และนนทวัฒน์ เจริญโมรา, "การจำลองทางคอมพิวเตอร์สำหรับกระแสน้ำของหม้อแปลงไฟฟ้า", วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546, 4-28 pp.
- [12] วรรัตน์ ภัทรอมรกุล, มนัส สังวรศิลป์, "คู่มือการใช้ ฉบับสมบูรณ์", กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์ Info Press, เมษายน 2543.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้