

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คอนเวอร์เตอร์ชนิดลดจำนวนสวิตช์สำหรับการประยุกต์ใช้ในการขับเคลื่อน
เครื่องจักรกลไฟฟ้า

**A REDUCED SWITCH COUNT CONVERTER FOR
ELECTRICAL MACHINE DRIVE**

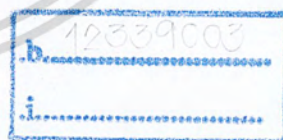


T117505



โดย
นายวัชรพงษ์ วงศ์รัตนศิริกุล
นางสาววิมลรัตน์ หิรัญวงษ์
นายศรিতวารรณ จรรย์เดชากาญจน์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **117505**
วัน,เดือน,ปี... **5 ต.ค. 2554**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**A REDUCED SWITCH COUNT CONVERTER FOR
ELECTRICAL MACHINE DRIVE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

คอนเวอร์เตอร์ชนิดลดจำนวนสวิตช์สำหรับการประยุกต์ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้า

A REDUCED SWITCH COUNT CONVERTER FOR
ELECTRICAL MACHINE DRIVE



นายวัชรพงษ์

วงศ์รัตนศิริกุล

นางสาววิมลรัตน์

หิรัญวงษ์

นายศรিতวรรณ

จรัญเดชากาญจน์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. วรชาติ แซ่ก๊ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง คอนเวอร์เตอร์ชนิดลดจำนวนสวิตช์สำหรับการประยุกต์ใช้ในการขับเคลื่อน
เครื่องจักรกลไฟฟ้า

ผู้จัดทำ



นายวัชรพงษ์
นางสาววิมลรัตน์
นายศรিতววรรณ

วงศ์รัตนศิริกุล
หิรัญวงษ์
จรัญเดชากาญจน์

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. วรชาติ แซ่ก๊ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเวอร์เตอร์ชนิดลดจำนวนสวิตช์สำหรับการประยุกต์ใช้ในการขับเคลื่อน
เครื่องจักรกลไฟฟ้า

นายวัชรพงษ์ วงศ์รัตนศิริกุล

นางสาววิมลรัตน์ หิรัญวงษ์

นายศรিতววรรณ จรรย์เดชากาญจน์

ดร. วรชาติ แซ่ก๊ก อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

ปริญาานิพนธ์นี้นำเสนอการประยุกต์ใช้คอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์สำหรับการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสขนาดเล็กรวมถึงอธิบายทฤษฎีและหลักการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์ โดยเลือกใช้วิธีการควบคุมคอนเวอร์เตอร์แบบควบคุมแรงดัน ซึ่งเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน ในส่วนของการจำลองทางคอมพิวเตอร์ของระบบคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์นั้นคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์และการนำไปออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบจริง สำหรับเครื่องต้นแบบนั้นคณะผู้จัดทำได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด TMS320F28335 มาประมวลผลของสัญญาณและสร้างสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้างเพื่อใช้ในการควบคุมเครื่องต้นแบบของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A REDUCED SWITCH COUNT CONVERTER FOR ELECTRICAL MACHINE DRIVE

Watcharapong

Wongrattanasirikul

Wimonrat

Hiranwong

Saritwat

Charandechakan

Dr. Warachart

Sae-Kok

Supervisor

2010

ABSTRACT

This thesis presents the application of a four-switch converter to a small three-phase induction motor drive. The theory and principle of operation of this converter are discussed. This converter can be operated by either voltage or current control mode, but only voltage control mode is considered in this thesis. MATLAB/Simulink program is used to simulate the operating strategy of this converter. The TMS320F28335 digital signal controller is applied to implement the designed converter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำโครงการอนุรักษ์ซึ่งและขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อความกรุณาที่ ดร.วรชาติ แซ่ก๊ก อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้คำแนะนำรวมถึงความรู้ในการทำโครงการ ตลอดจนอาจารย์ในภาควิชาที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้จัดทำโครงการในครั้งนี้ ถ้าปราศจากท่านแล้วโครงการนี้คงไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้

นอกจากนั้นผู้จัดทำโครงการต้องขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกในการยืมใช้เครื่องมือ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ห้องธุรการที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับการเบิกใบเสร็จของโครงการ และผู้จัดทำโครงการต้องขอขอบคุณพี่ปริญญาโทและเพื่อนร่วมห้องปฏิบัติการ (REAL) ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเป็นอย่างดีตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ ผู้จัดทำโครงการต้องขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยส่งเสียเงินทองให้ผู้จัดทำเรียนจนจบในครั้งนี้

คณะผู้จัดทำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	XIII
สารบัญตาราง.....	XX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ.....	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ.....	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ.....	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	3
1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปริิณญาานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 คอนเวอเตอร์สามเฟส.....	5
2.2.1 คอนเวอเตอร์สามเฟสชนิดหกสวิตช์.....	6
2.2.2 หลักการควบคุมคอนเวอเตอร์สามเฟสชนิดหกสวิตช์.....	7
2.2.3 ผลของเดดไทม์.....	7
2.3 คอนเวอเตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์.....	8
2.3.1 หลักการควบคุมคอนเวอเตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์.....	8
2.3.2 สถานะการสวิตช์ของคอนเวอเตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์.....	10
2.3.3 การคำนวณเวลาในการสวิตช์ของคอนเวอเตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์.....	14
2.4 ทฤษฎีกรอบอ้างอิง (Reference Frame Theory).....	15
2.4.1 การแปลงจากกรอบอ้างอิงสามเฟสไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง.....	15
2.4.2 การแปลงจากกรอบอ้างอิงใด ๆ ไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง.....	16
2.5 การควบคุมมอเตอร์แบบอัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความถี่.....	16
2.6 บทสรุป.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การจำลองทางคอมพิวเตอร์และการสร้างเครื่องต้นแบบ	19
3.1 บทนำ	19
3.2 การจำลองคอนเวอเตอร์ชนิดลดจำนวนสวิตช์	19
3.2.1 ภาคกำลัง	20
3.2.2 การสร้างสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้าง	21
3.2.3 Inverse Park's Transform	21
3.3 การสร้างเครื่องต้นแบบคอนเวอเตอร์ชนิดสี่สวิตช์	22
3.3.1 การออกแบบวงจรกำลัง	22
3.3.1.1 คอนเวอเตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์	22
3.3.1.2 อุปกรณ์ตัดต่อวงจร และอุปกรณ์ป้องกัน	23
3.3.2 การออกแบบวงจรควบคุม	25
3.3.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์	25
3.3.2.2 วงจรระดับสัญญาณ และวงจรแยกกราวนด์	25
3.3.2.3 อุปกรณ์ขับเคลื่อน	26
3.3.2.4 อุปกรณ์วัดแรงดัน	27
3.3.2.5 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	27
3.3.2.6 เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส	28
3.3.2.7 ภาระทางไฟฟ้า	29
3.4 บทสรุป	29
บทที่ 4 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง	30
4.1 บทนำ	30
4.2 ผลการทดลอง	30
4.2.1 ผลการทดลองกรณีเฟส A ต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง	30
4.2.1.1 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	31
4.2.1.2 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	32
4.2.1.3 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.1.4 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ในกรณีเฟส A เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	34
4.2.1.5 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีเฟส A เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	35
4.2.1.6 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีเฟส A เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	36
4.2.1.7 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ในกรณีเฟส A เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	37
4.2.1.8 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ในกรณีเฟส A เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	38
4.2.1.9 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ ในกรณีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	40
4.2.1.10 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ ในกรณีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	41
4.2.1.11 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ ในกรณีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	42
4.2.1.12 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ในกรณีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	43
4.2.1.13 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ ในกรณีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	44
4.2.1.14 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ ในกรณีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.1.15 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	46
4.2.1.16 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	47
4.2.1.17 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 20 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$	49
4.2.1.18 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 30 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$	51
4.2.1.19 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$	53
4.2.1.20 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$	55
4.2.1.21 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 20 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	57
4.2.1.22 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 30 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	59
4.2.1.23 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	61
4.2.1.24 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ VII อังอาจอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2 ผลการทดลองกรณีเฟส B ต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง	65
4.2.2.1 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	66
4.2.2.2 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	67
4.2.2.3 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	68
4.2.2.4 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	69
4.2.2.5 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	70
4.2.2.6 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	71
4.2.2.7 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	72
4.2.2.8 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	73
4.2.2.9 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	75
4.2.2.10 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	76
4.2.2.11 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	77
4.2.2.12 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ VIII อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2.13 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	79
4.2.2.14 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	80
4.2.2.15 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	81
4.2.2.16 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	82
4.2.2.17 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$	84
4.2.2.18 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$	86
4.2.2.19 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$	88
4.2.2.20 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$	90
4.2.2.21 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	92
4.2.2.22 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และix ้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.2.23 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	96
4.2.2.24 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	98
4.2.3 ผลการทดลองกรณีเฟส C ต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง ...	100
4.2.3.1 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	101
4.2.3.2 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	102
4.2.3.3 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	103
4.2.3.4 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	104
4.2.3.5 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	105
4.2.3.6 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	106
4.2.3.7 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	107
4.2.3.8 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่อ อยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	108
4.2.3.9 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	110
4.2.3.10 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$	111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และข้อยกอ้างถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

<p>4.2.3.11 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$</p>	112
<p>4.2.3.12 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$</p>	113
<p>4.2.3.13 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$</p>	114
<p>4.2.3.14 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$</p>	115
<p>4.2.3.15 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$</p>	116
<p>4.2.3.16 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$</p>	117
<p>4.2.3.17 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$</p>	119
<p>4.2.3.18 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$</p>	121
<p>4.2.3.19 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$</p>	123
<p>4.2.3.20 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$</p>	125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และข้อมูอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.3.21 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	127
4.2.3.22 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	129
4.2.3.23 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	131
4.2.3.24 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจร เชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	133
4.3 บทสรุป	135
บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา	136
5.1 บทสรุป	136
5.2 ข้อเสนอแนะ	136
5.3 แนวทางการพัฒนา	136
บรรณานุกรม	137
ภาคผนวก	138
ภาคผนวก ก. เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญานิพนธ์	139
ภาคผนวก ข. รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์	141
ภาคผนวก ค. ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ	144
ภาคผนวก ง. บทความวิชาการ	185
ภาคผนวก จ. โปสเตอร์นำเสนอผลงาน	190
ประวัติผู้เขียน	192

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ XII อังอาจอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดหกสวิตช์	6
2.2 การสร้างสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้าง	7
2.3 โครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์	8
2.4 การเปลี่ยนการจ่ายโหลดสามเฟสโดยแหล่งจ่ายแรงดันสามแหล่งเป็นแหล่งจ่ายแรงดันสองแหล่งที่ทำมุมกัน 60 องศา	9
2.5 เวกเตอร์แรงดันของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์กรณีเฟสต่าง ๆ ต่อเข้ากับจุดกึ่งกลางแหล่งจ่ายไฟตรง	10
2.6 สถานะการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์ที่สถานะต่าง ๆ	10
2.7 สเปซเวกเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์กรณีเฟส A ต่อกับจุดกึ่งกลาง	12
2.8 สเปซเวกเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์	13
2.9 ตัวแปรในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งในระบบ dq	16
2.10 กราฟการควบคุมแบบอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่คงที่	18
3.1 วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ชนิดลดจำนวนสวิตช์	19
3.2 แผนผังการจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการจัดวางอุปกรณ์ในวงจรกำลัง	20
3.3 แผนผังการจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการสร้างสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้าง	21
3.4 แผนผังการจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการ Inverse Park's Transform	21
3.5 แผนผังของวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์	22
3.6 วงจรคอนเวอร์เตอร์สี่สวิตช์	23
3.7 ฟิวส์ขนาด 10 แอมป์	24
3.8 เซอร์คิตเบรกเกอร์	24
3.9 แม็กเนติกคอนแทกเตอร์	24
3.10 ชุดควบคุม TMS320F28335	25
3.11 วงจรแยกกราวนด์และวงจรยกระดับแรงดัน	26
3.12 ชุดขับเคลื่อน	26
3.13 วงจรวัดระดับแรงดัน	27
3.14 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง	28
3.15 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสามเฟส	28
3.16 ภาระทางไฟฟ้า	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ XIII อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.1 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	31
4.2 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	32
4.3 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	33
4.4 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	34
4.5 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	35
4.6 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	36
4.7 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	37
4.8 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	38
4.9 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	40
4.10 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	41
4.11 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	42
4.12 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	43
4.13 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	44
4.14 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	45
4.15 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	46
4.16 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	47
4.17 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ	49
4.18 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 94.21 วัตต์	50
4.19 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ XIV อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.20 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 168.28 วัตต์.....	52
4.21 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	53
4.22 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 235.16 วัตต์.....	54
4.23 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	55
4.24 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 305.89 วัตต์.....	56
4.25 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	57
4.26 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 94.12 วัตต์.....	58
4.27 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	59
4.28 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 166.88 วัตต์.....	60
4.29 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	61
4.30 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 235.72 วัตต์.....	62
4.31 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	63
4.32 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส A ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 308.5 วัตต์.....	64
4.33 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	66
4.34 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	67
4.35 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	68
4.36 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ xv อંગอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.37 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	70
4.38 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	71
4.39 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	72
4.40 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	73
4.41 รูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	75
4.42 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	76
4.43 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	77
4.44 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	78
4.45 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	79
4.46 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	80
4.47 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	81
4.48 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	82
4.49 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ	84
4.50 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 95.73 วัตต์	85
4.51 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ	86
4.52 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส B ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 168 วัตต์	87

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.53 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณิเฟส B ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	88
4.54 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณิเฟส B ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 235.72 วัตต์.....	89
4.55 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณิเฟส B ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	90
4.56 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณิเฟส B ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 305.33 วัตต์.....	91
4.57 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณิเฟส B ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	92
4.58 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณิเฟส B ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 94.12 วัตต์.....	93
4.59 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณิเฟส B ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	94
4.60 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณิเฟส B ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 167.44 วัตต์.....	95
4.61 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณิเฟส B ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	96
4.62 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณิเฟส B ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 237.95 วัตต์.....	97
4.63 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณิเฟส B ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	98
4.64 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณิเฟส B ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 308.73 วัตต์.....	99
4.65 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณิที่เฟส C ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	101
4.66 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณิที่เฟส C ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	102
4.67 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณิที่เฟส C ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	103
4.68 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณิที่เฟส C ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	104
4.69 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณิที่เฟส C ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	105
4.70 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณิที่เฟส C ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ XVII ของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.71 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	107
4.72 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	108
4.73 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	110
4.74 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	111
4.75 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	112
4.76 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$	113
4.77 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	114
4.78 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	115
4.79 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	116
4.80 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งกรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$	117
4.81 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ	119
4.82 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 95.01 วัตต์	120
4.83 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ	121
4.84 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 166.88 วัตต์	122
4.85 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิรตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ	123

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.86 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 234.33 วัตต์.....	124
4.87 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	125
4.88 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ป้อน $\gamma = 0.5$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 303.91 วัตต์.....	126
4.89 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	127
4.90 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 93.93 วัตต์.....	128
4.91 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	129
4.92 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 167.72 วัตต์.....	130
4.93 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	131
4.94 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 236.56 วัตต์.....	132
4.95 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะไร้ภาระ.....	133
4.96 กราฟรูปคลื่นแรงดันที่กรณีเฟส C ต่อกกลางความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ภายใต้สภาวะที่มีภาระ เท่ากับ 307.60 วัตต์.....	134

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

1.1 แผนการดำเนินโครงการ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา เลขXXอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ภาคอุตสาหกรรมโดยส่วนใหญ่แล้วนั้นมีความนิยมใช้เครื่องจักรกลไฟฟ้ามาช่วยในส่วนของการกระบวนการผลิตกันอย่างแพร่หลาย การขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าโดยการควบคุมความเร็วรอบหรือแรงบิดเพื่อให้มีประสิทธิภาพตามความต้องการนั้นจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่เรียกว่าคอนเวอร์เตอร์มาขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้า ในช่วงเวลาหลายปีที่ผ่านมา อุปกรณ์ด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังมีการพัฒนาเป็นอย่างมากทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำประเภทสวิตช์กำลังอย่างไอจีบีทีหรือมอสเฟตให้สามารถทนกระแสที่ระดับความถี่สูงและแรงดันสูงได้ดีมากยิ่งขึ้น จึงส่งผลให้คอนเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพสูงมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้การออกแบบชุดขับเคลื่อนมีความหลากหลายและความยืดหยุ่นในการใช้งานมีมากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้คอนเวอร์เตอร์จึงมีบทบาทสำคัญเป็นอย่างมากต่อกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรมแต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้คอนเวอร์เตอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งานด้วย คอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมในปัจจุบันนี้เกือบทั้งหมดจะเป็นคอนเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันส่วนคอนเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแสจะมีอยู่บ้างตามโรงงานขนาดใหญ่ที่ใช้เทคโนโลยีระดับกลาง

หน้าที่ของคอนเวอร์เตอร์ขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งานคอนเวอร์เตอร์เป็นสำคัญเพราะคอนเวอร์เตอร์สามารถทำงานได้หลากหลายรูปแบบ แต่หน้าที่หลักของคอนเวอร์เตอร์ที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรมคือแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้อุปกรณ์ที่อยู่ภายในคอนเวอร์เตอร์เรียกว่าสวิตช์กำลัง คอนเวอร์เตอร์เฟสเดียวจะมีสวิตช์กำลังเพียง 2 สวิตช์แต่ในคอนเวอร์เตอร์สามเฟสซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวางจะมีสวิตช์กำลังจำนวน 6 สวิตช์ จึงมีความพยายามที่จะหาวิธีลดค่าใช้จ่ายในส่วนของคุณสมบัติทางไฟฟ้าหรือคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งมีหลากหลายวิธี การลดจำนวนสวิตช์กำลังในคอนเวอร์เตอร์ถือเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ อีกทั้งยังสามารถช่วยในการเปลี่ยนโครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสหากเกิดความผิดพลาดในคอนเวอร์เตอร์สามเฟสได้

จากจุดเด่นดังที่กล่าวมาข้างต้น ทางผู้ดำเนินโครงการวิจัยจึงมีความคิดที่จะสร้างเครื่องต้นแบบคอนเวอร์เตอร์ชนิดลดจำนวนสวิตช์เพื่อทำการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าสามเฟสโดยอาศัยเครื่องจักรกลไฟฟ้าประเภทเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกเป็นตัวถูกขับเคลื่อน

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อสร้างเครื่องต้นแบบของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์
2. เพื่อศึกษาการทำงานของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์สำหรับงานวิจัยในระดับสูงต่อไป
3. นำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้กับเทคโนโลยีภายในประเทศในอนาคตเพื่อลดค่าใช้จ่ายและขนาดคอนเวอร์เตอร์รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์อีกด้วย
4. เมื่อโครงการสำเร็จแล้วสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงกับคอนเวอร์เตอร์สามเฟสเพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นและปรับปรุงโครงสร้างให้กับระบบขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

โครงการนี้เป็นการศึกษาหลักการควบคุมคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์ โดยทำการจำลองการทำงานทางคอมพิวเตอร์และทำการสร้างเครื่องต้นแบบขึ้นโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมเพื่อทำการศึกษาการทำงานของระบบ ในส่วนของการทดสอบเครื่องต้นแบบนั้นขอบเขตของการทดสอบเครื่องต้นแบบจะถูกจำกัดที่การขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำแบบกรงกระรอกขนาด 0.75 กิโลวัตต์เท่านั้น

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ

1. ค้นหาและทำการจัดเตรียมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทำโครงการเพื่อศึกษาข้อมูลรวมถึงวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทั้งหมด
2. จัดหาและเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งหมด รวมทั้งศึกษาวิธีการใช้เครื่องมือต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทั้งหมด
3. ออกแบบและทำการสร้างเครื่องต้นแบบคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์และทดสอบเครื่องต้นแบบคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์ที่สร้างขึ้น
4. บันทึกค่าและวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้
5. จัดทำสรุปขั้นตอนการดำเนินงานและผลการทดสอบ
6. นำเสนอผลการดำเนินโครงการต่ออาจารย์ผู้ควบคุมวิชาโครงการต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 แผนการดำเนินโครงการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2			
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคอนเวอเตอร์สามเฟสชนิดลดจำนวนสวิตช์								
2. จำลองการทำงานคอมพิวเตอร์ของคอนเวอเตอร์สามเฟสชนิดลดจำนวนสวิตช์โดยการอาศัยโปรแกรม MATLAB/Simulink								
3. ทำการจัดสร้างฮาร์ดแวร์เพื่อรองรับการทดสอบที่ใช้ในการยืนยันผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์								
4. ทำการทดสอบระบบต้นแบบที่สร้างขึ้นและทำการวิเคราะห์ตลอดจนเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากการจำลองทางคอมพิวเตอร์และการทดสอบจริงในระบบต้นแบบ								
5. สรุปผลการวิจัย								
6. นำเสนอผลงานการวิจัยต่ออาจารย์ผู้ควบคุมวิชาโครงการ								

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. สามารถนำความรู้ความเข้าใจที่ได้รับจากการทำการทดลองและสร้างเครื่องต้นแบบของคอนเวอเตอร์สามเฟสชนิดลดจำนวนสวิตช์และคอนเวอเตอร์สามเฟสประยุกต์ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้า
2. โครงการนี้ก่อให้เกิดความรู้ และความเข้าใจกับเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าด้วยคอนเวอเตอร์สามเฟสและคอนเวอเตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์
3. โครงการนี้เป็นบูรณาการของวิทยาการและความรู้ด้านต่าง ๆ คือ อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, เครื่องจักรกลไฟฟ้า, ทฤษฎีทางระบบควบคุมและวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังเข้าด้วยกันซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์กับผู้ศึกษาและทำการวิจัยในสาขาดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 การจัดโครงสร้างของเนื้อหาภายในปฏิญญาพันธ

เนื้อหาภายในปฏิญญาพันธฉบับนี้สามารถจำแนกได้ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ ซึ่งจะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหาในโครงการ, วัตถุประสงค์ของโครงการ, ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ, วิธีการที่ใช้ในโครงการ, แผนการดำเนินการ และประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการทำงานและการควบคุมของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสและคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดลดจำนวนสวิตช์

บทที่ 3 การจำลองทางคอมพิวเตอร์และการสร้างเครื่องต้นแบบ ซึ่งจะกล่าวถึงการนำทฤษฎีที่ได้ศึกษามาจำลองทางคอมพิวเตอร์และสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อแสดงการทำงานของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์

บทที่ 4 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์และการทดลอง ซึ่งจะกล่าวถึงการนำผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง เพื่อพิสูจน์และยืนยันว่าหลักการควบคุมและทฤษฎีนั้นถูกต้อง

บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา ซึ่งจะกล่าวถึงในส่วนบทสรุปของโครงการทั้งหมดรวมถึงข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาของโครงการต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและหลักการงานสำหรับการสร้างคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดลดจำนวนสวิตช์โดย เนื้อหาจะเริ่มจากทฤษฎีและหลักการงานของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสามเฟสโดยทั่วไปและคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดลดจำนวนสวิตช์ หลังจากนั้นจะอธิบายถึงสมการทางคณิตศาสตร์ของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์เพื่อที่จะนำไปใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์รวมถึงใช้ในการควบคุมการทำงานและสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อทดสอบ โดยที่รายละเอียดของการจำลองทางคอมพิวเตอร์และการสร้างเครื่องต้นแบบจะถูกกล่าวถึงในบทที่ 3 ต่อไป

2.2 คอนเวอร์เตอร์สามเฟส

ในปัจจุบันมีการนำเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำเข้ามาใช้ในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น เนื่องจากเครื่องจักรกลไฟฟ้าชนิดนี้มีข้อดี คือ บำรุงรักษาง่าย ทนทาน ที่พิกัดกำลังเดียวกัน เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะมีขนาดเล็กกว่าเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง ในการใช้งานเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำในงานบางอย่างต้องการควบคุมความเร็วรอบเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามความเหมาะสม หรือในบางงานต้องการความเร็วรอบคงที่ไม่ว่าโหลดจะเปลี่ยนแปลงไปในรูปแบบใดก็ตาม ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ควบคุมต่อทำงานร่วมเพื่อให้เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำทำงานได้ตามที่ต้องการในการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำจำเป็นต้องเข้าใจความสัมพันธ์ของแรงบิดและความเร็วรอบก่อน โดยที่สมการของความเร็วรอบและแรงบิดของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ

$$N_r = (1-s) \frac{120f}{P} \quad (2.1)$$

$$T = k \frac{V}{f} \quad (2.2)$$

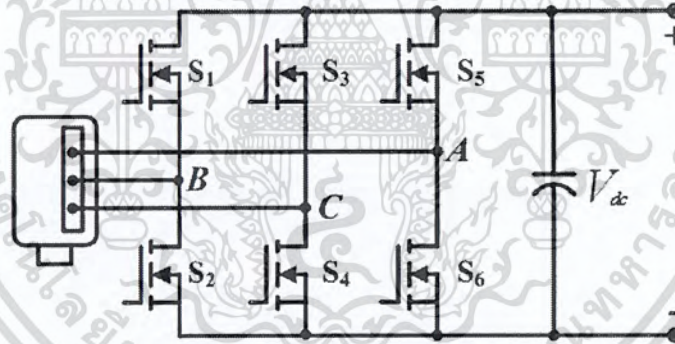
โดยที่	N_r	คือ	ความเร็วรอบของโรเตอร์ (rpm)
	s	คือ	ค่าสลิป
	P	คือ	จำนวนขั้วแม่เหล็ก (Pole)
	f	คือ	ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ (Hz)
	V	คือ	แรงดันของแหล่งจ่ายไฟ (V)
	T	คือ	ค่าแรงบิด (N.m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำโดยการปรับความถี่แหล่งจ่ายไฟฟ้า ทำได้โดยอาศัยคอนเวอร์เตอร์ที่ทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์ซึ่งทำการแปรผันกำลังไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถควบคุมได้ทั้งขนาดและความถี่ ทำให้เราสามารถควบคุมแรงบิดและความเร็วของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ ในการเลือกใช้งานคอนเวอร์เตอร์นั้นอาจเป็นคอนเวอร์เตอร์เฟสเดียวหรือสามเฟสขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน แต่ในกรณีที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงนั้น คอนเวอร์เตอร์สามเฟสเป็นทางเลือกที่เหมาะสม โดยคอนเวอร์เตอร์สามเฟสที่นิยมใช้ในการแปลงกำลังไฟฟ้าเป็นประเภทแหล่งจ่ายแรงดันที่ควบคุมด้วยสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้าง (PWM) ข้อดีของคอนเวอร์เตอร์ประเภทนี้คือมีความสามารถในการควบคุมให้คอนเวอร์เตอร์ทำงานได้ทั้งในโหมดอินเวอร์เตอร์และโหมดเรียงกระแส

2.2.1 คอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดหกสวิตช์

คอนเวอร์เตอร์สามเฟสนิยมนำมาใช้ในการแปรผันพลังงานจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเนื่องจากเหมาะกับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงและสามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าต้านออกได้ทั้งขนาดและความถี่ โดยโครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดนี้จะประกอบไปด้วยสวิตช์กำลังจำนวนหกสวิตช์ต่อกันอยู่ดังแสดงในภาพที่ 2.1

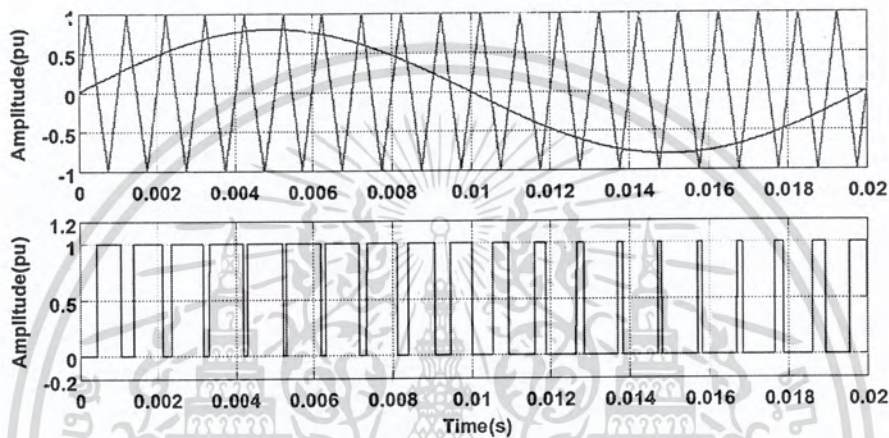


ภาพที่ 2.1 โครงสร้างคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดหกสวิตช์

โครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์จะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงจะมีตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ต่อคร่อมอยู่ เพื่อทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจรเรียงกระแสให้เรียบยิ่งขึ้น และส่วนของไฟสลับจะต่ออยู่กับเครื่องจักรกลไฟฟ้าสามเฟสหรือโหลดสามเฟสเพื่อทำหน้าที่แปลงกำลังไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

2.2.2 หลักการควบคุมคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดหกสวิตช์

ในวงจรคอนเวอร์เตอร์ที่ทำงานในโหมดอินเวอร์เตอร์จะสร้างแรงดันไฟฟ้าต้านออกที่สามารถปรับขนาดและความถี่ได้ตามต้องการ [1] โดยอาศัยการตัดต่อวงจรของสวิตช์กำลัง การควบคุมการทำงานของสวิตช์กำลังจะอาศัยสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้าง โดยใช้สัญญาณรูปคลื่นไซน์ (Sinusoidal Control Signal) ตามความถี่ที่ต้องการนำมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยม (Triangular Waveform) เพื่อให้ได้สัญญาณพัลส์ดังแสดงในภาพที่ 2.2 ที่จะไปควบคุมการสวิตช์ของสวิตช์โดยความถี่ของการสวิตช์จะเท่ากับความถี่ของรูปคลื่นสามเหลี่ยม



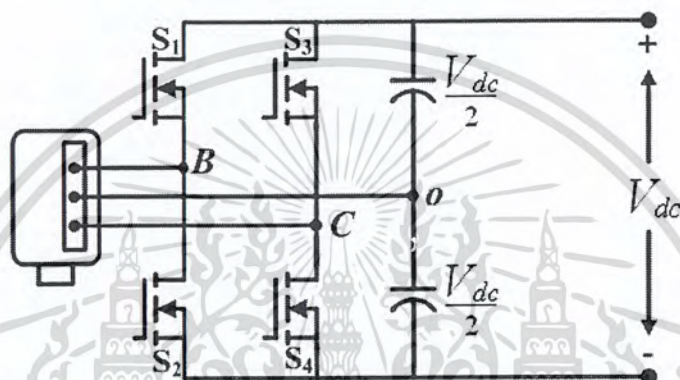
ภาพที่ 2.2 การสร้างสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้าง

2.2.3 ผลของเดดไทม์

ในทางปฏิบัติทั้งใด ๆ ของคอนเวอร์เตอร์สวิตช์กำลังตัวบนและสวิตช์กำลังตัวล่างจะต้องไม่ทำงานพร้อมกัน ดังนั้นเราจะต้องเผื่อเวลาในการทำงานและหยุดทำงานของสวิตช์โดยจะต้องมีช่วงเวลาที่สวิตช์หยุดทำงานทั้งคู่ ก่อนที่สวิตช์จะเปลี่ยนสถานะเพื่อป้องกันการลัดวงจรระหว่างบัสบวกกับบัสลบ ซึ่งช่วงเวลานี้จะเรียกว่าเดดไทม์ (dead time)

2.3 คอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์

เนื่องจากความก้าวหน้าทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังที่สูงขึ้นจึงทำให้เกิดการพัฒนาชุดขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่มีความสามารถในการทำงานที่กำลังไฟฟ้าและความถี่สูงขึ้นและทำให้เกิดความพยายามที่จะลดค่าใช้จ่ายของชุดขับเคลื่อนลงโดยที่ไม่ลดประสิทธิภาพในการทำงาน การลดจำนวนสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจจึงทำให้เกิดการศึกษาการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์โดยโครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์จะประกอบด้วยกิ่งของสวิตช์กำลังสองกิ่งซึ่งจะต่อเข้ากับสองเฟสของเครื่องจักรกลไฟฟ้าหรือโหลดสามเฟสดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์

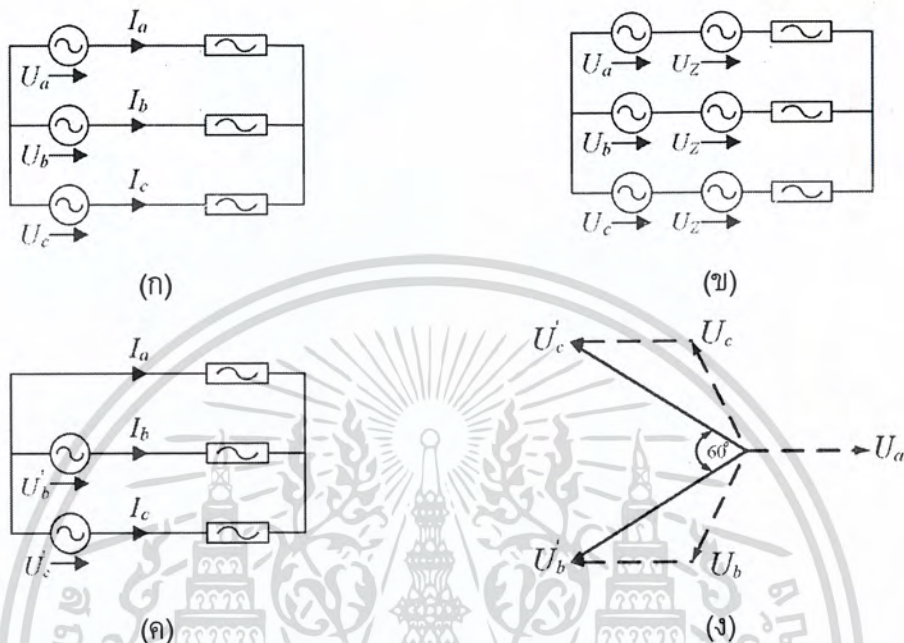
ในส่วนทางด้านแหล่งจ่ายไฟตรงคอนเวอร์เตอร์ชนิดลดจำนวนสวิตช์จะต้องการตัวเก็บประจุสองตัวที่มีความจุเท่ากันต่ออนุกรมกันโดยจุดกึ่งกลางระหว่างตัวเก็บประจุจะถูกต่อเข้ากับเฟสที่สามของเครื่องจักรกลไฟฟ้าหรือโหลดสำหรับจุดสำคัญของคอนเวอร์เตอร์ประเภทนี้คือค่าความจุของตัวเก็บประจุจะต้องมีค่าสูงพอสมควรที่จะใช้ในการกรองสัญญาณที่มีความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับได้ นอกจากนี้ยังต้องมีการปรับระดับแรงดันของตัวเก็บประจุทั้ง 2 ให้มีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด

2.3.1 หลักการควบคุมคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์

หลักการควบคุมของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ วิธีการควบคุมกระแสและวิธีการควบคุมแรงดัน โดยในปริณญาณิพนธ์นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการควบคุมแรงดัน ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างมากและได้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยปกติทั่วไปของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดหกสวิตช์จะทำการควบคุมเวกเตอร์แรงดัน U_a, U_b, U_c ที่มีขนาดเท่ากันให้มีมุมต่างกัน 120 องศาแสดงในภาพที่ 2.4 (ก) เพื่อให้ได้กระแสสมดุลสามเฟส แต่ในกรณีของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์เฟสที่ควบคุมได้จะเหลือเพียงสองเฟสเท่านั้นดังนั้นจึงทำการบวกเวกเตอร์แรงดัน U_a, U_b, U_c ด้วยเวกเตอร์แรงดัน U_z ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (ข) ซึ่งเป็นเวกเตอร์ที่มีขนาดเท่ากับเวกเตอร์แรงดันของเฟสที่ถูกต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

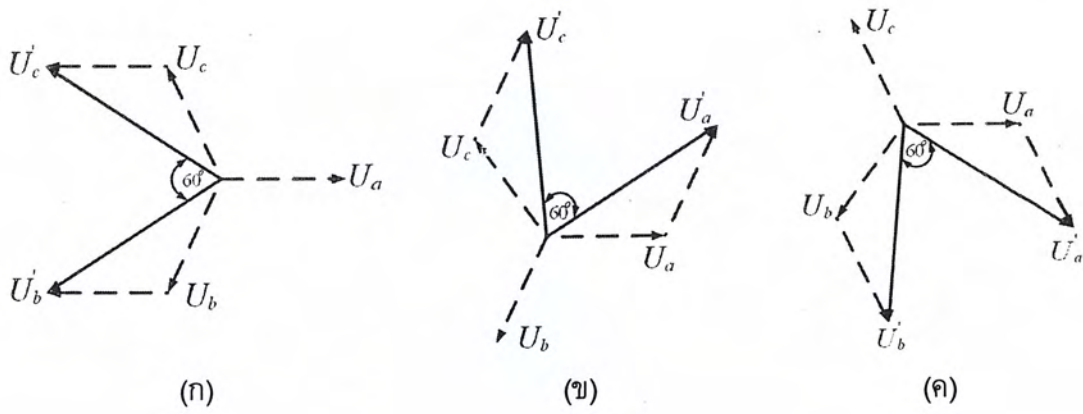
ไฟตรง แต่มีทิศทางตรงกันข้ามดังแสดงในภาพที่ 2.4 (ข) ผลจะทำให้เกิดเวกเตอร์แรงดัน U'_b และ U'_c ซึ่งทำมุมกัน 60 องศา และทำให้เกิดองค์ประกอบลำดับศูนย์ขึ้น ถ้าหากระบบนั้นไม่มีการต่อลงกราวด์จะไม่มีผลกระทบจากองค์ประกอบลำดับศูนย์ที่เกิดขึ้น ทำให้กระแสวิกตังเป็นสามเฟสสมดุลเหมือนเดิม [4] ดังแสดงในภาพที่ 2.4 (ค) และเวกเตอร์แรงดันใหม่ดังแสดงภาพที่ 2.4 (ง)



ภาพที่ 2.4 การเปลี่ยนการจ่ายโหลดสามเฟสโดยแหล่งจ่ายแรงดันสามแหล่งเป็นแหล่งจ่ายแรงดันสองแหล่งที่ทำมุมกัน 60 องศา

- (ก) การจ่ายโหลดสามเฟสด้วยแหล่งจ่ายสามเฟส
- (ข) การบวกแหล่งจ่ายแรงดัน U_z เข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันสามเฟส
- (ค) การจ่ายโหลดสามเฟสด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน 2 แหล่งที่ทำมุมกัน 60 องศา
- (ง) เวกเตอร์แรงดันที่ใช้ในการควบคุมการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์

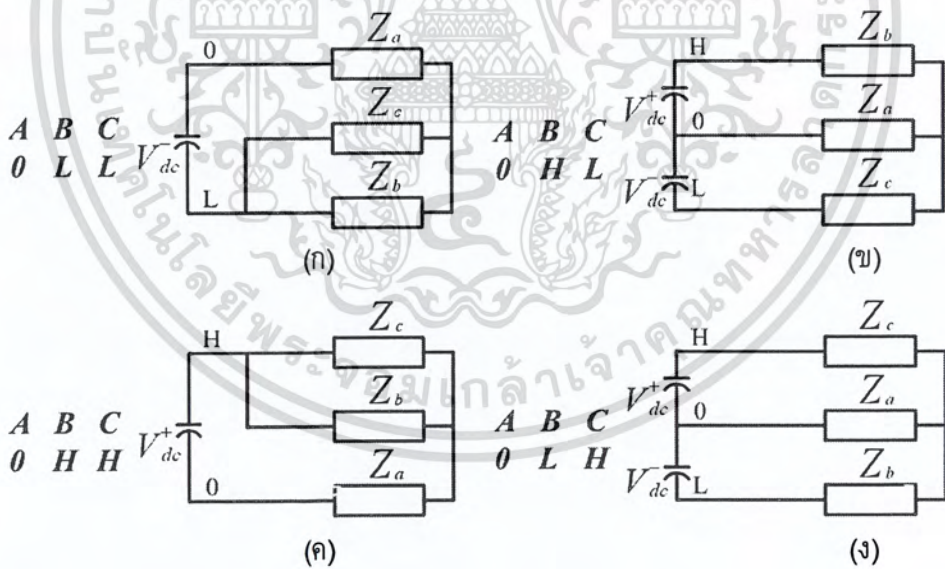
การควบคุมมุมเฟสระหว่างแรงดันควบคุมให้ทำมุมกัน 60 องศาจะส่งผลให้เวกเตอร์แรงดันใหม่ที่ได้จะมีมุมนำหน้าหรือตามหลังเวกเตอร์แรงดันเดิมอยู่ 30 องศาขึ้นอยู่กับเฟสที่นำไปต่อกับจุดกึ่งกลางระหว่างตัวเก็บประจุและขนาดของเวกเตอร์แรงดันใหม่ที่ได้จะเพิ่มขึ้นเป็น $\sqrt{3}$ เท่าของเวกเตอร์แรงดันเดิม [3] เวกเตอร์แรงดันควบคุมในกรณีที่เฟสต่าง ๆ ต่อเข้ากับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงทางไฟตรงสามารถแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 เวกเตอร์แรงดันของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์กรณีที่มีเฟสต่าง ๆ ต่อเข้ากับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงทางไฟตรง (ก) เฟส A (ข) เฟส B และ (ค) เฟส C

2.3.2 สถานะการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์

สำหรับคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์ดังภาพที่ 2.3 จะสามารถสร้างเวกเตอร์ของแรงดันได้ 4 สถานะโดยที่ไม่มีการลัดหรือเปิดวงจรที่วงจรเชื่อมโยงไฟตรงโดยจะได้สถานะคือ OLL OHL OHH และ OLH [2] ซึ่งจะแสดงไว้ในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 สถานะการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์ที่สถานะต่าง ๆ (ก) สถานะ OLL (ข) สถานะ OHL (ค) สถานะ OHH (ง) สถานะ OLH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวอ้างอิงกับจุดกึ่งกลางระหว่างตัวเก็บประจุกับแรงดันตกคร่อมวงจรเชื่อมโยงไฟตรงสามารถแสดงได้โดยสมการที่ 2.3 และ 2.4

$$V_{dc}^+ = (1 - \gamma)V_{dc} \quad (2.3)$$

$$V_{dc}^- = -\gamma V_{dc} \quad (2.4)$$

โดย γ แสดงถึงค่าอัตราส่วนระหว่างแรงดันที่ตัวเก็บประจุตัวล่างกับค่าแรงดันทั้งหมดที่ตกคร่อมวงจรเชื่อมโยงทางไฟตรงโดยในกรณีที่ เป็นอุดมคติ γ จะมีค่าเท่ากับ 0.5 ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ออกจากคอนเวอร์เตอร์กับสถานะการสวิตชิงเมื่อเฟส A ต่อที่จุดกึ่งกลางระหว่างตัวเก็บประจุทั้งสองจะแสดงได้ดังเมตริกซ์ในสมการที่ 2.5

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ L & H & H & L \\ L & L & H & H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\gamma V_{dc} & (1-\gamma)V_{dc} & (1-\gamma)V_{dc} & -\gamma V_{dc} \\ -\gamma V_{dc} & -\gamma V_{dc} & (1-\gamma)V_{dc} & (1-\gamma)V_{dc} \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

หลังจากนั้นใช้สมการการแปลงของคลาร์กเพื่อเปลี่ยนให้สมการอยู่ในรูปกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งดังแสดงในสมการที่ 2.6

$$\begin{bmatrix} u_{00\alpha} & u_{10\alpha} & u_{11\alpha} & u_{01\alpha} \\ u_{00\beta} & u_{10\beta} & u_{11\beta} & u_{01\beta} \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & \frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\gamma V_{dc} & (1-\gamma)V_{dc} & (1-\gamma)V_{dc} & -\gamma V_{dc} \\ -\gamma V_{dc} & -\gamma V_{dc} & (1-\gamma)V_{dc} & (1-\gamma)V_{dc} \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

จัดรูปสมการที่ 2.6 ให้อยู่ในรูปขนาดของแรงดันไฟตรงจะได้เวกเตอร์แรงดันของการสวิตชิงในแต่ละสถานะดังแสดงในสมการที่ 2.7 – 2.10

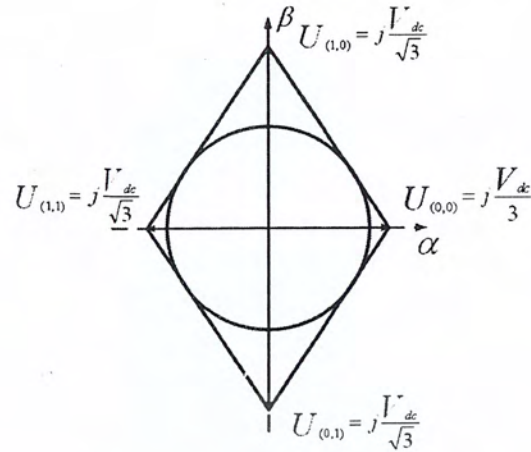
$$U_{00} = V_{dc} \left[\left(\frac{2}{3} \gamma \right) \right] \quad (2.7)$$

$$U_{10} = V_{dc} \left[\left(\frac{-1+2\gamma}{3} \right) + j \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) \right] \quad (2.8)$$

$$U_{11} = V_{dc} \left[-\frac{2}{3}(1-\gamma) \right] \quad (2.9)$$

$$U_{01} = V_{dc} \left[\left(\frac{-1+2\gamma}{3} \right) - j \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) \right] \quad (2.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.7 สเปซเวกเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์กรณีเฟส A ต่อกับจุดกึ่งกลาง

ในกรณีที่แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุไม่มีการแกว่งเราจะได้เวกเตอร์ของแรงดันในแต่ละสถานการณ์สวิตช์ดังสมการที่ 2.11 – 2.14 และแสดงสเปซเวกเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์กรณีไม่มีการแกว่งของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.7

$$\text{สถานะ } 00 \quad V_{00} = \frac{V_{dc}}{3} e^{j0} \quad (2.11)$$

$$\text{สถานะ } 10 \quad V_{10} = \frac{V_{dc}}{\sqrt{3}} e^{j\frac{\pi}{2}} \quad (2.12)$$

$$\text{สถานะ } 11 \quad V_{11} = \frac{V_{dc}}{3} e^{j\pi} \quad (2.13)$$

$$\text{สถานะ } 01 \quad V_{01} = \frac{V_{dc}}{2} e^{-j\frac{\pi}{2}} \quad (2.14)$$

เวกเตอร์แรงดันของการสวิตช์ในกรณีที่เฟส B และ C ต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรถื่อมโยงทางไฟตรงสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.15 - 2.18 และ 2.19 - 2.22 ตามลำดับ

$$U_{00} = V_{dc} \left[\left(\frac{-\gamma}{3} \right) + j \left(\frac{\gamma}{\sqrt{3}} \right) \right] \quad (2.15)$$

$$U_{10} = V_{dc} \left[\left(\frac{2-\gamma}{3} \right) + j \left(\frac{\gamma}{\sqrt{3}} \right) \right] \quad (2.16)$$

$$U_{11} = V_{dc} \left[\left(\frac{1-\gamma}{3} \right) - j \left(\frac{1-\gamma}{\sqrt{3}} \right) \right] \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U_{01} = V_{dc} \left[\left(\frac{-1-\gamma}{3} \right) - j \left(\frac{1-\gamma}{\sqrt{3}} \right) \right] \tag{2.18}$$

$$U_{00} = V_{dc} \left[\left(\frac{-\gamma}{3} \right) + j \left(\frac{-\gamma}{\sqrt{3}} \right) \right] \tag{2.19}$$

$$U_{10} = V_{dc} \left[\left(\frac{2-\gamma}{3} \right) + j \left(\frac{-\gamma}{\sqrt{3}} \right) \right] \tag{2.20}$$

$$U_{11} = V_{dc} \left[\left(\frac{1-\gamma}{3} \right) + j \left(\frac{1-\gamma}{\sqrt{3}} \right) \right] \tag{2.21}$$

$$U_{01} = V_{dc} \left[\left(\frac{-1-\gamma}{3} \right) - j \left(\frac{1-\gamma}{\sqrt{3}} \right) \right] \tag{2.22}$$

แต่ในความเป็นจริงแล้วการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์จะทำให้เกิดการแกว่งของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุซึ่งจะเกิดการลัดวงจรของเฟสที่สามารถควบคุมได้กับส่วนของวงจรไฟตรงทั้งด้านบวกและด้านลบ [3] ดังแสดงในภาพที่ 2.6 (ก) และ 2.6 (ค) ตามลำดับ เป็นเหตุให้เกิดความไม่สมดุลของกระแสสามเฟส โดยขนาดการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะขึ้นอยู่กับขนาดของตัวเก็บประจุ ขนาดของกระแสไลน์ และความถี่ที่ใช้งาน



ภาพที่ 2.8 สเปซเวกเตอร์ของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์

(ก) กรณีที่มีการแกว่งของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ

(ข) กรณีที่ไม่มีการแกว่งของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในภาพที่ 2.8 จะแสดงให้เห็นถึงสเปกตรัมของคอนเวอร์เตอร์ชนิดลดจำนวนสวิตช์ ทั้งกรณีที่มีการแกว่งและไม่มีการแกว่งของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ ภายใต้เงื่อนไขที่มีการแกว่งของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะเห็นว่าเวกเตอร์ 00 และ 11 จะมีขนาดไม่เท่ากัน ซึ่งขนาดจะแปรตามความถี่มูลฐานด้วยเหตุนี้จะทำให้เกิดความไม่สมดุลในกระแสไลน์สามเฟส

2.3.3 การคำนวณเวลาในการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์

เนื่องจากการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุทำให้สเปกตรัมของคอนเวอร์เตอร์เปลี่ยนไปดังนั้นการหาเวลาในการสวิตช์ของแต่ละสถานะการสวิตช์ใหม่จะใช้ความสัมพันธ์ของเวกเตอร์แรงดัน U_s ในภาพที่ 2.6 สามารถแสดงได้โดยสมการที่ 2.23 และ 2.24

$$(U_s \sin \theta)T = (U_{10} \sin \delta)t_b, \quad (2.23)$$

$$(U_s \cos \theta)T = U_{00}t_{00} + U_{11}t_{11} + (U_{10} \cos \delta)t_{10} \quad (2.24)$$

ขนาดของเวกเตอร์ในการสวิตช์แสดงในรูปของแรงดันเชื่อมโยงไฟตรงได้ดังสมการที่ 2.25 -2.28

$$U_{10} \cos \delta = \frac{2\sqrt{3}}{3} \frac{V_{dc}}{2}, \quad (2.25)$$

$$(U_{10} \cos \delta) = \frac{2(-1+2\gamma)}{3} \frac{V_{dc}}{2}, \quad (2.26)$$

$$U_{00} = \frac{2}{3} \gamma V_{dc}, \quad (2.27)$$

$$U_{11} = -\frac{2}{3} (1-\gamma) V_{dc} \quad (2.28)$$

ค่าฐานที่จะใช้ในการคำนวณสมการในรูปแบบต่อหน่วยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.29

$$V_{1pu} = \frac{V_{dc}}{2\sqrt{3}} \quad (2.29)$$

หลังจากทำการคำนวณในระบบต่อหน่วยโดยใช้สมการที่ 2.23 – 2.29 สมการที่ใช้ในการคำนวณการสวิตช์จะเป็นดังสมการที่ 2.30 – 2.32

$$t_{10} = \frac{U_s \sin \theta}{2} T \text{ และ } t_{01} = 0, \quad (2.30)$$

$$t_{00} = (1 - \gamma)T + \frac{\sqrt{3}}{4} (U_s \cos \theta)T - \frac{t_{10}}{2}, \quad (2.31)$$

$$t_{11} = T - (t_{00} + t_{10}) \quad (2.32)$$

โดยที่ t_{10} แสดงเวลาในการสวิตช์สำหรับสถานะ 10

t_{01} แสดงเวลาในการสวิตช์สำหรับสถานะ 01

t_{00} แสดงเวลาในการสวิตช์สำหรับสถานะ 00

t_{11} แสดงเวลาในการสวิตช์สำหรับสถานะ 11

T แสดงคาบในการสวิตช์

2.4 ทฤษฎีกรอบอ้างอิง (Reference Frame Theory)

การคำนวณหาเวลาในการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์นั้นจะอาศัยทฤษฎีกรอบอ้างอิงเข้ามาช่วยในการลดจำนวนตัวแปรเพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมโดยจะอาศัยการแปลงจากกรอบอ้างอิงสามเฟสไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดหนึ่ง

2.4.1 การแปลงจากกรอบอ้างอิงสามเฟสไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดหนึ่ง

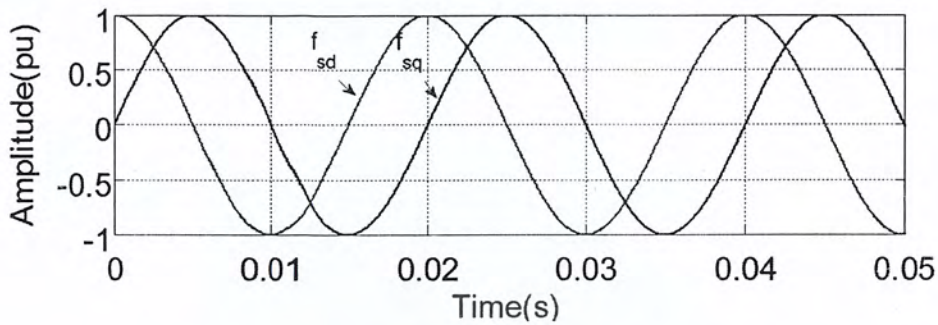
การแปลงจากกรอบอ้างอิงสามเฟสเป็นสองเฟสหยุดหนึ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่าการแปลงคลาร์ก (Clarke Transform) ในขั้นตอนนี้เป็นการแปลงตัวแปรในกรอบอ้างอิงสามเฟสไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดหนึ่งสองเฟสเทียบกับกรอบอ้างอิงสามเฟส ซึ่งผลของการแปลงจะส่งผลให้เกิดการลดรูปของตัวแปรขึ้น นอกจากนี้สัญญาณที่ได้จะมีแอมพลิจูดและความถี่เท่ากับแอมพลิจูดและความถี่ของสัญญาณไฟสามเฟสก่อนการแปลง ในการแปลงนั้นจะต้องอาศัยสมการการแปลงดังสมการที่ 2.33

$$\begin{bmatrix} f_{sd}^s \\ f_{sq}^s \\ f_{s0}^s \end{bmatrix} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{sa} \\ f_{sb} \\ f_{sc} \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

เมื่อตัวแปรในกรอบอ้างอิงสามเฟสถูกแปลงให้อยู่ในรูปกรอบอ้างอิงหยุดหนึ่งตัวแปรดังกล่าวจะเป็นตัวแปรที่มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะไซน์ซอซายด์และมีความถี่เดียวกับตัวแปรใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรอบอ้างอิงสามเฟสตัวแปรในแนวแกน d และแนวแกน q จะเลื่อนจากกันเป็นมุม 90 องศา ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 ตัวแปรในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งในระบบ dq

โดยที่ f_{sd} แสดงรูปคลื่นสัญญาณภายใต้กรอบอ้างอิงหยุดนิ่งในแนวแกน d
 f_{sq} แสดงรูปคลื่นสัญญาณภายใต้กรอบอ้างอิงหยุดนิ่งในแนวแกน q

2.4.2 การแปลงจากกรอบอ้างอิงใด ๆ ไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง

ในการคำนวณหาเวลาในการสวิตช์ของแต่ละสถานะจำเป็นต้องอาศัยค่าแวลฟา ($U_s \cos \theta$) และเบต้า ($U_s \sin \theta$) มาช่วยในการคำนวณจึงเป็นต้องอาศัยทฤษฎีกรอบอ้างอิง ทำการแปลงกรอบอ้างอิงจากกรอบอ้างอิงใด ๆ ไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่งเพื่อคำนวณหาค่าแวลฟาและเบต้า การแปลงแกนจากกรอบอ้างอิงใด ๆ ไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่งเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่า การแปลงกลับของปาร์ก (Inverse Park's transform) ในการแปลงแกนต้องอาศัยสมการแปลงแกนดังสมการที่ 2.34

$$\begin{bmatrix} f_{sd}^s \\ f_{sq}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{sd} \\ f_{sq} \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

2.5 การควบคุมมอเตอร์แบบอัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความถี่คงที่

การทำงานโดยพื้นฐานของคอนเวอร์เตอร์ในโหมดอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่รักษาอัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับความถี่ให้คงที่เพื่อให้สนามแม่เหล็กและแรงบิดให้มีค่าคงที่ โดยความสัมพันธ์แรงบิดที่เฟลมอเตอร์สามารถหาได้ดังสมการที่ 2.35

$$T = \frac{P_{out}}{\omega_r} \quad (2.35)$$

โดยที่ความเร็วรอบของโรเตอร์ ω_r และกำลังไฟฟ้าด้านออก P_{out} สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ 2.36 และ 2.37 ตามลำดับ

$$\omega_r = \frac{2\pi N_r}{60} \quad (2.36)$$

$$P_{out} = \frac{\eta \times P_{in}}{100} \quad (2.37)$$

สมการกำลังไฟฟ้าด้านเข้า P_{in} สามารถแสดงให้อยู่ในรูปแรงดันด้านเข้าและกระแสด้านเข้าดังแสดงในสมการที่ 2.38

$$P_{in} = \sqrt{3} V_{in} I_{in} \cos \theta \quad (2.38)$$

แทนสมการที่ 2.37 - 2.38 ลงในสมการที่ 2.36 จะได้สมการของแรงบิดดังแสดงในสมการที่ 2.39

$$T = \frac{60\sqrt{3}\eta V_{in} I_{in} \cos \theta}{200\pi \frac{120}{P} f(1-s)} \quad (2.39)$$

เมื่อพิจารณาที่สภาวะคงตัวโดยกำหนดให้

$$k = \frac{60\sqrt{3}\eta I_{in} \cos \theta}{200\pi \frac{120}{P} (1-s)} \quad (2.40)$$

ทำให้ได้สมการแรงบิดใหม่ดังแสดงในสมการที่ 2.41 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงบิดแปรผันตรงกับแรงดันไฟฟ้าและแปรผกผันกับความถี่ ดังนั้นหากต้องการให้มอเตอร์มีแรงบิดคงที่การทำงานของคอนเวอร์เตอร์จะต้องรักษาอัตราส่วนระหว่างแรงดันไฟฟ้าต่อความถี่ให้คงที่

$$T = k \frac{V_{in}}{f} \quad (2.41)$$

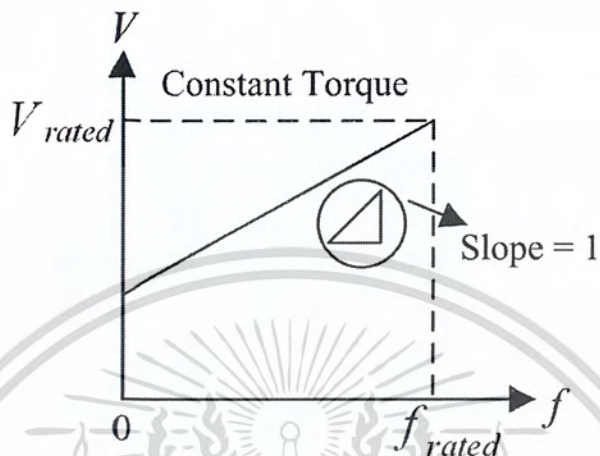
โดยที่ T คือ ค่าแรงบิด (N.m)

k คือ ค่าคงตัว

V_{in} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้า (V)

f คือ ความถี่ (Hz)

ในการทดลองได้ทำการควบคุมอัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่โดยคำนวณเป็นระบบต่อหน่วยและใช้ค่าแรงดันที่พิกัดและความถี่ที่พิกัดเป็นค่าฐานในระบบต่อหน่วยทำให้ความชันของกราฟการควบคุมแบบอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่คงที่มีความชันเป็น 1 ดังแสดงในภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 กราฟการควบคุมแบบอัตราส่วนแรงดันต่อความถี่คงที่

2.6 บทสรุป

ในบทนี้ได้นำเสนอถึงทฤษฎีพื้นฐานต่าง ๆ ทั้งในเรื่องของคอนเวอร์เตอร์ชนิดหกสวิตช์และสี่สวิตช์ รวมถึงหลักการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ทั้งสองชนิด โดยมีการสร้างแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์การทำงานของคอนเวอร์เตอร์ สำหรับรายละเอียดในการออกแบบและจัดสร้างเครื่องต้นแบบจะนำเสนอในบทที่ 3 ในลำดับต่อไป

บทที่ 3

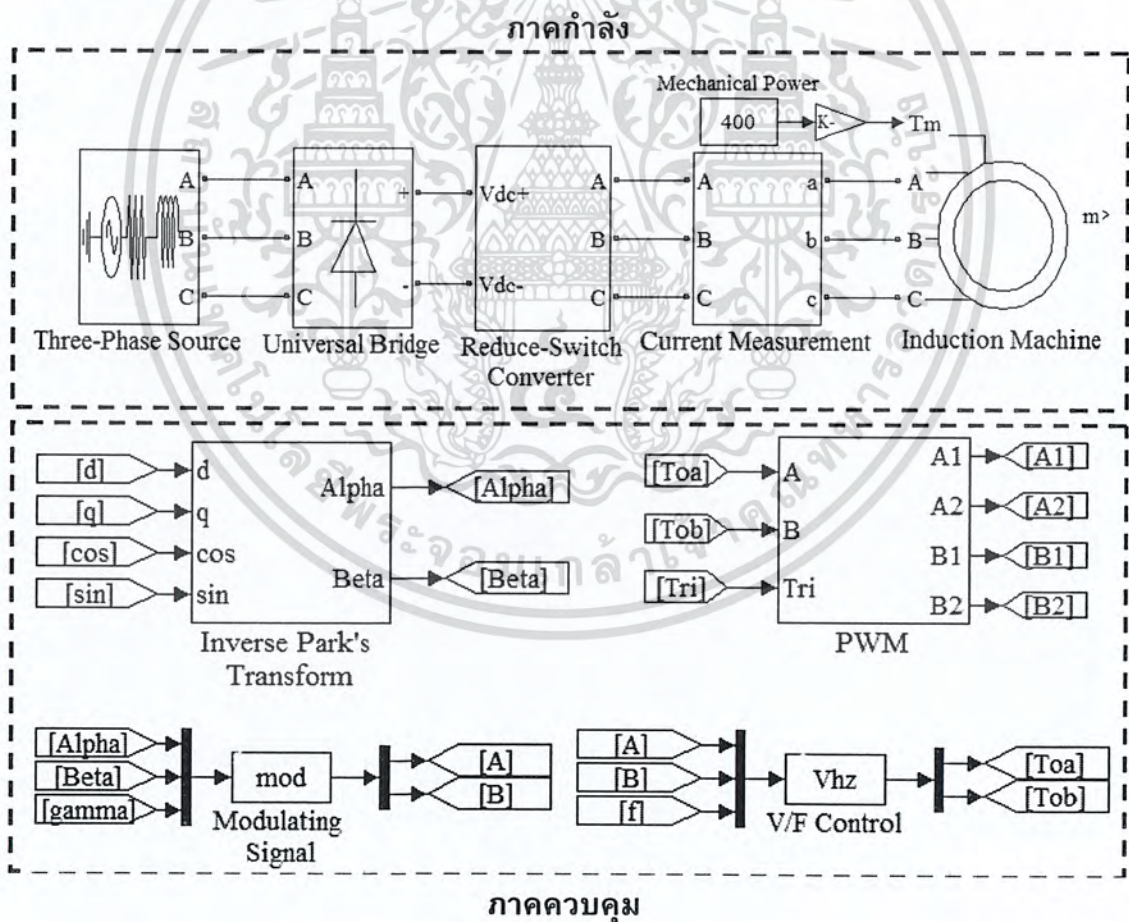
การจำลองทางคอมพิวเตอร์และการสร้างเครื่องต้นแบบ

3.1 บทนำ

ในบทนี้กล่าวถึงการจำลองทางคอมพิวเตอร์และการสร้างเครื่องต้นแบบโดยในส่วนของ การจำลองทางคอมพิวเตอร์เป็นการจำลองการทำงานทั้งระบบโดยอาศัยหลักการและทฤษฎีที่ได้ ศึกษาจากการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสวิตช์เพื่อยืนยันหลักการในการออกแบบว่า ถูกต้องและได้ผลเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ โดยเลือกใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink และ อีกส่วนเป็นการออกแบบเครื่องต้นแบบ เพื่อทำการทดสอบการทำงานจริง

3.2 การจำลองคอนเวอร์เตอร์ชนิดลดจำนวนสวิตช์

วงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดลดจำนวนสวิตช์ดังภาพที่ 3.1 ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ วงจรกำลังและวงจรควบคุม ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

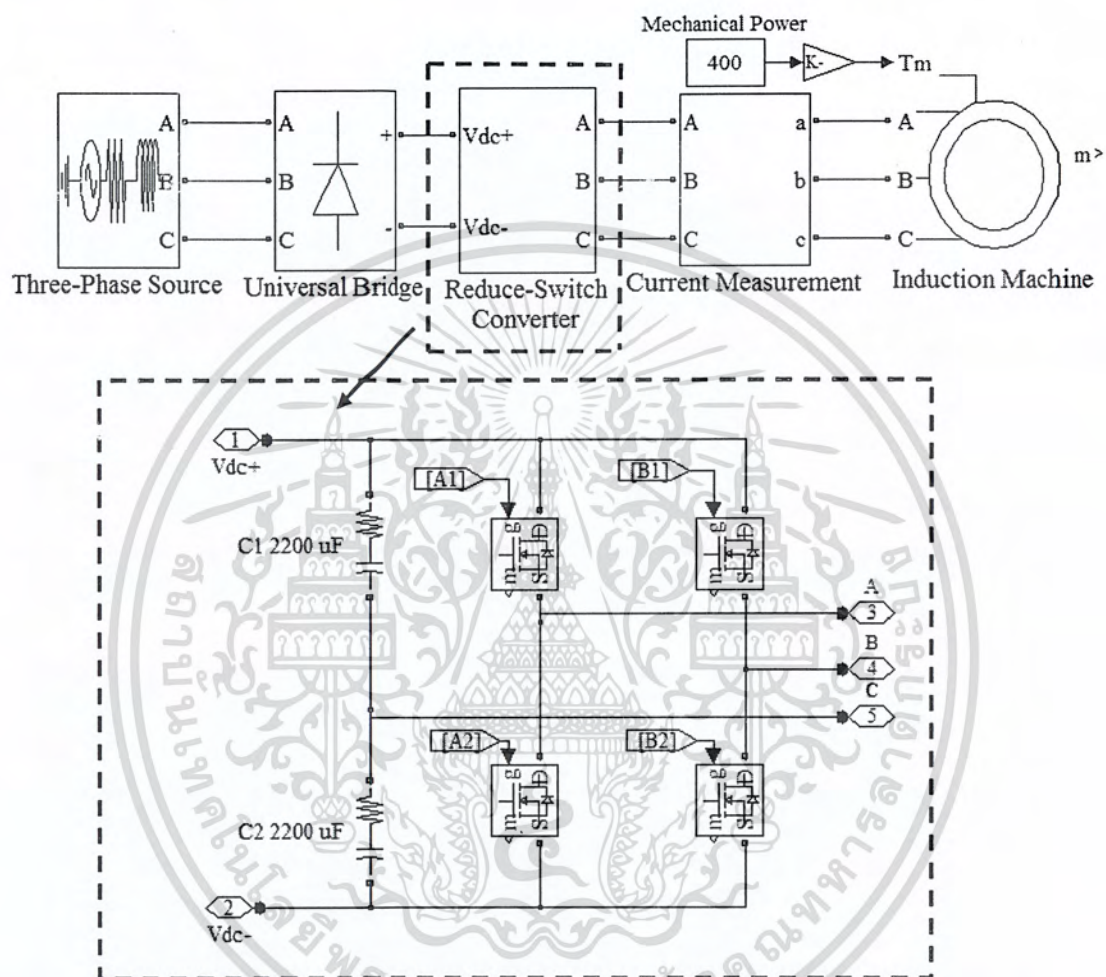


ภาพที่ 3.1 วงจรที่ใช้ในการจำลองการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ชนิดลดจำนวนสวิตช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ภาคกำลัง

ภาคกำลังที่สร้างขึ้นแบบจำลองประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟส ขนาดแรงดันไลน์ 380 โวลท์ ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์, ตัวเก็บประจุขนาด 2200 ไมโครฟารัด, วงจรวัดแรงดันไลน์, คอนเวอร์เตอร์สามเฟส, มอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสขนาด 1 แรงม้า

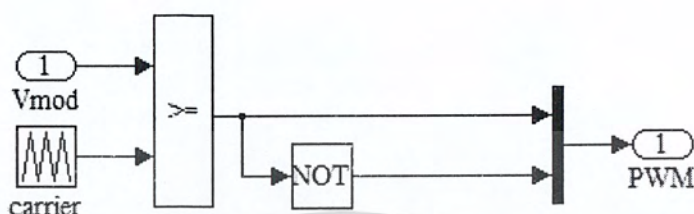


ภาพที่ 3.2 แผนผังการจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการจัดวางอุปกรณ์ในวงจรกำลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การสร้างสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้าง

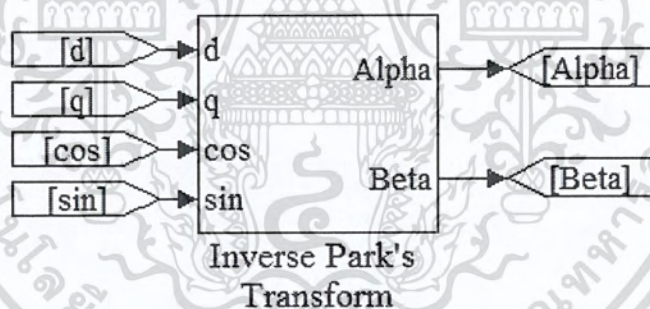
วิธีการสร้างสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้างทำได้โดยนำสัญญาณแรงดันไซน์อ้างอิงมาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นสามเหลี่ยม ซึ่งมีความถี่การสวิตช์ที่ได้จะมีขนาดเท่ากับความถี่ของสัญญาณสามเหลี่ยม



ภาพที่ 3.3 แผนผังการจำลองการสร้างสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้าง

3.2.3 Inverse Park's Transform

Inverse Park's Transform เป็นการแปลงแกนจากกรอบอ้างอิงใด ๆ ไปสู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง ซึ่งรูปแบบการแปลงแกนสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.4

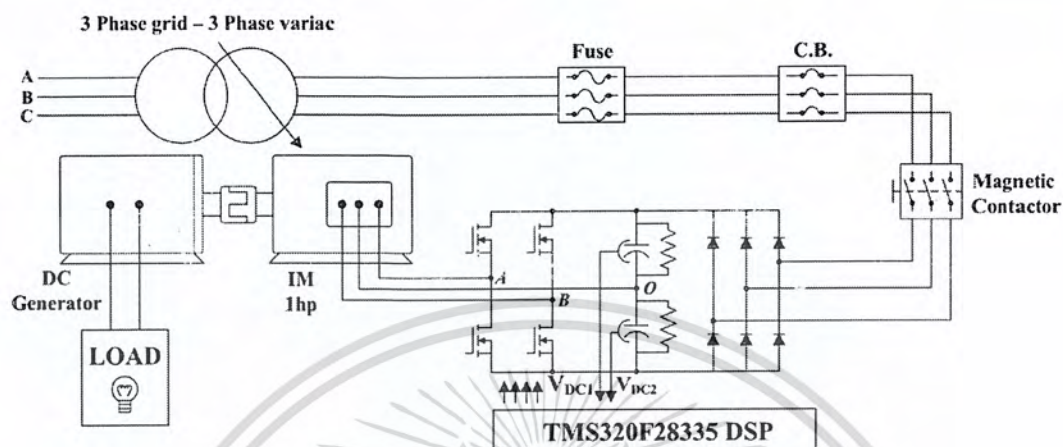


ภาพที่ 3.4 แผนผังการจำลองทางคอมพิวเตอร์ในการ Inverse Park's Transform

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การสร้างเครื่องต้นแบบคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์

การสร้างเครื่องต้นแบบคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์จะประกอบไปด้วยการออกแบบวงจรหลักสองส่วนคือ วงจรกำลังและวงจรควบคุม ซึ่งจะอธิบายดังต่อไปนี้



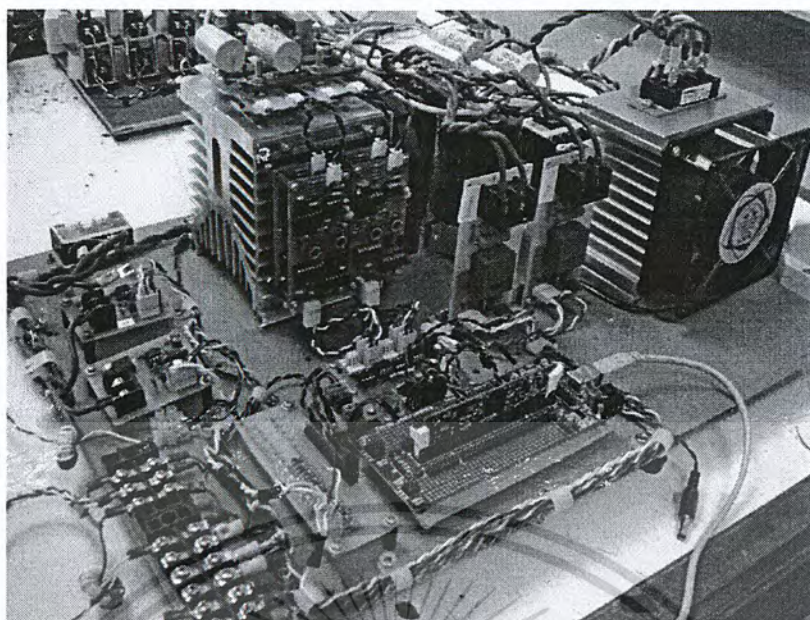
ภาพที่ 3.5 แผนผังของวงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์

3.3.1 การออกแบบวงจรกำลัง

การออกแบบวงจรกำลังจะเป็นส่วนหลักของเครื่องต้นแบบโดยจะประกอบไปด้วยส่วนของวงจรไฟตรง คอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์ วงจรตรวจจับแรงดันและไฟเลี้ยงอุปกรณ์ต่าง ๆ และเนื่องจากการทดลองมีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าแรงดันสูงจึงจำเป็นที่จะต้องมีการออกแบบวงจรป้องกัน เพื่อป้องกันการทำงานผิดพลาดของระบบรวมถึงความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากผู้ทดลองเองรายละเอียดของวงจรกำลังจะมีดังต่อไปนี้

3.3.1.1 คอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์

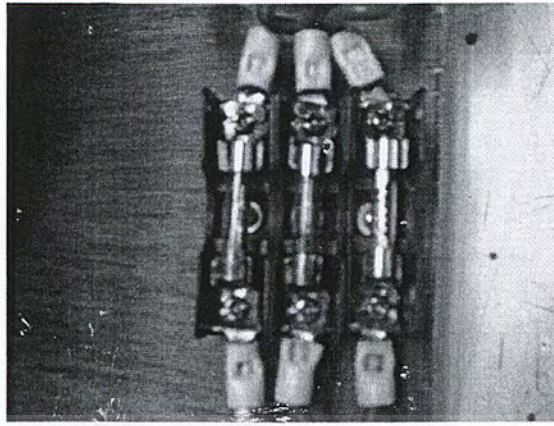
วงจรคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์ ดังแสดงในภาพที่ 3.6 ประกอบด้วย มอสเฟส เบอร์ IRFP460 พิกัดแรงดัน 500 โวลท์ พิกัดกระแส 20 แอมป์ จำนวน 4 ตัว โดยได้รับสัญญาณขับมอสเฟสจากวงจรจับเวลาที่ขาเกตของมอสเฟส โดยขาซอร์ส (Source) เชื่อมต่อเข้ากับบัสบาร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเชื่อมต่อเข้ากับตัวเก็บประจุขนาด 2200 ไมโครฟารัดที่นำมาอนุกรมกัน 2 ตัว โดยที่ขั้วบวกและขั้วลบของตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีตัวเก็บประจุขนาด 224 ไมโครฟารัดและตัวต้านทาน 100 กิโลโอห์ม 10 วัตต์ ต่อคร่อมอยู่และในส่วนของขาเดรน (Drain) จะเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าสามเฟสต่อไป



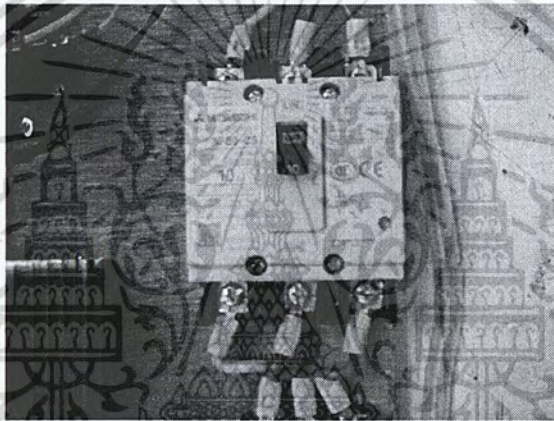
ภาพที่ 3.6 วงจรคอนเวอร์เตอร์สวิตซ์

3.3.1.2 อุปกรณ์ตัดต่อวงจร และอุปกรณ์ป้องกัน

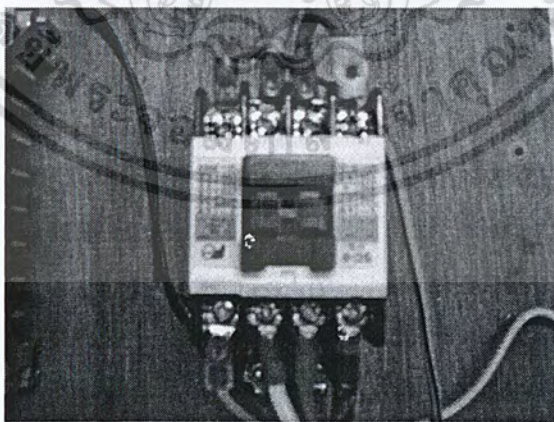
อุปกรณ์ที่นำมาป้องกันระบบการทำงานของคอนเวอร์เตอร์สวิตซ์จะมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างแหล่งจ่ายไฟสามเฟสกับตัวคอนเวอร์เตอร์ และส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง โดยที่ส่วนแรกจะใช้ฟิวส์ขนาด 10 แอมป์ จำนวน 3 ชุด, เซอร์คิตเบรกเกอร์ (ขนาด 10 แอมป์, 3 ขั้ว, 50/60 เฮิร์ตซ์, แรงดันขาเข้า 500 โวลท์) จำนวน 1 ชุด เพื่อเป็นตัวตัดวงจรเมื่อเกิดความผิดปกติของระบบ และแม็กเนติกคอนแทกเตอร์ (ขนาด 20 แอมป์, 220 โวลท์, 2.2 กิโลวัตต์) จำนวน 1 ชุด เพื่อใช้เป็นสวิตซ์ในการเปิด-ปิดวงจรของคอนเวอร์เตอร์นี้ ส่วนที่สองจะใช้ฟิวส์ขนาด 3 แอมป์ และ 1 แอมป์ อย่างละ 2 ชุดเพื่อที่จะป้องกันวงจรต่าง ๆ ภายในคอนเวอร์เตอร์เมื่อเกิดความผิดปกติของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ดังแสดงในภาพที่ 3.7, 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.7 ฟิวส์ขนาด 10 แอมป์



ภาพที่ 3.8 เซอร์กิตเบรกเกอร์



ภาพที่ 3.9 แม็กเนติกคอนแทกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การออกแบบวงจรควบคุม

ในส่วนของการออกแบบวงจรควบคุมมีวัตถุประสงค์เพื่อควบคุมการทำงานของคอนเวอเตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์ โดยอาศัยหลักการสร้างสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้าง (PWM) เพื่อควบคุมสวิตช์มอสเฟตในคอนเวอเตอร์สามเฟส อีกทั้งยังมีวงจรตรวจวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า วงจรขั้วเบต วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และวงจรเชื่อมต่อนอื่น ๆ ดังจะกล่าวต่อไปนี้

3.3.2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการควบคุมระบบทางผู้ทำการวิจัยนั้นเลือกใช้อุปกรณ์ควบคุม DSC รุ่น TMS320F28335 เป็นตัวควบคุมระบบ โดยใช้ภาษาซี (C Language) ในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อรับสัญญาณของแรงดันจากวงจรตรวจวัดเข้ามาเพื่อทำการคำนวณเพื่อสร้างสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้าง (PWM) ที่ใช้ในการขับขาเบตของชุดสวิตช์มอสเฟตผ่านวงจรรดับสัญญาณ และวงจรขั้วเบต ดังแสดงในภาพที่ 3.10

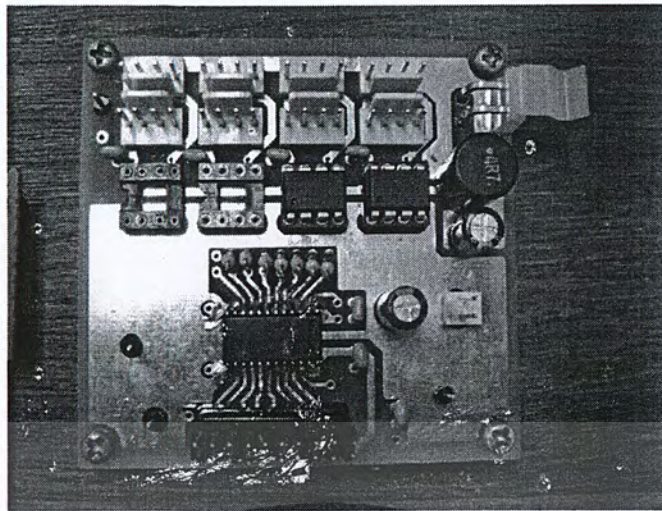


ภาพที่ 3.10 ชุดควบคุม TMS320F28335

3.3.2.2 วงจรรดับสัญญาณ และวงจรแยกกราวนด์

สัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้าง (PWM) ที่ถูกส่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นจะมีค่ายอดของแรงดันอยู่ที่ 3.3 โวลต์ แต่ละระดับสัญญาณขาเข้าที่ต้องการของวงจรขั้วเบตคือ 5 โวลต์ จึงต้องมีวงจรรดับแรงดันของสัญญาณ โดยวงจรประกอบด้วย SN74LVC4245 หลังจากที่สัญญาณออกจากวงจรรดับแรงดันจะเข้าสู่วงจรแยกกราวนด์ระหว่างด้านตัวขั้วเบตกับทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายกับทางด้านชุดวงจรควบคุม

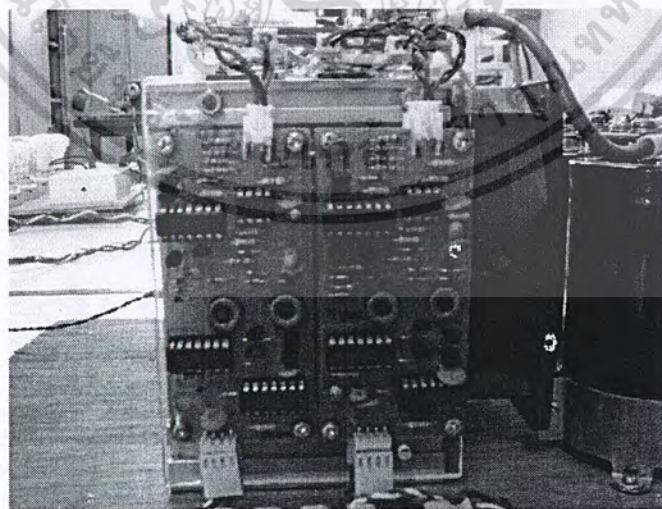
ในกรณีที่เกิดเหตุผิดปกติของระบบ อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรแยกกราวนด์คือ HCPL2231 โดยวงจรทั้งสองที่กล่าวมานั้นดังแสดงในภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 วงจรแยกกราวด์และวงจรยกระดับแรงดัน

3.3.2.3 อุปกรณ์ขับเคลื่อน

อุปกรณ์ขับเคลื่อนของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์นั้นทำหน้าที่ในการยกระดับแรงดันสัญญาณเพื่อให้สามารถขับเคลื่อนสวิตช์มอสเฟตได้ มีทั้งหมด 4 ชุด การทำงานของวงจรขับเคลื่อนคือ จะรับสัญญาณจากวงจรควบคุม และรับไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ผ่านหม้อแปลงแยกกราวด์เพื่อยกระดับของสัญญาณให้เป็น 15 โวลต์ และแยกกราวด์ระหว่างวงจรควบคุมกับชุดสวิตช์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อนำไปใช้เป็นสัญญาณขับเคลื่อนของสวิตช์มอสเฟตในคอนเวอร์เตอร์สามเฟส ในส่วนของไดอะแกรมการทำงานและโครงสร้างของอุปกรณ์ขับเคลื่อนแสดงดังภาพที่ 3.12

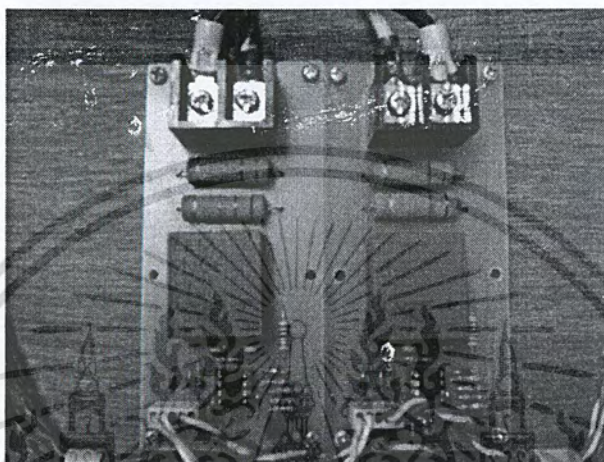


ภาพที่ 3.12 ชุดขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.4 อุปกรณ์วัดแรงดัน

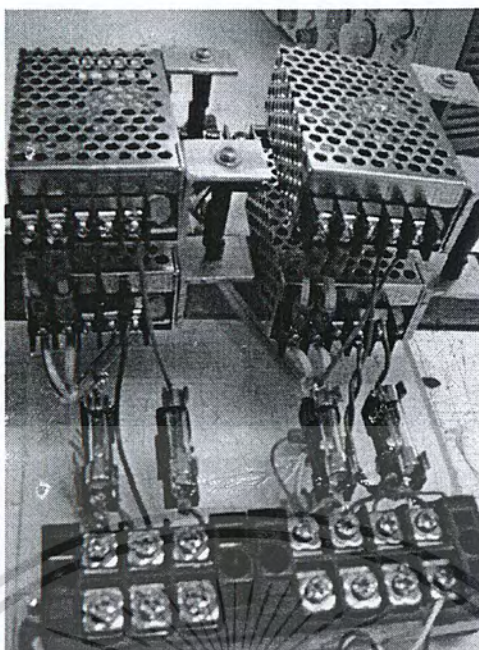
ในการวัดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จะใช้อุปกรณ์ในการวัดคือ LEM รุ่น LV25-P ดังแสดงในภาพที่ 3.13 สามารถวัดแรงดันได้ถึง 500 โวลต์ โดยมีหน้าที่วัดขนาดของแรงดันที่ตกคร่อมอุปกรณ์วัดแรงดันและเปลี่ยนจากแรงดันที่วัดได้เป็นสัญญาณอะนาล็อกเพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์โดยผ่านออปแอมป์เบอร์ TL072 ซึ่งเป็นตัวขยายสัญญาณ และผ่านตัวต้านทานที่ปรับค่าได้เพื่อปรับระดับของสัญญาณ



ภาพที่ 3.13 วงจรวัดระดับแรงดัน

3.3.2.5 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ทางผู้ทำการวิจัยใช้สวิตชิงซัพพลายเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงโดยจะแบ่งออกเป็น 2 ระดับแรงดันไฟฟ้าคือ 5 โวลต์จำนวน 2 ชุด และระดับแรงดัน 15 โวลต์ จำนวน 2 ชุด โดยแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 โวลต์ จะถูกนำไปจ่ายให้กับชุดวงจรควบคุม, วงจรขับเคลื่อน, วงจรแยกกราวด์และวงจรระดับแรงดัน ในขณะที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 15 โวลต์นั้นนำขั้วบวกของชุดที่ 1 มาต่อกับขั้วลบของชุดที่ 2 จะได้แรงดัน 0 โวลต์ จึงได้ระดับแรงดัน 15, 0 และ -15 โวลต์ ซึ่งจะถูกนำไปจ่ายให้กับวงจรตรวจจับแรงดัน ดังแสดงในภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

3.3.2.6 เครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟส

ทางผู้ทำการวิจัยได้ใช้มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส พิกัดกำลัง 0.75 กิโลวัตต์, 4 ขั้ว, 220/380 โวลท์, 3.3/1.9 แอมป์, 50 เฮิร์ตซ์ และ 1400 รอบต่อนาที

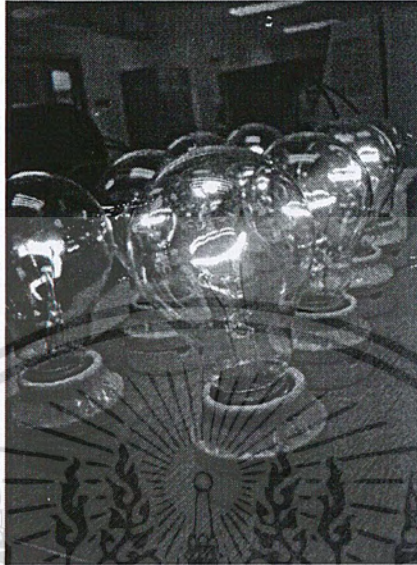


ภาพที่ 3.15 มอเตอร์เหนี่ยวนำไฟฟ้าสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.7 ภาระทางไฟฟ้า

ภาระทางไฟฟ้าที่ทางผู้ทำการทดลองใช้ได้ใช้หลอดไฟขนาด 100 วัตต์ จำนวน 12 ดวง มาขนานกัน



ภาพที่ 3.16 ภาระทางไฟฟ้า

3.4 บทสรุป

ในบทนี้เป็นการใช้หลักการทางทฤษฎีในบทที่ 2 นำมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบเพื่อพิสูจน์ว่าการทำงานของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสวิตช์นี้สามารถทำงานได้จริง และจะนำผลที่ได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ในบทที่ 4 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้จะนำเสนอผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์และผลการทดสอบของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์โดยในการจำลองทางคอมพิวเตอร์นั้นทางผู้ดำเนินโครงการวิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อยืนยันว่าหลักการและทฤษฎีที่ใช้ในโครงการวิจัยนั้นถูกต้อง และในส่วนของผลการทดสอบการควบคุมเครื่องต้นแบบของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์ เพื่อทดสอบวงจรของระบบที่สร้างขึ้นว่าสามารถทำงานได้จริงตามที่จำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

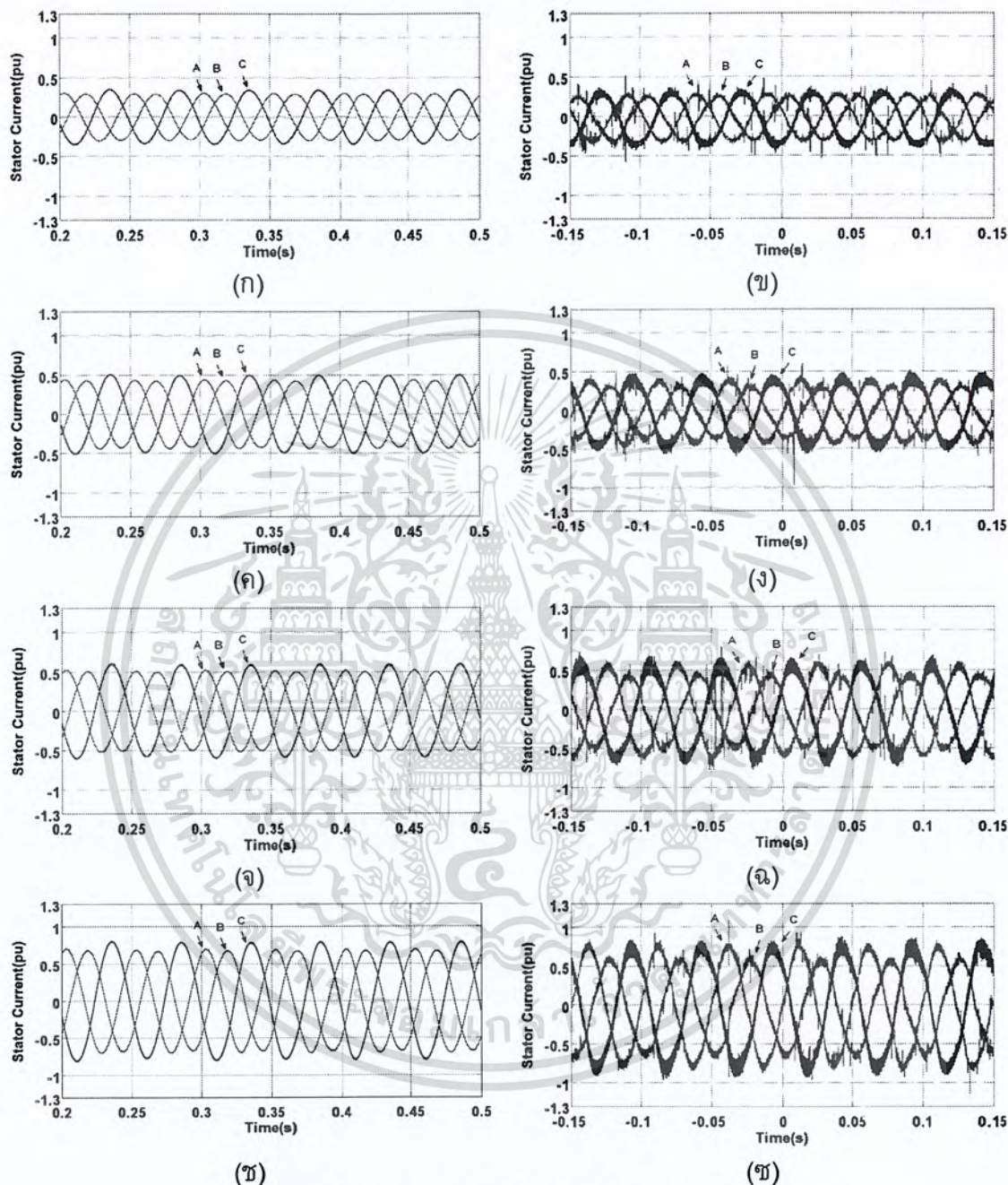
4.2 ผลการทดลอง

ในส่วนของ การทดลอง ผู้ทำการทดลองจะใช้คอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์ในการควบคุมเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำไฟฟ้าสามเฟสเพื่อใช้เป็นต้นกำลังให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งจะทำการจ่ายภาระไฟฟ้า ในการทดลองจะทำการรักษาระดับแรงดันของวงจรเชื่อมโยงทางไฟตรงไว้ที่ 400 โวลท์ จากนั้นทำการเพิ่มภาระไฟฟ้าไปที่ค่าต่าง ๆ จากนั้นทำการบันทึกค่าแรงดันและกระแสในกรณีทีเฟสต่าง ๆ ต่อเข้ากับจุดกึ่งกลางของตัวเก็บประจุที่ความถี่ต่าง ๆ กันทั้งในกรณีที่มีการบิด $\gamma = 0.5$ และกรณีบิด $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ตามลำดับ

4.2.1 ผลการทดลองกรณีเฟส A ต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง

ทำการต่อเฟส A เข้ากับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงทางไฟตรงและรักษาระดับแรงดันไฟตรงไว้ที่ 400 โวลท์ ควบคุมความถี่มูลฐานของสัญญาณแรงดันขาออกอยู่ที่ 20 เฮิร์ตซ์ จากนั้นทำการบันทึกค่าแรงดันและกระแสที่ค่าภาระไฟฟ้าต่าง ๆ หลังจากนั้นทำการเปลี่ยนความถี่มูลฐานของสัญญาณแรงดันขาออกเป็น 30, 40 และ 50 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ

4.2.1.1 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่มีความถี่ 20 เฮิรตซ์ในกรณีทีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$



ภาพที่ 4.1 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

(ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า

(ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า

(ค) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 61.62 วัตต์

(ง) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 61.62 วัตต์

(จ) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 87.55 วัตต์

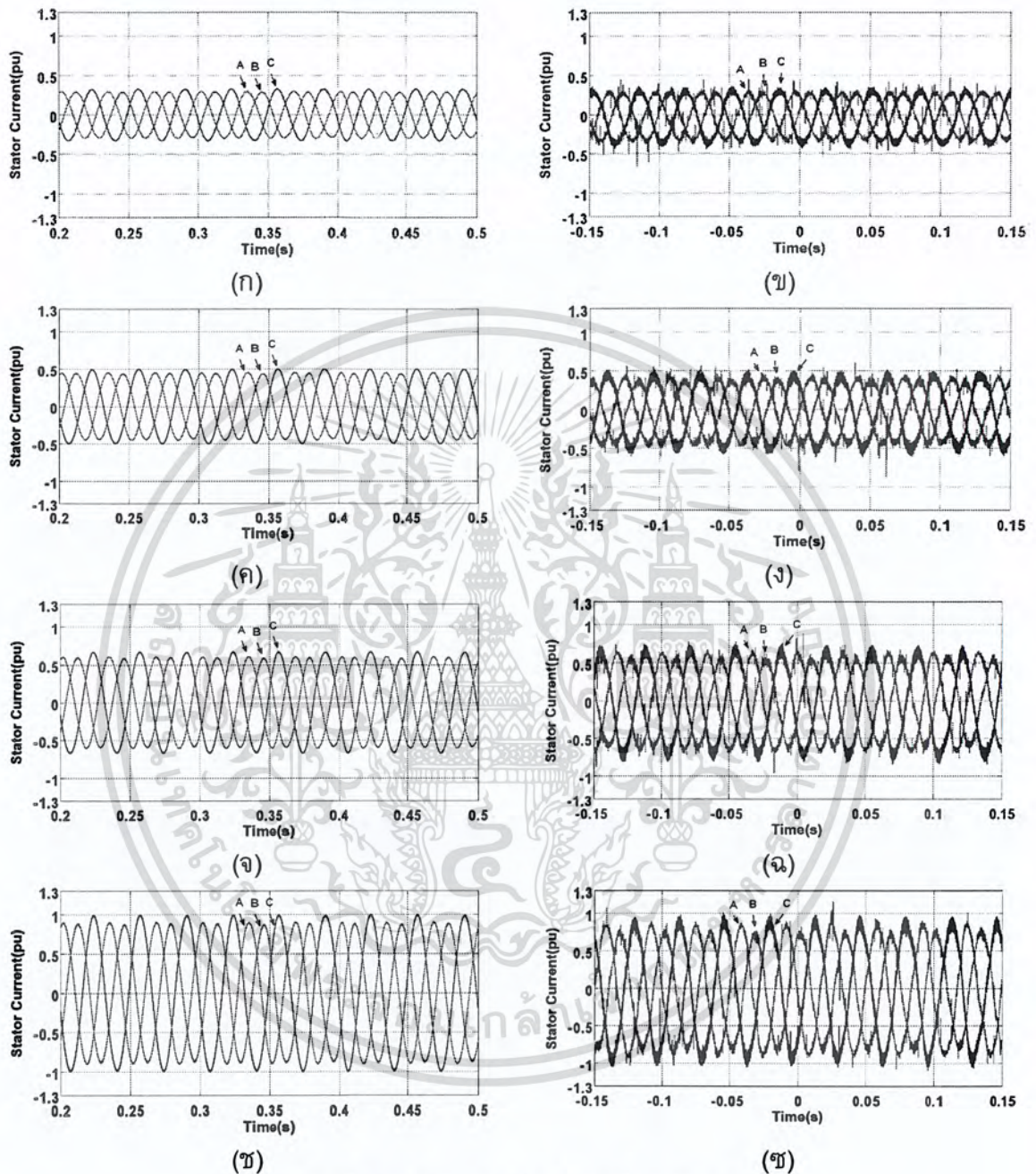
(ฉ) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 87.55 วัตต์

(ข) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 94.21 วัตต์

(ฐ) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 94.21 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่มีความถี่ 30 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

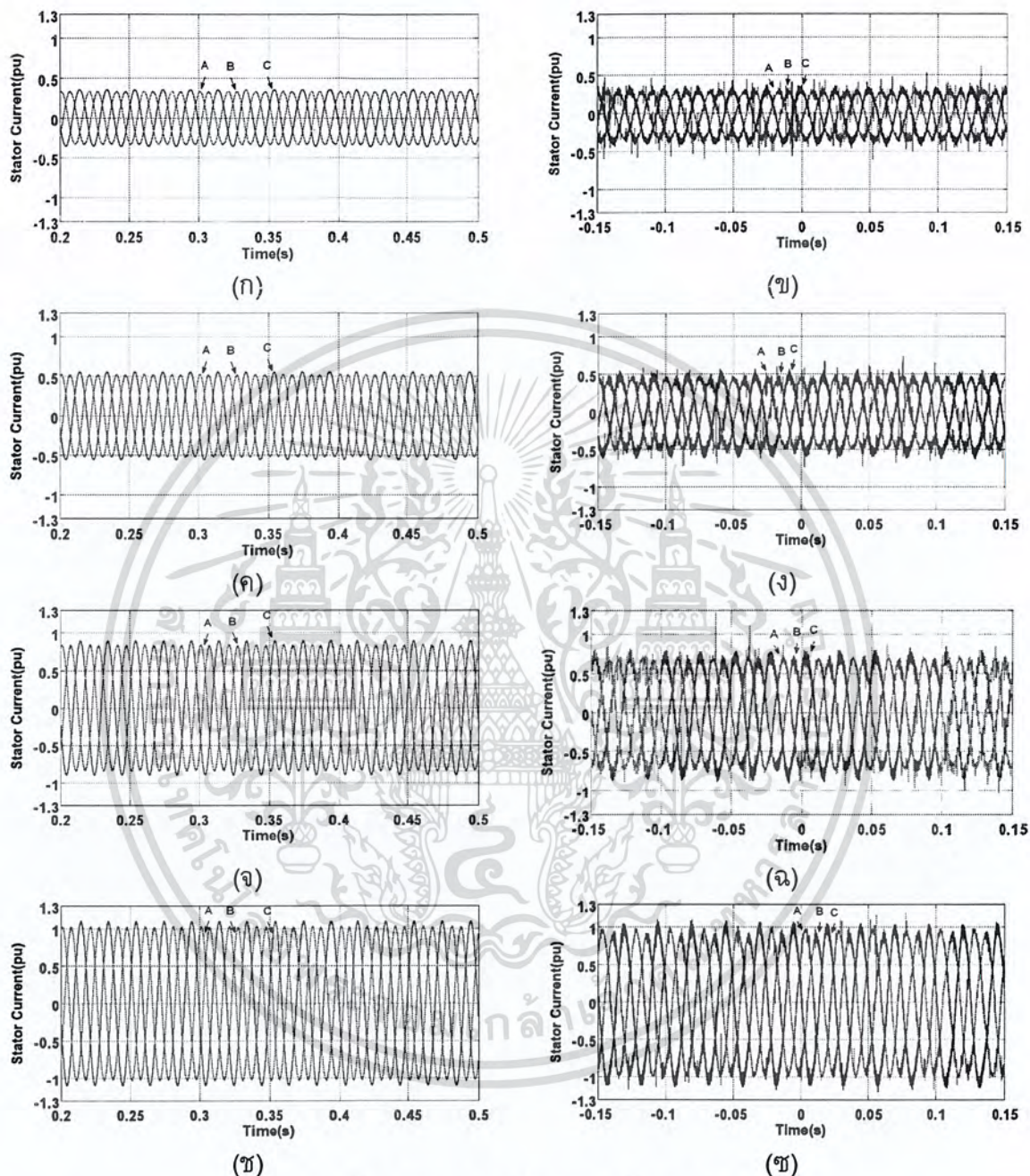


ภาพที่ 4.2 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.84 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.84 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 145.39 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 145.39 วัตต์ |
| (ข) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 168.28 วัตต์ | (ช) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 168.28 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.3 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่มีความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

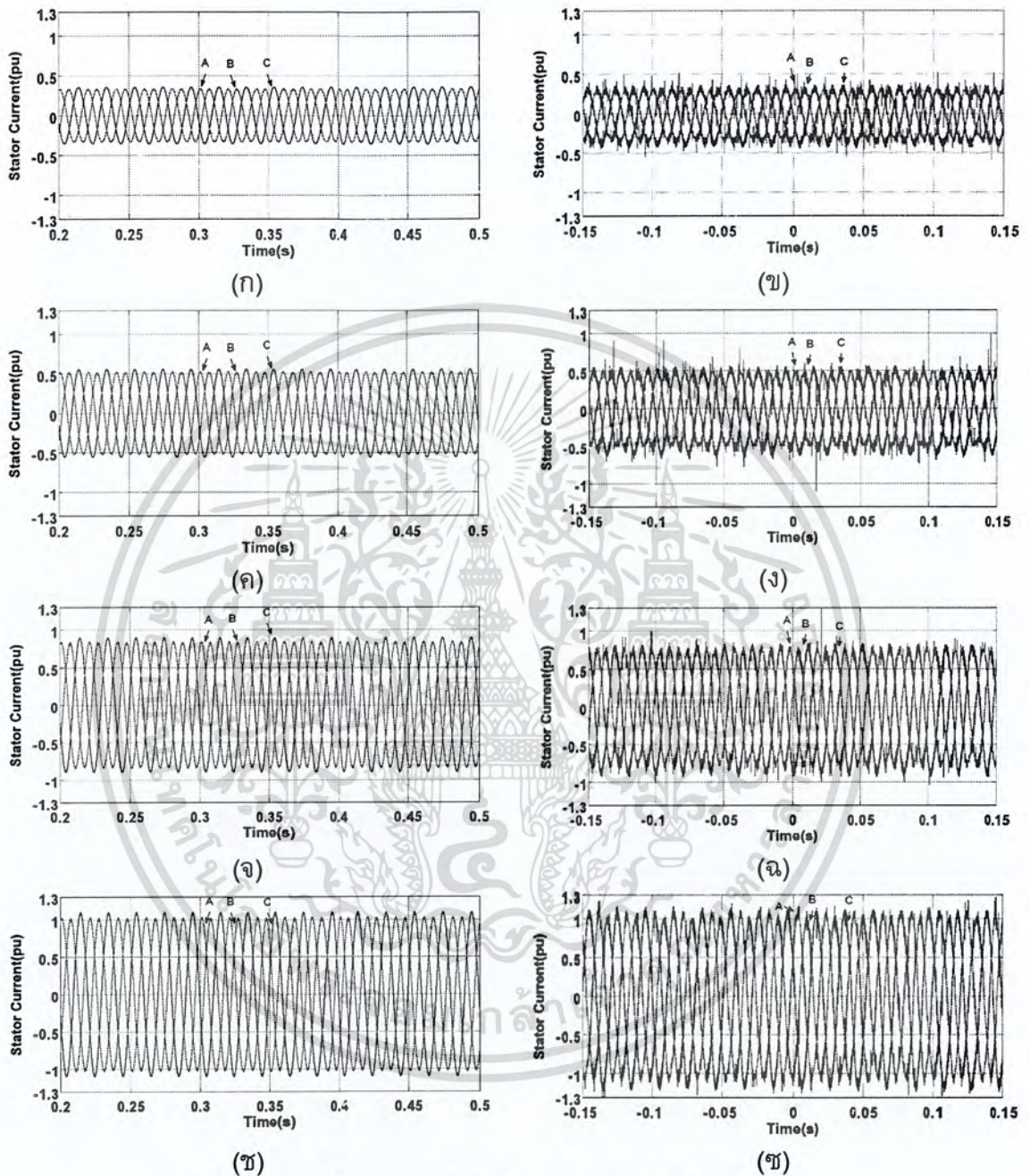


ภาพที่ 4.3 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 133.01 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 133.01 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 207.98 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 207.98 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 235.16 วัตต์ | (ฮ) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 235.16 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.4 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีทีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

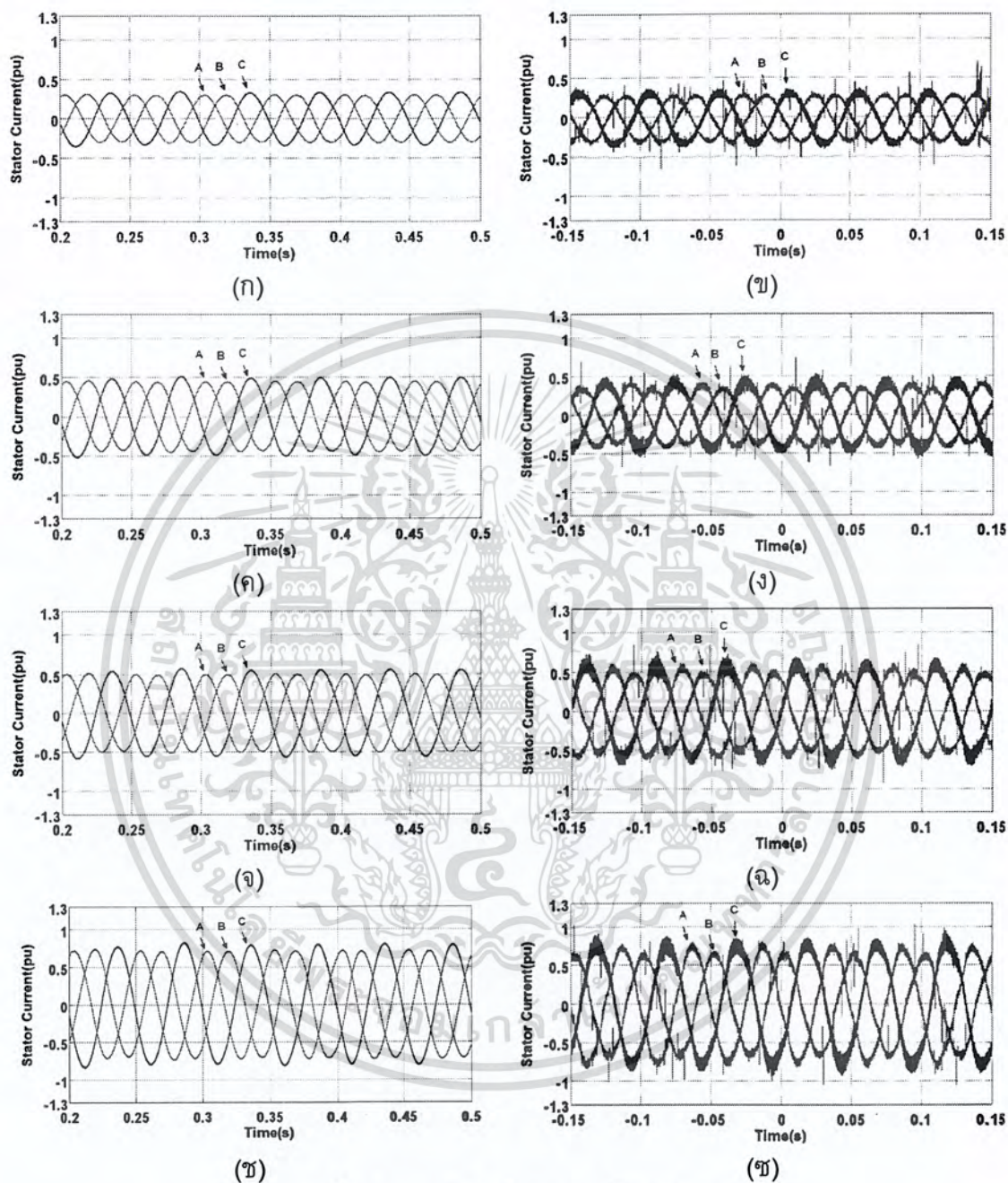


ภาพที่ 4.4 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 169.86 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 169.86 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 267.48 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 267.48 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 305.89 วัตต์ | (ฌ) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 305.89 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.5 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับ
จุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

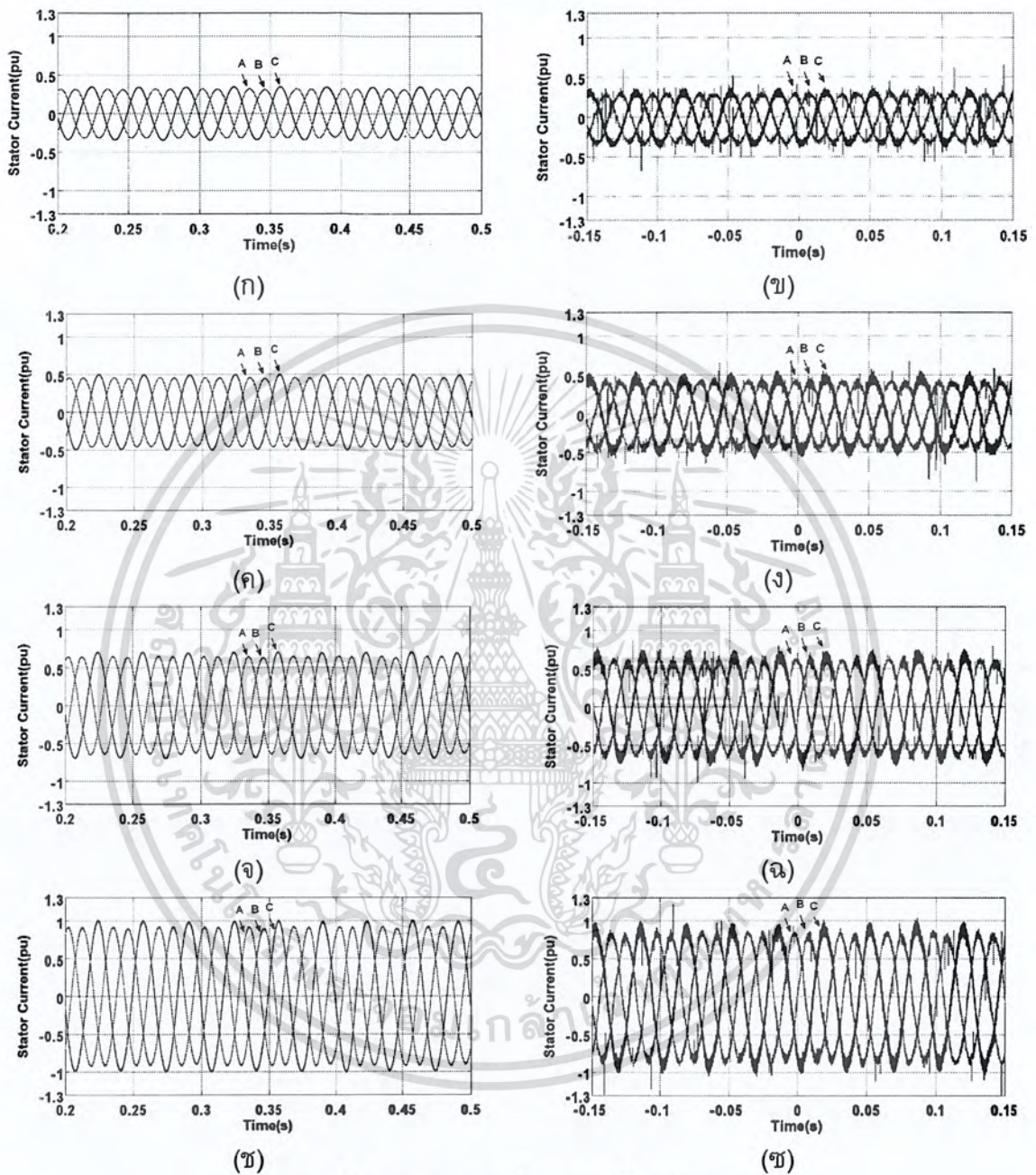


ภาพที่ 4.5 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|---|---|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 61.79 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 61.79 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 87.75 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 87.75 วัตต์ |
| (ข) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.12 วัตต์ | (ช) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.12 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.6 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$



ภาพที่ 4.6 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

(ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า

(ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า

(ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.85 วัตต์

(ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.85 วัตต์

(ฉ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 144.35 วัตต์

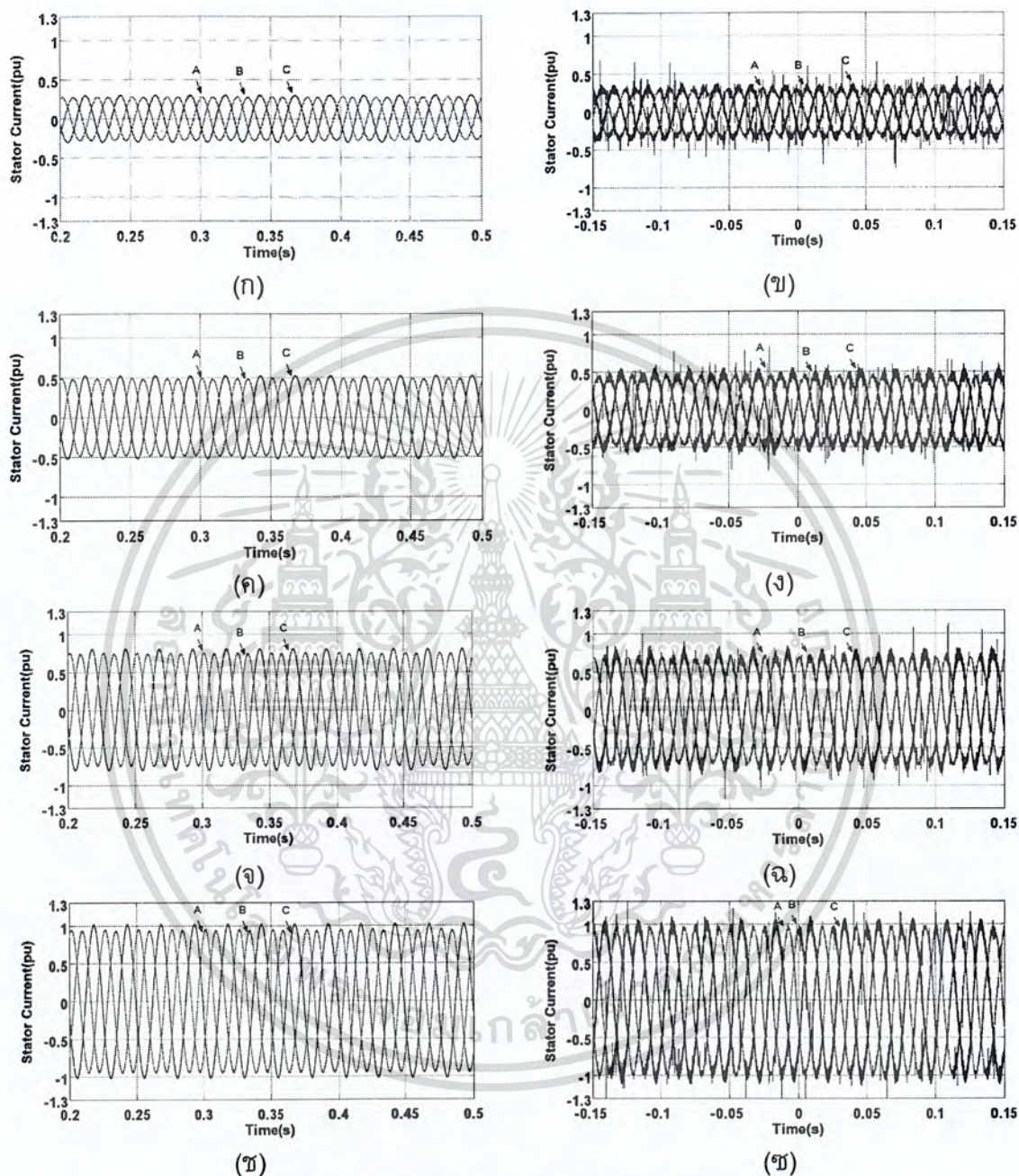
(ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 144.35 วัตต์

(ข) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 166.88 วัตต์

(ข) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 166.88 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.7 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีทีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับ จุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$



ภาพที่ 4.7 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

(ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า

(ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า

(ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.33 วัตต์

(ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.33 วัตต์

(จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 207.98 วัตต์

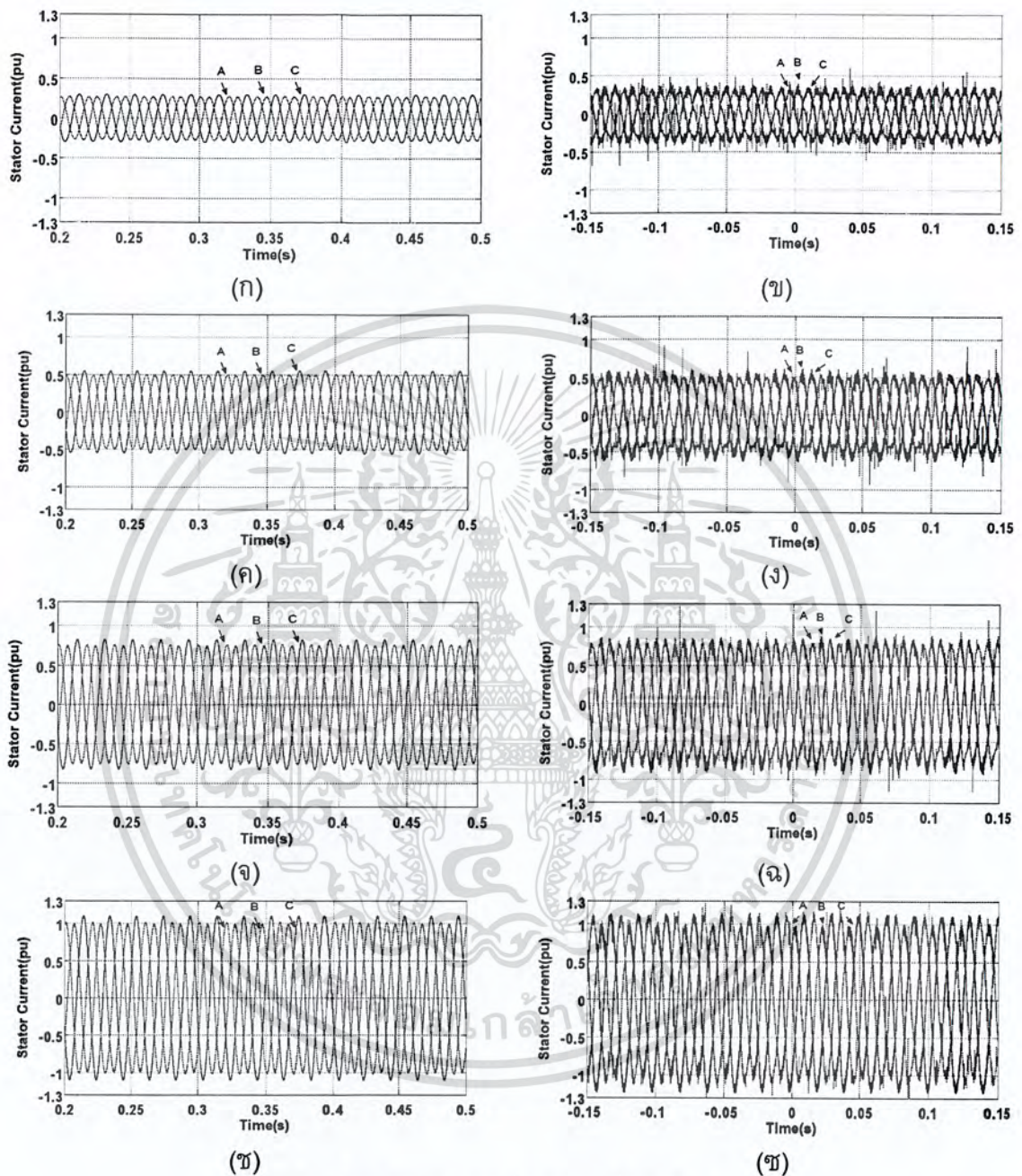
(ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 207.98 วัตต์

(ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 235.72 วัตต์

(ซ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 235.72 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.8 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$



ภาพที่ 4.8 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 161.91 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 161.91 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 267.82 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 267.82 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 308.05 วัตต์ | (ข) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 308.05 วัตต์ |

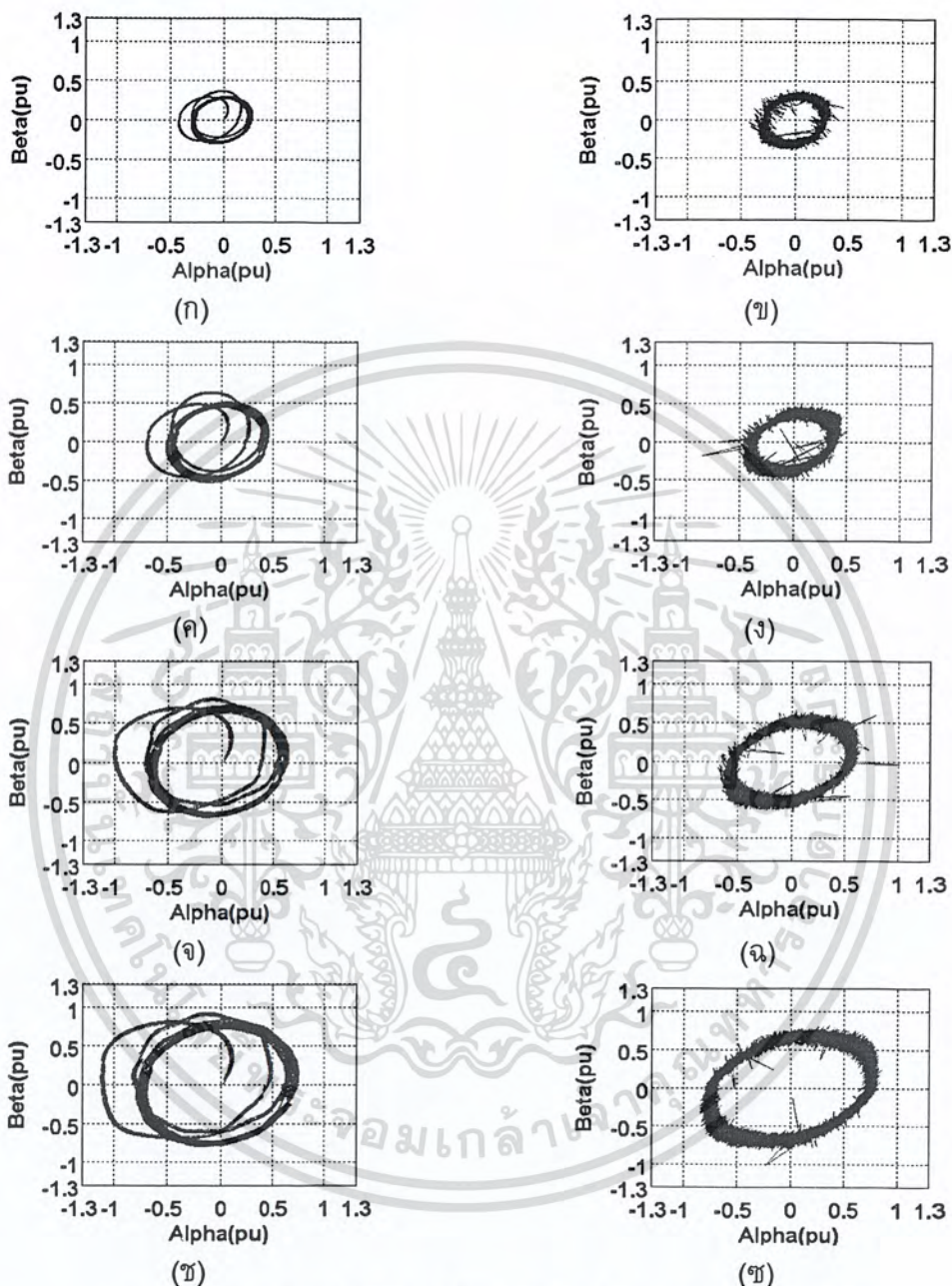
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในกรณีที่เฟส A ต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$ พบว่ารูปคลื่นกระแสไลน์ที่ได้จะมีความไม่สมดุลโดยจะมีขนาดของกระแสเฟส C สูงกว่าขนาดของกระแสในเฟส A และ B ซึ่งเป็นผลมาจากการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ และความไม่สมดุลของรูปคลื่นกระแสไลน์จะมีมากขึ้นเมื่อความถี่มูลฐานมีค่าต่ำลงหรือขนาดภาระของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีมากขึ้น แต่ในกรณีที่ป้อนค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ เพื่อคำนวณเวลาในการสวิตช์ใหม่ ซึ่งช่วยลดการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ ทำให้ขนาดกระแสในเฟส C มีความใกล้เคียงกับขนาดกระแสของเฟส A และ B มากขึ้น แต่แนวโน้มที่จะทำให้กระแสไลน์ไม่สมดุลยังเป็นเช่นเดียวกับกรณีที่ค่า $\gamma = 0.5$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.9 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์ในกรณีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

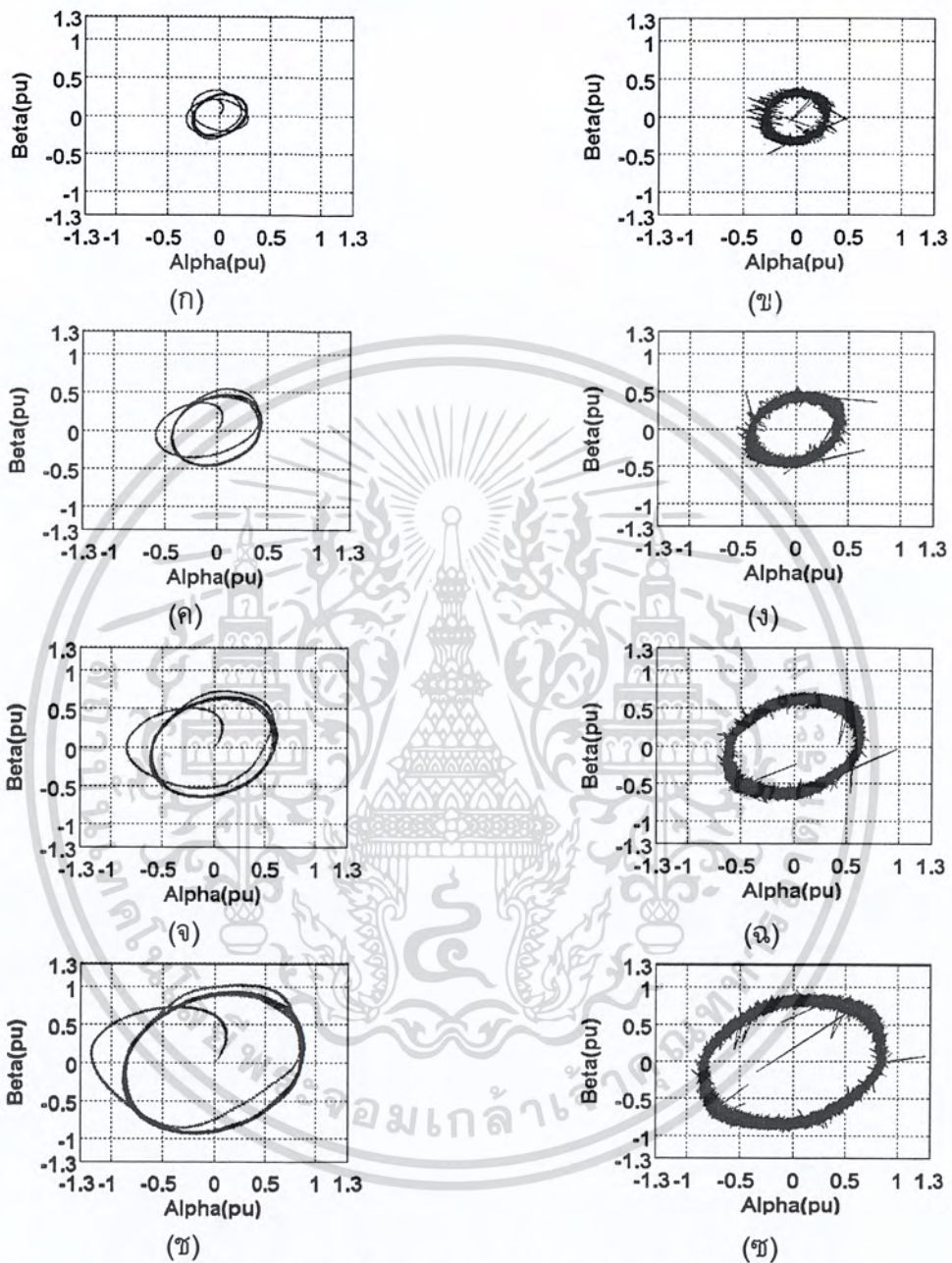


ภาพที่ 4.9 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|---|---|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 61.62 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 61.62 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 87.55 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 87.55 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 94.21 วัตต์ | (ซ) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 94.21 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.10 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์ในกรณีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

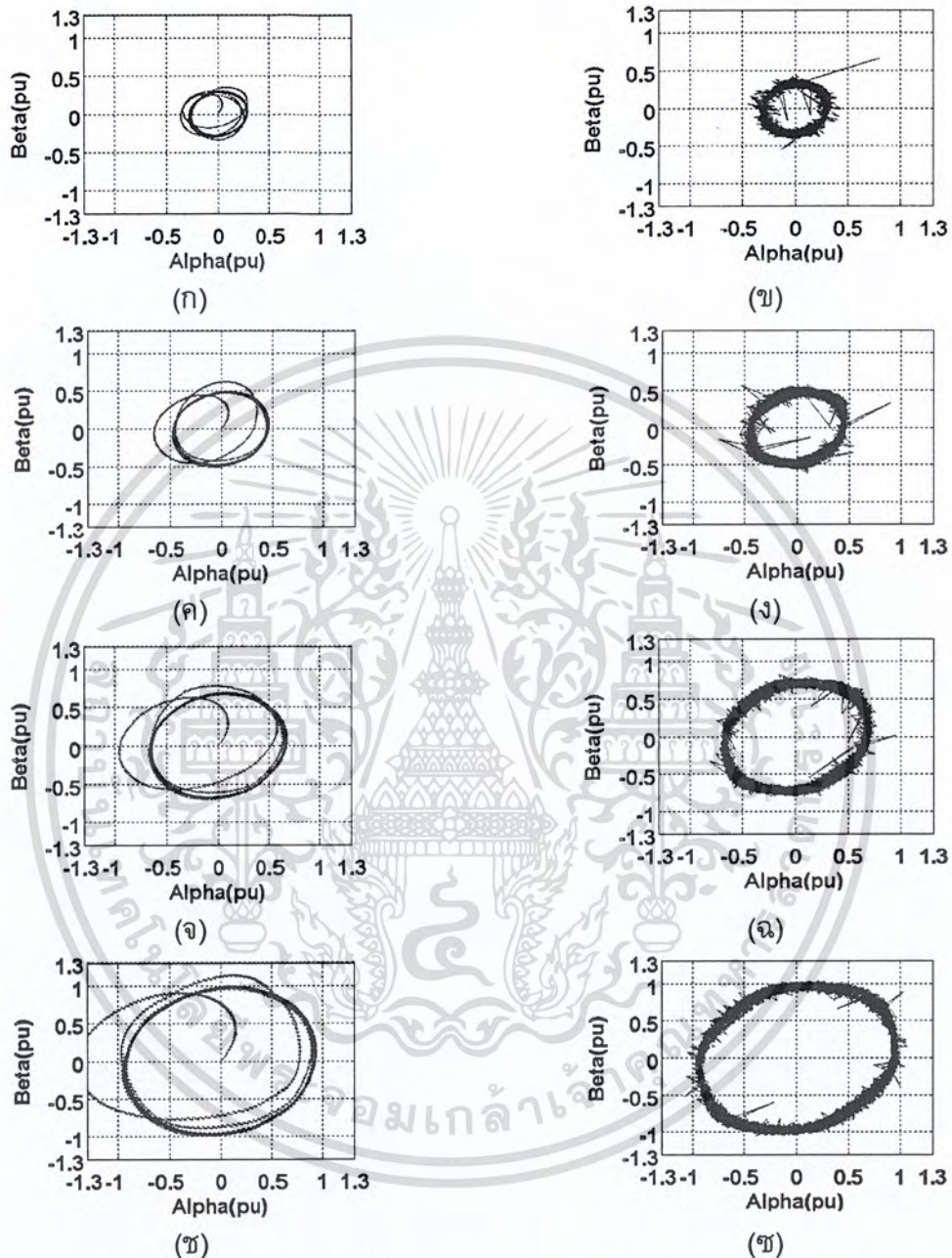


ภาพที่ 4.10 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 94.84 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 94.84 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 145.39 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 145.39 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 168.28 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 168.28 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.11 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

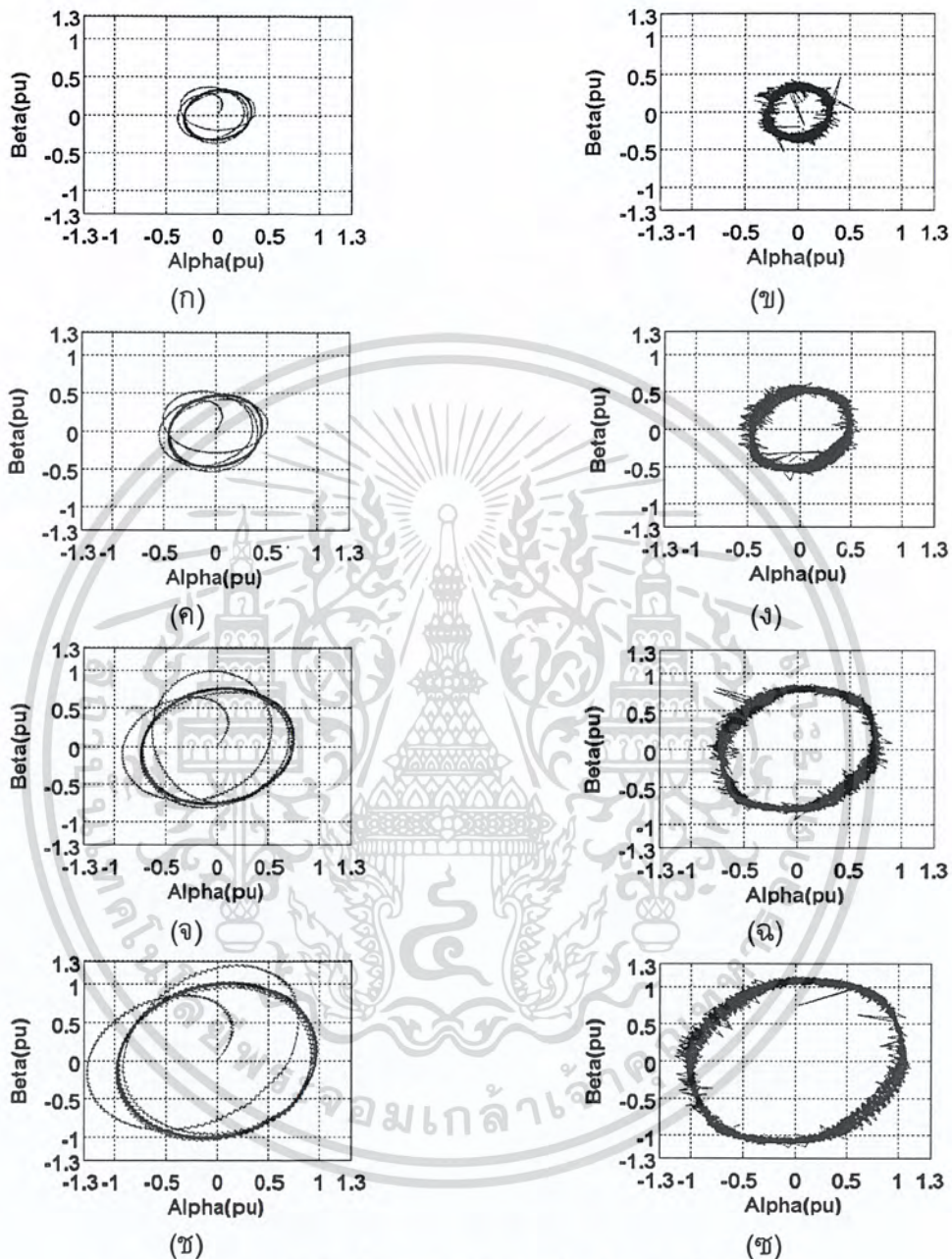


ภาพที่ 4.11 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.01 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.01 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 207.98 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 207.98 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 235.16 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 235.16 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.12 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

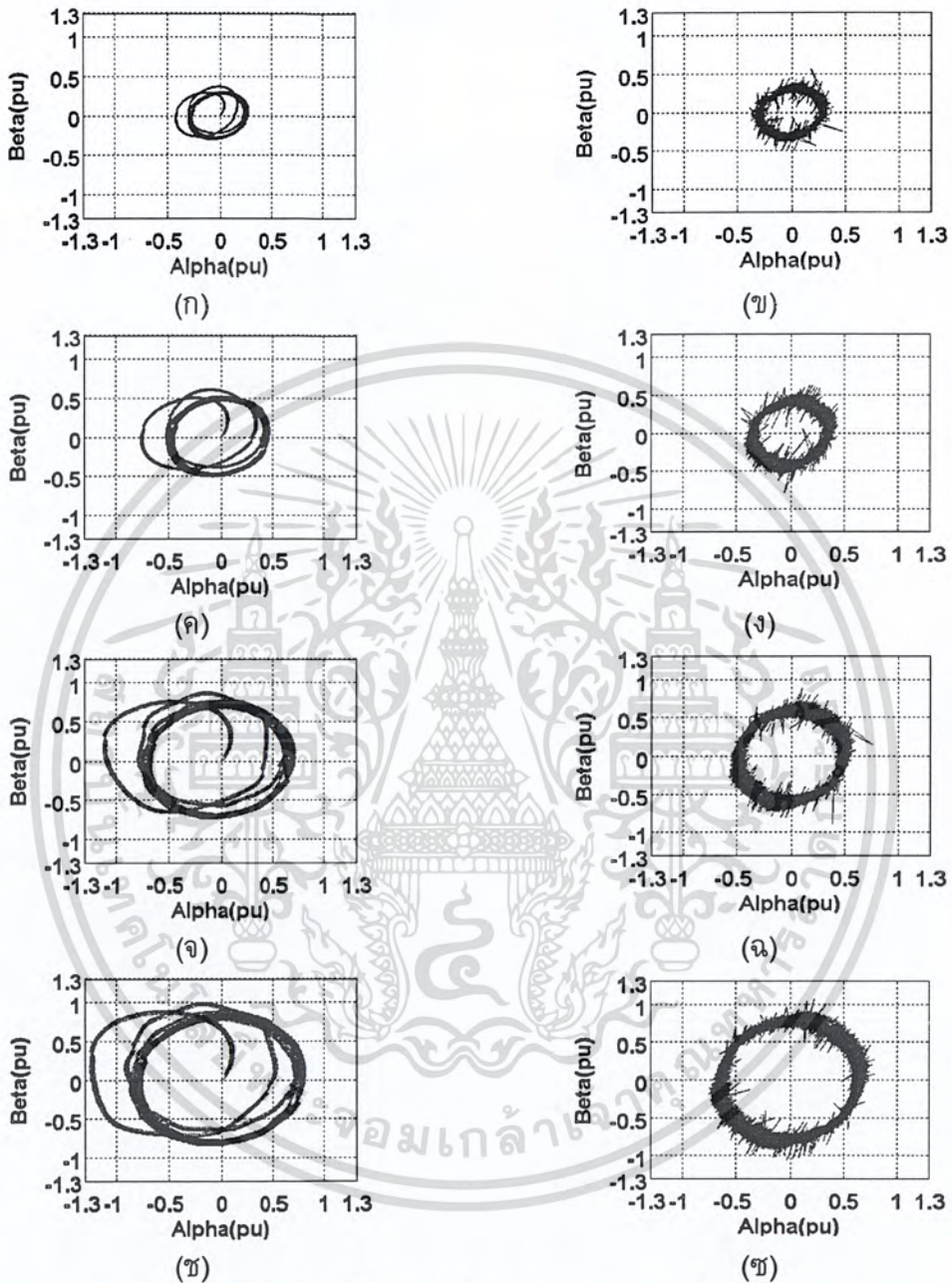


ภาพที่ 4.12 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 169.86 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 169.86 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 267.48 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 267.48 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 305.89 วัตต์ | (ซ) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 305.89 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.13 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

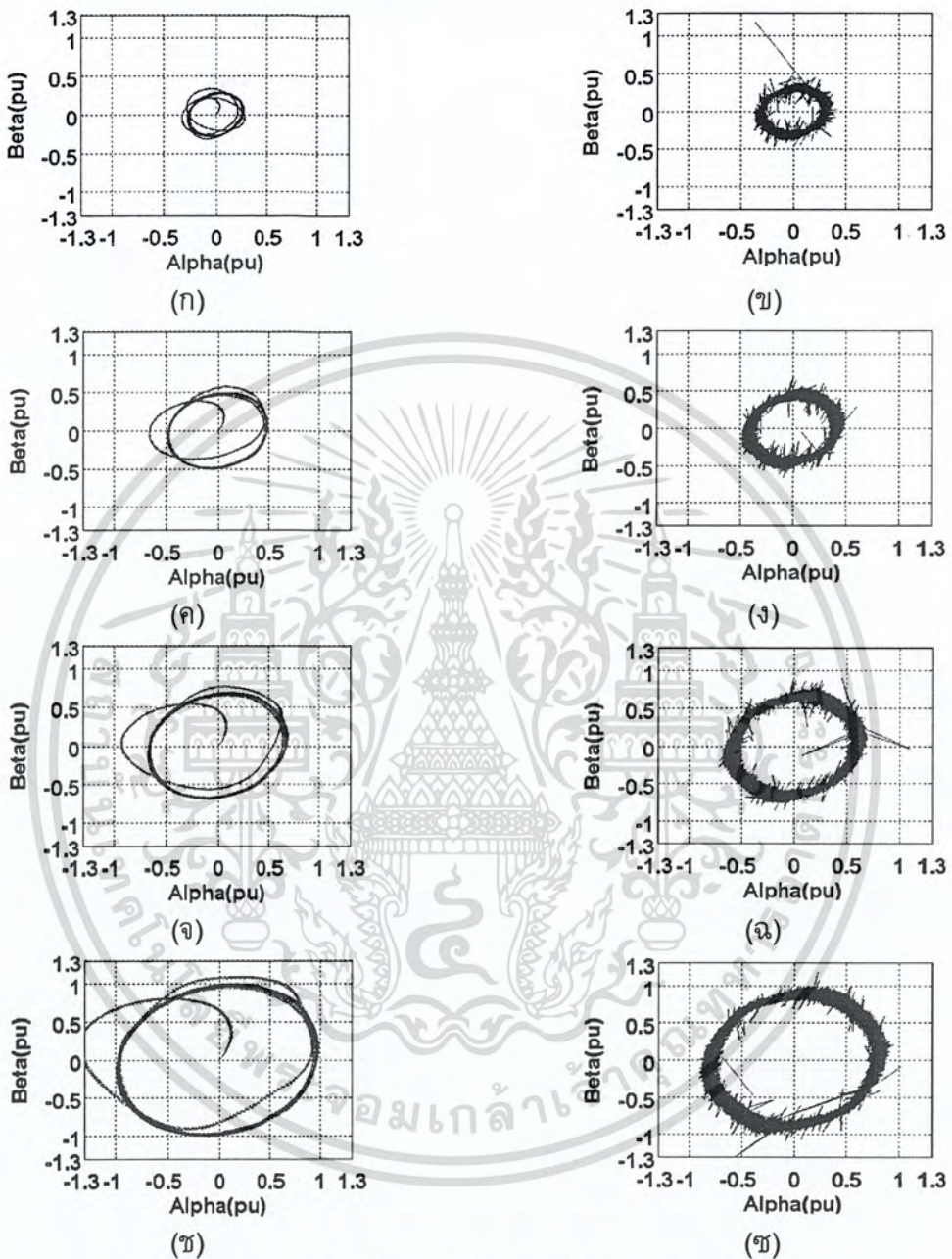


ภาพที่ 4.13 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดหนึ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|---|---|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 61.79 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 61.79 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 87.75 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 87.75 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.12 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.12 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.14 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

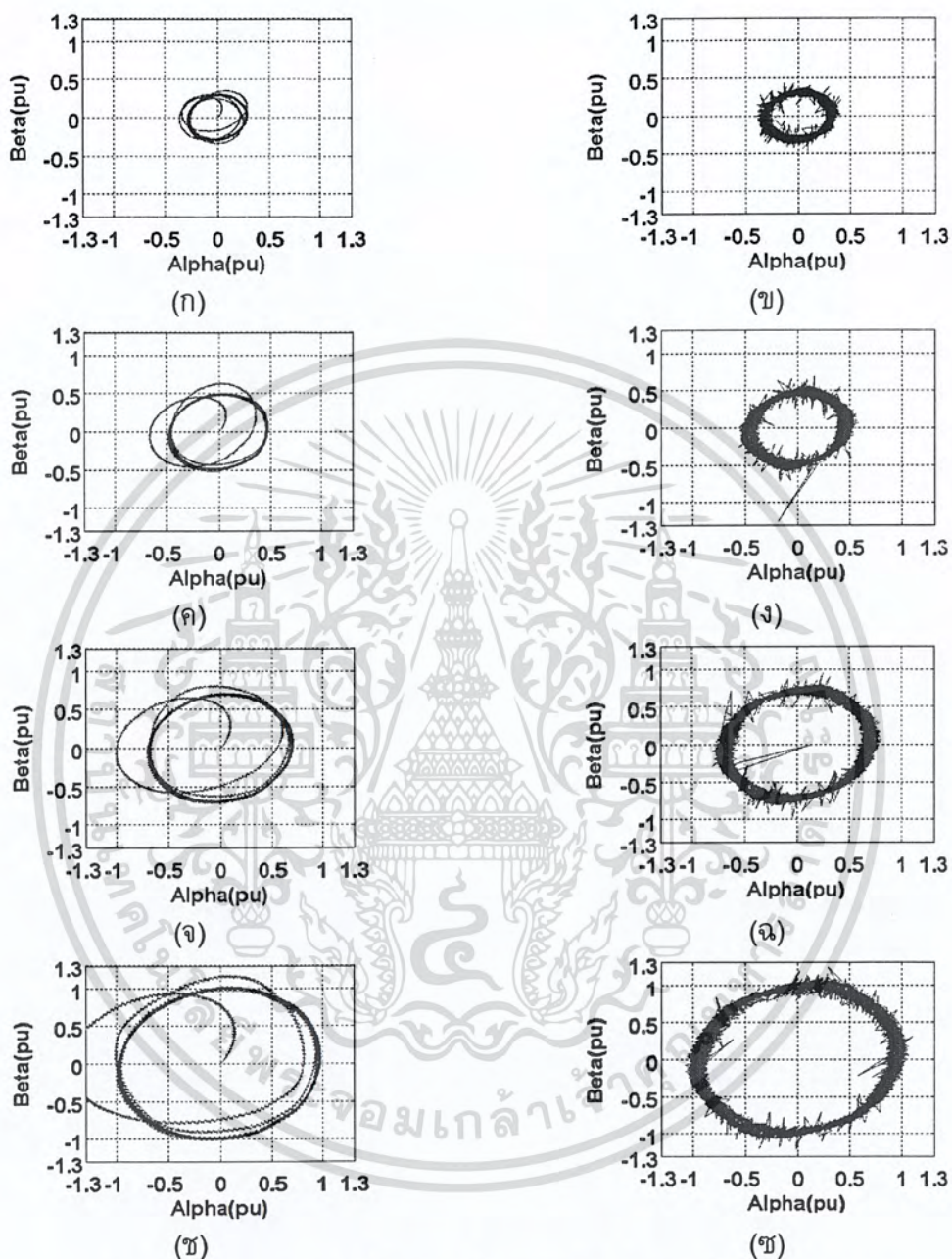


ภาพที่ 4.14 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.85 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.85 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 144.35 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 144.35 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 166.88 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 166.88 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.15 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ในกรณีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

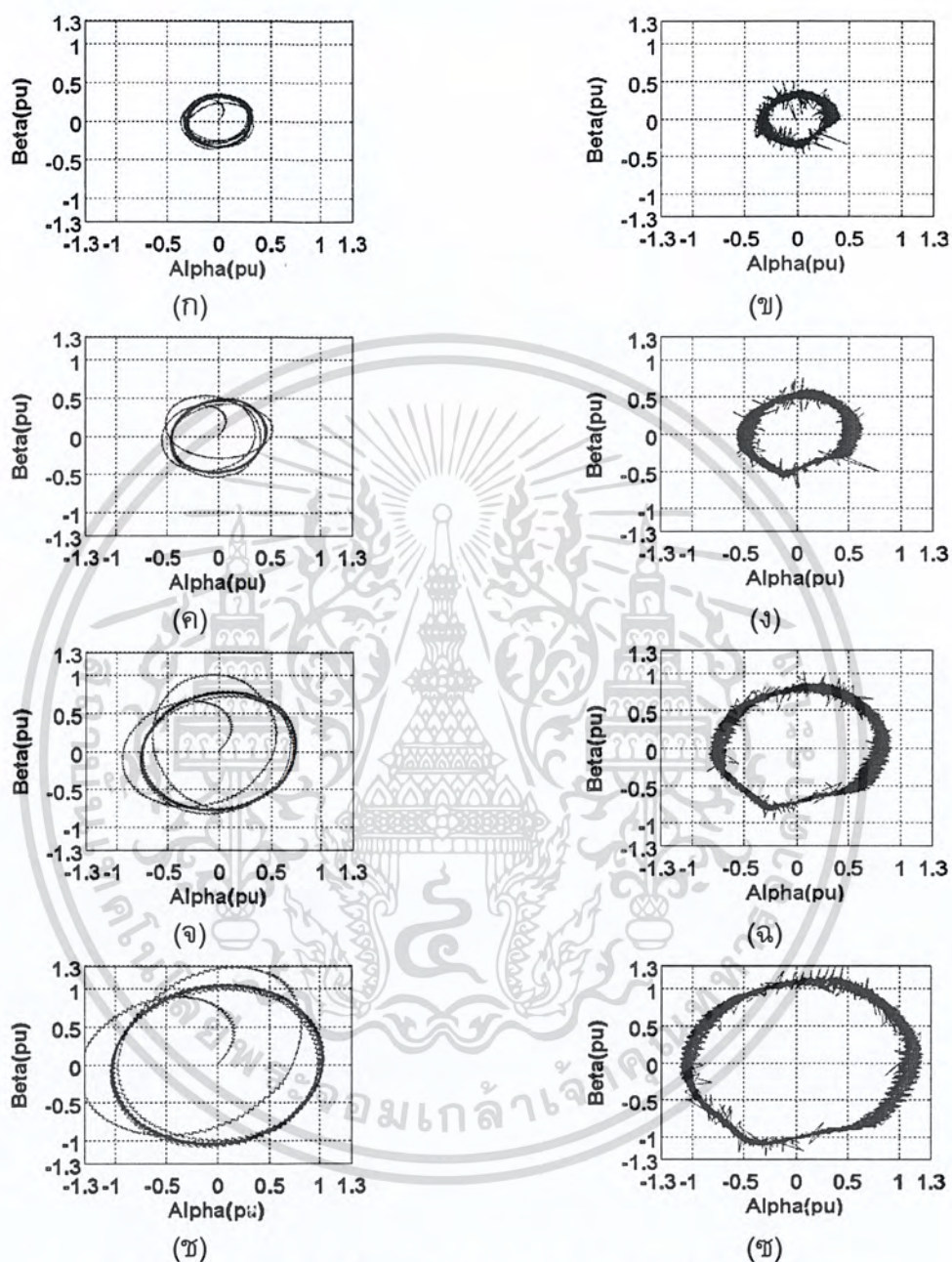


ภาพที่ 4.15 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.33 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.33 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 207.98 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 207.98 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 235.72 วัตต์ | (ซ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 235.72 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.16 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีทีเฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$



ภาพที่ 4.16 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 161.91 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 161.91 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 267.82 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 267.82 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 308.05 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 308.05 วัตต์ |

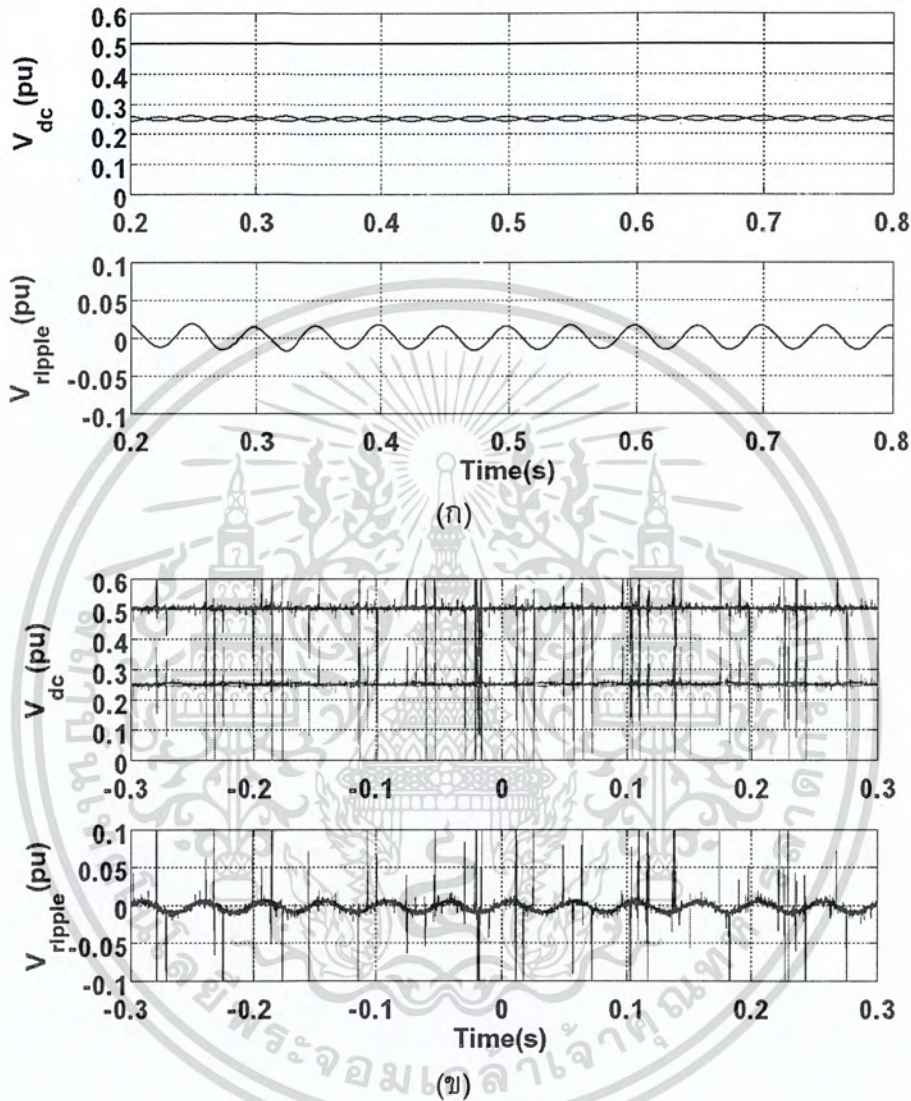
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในกรณีที่เฟส A ต่ออยู่กับวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและใช้ค่า $\gamma = 0.5$ พบว่าสัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ จะมีลักษณะเป็นวงรีเอียงไปทางขวา ซึ่งเป็นผลมาจากความไม่สมดุลในกระแสไลน์สามเฟสที่มีขนาดของกระแสเฟส C สูงกว่าขนาดของกระแสในเฟส A และ B รูปสัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ จะมีความเป็นวงรีมากขึ้นเมื่อความถี่มูลฐานต่ำลงหรือภาระของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความไม่สมดุลของกระแสไลน์สามเฟสมักมีมากขึ้น แต่ในกรณีที่ป้อนค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ พบว่าสัญญาณกระแสในระนาบอ้างอิง $\alpha - \beta$ จะมีลักษณะใกล้เคียงวงกลมมากยิ่งขึ้น แสดงให้เห็นว่าขนาดของกระแสเฟส C มีความใกล้เคียงกับขนาดกระแสในเฟส A และ B มากขึ้นทำให้ความสมดุลของกระแสไลน์สามเฟสเพิ่มขึ้น แต่แนวโน้มที่จะทำให้สัญญาณกระแสในระนาบ $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ มีความเป็นวงรีมากขึ้นยังเป็นเช่นเดียวกับกรณี $\gamma = 0.5$



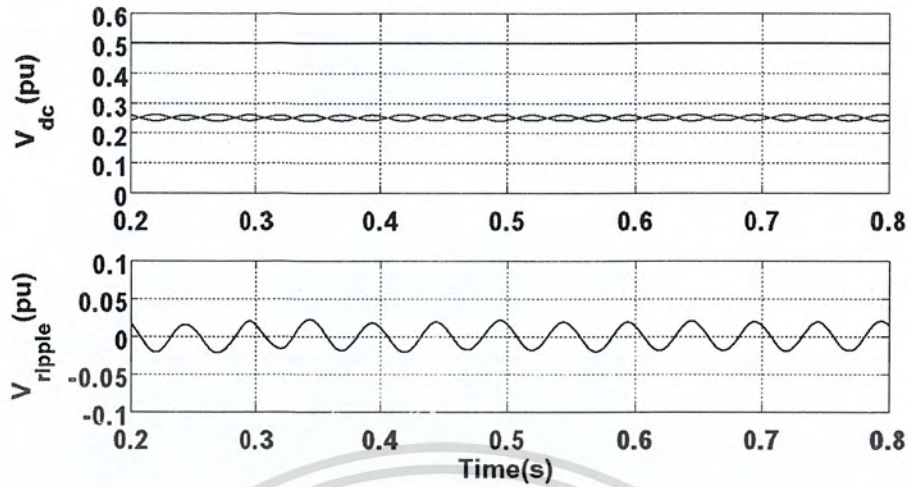
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.17 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซีในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$

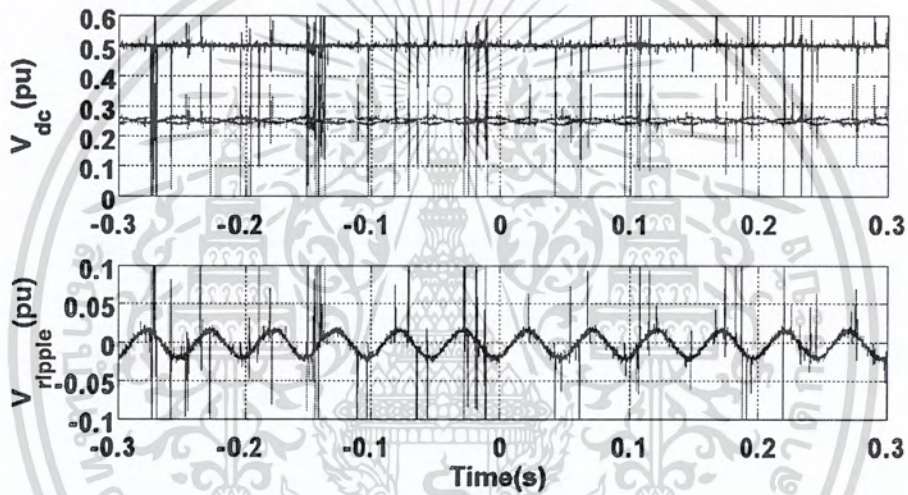


ภาพที่ 4.17 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ
(บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
(ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

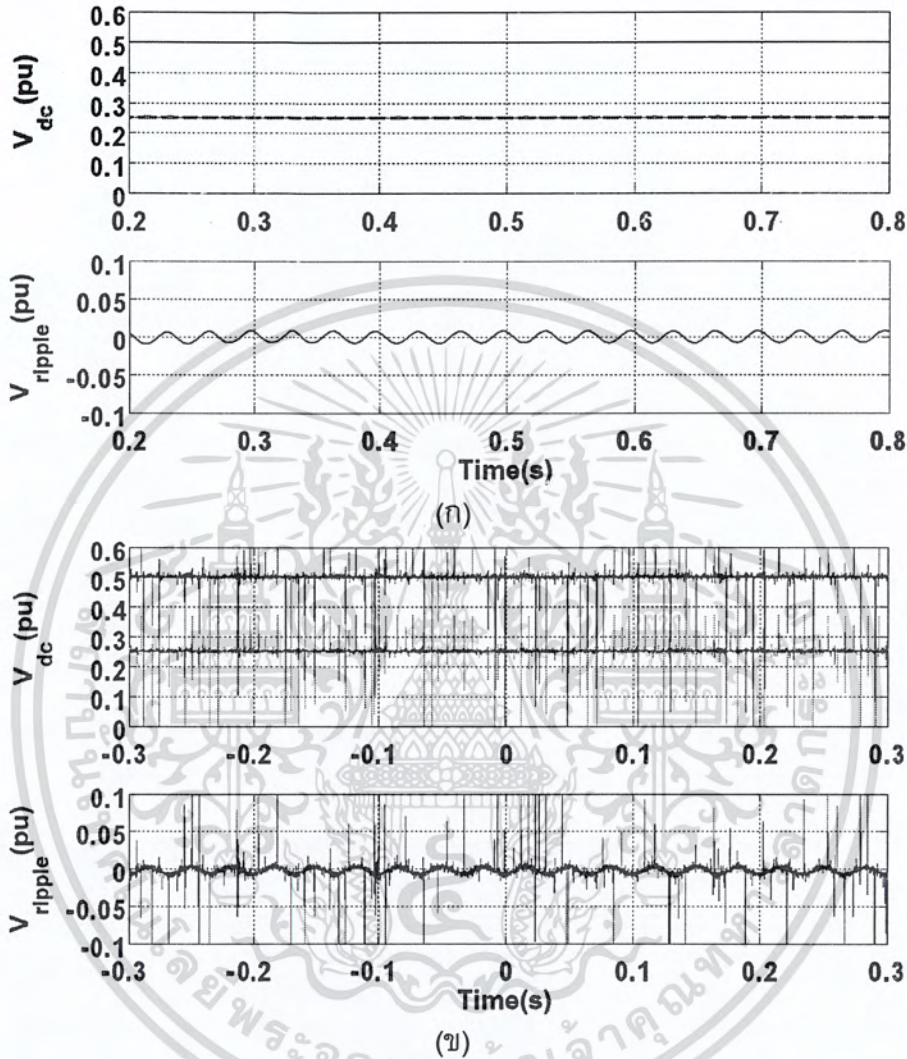


(ข)

ภาพที่ 4.18 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 94.21 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

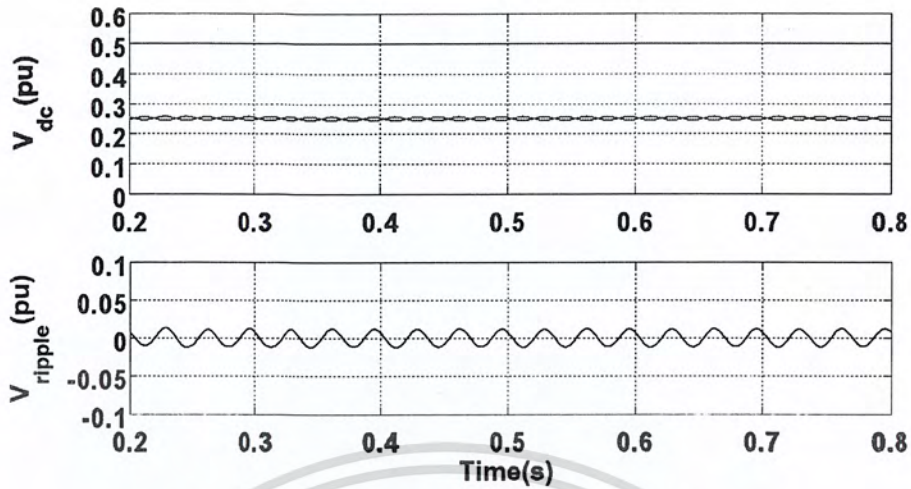
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.18 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$

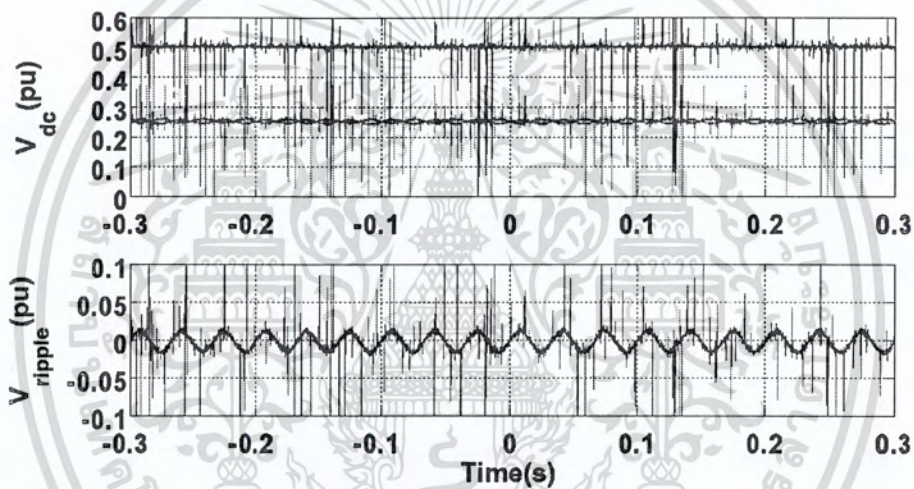


ภาพที่ 4.19 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ
(บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
(ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

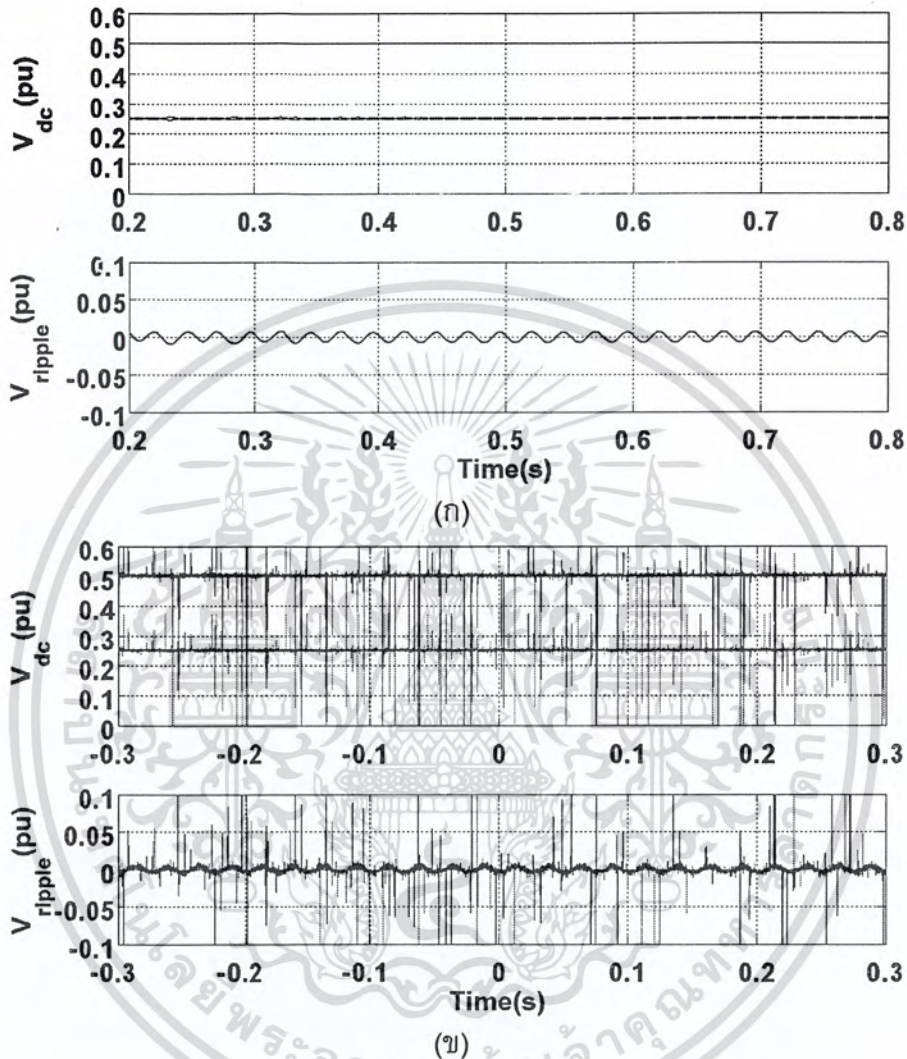


(ข)

ภาพที่ 4.20 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 168.28 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสเพื่อ

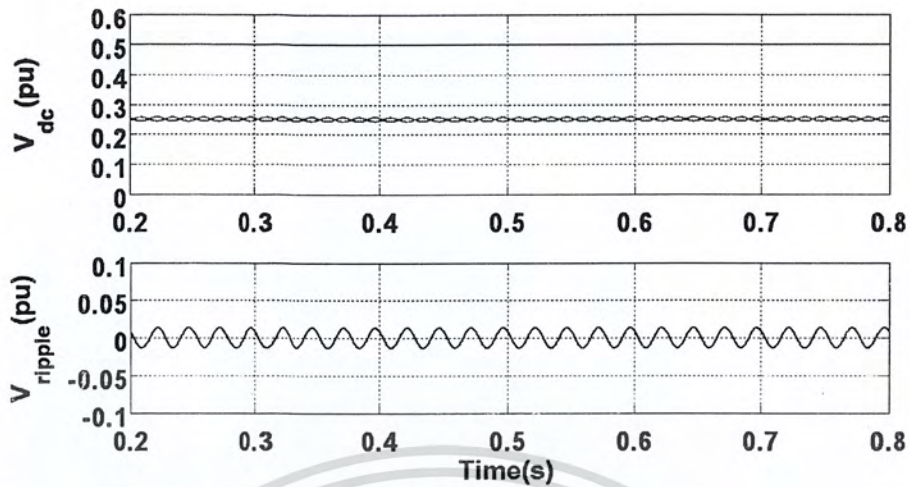
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.19 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$

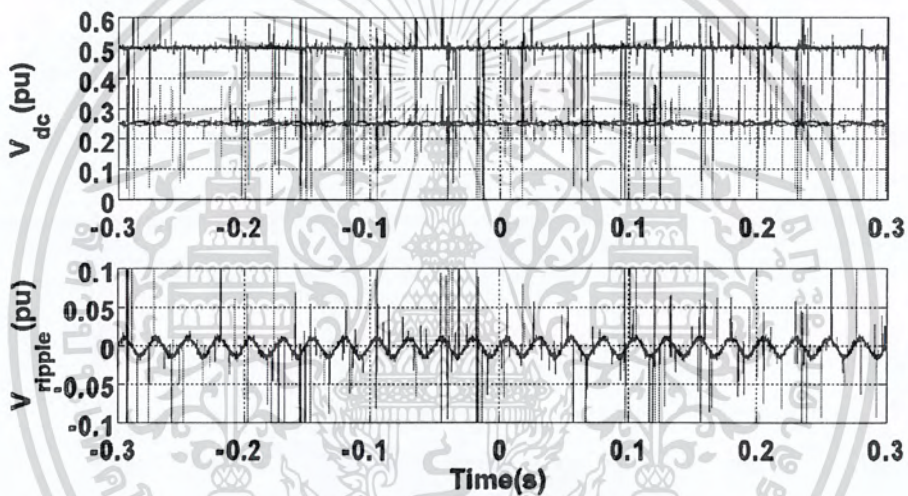


ภาพที่ 4.21 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ
(บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
(ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

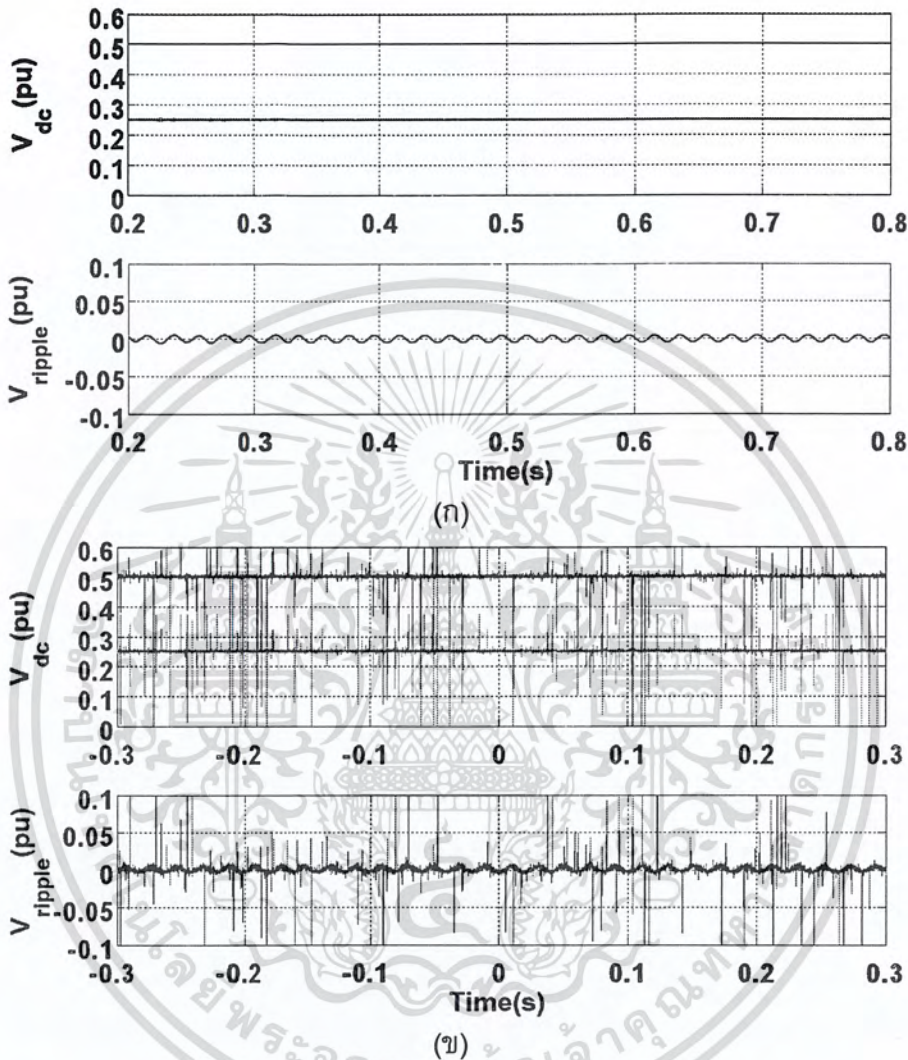


(ข)

ภาพที่ 4.22 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 235.16 วัตต์ (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

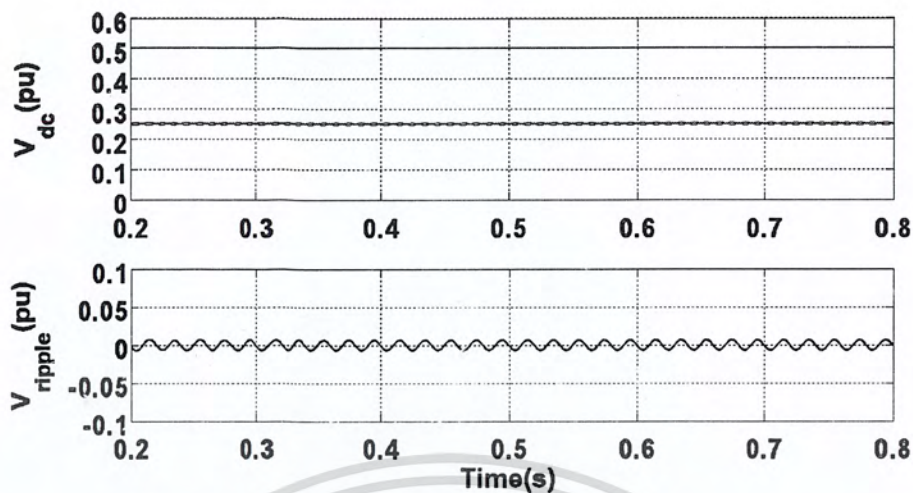
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.20 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$

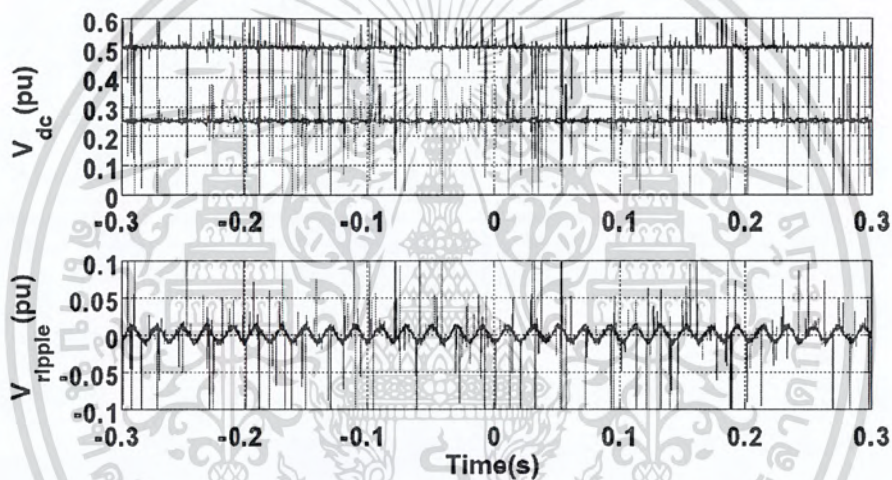


ภาพที่ 4.23 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ
(บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
(ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



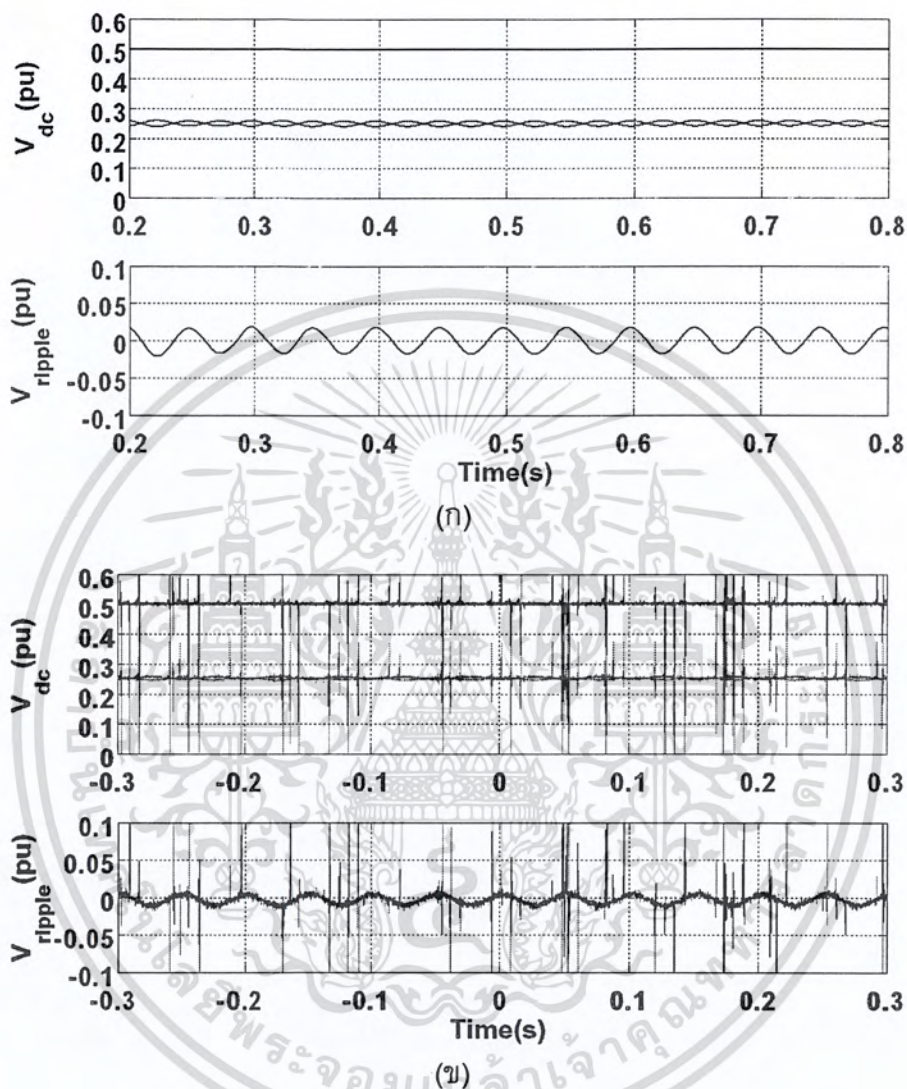
(ข)

ภาพที่ 4.24 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 305.89 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

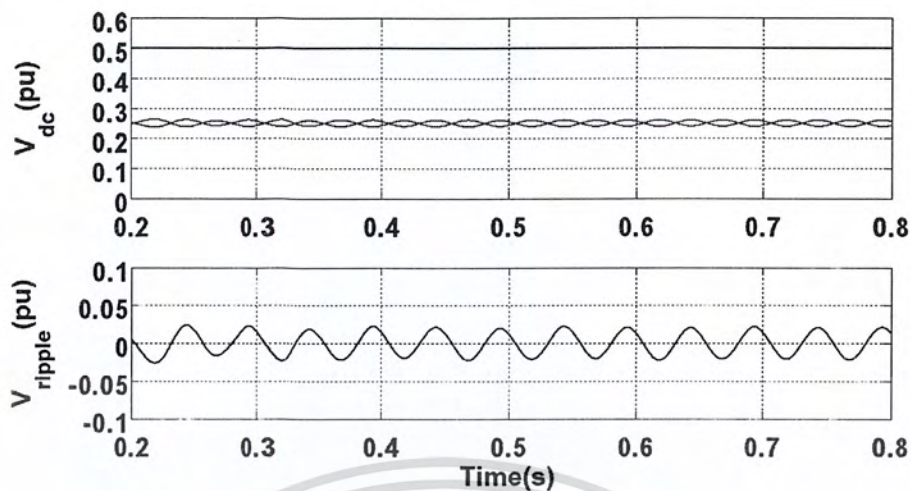
4.2.1.21 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า

$$\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$$

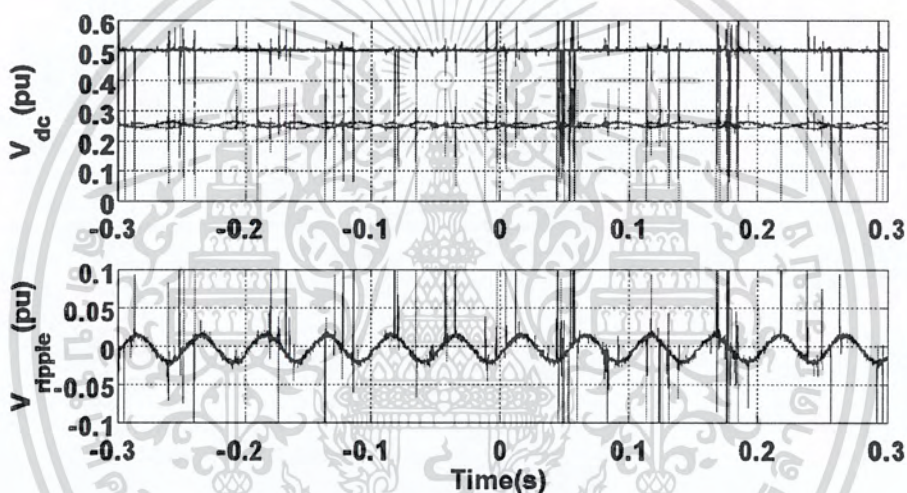


ภาพที่ 4.25 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



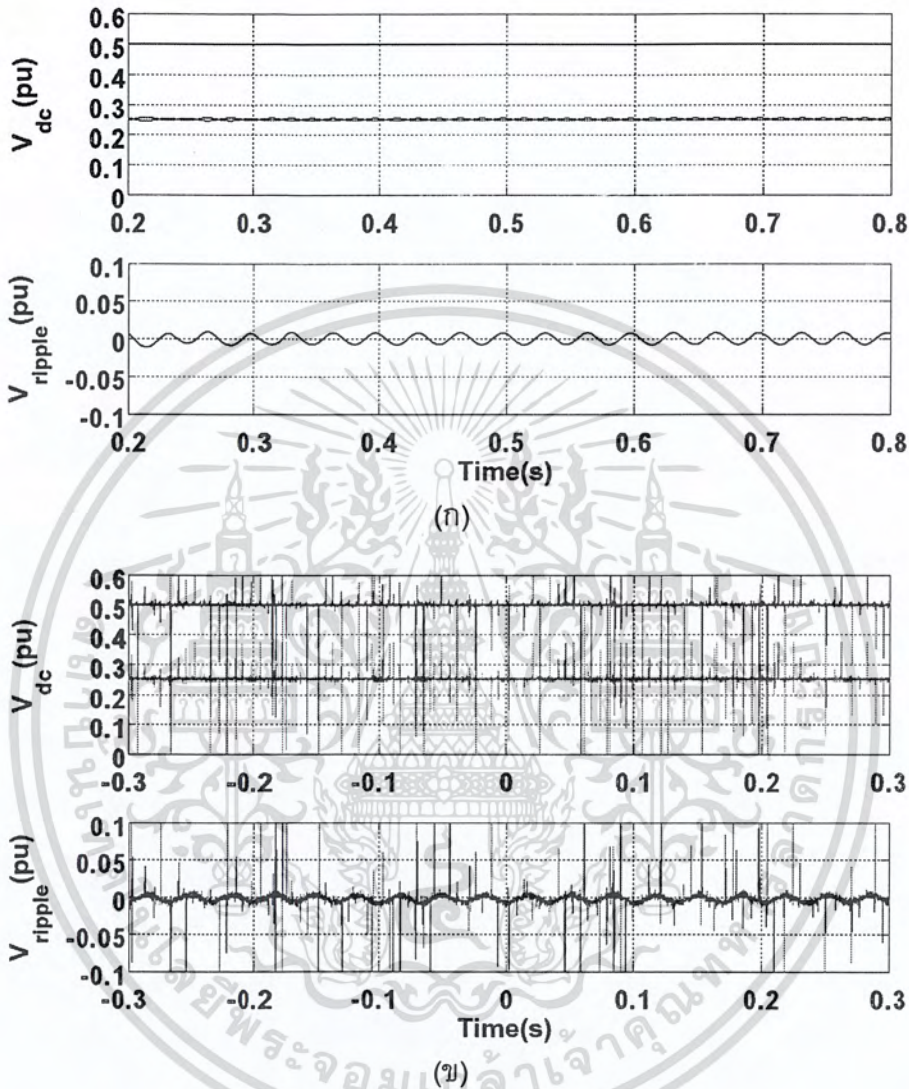
(ข)

ภาพที่ 4.26 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 94.12 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.22 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า

$$\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$$

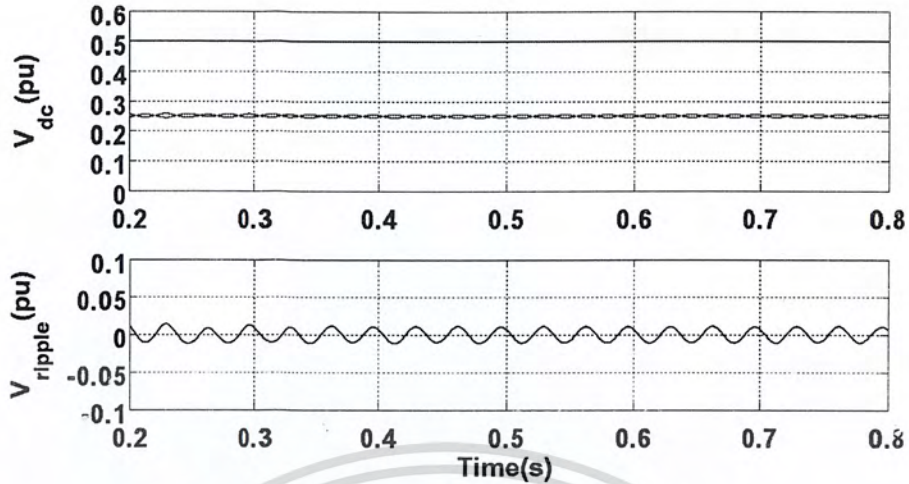


ภาพที่ 4.27 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ

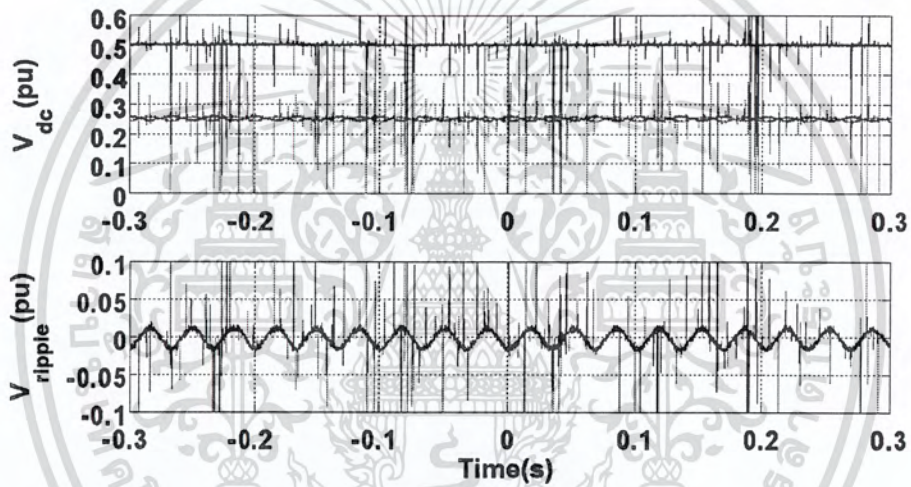
(บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ

(ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

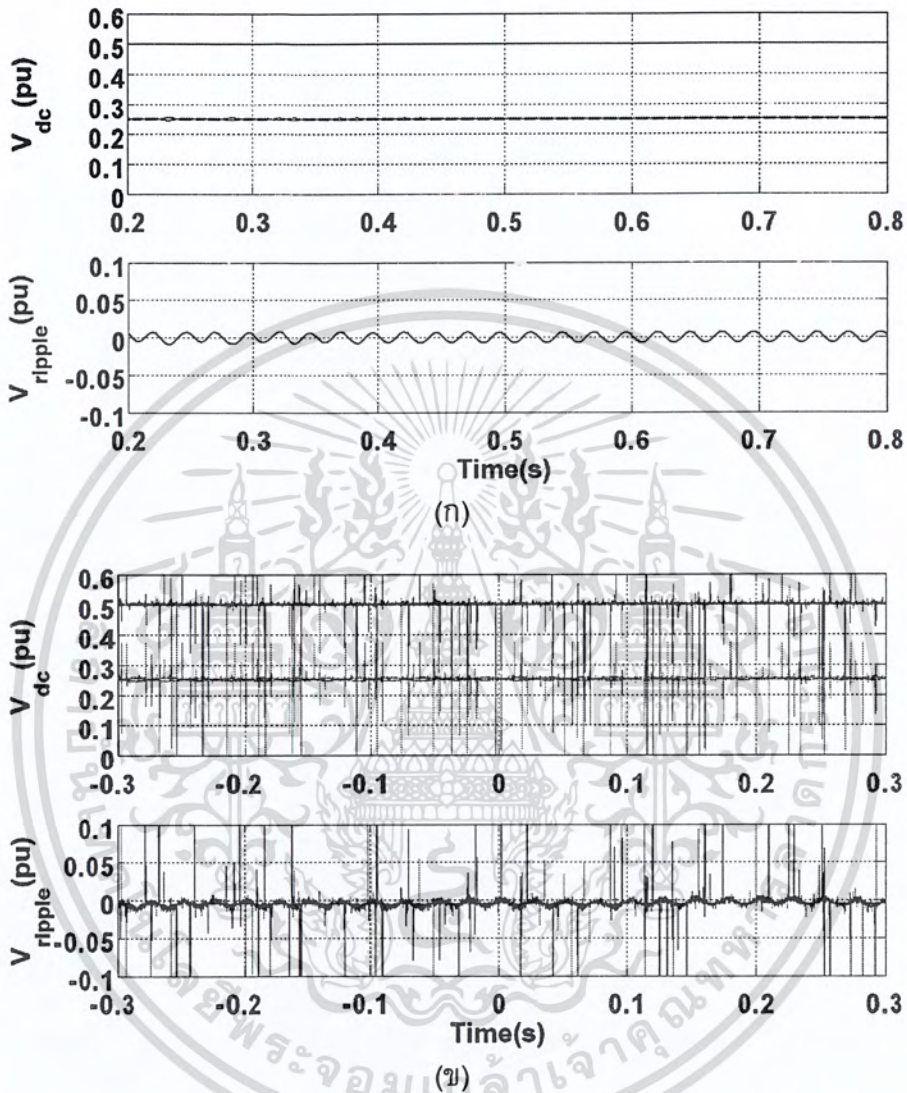


(ข)

ภาพที่ 4.28 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 166.88 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

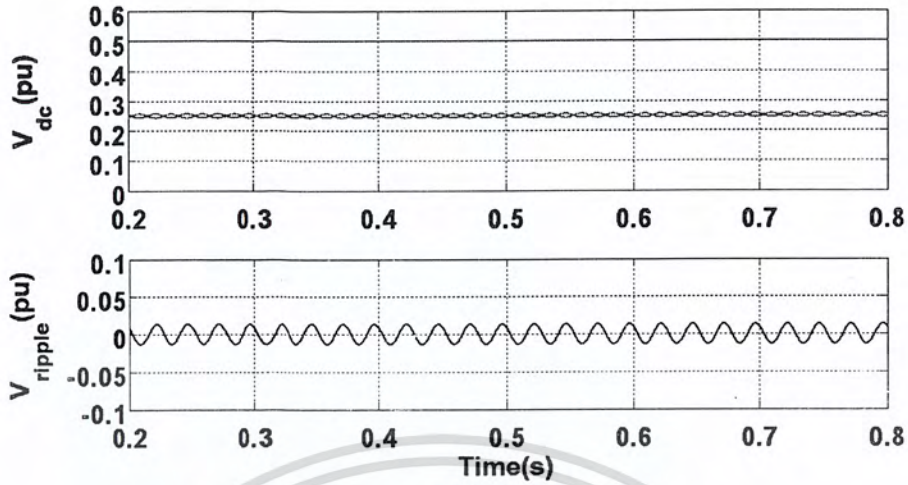
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.23 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

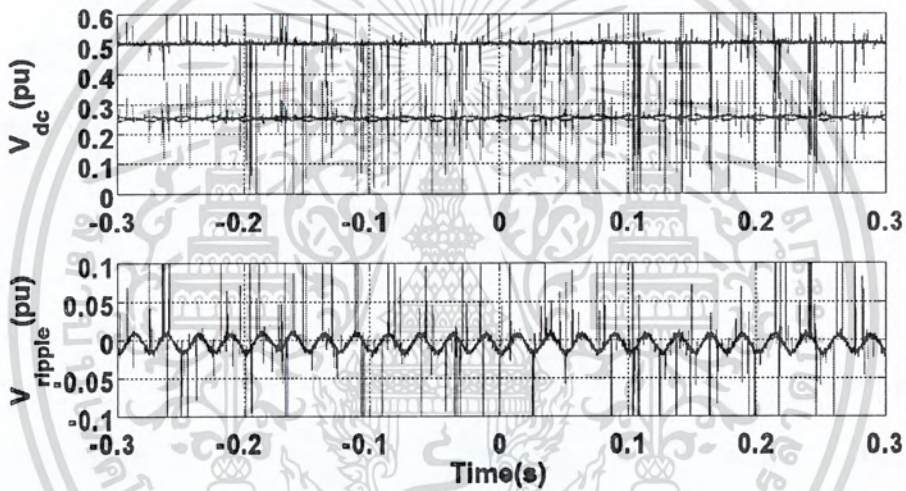


ภาพที่ 4.29 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



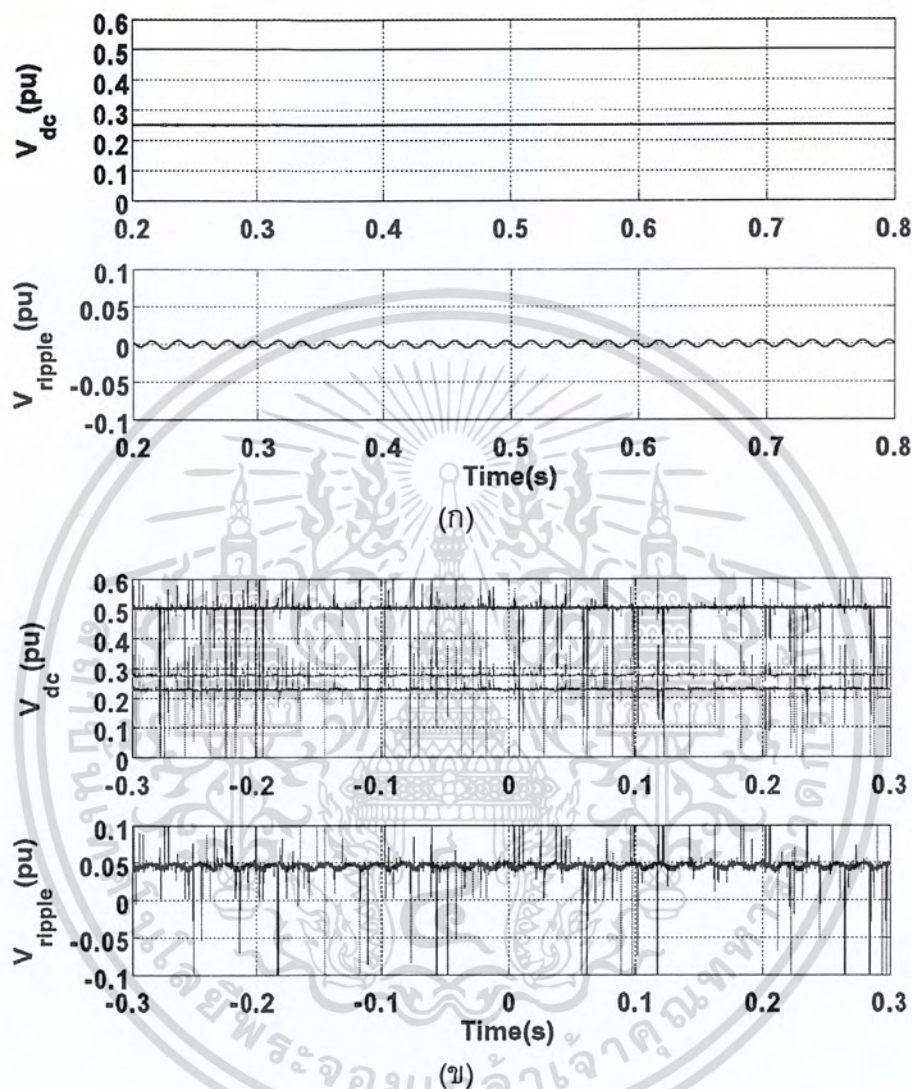
(ข)

ภาพที่ 4.30 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 235.72 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

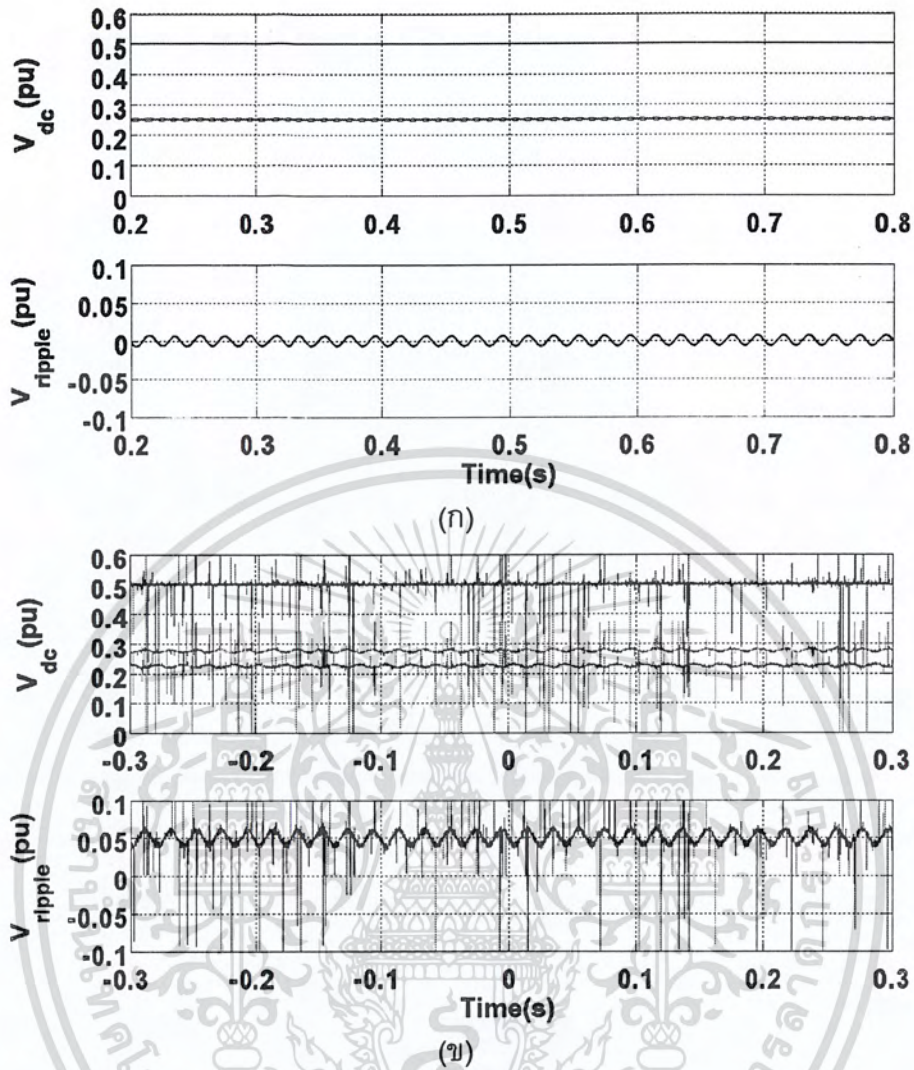
4.2.1.24 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส A เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า

$$\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$$



ภาพที่ 4.31 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



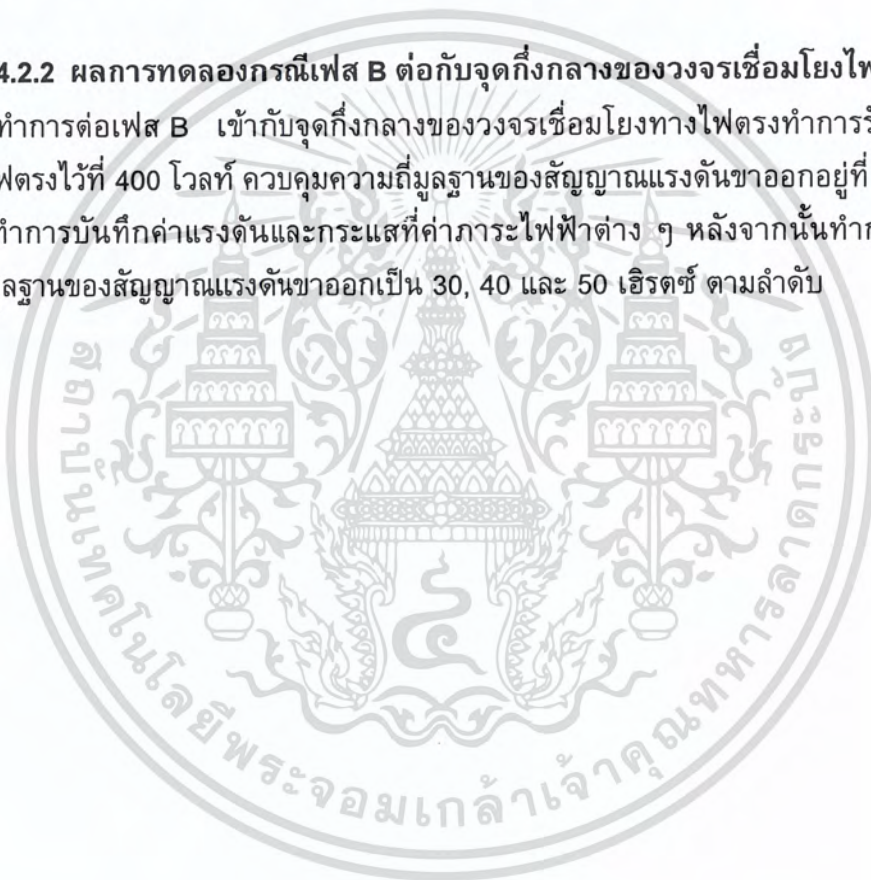
ภาพที่ 4.32 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 308.5 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

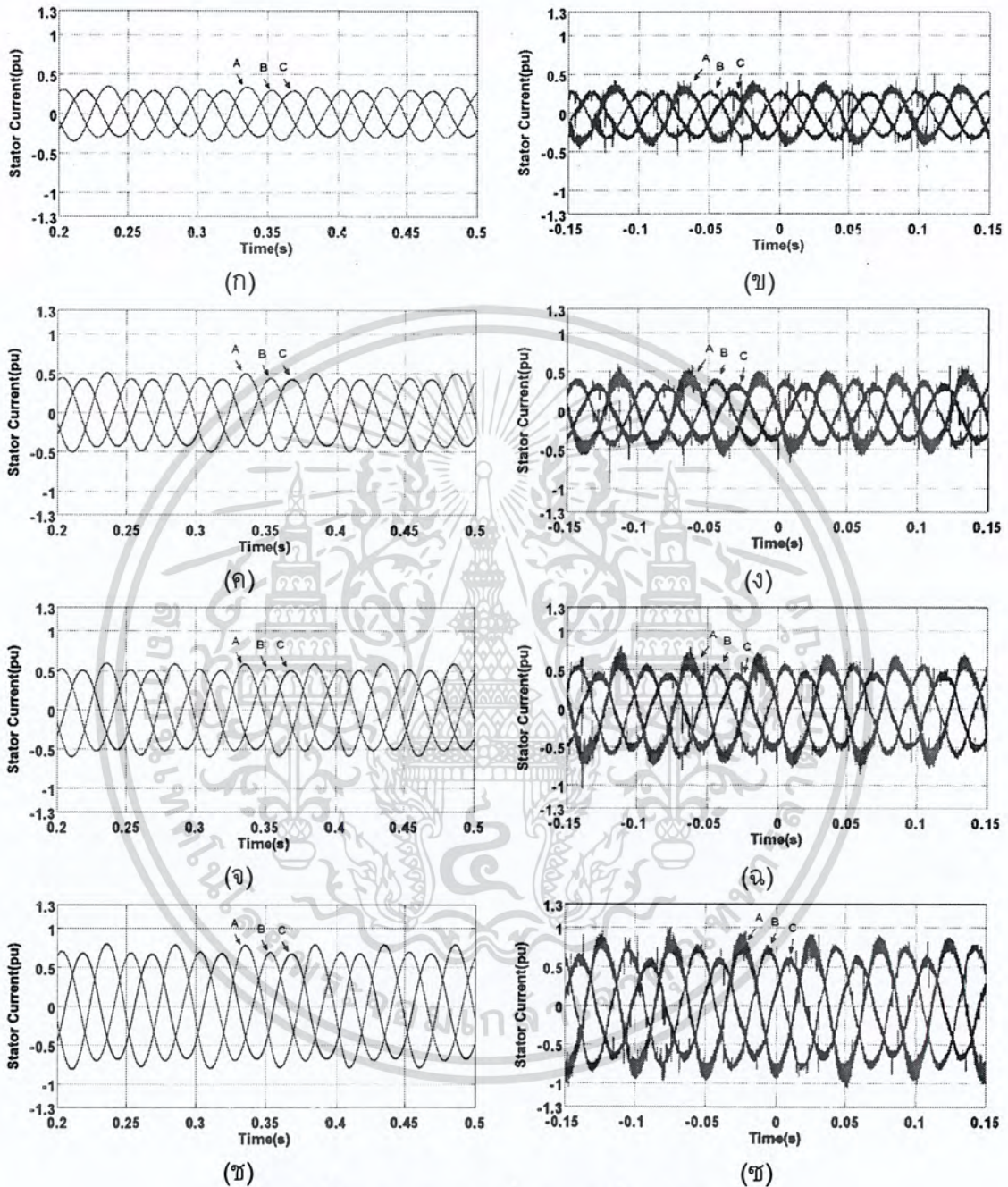
จากผลการทดลองในกรณีเฟส A ต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$ พบว่ารูปคลื่นแรงดันไฟตรงที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีการแกว่ง โดยความถี่ในการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะขึ้นอยู่กับความถี่มูลฐานของ สัญญาณแรงดันขาออก และขนาดการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะเพิ่มขึ้นเมื่อ ความถี่มูลฐานต่ำลงหรือในกรณีที่ภาระของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น แต่ในกรณีที่ ป้อนค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ขนาดการแกว่งของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีขนาดลดลงเนื่องจาก เวลาในการสวิตช์ที่เปลี่ยนไป โดยเมื่อตัวเก็บประจุตัวใดมีแรงดันสูงกว่าสวิตช์จะทำการต่อวงจร กับตัวเก็บประจุนั้นนานกว่าตัวเก็บประจุอีกตัวหนึ่งเพื่อให้ตัวเก็บประจุที่มีแรงดันมากกว่าทำการ คายประจุจนแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองตัวมีขนาดใกล้เคียงกัน

4.2.2 ผลการทดลองกรณีเฟส B ต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง

ทำการต่อเฟส B เข้ากับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงทางไฟตรงทำการรักษาระดับ แรงดันไฟตรงไว้ที่ 400 โวลต์ ควบคุมความถี่มูลฐานของสัญญาณแรงดันขาออกอยู่ที่ 20 เฮิร์ตซ์ จากนั้นทำการบันทึกค่าแรงดันและกระแสที่ค่าภาระไฟฟ้าต่าง ๆ หลังจากนั้นทำการเปลี่ยน ความถี่มูลฐานของสัญญาณแรงดันขาออกเป็น 30, 40 และ 50 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ



4.2.2.1 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

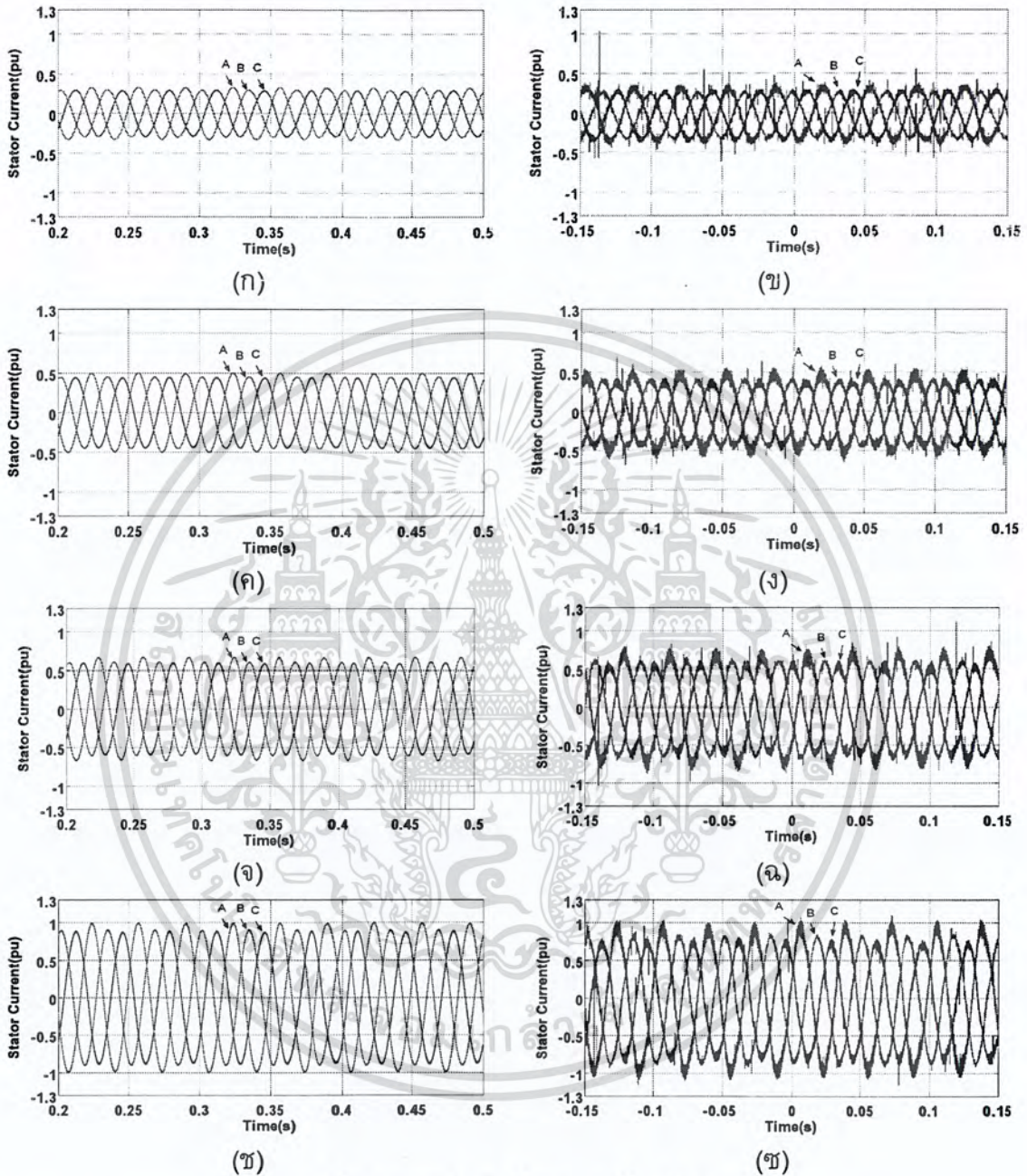


ภาพที่ 4.33 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|---|---|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 62.57 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 62.57 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 89.12 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 89.12 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 95.73 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 95.73 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

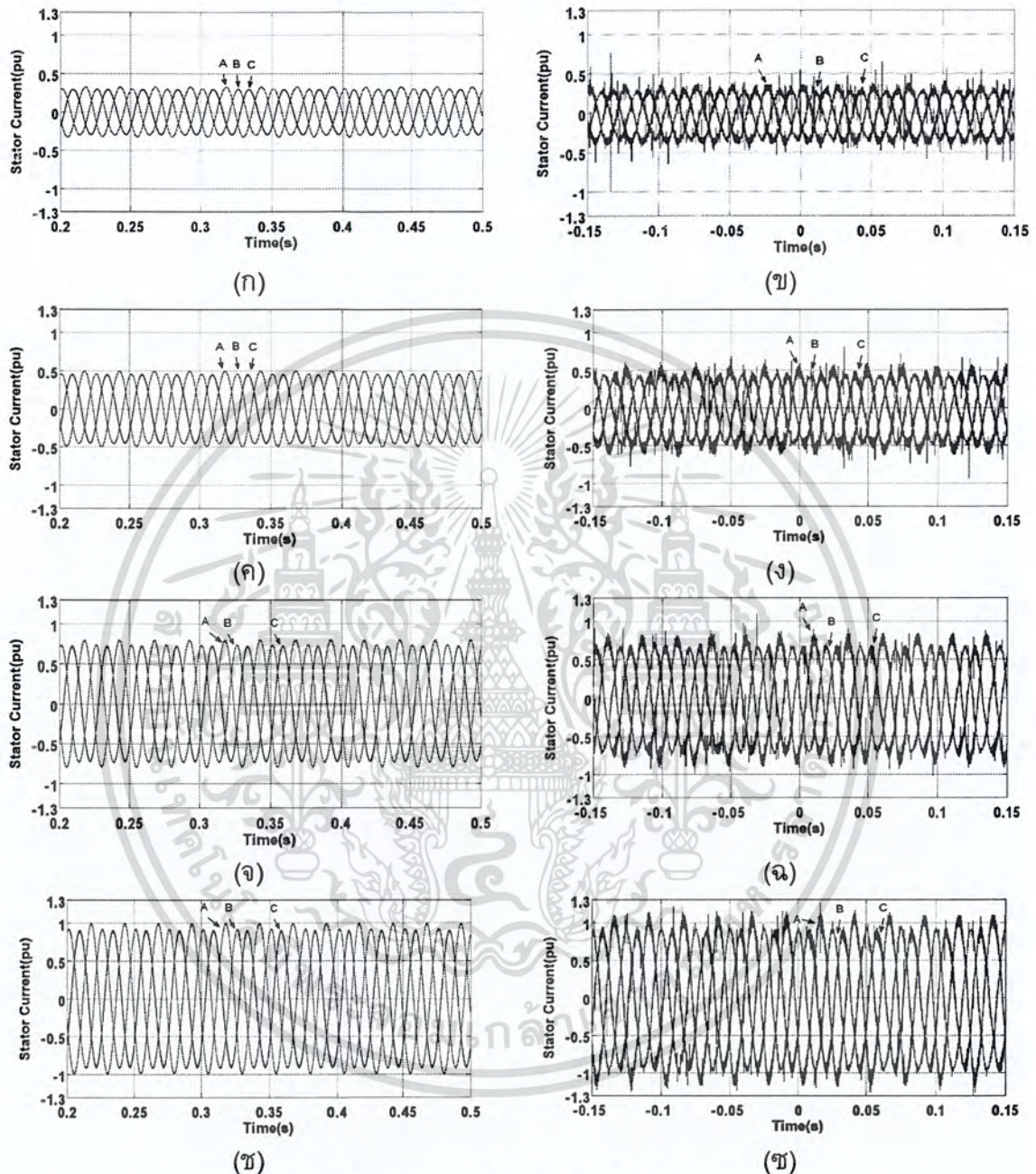


ภาพที่ 4.34 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 95.08 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 95.08 วัตต์ |
| (ฉ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 145.60 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 145.60 วัตต์ |
| (ข) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 168.00 วัตต์ | (ข) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 168.00 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.3 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

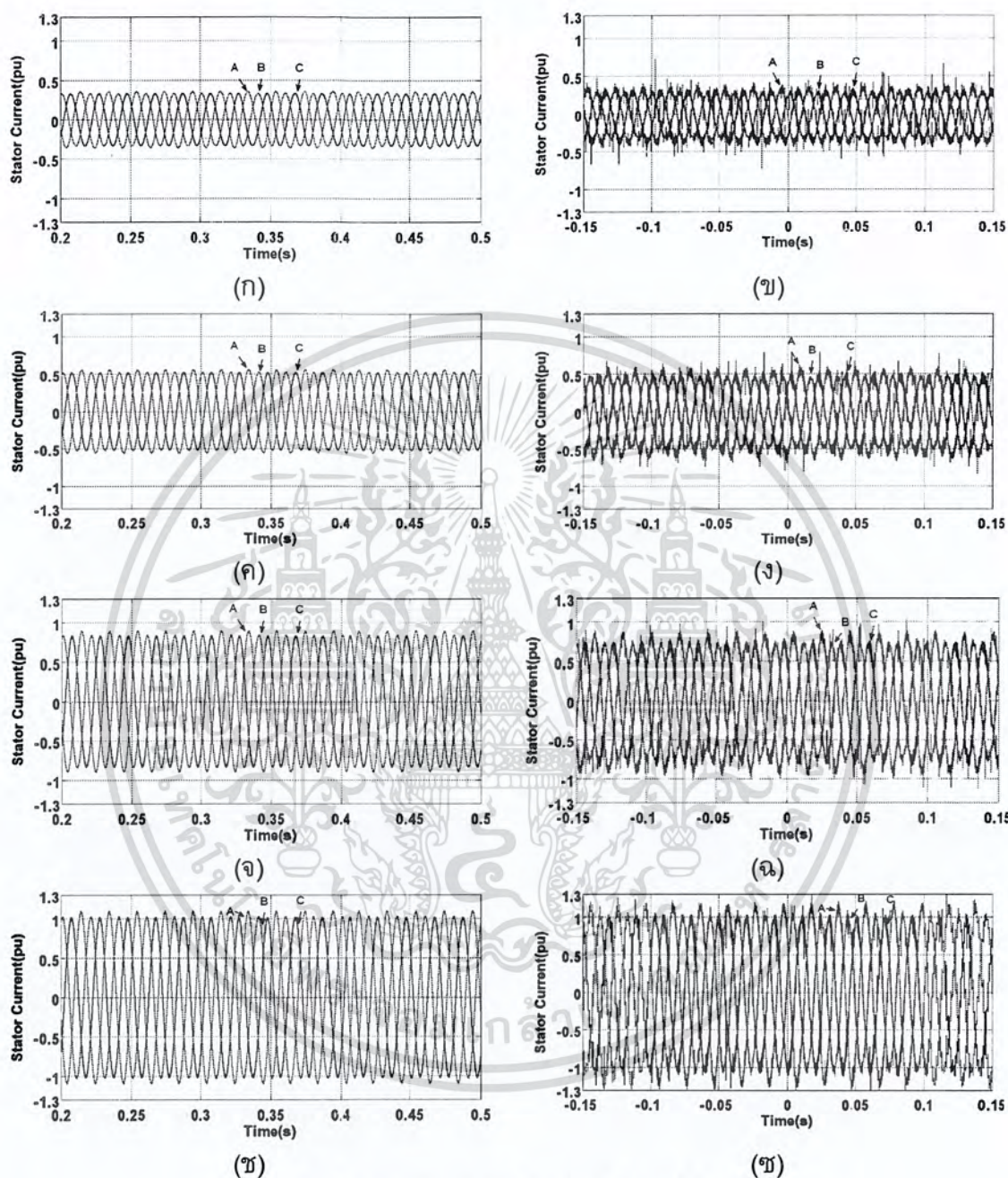


ภาพที่ 4.35 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.26 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.26 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 208.42 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 208.42 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 235.72 วัตต์ | (ช) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 235.72 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.4 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

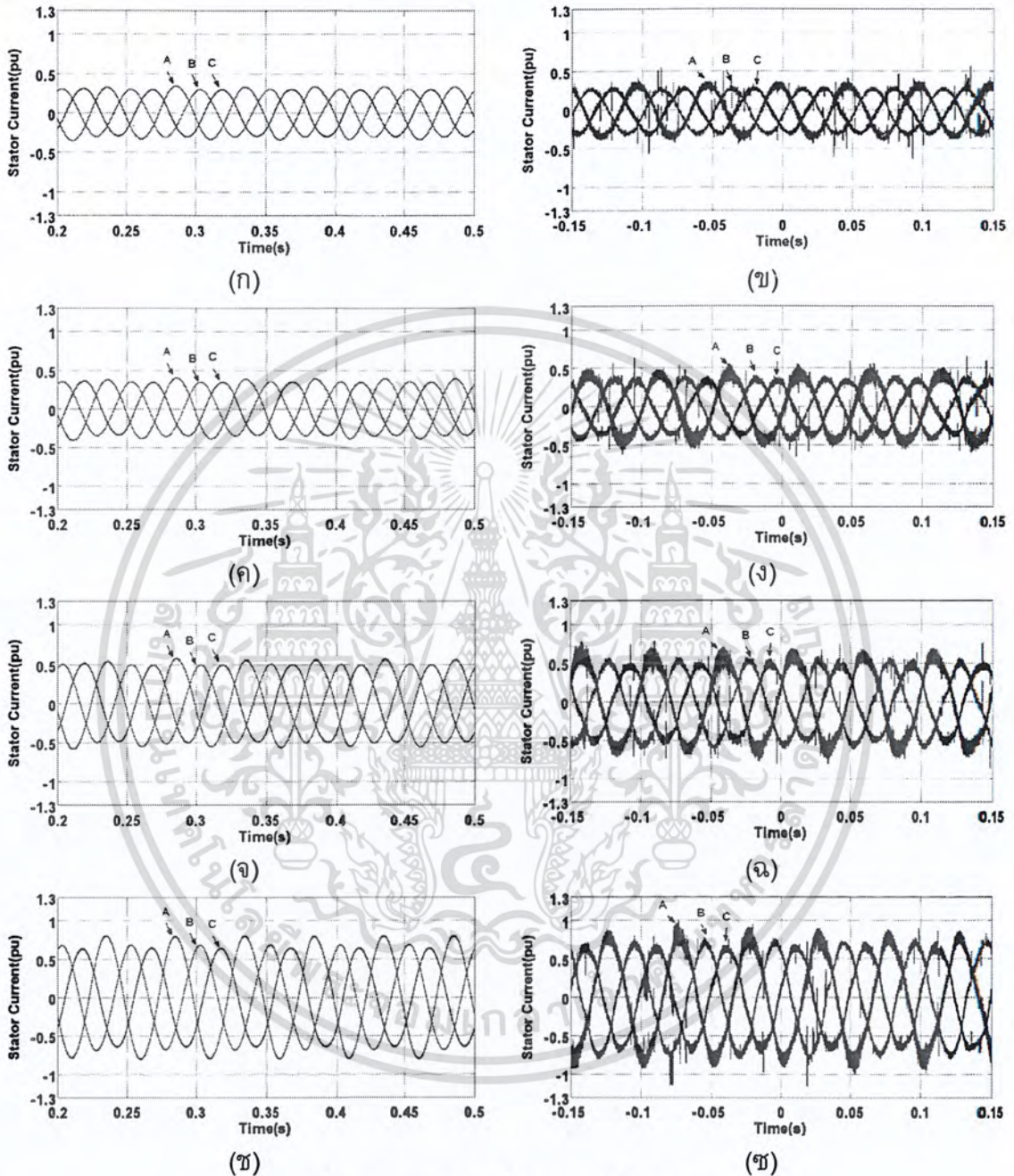


ภาพที่ 4.36 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 170.24 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 170.24 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 268.17 วัตต์ | (ฉ) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 268.17 วัตต์ |
| (ข) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 305.33 วัตต์ | (ช) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 305.33 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.5 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$



ภาพที่ 4.37 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

(ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า

(ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า

(ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 61.34 วัตต์

(ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 61.34 วัตต์

(ฉ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 86.56 วัตต์

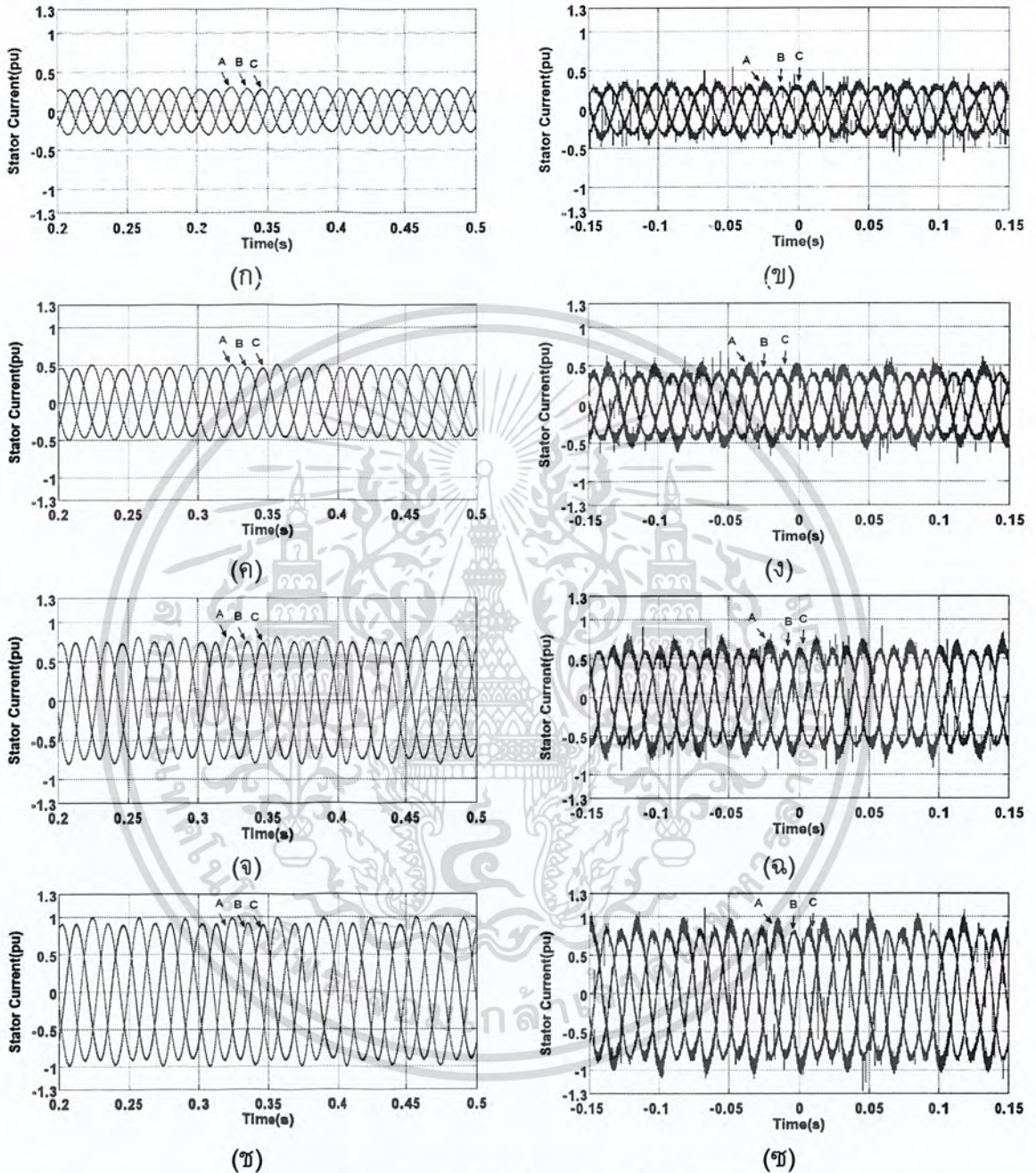
(ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 86.56 วัตต์

(ข) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.12 วัตต์

(ข) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.12 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.6 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีทีเฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

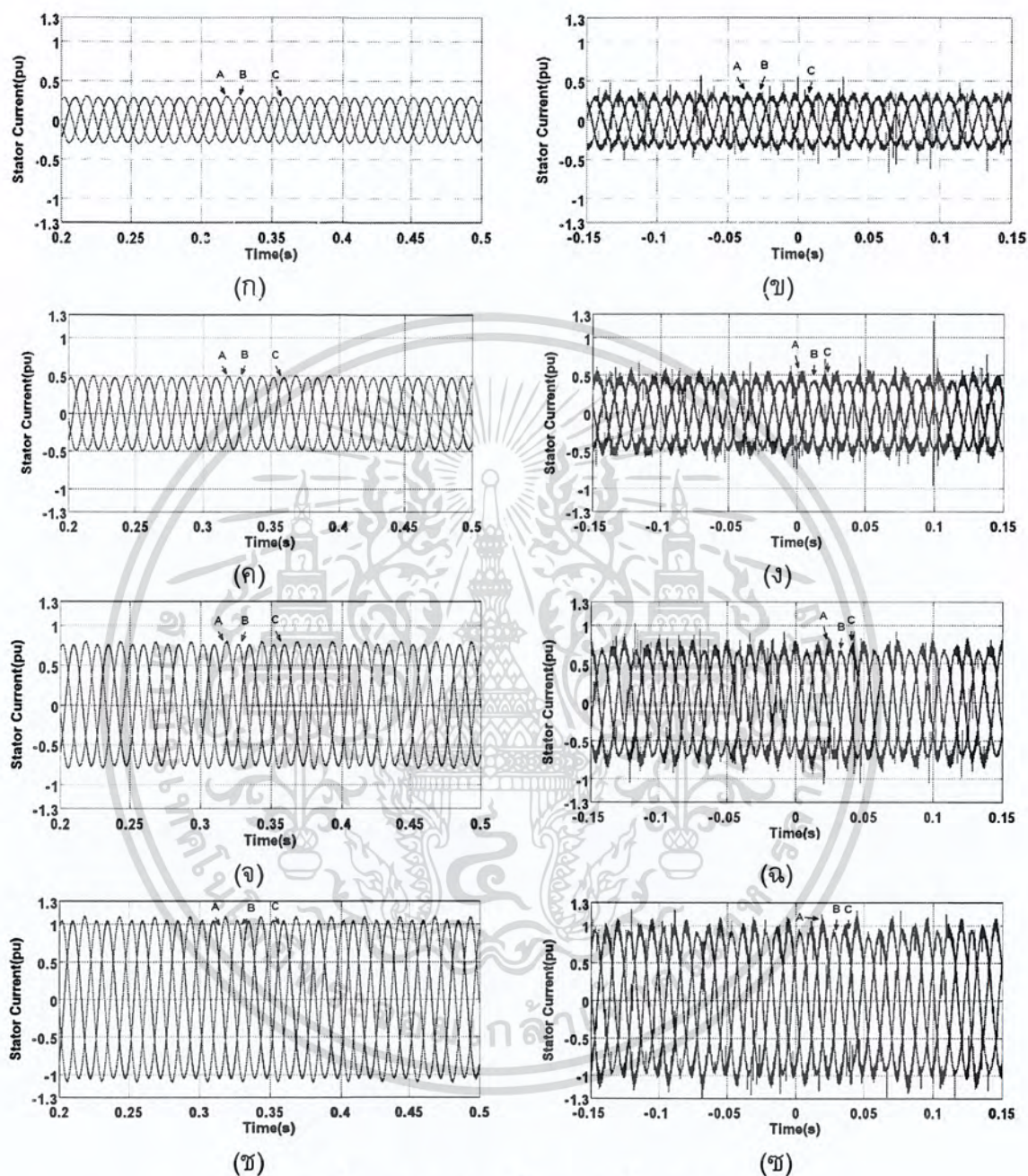


ภาพที่ 4.38 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.49 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.49 วัตต์ |
| (ฉ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 144.98 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 144.98 วัตต์ |
| (ข) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 167.44 วัตต์ | (ข) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 167.44 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.7 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีเฟส B เชื่อมต่ออยู่กับ จุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

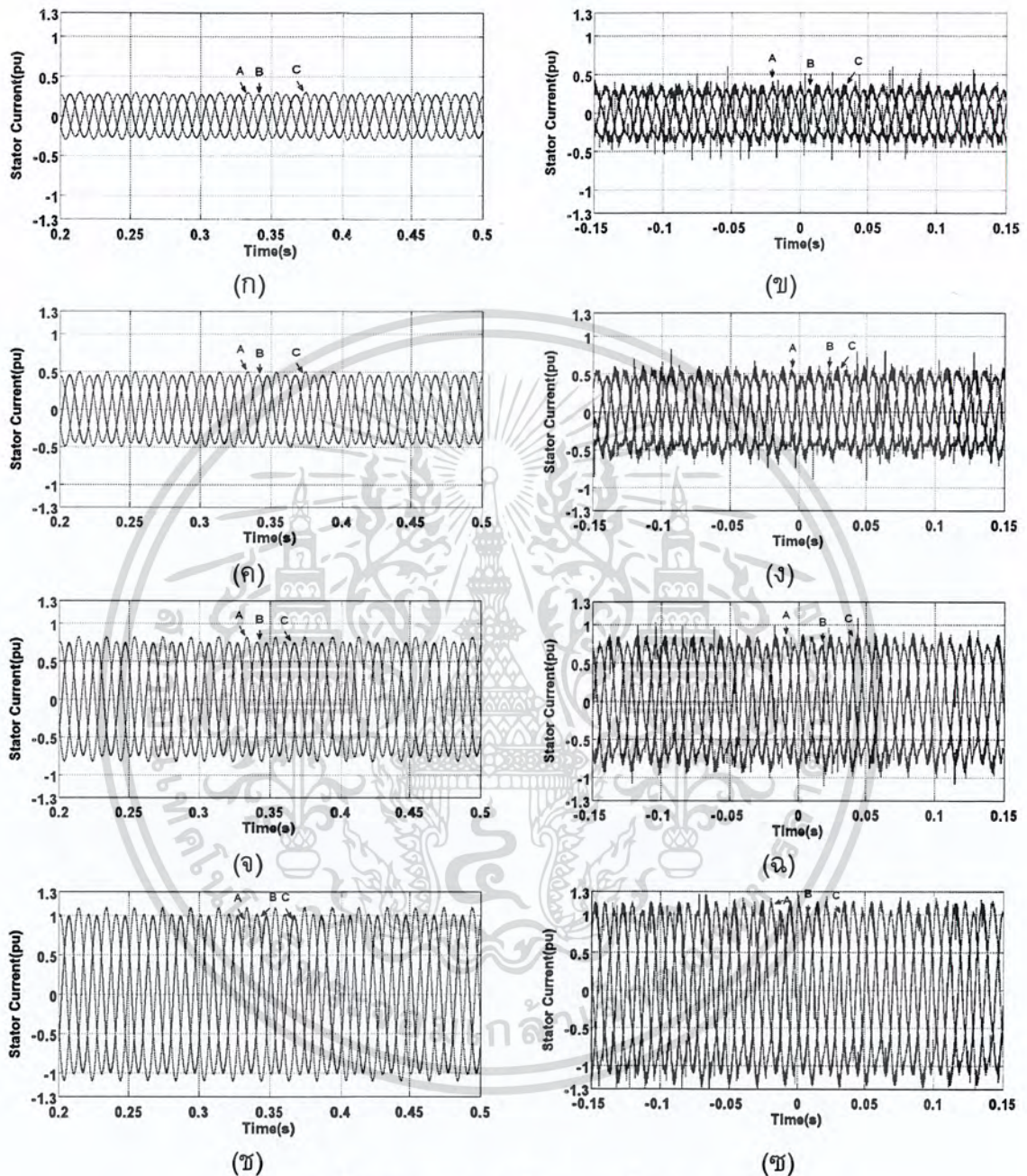


ภาพที่ 4.39 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.99 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.99 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 209.71 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 209.71 วัตต์ |
| (ข) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 237.95 วัตต์ | (ข) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 237.95 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.8 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับ
จุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$



ภาพที่ 4.40 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 171.00 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 171.00 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 269.94 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 269.94 วัตต์ |
| (ข) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 308.73 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 308.73 วัตต์ |

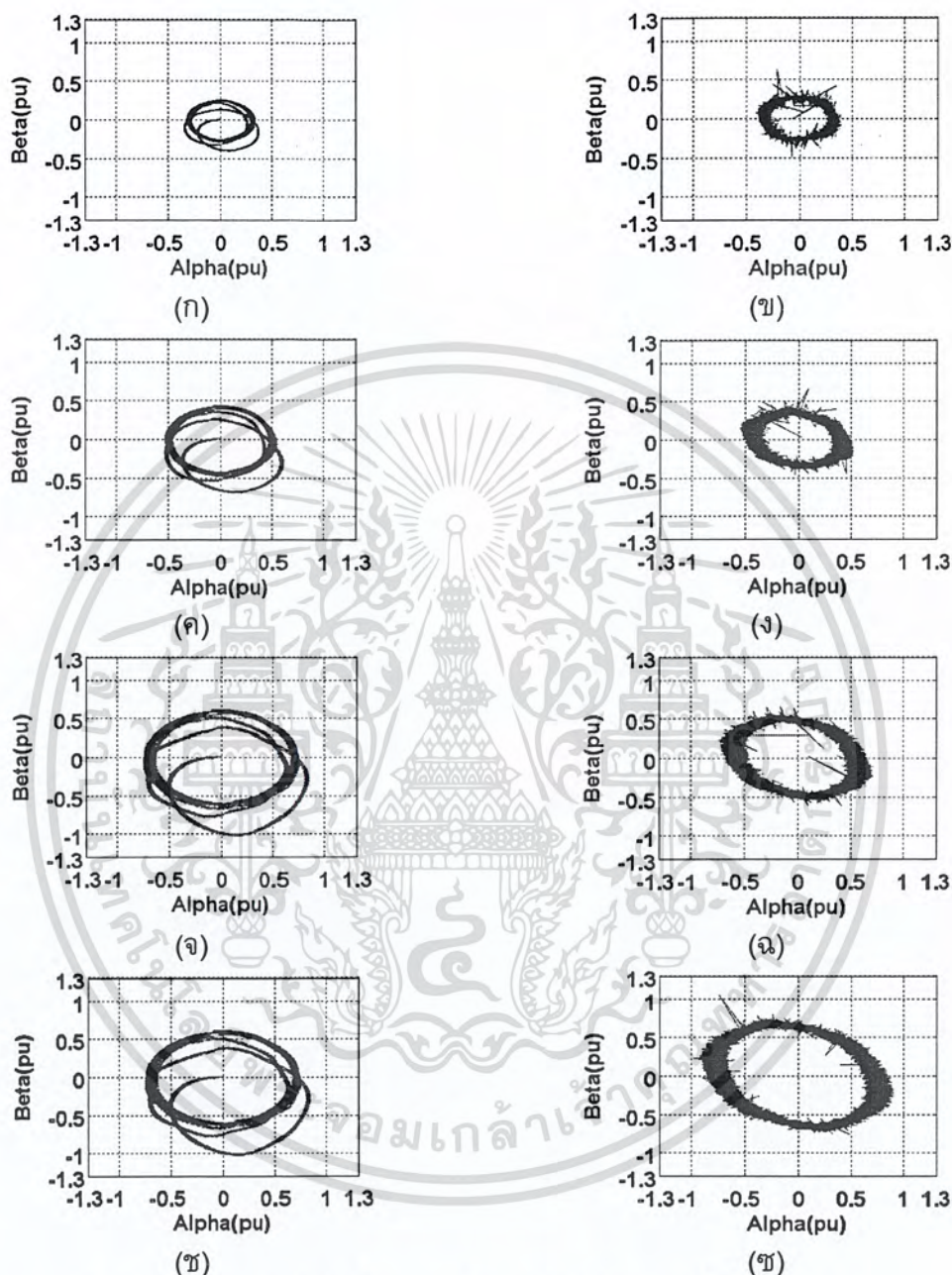
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในกรณีที่เฟส B ต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$ พบว่ารูปคลื่นกระแสไลน์ที่ได้จะมีความไม่สมดุลโดยจะมีขนาดของกระแสเฟส A สูงกว่าขนาดของกระแสในเฟส B และ C ซึ่งเป็นผลมาจากการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ และความไม่สมดุลของรูปคลื่นกระแสไลน์จะมีมากขึ้นเมื่อความถี่มูลฐานมีค่าต่ำลงหรือขนาดภาระของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีมากขึ้น แต่ในกรณีที่ป้อนค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ เพื่อคำนวณเวลาในการสวิตช์ใหม่ ซึ่งช่วยลดการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ ทำให้ขนาดกระแสในเฟส A มีความใกล้เคียงกับขนาดกระแสของเฟส B และ C มากขึ้น แต่แนวโน้มที่จะทำให้กระแสไลน์ไม่สมดุลยังเป็นเช่นเดียวกับกรณีที่ค่า $\gamma = 0.5$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.9 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

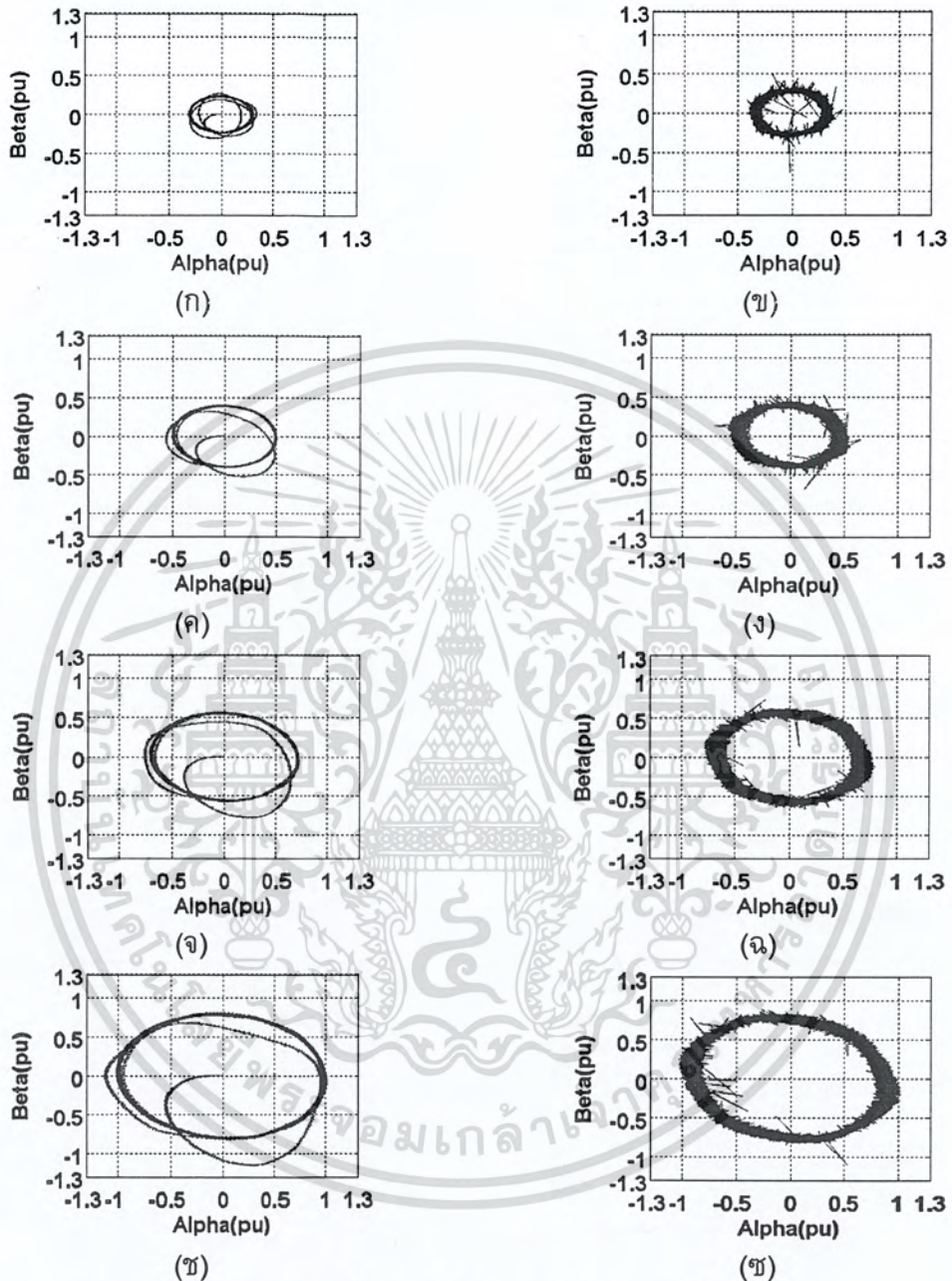


ภาพที่ 4.41 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดหนึ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|---|---|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 62.57 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 62.57 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 89.12 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 89.12 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 95.73 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 95.73 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.10 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีเฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

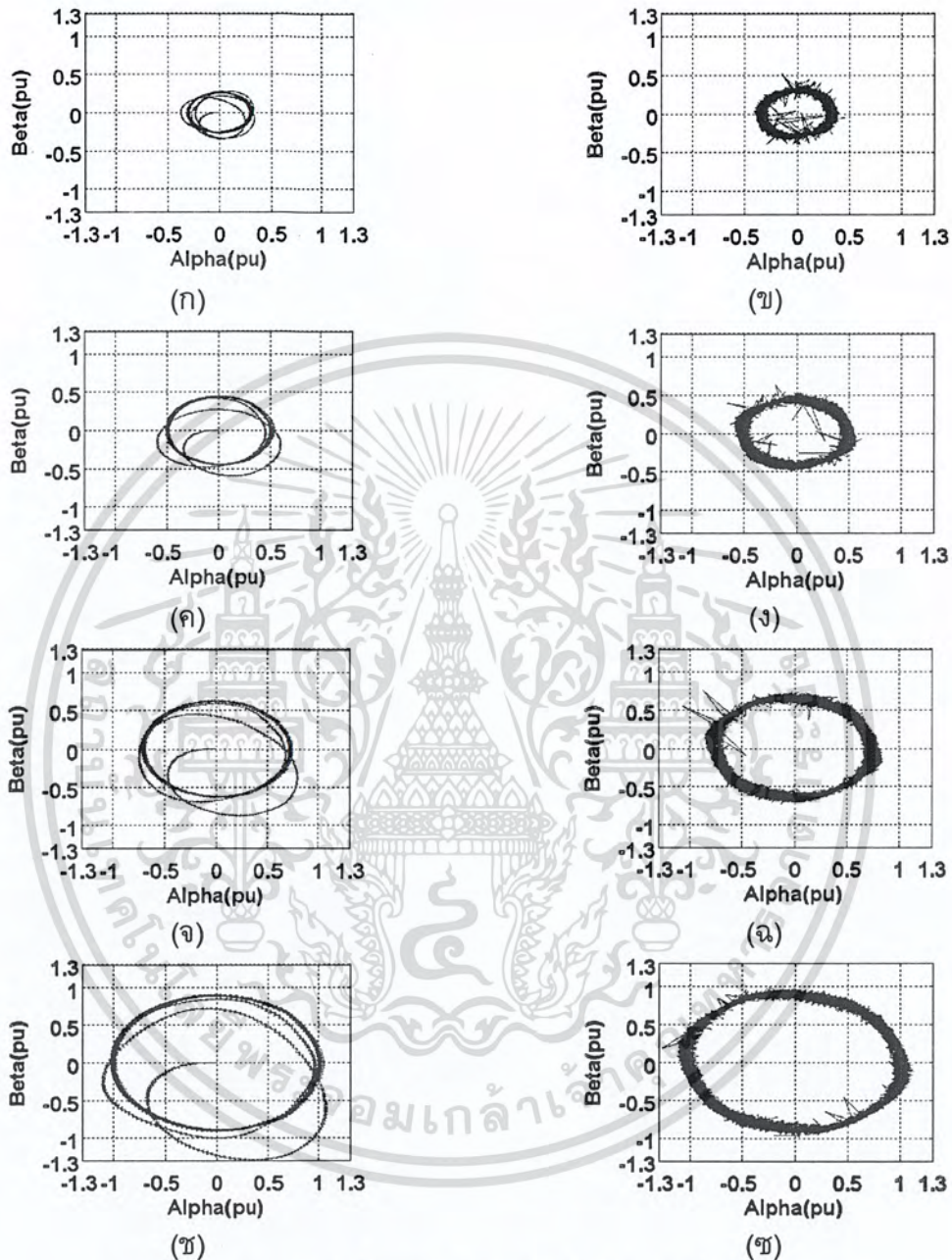


ภาพที่ 4.42 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|---|---|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 95.08 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 95.08 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 145.6 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 145.6 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 168.0 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 168.0 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.11 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีทีเฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

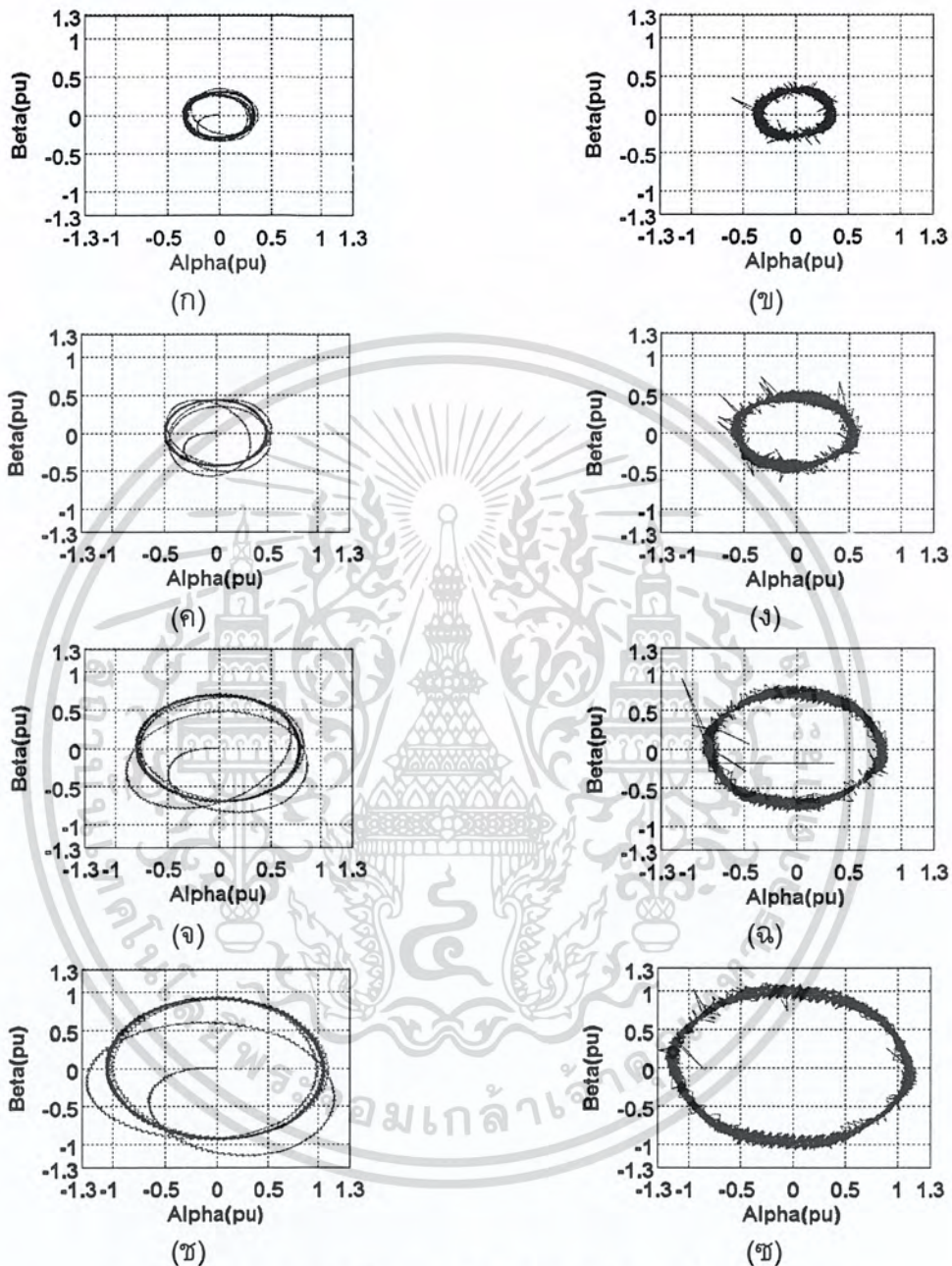


ภาพที่ 4.43 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.26 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.26 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 208.42 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 208.42 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 235.72 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 235.72 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.12 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีทีเฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

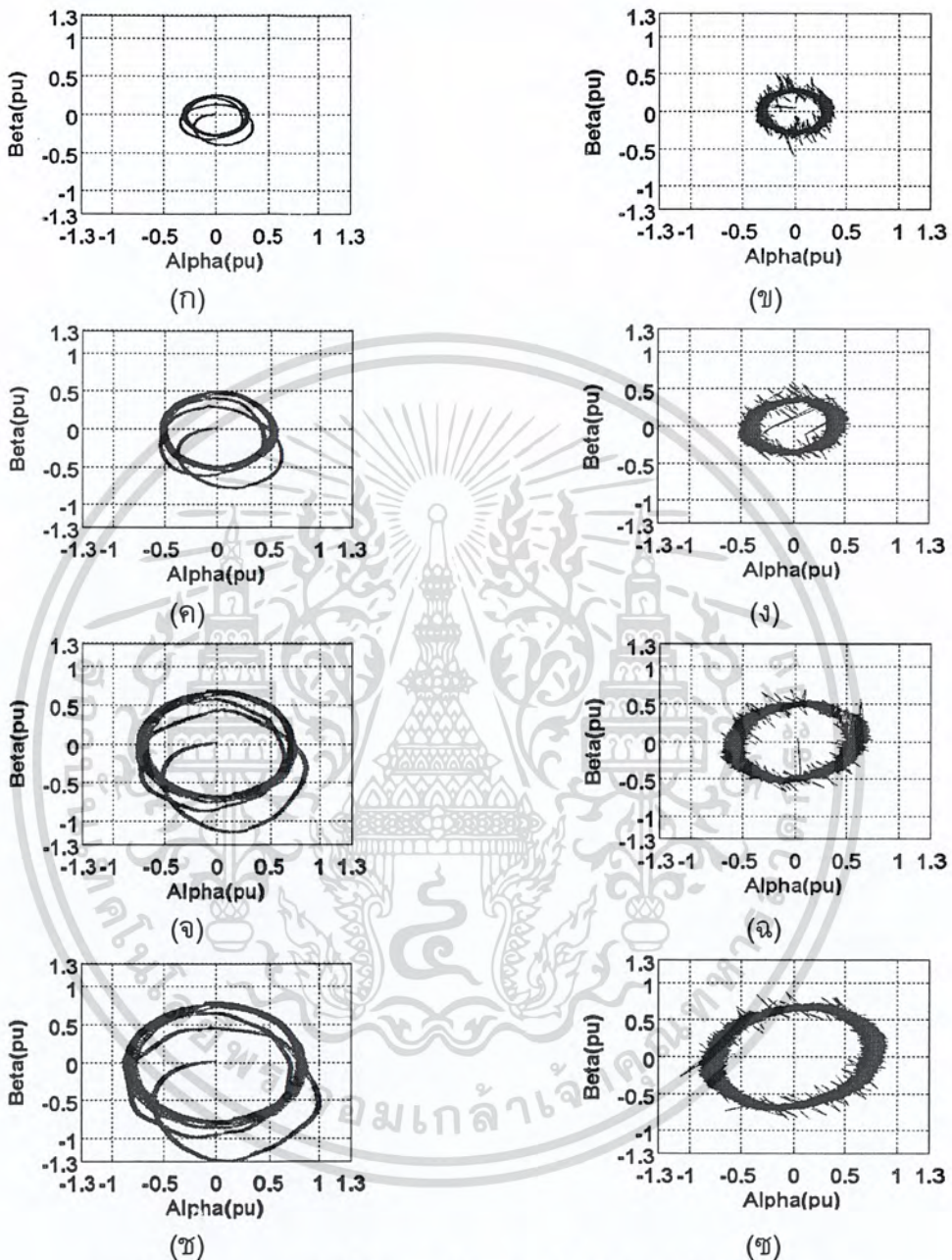


ภาพที่ 4.44 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 170.24 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 170.24 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 268.17 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 268.17 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 305.33 วัตต์ | (ซ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 305.33 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.13 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีเฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

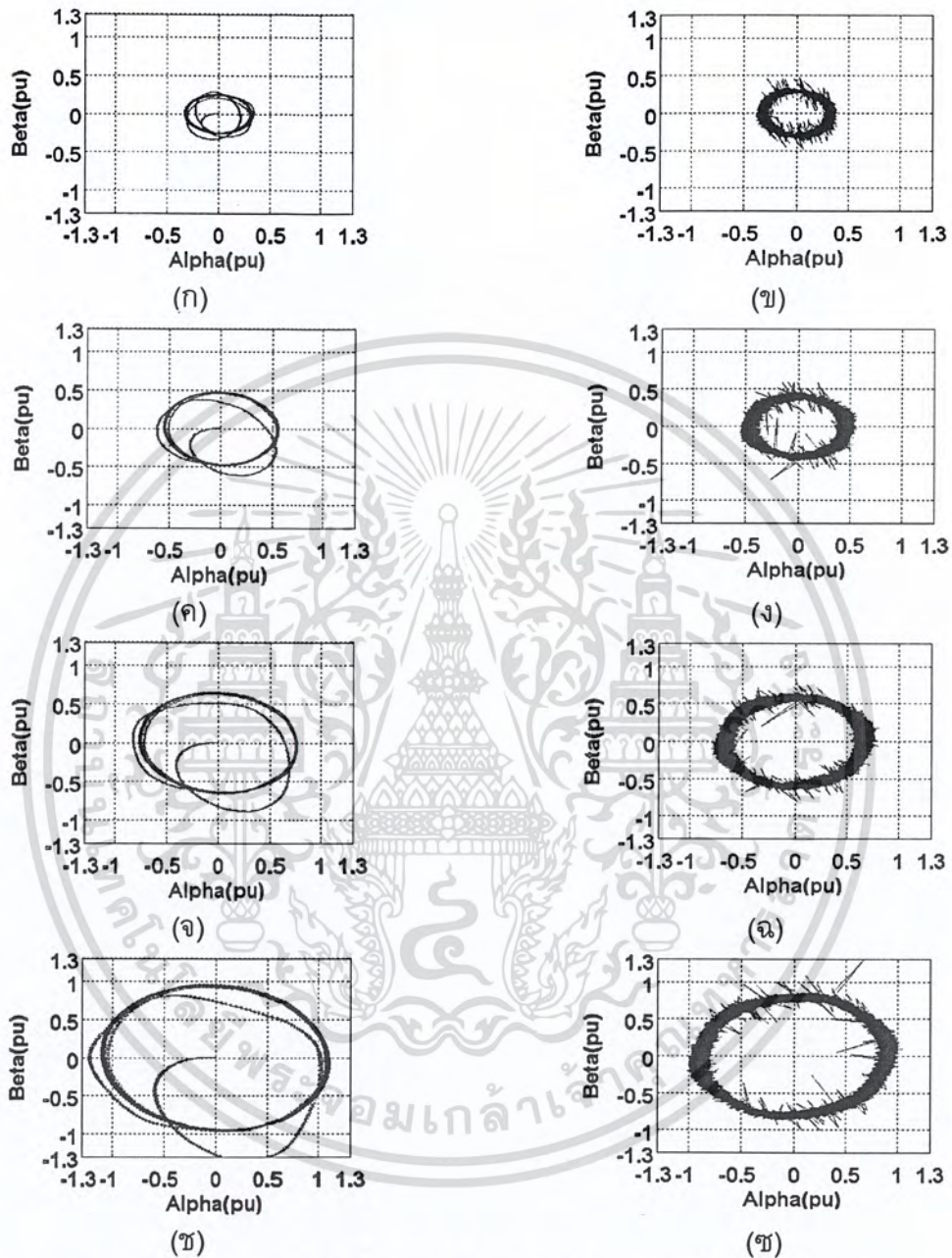


ภาพที่ 4.45 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|---|---|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 61.34 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 61.34 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 86.56 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 86.56 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.12 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.12 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.14 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์ในกรณีเฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

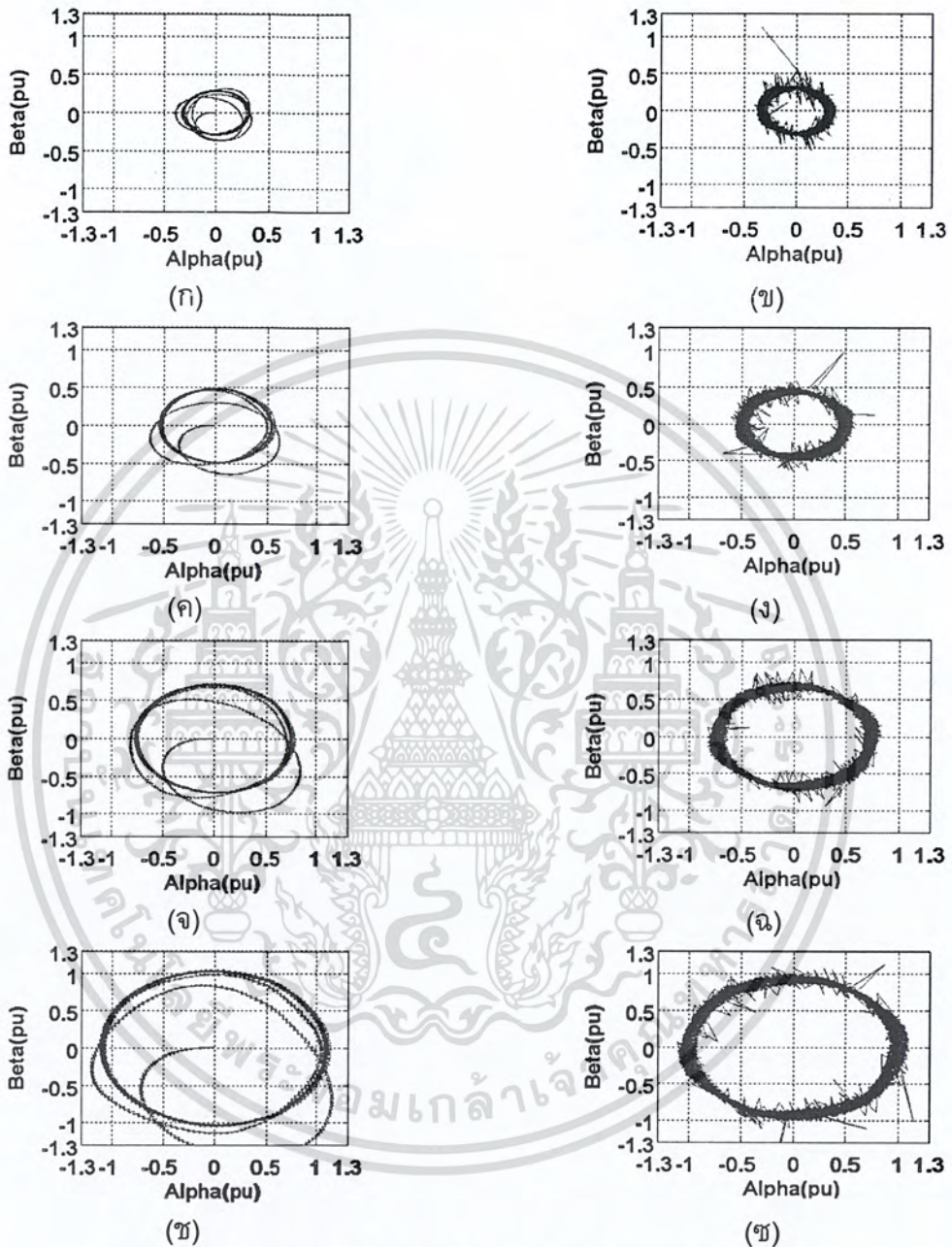


ภาพที่ 4.46 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดหนึ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 94.49 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 94.49 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 144.98 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 144.98 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 167.44 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 167.44 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.15 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีเฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

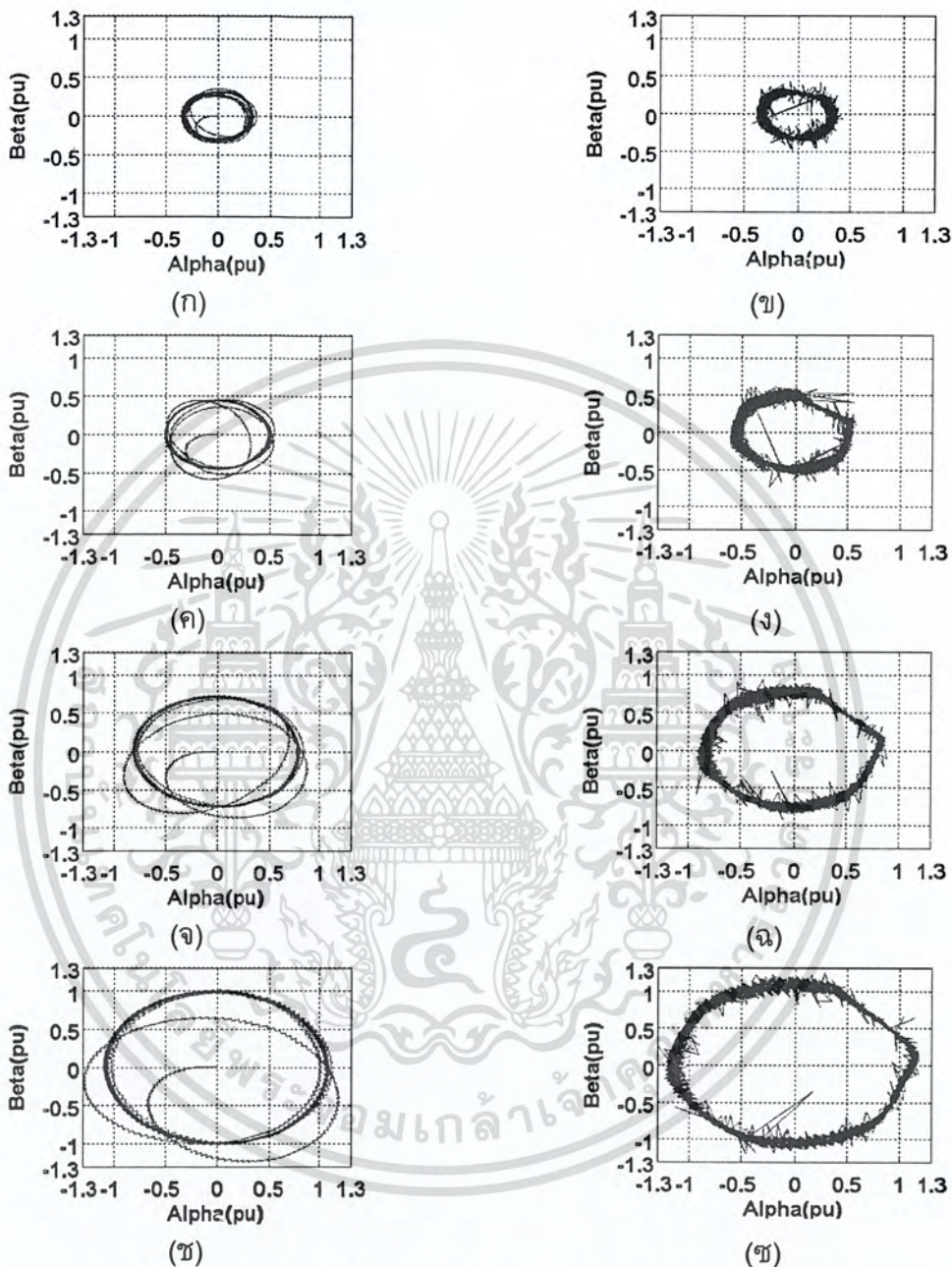


ภาพที่ 4.47 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดหนึ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.99 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.99 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 209.71 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 209.71 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 237.95 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 237.95 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.16 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีเฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$



ภาพที่ 4.48 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 171.00 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 171.00 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 269.94 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 269.94 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 308.73 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 308.73 วัตต์ |

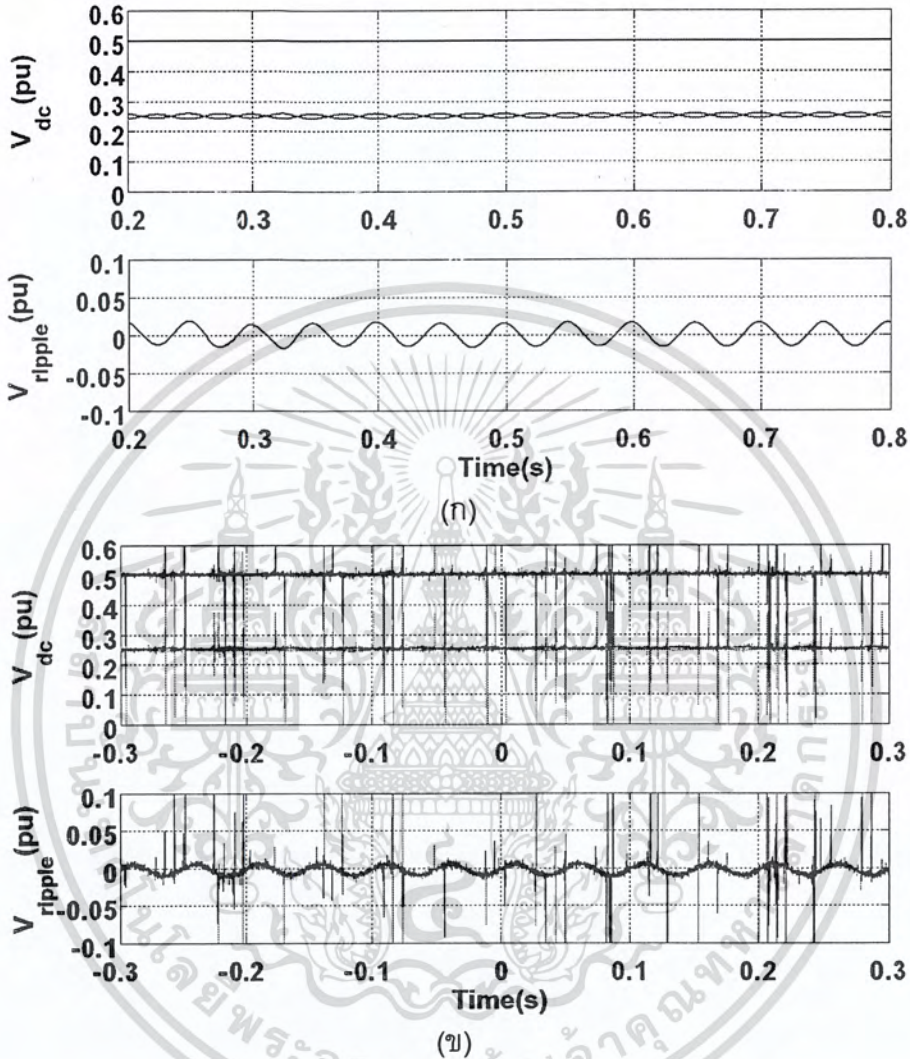
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในกรณีทีเฟส B ต่ออยู่กับวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและใช้ค่า $\gamma = 0.5$ พบว่าสัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ จะมีลักษณะเป็นวงรีในแนวนอนซึ่งเป็นผลมาจากความไม่สมดุลในกระแสไลน์สามเฟสที่มีขนาดของกระแสเฟส A สูงกว่าขนาดของกระแสในเฟส B และ C รูปสัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ จะมีความเป็นวงรีมากขึ้นเมื่อความถี่มูลฐานต่ำลงหรือภาระของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความไม่สมดุลของกระแสไลน์สามเฟสมักขึ้น แต่ในกรณีที่ป้อนค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ พบว่าสัญญาณกระแสในระนาบอ้างอิง $\alpha - \beta$ จะมีลักษณะใกล้เคียงวงกลมมากยิ่งขึ้น แสดงให้เห็นว่าขนาดของกระแสเฟส A มีความใกล้เคียงกับขนาดกระแสในเฟส B และ C มากขึ้นทำให้ความสมดุลของกระแสไลน์สามเฟสเพิ่มขึ้น แต่แนวโน้มที่จะทำให้สัญญาณกระแสในระนาบ $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ มีความเป็นวงรีมากขึ้นยังเป็นเช่นเดียวกับกรณี $\gamma = 0.5$



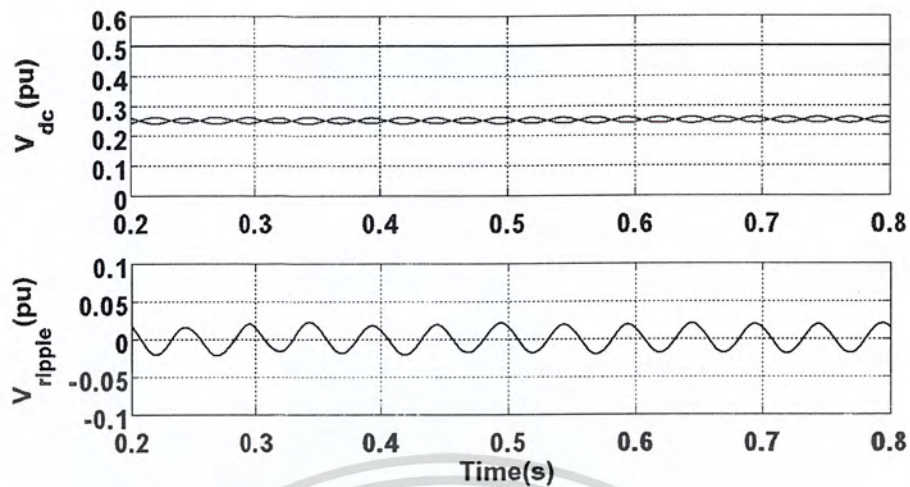
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.17 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$

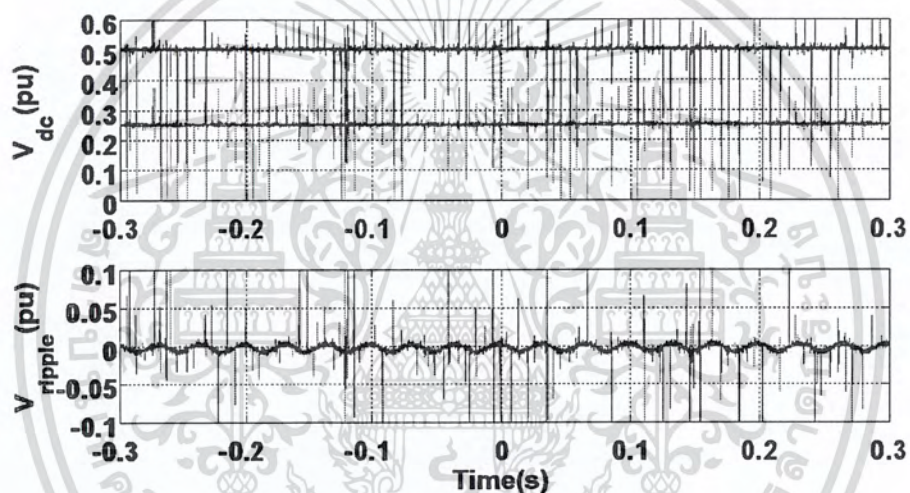


ภาพที่ 4.49 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

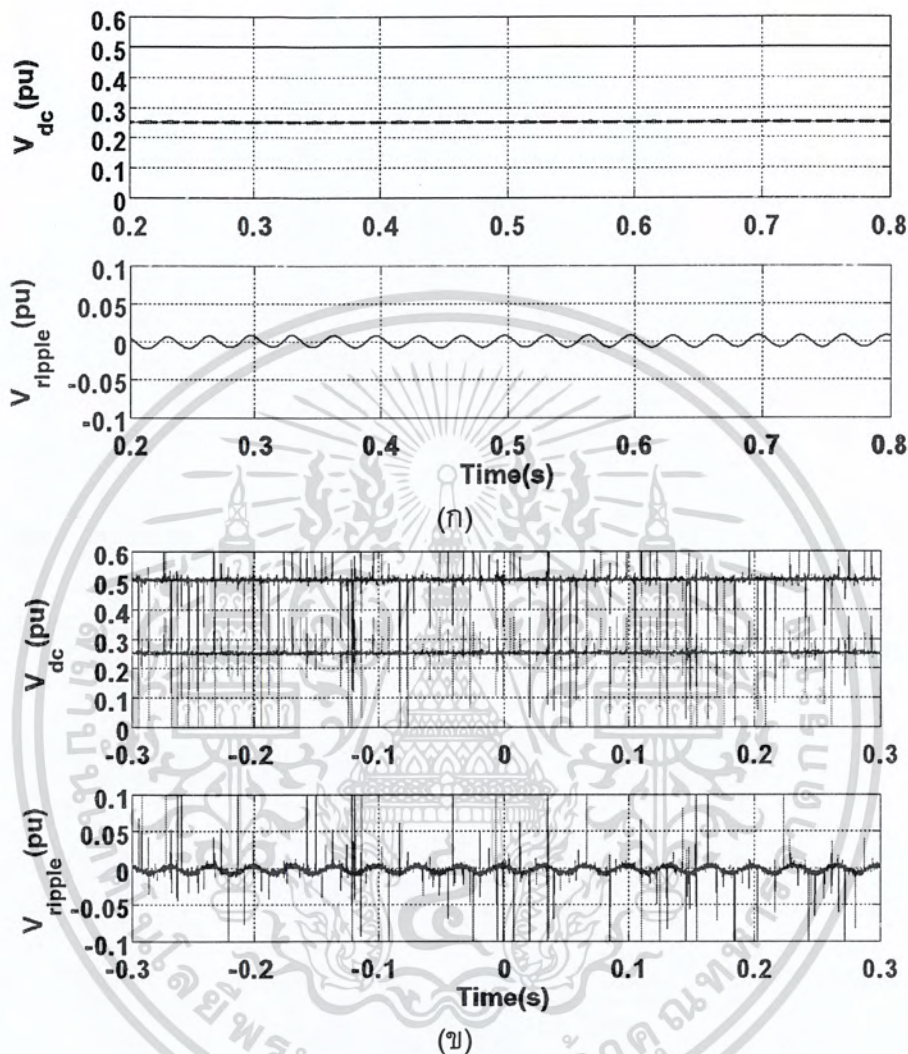


(ข)

ภาพที่ 4.50 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 95.73 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

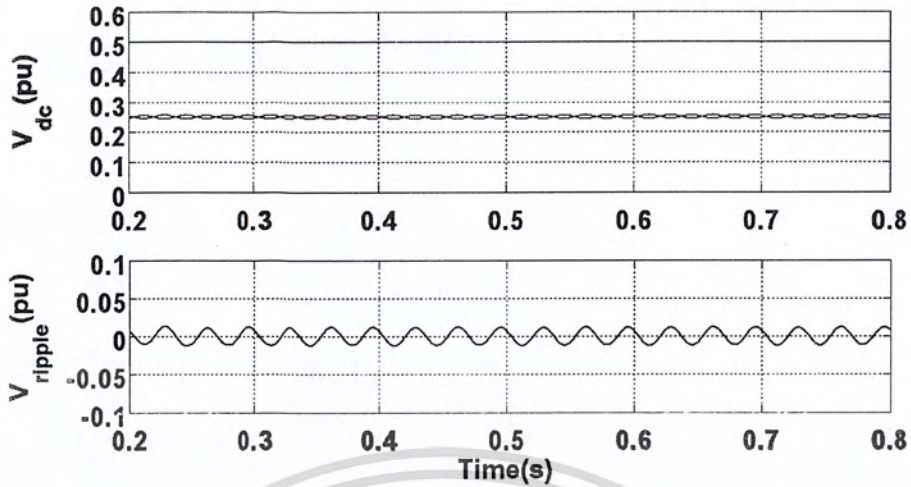
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.18 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$

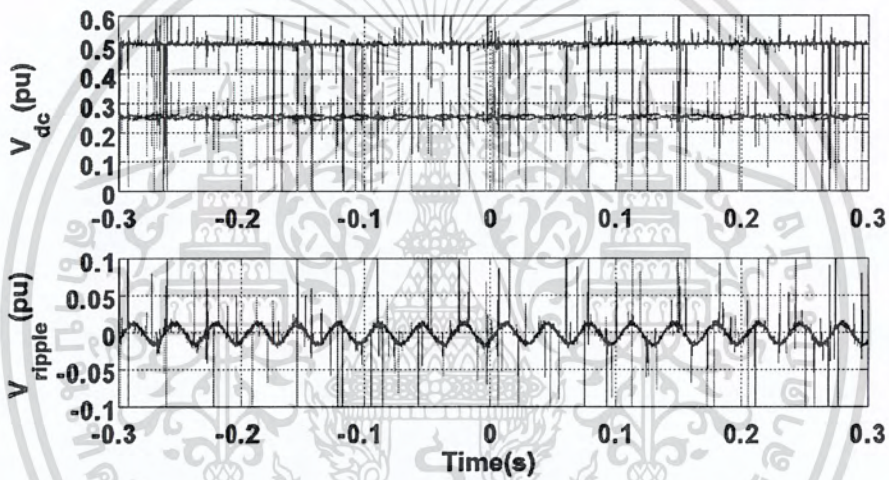


ภาพที่ 4.51 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

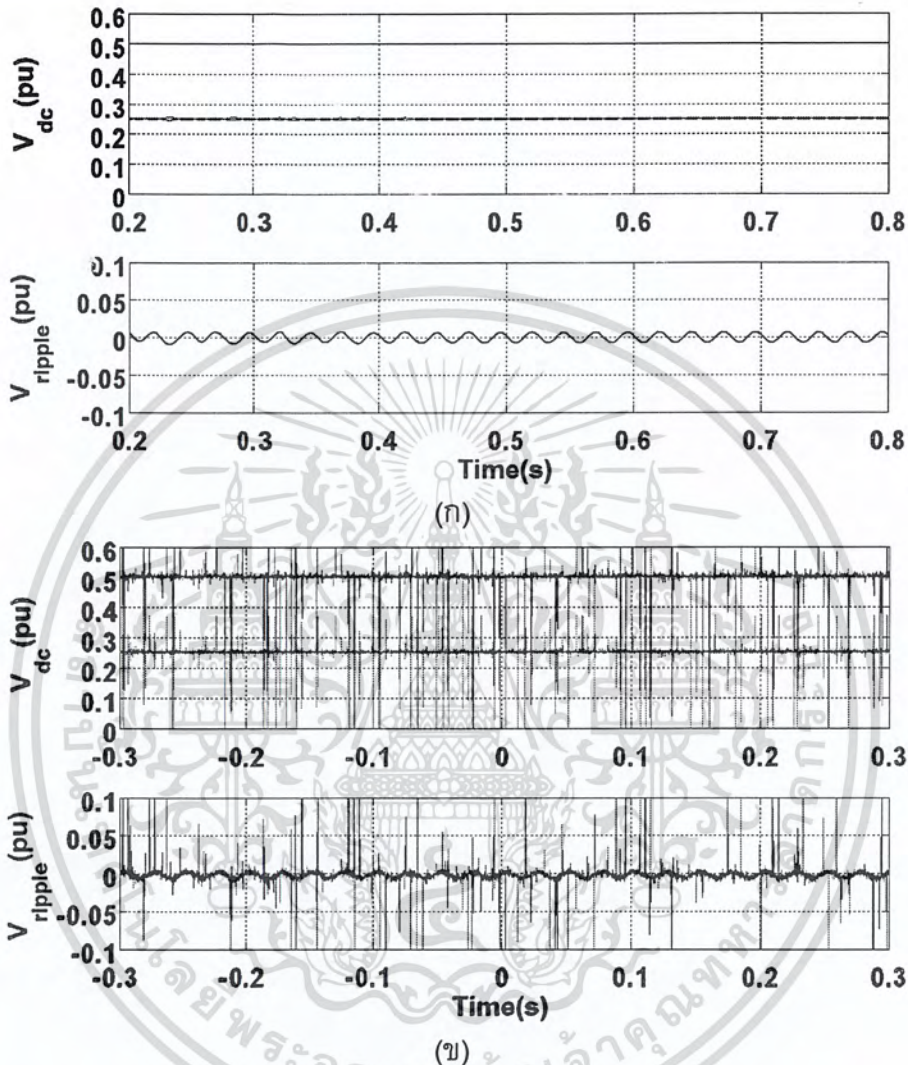


(ข)

ภาพที่ 4.52 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 168 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสเพื่่อม

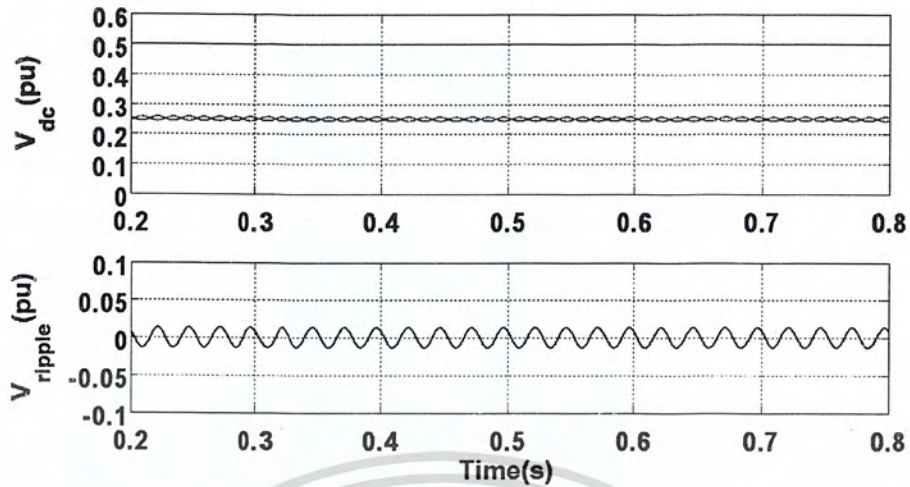
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.19 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$

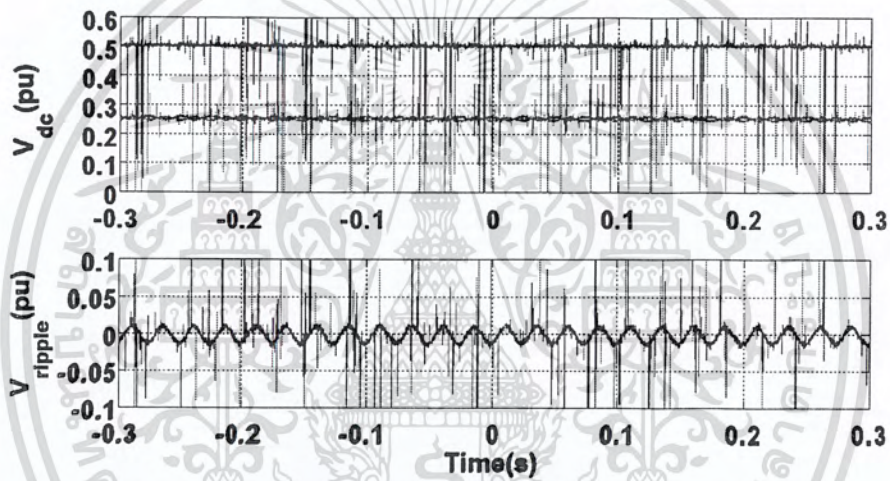


ภาพที่ 4.53 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ
(บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
(ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

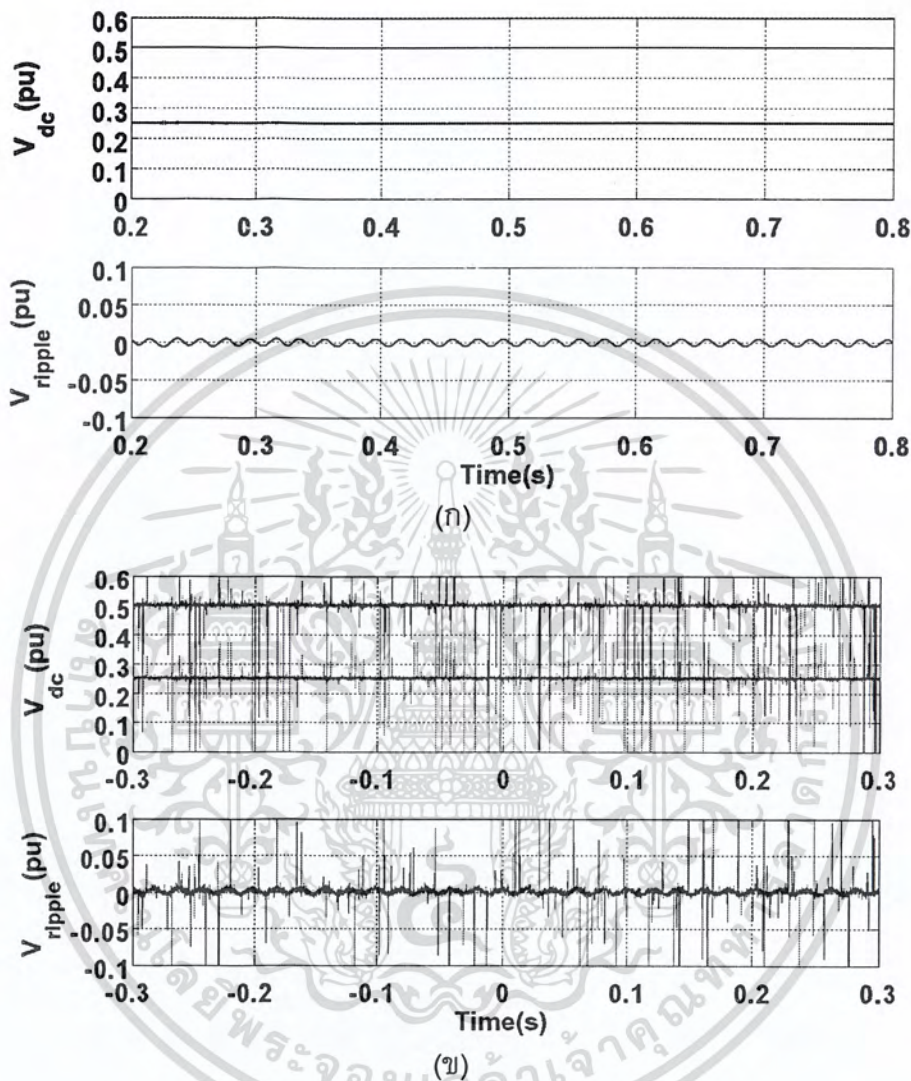


(ข)

ภาพที่ 4.54 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 235.72 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

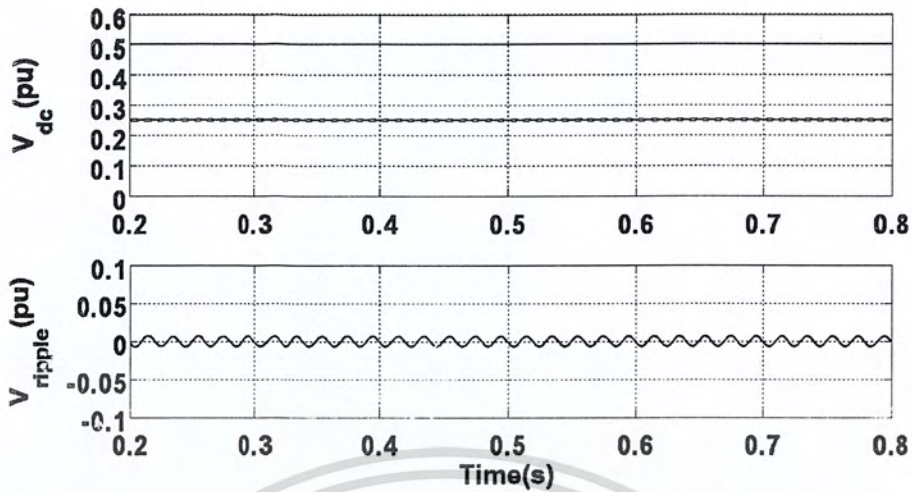
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.20 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$

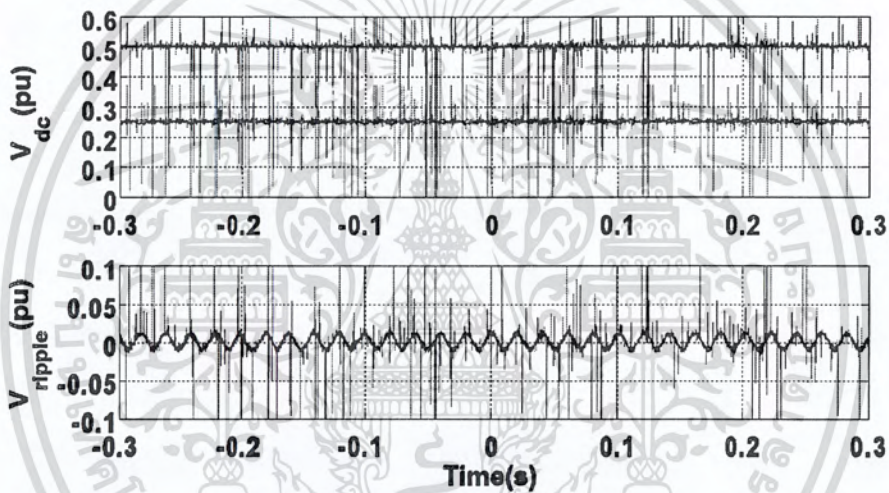


ภาพที่ 4.55 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

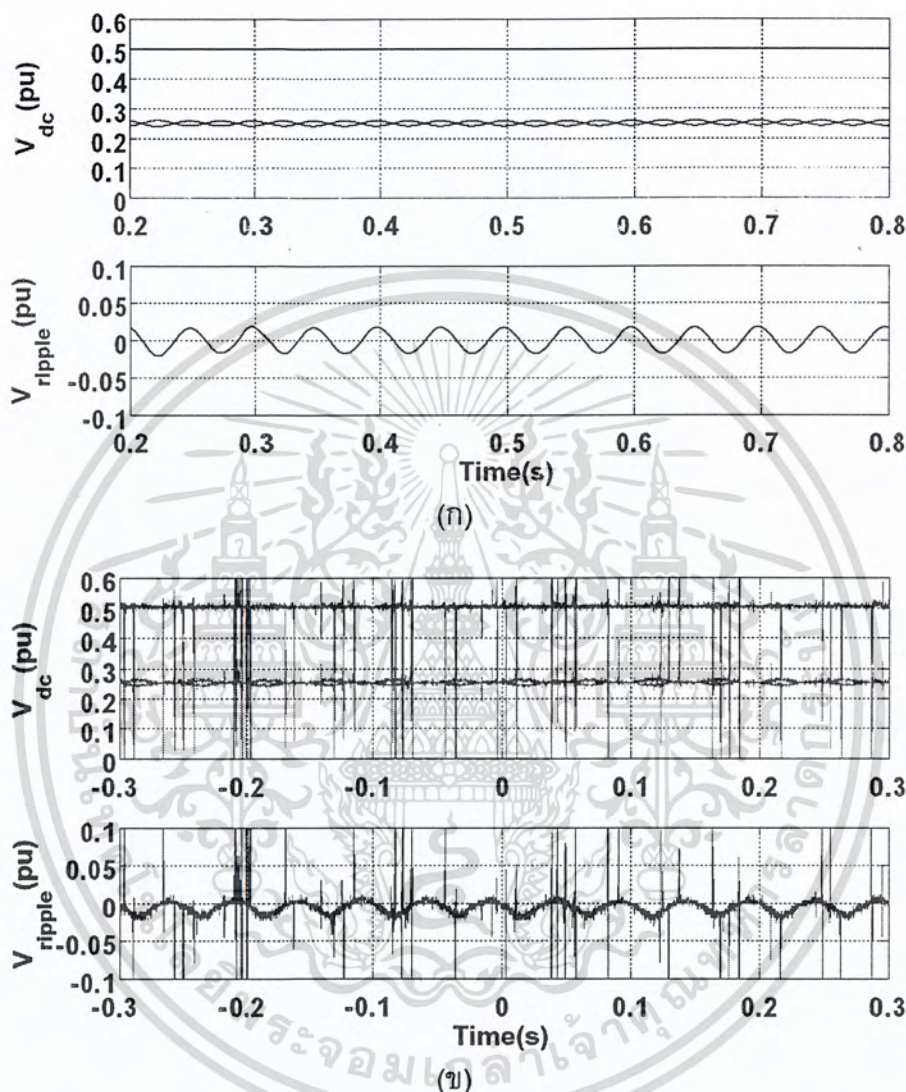


(ข)

ภาพที่ 4.56 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 305.33 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสเพื่อ

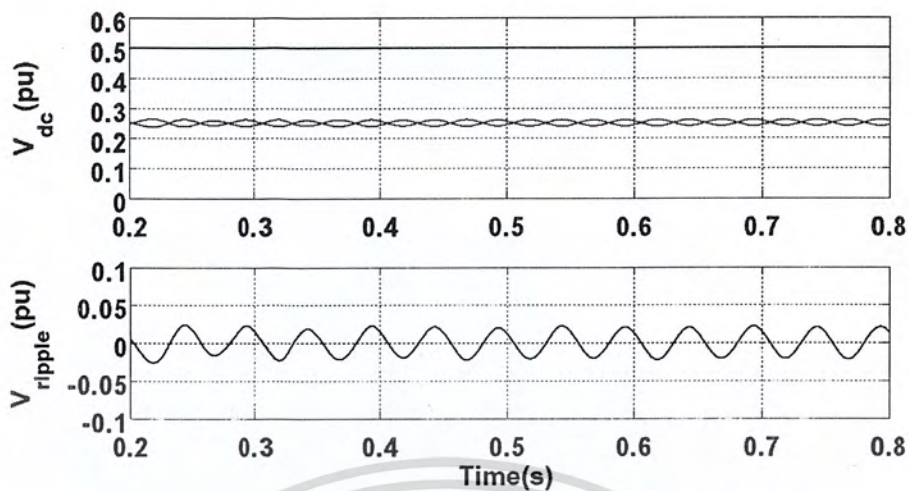
4.2.2.21 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า

$$\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$$

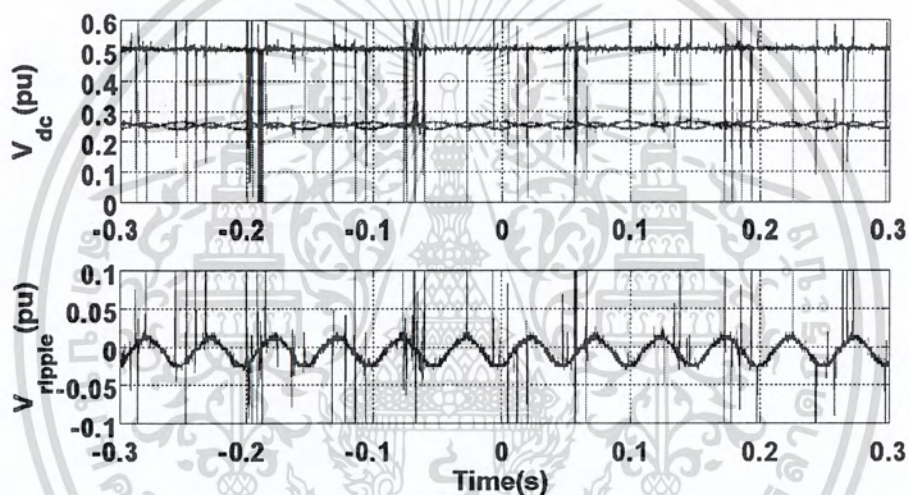


ภาพที่ 4.57 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ
(บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
(ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



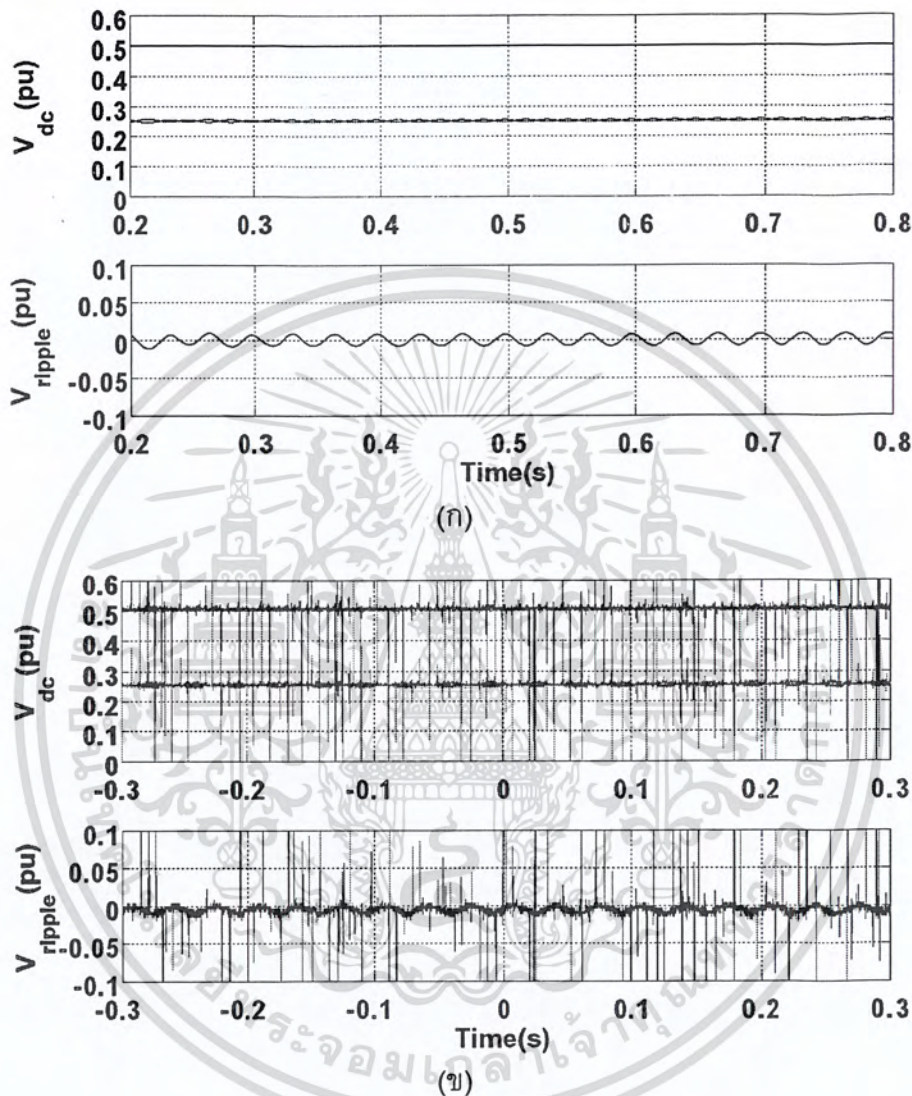
(ข)

ภาพที่ 4.58 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 94.12 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสเพิ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

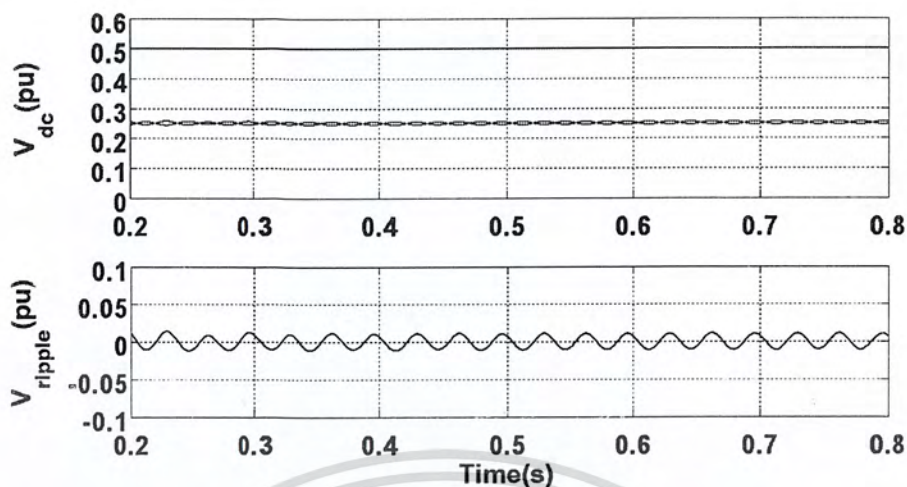
4.2.2.22 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า

$$\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$$

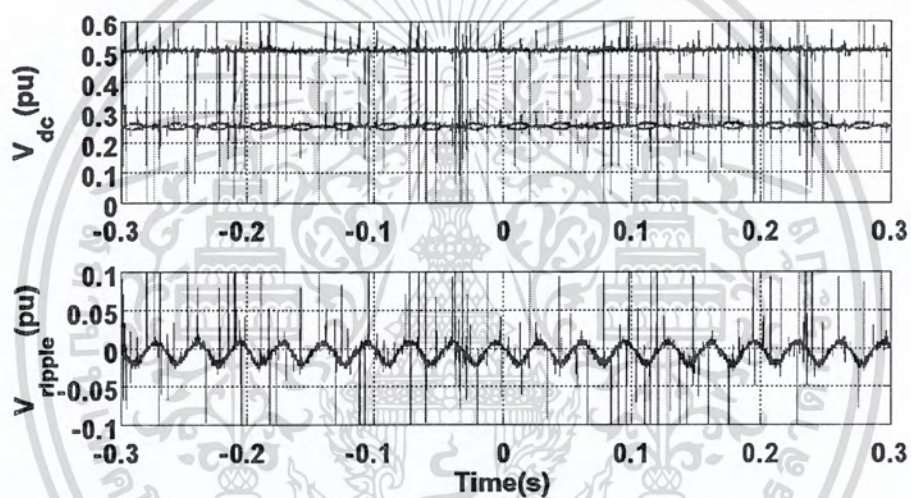


ภาพที่ 4.59 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



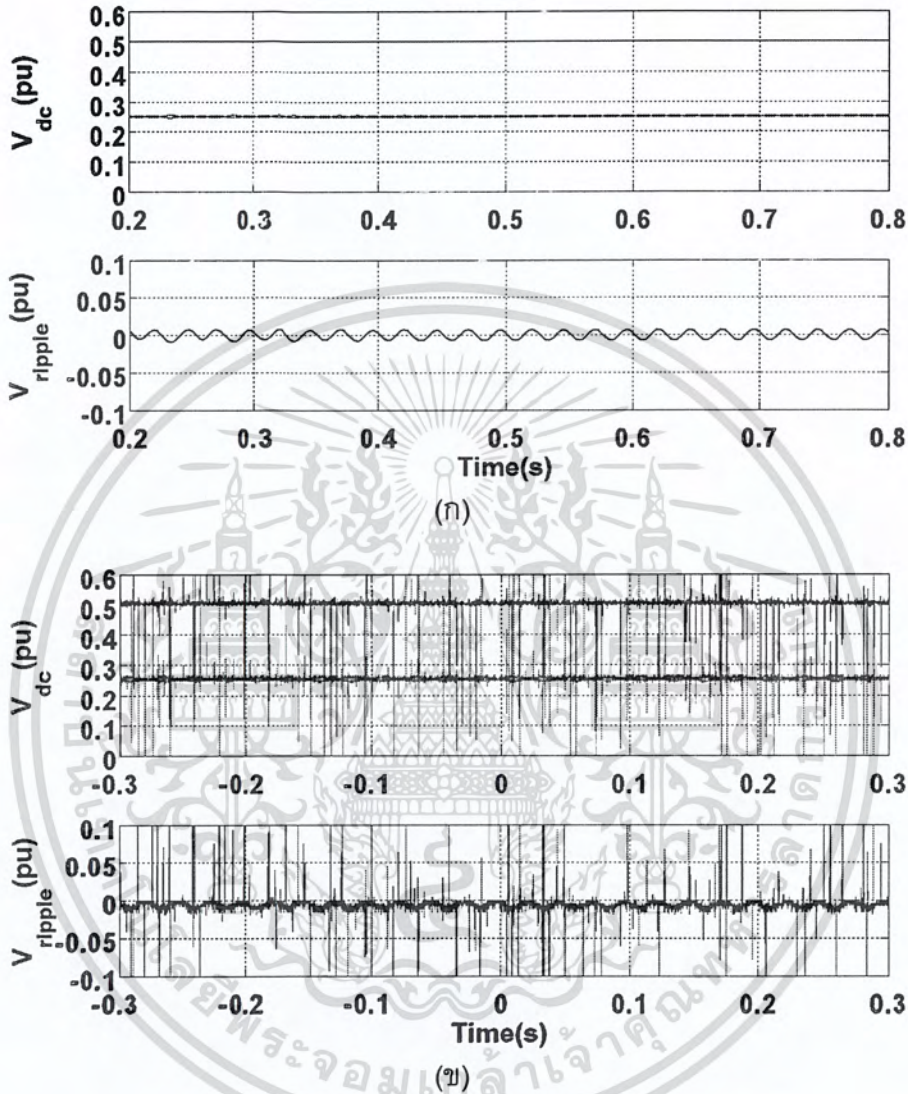
(ข)

ภาพที่ 4.60 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 167.44 วัตต์
(บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
(ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

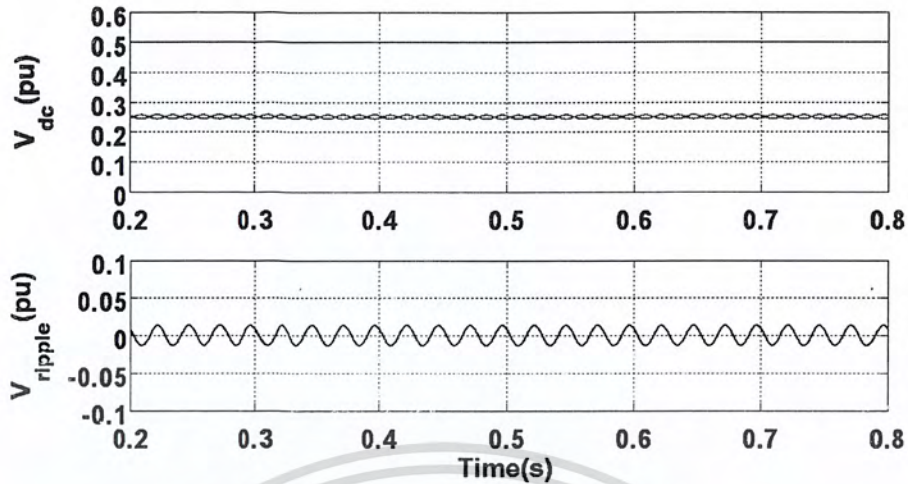
4.2.2.23 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซีในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า

$$\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$$

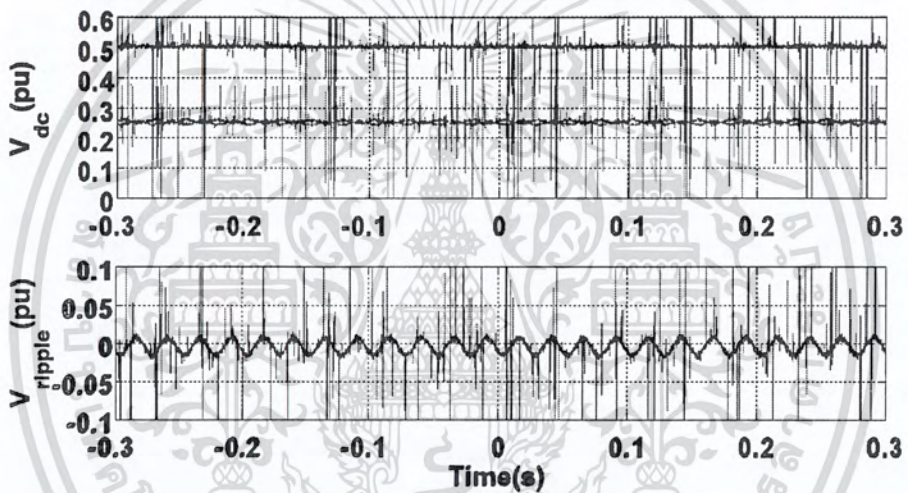


ภาพที่ 4.61 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ
(บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
(ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



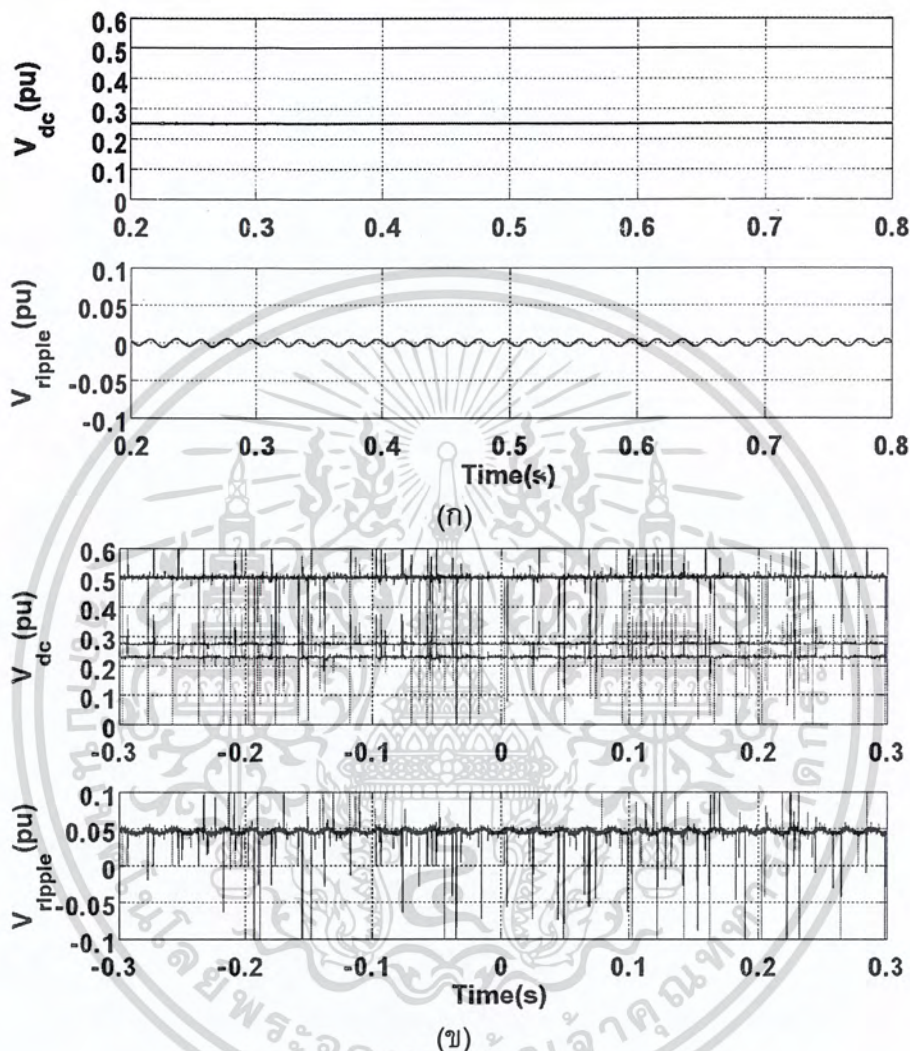
(ข)

ภาพที่ 4.62 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 237.95 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

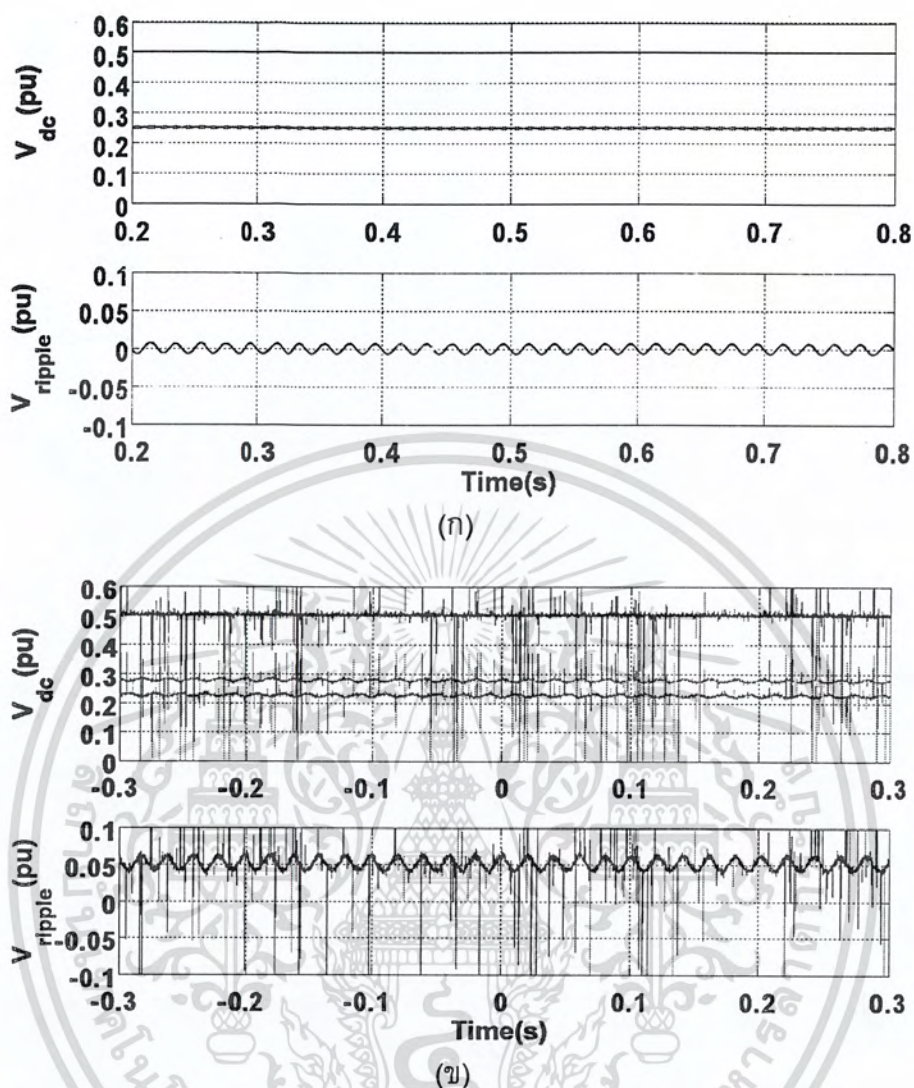
4.2.2.24 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส B เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า

$$\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$$



ภาพที่ 4.63 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ
(บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
(ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.64 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 308.73 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสเพื่อ

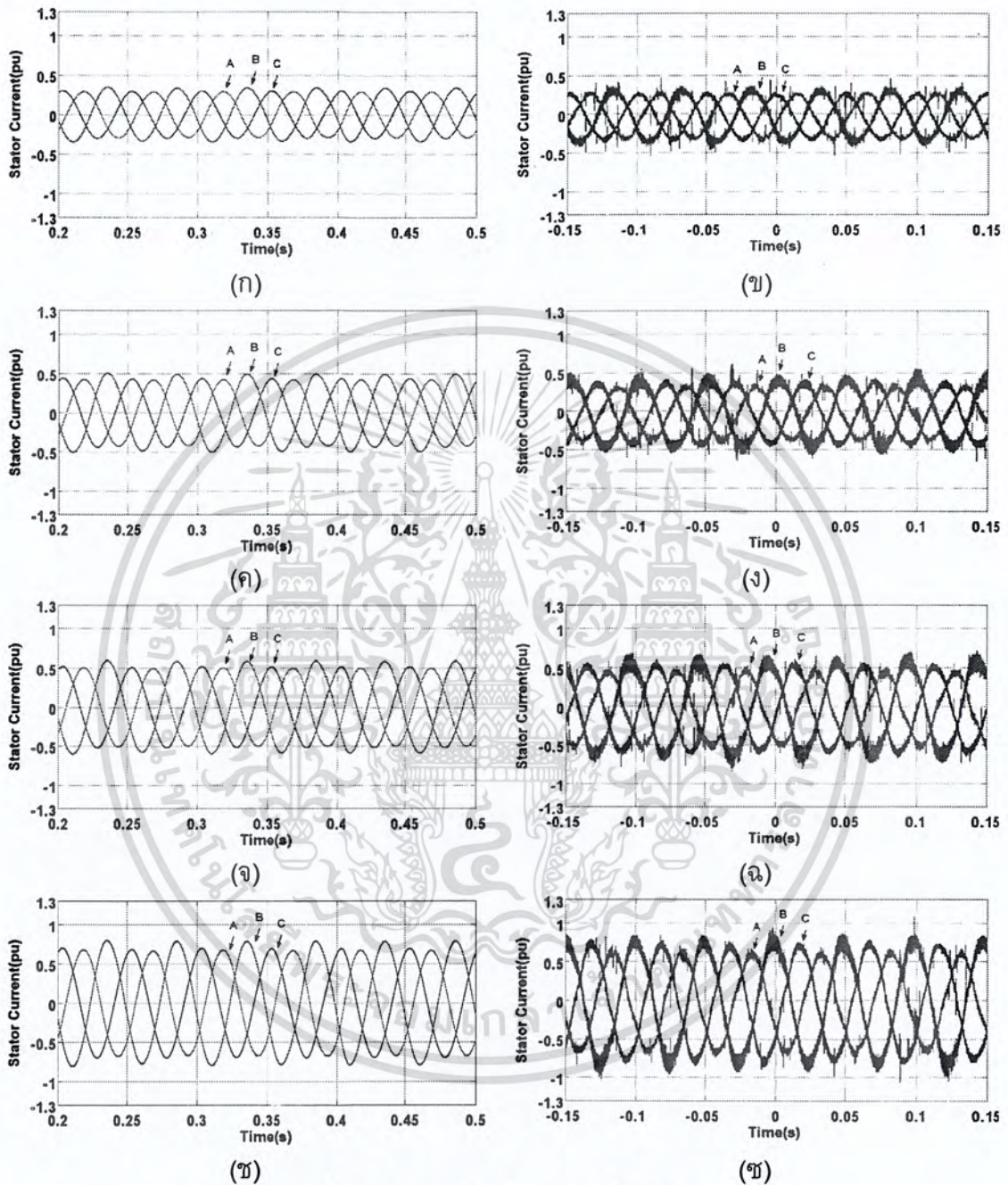
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในกรณีที่เฟส B ต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรถ่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$ พบว่ารูปคลื่นแรงดันไฟตรงที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีการแกว่ง โดยความถี่ในการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะขึ้นอยู่กับความถี่มูลฐานของ สัญญาณแรงดันขาออก และขนาดการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะเพิ่มขึ้นเมื่อ ความถี่มูลฐานต่ำลงหรือในกรณีที่ภาระของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น แต่ในกรณีที่ ป้อนค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ขนาดการแกว่งของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีขนาดลดลงเนื่องจาก เวลาในการสวิตช์ที่เปลี่ยนไป โดยเมื่อตัวเก็บประจุตัวใดมีแรงดันสูงกว่าสวิตช์จะทำการต่อวงจรร ับตัวเก็บประจุนั้นนานกว่าตัวเก็บประจุอีกตัวหนึ่งเพื่อให้ตัวเก็บประจุที่มีแรงดันมากกว่าทำการ คายประจุจนแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองตัวมีขนาดใกล้เคียงกัน

4.2.3 ผลการทดลองกรณีเฟส C ต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรถ่อมโยงไฟตรง

ทำการต่อเฟส C เข้ากับจุดกึ่งกลางของวงจรถ่อมโยงทางไฟตรงทำการรักษาระดับ แรงดันไฟตรงไว้ที่ 400 โวลต์ ควบคุมความถี่มูลฐานของสัญญาณแรงดันขาออกอยู่ที่ 20 เฮิร์ตซ์ จากนั้นทำการบันทึกค่าแรงดันและกระแสที่ค่าภาระไฟฟ้าต่าง ๆ หลังจากนั้นทำการเปลี่ยน ความถี่มูลฐานของสัญญาณแรงดันขาออกเป็น 30, 40 และ 50 เฮิร์ตซ์ ตามลำดับ

4.2.3.1 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$



ภาพที่ 4.65 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

(ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า

(ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า

(ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 62.09 วัตต์

(ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 62.09 วัตต์

(ฉ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 88.27 วัตต์

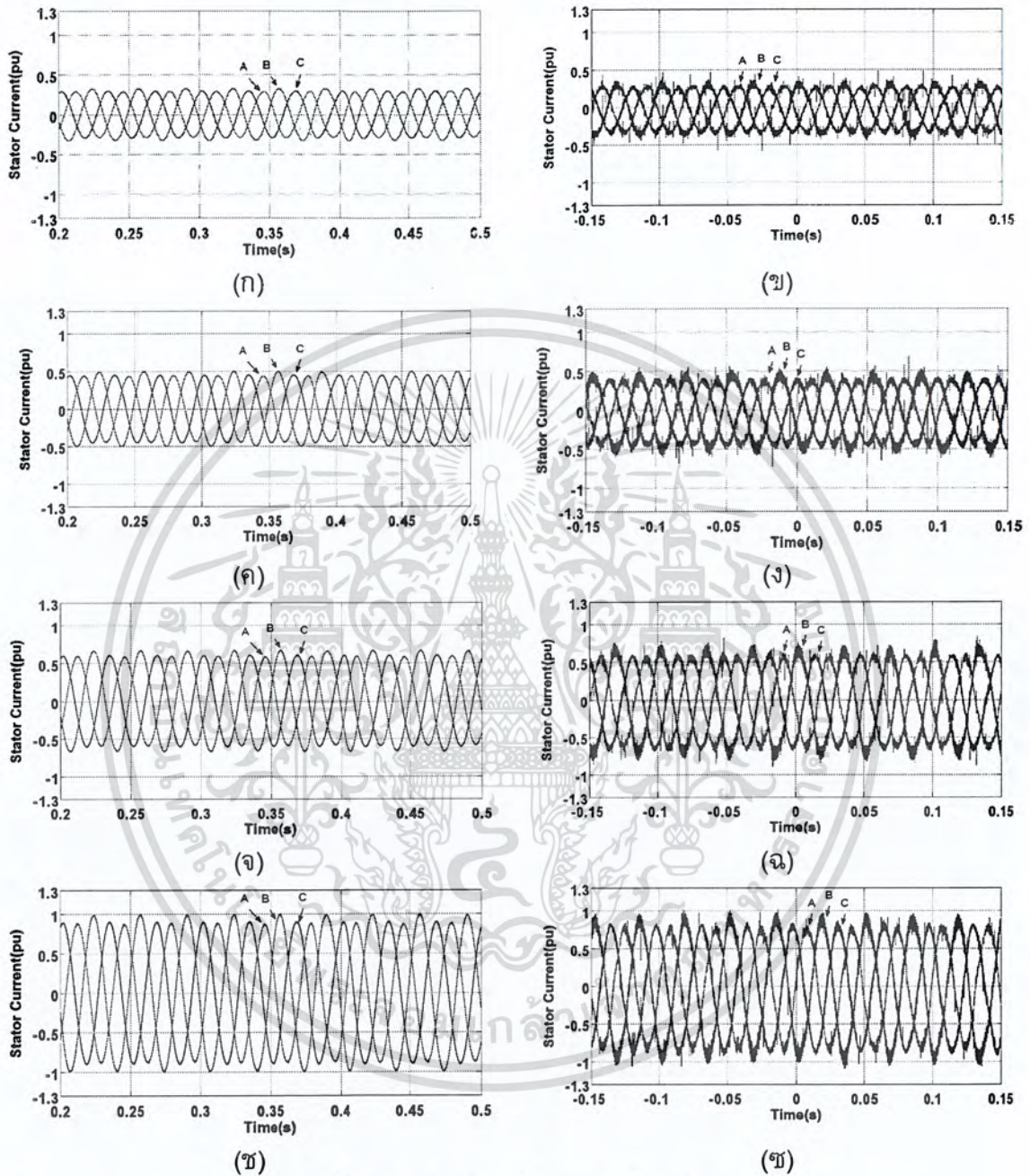
(ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 88.27 วัตต์

(ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 95.01 วัตต์

(ข) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 95.01 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.2 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

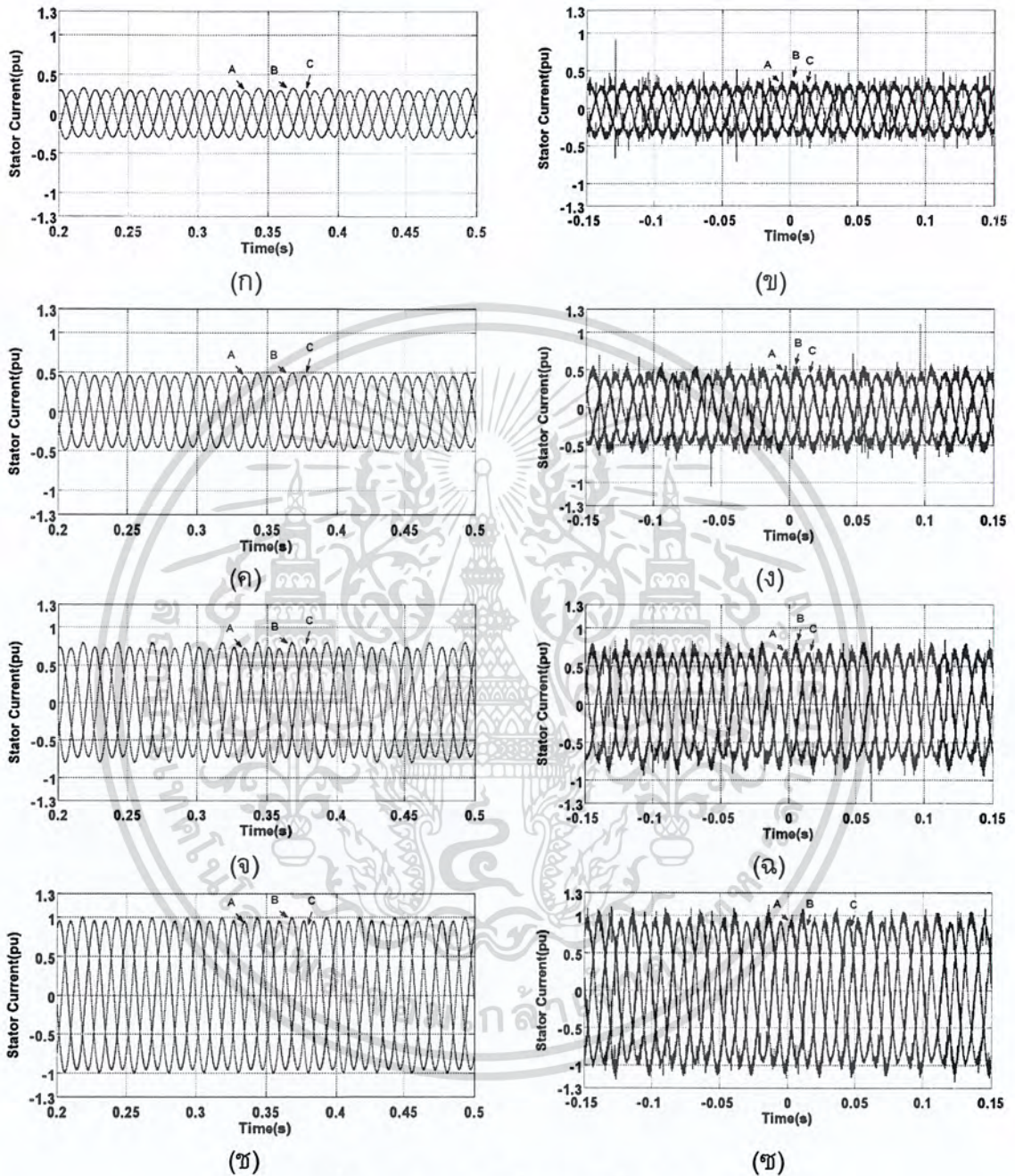


ภาพที่ 4.66 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.61 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.61 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 144.56 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 144.56 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 166.88 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 166.88 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.3 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 40 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

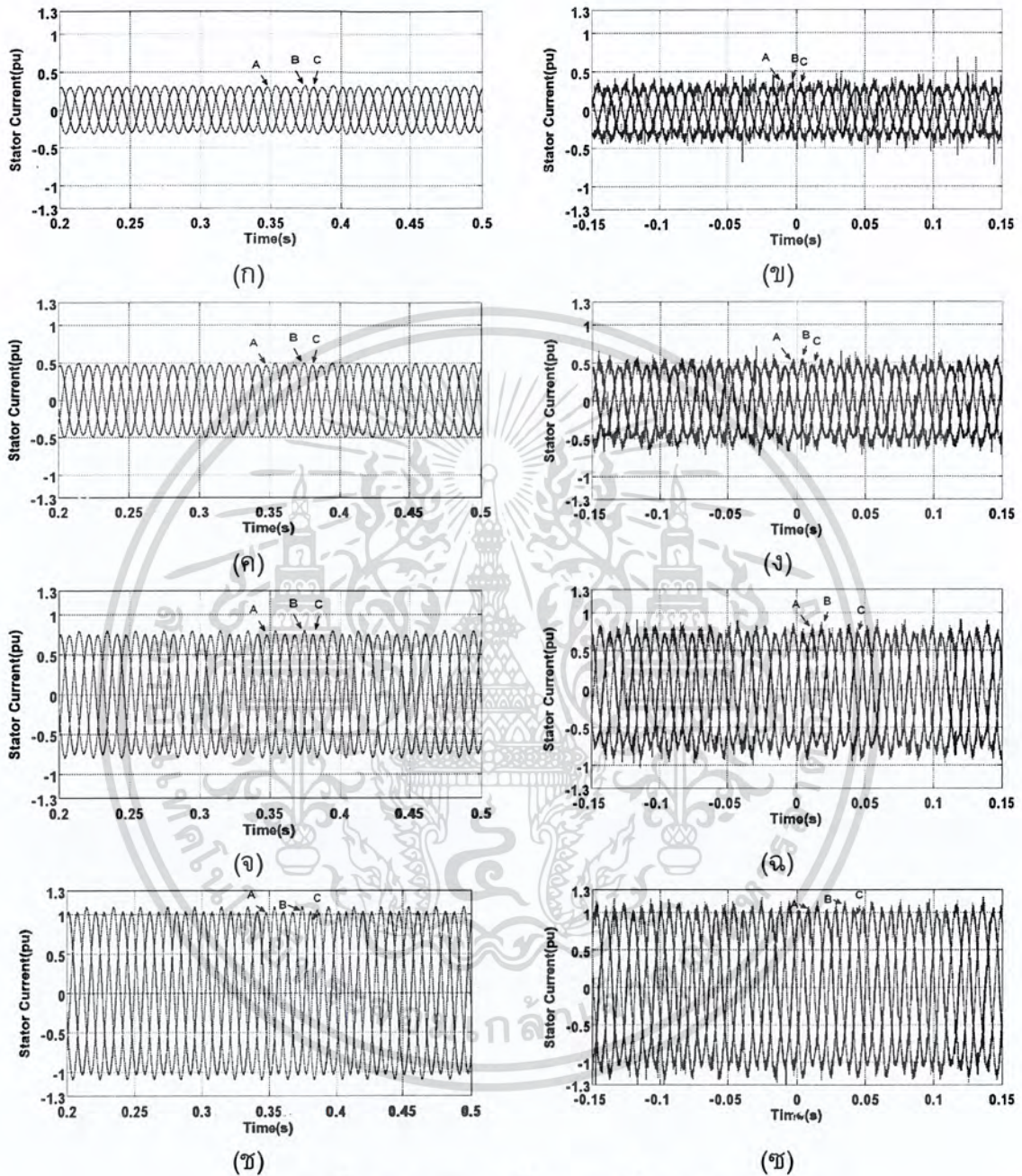


ภาพที่ 4.67 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 132.76 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 132.76 วัตต์ |
| (ฉ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 207.12 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 207.12 วัตต์ |
| (ข) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 234.33 วัตต์ | (ข) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 234.33 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.4 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

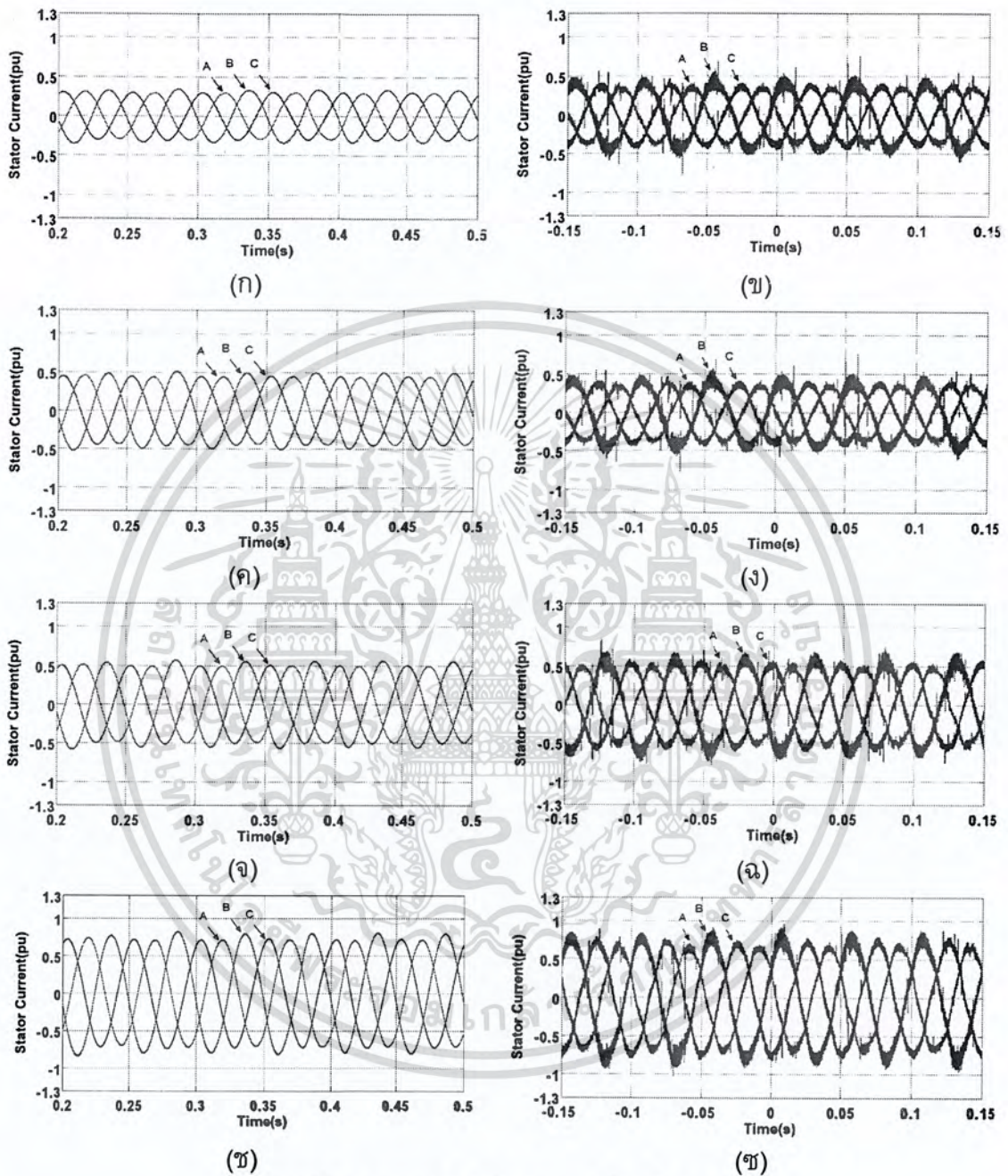


ภาพที่ 4.68 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 169.49 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 169.49 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 267.07 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 267.07 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 303.91 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 303.91 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.5 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

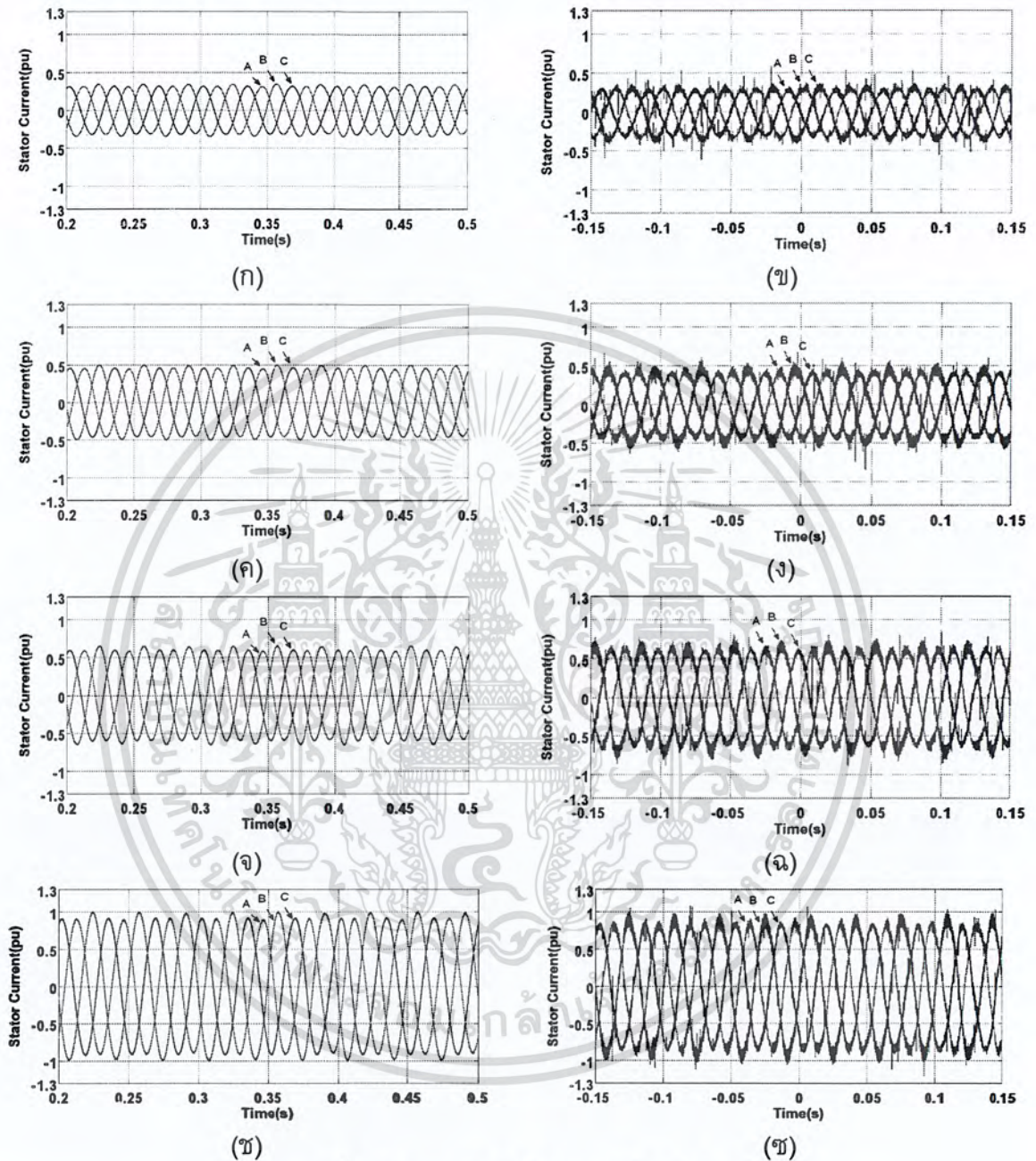


ภาพที่ 4.69 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|---|---|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 61.11 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 61.11 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 87.06 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 87.06 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 93.93 วัตต์ | (ซ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 93.93 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.6 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์ในกรณีเฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

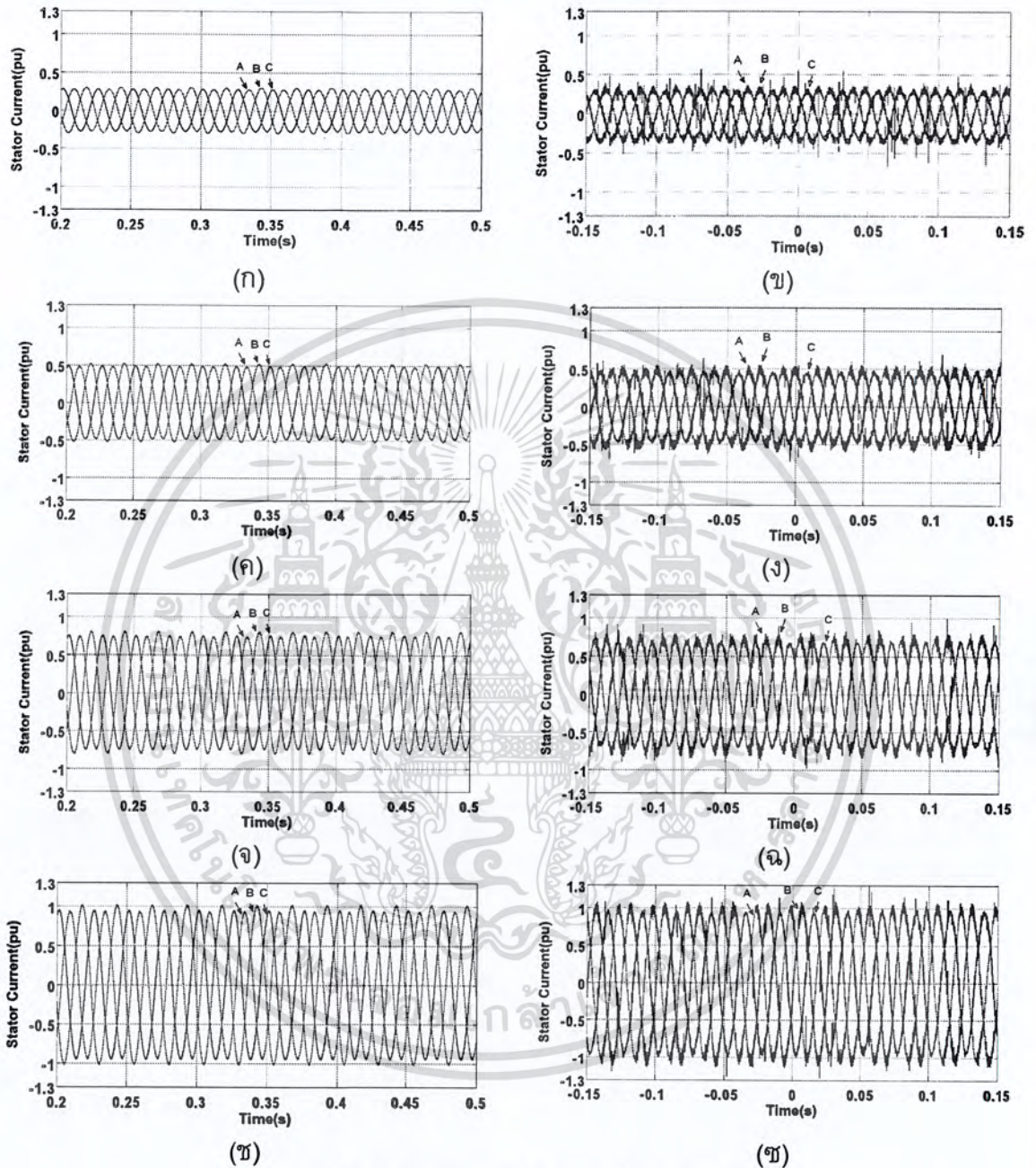


ภาพที่ 4.70 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 97.72 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 97.72 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 144.56 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 144.56 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 167.72 วัตต์ | (ข) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 167.72 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.7 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

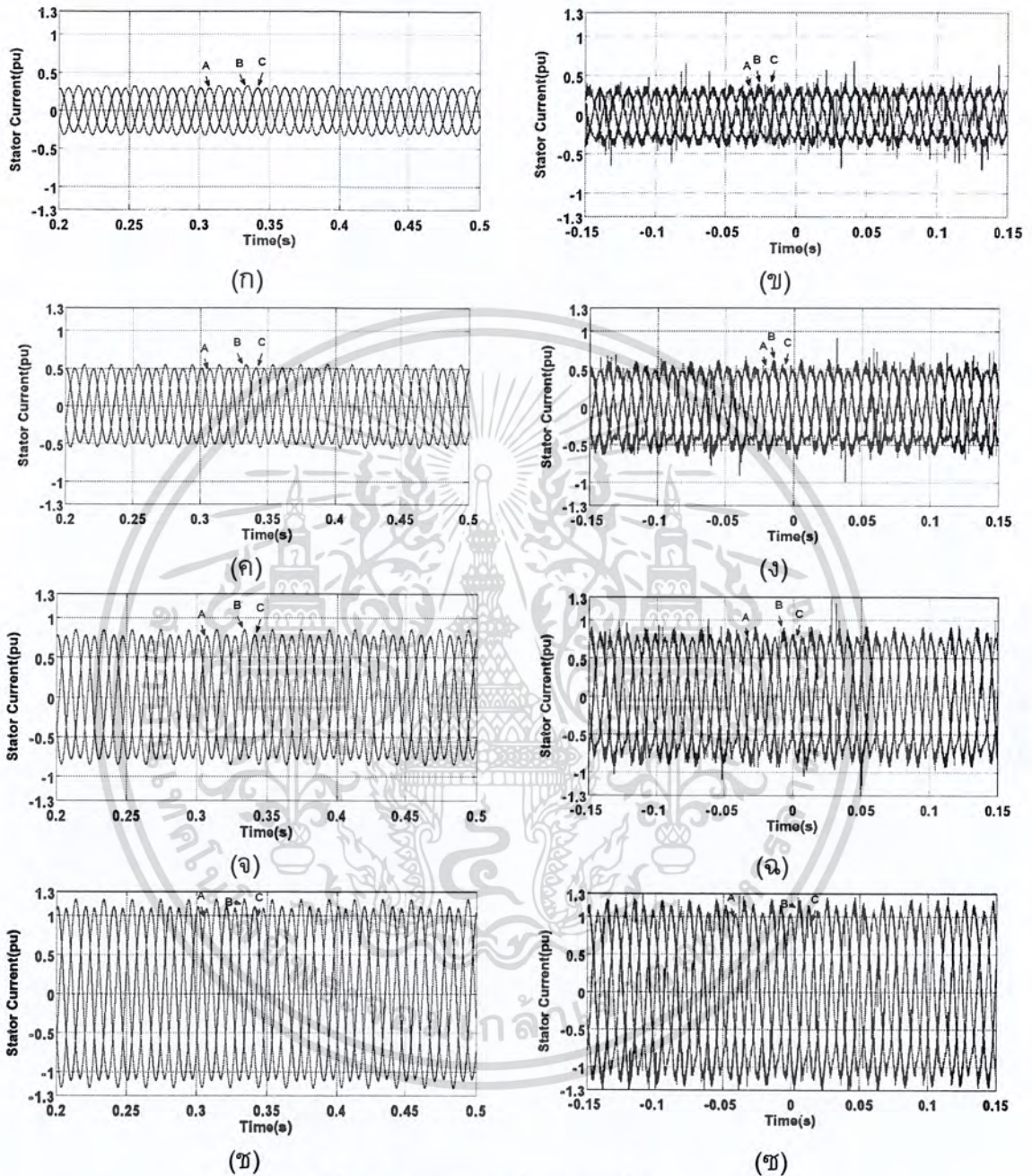


ภาพที่ 4.71 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.63 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.63 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 209.07 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 209.07 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 236.56 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 236.56 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.8 รูปคลื่นกระแสไลน์ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$



ภาพที่ 4.72 กราฟรูปคลื่นกระแสที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาวะไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 170.50 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 170.50 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 269.05 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 269.05 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาวะไฟฟ้า 307.60 วัตต์ | (ข) ผลการทดลองกรณีภาวะไฟฟ้า 307.60 วัตต์ |

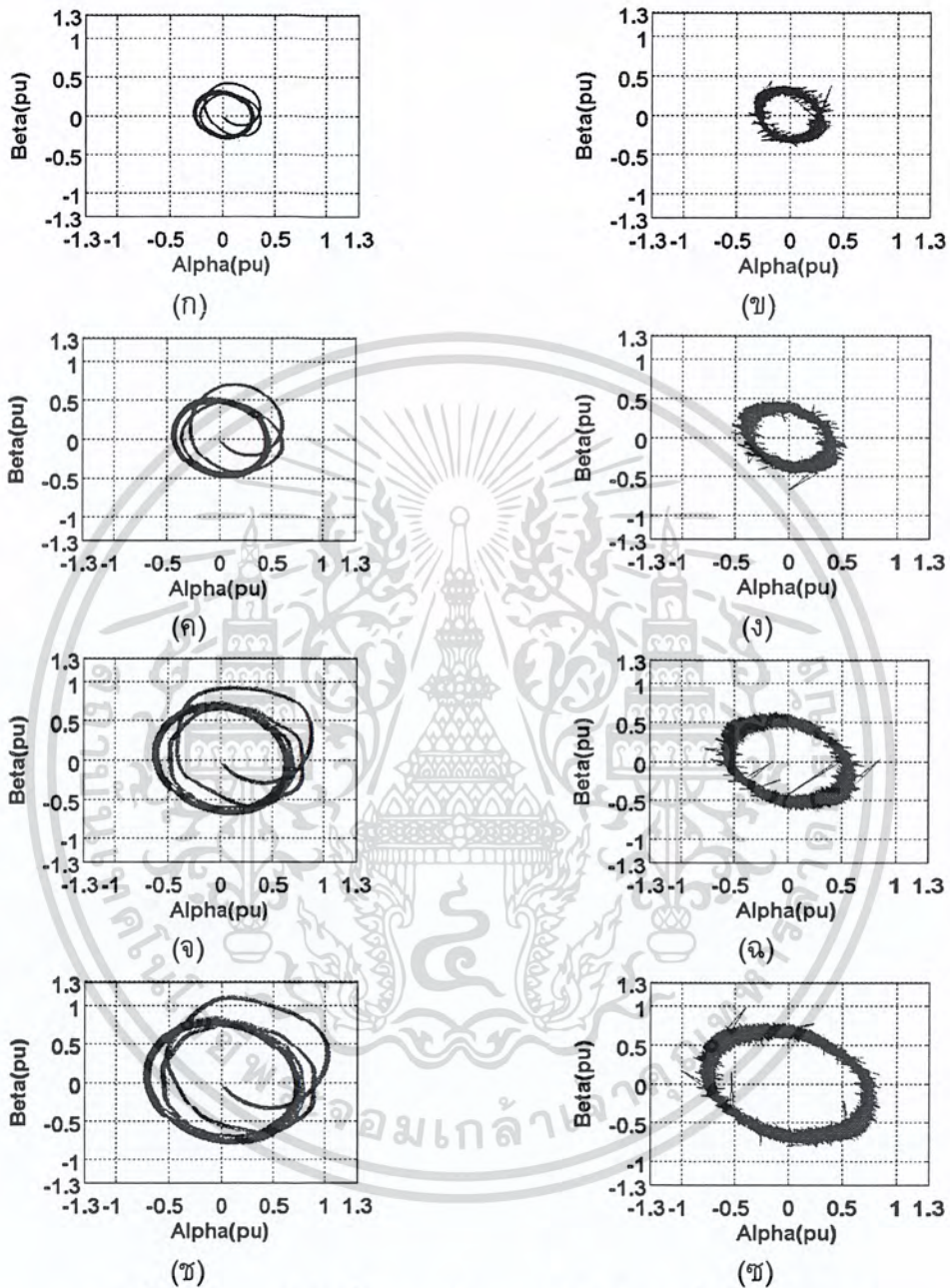
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในกรณีเฟส C ต่อกับจุดกึ่งกลางของวงจรถูกเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$ พบว่ารูปคลื่นกระแสไลน์ที่ได้จะมีความไม่สมดุลโดยจะมีขนาดของกระแสเฟส B สูงกว่าขนาดของกระแสในเฟส A และ C ซึ่งเป็นผลมาจากการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ และความไม่สมดุลของรูปคลื่นกระแสไลน์จะมีมากขึ้นเมื่อความถี่มูลฐานมีค่าต่ำลงหรือขนาดภาระของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำมีมากขึ้น แต่ในกรณีป้อนค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ เพื่อคำนวณเวลาในการสวิตช์ใหม่ ซึ่งช่วยลดการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ ทำให้ขนาดกระแสในเฟส B มีความใกล้เคียงกับขนาดกระแสของเฟส A และ C มากขึ้น แต่แนวโน้มที่จะทำให้กระแสไลน์ไม่สมดุลยังเป็นเช่นเดียวกับกรณีค่า $\gamma = 0.5$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.9 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha-\beta$ ที่ความถี่ 20 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

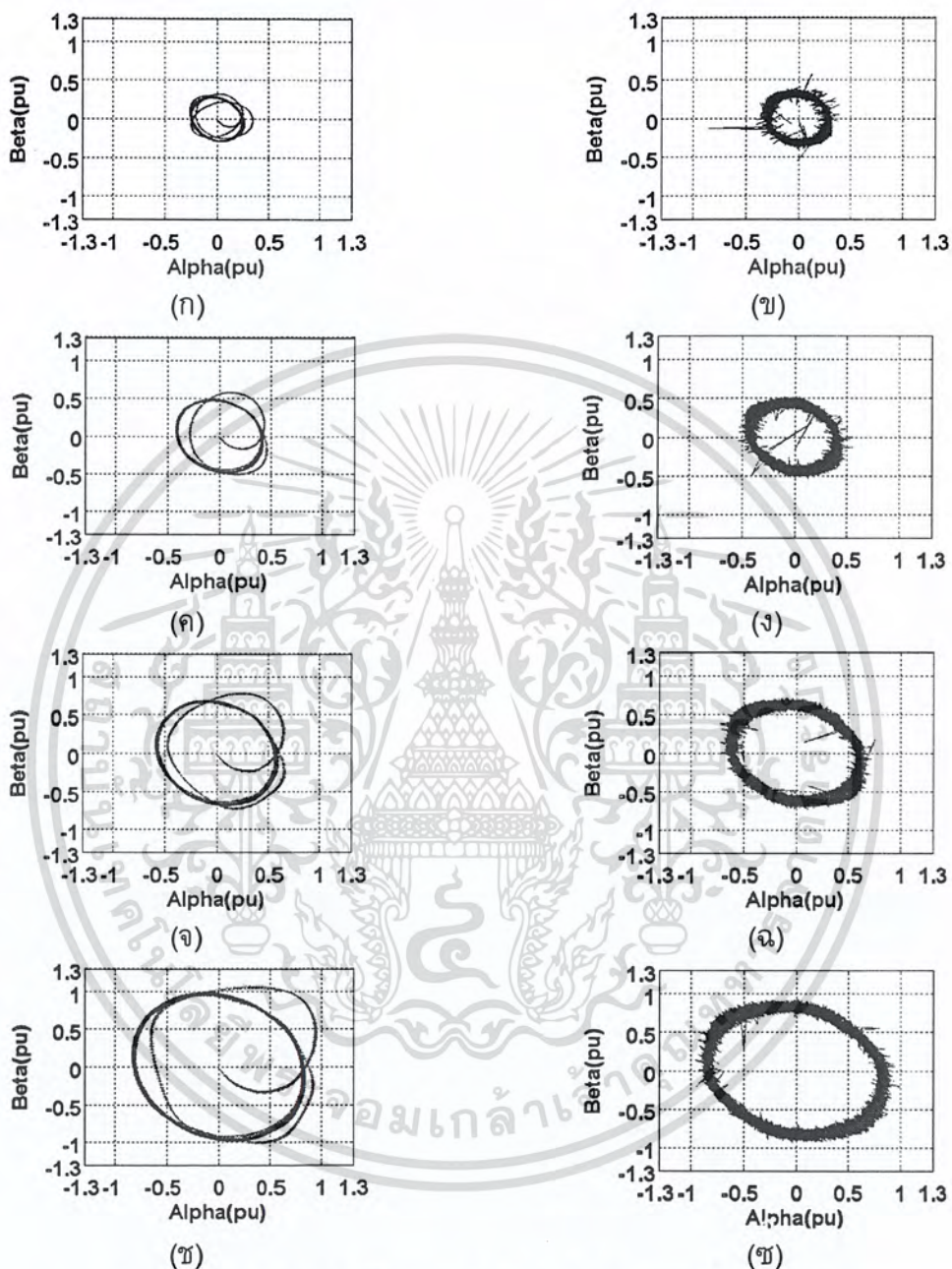


ภาพที่ 4.73 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดหนึ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|---|---|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 62.09 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 62.09 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 88.27 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 88.27 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 95.01 วัตต์ | (ฐ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 95.01 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.10 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 30 เฮิรตซ์ในกรณีเฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

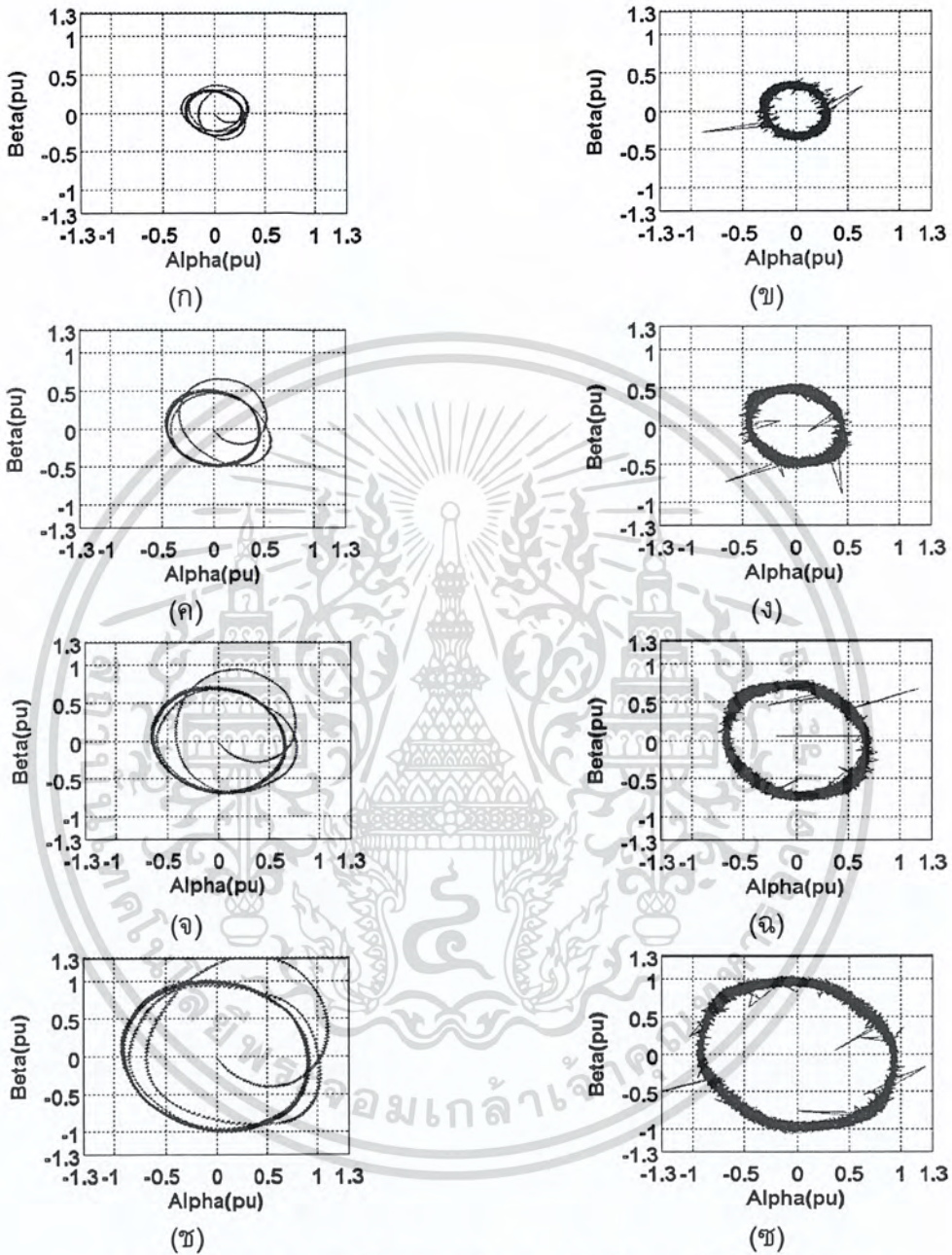


ภาพที่ 4.74 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.61 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 94.61 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 144.56 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 144.56 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 166.88 วัตต์ | (ซ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 166.88 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.11 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

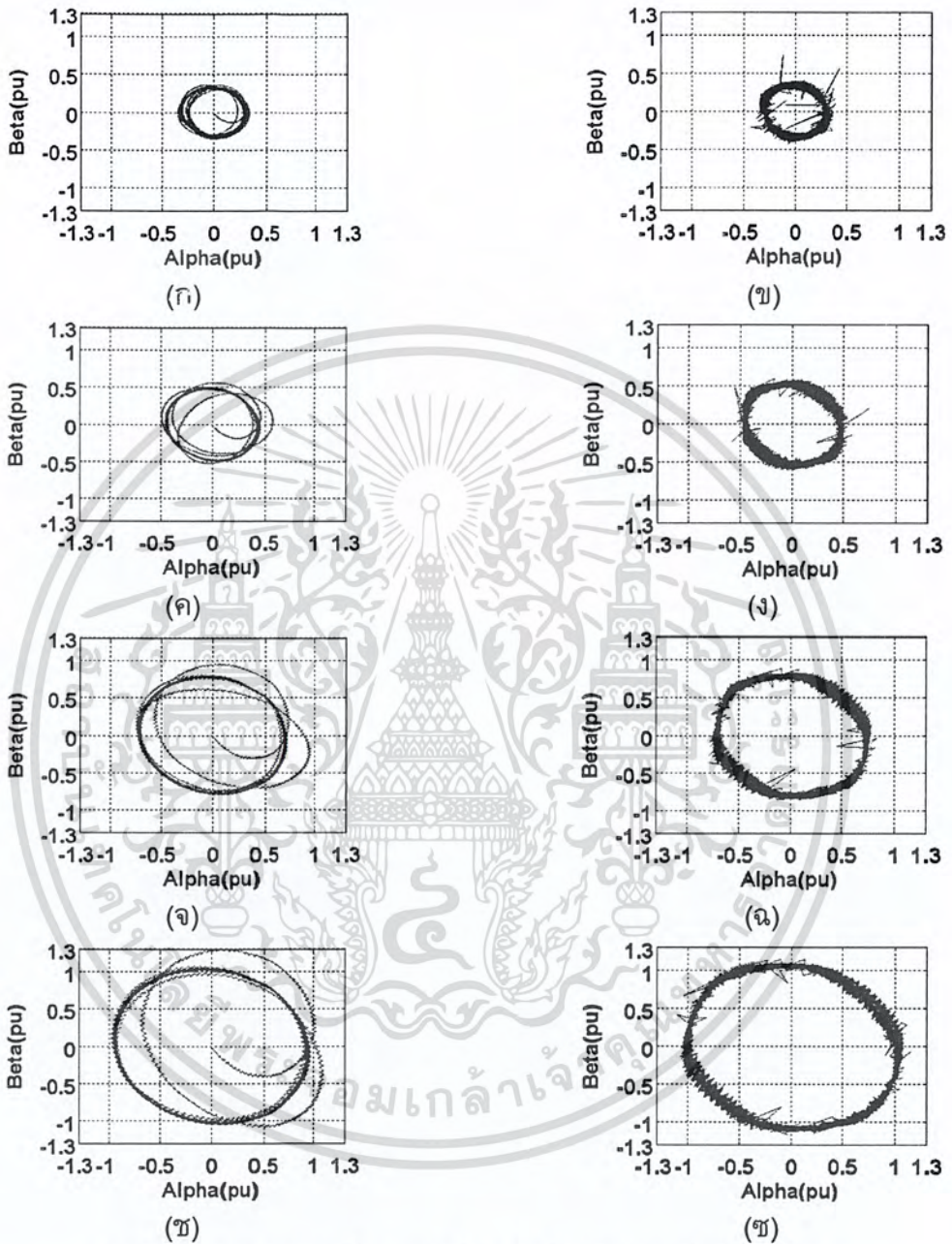


ภาพที่ 4.75 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดหนึ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 132.76 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 132.76 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 207.12 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 207.12 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 234.33 วัตต์ | (ช) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 234.33 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.12 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ในกรณีเฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$

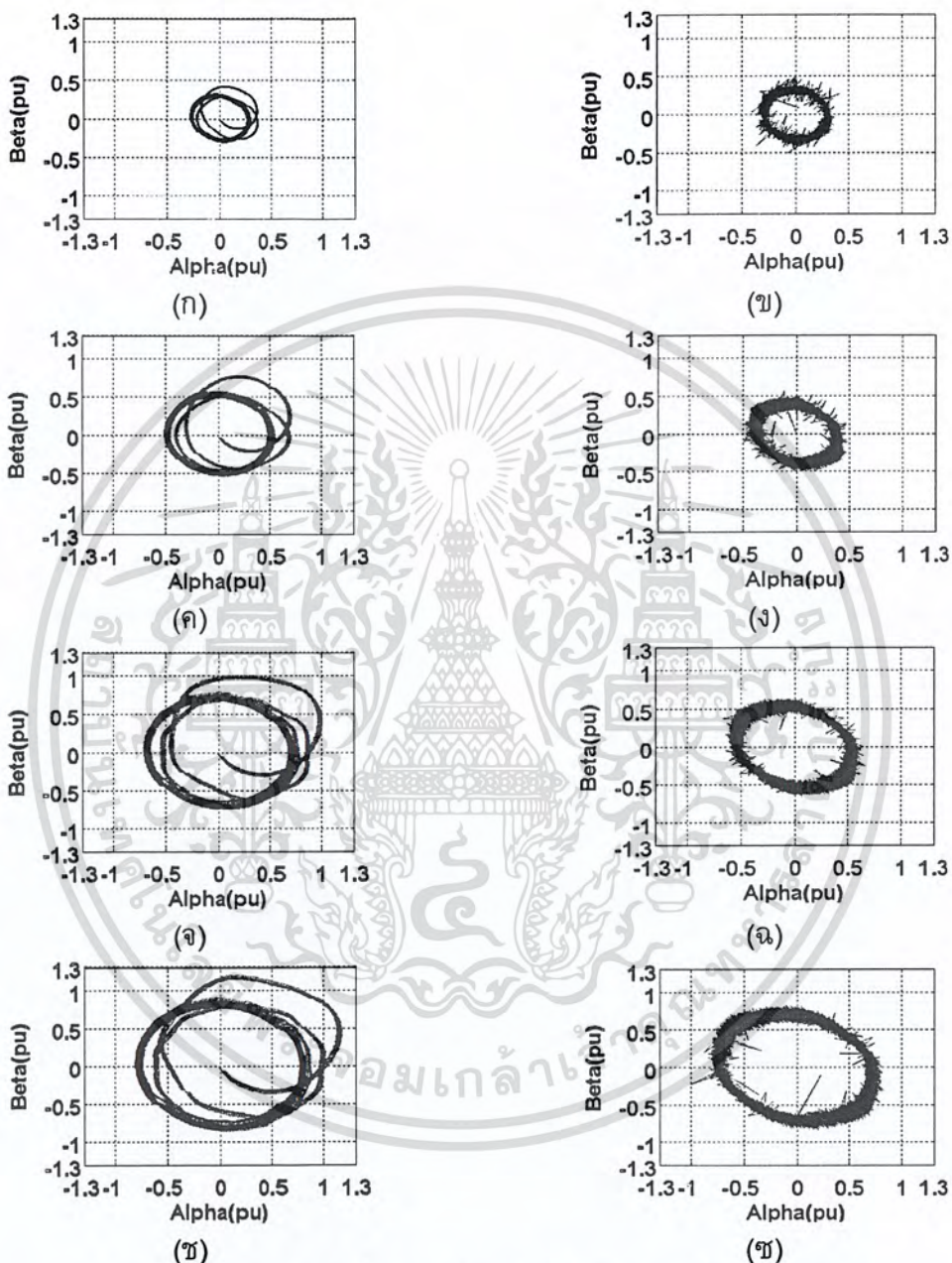


ภาพที่ 4.76 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดหนึ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 169.49 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 169.49 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 267.07 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 267.07 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 303.91 วัตต์ | (ซ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 303.91 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.13 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์ในกรณีทีเฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

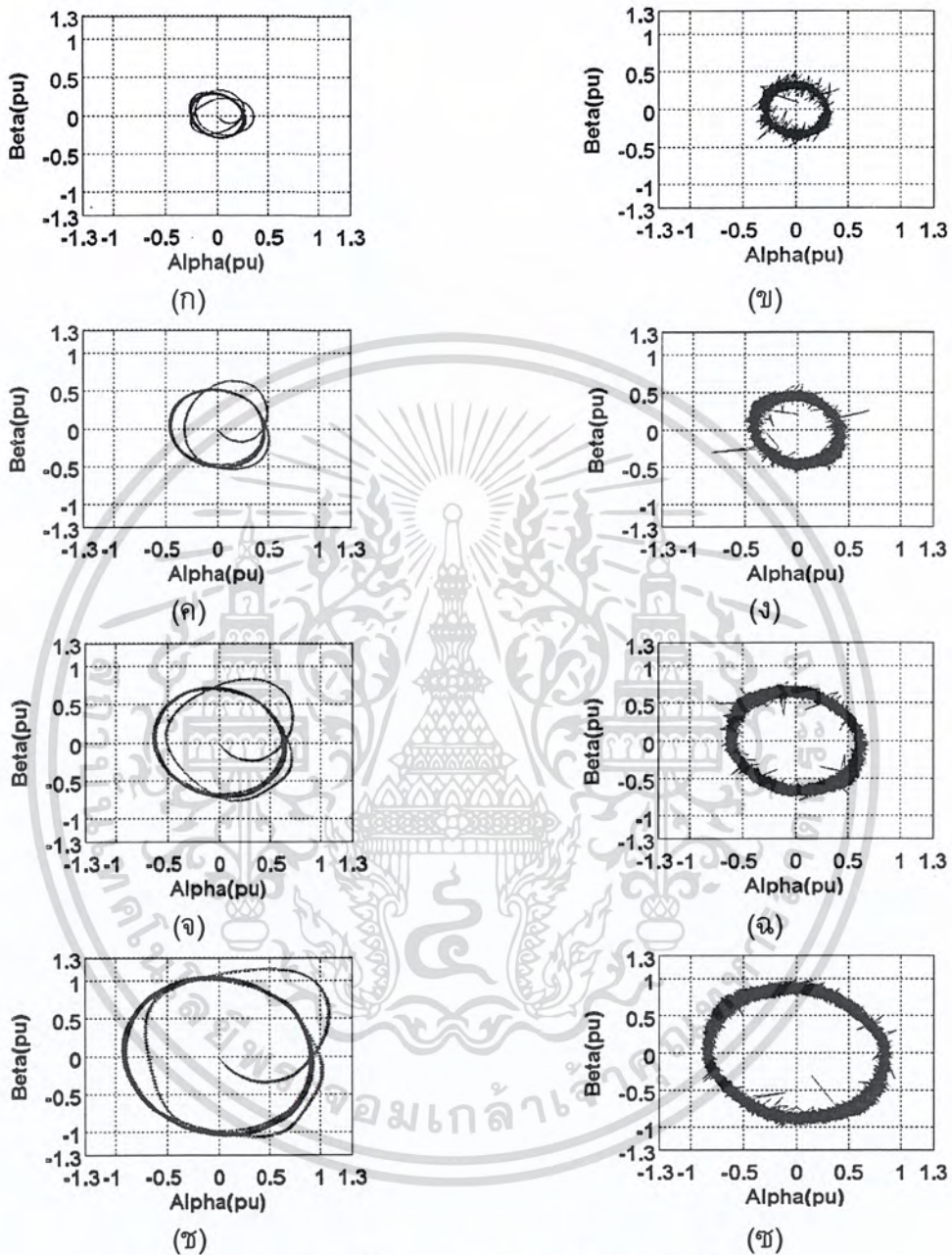


ภาพที่ 4.77 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดหนึ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|---|---|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 61.11 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 61.11 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 87.06 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 87.06 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 93.93 วัตต์ | (ซ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 93.93 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.14 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีเฟส C
 เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

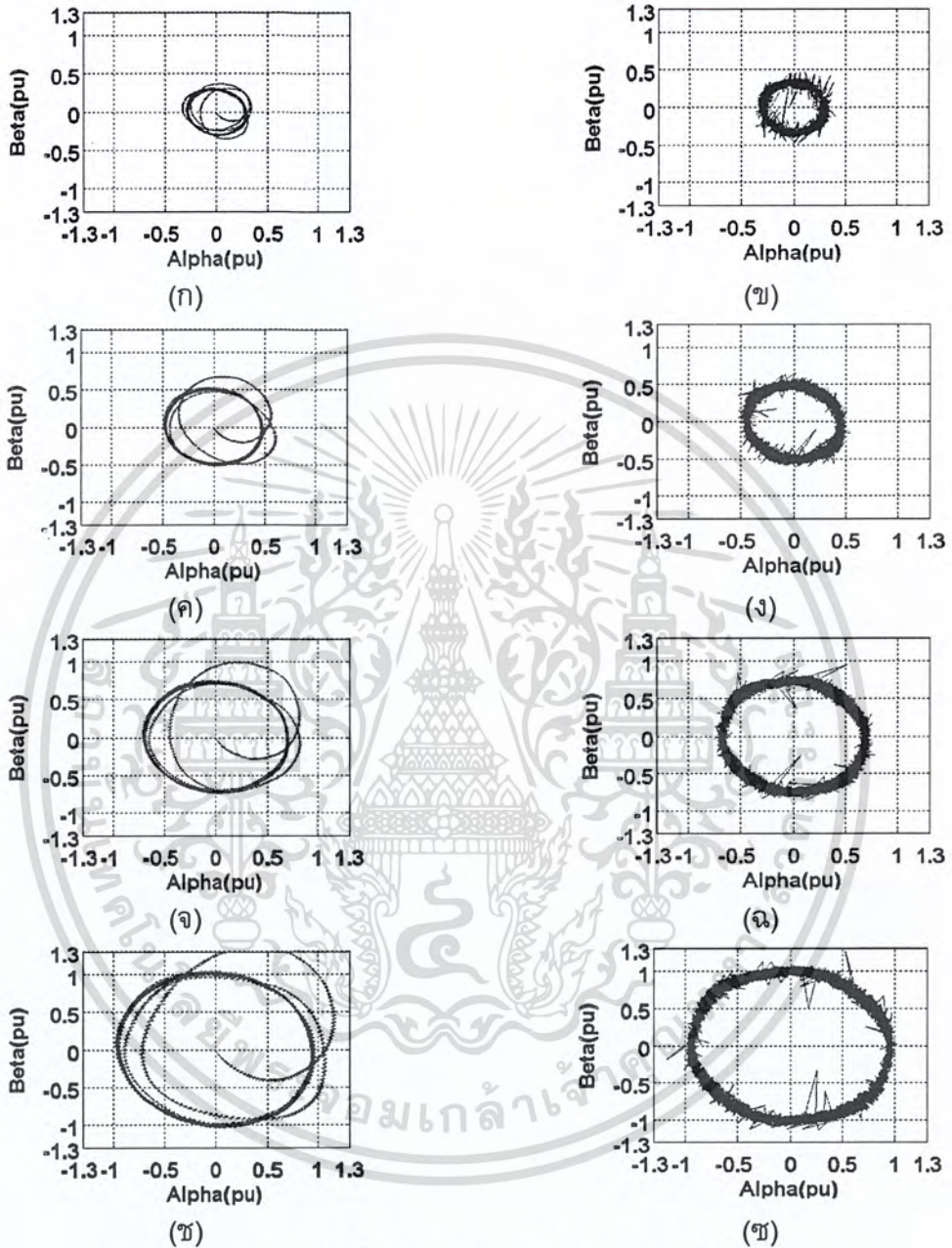


ภาพที่ 4.78 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดหนึ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 97.72 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 97.72 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 144.56 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 144.56 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 167.72 วัตต์ | (ช) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 167.72 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.15 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ ที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีเฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

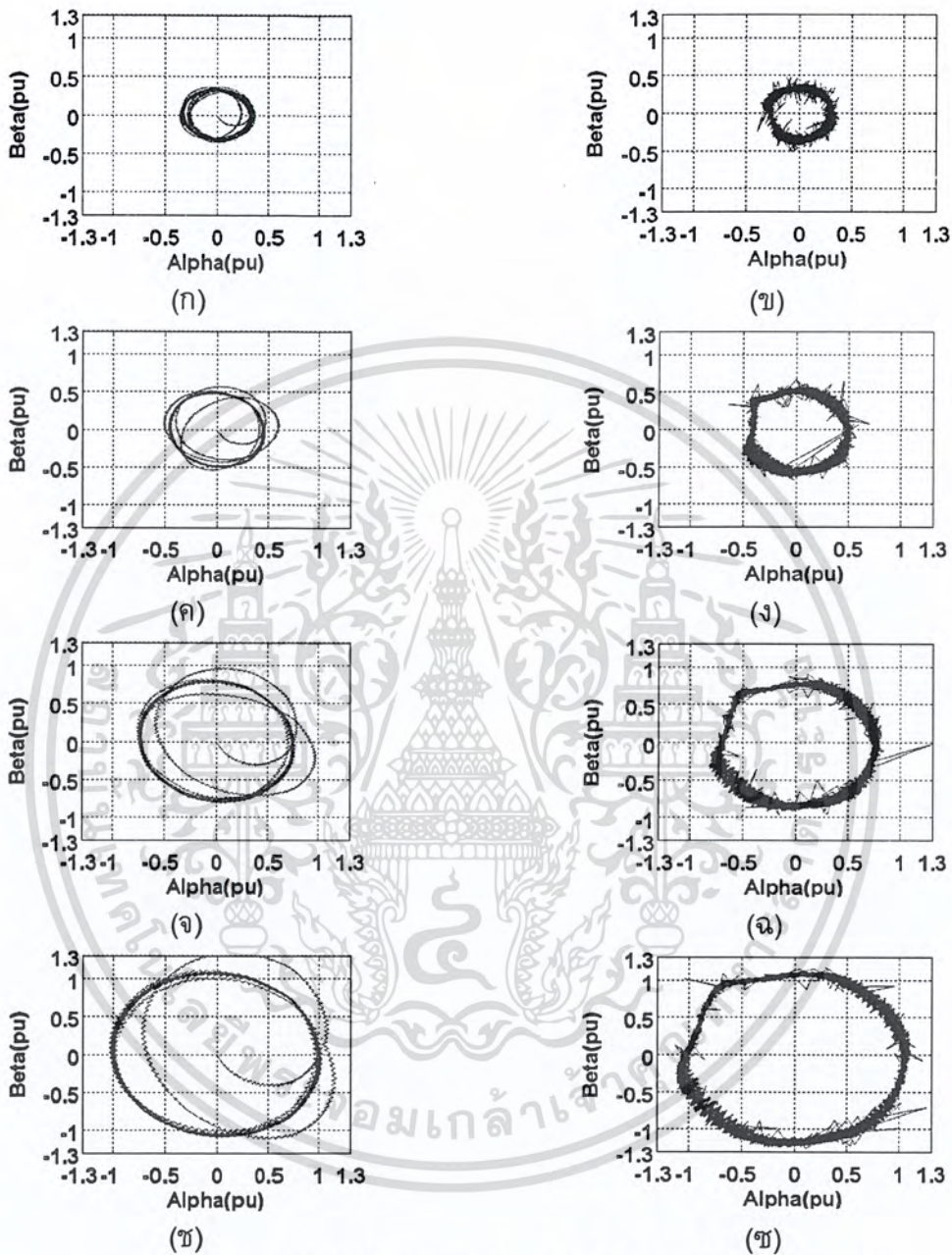


ภาพที่ 4.79 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดหนึ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.63 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 133.63 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 209.07 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 209.07 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 236.56 วัตต์ | (ซ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 236.56 วัตต์ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.16 สัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha-\beta$ ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีเฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$



ภาพที่ 4.80 กราฟรูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดหนึ่งที่กรณีต่าง ๆ

- | | |
|--|--|
| (ก) ผลการจำลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า | (ข) ผลการทดลองกรณีไม่มีภาระไฟฟ้า |
| (ค) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 170.50 วัตต์ | (ง) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 170.50 วัตต์ |
| (จ) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 269.05 วัตต์ | (ฉ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 269.05 วัตต์ |
| (ช) ผลการจำลองกรณีภาระไฟฟ้า 307.60 วัตต์ | (ซ) ผลการทดลองกรณีภาระไฟฟ้า 307.60 วัตต์ |

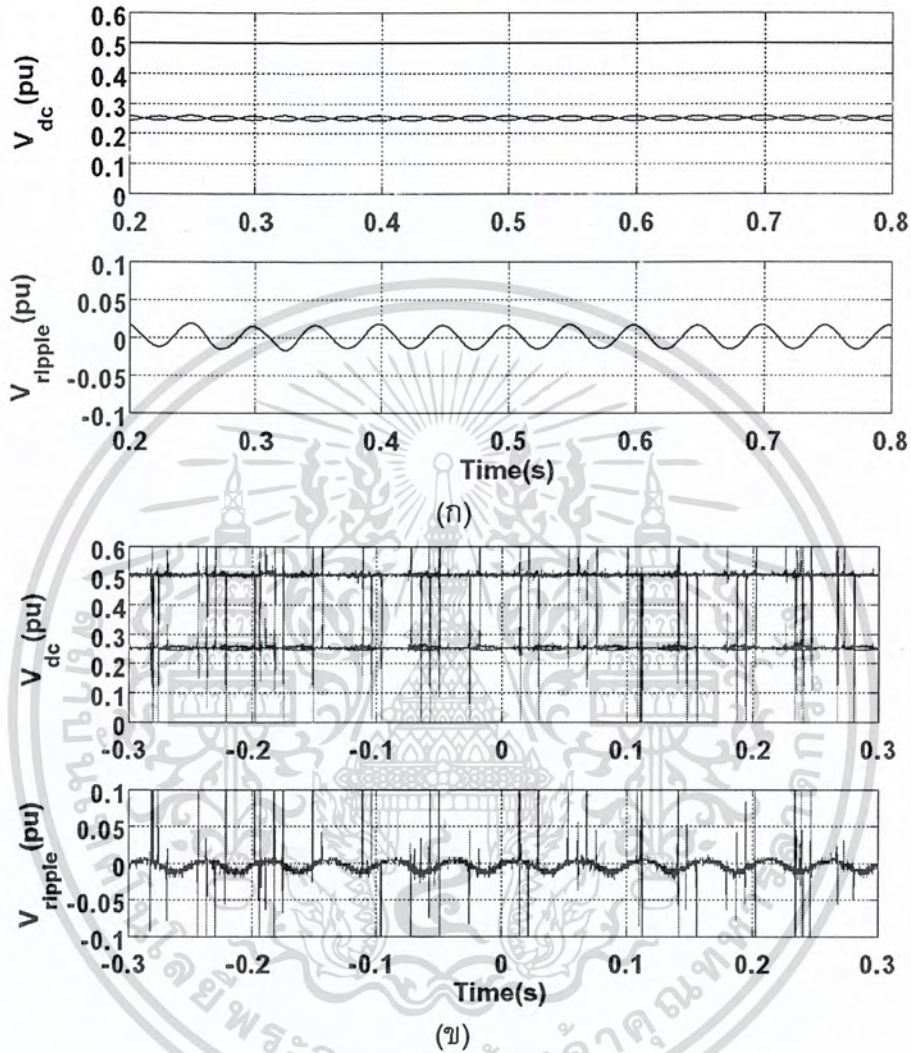
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในกรณีที่เฟส C ต่ออยู่กับวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและใช้ค่า $\gamma = 0.5$ พบว่าสัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ จะมีลักษณะเป็นวงรีเอียงไปทางซ้าย ซึ่งเป็นผลมาจากความไม่สมดุลในกระแสไลน์สามเฟสที่มีขนาดของกระแสเฟส B สูงกว่าขนาดของกระแสในเฟส A และ C รูปสัญญาณกระแสในระนาบ $\alpha - \beta$ จะมีความเป็นวงรีมากขึ้นเมื่อความถี่มูลฐานต่ำลงหรือภาระของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความไม่สมดุลของกระแสไลน์สามเฟสมีมากขึ้น แต่ในกรณีที่ป้อนค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ พบว่าสัญญาณกระแสในระนาบอ้างอิง $\alpha - \beta$ จะมีลักษณะใกล้เคียงวงกลมมากยิ่งขึ้น แสดงให้เห็นว่าขนาดของกระแสเฟส B มีความใกล้เคียงกับขนาดกระแสในเฟส A และ C มากขึ้นทำให้ความสมดุลของกระแสไลน์สามเฟสเพิ่มขึ้น แต่แนวโน้มที่จะทำให้สัญญาณกระแสในระนาบ $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ มีความเป็นวงรีมากขึ้นยังเป็นเช่นเดียวกับกรณี $\gamma = 0.5$



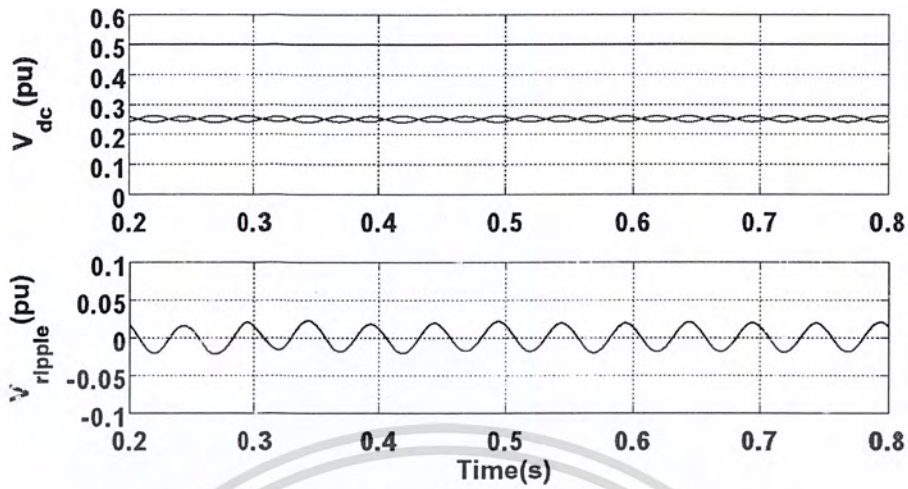
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.17 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$

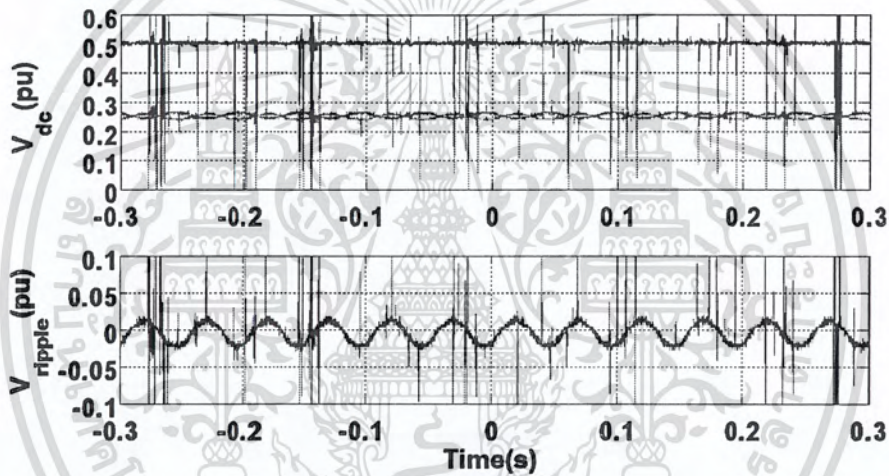


ภาพที่ 4.81 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

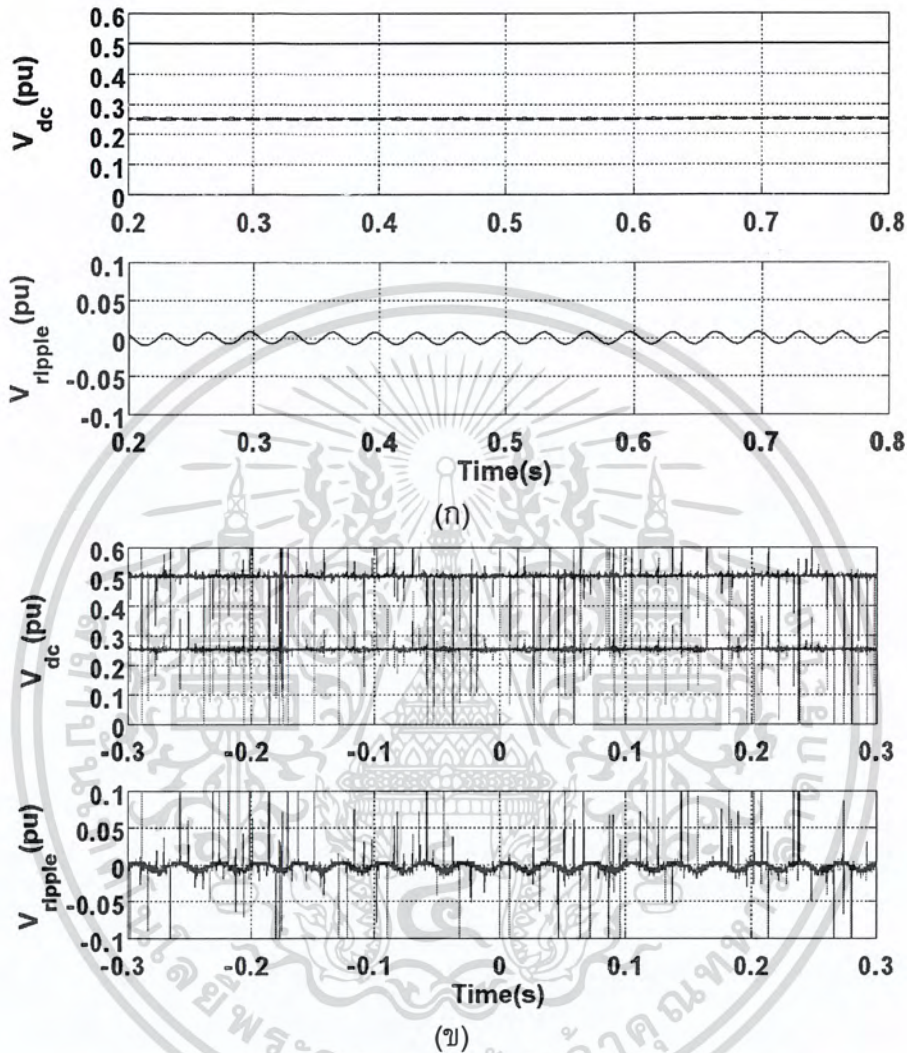
ภาพที่ 4.82 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 95.01 วัตต์

(บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ

(ล่าง) แรงดันกระแสเพื่่อม

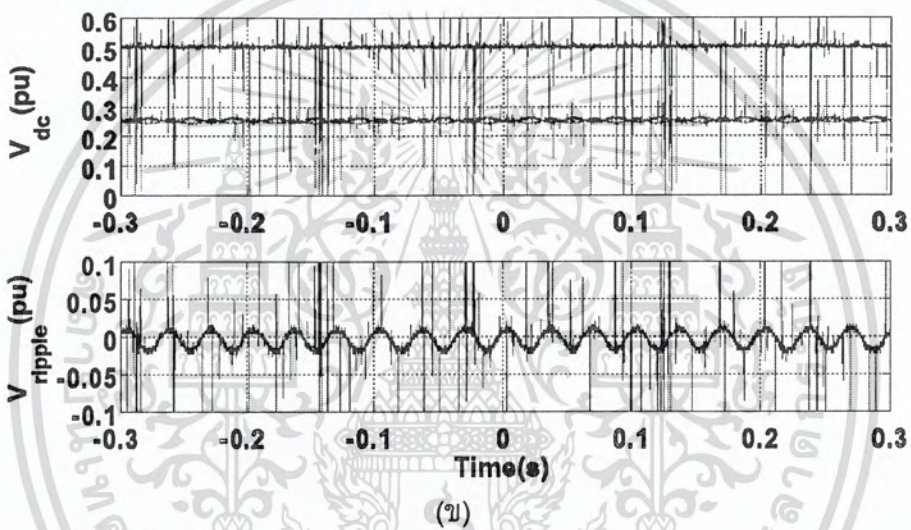
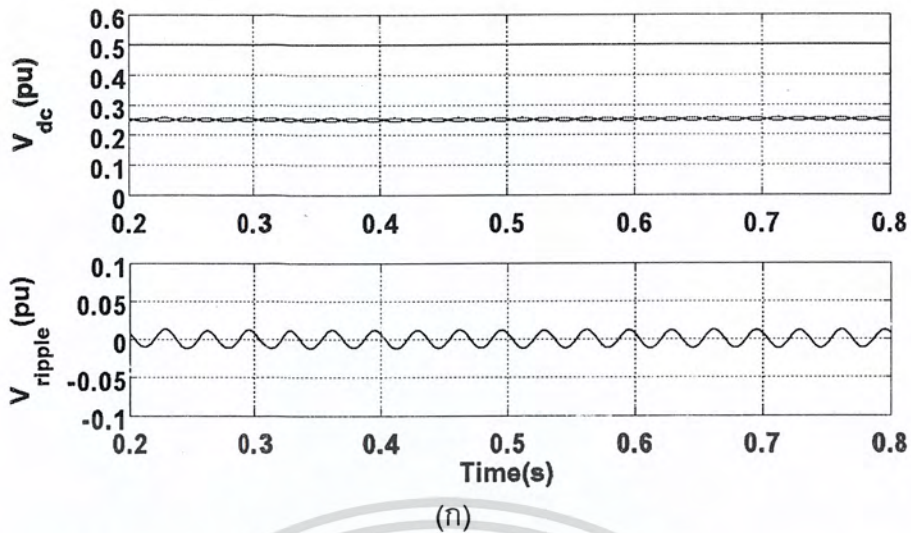
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.18 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$



ภาพที่ 4.83 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

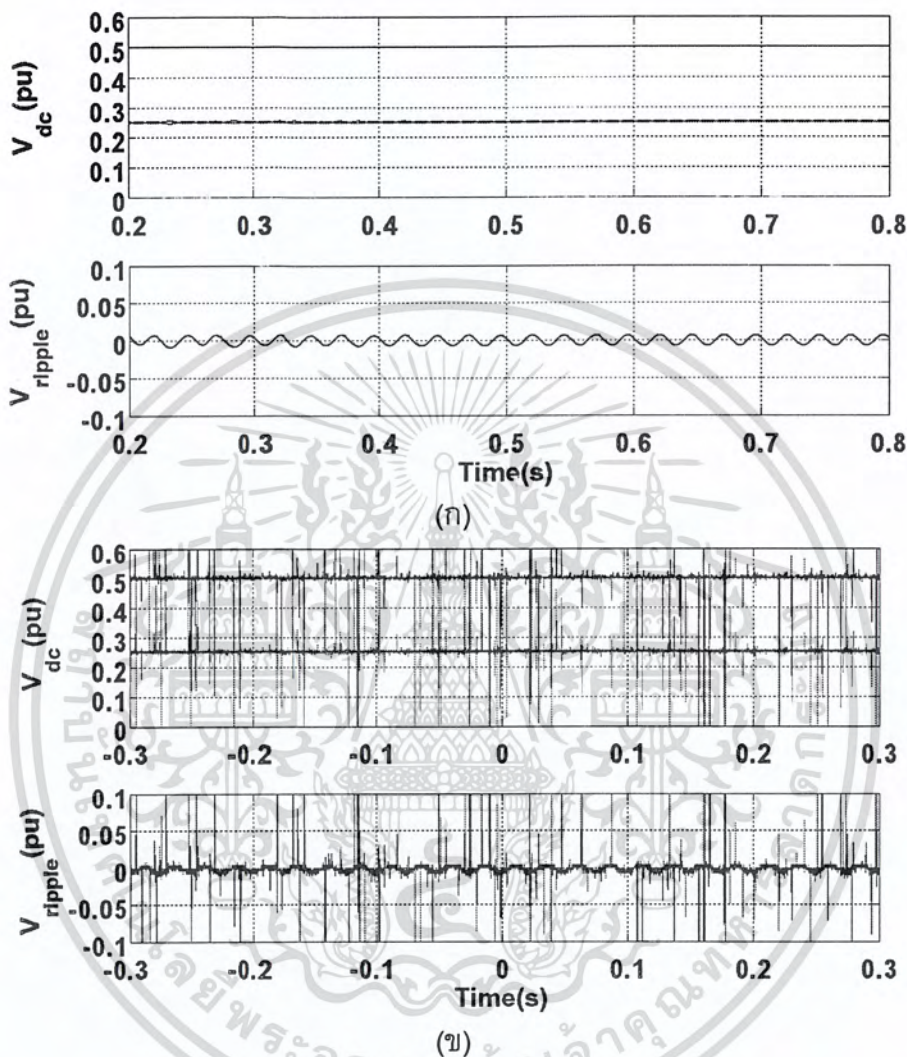
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.84 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 166.88 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสเพิ่ม

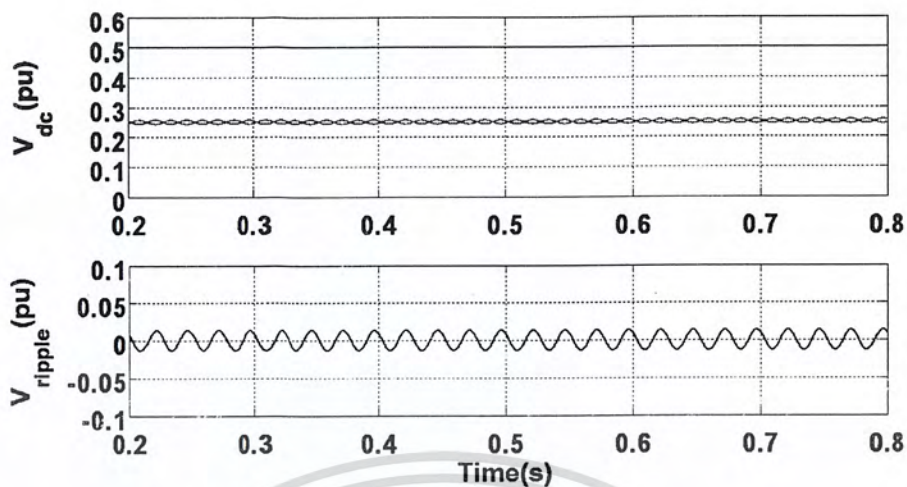
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.19 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$

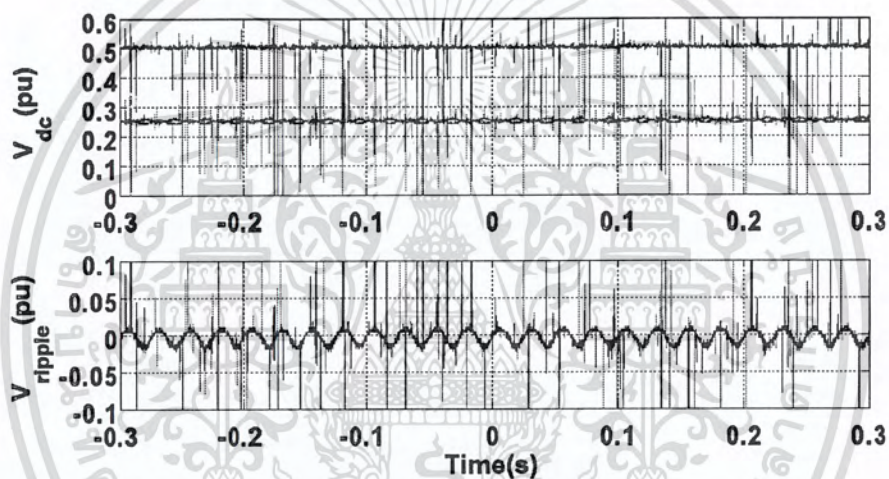


ภาพที่ 4.85 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

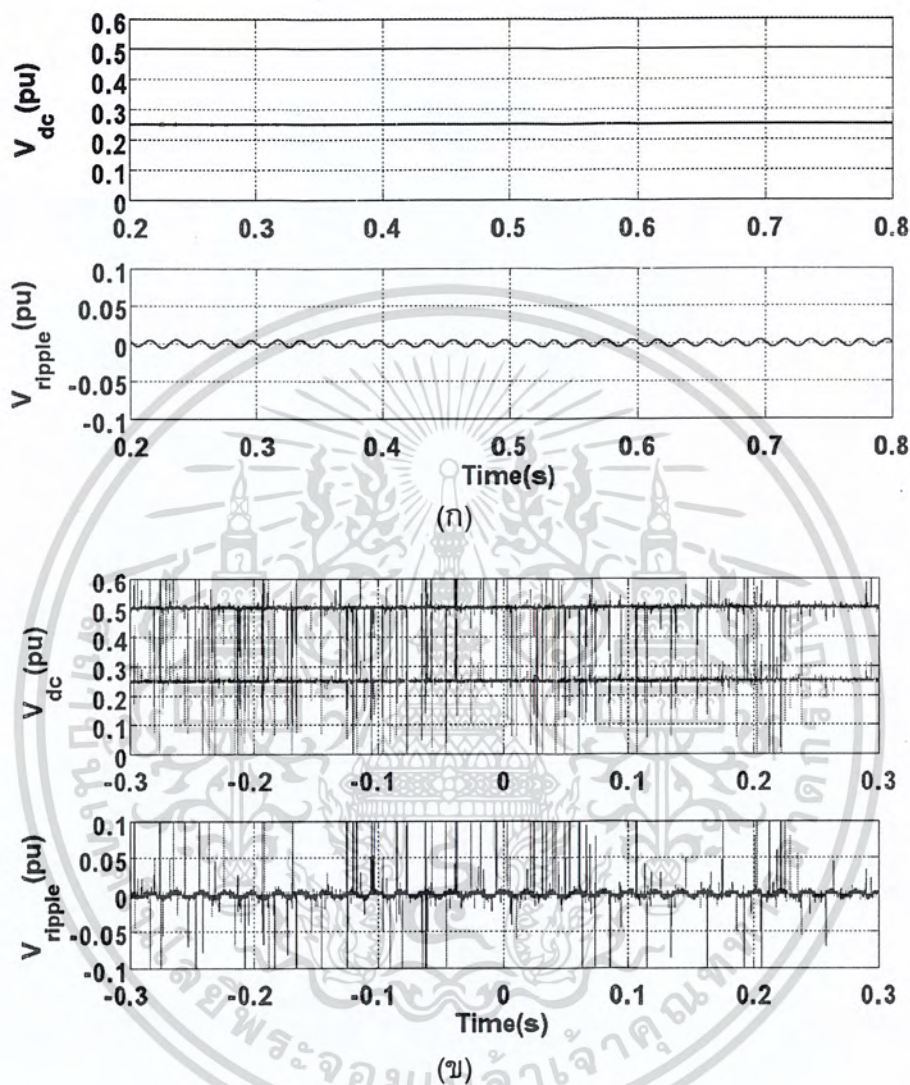


(ข)

ภาพที่ 4.86 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 234.33 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสฟีด

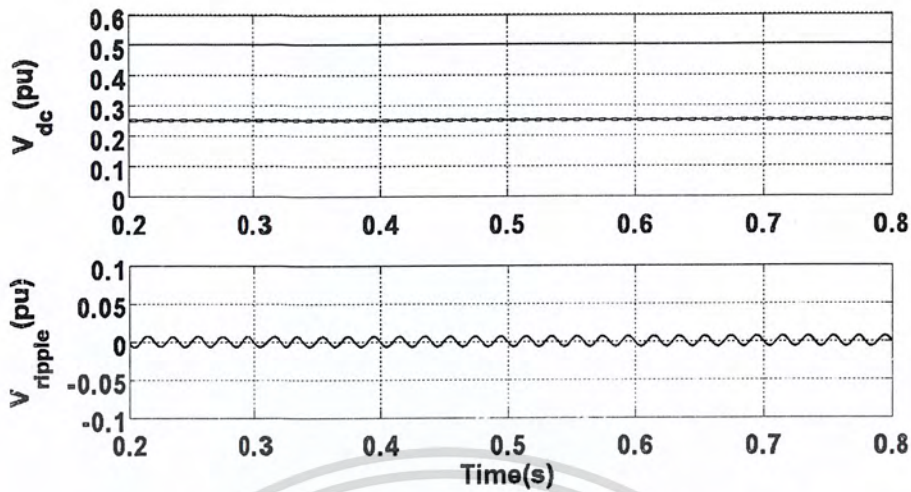
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.20 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = 0.5$

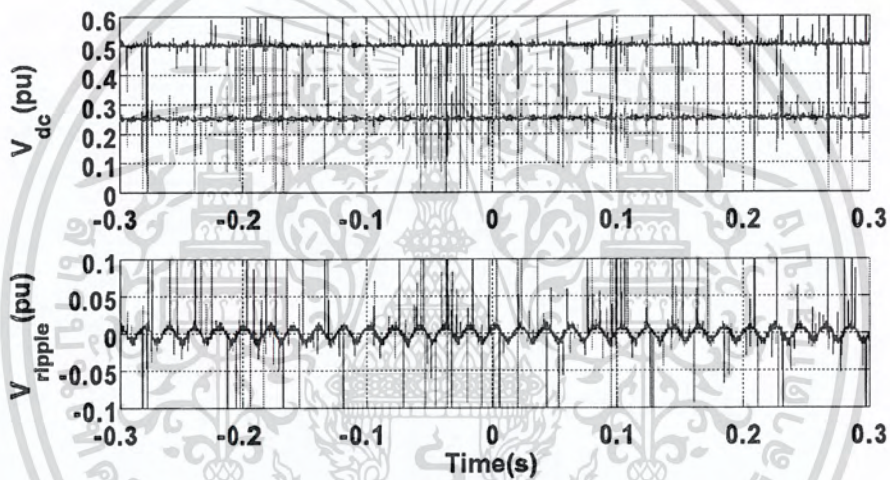


ภาพที่ 4.87 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

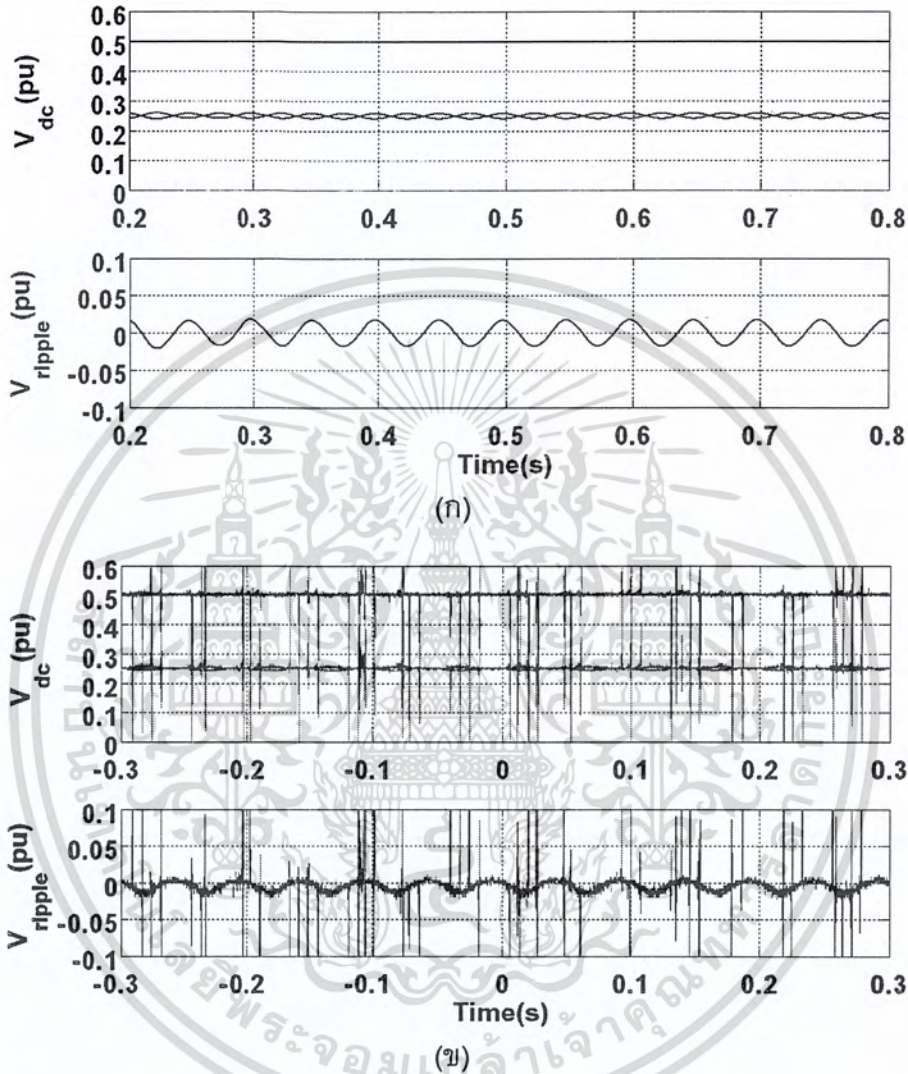


(ข)

ภาพที่ 4.88 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 303.91 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

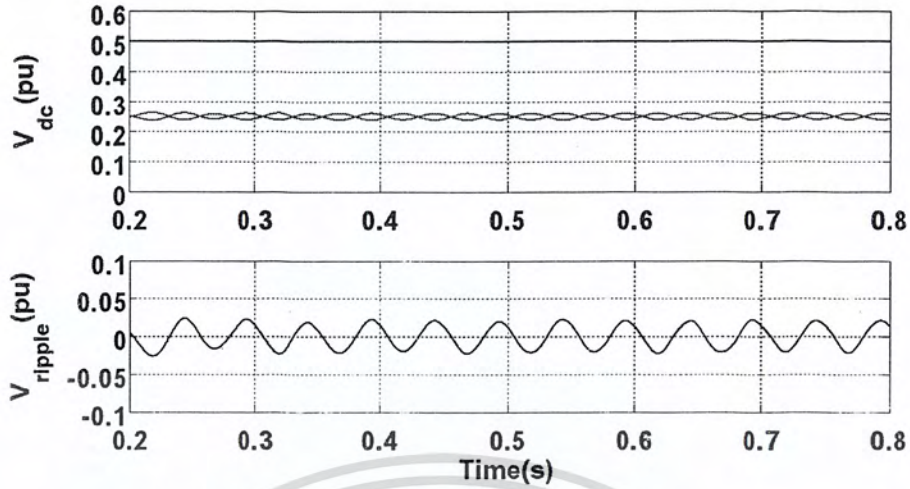
4.2.3.21 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 20 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า

$$\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$$

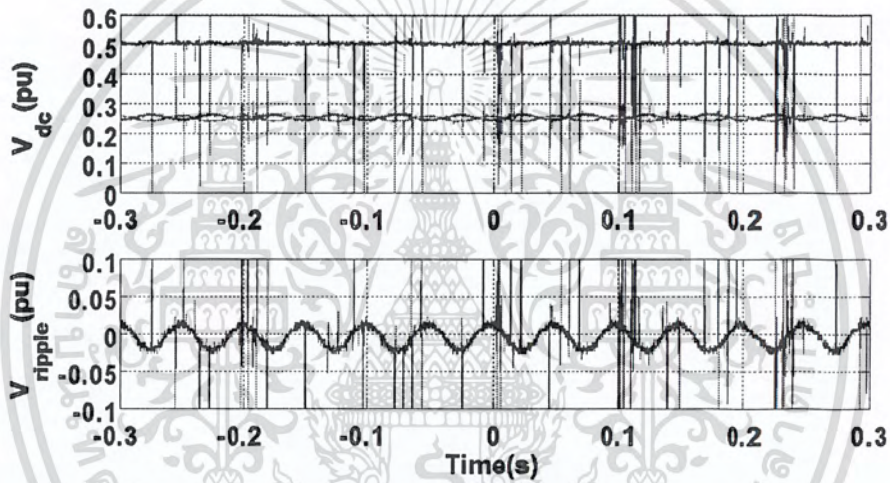


ภาพที่ 4.89 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

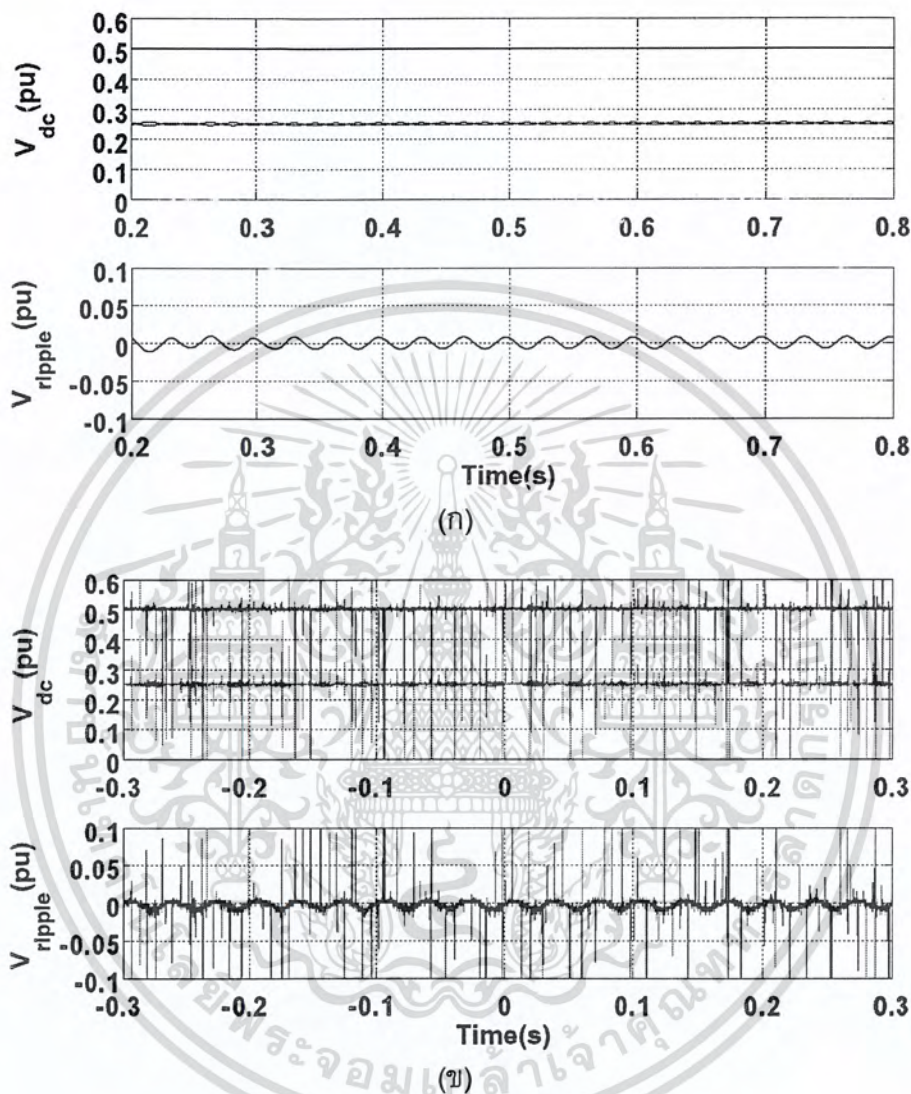


(ข)

ภาพที่ 4.90 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 93.93 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

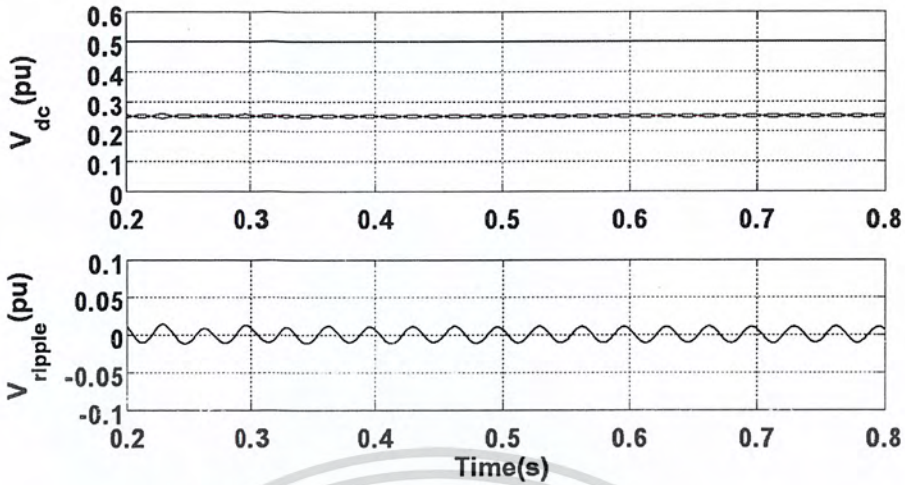
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.22 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 30 เฮิร์ตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

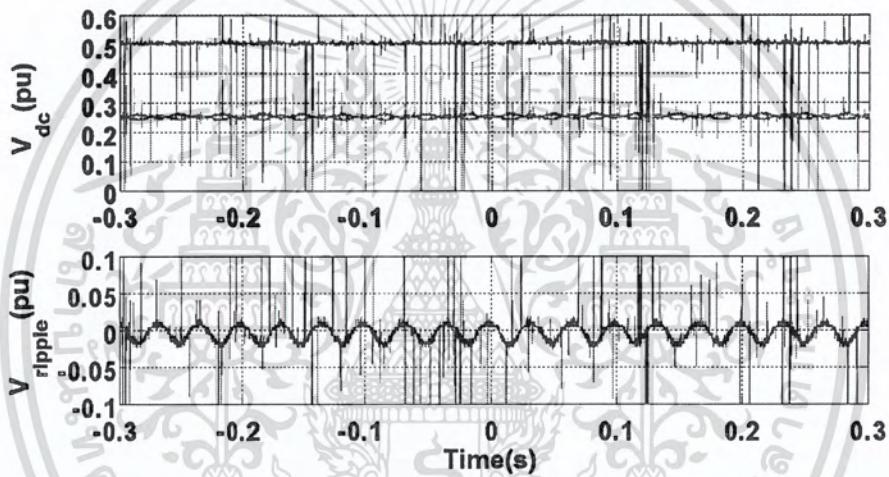


ภาพที่ 4.91 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

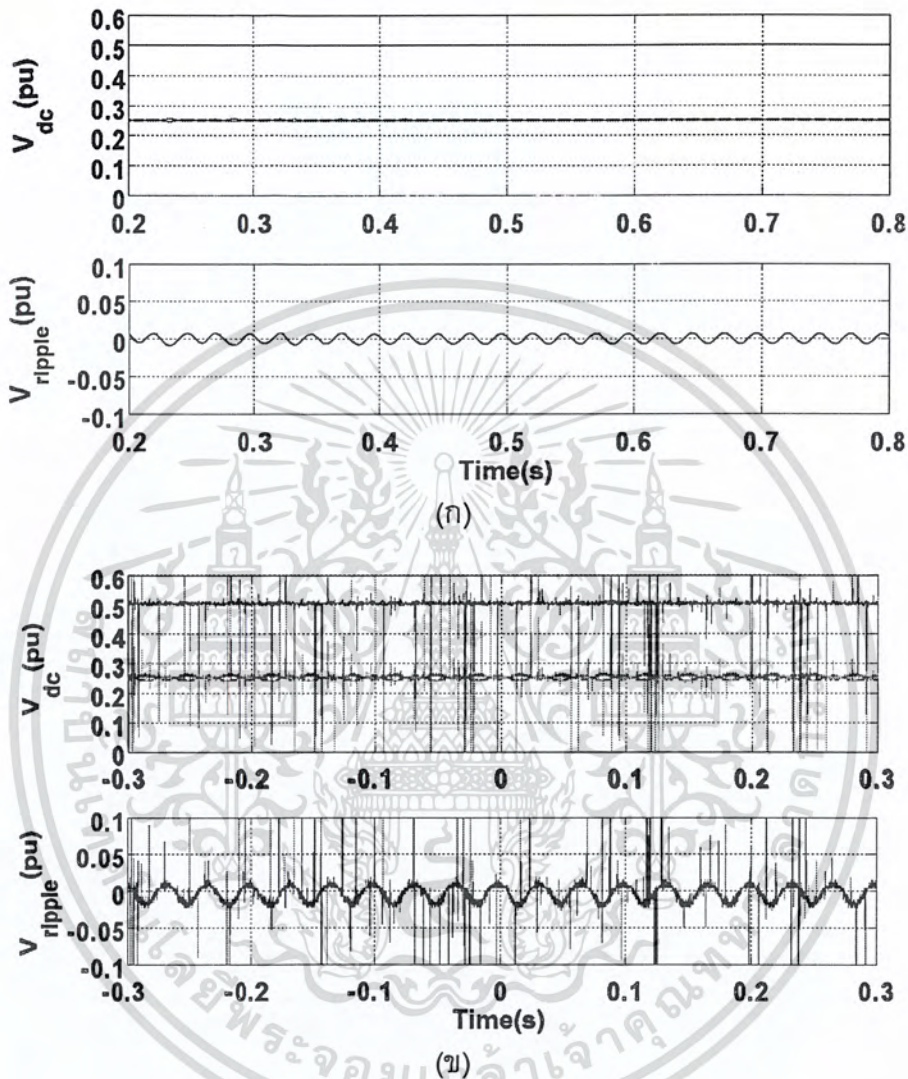


(ข)

ภาพที่ 4.92 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 167.72 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสเพิ่ม

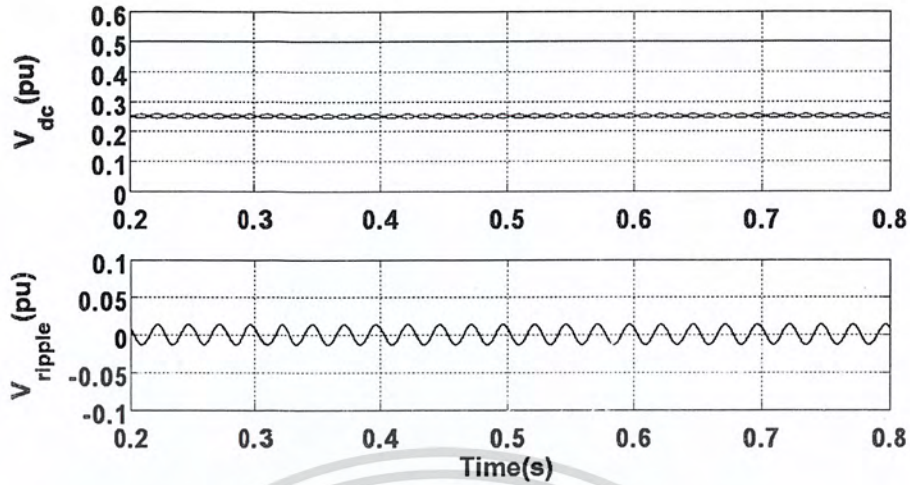
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.23 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 40 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

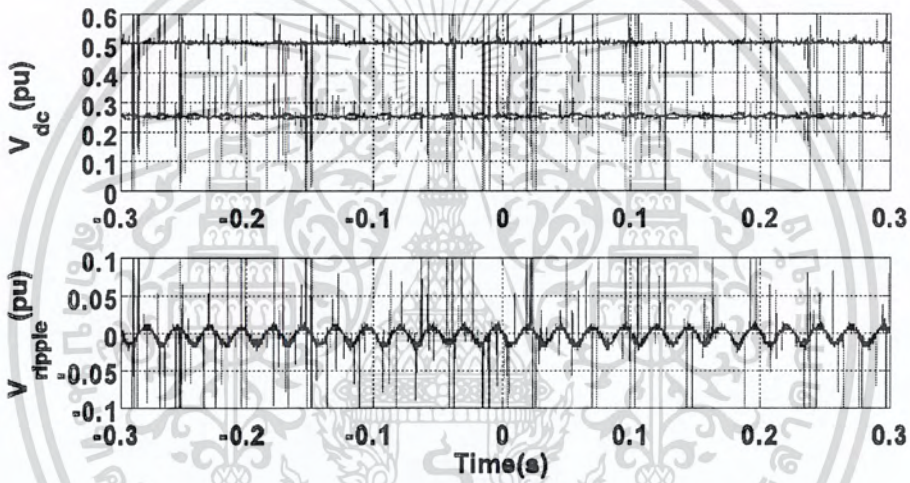


ภาพที่ 4.93 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ (ล่าง) แรงดันกระแสเฟือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

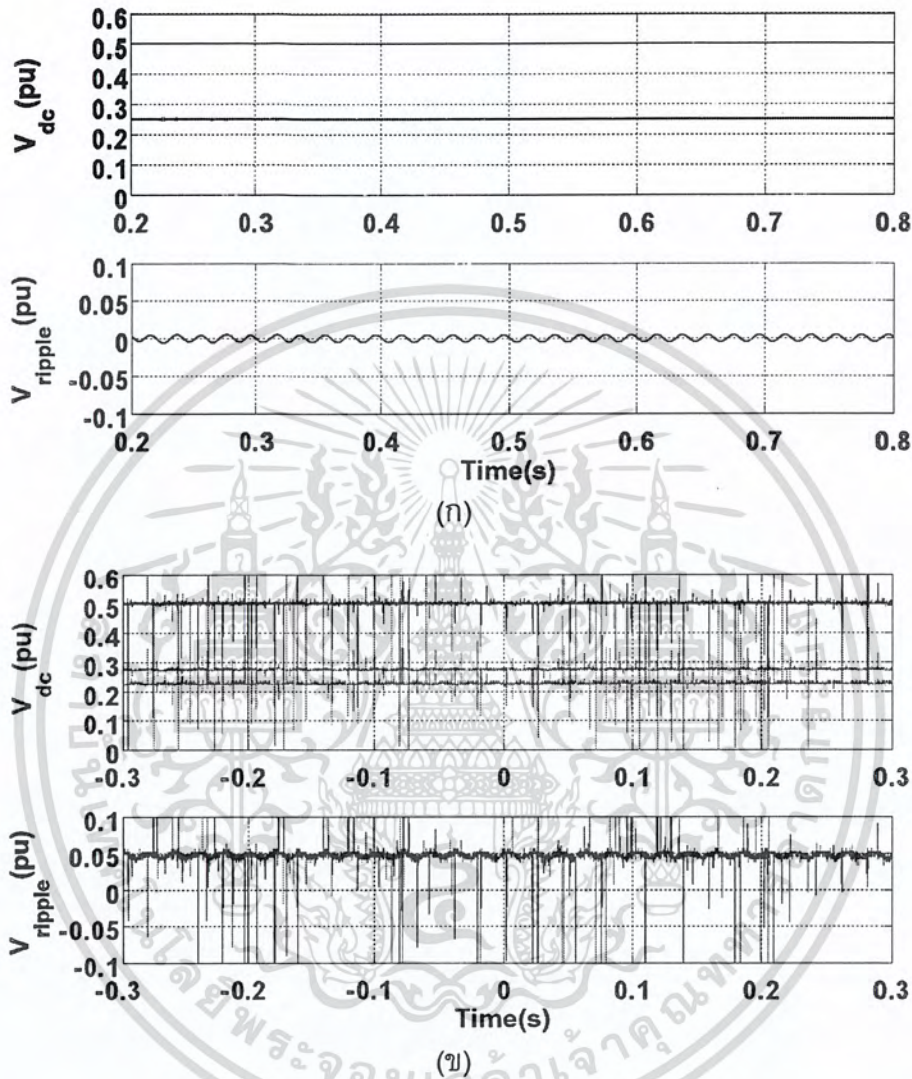


(ข)

ภาพที่ 4.94 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 236.56 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสฟีด

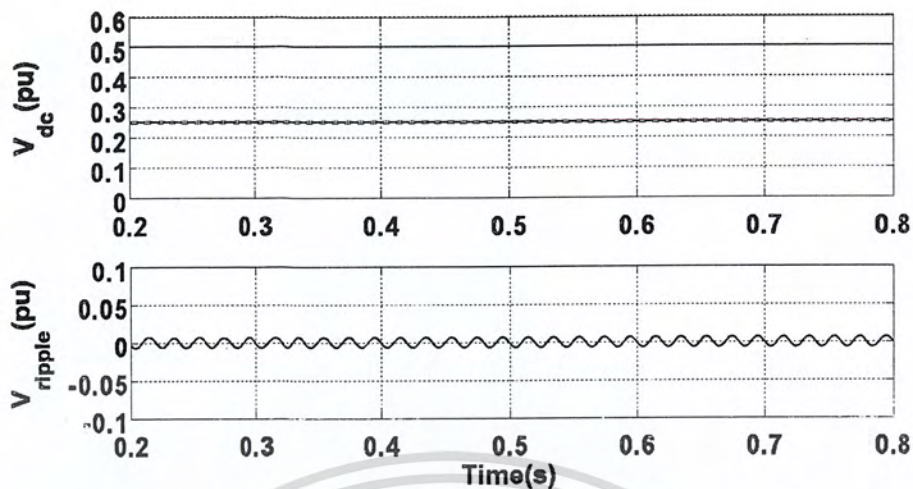
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3.24 รูปคลื่นแรงดันไฟตรงภายใต้การทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ความถี่ 50 เฮิรตซ์ในกรณีที่เฟส C เชื่อมต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรเชื่อมโยงไฟตรงและค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$

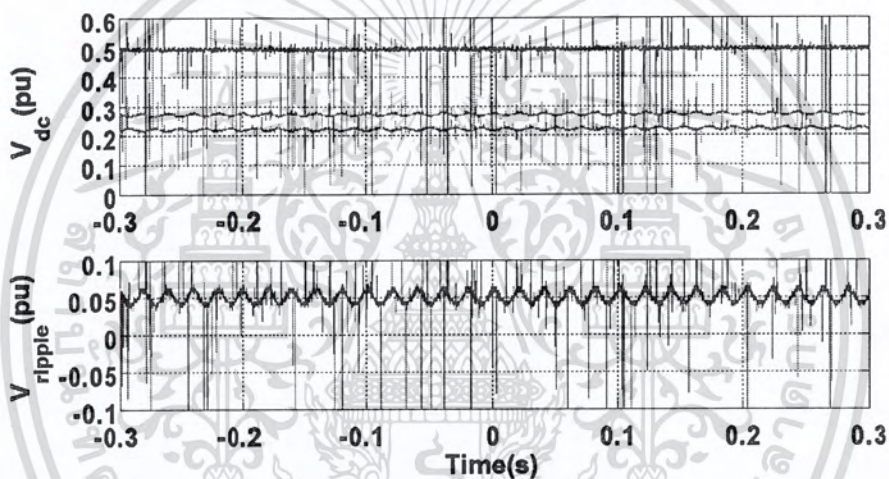


ภาพที่ 4.95 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะไร้ภาระ
(บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
(ล่าง) แรงดันกระเพื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

ภาพที่ 4.96 ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (ก) และผลการทดลอง (ข) ภายใต้สภาวะที่มีภาระเท่ากับ 307.60 วัตต์
 (บน) แรงดันเชื่อมโยงไฟตรงและแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุ
 (ล่าง) แรงดันกระแสเพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในกรณีที่เฟส C ต่ออยู่กับจุดกึ่งกลางของวงจรถ่อมโยงไฟตรง และค่า $\gamma = 0.5$ พบว่ารูปคลื่นแรงดันไฟตรงที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะมีการแกว่ง โดยความถี่ในการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะขึ้นอยู่กับความถี่มูลฐานของ สัญญาณแรงดันขาออก และขนาดการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุจะเพิ่มขึ้นเมื่อ ความถี่มูลฐานต่ำลงหรือในกรณีที่ภาระของเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้น แต่ในกรณีที่ ป้อนค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc}$ ขนาดการแกว่งของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุจะมีขนาดลดลงเนื่องจาก เวลาในการสวิตช์ที่เปลี่ยนไป โดยเมื่อตัวเก็บประจุตัวใดมีแรงดันสูงกว่าสวิตช์จะทำการต่อวงจร กับตัวเก็บประจุนั้นนานกว่าตัวเก็บประจุอีกตัวหนึ่งเพื่อให้ตัวเก็บประจุที่มีแรงดันมากกว่าทำการ คายประจุจนแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุทั้งสองตัวมีขนาดใกล้เคียงกัน

4.3 บทสรุป

จากผลการทดสอบเครื่องต้นแบบของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์พบว่า เป็นไปตาม ทฤษฎีที่อธิบายไว้ในบทที่ 2 ผลการทดสอบที่ได้พบว่ารูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงสามเฟส และกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งรวมถึงแรงดันนั้นเป็นไปตามผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วย โปรแกรม MATLAB/Simulink แต่ในส่วนของผลการทดลองนั้นจะมีสัญญาณรบกวนเนื่องจากตัว คอนเวอร์เตอร์และเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำแตกต่างจากผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่ จะไม่มีผลจากสัญญาณรบกวน จากผลการทดลองที่ได้พบว่ารูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงสาม เฟสจะไม่สมดุลเนื่องจากจะมีขนาดของกระแสในเฟสใดเฟสหนึ่งสูงกว่าขนาดของกระแสในสอง เฟสที่เหลือ และรูปคลื่นกระแสที่ได้จะมีขนาดใกล้เคียงกันมากขึ้นเมื่อทำการคำนวณเวลาในการ สวิตช์ใหม่โดยใช้ค่า γ ในส่วนของกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่งเมื่อทำการพล็อตรูปภาพ ภาพที่ได้จะมีลักษณะเป็นวงรีเนื่องจากขนาดของกระแสสามเฟส มีขนาดไม่เท่ากัน แต่เมื่อทำการป้อน γ เพื่อคำนวณเวลาในการสวิตช์ใหม่รูปคลื่นกระแสในกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง จะมีลักษณะใกล้เคียงกับวงกลมมากยิ่งขึ้นในส่วนของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุนั้นจะมี การแกว่งโดยขนาดของการแกว่งจะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ลดลงหรือภาระทางไฟฟ้ามากขึ้น

บทที่ 5

บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

จากการศึกษาเทคโนโลยีการนำคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์มาใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสจะทำการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรกลไฟฟ้า โดยทำการควบคุมมุมเฟสระหว่างแรงดันควบคุมให้ทำมุมกัน 60 องศา ซึ่งส่งผลให้กระแสไฟฟ้าสามเฟสที่ได้ทำมุมกัน 120 องศา แต่รูปคลื่นกระแสที่ได้ออกมาจะมีความผิดเพี้ยนบ้างโดยจะมีขนาดของกระแสในเฟสใดเฟสหนึ่งสูงกว่ากระแสในสองเฟสที่เหลือ ซึ่งเป็นผลจากการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุและขนาดของความผิดเพี้ยนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ลดลงหรือภาระทางไฟฟ้ามีขนาดมากขึ้น แต่ความผิดเพี้ยนดังกล่าวสามารถทำให้ลดลงได้ โดยการคำนวณหาเวลาในการสวิตช์ใหม่โดยอาศัยอัตราส่วนของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุต่อแรงดันวงจรเชื่อมโยงไฟตรง (V) เข้ามาคำนวณเพื่อลดการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ

ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์สามารถใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสได้จริงแต่จะมีโครงสร้างต่างจากวงจรหกสวิตช์โดยทั่วไปคือต้องการตัวเก็บประจุ 2 ตัวที่มีขนาดใหญ่พอสมควรทำการต่ออนุกรมกันซึ่งคอนเวอร์เตอร์สี่สวิตช์สามารถช่วยลดจำนวนสวิตช์ได้แต่ก็ทำให้ค่าใช้จ่ายในส่วนของตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้น และตัวเก็บประจุที่ใช้ในคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์จะมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าเนื่องจากกระแสที่ไหลเข้าตัวเก็บประจุมีความแวกมาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

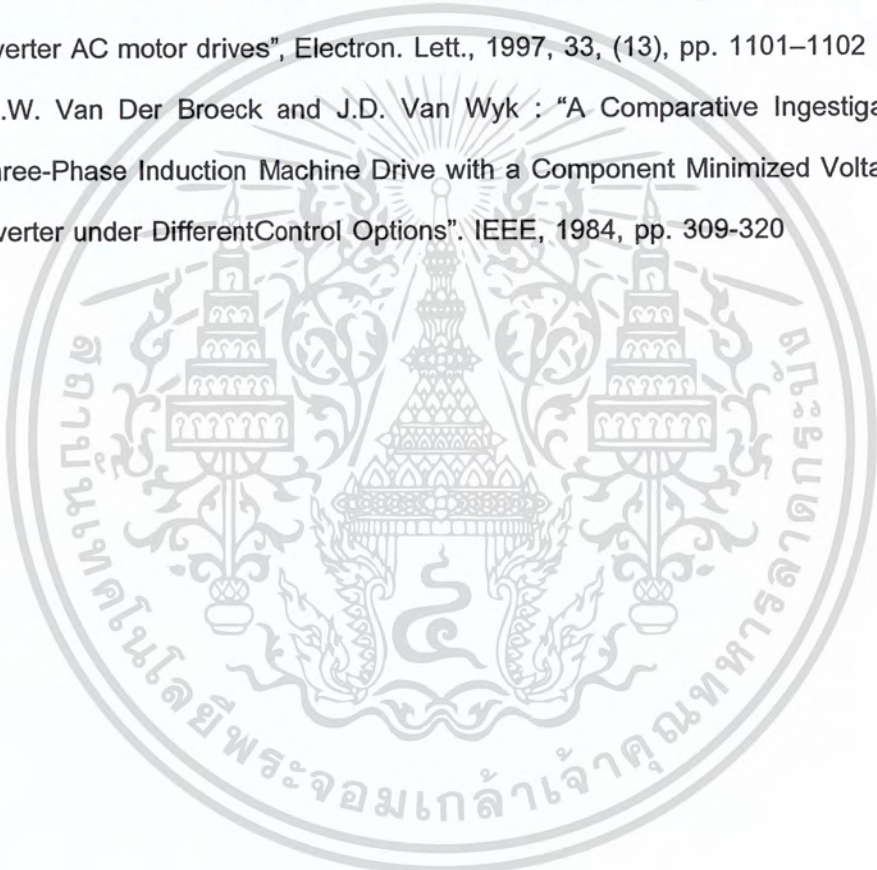
- ขนาดของตัวเก็บประจุที่ใช้ในวงจรเชื่อมโยงทางไฟตรงจะต้องมีขนาดใหญ่พอสมควรเพื่อช่วยกรองสัญญาณของไฟฟ้ากระแสสลับ

5.3 แนวทางการพัฒนา

คอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการปรับโครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์ชนิดหกสวิตช์ในกรณีที่เกิดความผิดพร่องแบบเปิดวงจร เนื่องจากในเครื่องจักรบางชนิดเราไม่สามารถจะหยุดการทำงานได้ในทันที เมื่อเกิดความผิดพร่องในคอนเวอร์เตอร์ชนิดหกสวิตช์แล้วสามารถตรวจจับได้ก็สามารถที่จะทำการปรับโครงสร้างเพื่อให้เครื่องจักรสามารถทำงานต่อไปได้โดยอาศัยคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์

บรรณานุกรม

- [1] วีระเชษฐ์ ชันเงิน และ วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (**Power Electronic**), กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด. วี.เจ. พรินตติ้ง, 2551.
- [2] COVIC G.A., PETERS G.L. and BOYS J.T: "An improved single phase to three phase converter for low cost AC motor drives." Proc. Int. Conf. Power Electronics and Drives Systems, 1995, pp. 549–554
- [3] COVIC G.A. and PETERS G.L: " DC link imbalance compensation in four-switch inverter AC motor drives", Electron. Lett., 1997, 33, (13), pp. 1101–1102
- [4] H.W. Van Der Broeck and J.D. Van Wyk : "A Comparative Investigation of a Three-Phase Induction Machine Drive with a Component Minimized Voltage – Fed Inverter under Different Control Options". IEEE, 1984, pp. 309-320





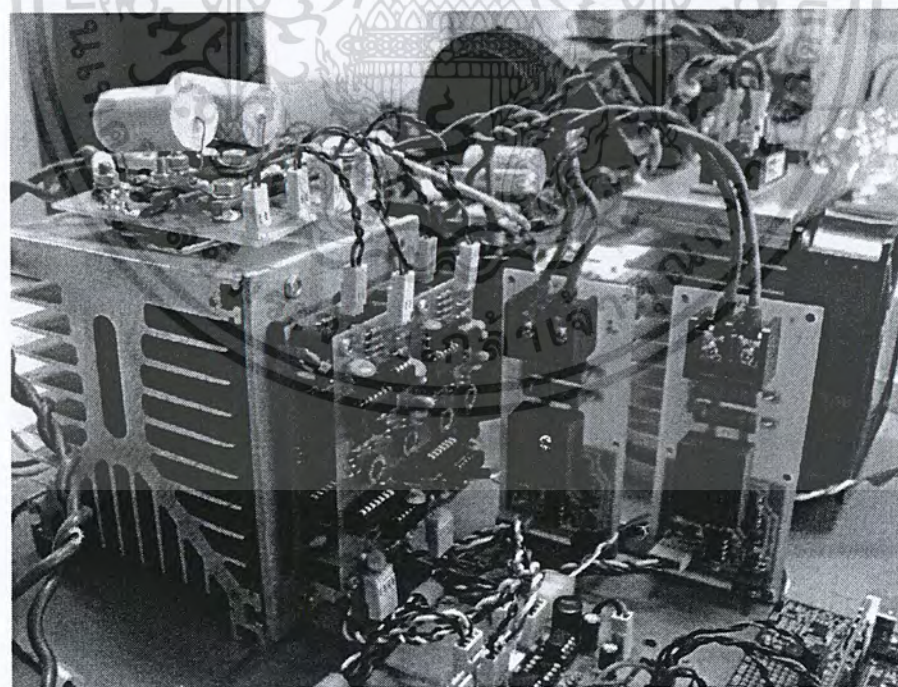
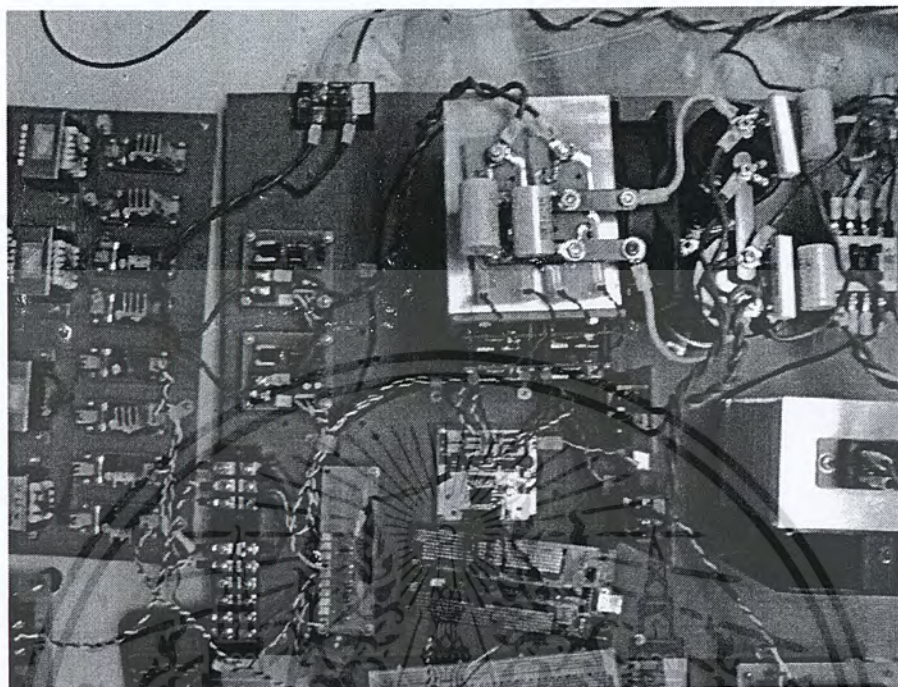
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.
เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปฏิญยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องต้นแบบที่จัดสร้างขึ้นจริงในปริญญาโท



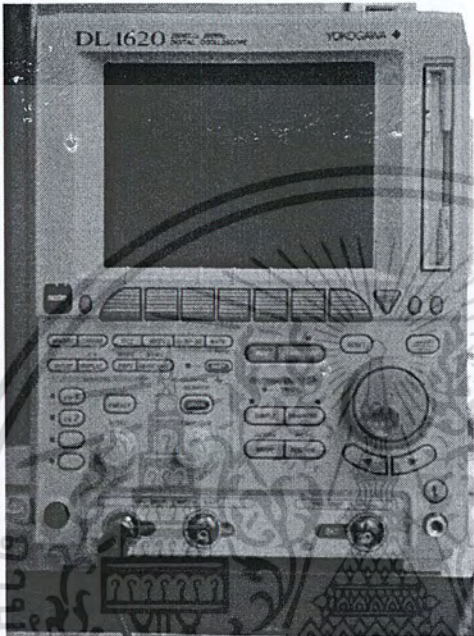
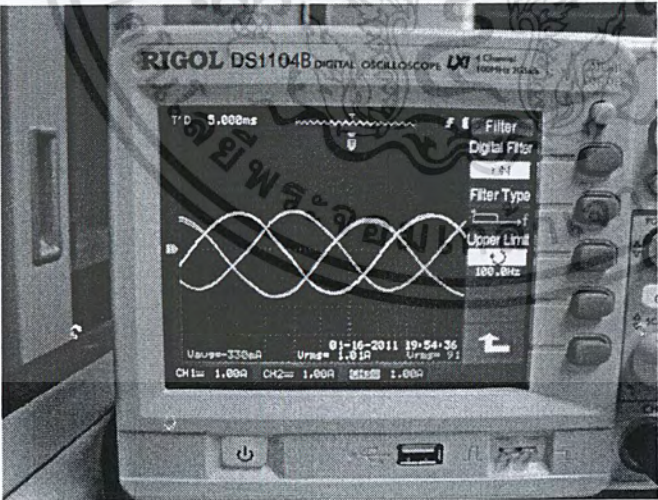
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.
รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ใน
ปริญาานิพนธ์

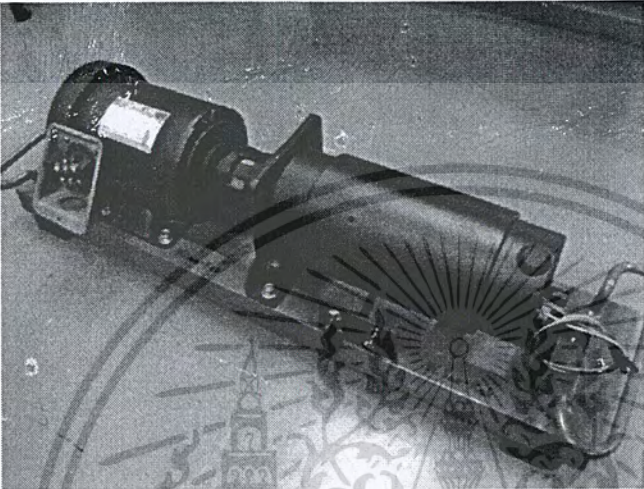

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญาโท

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>ดิจิตอลออสซิลโลสโคป</p> <p>รุ่น DL1640</p> <p>2 Channel ,YOKOGAWA</p>
	<p>ดิจิตอลออสซิลโลสโคป</p> <p>รุ่น DS1104B</p> <p>4 Channel , RIGOL</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในปริญญาโท

รูปถ่าย	รายละเอียด
	<p>มอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ขนาดพิกัด 0.75 kW, 4 pole, 220/380V 3.3/1.9 A, 50 Hz และ 1400 rpm</p>
	<p>หลอดไฟขนาด 100 วัตต์ จำนวน 12 ดวง</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.

ข้อมูลอุปกรณ์ที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332
TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232
Digital Signal Controllers (DSCs)**

Data Manual



PRODUCTION DATA information is current as of publication date.
Products conform to specifications per the terms of the Texas
Instruments standard warranty. Production processing does not
necessarily include testing of all parameters.

Literature Number: SPRS439H
June 2007—Revised March 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332
TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232

www.ti.com

SPRS439H – JUNE 2007 – REVISED MARCH 2010

Digital Signal Controllers (DSCs)

Check for Samples: TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332, TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232

1 TMS320F2833x, TMS320F2823x DSCs

1.1 Features

- High-Performance Static CMOS Technology
 - Up to 150 MHz (6.67-ns Cycle Time)
 - 1.9-V/1.8-V Core, 3.3-V I/O Design
- High-Performance 32-Bit CPU (TMS320C28x)
 - IEEE-754 Single-Precision Floating-Point Unit (FPU) (F2833x only)
 - 16 x 16 and 32 x 32 MAC Operations
 - 16 x 16 Dual MAC
 - Harvard Bus Architecture
 - Fast Interrupt Response and Processing
 - Unified Memory Programming Model
 - Code-Efficient (in C/C++ and Assembly)
- Six-Channel DMA Controller (for ADC, McBSP, ePWM, XINTF, and SARAM)
- 16-Bit or 32-Bit External Interface (XINTF)
 - Over 2M x 16 Address Reach
- On-Chip Memory
 - F28335/F28235: 256K x 16 Flash, 34K x 16 SARAM
 - F28334/F28234: 128K x 16 Flash, 34K x 16 SARAM
 - F28332/F28232: 64K x 16 Flash, 26K x 16 SARAM
 - 1K x 16 OTP ROM
- Boot ROM (8K x 16)
 - With Software Boot Modes (via SCI, SPI, CAN, I2C, McBSP, XINTF, and Parallel I/O)
 - Standard Math Tables
- Clock and System Control
 - Dynamic PLL Ratio Changes Supported
 - On-Chip Oscillator
 - Watchdog Timer Module
- GPIO0 to GPIO63 Pins Can Be Connected to One of the Eight External Core Interrupts
- Peripheral Interrupt Expansion (PIE) Block That Supports All 58 Peripheral Interrupts
- 128-Bit Security Key/Lock
 - Protects Flash/OTP/RAM Blocks
 - Prevents Firmware Reverse Engineering
- Enhanced Control Peripherals
 - Up to 18 PWM Outputs
 - Up to 6 HRPWM Outputs With 150 ps MEP Resolution
 - Up to 6 Event Capture Inputs
 - Up to 2 Quadrature Encoder Interfaces
 - Up to 8 32-Bit/Nine 16-Bit Timers
- Three 32-Bit CPU Timers
- Serial Port Peripherals
 - Up to 2 CAN Modules
 - Up to 3 SCI (UART) Modules
 - Up to 2 McBSP Modules (Configurable as SPI)
 - One SPI Module
 - One Inter-Integrated-Circuit (I2C) Bus
- 12-Bit ADC, 16 Channels
 - 80-ns Conversion Rate
 - 2 x 8 Channel Input Multiplexer
 - Two Sample-and-Hold
 - Single/Simultaneous Conversions
 - Internal or External Reference
- Up to 88 Individually Programmable, Multiplexed GPIO Pins With Input Filtering
- JTAG Boundary Scan Support ⁽¹⁾
- Advanced Emulation Features
 - Analysis and Breakpoint Functions
 - Real-Time Debug via Hardware
- Development Support Includes
 - ANSI C/C++ Compiler/Assembler/Linker
 - Code Composer Studio™ IDE
 - DSP/BIOS™
 - Digital Motor Control and Digital Power Software Libraries
- Low-Power Modes and Power Savings
 - IDLE, STANDBY, HALT Modes Supported
 - Disable Individual Peripheral Clocks

(1) IEEE Standard 1149.1-1990 Standard Test Access Port and Boundary Scan Architecture



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

MicroStar BGA, Code Composer Studio, DSP/BIOS, TMS320C28x, Delfino, PowerPAD, TMS320C54x, TMS320C55x, C28x are trademarks of Texas Instruments.

All other trademarks are the property of their respective owners.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of the Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2007–2010, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332
TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232



SPRS439H–JUNE 2007–REVISED MARCH 2010

www.ti.com

- Package Options:
 - Lead-free, Green Packaging
 - Low-Profile Quad Flatpack (PGF, PTP)
 - MicroStar BGA™ (ZHH)
 - Plastic BGA (ZJZ)
- Temperature Options:
 - A: –40°C to 85°C (PGF, ZHH, ZJZ)
 - S: –40°C to 125°C (PTP, ZJZ)
 - Q: –40°C to 125°C (PTP, ZJZ)
- Community Resources
 - [TI E2E Community](#)
 - [TI Embedded Processors Wiki](#)

1.2 Getting Started

This section gives a brief overview of the steps to take when first developing for a C28x device. For more detail on each of these steps, see the following:

- *Getting Started With TMS320C28x Digital Signal Controllers* (literature number [SPRAAM0](#)).
- [C2000 Getting Started Website](http://www.ti.com/c2000/getstarted) (<http://www.ti.com/c2000/getstarted>)
- TMS320F28x DSC Development and Experimenter's Kits (<http://www.ti.com/f28xkits>)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332
TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232

www.ti.com

SPRS439H – JUNE 2007 – REVISED MARCH 2010

2 Introduction

The TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332, TMS320F28235, TMS320F28234, and TMS320F28232 devices, members of the TMS320C28x™/ Delfino™ DSC/MCU generation, are highly integrated, high-performance solutions for demanding control applications.

Throughout this document, the devices are abbreviated as F28335, F28334, F28332, F28235, F28234, and F28232, respectively. Table 2-1 and Table 2-2 provide a summary of features for each device.

Table 2-1. F2833x Hardware Features

FEATURE		TYPE ⁽¹⁾	F28335 (150 MHz)	F28334 (150 MHz)	F28332 (100 MHz)
Instruction cycle		–	6.67 ns	6.67 ns	10 ns
Floating-point Unit		–	Yes	Yes	Yes
3.3-V on-chip flash (16-bit word)		–	256K	128K	64K
Single-access RAM (SARAM) (16-bit word)		–	34K	34K	26K
One-time programmable (OTP) ROM (16-bit word)		–	1K	1K	1K
Code security for on-chip flash/SARAM/OTP blocks		–	Yes	Yes	Yes
Boot ROM (8K x 16)		–	Yes	Yes	Yes
16/32-bit External Interface (XINTF)		1	Yes	Yes	Yes
6-channel Direct Memory Access (DMA)		0	Yes	Yes	Yes
PWM outputs		0	ePWM1/2/3/4/5/6	ePWM1/2/3/4/5/6	ePWM1/2/3/4/5/6
HRPWM channels		0	ePWM1A/2A/3A/4A/5A/6A	ePWM1A/2A/3A/4A/5A/6A	ePWM1A/2A/3A/4A
32-bit Capture inputs or auxiliary PWM outputs		0	eCAP1/2/3/4/5/6	eCAP1/2/3/4	eCAP1/2/3/4
32-bit QEP channels (four inputs/channel)		0	eQEP1/2	eQEP1/2	eQEP1/2
Watchdog timer		–	Yes	Yes	Yes
12-Bit ADC	No. of channels	–	16	16	16
	MSPS	2	12.5	12.5	12.5
	Conversion time	–	80 ns	80 ns	80 ns
32-Bit CPU timers		–	3	3	3
Multichannel Buffered Serial Port (McBSP)/SPI		1	2 (A/B)	2 (A/B)	1 (A)
Serial Peripheral Interface (SPI)		0	1	1	1
Serial Communications Interface (SCI)		0	3 (A/B/C)	3 (A/B/C)	2 (A/B)
Enhanced Controller Area Network (eCAN)		0	2 (A/B)	2 (A/B)	2 (A/B)
Inter-Integrated Circuit (I2C)		0	1	1	1
General Purpose I/O pins (shared)		–	88	88	88
External interrupts		–	8	8	8
Packaging	176-Pin PGF	–	Yes	Yes	Yes
	176-Pin PTP	–	Yes	Yes	Yes
	179-Ball ZHH	–	Yes	Yes	Yes
	176-Ball ZJZ	–	Yes	Yes	Yes
Temperature options	A: –40°C to 85°C	–	(PGF, ZHH, ZJZ)	(PGF, ZHH, ZJZ)	(PGF, ZHH, ZJZ)
	S: –40°C to 125°C	–	(PTP, ZJZ)	(PTP, ZJZ)	(PTP, ZJZ)
	Q: –40°C to 125°C (Q100 Qualification)	–	(PTP, ZJZ)	(PTP, ZJZ)	(PTP, ZJZ)

(1) A type change represents a major functional feature difference in a peripheral module. Within a peripheral type, there may be minor differences between devices that do not affect the basic functionality of the module. These device-specific differences are listed in the TMS320x28xx, 28xxx DSP Peripheral Reference Guide (literature number SPRU566) and in the peripheral reference guides.

Copyright © 2007–2010, Texas Instruments Incorporated

Introduction 13

Submit Documentation Feedback

Product Folder Link(s): TMS320F28335 TMS320F28334 TMS320F28332 TMS320F28235 TMS320F28234
TMS320F28232

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332
TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232



SPRS439H–JUNE 2007–REVISED MARCH 2010

www.ti.com

Table 2-1. F2833x Hardware Features (continued)

FEATURE	TYPE ⁽¹⁾	F28335 (150 MHz)	F28334 (150 MHz)	F28332 (100 MHz)
Product status ⁽²⁾	–	TMS	TMS	TMS

(2) See Section 5.1, Device and Development Support Tool Nomenclature, for descriptions of device stages.

Table 2-2. F2823x Hardware Features

FEATURE	TYPE ⁽¹⁾	F28235 (150 MHz)	F28234 (150 MHz)	F28232 (100 MHz)
Instruction cycle	–	6.67 ns	6.67 ns	10 ns
Floating-point Unit	–	No	No	No
3.3-V on-chip flash (16-bit word)	–	256K	128K	64K
Single-access RAM (SARAM) (16-bit word)	–	34K	34K	26K
One-time programmable (OTP) ROM (16-bit word)	–	1K	1K	1K
Code security for on-chip flash/SARAM/OTP blocks	–	Yes	Yes	Yes
Boot ROM (8K x 16)	–	Yes	Yes	Yes
16/32-bit External Interface (XINTF)	1	Yes	Yes	Yes
6-channel Direct Memory Access (DMA)	0	Yes	Yes	Yes
PWM outputs	0	ePWM1/2/3/4/5/6	ePWM1/2/3/4/5/6	ePWM1/2/3/4/5/6
HRPWM channels	0	ePWM1A/2A/3A/4A/5A/6A	ePWM1A/2A/3A/4A/5A/6A	ePWM1A/2A/3A/4A
32-bit Capture inputs or auxiliary PWM outputs	0	eCAP1/2/3/4/5/6	eCAP1/2/3/4	eCAP1/2/3/4
32-bit QEP channels (four inputs/channel)	0	eQEP1/2	eQEP1/2	eQEP1/2
Watchdog timer	–	Yes	Yes	Yes
12-Bit ADC	No. of channels	16	16	16
	MSPS	12.5	12.5	12.5
	Conversion time	80 ns	80 ns	80 ns
32-Bit CPU timers	–	3	3	3
Multichannel Buffered Serial Port (McBSP)/SPI	1	2 (A/B)	2 (A/B)	1 (A)
Serial Peripheral Interface (SPI)	0	1	1	1
Serial Communications Interface (SCI)	0	3 (A/B/C)	3 (A/B/C)	2 (A/B)
Enhanced Controller Area Network (eCAN)	0	2 (A/B)	2 (A/B)	2 (A/B)
Inter-Integrated Circuit (I2C)	0	1	1	1
General Purpose I/O pins (shared)	–	88	88	88
External interrupts	–	8	8	8
Packaging	176-Pin PGF	–	Yes	Yes
	176-Pin PTP	–	Yes	Yes
	179-Ball ZHH	–	Yes	Yes
	176-Ball ZJZ	–	Yes	Yes
Temperature options	A: –40°C to 85°C	–	(PGF, ZHH, ZJZ)	(PGF, ZHH, ZJZ)
	S: –40°C to 125°C	–	(PTP, ZJZ)	(PTP, ZJZ)
	Q: –40°C to 125°C (Q100 Qualification)	–	(PTP, ZJZ)	(PTP, ZJZ)
Product status ⁽²⁾	–	TMS	TMS	TMS

(1) A type change represents a major functional feature difference in a peripheral module. Within a peripheral type, there may be minor differences between devices that do not affect the basic functionality of the module. These device-specific differences are listed in the TMS320x28xx, 28xxx DSP Peripheral Reference Guide (literature number SPRU566) and in the peripheral reference guides.

(2) See Section 5.1, Device and Development Support Tool Nomenclature, for descriptions of device stages.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2.1 Pin Assignments

The 176-pin PGF/PTP low-profile quad flatpack (LQFP) pin assignments are shown in Figure 2-1. The 179-ball ZHH ball grid array (BGA) terminal assignments are shown in Figure 2-2 through Figure 2-5. The 176-ball ZJZ plastic ball grid array (PBGA) terminal assignments are shown in Figure 2-6 through Figure 2-9. Table 2-3 describes the function(s) of each pin.

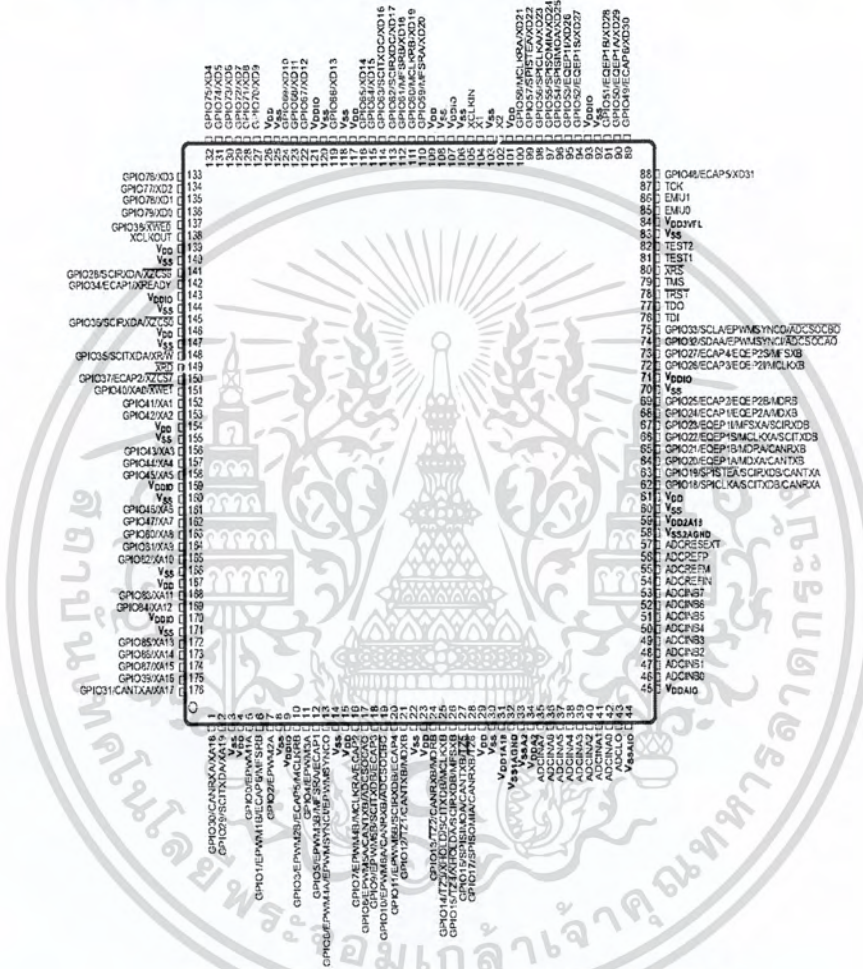


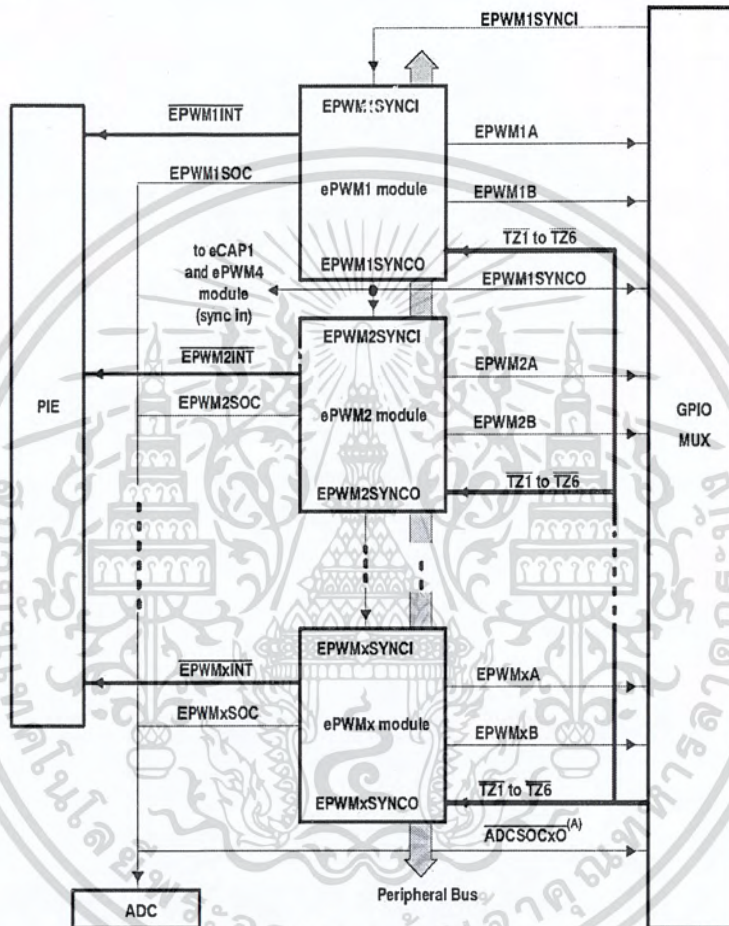
Figure 2-1. F2833x, F2823x 176-Pin PGF/PTP LQFP (Top View)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 Enhanced PWM Modules (ePWM1/2/3/4/5/6)

The 2833x/2823x devices contain up to six enhanced PWM Modules (ePWM). Figure 4-4 shows a block diagram of multiple ePWM modules. Figure 4-4 shows the signal interconnections with the ePWM.

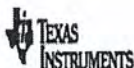
Table 4-2 show the complete ePWM register set per module and Table 4-3 shows the remapped register configuration.



- A. ADCSOCxO is sent to the DMA as well when the ePWM registers are remapped to PF3 (through bit 0 of the MAPCNF register).
- B. By default, ePWMHRPWM registers are mapped to Peripheral Frame 1 (PF1). Table 4-2 shows this configuration. To re-map the registers to Peripheral Frame 3 (PF3) to enable DMA access, bit 0 (MAPEPWM) of MAPCNF register (address 0x702E) must be set to 1. Table 4-3 shows the remapped configuration.

Figure 4-4. Multiple PWM Modules in an 2833x/2823x System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332
TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232

www.ti.com

SPRS439H–JUNE 2007–REVISED MARCH 2010

Table 4-2. ePWM Control and Status Registers (Default Configuration in PF1)

NAME	ePWM1	ePWM2	ePWM3	ePWM4	ePWM5	ePWM6	SIZE (x16) / #SHADOW	DESCRIPTION
TBCTL	0x6800	0x6840	0x6880	0x68C0	0x6900	0x6940	1/0	Time Base Control Register
TBSTS	0x6801	0x6841	0x6881	0x68C1	0x6901	0x6941	1/0	Time Base Status Register
TBPMSHR	0x6802	0x6842	0x6882	0x68C2	0x6902	0x6942	1/0	Time Base Phase HRPWM Register
TBPMS	0x6803	0x6843	0x6883	0x68C3	0x6903	0x6943	1/0	Time Base Phase Register
TBCTR	0x6804	0x6844	0x6884	0x68C4	0x6904	0x6944	1/0	Time Base Counter Register
TBPRD	0x6805	0x6845	0x6885	0x68C5	0x6905	0x6945	1/1	Time Base Period Register Set
CMPCCTL	0x6807	0x6847	0x6887	0x68C7	0x6907	0x6947	1/0	Counter Compare Control Register
CMPAHR	0x6808	0x6848	0x6888	0x68C8	0x6908	0x6948	1/1	Time Base Compare A HRPWM Register
CMPA	0x6809	0x6849	0x6889	0x68C9	0x6909	0x6949	1/1	Counter Compare A Register Set
CMPB	0x680A	0x684A	0x688A	0x68CA	0x690A	0x694A	1/1	Counter Compare B Register Set
AQCTLA	0x680B	0x684B	0x688B	0x68CB	0x690B	0x694B	1/0	Action Qualifier Control Register For Output A
AQCTLB	0x680C	0x684C	0x688C	0x68CC	0x690C	0x694C	1/0	Action Qualifier Control Register For Output B
AQSFR	0x680D	0x684D	0x688D	0x68CD	0x690D	0x694D	1/0	Action Qualifier Software Force Register
AQCSFR	0x680E	0x684E	0x688E	0x68CE	0x690E	0x694E	1/1	Action Qualifier Continuous SW Force Register Set
DBCTL	0x680F	0x684F	0x688F	0x68CF	0x690F	0x694F	1/1	Dead-Band Generator Control Register
DBRED	0x6810	0x6850	0x6890	0x68D0	0x6910	0x6950	1/0	Dead-Band Generator Rising Edge Delay Count Register
DBFED	0x6811	0x6851	0x6891	0x68D1	0x6911	0x6951	1/0	Dead-Band Generator Falling Edge Delay Count Register
TZSEL	0x6812	0x6852	0x6892	0x68D2	0x6912	0x6952	1/0	Trip Zone Select Register ⁽¹⁾
TZCTL	0x6814	0x6854	0x6894	0x68D4	0x6914	0x6954	1/0	Trip Zone Control Register ⁽¹⁾
TZEINT	0x6815	0x6855	0x6895	0x68D5	0x6915	0x6955	1/0	Trip Zone Enable Interrupt Register ⁽¹⁾
TZFLG	0x6816	0x6856	0x6896	0x68D6	0x6916	0x6956	1/0	Trip Zone Flag Register
TZCLR	0x6817	0x6857	0x6897	0x68D7	0x6917	0x6957	1/0	Trip Zone Clear Register ⁽¹⁾
TZFRC	0x6818	0x6858	0x6898	0x68D8	0x6918	0x6958	1/0	Trip Zone Force Register ⁽¹⁾
ETSEL	0x6819	0x6859	0x6899	0x68D9	0x6919	0x6959	1/0	Event Trigger Selection Register
ETPS	0x681A	0x685A	0x689A	0x68DA	0x691A	0x695A	1/0	Event Trigger Prescale Register
ETFLG	0x681B	0x685B	0x689B	0x68DB	0x691B	0x695B	1/0	Event Trigger Flag Register
ETCLR	0x681C	0x685C	0x689C	0x68DC	0x691C	0x695C	1/0	Event Trigger Clear Register
ETFRC	0x681D	0x685D	0x689D	0x68DD	0x691D	0x695D	1/0	Event Trigger Force Register
PCCTL	0x681E	0x685E	0x689E	0x68DE	0x691E	0x695E	1/0	PWM Chopper Control Register
HRCNFG	0x6820	0x6860	0x68A0	0x68E0	0x6920	0x6960	1/0	HRPWM Configuration Register ⁽¹⁾

(1) Registers that are EALLOW protected.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332
TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232



SPRS439H–JUNE 2007–REVISED MARCH 2010

www.ti.com

Table 4-3. ePWM Control and Status Registers (Remapped Configuration in PF3 - DMA-Accessible)

NAME	ePWM1	ePWM2	ePWM3	ePWM4	ePWM5	ePWM6	SIZE (x16) / #SHADOW	DESCRIPTION
TBCTL	0x5800	0x5840	0x5880	0x58C0	0x5900	0x5940	1/0	Time Base Control Register
TBSTS	0x5801	0x5841	0x5881	0x58C1	0x5901	0x5941	1/0	Time Base Status Register
TBPHSHR	0x5802	0x5842	0x5882	0x58C2	0x5902	0x5942	1/0	Time Base Phase HRPWM Register
TBPHS	0x5803	0x5843	0x5883	0x58C3	0x5903	0x5943	1/0	Time Base Phase Register
TBCTR	0x5804	0x5844	0x5884	0x58C4	0x5904	0x5944	1/0	Time Base Counter Register
TBPRD	0x5805	0x5845	0x5885	0x58C5	0x5905	0x5945	1/1	Time Base Period Register Set
CMPCNTL	0x5807	0x5847	0x5887	0x58C7	0x5907	0x5947	1/0	Counter Compare Control Register
CMPAHR	0x5808	0x5848	0x5888	0x58C8	0x5908	0x5948	1/1	Time Base Compare A HRPWM Register
CMPA	0x5809	0x5849	0x5889	0x58C9	0x5909	0x5949	1/1	Counter Compare A Register Set
CMPB	0x580A	0x584A	0x588A	0x58CA	0x590A	0x594A	1/1	Counter Compare B Register Set
AQCTLA	0x580B	0x584B	0x588B	0x58CB	0x590B	0x594B	1/0	Action Qualifier Control Register For Output A
AQCTLB	0x580C	0x584C	0x588C	0x58CC	0x590C	0x594C	1/0	Action Qualifier Control Register For Output B
AQSFR	0x580D	0x584D	0x588D	0x58CD	0x590D	0x594D	1/0	Action Qualifier Software Force Register
AQCSFR	0x580E	0x584E	0x588E	0x58CE	0x590E	0x594E	1/1	Action Qualifier Continuous SW Force Register Set
DBCTL	0x580F	0x584F	0x588F	0x58CF	0x590F	0x594F	1/1	Dead-Band Generator Control Register
DBRED	0x5810	0x5850	0x5890	0x58D0	0x5910	0x5950	1/0	Dead-Band Generator Rising Edge Delay Count Register
DBFED	0x5811	0x5851	0x5891	0x58D1	0x5911	0x5951	1/0	Dead-Band Generator Falling Edge Delay Count Register
TZSEL	0x5812	0x5852	0x5892	0x58D2	0x5912	0x5952	1/0	Trip Zone Select Register ⁽¹⁾
TZCTL	0x5814	0x5854	0x5894	0x58D4	0x5914	0x5954	1/0	Trip Zone Control Register ⁽¹⁾
TZEINT	0x5815	0x5855	0x5895	0x58D5	0x5915	0x5955	1/0	Trip Zone Enable Interrupt Register ⁽¹⁾
TZFLG	0x5816	0x5856	0x5896	0x58D6	0x5916	0x5956	1/0	Trip Zone Flag Register
TZCLR	0x5817	0x5857	0x5897	0x58D7	0x5917	0x5957	1/0	Trip Zone Clear Register ⁽¹⁾
TZFRC	0x5818	0x5858	0x5898	0x58D8	0x5918	0x5958	1/0	Trip Zone Force Register ⁽¹⁾
ETSEL	0x5819	0x5859	0x5899	0x58D9	0x5919	0x5959	1/0	Event Trigger Selection Register
ETPS	0x581A	0x585A	0x589A	0x58DA	0x591A	0x595A	1/0	Event Trigger Prescale Register
ETFLG	0x581B	0x585B	0x589B	0x58DB	0x591B	0x595B	1/0	Event Trigger Flag Register
ETCLR	0x581C	0x585C	0x589C	0x58DC	0x591C	0x595C	1/0	Event Trigger Clear Register
ETFRC	0x581D	0x585D	0x589D	0x58DD	0x591D	0x595D	1/0	Event Trigger Force Register
PCCTL	0x581E	0x585E	0x589E	0x58DE	0x591E	0x595E	1/0	PWM Chopper Control Register
HRCHFG	0x5820	0x5860	0x58A0	0x58E0	0x5920	0x5960	1/0	HRPWM Configuration Register ⁽¹⁾

(1) Registers that are EALLOW protected.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

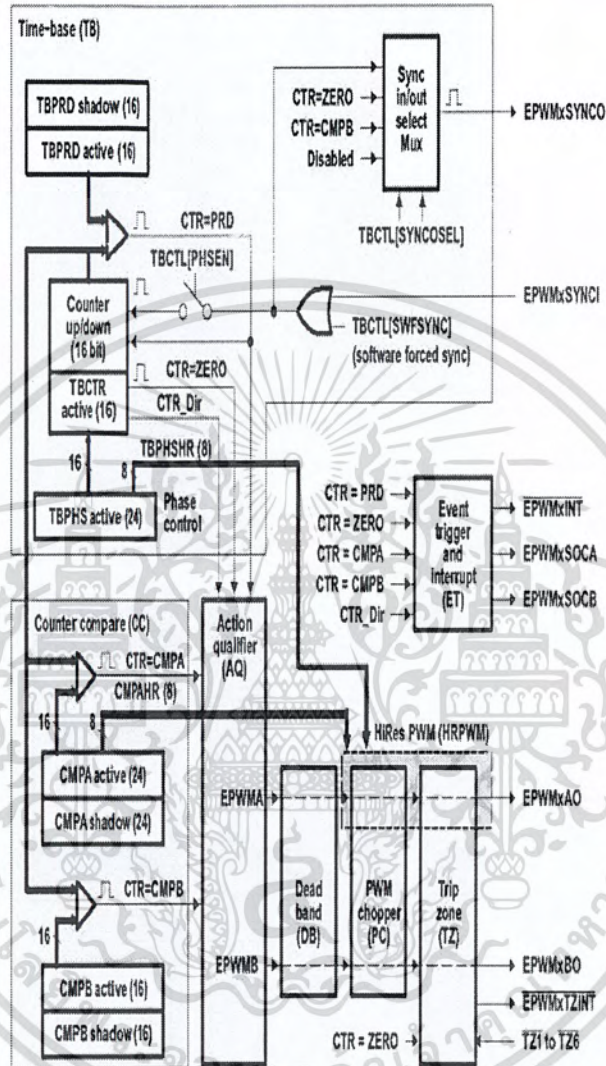


Figure 4-5. ePWM Submodules Showing Critical Internal Signal Interconnections

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4.7 Analog-to-Digital Converter (ADC) Module

A simplified functional block diagram of the ADC module is shown in Figure 4-8. The ADC module consists of a 12-bit ADC with a built-in sample-and-hold (S/H) circuit. Functions of the ADC module include:

- 12-bit ADC core with built-in S/H
- Analog input: 0.0 V to 3.0 V (Voltages above 3.0 V produce full-scale conversion results.)
- Fast conversion rate: Up to 80 ns at 25-MHz ADC clock, 12.5 MSPS
- 16 dedicated ADC channels. 8 channels multiplexed per Sample/Hold
- Autosequencing capability provides up to 16 "autoconversions" in a single session. Each conversion can be programmed to select any 1 of 16 input channels
- Sequencer can be operated as two independent 8-state sequencers or as one large 16-state sequencer (i.e., two cascaded 8-state sequencers)
- Sixteen result registers (individually addressable) to store conversion values
 - The digital value of the input analog voltage is derived by:

Digital Value = 0, when input \leq 0 V

Digital Value = $4096 \times \frac{\text{Input Analog Voltage} - \text{ADCL0}}{3}$ when $0 \text{ V} < \text{input} < 3 \text{ V}$

Digital Value = 4095, when input \geq 3 V

- Multiple triggers as sources for the start-of-conversion (SOC) sequence
 - SW - software immediate start
 - ePWM start of conversion
 - XINT2 ADC start of conversion
- Flexible interrupt control allows interrupt request on every end-of-sequence (EOS) or every other EOS.
- Sequencer can operate in "start/stop" mode, allowing multiple "time-sequenced triggers" to synchronize conversions.
- SOCA and SOCB triggers can operate independently in dual-sequencer mode.
- Sample-and-hold (S/H) acquisition time window has separate prescale control.

The ADC module in the 2833x/2823x devices has been enhanced to provide flexible interface to ePWM peripherals. The ADC interface is built around a fast, 12-bit ADC module with a fast conversion rate of up to 80 ns at 25-MHz ADC clock. The ADC module has 16 channels, configurable as two independent 8-channel modules. The two independent 8-channel modules can be cascaded to form a 16-channel module. Although there are multiple input channels and two sequencers, there is only one converter in the ADC module. Figure 4-8 shows the block diagram of the ADC module.

The two 8-channel modules have the capability to autosequence a series of conversions, each module has the choice of selecting any one of the respective eight channels available through an analog MUX. In the cascaded mode, the autosequencer functions as a single 16-channel sequencer. On each sequencer, once the conversion is complete, the selected channel value is stored in its respective RESULT register. Autosequencing allows the system to convert the same channel multiple times, allowing the user to perform oversampling algorithms. This gives increased resolution over traditional single-sampled conversion results.

TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332
TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232



SPRS439H—JUNE 2007—REVISED MARCH 2010

www.ti.com

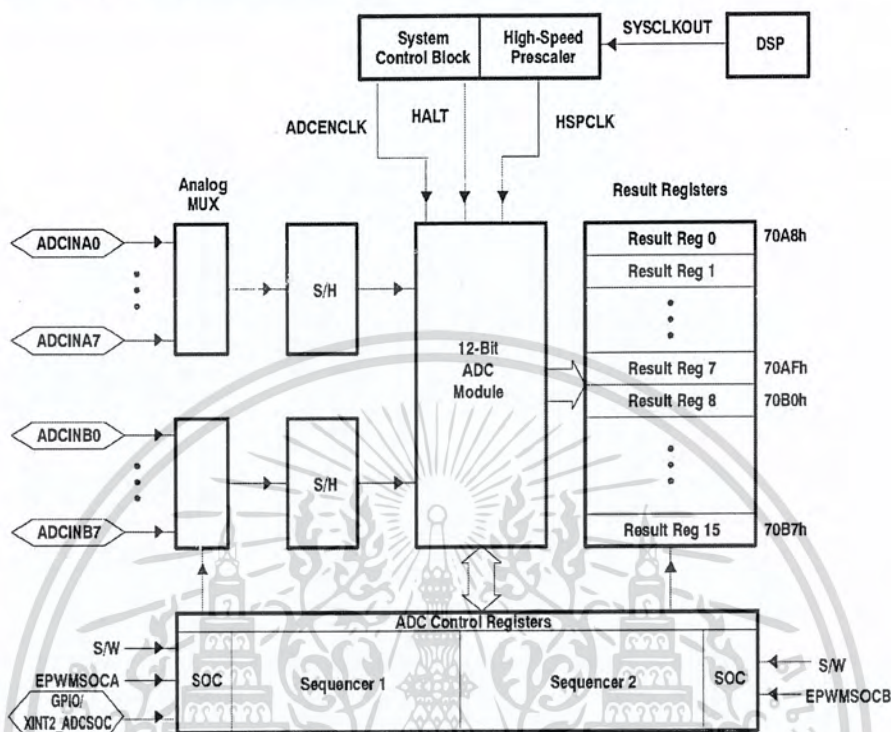


Figure 4-8. Block Diagram of the ADC Module

To obtain the specified accuracy of the ADC, proper board layout is very critical. To the best extent possible, traces leading to the ADCIN pins should not run in close proximity to the digital signal paths. This is to minimize switching noise on the digital lines from getting coupled to the ADC inputs. Furthermore, proper isolation techniques must be used to isolate the ADC module power pins (V_{DD1A18} , V_{DD2A18} , V_{DDA2} , V_{DDA1Q}) from the digital supply. Figure 4-9 shows the ADC pin connections for the devices.

NOTE

- The ADC registers are accessed at the SYSCLKOUT rate. The internal timing of the ADC module is controlled by the high-speed peripheral clock (HSPCLK).
- The behavior of the ADC module based on the state of the ADCENCLK and HALT signals is as follows:
 - **ADCENCLK:** On reset, this signal will be low. While reset is active-low (\overline{XRS}) the clock to the register will still function. This is necessary to make sure all registers and modes go into their default reset state. The analog module, however, will be in a low-power inactive state. As soon as reset goes high, then the clock to the registers will be disabled. When the user sets the ADCENCLK signal high, then the clocks to the registers will be enabled and the analog module will be enabled. There will be a certain time delay (ms range) before the ADC is stable and can be used.
 - **HALT:** This mode only affects the analog module. It does not affect the registers. In this mode, the ADC module goes into low-power mode. This mode also will stop the clock to the CPU, which will stop the HSPCLK; therefore, the ADC register logic will be turned off indirectly.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332
TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232

www.ti.com

SPRS439H—JUNE 2007—REVISED MARCH 2010

Figure 4-9 shows the ADC pin-biasing for internal reference and Figure 4-10 shows the ADC pin-biasing for external reference.

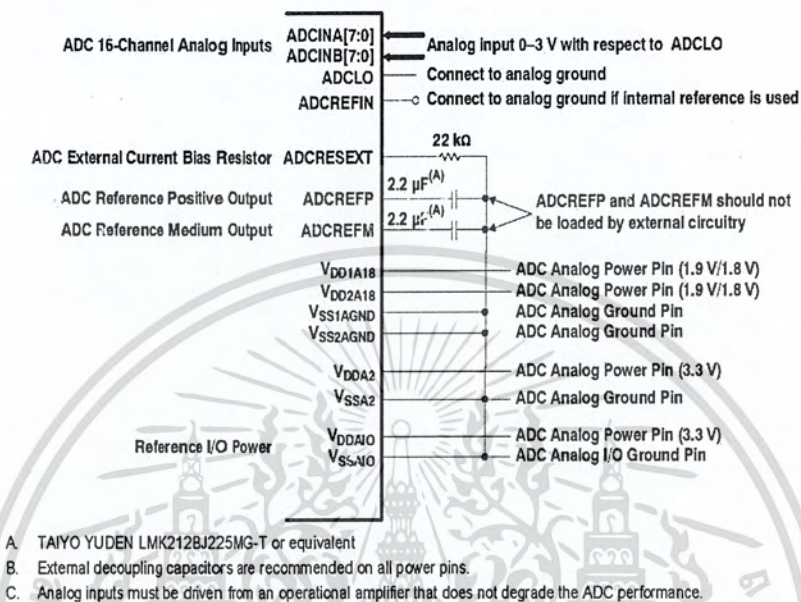
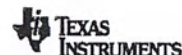


Figure 4-9. ADC Pin Connections With Internal Reference

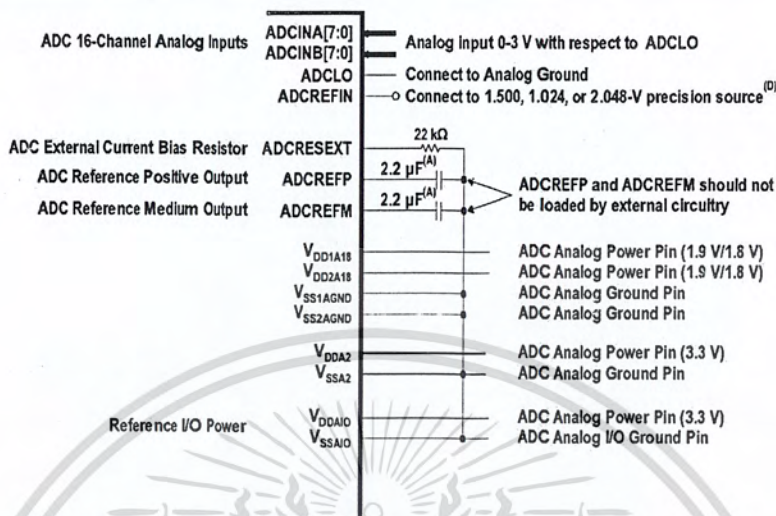
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332
 TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232



SPRS439H—JUNE 2007—REVISED MARCH 2010

www.ti.com



- A. TAIYO YUDEN LMK212BJ225MG-T or equivalent
- B. External decoupling capacitors are recommended on all power pins.
- C. Analog inputs must be driven from an operational amplifier that does not degrade the ADC performance.
- D. External voltage on ADCREFIN is enabled by changing bits 15:14 in the ADC Reference Select register depending on the voltage used on this pin. TI recommends TI part REF3020 or equivalent for 2.048-V generation. Overall gain accuracy will be determined by accuracy of this voltage source.

Figure 4-10. ADC Pin Connections With External Reference

NOTE

The temperature rating of any recommended component must match the rating of the end product.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332
TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232

www.ti.com

SPRS439H – JUNE 2007 – REVISED MARCH 2010

4.7.1 ADC Connections if the ADC Is Not Used

It is recommended to keep the connections for the analog power pins, even if the ADC is not used. Following is a summary of how the ADC pins should be connected, if the ADC is not used in an application:

- V_{DD1A1B}/V_{DD2A1B} – Connect to V_{DD}
- V_{DDA2}, V_{DDAIO} – Connect to V_{DDIO}
- $V_{SS1AGND}/V_{SS2AGND}, V_{SSA2}, V_{SSAIO}$ – Connect to V_{SS}
- $ADCLO$ – Connect to V_{SS}
- $ADCREFIN$ – Connect to V_{SS}
- $ADCREFP/ADCREFM$ – Connect a 100-nF cap to V_{SS}
- $ADCRESEXT$ – Connect a 20-k Ω resistor (very loose tolerance) to V_{SS} .
- $ADCINAn, ADCINBn$ – Connect to V_{SS}

When the ADC is not used, be sure that the clock to the ADC module is not turned on to realize power savings.

When the ADC module is used in an application, unused ADC input pins should be connected to analog ground ($V_{SS1AGND}/V_{SS2AGND}$).

NOTE

ADC parameters for gain error and offset error are specified only if the ADC calibration routine is executed from the Boot ROM. See Section 4.7.3 for more information.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TMS320F28335, TMS320F28334, TMS320F28332
TMS320F28235, TMS320F28234, TMS320F28232



SPRS439H–JUNE 2007–REVISED MARCH 2010

www.ti.com

4.7.2 ADC Registers

The ADC operation is configured, controlled, and monitored by the registers listed in Table 4-6.

Table 4-6. ADC Registers⁽¹⁾

NAME	ADDRESS ⁽¹⁾	ADDRESS ⁽²⁾	SIZE (x16)	DESCRIPTION
ADCTRL1	0x7100		1	ADC Control Register 1
ADCTRL2	0x7101		1	ADC Control Register 2
ADCMAXCONV	0x7102		1	ADC Maximum Conversion Channels Register
ADCCHSELSEQ1	0x7103		1	ADC Channel Select Sequencing Control Register 1
ADCCHSELSEQ2	0x7104		1	ADC Channel Select Sequencing Control Register 2
ADCCHSELSEQ3	0x7105		1	ADC Channel Select Sequencing Control Register 3
ADCCHSELSEQ4	0x7106		1	ADC Channel Select Sequencing Control Register 4
ADCASEQSR	0x7107		1	ADC Auto-Sequence Status Register
ADCRESULT0	0x7108	0x0B00	1	ADC Conversion Result Buffer Register 0
ADCRESULT1	0x7109	0x0B01	1	ADC Conversion Result Buffer Register 1
ADCRESULT2	0x710A	0x0B02	1	ADC Conversion Result Buffer Register 2
ADCRESULT3	0x710B	0x0B03	1	ADC Conversion Result Buffer Register 3
ADCRESULT4	0x710C	0x0B04	1	ADC Conversion Result Buffer Register 4
ADCRESULT5	0x710D	0x0B05	1	ADC Conversion Result Buffer Register 5
ADCRESULT6	0x710E	0x0B06	1	ADC Conversion Result Buffer Register 6
ADCRESULT7	0x710F	0x0B07	1	ADC Conversion Result Buffer Register 7
ADCRESULT8	0x7110	0x0B08	1	ADC Conversion Result Buffer Register 8
ADCRESULT9	0x7111	0x0B09	1	ADC Conversion Result Buffer Register 9
ADCRESULT10	0x7112	0x0B0A	1	ADC Conversion Result Buffer Register 10
ADCRESULT11	0x7113	0x0B0B	1	ADC Conversion Result Buffer Register 11
ADCRESULT12	0x7114	0x0B0C	1	ADC Conversion Result Buffer Register 12
ADCRESULT13	0x7115	0x0B0D	1	ADC Conversion Result Buffer Register 13
ADCRESULT14	0x7116	0x0B0E	1	ADC Conversion Result Buffer Register 14
ADCRESULT15	0x7117	0x0B0F	1	ADC Conversion Result Buffer Register 15
ADCTRL3	0x7118		1	ADC Control Register 3
ADCST	0x7119		1	ADC Status Register
Reserved	0x711A – 0x711B		2	
ADCFSEL	0x711C		1	ADC Reference Select Register
ADCOFFTRIM	0x711D		1	ADC Offset Trim Register
Reserved	0x711E – 0x711F		2	

(1) The registers in this column are Peripheral Frame 2 Registers.

(2) The ADC result registers are dual mapped. Locations in Peripheral Frame 2 (0x7108–0x7117) are 2 wait-states and left justified. Locations in Peripheral frame 0 space (0x0B00–0x0B0F) are 1 wait-state for CPU accesses and 0 wait state for DMA accesses and right justified. During high speed/continuous conversion use of the ADC, use the 0 wait-state locations for fast transfer of ADC results to user memory.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



อุปกรณ์วัดระดับแรงดัน

LV 25-P

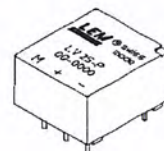
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Voltage Transducer LV 25-P

For the electronic measurement of voltages : DC, AC, pulsed..., with a galvanic isolation between the primary circuit (high voltage) and the secondary circuit (electronic circuit).

$$I_{PN} = 10 \text{ mA}$$

$$V_{PN} = 10 \dots 500 \text{ V}$$



Electrical data

I_{PN}	Primary nominal r.m.s. current	10	mA			
I_p	Primary current, measuring range	0 .. ± 14	mA			
R_M	Measuring resistance	R_{Mmin}	R_{Mmax}			
				with $\pm 12 \text{ V}$	@ $\pm 10 \text{ mA}_{max}$	30
			@ $\pm 14 \text{ mA}_{max}$	30	100	Ω
		with $\pm 15 \text{ V}$	@ $\pm 10 \text{ mA}_{max}$	100	350	Ω
	@ $\pm 14 \text{ mA}_{max}$	100	190	Ω		
I_{SN}	Secondary nominal r.m.s. current	25	mA			
K_N	Conversion ratio	2500 : 1000				
V_C	Supply voltage ($\pm 5\%$)	$\pm 12 \dots 15$	V			
I_C	Current consumption	10 (@ $\pm 15 \text{ V}$) + I_S	mA			
V_d	R.m.s. voltage for AC isolation test ¹⁾ , 50 Hz, 1 mn	2.5	kV			

Accuracy - Dynamic performance data

X_G	Overall Accuracy @ $I_{PN}, T_A = 25^\circ\text{C}$	@ $\pm 12 \dots 15 \text{ V}$	± 0.9	%
		@ $\pm 15 \text{ V} (\pm 5\%)$	± 0.8	%
E_L	Linearity		< 0.2	%
I_o	Offset current @ $I_p = 0, T_A = 25^\circ\text{C}$	Typ	Max	
			± 0.15	mA
I_{OT}	Thermal drift of I_o	0°C .. + 25°C	± 0.06	± 0.25 mA
		+ 25°C .. + 70°C	± 0.10	± 0.35 mA
t_r	Response time ²⁾ @ 90% of V_{pmax}	40		μs

General data

T_A	Ambient operating temperature	0 .. + 70	$^\circ\text{C}$
T_S	Ambient storage temperature	- 25 .. + 85	$^\circ\text{C}$
R_p	Primary coil resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	250	Ω
R_s	Secondary coil resistance @ $T_A = 70^\circ\text{C}$	110	Ω
m	Mass	22	g
	Standards ³⁾	EN 50178	

Features

- Closed loop (compensated) voltage transducer using the Hall effect
- Insulated plastic case recognized according to UL 94-V0.

Principle of use

- For voltage measurements, a current proportional to the measured voltage must be passed through an external resistor R , which is selected by the user and installed in series with the primary circuit of the transducer.

Advantages

- Excellent accuracy
- Very good linearity
- Low thermal drift
- Low response time
- High bandwidth
- High immunity to external interference
- Low disturbance in common mode.

Applications

- AC variable speed drives and servo motor drives
- Static converters for DC motor drives
- Battery supplied applications
- Uninterruptible Power Supplies (UPS)
- Power supplies for welding applications.

Notes : ¹⁾ Between primary and secondary

²⁾ $R_1 = 25 \text{ k}\Omega$ (L/R constant, produced by the resistance and inductance of the primary circuit)

³⁾ A list of corresponding tests is available

981125/14

LEM Components

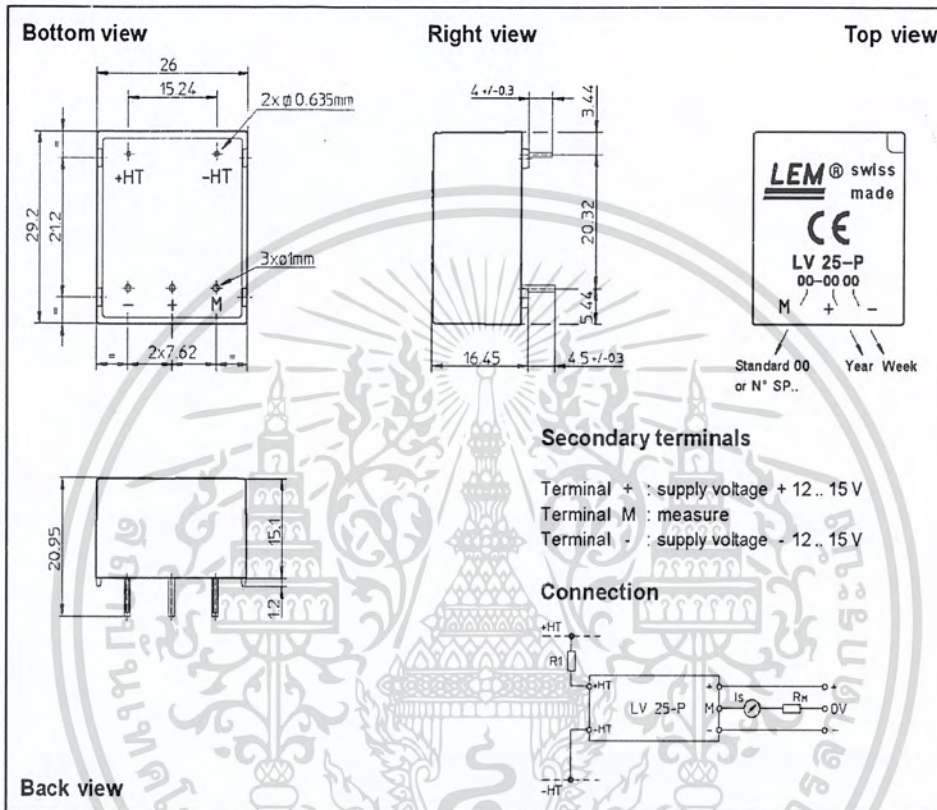
www.lem.com

Tope Co., Ltd. Tel: (02) 8228-0658 Fax: (02) 8228-0659 http://www.sensor.com.tw e-mail: tope@ms1.hinet.net

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Dimensions LV 25-P (in mm. 1 mm = 0.0394 inch)



Mechanical characteristics

- General tolerance ± 0.2 mm
- Fastening & connection of primary 2 pins
0.635 x 0.635 mm
- Fastening & connection of secondary 3 pins $\varnothing 1$ mm
- Recommended PCB hole 1.2 mm

Remarks

- I_s is positive when V_p is applied on terminal +HT.
- This is a standard model. For different versions (supply voltages, turns ratios, unidirectional measurements...), please contact us.

Instructions for use of the voltage transducer model LV 25-P

Primary resistor R_1 : the transducer's optimum accuracy is obtained at the nominal primary current. As far as possible, R_1 should be calculated so that the nominal voltage to be measured corresponds to a primary current of 10 mA.

Example: Voltage to be measured $V_{Pt} = 250$ V

a) $R_1 = 25 \text{ k}\Omega / 2.5 \text{ W}, I_p = 10 \text{ mA}$	Accuracy = $\pm 0.8 \%$ of V_{Pt} (@ $T_A = +25^\circ\text{C}$)
b) $R_1 = 50 \text{ k}\Omega / 1.25 \text{ W}, I_p = 5 \text{ mA}$	Accuracy = $\pm 1.6 \%$ of V_{Pt} (@ $T_A = +25^\circ\text{C}$)

Operating range (recommended): taking into account the resistance of the primary windings (which must remain low compared to R_1 in order to keep thermal deviation as low as possible) and the isolation, this transducer is suitable for measuring nominal voltages from 10 to 500 V.

LEM reserves the right to carry out modifications on its transducers, in order to improve them, without previous notice.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Power MOSFET

IRFP 460

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IXYS

MegaMOS™ Power MOSFET

IRFP 460

$V_{DSS} = 500 \text{ V}$

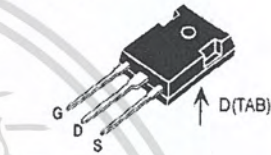
$I_{D(cont)} = 20 \text{ A}$

$R_{DS(on)} = 0.27 \Omega$

N-Channel Enhancement Mode, HDMOS™ Family



Symbol	Test Conditions	Maximum Ratings	TO-247 AD
V_{DSS}	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C	500	V
V_{DSR}	$T_J = 25^\circ\text{C}$ to 150°C ; $R_{GS} = 1 \text{ M}\Omega$	500	V
V_{GS}	Continuous	± 20	V
V_{GSM}	Transient	± 30	V
I_{D25}	$T_C = 25^\circ\text{C}$	20	A
I_{DM}	$T_C = 25^\circ\text{C}$, pulse width limited by T_{JM}	80	A
I_{AR}		20	A
E_{AR}	$T_C = 25^\circ\text{C}$	28	mJ
dv/dt	$I_D \leq I_{DM}$, $dI/dt \leq 100 \text{ A}/\mu\text{s}$, $V_{DS} \leq V_{DSS}$, $T_J \leq 150^\circ\text{C}$, $R_G = 2 \Omega$	3.5	V/ns
P_D	$T_C = 25^\circ\text{C}$	260	W
T_J		-55 ... +150	$^\circ\text{C}$
T_{JM}		150	$^\circ\text{C}$
T_{stg}		-55 ... +150	$^\circ\text{C}$
M_J	Mounting torque	1.15/10	Nm/lb.in.
Weight		6	g
Maximum lead temperature for soldering 1.6 mm (0.062 in.) from case for 10 s		300	$^\circ\text{C}$



G = Gate, D = Drain,
S = Source, TAB = Drain

Features

- Repetitive avalanche energy rated
- Fast switching times
- Low $R_{DS(on)}$ HDMOS™ process
- Rugged polysilicon gate cell structure
- High Commutating dv/dt Rating

Applications

- Switching Power Supplies
- Motor controls

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)		
		min.	typ.	max.
V_{DSS}	$V_{GS} = 0 \text{ V}$, $I_D = 250 \mu\text{A}$	500		V
$V_{GS(th)}$	$V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = 250 \mu\text{A}$	2		4 V
I_{GSS}	$V_{GS} = \pm 20 \text{ V}_{DC}$, $V_{DS} = 0$			$\pm 100 \text{ nA}$
I_{DSS}	$V_{DS} = 0.8 \cdot V_{DSS}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ $V_{GS} = 0 \text{ V}$, $T_J = 125^\circ\text{C}$			25 μA 250 μA
$R_{DS(on)}$	$V_{GS} = 10 \text{ V}$, $I_D = 12 \text{ A}$ Pulse test, $t \leq 300 \mu\text{s}$, duty cycle $d \leq 2\%$	0.25	0.27	Ω

IXYS reserves the right to change limits, test conditions, and dimensions.

92825D (5/98)

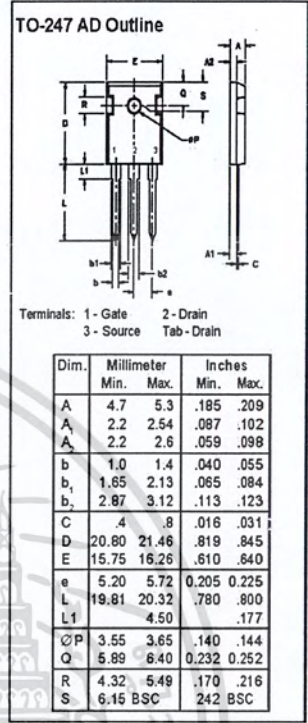
© 2000 IXYS All rights reserved

1 - 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

IXYS **IRFP 460**

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)		
		min.	typ.	max.
g_{fs}	$V_{GS} = 10\text{ V}; I_D = 12\text{ A}$, pulse test	13	21	S
C_{iss}	$V_{GS} = 0\text{ V}, V_{DS} = 25\text{ V}, f = 1\text{ MHz}$		4200	pF
C_{oss}			450	pF
C_{rss}			135	pF
$t_{d(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}, V_{DS} = 250\text{ V}, I_D = 20\text{ A}$ $R_G = 4.3\ \Omega$, (External)		23	35 ns
t_r			81	120 ns
$t_{d(off)}$			85	130 ns
t_f			65	98 ns
$Q_{g(on)}$	$V_{GS} = 10\text{ V}, V_{DS} = 200\text{ V}, I_D = 20\text{ A}$		135	210 nC
Q_{gs}			28	40 nC
Q_{gd}			62	110 nC
R_{thJC}			0.45	K/W
R_{thCK}			0.25	K/W



Source-Drain Diode

Symbol	Test Conditions	Characteristic Values ($T_J = 25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified)		
		min.	typ.	max.
I_S	$V_{GS} = 0\text{ V}$			20 A
I_{SM}	Repetitive; pulse width limited by T_{JM}			80 A
V_{SD}	$I_f = 20\text{ A}, V_{GS} = 0\text{ V}$, Pulse test, $t \leq 300\ \mu\text{s}$, duty cycle $d \leq 2\%$			1.8 V
t_{rr}	$I_f = 20\text{ A}, -di/dt = 100\text{ A}/\mu\text{s}, V_R = 100\text{ V}$		570	860 ns
Q_{rr}			5.7	μC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

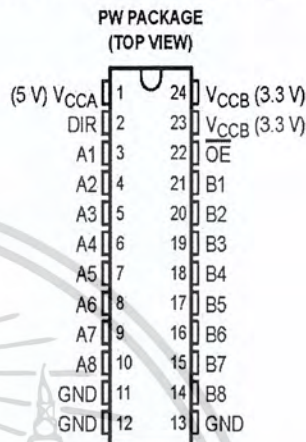
SN74LVC4245A-EP

OCTAL BUS TRANSCEIVER AND 3.3-V TO 5-V SHIFTER WITH 3-STATE OUTPUTS

SCAS742 – DECEMBER 2003

- **Controlled Baseline**
 - One Assembly/Test Site, One Fabrication Site
 - **Enhanced Diminishing Manufacturing Sources (DMS) Support**
 - **Enhanced Product-Change Notification**
 - **Qualification Pedigree†**
 - **Bidirectional Voltage Translator**
 - **5.5 V on A Port and 2.7 V to 3.6 V on B Port**
 - **Latch-Up Performance Exceeds 250 mA Per JESD 17**
- **ESD Protection Exceeds JESD 22**
 - 2000-V Human-Body Model (A114-A)
 - 200-V Machine Model (A115-A)
 - 1000-V Charged-Device Model (C101)

† Component qualification in accordance with JEDEC and industry standards to ensure reliable operation over an extended temperature range. This includes, but is not limited to, Highly Accelerated Stress Test (HAST) or biased 85/85, temperature cycle, autoclave or unbiased HAST, electromigration, bond intermetallic life, and mold compound life. Such qualification testing should not be viewed as justifying use of this component beyond specified performance and environmental limits.



description/ordering information

This 8-bit (octal) noninverting bus transceiver contains two separate supply rails; B port has V_{CCB} , which is set at 3.3 V, and A port has V_{CCA} , which is set at 5 V. This allows for translation from a 3.3-V to a 5-V environment, and vice versa.

The SN74LVC4245A is designed for asynchronous communication between data buses. The device transmits data from the A bus to the B bus or from the B bus to the A bus, depending on the logic level at the direction-control (DIR) input. The output-enable (\overline{OE}) input can be used to disable the device so the buses are effectively isolated.

The SN74LVC4245A pinout allows the designer to switch to a normal all-3.3-V or all-5-V 20-pin '245 device without board re-layout. The designer uses the data paths for pins 2–11 and 14–23 of the SN74LVC4245A to align with the conventional '245 pinout.

ORDERING INFORMATION

TA	PACKAGE‡	ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
-40°C to 85°C	TSSOP - PW / Reel of 2000	SN74LVC4245AIPWREP	C4245AEP

‡ Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

FUNCTION TABLE

INPUTS		OPERATION
\overline{OE}	DIR	
L	L	B data to A bus
L	H	A data to B bus
H	X	Isolation



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



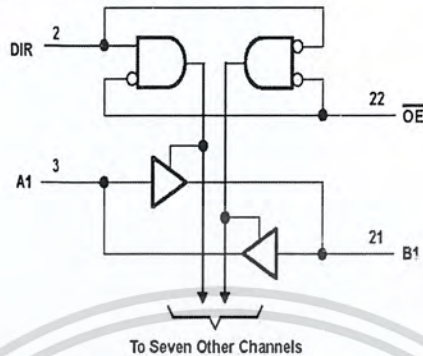
Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ...
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN74LVC4245A-EP
OCTAL BUS TRANSCEIVER AND 3.3-V TO 5-V SHIFTER
WITH 3-STATE OUTPUTS

SCAS742 - DECEMBER 2003

logic diagram (positive logic)



absolute maximum ratings over operating free-air temperature range for $V_{CCA} = 4.5\text{ V to }5.5\text{ V}$ (unless otherwise noted)[†]

Supply voltage range, V_{CCA}	-0.5 V to 6.5 V
Input voltage range, V_I : A port (see Note 1)	-0.5 V to $V_{CCA} + 0.5\text{ V}$
Control inputs	-0.5 V to 6 V
Output voltage range, V_O : A port (see Note 1)	-0.5 V to $V_{CCA} + 0.5\text{ V}$
Input clamp current, I_{IK} ($V_I < 0$)	-50 mA
Output clamp current, I_{OK} ($V_O < 0$)	-50 mA
Continuous output current, I_O	±50 mA
Continuous current through each V_{CCA} or GND	±100 mA
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2)	88°C/W
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

[†] Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. This value is limited to 6 V maximum.

2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range for $V_{CCB} = 2.7\text{ V to }3.6\text{ V}$ (unless otherwise noted)[†]

Supply voltage range, V_{CCB}	-0.5 V to 4.6 V
Input voltage range, V_I : B port (see Note 3)	-0.5 V to $V_{CCB} + 0.5\text{ V}$
Output voltage range, V_O : B port (see Note 3)	-0.5 V to $V_{CCB} + 0.5\text{ V}$
Input clamp current, I_{IK} ($V_I < 0$)	-50 mA
Output clamp current, I_{OK} ($V_O < 0$)	-50 mA
Continuous output current, I_O	±50 mA
Continuous current through V_{CCB} or GND	±100 mA
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2)	88°C/W
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

[†] Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

3. This value is limited to 4.6 V maximum.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

SN74LVC4245A-EP
OCTAL BUS TRANSCEIVER AND 3.3-V TO 5-V SHIFTER
WITH 3-STATE OUTPUTS
SCAS742 - DECEMBER 2003

recommended operating conditions for $V_{CCA} = 4.5\text{ V to }5.5\text{ V}$ (see Note 4)

	MIN	MAX	UNIT
V_{CCA} Supply voltage	4.5	5.5	V
V_{IH} High-level input voltage	2		V
V_{IL} Low-level input voltage		0.8	V
V_I Input voltage	0	V_{CCA}	V
V_O Output voltage	0	V_{CCA}	V
I_{OH} High-level output current		-24	mA
I_{OL} Low-level output current		24	mA
T_A Operating free-air temperature	-40	85	°C

NOTE 4: All unused inputs of the device must be held at the associated V_{CC} or GND to ensure proper device operation. Refer to the TI application report, *Implications of Slow or Floating CMOS Inputs*, literature number SCBA004.

recommended operating conditions for $V_{CCB} = 2.7\text{ V to }3.6\text{ V}$ (see Note 4)

	MIN	MAX	UNIT
V_{CCB} Supply voltage	2.7	3.6	V
V_{IH} High-level input voltage	$V_{CCB} = 2.7\text{ V to }3.6\text{ V}$	2	V
V_{IL} Low-level input voltage	$V_{CCB} = 2.7\text{ V to }3.6\text{ V}$	0.8	V
V_I Input voltage	0	V_{CCB}	V
V_O Output voltage	0	V_{CCB}	V
I_{OH} High-level output current	$V_{CCB} = 2.7\text{ V}$	-12	mA
	$V_{CCB} = 3\text{ V}$	-24	
I_{OL} Low-level output current	$V_{CCB} = 2.7\text{ V}$	12	mA
	$V_{CCB} = 3\text{ V}$	24	
T_A Operating free-air temperature	-40	85	°C

NOTE 4: All unused inputs of the device must be held at the associated V_{CC} or GND to ensure proper device operation. Refer to the TI application report, *Implications of Slow or Floating CMOS Inputs*, literature number SCBA004.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN74LVC4245A-EP
OCTAL BUS TRANSCEIVER AND 3.3-V TO 5-V SHIFTER
WITH 3-STATE OUTPUTS

SCAS742 - DECEMBER 2003

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range for $V_{CCA} = 4.5\text{ V to }5.5\text{ V}$ (unless otherwise noted) (see Note 5)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	V_{CCA}	MIN	TYP†	MAX	UNIT
V_{OH}	$I_{OH} = -100\ \mu\text{A}$	4.5 V	4.3			V
		5.5 V	5.3			
	$I_{OH} = -24\ \text{mA}$	4.5 V	3.7			
		5.5 V	4.7			
V_{OL}	$I_{OL} = 100\ \mu\text{A}$	4.5 V			0.2	V
		5.5 V			0.2	
	$I_{OL} = 24\ \text{mA}$	4.5 V			0.55	
		5.5 V			0.55	
I_I	Control inputs $V_I = V_{CCA}$ or GND	5.5 V			± 1	μA
I_{OZ}^\ddagger	A port $V_O = V_{CCA}$ or GND	5.5 V			± 5	μA
I_{CCA}	$V_I = V_{CCA}$ or GND, $I_O = 0$	5.5 V			80	μA
ΔI_{CCA}^\S	One input at 3.4 V, Other inputs at V_{CCA} or GND	5.5 V			1.5	mA
C_i	Control inputs $V_I = V_{CCA}$ or GND	Open		5		pF
C_{io}	A port $V_O = V_{CCA}$ or GND	5 V		11		pF

† All typical values are measured at $V_{CC} = 5\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$.

‡ For I/O ports, the parameter I_{OZ} includes the input leakage current.

§ This is the increase in supply current for each input that is at one of the specified TTL voltage levels, rather than 0 V or the associated V_{CC} .

NOTE 5: $V_{CCB} = 2.7\text{ V to }3.6\text{ V}$

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range for $V_{CCB} = 2.7\text{ V to }3.6\text{ V}$ (unless otherwise noted) (see Note 6)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	V_{CCB}	MIN	TYP†	MAX	UNIT
V_{OH}	$I_{OH} = -100\ \mu\text{A}$	2.7 V to 3.6 V	$V_{CC} - 0.2$			V
		2.7 V	2.2			
	$I_{OH} = -12\ \text{mA}$	3 V	2.4			
		3 V	2			
V_{OL}	$I_{OL} = 100\ \mu\text{A}$	2.7 V to 3.6 V			0.2	V
		2.7 V			0.4	
	$I_{OL} = 24\ \text{mA}$	3 V			0.55	
I_{OZ}^\ddagger	B port $V_O = V_{CCB}$ or GND	3.6 V			± 5	μA
I_{CCB}	$V_I = V_{CCB}$ or GND, $I_O = 0$	3.6 V			50	μA
ΔI_{CCB}^\S	One input at $V_{CCB} - 0.6\text{ V}$, Other inputs at V_{CCB} or GND	2.7 V to 3.6 V			0.5	mA
C_{io}	B port $V_O = V_{CCB}$ or GND	3.3 V		11		pF

‡ For I/O ports, the parameter I_{OZ} includes the input leakage current.

§ This is the increase in supply current for each input that is at one of the specified TTL voltage levels, rather than 0 V or the associated V_{CC} .

† All typical values are measured at $V_{CC} = 3.3\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$.

NOTE 6: $V_{CCA} = 5\text{ V} \pm 0.5\text{ V}$



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN74LVC4245A-EP
OCTAL BUS TRANSCEIVER AND 3.3-V TO 5-V SHIFTER
WITH 3-STATE OUTPUTS
SCAS742 – DECEMBER 2003

switching characteristics over recommended operating free-air temperature range, $C_L = 50$ pF (unless otherwise noted) (see Figures 1 and 2)

PARAMETER	FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	$V_{CCA} = 5V \pm 0.5V$, $V_{CCB} = 2.7V$ TO $3.6V$		UNIT
			MIN	MAX	
t_{PHL}	A	B	1	6.3	ns
t_{PLH}			1	6.7	
t_{PHL}	B	A	1	6.1	ns
t_{PLH}			1	5	
t_{PZL}	\overline{OE}	A	1	9	ns
t_{PZH}			1	8.1	
t_{PZL}	\overline{OE}	B	1	8.8	ns
t_{PZH}			1	9.8	
t_{PLZ}	\overline{OE}	A	1	7	ns
t_{PHZ}			1	5.8	
t_{PLZ}	\overline{OE}	B	1	7.7	ns
t_{PHZ}			1	7.8	

operating characteristics, $V_{CCA} = 4.5V$ to $5.5V$, $V_{CCB} = 2.7V$ to $3.6V$, $T_A = 25^\circ C$

PARAMETER		TEST CONDITIONS		TYP	UNIT
C_{pd}	Power dissipation capacitance per transceiver	Outputs enabled	$C_L = 0$, $f = 10$ MHz	39.5	pF
		Outputs disabled		5	

power-up considerations†

TI level-translation devices offer an opportunity for successful mixed-voltage signal design. A proper power-up sequence always should be followed to avoid excessive supply current, bus contention, oscillations, or other anomalies caused by improperly biased device pins. Take these precautions to guard against such power-up problems.

1. Connect ground before any supply voltage is applied.
2. Power up the control side of the device (V_{CCA} for all four of these devices).
3. Tie \overline{OE} to V_{CCA} with a pullup resistor so that it ramps with V_{CCA} .
4. Depending on the direction of the data path, DIR can be high or low. If DIR high is needed (A data to B bus), ramp it with V_{CCA} . Otherwise, keep DIR low.

† Refer to the TI application report, *Texas Instruments Voltage-Level-Translation Devices*, literature number SCEA021.



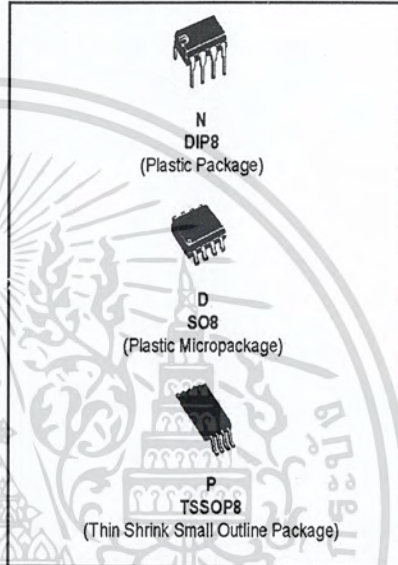
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



TL082
TL082A - TL082B

**GENERAL PURPOSE J-FET
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**

- WIDE COMMON-MODE (UP TO V_{CC}^+) AND DIFFERENTIAL VOLTAGE RANGE
- LOW INPUT BIAS AND OFFSET CURRENT
- OUTPUT SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- HIGH INPUT IMPEDANCE J-FET INPUT STAGE
- INTERNAL FREQUENCY COMPENSATION
- LATCH UP FREE OPERATION
- HIGH SLEW RATE : $16V/\mu s$ (typ)



DESCRIPTION

The TL082, TL082A and TL082B are high speed J-FET input dual operational amplifiers incorporating well matched, high voltage J-FET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset current, and low offset voltage temperature coefficient.

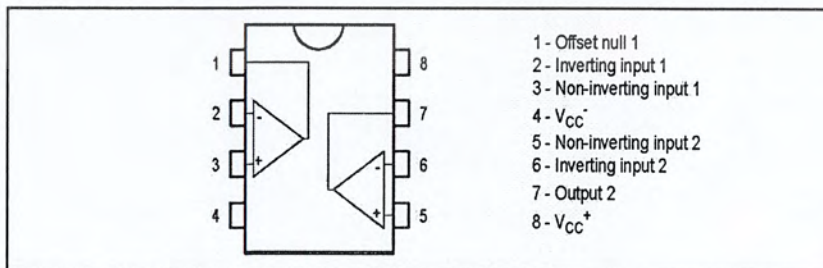
ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package		
		N	D	P
TL082M/AM/BM	-55°C, +125°C	•	•	•
TL082I/AI/BI	-40°C, +105°C	•	•	•
TL082C/AC/BC	0°C, +70°C	•	•	•

Example : TL082CD, TL082IN

N = Dual in Line Package (DIP)
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)
P = Thin Shrink Small Outline Package (TSSOP) - only available in Tape & Reel (PT)

PIN CONNECTIONS (top view)



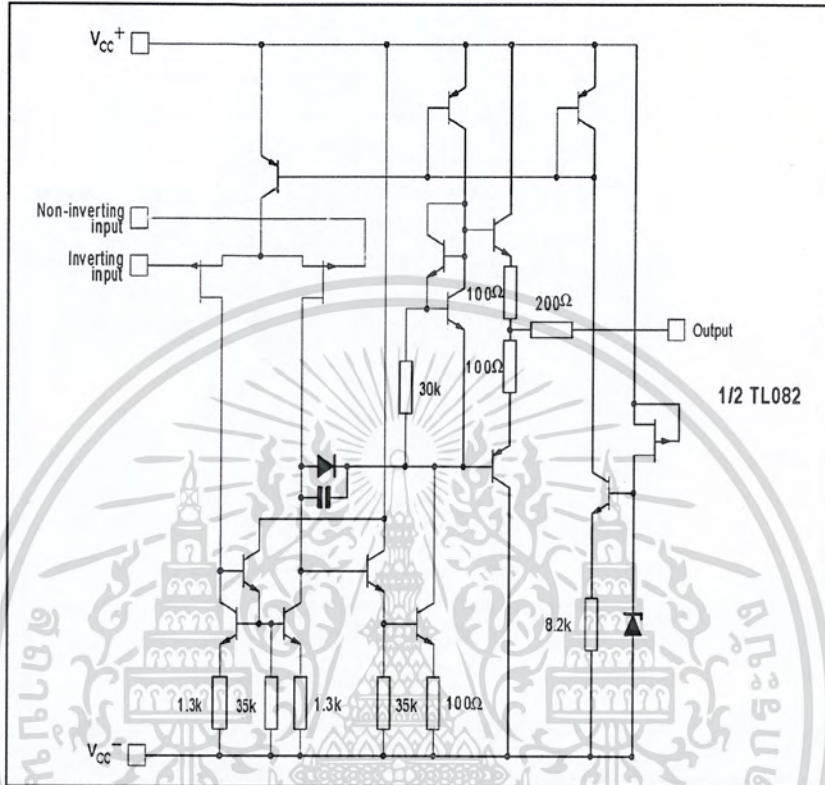
March 2002

1/11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL082 - TL082A - TL082B

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	TL082M, AM, BM	TL082I, AI, BI	TL082C, AC, BC	Unit
V_{CC}	Supply voltage - note 1)		±18		V
V_i	Input Voltage - note 2)		±15		V
V_{id}	Differential Input Voltage - note 3)		±30		V
P_{tot}	Power Dissipation		680		mW
	Output Short-circuit Duration - note 4)		Infinite		
T_{oper}	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
T_{stg}	Storage Temperature Range		-65 to +150		°C

1. All voltage values, except differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-} .
2. The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.
3. Differential voltages are the non-inverting input terminal with respect to the inverting input terminal.
4. The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

TL082 - TL082A - TL082B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $V_{CC} = \pm 15V$, $T_{amb} = +25^{\circ}C$ (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	TL082I,M,AC,AI,AM, BC,BI,BM			TL082C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
V_{io}	Input Offset Voltage ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		3 3 1	10 6 3		3	10	mV
							13	
DV_{io}	Input Offset Voltage Drift		10			10		$\mu V/^{\circ}C$
I_{io}	Input Offset Current - note 1) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		5	100 4		5	100 10	pA nA
I_{ib}	Input Bias Current -note 1 $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		20	200 20		20	400 20	pA nA
A_{vd}	Large Signal Voltage Gain ($R_L = 2k\Omega$, $V_o = \pm 10V$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	200		25 15	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		70 70	86		dB
I_{CC}	Supply Current, no load $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1.4	2.5 2.5		1.4	2.5 2.5	mA
V_{icm}	Input Common Mode Voltage Range	± 11	+15 -12		± 11	+15 -12		V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ($R_S = 50\Omega$) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	80 80	86		70 70	86		dB
I_{os}	Output Short-circuit Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	10 10	40	60 60	10 10	40	60 60	mA
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$							V
SR	Slew Rate ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10V$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain		8	16		8	16	$V/\mu s$
t_r	Rise Time ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain			0.1		0.1		μs
K_{ov}	Overshoot ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 20mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, unity gain			10		10		%
GBP	Gain Bandwidth Product ($T_{amb} = +25^{\circ}C$) $V_{in} = 10mV$, $R_L = 2k\Omega$, $C_L = 100pF$, $f = 100kHz$	2.5	4		2.5	4		MHz
R_i	Input Resistance		10^{12}			10^{12}		Ω



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TL082 - TL082A - TL082B

Symbol	Parameter	TL082I,M,AC,AI,AM,BC,BI,BM			TL082C			Unit
		Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	
THD	Total Harmonic Distortion ($T_{amb} = +25^{\circ}C$), $f = 1kHz, R_L = 2k\Omega, C_L = 100pF, A_v = 20dB,$ $V_o = 2V_{pp}$		0.01			0.01		%
e_n	Equivalent Input Noise Voltage $R_S = 100\Omega, f = 1KHz$		15			15		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
ϕ_m	Phase Margin		45			45		degrees
V_{oi}/V_{o2}	Channel Separation $A_v = 100$		120			120		dB

1. The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every 10°C increase in the junction temperature.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Very High CMR, Wide V_{CC} Logic Gate Optocouplers

Technical Data

HCPL-2201	HCPL-2202
HCPL-2211	HCPL-2212
HCPL-2231	HCPL-2232
HCPL-0201	HCPL-0211
HCNW2201	HCNW2211

Features

- 1C kV/μs Minimum Common Mode Rejection (CMR) at V_{CM} = 1000 V (HCPL-2211/2212/0211/2232, HCNW2211)
- Wide Operating V_{CC} Range: 4.5 to 20 Volts
- 300 ns Propagation Delay Guaranteed over the Full Temperature Range
- 5 Mbd Typical Signal Rate
- Low Input Current (1.6 mA to 1.8 mA)
- Hysteresis
- Totem Pole Output (No Pullup Resistor Required)
- Available in 8-Pin DIP, SOIC-8, Widebody Packages
- Guaranteed Performance from -40°C to 85°C
- Safety Approval
UL Recognized -2500 V rms for 1 minute (5000 V rms for 1 minute for HCNW22XX) per UL1577
CSA Approved
VDE 0884 Approved with V_{IORM} = 630 V_{peak} (HCPL-2211/2212 Option 060 only) and V_{IORM} = 1414 V_{peak} (HCNW22XX only)
BSI Certified (HCNW22XX only)

- MIL-STD-1772 Version Available (HCPL-52XX/62XX)

Applications

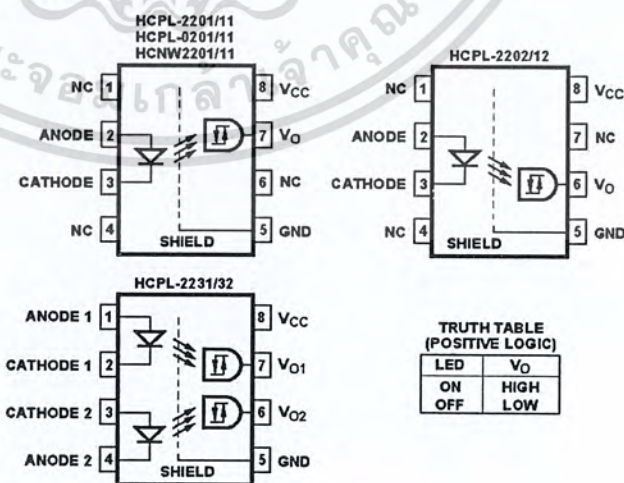
- Isolation of High Speed Logic Systems
- Computer-Peripheral Interfaces
- Microprocessor System Interfaces
- Ground Loop Elimination
- Pulse Transformer Replacement
- High Speed Line Receiver
- Power Control Systems

Description

The HCPL-22XX, HCPL-02XX, and HCNW22XX are optically-coupled logic gates. The HCPL-22XX, and HCPL-02XX contain a GaAsP LED while the HCNW22XX contains an AlGaAs LED. The detectors have totem pole output stages and optical receiver input stages with built-in Schmitt triggers to provide logic-compatible waveforms, eliminating the need for additional waveshaping.

A superior internal shield on the HCPL-2211/12, HCPL-0211,

Functional Diagram



TRUTH TABLE (POSITIVE LOGIC)

LED	V _O
ON	HIGH
OFF	LOW

A 0.1 μF bypass capacitor must be connected between pins 5 and 8.

CAUTION: It is advised that normal static precautions be taken in handling and assembly of this component to prevent damage and/or degradation which may be induced by ESD.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HCPL-2232 and HCNW2211 guarantees common mode transient immunity of 10 kV/μs at a common mode voltage of 1000 volts.

The electrical and switching characteristics of the HCPL-22XX, HCPL-02XX and HCNW22XX are guaranteed from -40°C to +85°C and a V_{CC} from 4.5 volts to 20 volts. Low I_F and

wide V_{CC} range allow compatibility with TTL, LSTTL, and CMOS logic and result in lower power consumption compared to other high speed couplers. Logic signals are transmitted with a typical propagation delay of 150 ns.

Selection Guide

Minimum CMR		Input On-Current (mA)	8-Pin DIP (300 Mil)		Small-Outline SO-8	Widebody (400 Mil)	Hermetic
dV/dt (V/μs)	V _{CM} (V)		Single Channel Package	Dual Channel Package	Single Channel Package	Single Channel Package	Single and Dual Channel Packages
1,000	50	1.6	HCPL-2200 ^[1,2] HCPL-2201 HCPL-2202		HCPL-0201	HCNW2201	
		1.8		HCPL-2231			
2,500	400	1.6	HCPL-2219 ^[1,2]				
5,000 ^[3]	300 ^[3]	1.6	HCPL-2211 HCPL-2212		HCPL-0211	HCNW2211	
		1.8		HCPL-2232			
1,000	50	2.0					HCPL-52XX ^[2] HCPL-62XX ^[2]

Notes:

1. HCPL-2200/2219 devices include output enable/disable function.
2. Technical data for the HCPL-2200/2219, HCPL-52XX and HCPL-62XX are on separate HP publications.
3. Minimum CMR of 10 kV/μs with V_{CM} = 1000 V can be achieved with input current, I_F, of 5 mA.

Ordering Information

Specify Part Number followed by Option Number (if desired).

Example:

HCPL-2211#XXX

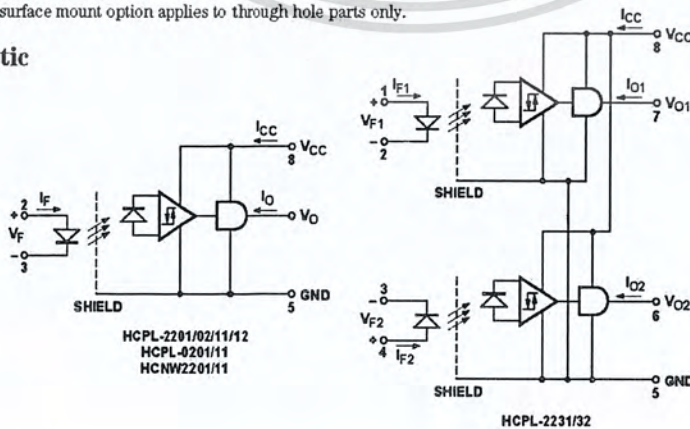
- 060 = VDE 0884 V_{IORM} = 630 V peak Option*
- 300 = Gull Wing Surface Mount Option**
- 500 = Tape and Reel Packaging Option

Option data sheets available. Contact your Hewlett-Packard sales representative or authorized distributor for information.

*For HCPL-2211/2212 only.

**Gull wing surface mount option applies to through hole parts only.

Schematic



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**VDE 0884 Insulation Related Characteristics
(HCPL-2211/2212 Option 060 ONLY)**

Description	Symbol	Characteristic	Units
Installation classification per DIN VDE 0110/1.89, Table 1 for rated mains voltage ≤ 300 V rms		I-IV	
for rated mains voltage ≤ 450 V rms		I-III	
Climatic Classification		55/85/21	
Pollution Degree (DIN VDE 0110/1.89)		2	
Maximum Working Insulation Voltage	V_{IORM}	630	V peak
Input to Output Test Voltage, Method b* $V_{IORM} \times 1.875 = V_{PR}$, 100% Production Test with $t_m = 1$ sec, Partial Discharge < 5 pC	V_{PR}	1181	V peak
Input to Output Test Voltage, Method a* $V_{IORM} \times 1.5 = V_{PR}$, Type and sample test, $t_m = 60$ sec, Partial Discharge < 5 pC	V_{PR}	945	V peak
Highest Allowable Overvoltage* (Transient Overvoltage, $t_{m1} = 10$ sec)	V_{IOTM}	6000	V peak
Safety Limiting Values (Maximum values allowed in the event of a failure, also see Figure 12, Thermal Derating curve.)			
Case Temperature	T_S	175	°C
Input Current	$I_{S,OUTPUT}$	230	mA
Output Power	$P_{S,OUTPUT}$	600	mW
Insulation Resistance at T_S , $V_{IO} = 500$ V	R_S	$\geq 10^9$	Ω

*Refer to the front of the optocoupler section of the current catalog, under Product Safety Regulations section (VDE 0884), for a detailed description.

Note: Isolation characteristics are guaranteed only within the safety maximum ratings which must be ensured by protective circuits in application.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VDE 0884 Insulation Related Characteristics (HCNW22XX ONLY)

Description	Symbol	Characteristic	Units
Installation classification per DIN VDE 0110/1.89, Table 1 for rated mains voltage ≤ 600 V rms for rated mains voltage ≤ 1000 V rms		I-IV I-III	
Climatic Classification		55/100/21	
Pollution Degree (DIN VDE 0110/1.89)		2	
Maximum Working Insulation Voltage	V_{IORM}	1414	V peak
Input to Output Test Voltage, Method b* $V_{IORM} \times 1.875 = V_{PR}$, 100% Production Test with $t_m = 1$ sec, Partial Discharge < 5 pC	V_{PR}	2652	V peak
Input to Output Test Voltage, Method a* $V_{IORM} \times 1.5 = V_{PR}$, Type and sample test, $t_m = 60$ sec, Partial Discharge < 5 pC	V_{PR}	2121	V peak
Highest Allowable Overvoltage* (Transient Overvoltage, $t_{m1} = 10$ sec)	V_{IOTM}	8000	V peak
Safety Limiting Values (Maximum values allowed in the event of a failure, also see Figure 12, Thermal Derating curve.) Case Temperature Current (Input Current I_F , $P_S = 0$) Output Power	T_S $I_{S,INPUT}$ $P_{S,OUTPUT}$	150 400 700	$^{\circ}C$ mA mW
Insulation Resistance at T_S , $V_{I0} = 500$ V	R_S	$\geq 10^9$	Ω

*Refer to the front of the optocoupler section of the current catalog, under Product Safety Regulations section (VDE 0884), for a detailed description.

Note: Isolation characteristics are guaranteed only within the safety maximum ratings which must be ensured by protective circuits in application.

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units	Note
Storage Temperature	T_S	-55	125	$^{\circ}C$	
Operating Temperature	T_A	-40	85	$^{\circ}C$	
Average Forward Input Current	$I_{F(AVG)}$		10	mA	1
Peak Transient Input Current (≤ 1 μ s Pulse Width, 300 pps) (≤ 200 μ s Pulse Width, < 1% Duty Cycle)	$I_{F(TRAN)}$		1.0 40	A mA	1
Reverse Input Voltage	V_R		5 3	V	1
Average Output Current	I_O		25	mA	1
Supply Voltage	V_{CC}	0	20	V	
Output Voltage	V_O	-0.5	20	V	1
Total Package Power Dissipation	P_T		210 294	mW	2
Output Power Dissipation	P_O		See Figure 7		1
Lead Solder Temperature (Through Hole Parts Only)		260 $^{\circ}C$ for 10 sec., 1.6 mm below seating plane			
	HCNW22XX	260 $^{\circ}C$ for 10 sec., up to seating plane			
Solder Reflow Temperature Profile (Surface Mount Parts Only)		See Package Outline Drawings section			

1-138

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Recommended Operating Conditions

Parameter	Symbol	Min.	Max.	Units
Power Supply Voltage	V_{CC}	4.5	20	V
Forward Input Current (ON)	$I_{F(ON)}$	1.6*	5	mA
HCPL-223X		1.8†		
Forward Input Voltage (OFF)	$V_{F(OFF)}$	-	0.8	V
Operating Temperature	T_A	-40	85	°C
Junction Temperature	T_J	-40	125	°C
Fan Out	N		4	TTL Loads

*The initial switching threshold is 1.6 mA or less. It is recommended that 2.2 mA be used to permit at least a 20% LED degradation guardband.

†The initial switching threshold is 1.8 mA or less. It is recommended that 2.5 mA be used to permit at least a 20% LED degradation guardband.

Electrical Specifications

-40°C ≤ T_A ≤ 85°C, 4.5 V ≤ V_{CC} ≤ 20 V, 1.6 mA ≤ $I_{F(ON)}$ * ≤ 5 mA, 0 V ≤ $V_{F(OFF)}$ ≤ 0.8 V, unless otherwise specified. All Typicals at $T_A = 25^\circ\text{C}$. See Note 7.

Parameter	Sym.	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions	Fig.	Note
Logic Low Output Voltage	V_{OL}			0.5	V	$I_{OL} = 6.4 \text{ mA}$ (4 TTL Loads)	1, 3	1
Logic High Output Voltage	V_{OH}	2.4	**		V	$I_{OH} = -2.6 \text{ mA}$	2, 3, 8	1
		2.7				$I_{OH} = -0.4 \text{ mA}$		
Output Leakage Current ($V_{OUT} > V_{CC}$)	I_{OHH}			100	µA	$V_O = 5.5 \text{ V}$	$I_F = 5 \text{ mA}$	1
				500		$V_O = 20 \text{ V}$		
Logic Low Supply Current	I_{CCL}		3.7	6.0	mA	$V_{CC} = 5.5 \text{ V}$	$V_F = 0 \text{ V}$ $I_O = \text{Open}$	
			4.3	7.0		$V_{CC} = 20 \text{ V}$		
		HCPL-223X	7.4	12.0		$V_{CC} = 5.5 \text{ V}$		
			8.6	14.0		$V_{CC} = 20 \text{ V}$		
Logic High Supply Current	I_{CCH}		2.4	4.0	mA	$V_{CC} = 5.5 \text{ V}$	$I_F = 5 \text{ mA}$ $I_O = \text{Open}$	
			2.7	5.0		$V_{CC} = 20 \text{ V}$		
		HCPL-223X	4.8	8.0		$V_{CC} = 5.5 \text{ V}$		
			5.4	10.0		$V_{CC} = 20 \text{ V}$		
Logic Low Short Circuit Output Current	I_{OSL}	15			mA	$V_O = V_{CC} = 5.5 \text{ V}$	$V_F = 0 \text{ V}$	1, 3
		20				$V_O = V_{CC} = 20 \text{ V}$		
Logic High Short Circuit Output Current	I_{OSH}			-10	mA	$V_{CC} = 5.5 \text{ V}$	$I_F = 5 \text{ mA}$ $V_O = \text{GND}$	1, 3
				-20		$V_{CC} = 20 \text{ V}$		
Input Forward Voltage	V_F		1.5	1.7	V	$T_A = 25^\circ\text{C}$	$I_F = 5 \text{ mA}$	4
				1.85				
		HCNW22XX	1.5	1.82		$T_A = 25^\circ\text{C}$		
				1.95				
Input Reverse Breakdown Voltage	BV_R	5			V	$I_R = 10 \text{ µA}$		1
		3				$I_R = 100 \text{ µA}$		
Input Diode Temperature Coefficient	ΔV_F		-1.7		mV/°C	$I_F = 5 \text{ mA}$		
	HCNW22XX ΔT_A		-1.4					
Input Capacitance	C_{IN}		60		pF	$f = 1 \text{ MHz}, V_F = 0 \text{ V}$		1, 4
		HCNW22XX		70				

*For HCPL-223X, 1.8 mA ≤ $I_{F(ON)}$ ≤ 5 mA.

**Typical $V_{OH} = V_{CC} - 2.1 \text{ V}$.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง.

บทความวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเวอร์เตอร์ชนิดลดจำนวนสวิตช์สำหรับการประยุกต์ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้า

A Reduced Switch Count Converter for Electrical Machine Drive

วัชรพงษ์ วงศ์รัตนศิริกุล วิมลรัตน์ หิรัญวงษ์ ศรีตรวรรัตน์ จริญญาเอกชาภาณูจน์

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร. 02-329-8331

Email: s0011429@kmitl.ac.th, s0011479@kmitl.ac.th, s0011424@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้คอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์สำหรับขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามเฟสขนาดเล็ก วิธีการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ดังกล่าวสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 วิธีคือการควบคุมกระแสและการควบคุมแรงดัน ซึ่งในบทความฉบับนี้จะพิจารณาเฉพาะการควบคุมแรงดันเท่านั้น โดยจะกล่าวถึงทฤษฎีและวิธีการในการควบคุมสวิตช์กำลังของคอนเวอร์เตอร์ดังกล่าวโดยทำการจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink และเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิด TMS320F28335 เป็นตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล มาประมวลผลของสัญญาณและสร้างสัญญาณพัลส์ชนิดปรับความกว้างเพื่อใช้ในการควบคุมสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์ดังกล่าว

คำสำคัญ: คอนเวอร์เตอร์สี่สวิตช์, วิธีควบคุมแรงดัน, วิธีควบคุมกระแส

Abstract

This paper presents the application of a four-switch converter to a small three-phase induction machine drive. Such converter can be controlled by either current or voltage control. In this paper, only voltage control is considered. The principle and the switching strategy for this converter topology are discussed. MATLAB/Simulink program is used to simulate the operating strategy for this converter before implementation. The TMS320F28335 digital signal controller is applied to control the switch of the converter.

Keyword: four-switch converter, voltage control, current control

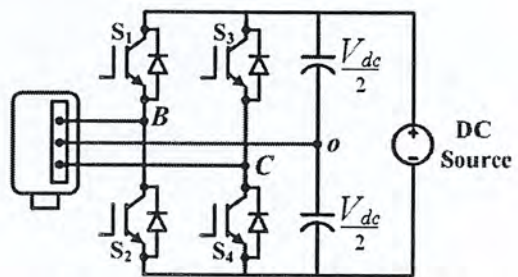
1. บทนำ

เนื่องจากความก้าวหน้าทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังในปัจจุบันทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำประเภทสวิตช์กำลังอย่างไอจีบีทีให้สามารถทนกระแส ที่ระดับความถี่สูงและแรงดันสูงได้ดียิ่งขึ้น จึงส่งผลให้คอนเวอร์เตอร์มีประสิทธิภาพสูงมากขึ้นตามไปด้วยทำให้การออกแบบชุดขับเคลื่อนมีความหลากหลายและความยืดหยุ่นในการใช้งานมากยิ่งขึ้น คอนเวอร์เตอร์นับเป็นส่วนประกอบสำคัญ

ในการใช้งานขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้า สามารถแบ่งตามลักษณะแหล่งจ่ายไฟได้ 2 ชนิด คือ คอนเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายแรงดันและคอนเวอร์เตอร์แบบแหล่งจ่ายกระแส โดยทั่วไปคอนเวอร์เตอร์ ประกอบไปด้วยสวิตช์กำลังจำนวน 6 สวิตช์ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดต่อกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แต่อย่างไรก็ตามความต้องการที่จะลดค่าใช้จ่ายในส่วนของคุณสมบัติของชุดขับเคลื่อนทางไฟฟ้ายังคงมีอยู่อย่างต่อเนื่อง วิธีการลดจำนวนสวิตช์กำลังในคอนเวอร์เตอร์จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ

2. ทฤษฎีและหลักการของคอนเวอร์เตอร์ชนิด 4 สวิตช์

ความพยายามในการลดค่าใช้จ่ายในส่วนขับเคลื่อนทำให้มีการนำเสนอการลดจำนวนสวิตช์ในคอนเวอร์เตอร์ [4] ซึ่งโครงสร้างดังกล่าวได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็ก โดยโครงสร้างของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์จะมีการต่อสายไฟฟ้ากระแสสลับ 2 เฟสต่อเข้ากับกิ่งของสวิตช์กำลัง 2 กิ่ง ซึ่งหมายความว่าเพียง 2 เฟสของเครื่องจักรกลไฟฟ้าที่สามารถควบคุมได้ ส่วนอีก 1 เฟสจะถูกเชื่อมต่อกับจุดกึ่งกลางระหว่างตัวเก็บประจุ 2 ตัว ซึ่งเป็นเฟสที่ควบคุมไม่ได้ ในส่วนของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงสามารถเป็นแบตเตอรี่ หรือ วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงชนิดควบคุมได้ หรือควบคุมไม่ได้ ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ใช้งาน จุดสำคัญของคอนเวอร์เตอร์ประเภทนี้คือค่าความจุของตัวเก็บประจุจะต้องมีค่าสูงพอสมควรที่จะใช้ในการกรองสัญญาณที่มีความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับได้นอกจากนี้ยังต้องมีการปรับระดับแรงดันของตัวเก็บประจุทั้ง 2 ให้มีค่าเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด

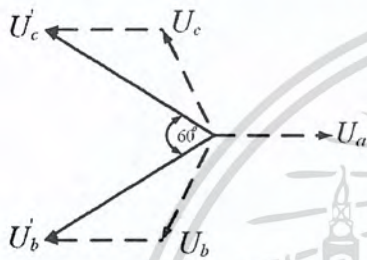


รูปที่ 1 คอนเวอร์เตอร์ชนิด 4 สวิตช์สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลักการควบคุมคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์

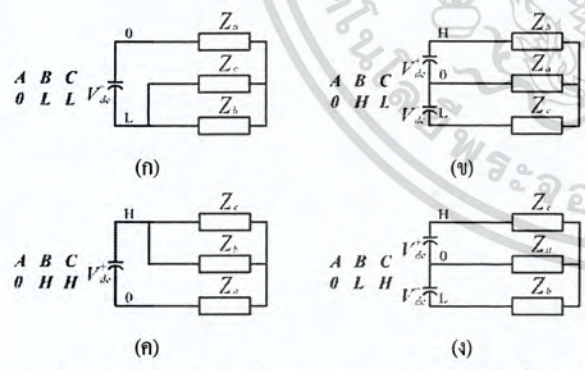
หลักการควบคุมของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือวิธีการควบคุมกระแสและวิธีการควบคุมแรงดัน โดยในบทความนี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการควบคุมแรงดันซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างมากและได้ผลเป็นที่น่าพอใจ โดยจะทำการควบคุมมุมเฟสระหว่างแรงดันควบคุมให้ทำมุมกัน 60 องศา ซึ่งจะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าสามเฟสที่ได้ทำมุมกัน 120 องศา โดยเวกเตอร์แรงดันใหม่ที่ได้จะมีมุมนำหน้าหรือตามหลังเวกเตอร์แรงดันเดิมอยู่ 30 องศาขึ้นอยู่กับเฟสที่นำไปต่อกับจุดกึ่งกลางระหว่างตัวเก็บประจุและขนาดของเวกเตอร์แรงดันใหม่ที่ได้จะเพิ่มขึ้นเป็น $\sqrt{3}$ เท่าของเวกเตอร์แรงดันเดิมดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 เวกเตอร์ของแรงดันเมื่อเลือกคอปเฟส A เข้ากับ dc link

4. สเปซเวกเตอร์สำหรับคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์

สำหรับคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์ดังรูปที่ 1 จะสามารถสร้างเวกเตอร์ของแรงดันได้ 4 สถานะ โดยที่ไม่มีการลัดหรือเปิดวงจรที่วงจรเชื่อมโยงทางไฟตรง โดยจะได้สถานะคือ OLL, OHL, OHH และ OLH ซึ่งจะแสดงไว้ในรูปที่ 3



รูปที่ 3 สถานะในการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์

เมื่อกำหนดให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันคคกร่อมตัวเก็บประจุแต่ละตัวอ้างอิงกับจุดกึ่งกลางระหว่างตัวเก็บประจุกับแรงดันคคกร่อมวงจรเชื่อมโยงทางไฟตรงซึ่งสามารถแสดงได้โดย

$$V_{dc}^+ = (1-\gamma)V_{dc} \quad \text{และ} \quad V_{dc}^- = -\gamma V_{dc} \tag{1}$$

โดย γ เป็นค่าที่อธิบายถึงการกระจายของแรงดันที่คคกร่อมตัวเก็บประจุ

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่ออกจากคอนเวอร์เตอร์กับสถานะการสวิตช์เมื่อเฟส A ต่อที่จุดกึ่งกลางระหว่างตัวเก็บประจุทั้งสองจะสามารถแสดงได้โดยเมตริกซ์ในสมการที่ 2

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ L & H & H & L \\ L & L & H & H \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\gamma V_{dc} & (1-\gamma)V_{dc} & (1-\gamma)V_{dc} & -\gamma V_{dc} \\ -\gamma V_{dc} & -\gamma V_{dc} & (1-\gamma)V_{dc} & (1-\gamma)V_{dc} \end{bmatrix} \tag{2}$$

เมื่อใช้การแปลงคลาร์กเปลี่ยนรูปของสมการให้อยู่ในรูปของ $\alpha - \beta$ แล้วแปลงให้อยู่ในรูปสเปซเวกเตอร์ของแรงดันจะได้สมการตามสมการที่ 3-6

$$U_{00} = V_{dc} \left[\left(\frac{2}{3} \gamma \right) \right] \tag{3}$$

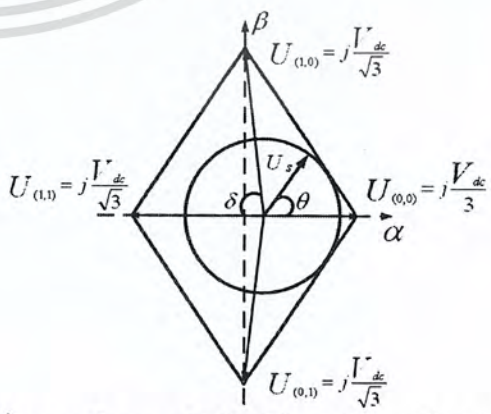
$$U_{10} = V_{dc} \left[\left(\frac{-i+2\gamma}{3} \right) + j \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) \right] \tag{4}$$

$$U_{11} = V_{dc} \left[-\frac{2}{3} (1-\gamma) \right] \tag{5}$$

$$U_{01} = V_{dc} \left[\left(\frac{-1+2\gamma}{3} \right) - j \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \right) \right] \tag{6}$$

5. ผลกระทบจากการแกว่งของแรงดันคคกร่อมตัวเก็บประจุ

สถานะในการสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์จะทำให้เกิดการลัดวงจรของเฟสที่สามารถควบคุมได้กับส่วนของวงจรไฟตรงทั้งด้านบวกและด้านลบดังแสดงในรูป 3(ก) และ 3(ค) สถานะในการสวิตช์ดังกล่าวจะทำให้ตัวเก็บประจุตัวใดตัวหนึ่งเกิดการคายประจุที่เร็วกว่าอีกตัวหนึ่งภายใต้สภาวะที่ความถี่เข้าใกล้ศูนย์ แรงดันของตัวเก็บประจุในสถานะดังกล่าวจะตกลงต่ำกว่าจุดที่สามารถควบคุมได้ (น้อยกว่าค่าสูงสุดของแรงดันไลน์)



รูปที่ 4 เวกเตอร์แสดงการสวิตช์ภายใต้สภาวะไม่สมดุล ($\gamma < 0.5$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5 จะแสดงให้เห็นถึงสเปกตรัมของแรงดัน สำหรับคอนเวอร์เตอร์ชนิดที่สวิตซ์ภายใต้สภาวะการแกว่งของแรงดันไฟตรงจะพบว่าเวกเตอร์ 00 และเวกเตอร์ 01 จะมีขนาดไม่เท่ากัน ซึ่งขนาดจะแปรตามความถี่มูลฐานด้วยเหตุนี้จะทำให้เกิดความไม่สมดุลในกระแสไลน์สามเฟส การคำนวณหาเวลาในการสวิตซ์ [5] แต่ละสถานะจะสามารถทำได้โดยใช้ความสัมพันธ์ของเวกเตอร์แรงดัน U_s ในรูปที่ 5 สามารถแสดงได้โดยสมการ

$$(U_s \sin \theta)T = (U_{10} \sin \delta)t_b, \tag{7}$$

$$(U_s \cos \theta)T = U_{00}t_{00} + U_{11}t_{11} + (U_{10} \cos \delta)t_{10} \tag{8}$$

ขนาดของเวกเตอร์ในการสวิตซ์ในรูปของแรงดันเชื่อมโยงไฟตรงจะสามารถแสดงได้โดยสมการที่ 9 – 12

$$U_{10} \cos \delta = \frac{2\sqrt{3}}{3} \frac{V_{dc}}{2}, \tag{9}$$

$$(U_{10} \cos \delta) = \frac{2}{3} \frac{(-1+2\gamma)}{2} V_{dc}, \tag{10}$$

$$U_{00} = \frac{2}{3} \gamma V_{dc}, \tag{11}$$

$$U_{11} = -\frac{2}{3} (1-\gamma) V_{dc}. \tag{12}$$

จากค่าแรงดันสูงสุดภายใต้เงื่อนไขสมดุล ($\gamma = 0.5$) จะได้

$$V_{rms} = \frac{V_{dc}}{2\sqrt{3}} \tag{13}$$

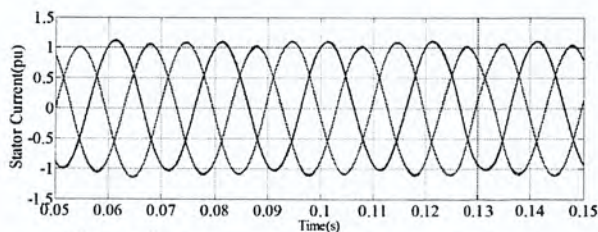
จากนั้นใช้สมการที่ 7 – 13 ในการคำนวณหาเวลาในการสวิตซ์ของสวิตซ์แต่ละตัวจะเป็นไปดังที่แสดงในสมการที่ 14 – 16 จะได้สมการ

$$t_{10} = \frac{U_s \sin \theta}{2} T \text{ และ } t_{01} = 0, \tag{14}$$

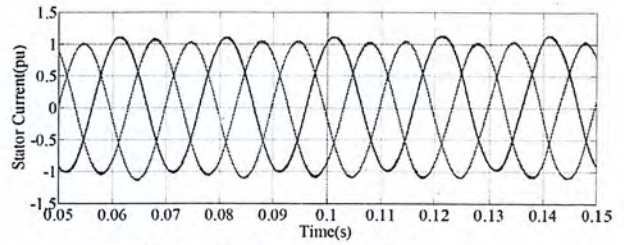
$$t_{00} = (1-\gamma)T + \frac{\sqrt{3}}{4} (U_s \cos \theta)T - \frac{t_{10}}{2}, \tag{15}$$

$$t_{11} = T - (t_{00} + t_{10}). \tag{16}$$

6. ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์

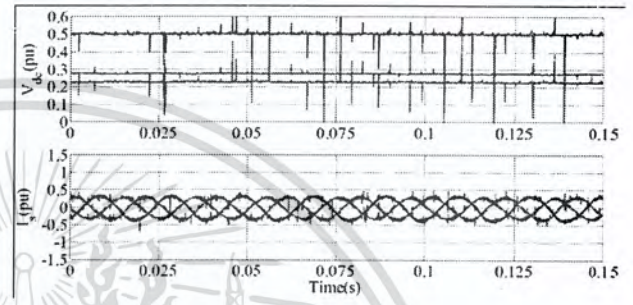


รูปที่ 5 รูปคลื่นกระแสสามเฟสกรณีป้อน $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc-total}$

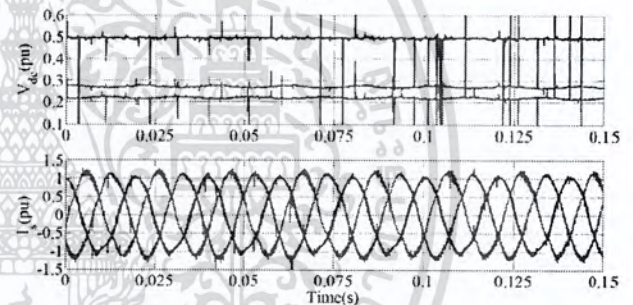


รูปที่ 6 รูปคลื่นกระแสสามเฟสกรณี $\gamma = 0.5$

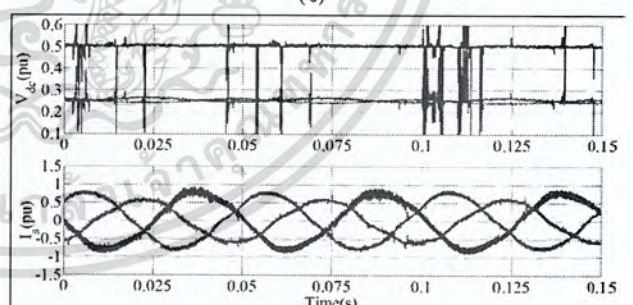
7. ผลการทดลอง



(ก)



(ข)



(ค)

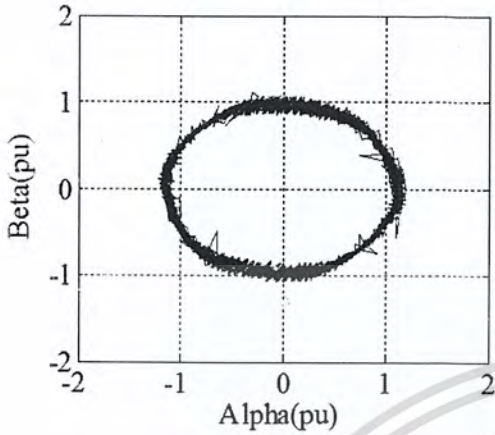
รูปที่ 7 รูปคลื่นกระแสสามเฟสและแรงดันที่กรณีต่าง ๆ

- (ก) กรณีความถี่ 50 Hz ไม่มีโหลด
- (ข) กรณีความถี่ 50 Hz โหลด 307.60 W
- (ค) กรณีความถี่ 20 Hz โหลด 93.93 W

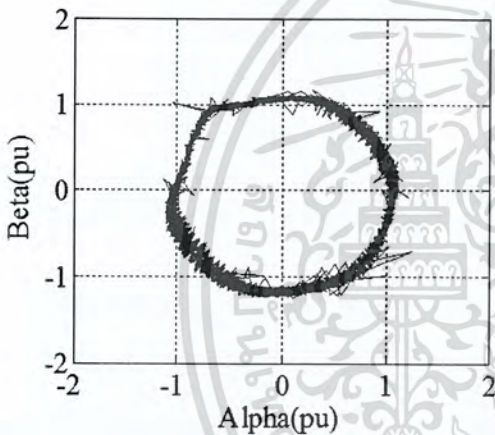
จากผลการทดลองพบว่า การแกว่งของแรงดันคกคร่อมตัวเก็บประจุจะขึ้นอยู่กับขนาดของโหลดและความถี่ โดยเมื่อขนาดของโหลดเพิ่มขึ้นหรือความถี่ลดลงจะทำให้แรงดันคกคร่อมตัวเก็บประจุแกว่งมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ผลรูปคลื่นของกระแสมีความผิดเพี้ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการป้อนพารามิเตอร์ γ กลับเพื่อควบคุมการสวิตช์ให้การแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุลดลง



(ก)



(ข)

รูปที่ 8 กราฟรูปคลื่นกระแสฟลัดในแกน x-y ในกรณีต่าง ๆ

(ก) กรณีมีการป้อนค่า $\gamma = 0.5$

(ข) กรณีมีการป้อนค่า $\gamma = V_{dc}^- / V_{dc-total}$

จากรูปที่ 8 (ก) รูปกราฟจะมีลักษณะเป็นวงรีซึ่งแสดงถึงความไม่สมมาตรของกระแสสามเฟสแต่ในรูปที่ 8 (ข) รูปคลื่นกระแสจะมีลักษณะเป็นวงกลมมากขึ้นแสดงว่าการป้อนกลับ γ จะช่วยให้รูปคลื่นกระแสมีความสมมาตรมากขึ้น

8. ข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบสร้างคอนเวอร์เตอร์ชนิดลดจำนวนสวิตช์ ควร จะระวังในเรื่องขนาดของตัวเก็บประจุควรจะมีขนาดใหญ่พอสมควรเพื่อใช้ในการกรองสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับที่ถูกป้อนเข้าสู่จุดกึ่งกลางของวงจรถ่อมโยงทางไฟตรง

9. สรุปผล

การนำคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์มาใช้ในขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้าสามเฟสสามารถทำงานได้ใกล้เคียงกับคอนเวอร์เตอร์สามเฟสแบบหกสวิตช์โดยทั่วไป แต่สวิตช์สำหรับคอนเวอร์เตอร์แบบสี่สวิตช์นั้นจะต้องทนแรงดัน ได้เป็นสองเท่าของคอนเวอร์เตอร์ชนิดหกสวิตช์เทียบที่พิกัดกำลังเดียวกันและสิ่งที่ควรระวังสำหรับคอนเวอร์เตอร์แบบสี่สวิตช์คือการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุซึ่งจะทำให้รูปกระแสที่ได้ออกมามีความผิดเพี้ยนไปแต่เราสามารถลดการแกว่งของแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุได้โดยการป้อนค่า γ กลับซึ่งจะทำให้การแกว่งของแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุลดลงและส่งผลให้ได้รูปคลื่นกระแสที่ดีขึ้นประโยชน์ของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์คือการลดลดจำนวนอุปกรณ์ลงทำให้ขนาดของคอนเวอร์เตอร์มีขนาดเล็กและช่วยให้ค่าใช้จ่ายสำหรับชุดขับเคลื่อนต่ำลงรวมถึงสามารถนำไปใช้ในการปรับ โครงสร้างกรณีที่เกิดความผิดพลาดของชนิดเปิดวงจรของคอนเวอร์เตอร์ชนิดสามเฟสได้

เอกสารอ้างอิง

[1] COVIC G.A., PETERS G.L., BOYS J.T., "An improved single phase to three phase converter for low cost AC motor drives". Proc. Int. Conf. Power Electronics and Drives System s, 1995, pp. 549-554

[2] COVIC G.A., PETERS G.L., "DC link imbalance compensation in fours-witch inverter AC motor drives", Electron. Lett., 1997, 33, (13), pp. 1101-1102

[3] D. Kashtra, B.K. Bose. "Investigation of Fault Modes of Voltage - Fed Inverter System for Induction Motor Drive". IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 30, No. 4, pp. 1028-1037, 1994.

[4] H. W. Van Der Broeck and J. D. Van Wyk, "A Comparative Investigation of a Three-Phase Induction Machine Drive with a Component Minimized Voltage- Fed Inverter under Different Control Options". IEEE, 1984, pp.309-320

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเวอร์เตอร์ชนิดลดจำนวนสวิตช์สำหรับการประยุกต์ใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้า

Application of a Reduced Switch Count Converter for Electrical Machine Drive



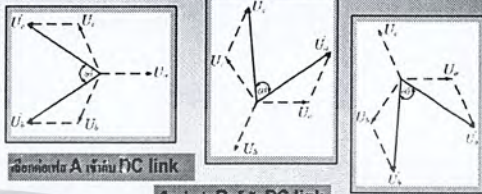
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



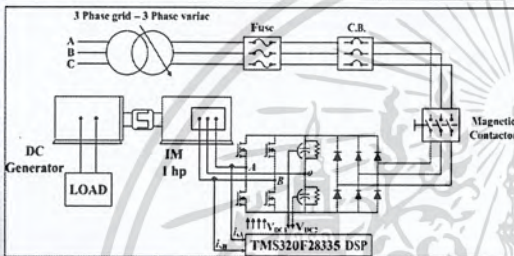
วัตถุประสงค์

- เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้คอนเวอร์เตอร์ชนิดสี่สวิตช์ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส
- เพื่อทำการศึกษาลักษณะและผลกระทบของการทำงานของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์
- ทำการสร้างระบบต้นแบบเพื่อใช้ในการศึกษาการทำงานของคอนเวอร์เตอร์สามเฟสชนิดสี่สวิตช์

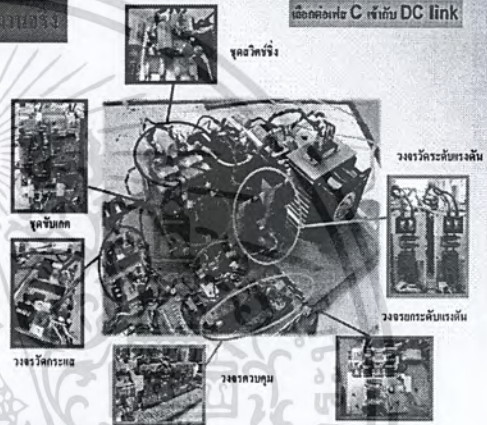
การสวิตช์ของคอนเวอร์เตอร์สามเฟส



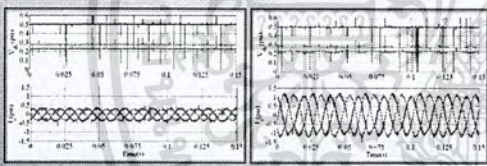
แบบจำลองการเชื่อมต่อของคอนเวอร์เตอร์สามเฟส



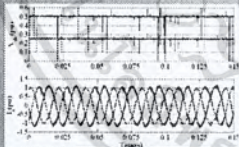
ชิ้นงานจริง



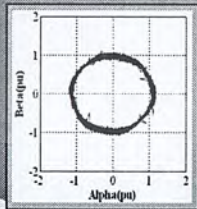
ผลการทดลอง



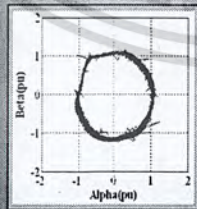
F=50 Hz, Load=0 W F=50 Hz, Load=307.6 W



F=20 Hz, Load=93.93 W

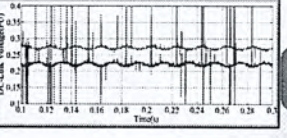
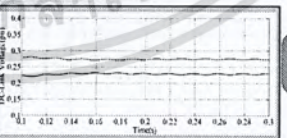
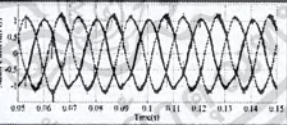
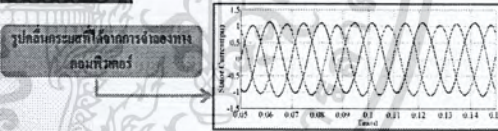


รูปคลื่นแรงดันที่ต่อในแกน X-Y ที่มี บิถน $\gamma = 0.5$



รูปคลื่นแรงดันที่ต่อในแกน X-Y ที่มี บิถน $\gamma = \frac{V_{low}}{V_{total}}$

รูปคลื่นแรงดัน



Renewable Energy Application Laboratory (REAL) : KMITL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ - นามสกุล นายวัชรพงษ์ วงศ์รัตนศิริกุล 50011429
 วัน เดือน ปีเกิด เกิดวันที่ 13 กันยายน 2531
 ที่อยู่ 111/10 หมู่ที่ 7 ตำบลบางคูวัด
 อำเภอเมือง จังหวัดปทุมธานี 12000

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนสวนกุหลาบ
 วิทยาลัยนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี
 ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท จีเอสทีล จำกัด (มหาชน) ฝ่ายซ่อมบำรุงระบบ ระหว่าง
 วันที่ 1 เมษายน ถึง 31 พฤษภาคม 2553



ชื่อ - นามสกุล นายศรিতววรรณ จรรย์เดชากาญจน์ 50011424
 วัน เดือน ปีเกิด เกิดวันที่ 15 มิถุนายน 2531
 ที่อยู่ 155 ตรอกสวายเรียง ถนนสุขุมมนตรี ตำบลในเมือง
 อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนราชสีมา
 วิทยาลัย จังหวัดนครราชสีมา
 ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน) ฝ่ายซ่อมบำรุงงานระบบ ระหว่าง
 วันที่ 1 เมษายน ถึง 31 พฤษภาคม 2553

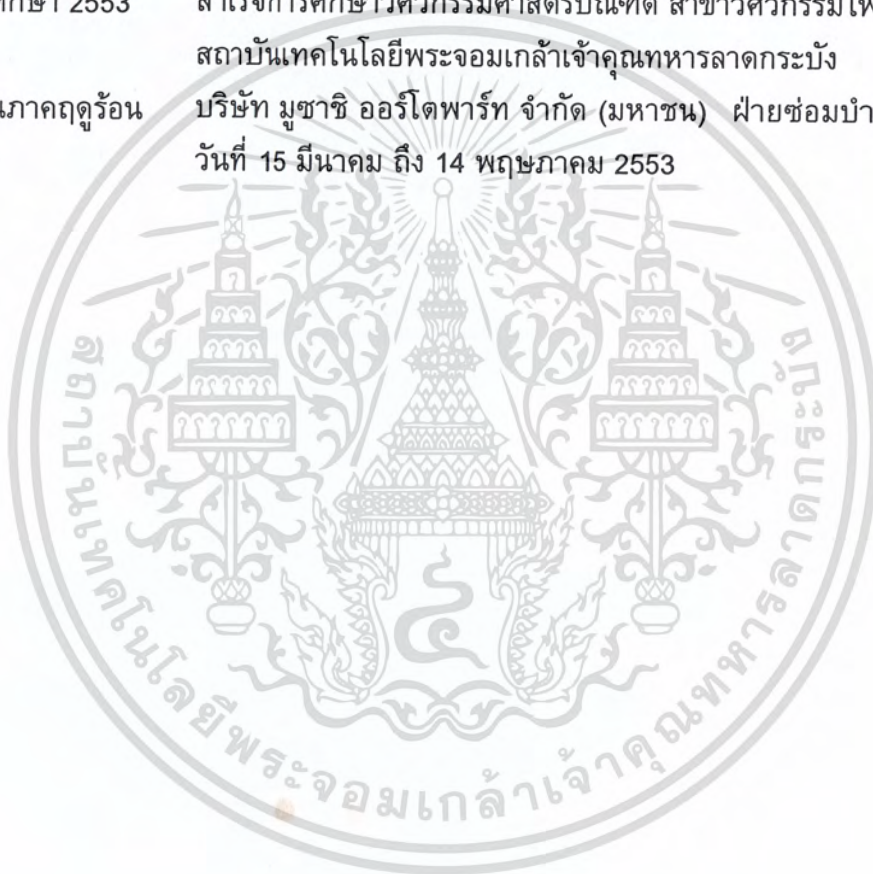
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชื่อ - นามสกุล นางสาววิมลรัตน์ หิรัญวงษ์ 50011479
 วัน เดือน ปีเกิด เกิดวันที่ 25 มกราคม 2532
 ที่อยู่ 42/2 หมู่ที่ 7 ตำบลหนองโพรง
 อำเภอศรีมหาโพธิ จังหวัดปราจีนบุรี 25140

ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนมัธยมวัด
 ใหม่กรรทอง จังหวัดปราจีนบุรี
 ปีการศึกษา 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 ฝึกงานภาคฤดูร้อน บริษัท มูซาชิ ออร์โตพาร์ท จำกัด (มหาชน) ฝ่ายซ่อมบำรุง ระหว่าง
 วันที่ 15 มีนาคม ถึง 14 พฤษภาคม 2553



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้