

การควบคุมปริมาณของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าโดยระบบกักเก็บพลังงาน

แบตเตอรี่

DEMAND CONTROL IN EV CHARGING STATION USING BATTERY ENERGY  
STORAGE SYSTEM



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

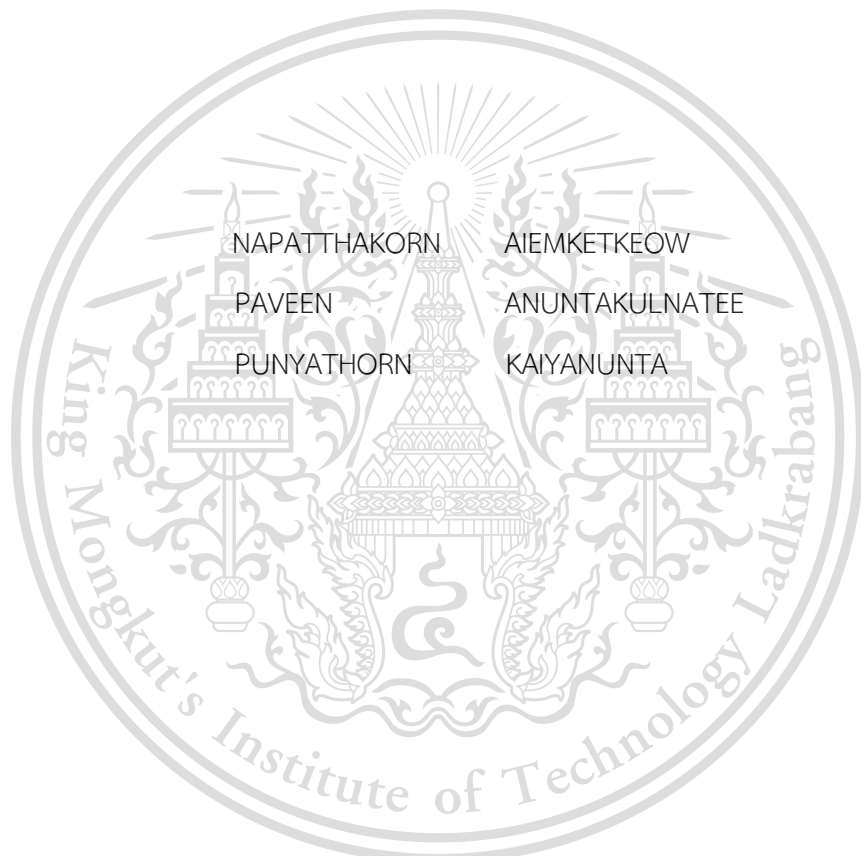
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ปีการศึกษา 2563

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

DEMAND CONTROL IN EV CHARGING STATION USING BATTERY ENERGY  
STORAGE SYSTEM



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT

FOR THE BACHELOR'S DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
2020

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปีการศึกษา 2563

การควบคุมปริมาณของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าโดยระบบกักเก็บพลังงาน  
แบตเตอรี่

DEMAND CONTROL IN EV CHARGING STATION USING BATTERY ENERGY  
STORAGE SYSTEM



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ดร. สมภพ ผลไม้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การควบคุมดีมานด์ของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าโดยระบบกักเก็บพลังงาน  
แบบเตอริ

ผู้จัดทำ

1. นาย นพัฐกรณ์ เอี่ยมเกตุแก้ว
2. นาย ปวีณ อนันตกุลนธิ
3. นาย ปิณญธร คัยนันท์



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ดร. สมภพ ผลไม้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# การควบคุมปริมาณของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าโดยระบบกักเก็บพลังงาน แบตเตอรี่

นาย นพัฐกรณ์ เอี่ยมเกตุแก้ว

นาย ปวีณ อนันตกุลนธิ

นาย ปณณูธร คัยนันท์

ดร. สมภาพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษา

## บทคัดย่อ

ปัญญานิพนธ์เล่มนี้นำเสนอการควบคุมปริมาณในสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าด้วยระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ จุดประสงค์ของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ คือการลดปริมาณชาร์จที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าสัญญาที่ทำไว้ ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ประกอบด้วยแบตเตอรี่ วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง และวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง เมื่อมีความต้องการการใช้กำลังไฟฟ้าน้อย แบตเตอรี่จะถูกชาร์จด้วยกำลังไฟฟ้าจากกริด และเมื่อมีการต้องการใช้กำลังไฟฟ้ามาก แบตเตอรี่จะจ่ายกำลังไฟฟ้ามายังกริด กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ควบคุมโดย PI controller ในกรอบอ้างอิงซิงโครนัส เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ โปรแกรม PSIM ได้ถูกนำมาใช้ เพื่อจำลองร่วมกับ Digital Signal Processor (DSP F28335) จากผลการจำลองพบว่าระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ สามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างแบตเตอรี่กับกริดได้อย่างถูกต้อง ในการควบคุมปริมาณในสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าส่วนเกินไปยังสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าเพื่อหลีกเลี่ยงปริมาณชาร์จได้สำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

# DEMAND CONTROL IN EV CHARGING STATION USING BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM

Mr.Napatthakorn	Aiemketkeow
Mr.Paveen	Anuntakulnatee
Mr.Punyathorn	Kaiyanunta
Dr. Sompob	Polmai Advisor

## ABSTRACT

This engineering project presented demand controlling in EV charging station using battery energy storage system ( BESS ). The purpose of the BESS is to reduce demand charge that occurs when using power more than a contract power. The BESS consisted of a battery pack, a bidirectional AC to DC converter and a bidirectional DC to DC converter. During low demand the BESS is charged with the power from the grid, and when the demand is higher than the contract value the BESS is discharged power to the grid. The output power of the BESS is controlled with PI controller in synchronous reference frame. To validate the effectiveness of BESS controlling technique, PSIM was used to simulate with DSP F28335 microcontroller target. The simulation results show that the power was transferred correctly between grid and battery. In the case of EV charging station demand control, the BESS successfully supplied the excess power to charging station to avoid demand charge.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

II

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาช่วยเหลือจากหลาย ท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบพระคุณ ดร. สมภพ ผลไม้ อาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้ คำปรึกษา ข้อคิดเห็น ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่งสำหรับการทำ โครงการวิทยานิพนธ์นี้มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ นายกิตติโชติ สุนทรทวีทรัพย์ ที่ให้คำปรึกษาและข้อคิดในด้านเนื้อหา การเขียนโปรแกรมจนปริญญานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ส่งเสริม สนับสนุนการศึกษา การวิจัย และการทำโครงการของนักศึกษา

ขอขอบคุณเพื่อนๆ Pearl lab ที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัวอันเป็นที่รักยิ่ง ที่คอยเป็นกำลังใจและ สนับสนุนเสมอมา

คุณค่าและประโยชน์ที่เกิดจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำขอมอบให้บิดา มารดา ตลอดจนคุณอาจารย์ที่คอยถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์แก่คณะผู้จัดทำ

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

## สารบัญ

บทคัดย่อ .....	I
ABSTRACT .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 แผนการดำเนินงาน.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	3
1.6 โครงสร้างเนื้อหาภายในปฏิญานพนธ์.....	3
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 ระบบกักเก็บพลังงาน.....	5
2.2 วงจรเรียงกระแส .....	5
2.2.1 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบไดโอด.....	5
2.2.2 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมเฟส.....	6
2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์ .....	7
2.3.1 วงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟส.....	7
2.3.2 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ LC .....	8
2.3.3 SPWM ( Sinusoidal Pulse Width Modulation) .....	9
2.4 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง .....	10
2.4.1 โหมดการทำงานแบบ Buck converter.....	11
2.4.2 โหมดการทำงานแบบ Boost converter.....	13
2.5 การแปลงจากกรอบอ้างอิงสามเฟสสู่กรอบอ้างอิงซิงโครนัส .....	15
2.5.1 Clarke Transform .....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้วงนเพื่อการศึรชวงนงั้บไปอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ดว้มการค้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

2.5.2 Park Transform .....	16
2.6 Phase Locked Loop (PLL).....	17
2.7 PI Controller.....	18
2.8 ระบบที่ใช้ในการควบคุม .....	19
2.8.1 ระบบที่ใช้ในควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสดรงแบบ สองทิศทาง.....	19
2.8.2 ระบบที่ใช้ในการควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง .....	22
2.9 ระบบต่อหน่วย (Per Unit).....	23
3 การออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมดีมานด์ของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้า รถยนต์ไฟฟ้า .....	24
3.1 การออกแบบวงจรกำลัง.....	25
3.1.1 การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำแบบ LCL Filter .....	25
3.1.2 การออกแบบวงจรกำลังของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสดรง แบบสองทิศทาง .....	25
3.1.3 การออกแบบวงจรกำลังของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง.....	26
3.2 การออกแบบวงจรควบคุม .....	26
3.2.1 การออกแบบวงจรควบคุมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสดรงแบบ สองทิศทาง.....	26
3.2.2 การออกแบบวงจรควบคุมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง .....	29
4 ผลการทดลองวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมดีมานด์ของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้า รถยนต์ไฟฟ้า .....	31
4.1 ผลการทดลองในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ .....	33
4.2 ผลการทดลองในโหมดดิสชาร์จแบตเตอรี่ .....	36
4.3 การทดลองในโหมดชาร์จแล้วเปลี่ยนไปเป็นโหมดดิสชาร์จ .....	40
4.4 การจำลองการทำงานของ Battery Energy Storage System.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

5 สรุปผลการทดลอง อุปสรรคและข้อเสนอแนะ .....	48
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	48
5.2.1 อุปสรรค.....	49
5.2.2 แนวทางการแก้ไข.....	49
5.2.3 สิ่งที่ต้องปรับปรุง.....	49
บทความวิชาการ .....	53
โปรแกรมสำหรับ DSP F28335 .....	58
ประวัติผู้เขียน.....	71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

## สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบไดโอด.....	6
รูปที่ 2.2 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมเฟส.....	6
รูปที่ 2.3 ช่วงการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ในแต่ละช่วง .....	7
รูปที่ 2.4 วงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟส .....	7
รูปที่ 2.5 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ T.....	8
รูปที่ 2.6 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ $\pi$ .....	9
รูปที่ 2.7 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบสองทิศทาง .....	10
รูปที่ 2.8 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบ Buck Converter.....	11
รูปที่ 2.9 การทำงานในโหมด buck converter เมื่อสวิตซ์ S1 นำกระแส.....	11
รูปที่ 2.10 การทำงานในโหมด buck converter เมื่อสวิตซ์ S1 ไม่นำกระแส.....	12
รูปที่ 2.11 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบ Boost Converter.....	13
รูปที่ 2.12 การทำงานในโหมด boost converter เมื่อสวิตซ์ S2 นำกระแส.....	13
รูปที่ 2.13 การทำงานในโหมด boost converter เมื่อสวิตซ์ S2 ไม่นำกระแส.....	14
รูปที่ 2.14 การแปลงแกนตามกฎของ Clarke.....	15
รูปที่ 2.15 การแปลงแกนตามกฎของ Park.....	16
รูปที่ 2.16 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ PLL.....	17
รูปที่ 2.17 บล็อกไดอะแกรมของ PI Controller.....	18
รูปที่ 2.18 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส เป็น กระแสตรงแบบสองทิศทาง .....	21
รูปที่ 2.19 ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ .....	21
รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง... ..	22
รูปที่ 3.1 ระบบ Battery Energy Storage System.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 3.2 วงจรกรองความถี่ของระบบ.....	25
----------------------------------------	----

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

รูปที่ 3.3 วงจรกำลังของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสดรงแบบสองทิศทาง	25
รูปที่ 3.4 วงจรกำลังของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสดรงแบบสองทิศทาง	26
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส เป็น กระแสดรงแบบสองทิศทาง	27
รูปที่ 3.6 วงจรแปลงแกนจากกรอบอ้างอิงสามเฟสหยุดนิ่งสู่กรอบอ้างอิงซิงโครนัส	27
รูปที่ 3.7 วงจร phase locked loop	28
รูปที่ 3.8 วงจรควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสดรงแบบสองทิศทาง	28
รูปที่ 3.9 วงจรสร้างสัญญาณ PWM	29
รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสดรงแบบสองทิศทาง	29
รูปที่ 3.11 วงจรควบคุมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสดรงแบบสองทิศทาง	30
รูปที่ 4.1 วงจรกำลังที่ออกแบบในการทดลองด้วยโปรแกรม PSIM	31
รูปที่ 4.2 วงจร ในส่วน AC to DC ในโปรแกรม PSIM	31
รูปที่ 4.3 แรงดันและกระแสที่กริดในระบบเพอร์ยูนิตเมื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากกริดไปยัง DC link	33
รูปที่ 4.4 กระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่ DC link	33
รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงกับกำลังไฟฟ้าจริงที่ DC link	34
รูปที่ 4.6 แรงดันที่ DC link เมื่อทำงานในโหมด Buck Converter	34
รูปที่ 4.7 กระแสที่เข้าสู่แบตเตอรี่ในโหมด Buck Converter	35
รูปที่ 4.8 ค่า duty เมื่อทำงานในโหมด Buck Converter	35
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงที่ DC link และแบตเตอรี่	36
รูปที่ 4.10 แรงดันและกระแสที่กริดในระบบเพอร์ยูนิตเมื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจาก DC link ไปยังกริด	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

รูปที่ 4.11 กระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่ DC link	37
------------------------------------------	----

ไม่ว่ากรณีใดก็ตามสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงกับกำลังไฟฟ้าจริงที่ DC link.....	38
รูปที่ 4.13 แรงดันที่ DC link เมื่อทำงานในโหมด Boost Converter .....	38
รูปที่ 4.14 กระแสไฟฟ้าที่ออกจากแบตเตอรี่ในโหมด Boost Converter.....	39
รูปที่ 4.15 ค่า duty เมื่อทำงานในโหมด Boost Converter .....	39
รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงที่ DC link และแบตเตอรี่.....	40
รูปที่ 4.17 แรงดันและกระแสที่กริด .....	41
รูปที่ 4.18 กระแสที่เข้าและออกจาก DC link.....	41
รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงกับกำลังไฟฟ้าจริงที่ DC link.....	42
รูปที่ 4.20 แรงดันที่ DC link.....	42
รูปที่ 4.21 กระแสที่เข้าและออกจากแบตเตอรี่.....	43
รูปที่ 4.22 duty ของการทำงานในโหมด Buck Converter และ Boost Converter .....	43
รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงที่ DC link และ แบตเตอรี่.....	44
รูปที่ 4.24 วงจรกำลังที่ใช้ในการออกแบบระบบ BESS.....	45
รูปที่ 4.25 วงจรควบคุมของระบบ Battery Energy Storage System.....	46
รูปที่ 4.26 ผลการจำลองการทำงานของระบบ BESS .....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

## สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงการทำงานและแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์ .....	8
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง.....	32



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

X

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ มีความต้องการในการใช้พลังงานในการขับเคลื่อนพาหนะยานยนต์ที่มากขึ้น ในเวลาเดียวกันนั้นปริมาณเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัดก็ถูกใช้งานและมีปริมาณที่น้อยลงเรื่อยๆ ดังนั้นการเลือกใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นพลังงานที่สามารถผลิตขึ้นมาได้จากพลังงานทดแทนในการขับเคลื่อนพาหนะยานยนต์จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ในสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้านั้น นอกเหนือจากการเรียกเก็บค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy charge) ที่ใช้งานตามปกติแล้วนั้น ยังมีการเรียกเก็บค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand charge) โดยที่ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้านั้นคือค่าใช้จ่ายที่เก็บเพิ่มเติมจากค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยเรียกเก็บจากค่ากำลังไฟฟ้าที่เกินจากสัญญาการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าในหน่วยบาทต่อกิโลวัตต์ ดังนั้นการลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการใช้ระบบกักเก็บพลังงานเพื่อลดค่าใช้จ่ายสำหรับสถานีชาร์จประจุไฟฟ้า

จากแนวโน้มเศรษฐกิจในอนาคต ซึ่งมีการคาดการณ์ว่ารถยนต์ไฟฟ้าจะมีบทบาทในการใช้งานมากขึ้น เนื่องจากรถยนต์ไฟฟ้าสามารถลดปัญหาและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมอันเนื่องมาจากการใช้รถยนต์สันดาปภายใน อีกทั้งยังมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานมากกว่ารถยนต์สันดาปภายใน และจากการที่มีแนวโน้มว่ารถยนต์ไฟฟ้าจะมีการใช้งานมากขึ้นในอนาคต ดังนั้นสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าจึงถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น ซึ่งปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละครั้งจะมีค่ามาก ถ้าหากจำนวนการใช้รถยนต์ไฟฟ้ามีจำนวนมากก็จะส่งผลให้ความต้องการพลังงานสูงสุดมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณค่าใช้จ่ายที่ใช้จากสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าก็จะมีค่าสูง โดยปกติอาจจะสามารถจัดการลำดับและจำนวนรถยนต์ไฟฟ้าที่มาชาร์จกับสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าเพื่อลดค่าความต้องการพลังงานสูงสุดได้ แต่นั่นอาจจะยังไม่เพียงพอกับค่าใช้จ่ายที่เสียไปกับ Demand charge ซึ่งจากจุดนี้นั้นหากสามารถพัฒนาระบบควบคุมปริมาณของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้ระบบกักเก็บพลังงานจากแบตเตอรี่ให้สามารถลดปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่สูงสุดต้องใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าได้ ก็จะสามารถลดค่าใช้จ่ายที่มาจากปริมาณการใช้ของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าให้น้อยลงได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในการที่จะนำระบบกักเก็บพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้ภายในสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้า แบตเตอรี่ที่นำมาใช้จำเป็นต้องรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในการกักเก็บพลังงาน ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่มาจากกริดนั้นเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จำเป็นต้องมีวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อที่จะลดแรงดันที่ใช้ในการเก็บเข้าสู่แบตเตอรี่หรือใช้ในการจ่ายไฟออกจากแบตเตอรี่ โดยในส่วนของระบบควบคุมนั้นจะใช้บอร์ด DSP (Digital Signal Processor) ในการควบคุม โดยบอร์ด DSP นั้นจะทำงานตามโปรแกรมที่ตั้งไว้ ซึ่งสามารถทำให้แบตเตอรี่สามารถกักเก็บพลังงานหรือจ่ายพลังงานออกไปในแต่ละช่วงเวลาได้ตามพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการใช้งาน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 ศึกษาและออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

1.2.2 ศึกษาและออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

1.2.3 ศึกษาการทำงานของระบบภายในสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้า

1.2.4 ออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมดีมานของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าโดยระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่

1.2.5 ศึกษาผลที่ได้จากระบบควบคุมดีมานและเปรียบเทียบกับผลที่ได้เมื่อไม่ใช้ระบบควบคุมดีมาน

## 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาและออกแบบวิธีควบคุมการกักเก็บพลังงานหรือจ่ายพลังงานออกจากแบตเตอรี่เพื่อลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จากกริด หากสามารถควบคุมและลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สูงสุดได้จะส่งผลให้สามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกิดจาก Demand charge ได้ ซึ่งขอบเขตในการทำโครงการครั้งนี้ได้แก่

1. การออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อนำไปใช้กับแบตเตอรี่
2. การออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง เพื่อให้ระบบนี้

สามารถลดแรงดันเพื่อกักเก็บพลังงานเข้าสู่แบตเตอรี่ หรือเพิ่มแรงดันเพื่อจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ออกไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 1.4 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ช่วงเวลา									
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้าในสถานีชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าและตีมาตรฐานชาร์จ										
ศึกษาเกี่ยวกับวงจรควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า										
ออกแบบและจำลองผลวงจรควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า										
ศึกษาและออกแบบกราฟการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า										
จัดทำเล่มปฏิญญานิพนธ์สไลด์เพื่อนำเสนอโครงการ										

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เข้าใจโครงสร้างและหลักการควบคุมตีมาตรฐานของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าโดยระบบกักเก็บพลังงาน
2. สามารถออกแบบ, เข้าใจโครงสร้างและหลักการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงาน
3. สามารถทำงานร่วมกับผู้อื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 1.6 โครงสร้างเนื้อหาภายในปฏิญญานิพนธ์

เนื้อหาภายในปฏิญญานิพนธ์ ประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1 บทนำ ประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของโครงการ ขอบเขตของการศึกษา แผนนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ประกอบไปด้วย ระบบกักเก็บพลังงาน วงจรเรียงกระแส วงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง การแปลงจากกรอบอ้างอิงสามเฟสสู่กรอบอ้างอิงซิงโครนัส Phase Locked Loop (PLL) PI Controller ระบบที่ใช้ในการควบคุม และระบบต่อหน่วย

บทที่ 3 การออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมติมานต์ของสถานีชาร์จประจุรถยนต์ไฟฟ้า ประกอบไปด้วย การออกแบบวงจรกำลัง และวงจรควบคุมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง และ วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

บทที่ 4 ผลการทดลองวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมติมานต์ของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้า ประกอบด้วย ผลการทดลองในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ ผลการทดลองในโหมดชาร์จแบตเตอรี่ ผลการทดลองในโหมดดิสชาร์จแบตเตอรี่ และการจำลองการทำงานของ Battery Energy Storage System

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองอุปสรรคและข้อเสนอแนะ ประกอบด้วย สรุปผลการทดลอง อุปสรรค แนวทางการแก้ไข และ สิ่งที่ต้องปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ระบบกักเก็บพลังงาน

ระบบกักเก็บพลังงาน หรือ Energy storage System ( ESS ) เป็นระบบที่ใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานในรูปแบบอื่นๆ และสามารถนำออกมาใช้งานได้ในกรณีที่ต้องการ โดยแปลงพลังงานกลับมาให้เป็นในรูปแบบของพลังงานไฟฟ้า โดยระบบที่จะเสนอในปฏิญานพจน์นี้คือระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ หรือ Battery Energy Storage System ( BESS ) ซึ่งประกอบไปด้วย แบตเตอรี่ วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง และวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง โดยมีหลักการคือเมื่อกริดมีการใช้งานไฟฟ้าน้อย ระบบกักเก็บพลังงานก็จะทำหน้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบเพื่อมาเก็บไว้ในแบตเตอรี่ ในทางตรงกันข้ามหากการใช้งานไฟฟ้าที่กริดมีมากขึ้น ระบบก็จะแปลงพลังงานจากแบตเตอรี่มาเข้าสู่กริดเพื่อรักษาเสถียรภาพ และ ช่วยลดความผันผวนของระบบ

#### 2.2 วงจรเรียงกระแส

##### 2.2.1 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบไดโอด

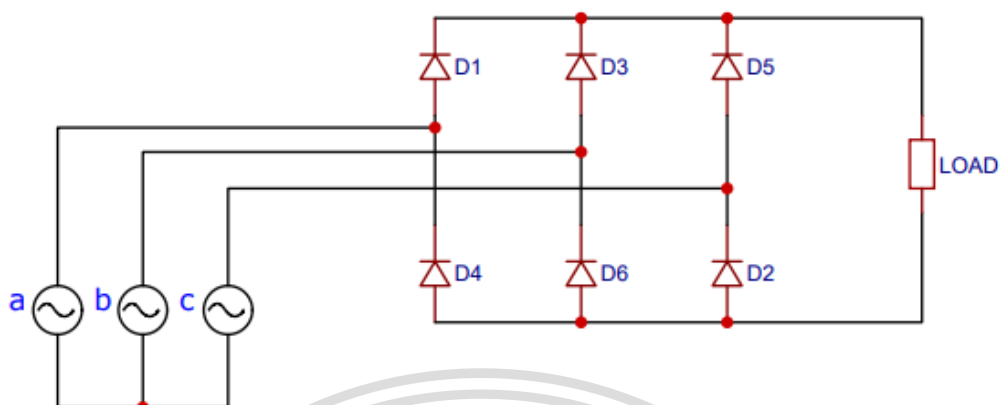
วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบไดโอดเป็นวงจรเรียงกระแสแบบพื้นฐานที่ใช้ไดโอดหกตัวในการเรียงกระแสจากไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสไปสู่อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกและขาเข้าเป็นดังนี้

$$V_{DC} = \frac{3 * V_{LL,max}}{\pi} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

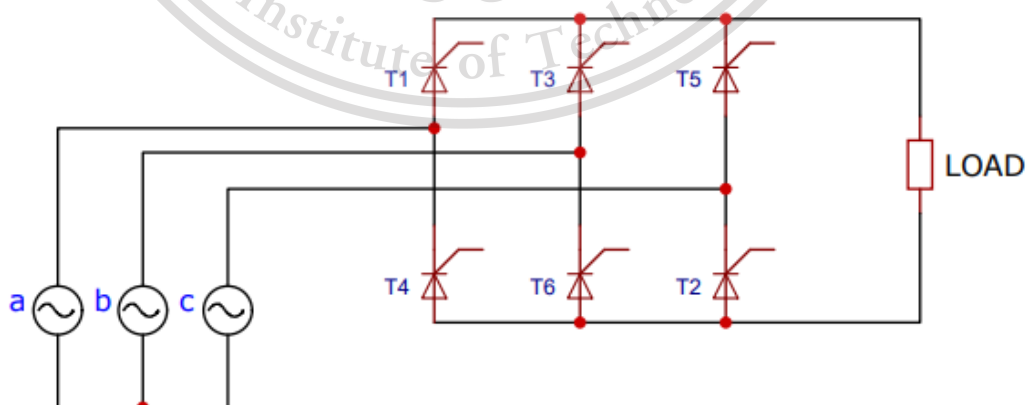


รูปที่ 2.1 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบไดโอด

### 2.2.2 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมเฟส

วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมเฟสได้นั้นแตกต่างจากวงจรเรียงกระแสแบบไดโอดตรงที่จะใช้ไทรสเตอร์ทำหน้าที่เป็นสวิตช์กำลังในวงจรแทน ซึ่งการทำงานของไทรสเตอร์นั้นจะเริ่มนำกระแสเมื่อมีแรงดันมากระตุ้นขา Gate ของมัน โดยจะมีมุมจุดชนวนเป็นตัวกำหนดการทำงานของไทรสเตอร์ทั้ง 6 โดยสมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันขาออกกับแรงดันขาเข้าเป็นดังนี้

$$V_{DC} = \frac{3 * V_{LL,max}}{\pi} \cos \alpha \quad (2.2)$$



รูปที่ 2.2 วงจรเรียงกระแสสามเฟสแบบควบคุมเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

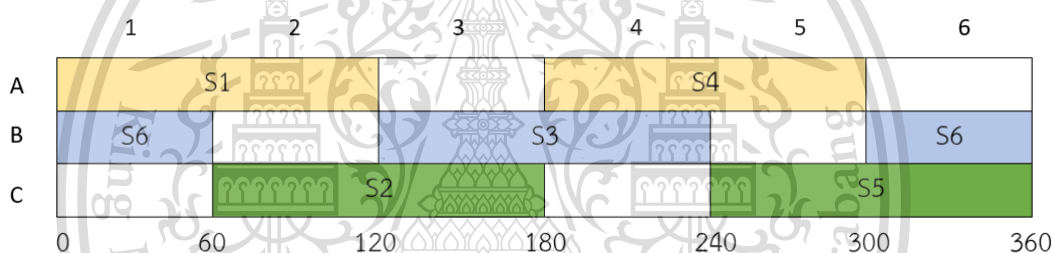
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.3 วงจรอินเวอร์เตอร์

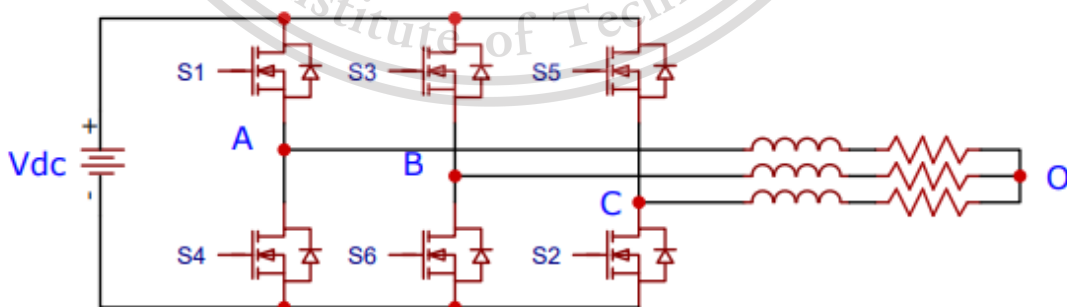
วงจรอินเวอร์เตอร์ คือวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังรูปแบบหนึ่งที่ใช้แปลงสัญญาณแรงดันจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง สู่ไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งอาจจะเป็นกระแสสลับเฟสเดียวหรือสามเฟสก็ได้ตามต้องการ โดยมีอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งเป็นหัวใจหลักในการควบคุมการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์

### 2.3.1 วงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟส

อินเวอร์เตอร์สามเฟสเป็นวงจรที่จะทำการแปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยที่ใช้จุด 0 เป็นจุดหลักในการแบ่งสัญญาณแรงดัน ซึ่งสวิตซ์ ทั้ง 6 ตัว จะมีมุมการทำงานที่ไม่เท่ากัน โดยสวิตซ์แต่ละตัวจะมุมการทำงานจะต่างกันที่ 60 องศา เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าขาออกที่เป็นแรงดันไฟฟ้าสามเฟส ซึ่งสามารถแบ่งช่วงการทำงานออกได้เป็น 6 ช่วงการทำงานดังนี้



รูปที่ 2.3 ช่วงการทำงานของอุปกรณ์สวิตซ์ของแต่ละช่วง



รูปที่ 2.4 วงจรอินเวอร์เตอร์สามเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

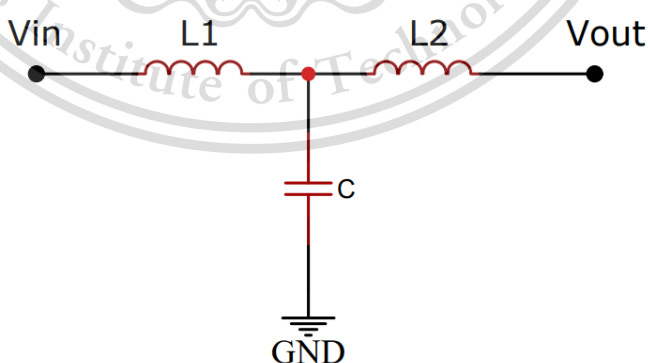
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงการทำงานและแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์

	V <sub>ao</sub>	V <sub>bo</sub>	V <sub>co</sub>
ช่วงที่ 1	$\frac{V_{dc}}{2}$	$\frac{-V_{dc}}{2}$	0
ช่วงที่ 2	$\frac{V_{dc}}{2}$	0	$\frac{-V_{dc}}{2}$
ช่วงที่ 3	0	$\frac{V_{dc}}{2}$	$\frac{-V_{dc}}{2}$
ช่วงที่ 4	$\frac{-V_{dc}}{2}$	$\frac{V_{dc}}{2}$	0
ช่วงที่ 5	$\frac{-V_{dc}}{2}$	0	$\frac{V_{dc}}{2}$
ช่วงที่ 6	0	$\frac{-V_{dc}}{2}$	$\frac{V_{dc}}{2}$

### 2.3.2 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ LC

วงจรกรองความถี่ต่ำจะใช้เพื่อให้สัญญาณขาออกจากอินเวอร์เตอร์มีลักษณะเข้าใกล้รูปคลื่นไซน์มากขึ้น โดยกำจัดสัญญาณที่เป็นสัญญาณฮาร์มอนิกออกไปจากรูปคลื่น ซึ่งวงจรกรองความถี่ต่ำแบบ LC จะประกอบไปด้วยตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ โดยหลักการการทำงานของวงจรกรองความถี่ต่ำแบบ LC จะใช้หลักการคือสัญญาณที่มีความถี่สูงจะเห็นค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุมีค่าต่ำ แต่จะเห็นค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำมีค่าสูง ทำให้สัญญาณไม่สามารถผ่านไปได้ ตรงกันข้ามกับสัญญาณความถี่ต่ำที่จะเห็นค่าอิมพีแดนซ์ของตัวเหนี่ยวนำมีค่าต่ำ แต่จะเห็นอิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุมีค่าสูง ทำให้สัญญาณสามารถผ่านไปได้ นอกจากนี้วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ LC สามารถแบ่งแยกย่อยได้เป็นอีกสองประเภท คือ แบบ T และ แบบ  $\pi$

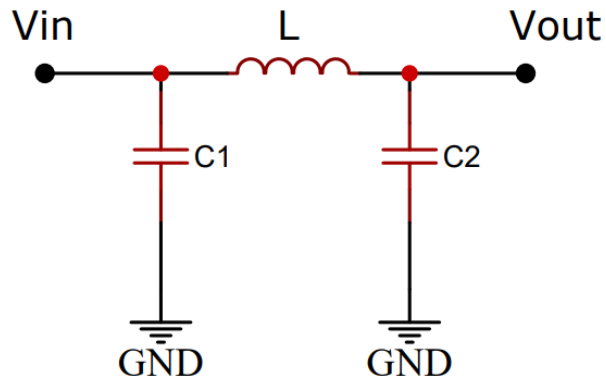


รูปที่ 2.5 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ T

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.6 วงจรกรองความถี่ต่ำแบบ  $\pi$

โดยที่เราสามารถออกแบบความถี่ตัดที่เราต้องการได้จากสมการดังนี้

$$f_{cutoff} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $f_{cutoff}$  คือ ความถี่ตัดของวงจรกรอง

$L$  คือ ค่าความเหนี่ยวนำในหน่วยของเฮนรี

$C$  คือ ค่าความเก็บประจุในหน่วยของฟารัด

### 2.3.3 SPWM ( Sinusoidal Pulse Width Modulation)

SPWM หรือ Sinusoidal Pulse Width Modulation คือเทคนิคการสร้างสัญญาณสวิตซ์รูปแบบหนึ่ง โดยการใช้สองสัญญาณมาเปรียบเทียบกับได้แก่รูปคลื่นไซน์ที่มีความถี่ที่ต้องการและรูปคลื่นสามเหลี่ยม หรือเรียกอีกอย่างว่าการมอดดูเลชั่น (Modulation) โดยที่ค่าอัตราส่วนการมอดดูเลชั่น หรือ  $m_a$  และอัตราส่วนความถี่การมอดดูเลชั่น หรือ  $m_f$  มีสมการเป็นดังนี้

$$m_a = \frac{V_{peak,sin}}{V_{peak,tri}} \quad (2.4)$$

$$m_f = \frac{f_c}{f} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยที่  $m_a$  คือ อัตราส่วนแอมพลิจูดของการมอดดูเลชั่น

$m_f$  คือ อัตราส่วนความถี่ของการมอดดูเลชั่น

$V_{\text{peak,sin}}$  คือ จุดยอดของสัญญาณรูปคลื่นไซน์

$V_{\text{peak,tri}}$  คือ จุดยอดของสัญญาณรูปคลื่นสามเหลี่ยม

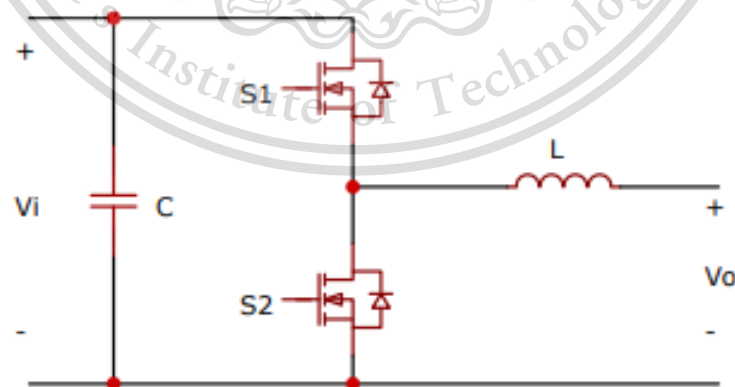
$f$  คือ ความถี่ของสัญญาณรูปคลื่นไซน์

$f_c$  คือ ความถี่ของพาหะ หรือความถี่ของสัญญาณสามเหลี่ยม

เมื่อพิจารณาค่าอัตราส่วนการมอดดูเลชั่น หรือ  $m_a$  จะสามารถแบ่งย่านการทำงาน ของได้เป็นสองย่านคือ การมอดดูเลชั่นเชิงเส้น ( $0 < m_a < 1$ ) ซึ่งเป็นย่านที่สามารถควบคุมแรงดันขา ออกของอินเวอร์เตอร์ได้ตามการปรับค่า  $m_a$  ได้อย่างเป็นเชิงเส้นแต่หากเลยจุดที่เป็นเชิงเส้นไปแล้วจะ เข้าสู่ย่านการโอเวอร์มอดดูเลชั่น ( $m_a > 1$ ) จะทำให้การปรับค่าแรงดันขาออกของอินเวอร์เตอร์นั้นมี พฤติกรรมที่ไม่เป็นเชิงเส้นกับค่า  $m_a$  โดยที่  $m_a$  จะมีค่าลู่เข้าค่า  $\frac{4}{\pi}$  ซึ่งการเกิดการโอเวอร์มอดดูเลชั่น นั้นจะส่งผลทำให้สัญญาณขาออกมีปัญหาในเรื่องของฮาร์โมนิกที่สามเกิดขึ้นอีกด้วย

## 2.4 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

กระแสตรงชนิดหนึ่งที่สามารถทำงานได้ทั้งในโหมด buck converter และ boost converter โดยใช้เพื่อเพิ่มหรือลดแรงดันตามโหมดการทำงานที่ต้องการ โดยลักษณะของวงจรมีดังนี้



รูปที่ 2.7 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบสองทิศทาง

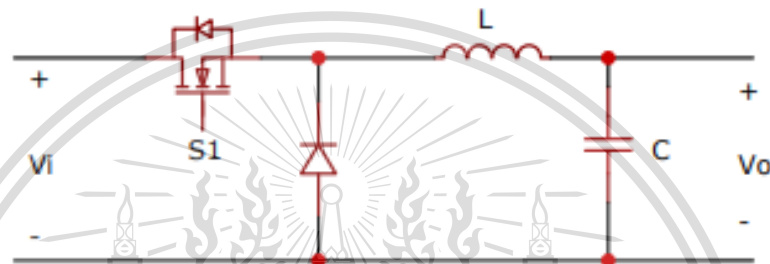
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

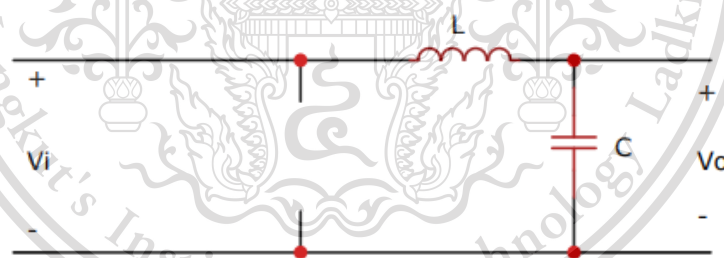
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 2.4.1 โหมดการทำงานแบบ Buck converter

ในโหมดการทำงานแบบ buck converter จากรูปที่ สวิตช์ S1 จะทำหน้าที่เป็น สวิตช์กำลัง ส่วนสวิตช์ S2 จะทำหน้าที่เป็นไดโอด ซึ่งจะเป็นวนจรที่ทำหน้าที่ในการลดแรงดัน โดยในการพิจารณาจะพิจารณาในตอนท่สวิตช์ S1 เปิดและปิดการทำงาน ซึ่งใช้หลักการที่ว่า แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำตัวหนึ่งในคาบเวลาหนึ่งจะมีค่าเท่ากับ 0 ทำให้กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่เปลี่ยนแปลงไปในคาบเวลาหนึ่งเป็น 0 ด้วย อย่างที่สองคือประจุที่ชาร์จเข้าและคายออกจากตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาต้องเท่ากัน และอย่างสุดท้าย กำลังไฟฟ้าขาเข้าและขาออกต้องมีค่าที่เท่ากัน



รูปที่ 2.8 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบ Buck Converter



รูปที่ 2.9 การทำงานในโหมด buck converter เมื่อสวิตช์ S1 นำกระแส

เริ่มแรกจะพิจารณาในตอนท่สวิตช์ S1 อยู่ในสถานะ ON หรือมีสถานะเป็นการปิด วงจร ทำให้กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ และแรงดันของแหล่งจ่ายจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำรวมกับแรงดันที่ตกคร่อมโหนด โดยสามารถพิจารณาเป็นสมการได้ดังนี้

$$V_i = V_L + V_o \quad (2.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และด้วยอ้างชื่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$L \frac{dI_{L,ON}}{dt} = V_i - V_o$$

$$\frac{dI_{L,ON}}{dt} = \frac{V_i - V_o}{L}$$

$$\Delta I_{L,ON} = \frac{V_i - V_o}{L} DT \quad (2.7)$$

โดยเมื่อ D คือ เวลาที่สวิตช์นำกระแสในหนึ่งคาบเวลา ( $t_{on}$ )หารด้วยคาบเวลาในการทำงานทั้งหมด (T)



รูปที่ 2.10 การทำงานในโหมด buck converter เมื่อสวิตช์ S1 ไม่นำกระแส

ส่วนถัดมาจะพิจารณาในตอนที่สวิตช์ S1 อยู่ในสถานะ OFF หรือมีสถานะเป็นการเปิดวงจร ทำให้ตัวเหนี่ยวนำในวงจรทำหน้าที่เสมือนแหล่งจ่ายให้กับโหลด โดยแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับค่าติดลบของแรงดันที่ตกคร่อมโหลดตามกฎของเคอร์ชอฟฟ์ โดยสามารถพิจารณาเป็นสมการได้ดังนี้

$$V_L = -V_o \quad (2.8)$$

$$\frac{dI_{L,OFF}}{dt} = \frac{-V_o}{L}$$

$$\Delta I_{L,OFF} = \frac{-V_o}{L} (1 - D)T \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากที่ได้กล่าวไปในข้างต้น แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในหนึ่งหน่วยคาบเวลาจะมีค่าเป็น 0 ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในหนึ่งคาบเวลาก็จะมีค่าเป็น 0 ด้วยเช่นกัน ดังนั้นเมื่อนำมาพิจารณาเป็นสมการจะได้ดังนี้

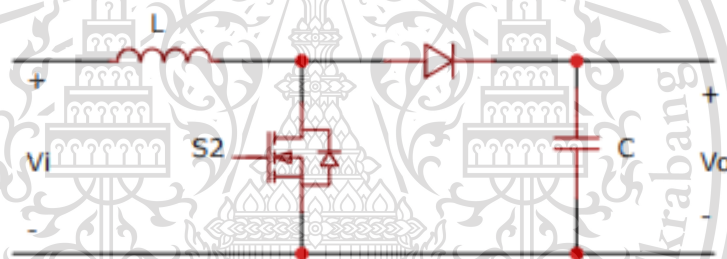
$$\Delta I_{L,ON} + \Delta I_{L,OFF} = 0 \quad (2.10)$$

$$\frac{V_i - V_o}{L} DT + \frac{-V_o}{L} (1 - D)T = 0$$

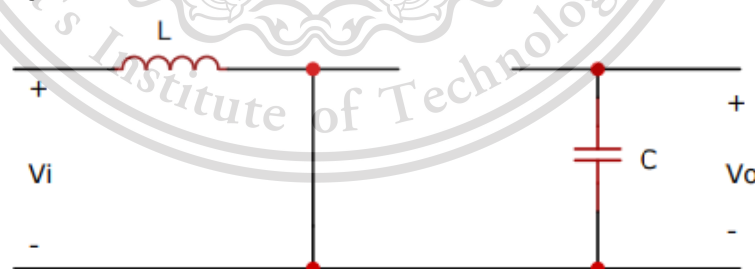
$$V_i (D) = V_o \quad (2.11)$$

#### 2.4.2 โหมดการทำงานแบบ Boost converter

ในโหมดการทำงานแบบ Boost converter จากรูปที่ สวิตช์ S2 จะทำหน้าที่เป็นสวิตช์กำลัง ส่วนสวิตช์ S1 จะทำหน้าที่เป็นไดโอดตรงกันข้ามกับการทำงานแบบ Buck Converter ซึ่งจะเป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าขึ้น โดยมีหลักการทำงานคล้ายกับ Buck Converter ที่ได้กล่าวมาในข้างต้น



รูปที่ 2.11 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบ Boost Converter



รูปที่ 2.12 การทำงานในโหมด boost converter เมื่อสวิตช์ S2 นำกระแส

เริ่มแรกจะพิจารณาในตอนที่สวิตช์ S2 อยู่ในสถานะ ON หรือมีสถานะเป็นการปิดวงจร ทำให้กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ แต่ไม่สามารถไหลผ่านไปยังโหลดได้เนื่องจากไดโอดจะทำหน้าที่เป็น

หน้ากั้นที่ปิดวงจร ซึ่งจะได้ว่าแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับค่าติดลบของแรงดันจาก  
ไม่ว่ากรณีใดแหล่งจ่าย ตามกฎของเคอร์ชอฟฟ์ ซึ่งพิจารณาเป็นสมการได้ดังนี้ จำของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

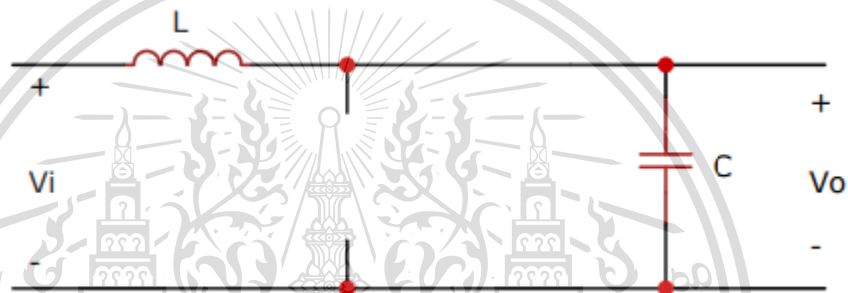
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$V_L = -V_i \quad (2.12)$$

$$\frac{dI_{L,ON}}{dt} = \frac{-V_i}{L}$$

$$\Delta I_{L,ON} = -\frac{V_i}{L}DT \quad (2.13)$$

โดยเมื่อ D คือ เวลาที่สวิตช์นำกระแสในหนึ่งคาบเวลา ( $t_{on}$ )หารด้วยคาบเวลาในการทำงานทั้งหมด (T)



รูปที่ 2.13 การทำงานในโหมด boost converter เมื่อสวิตช์ S2 ไม่นำกระแส

ส่วนถัดมาจะพิจารณาในตอนที่สวิตช์ S2 อยู่ในสถานะ OFF หรือมีสถานะเป็นการเปิดวงจร แรงดันของแหล่งจ่ายจะมีค่าเท่ากับแรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำรวมกับแรงดันที่ตกคร่อมโหลด โดยสามารถพิจารณาเป็นสมการได้ดังนี้

$$V_i = V_L + V_o \quad (2.14)$$

$$V_L = V_i - V_o$$

$$\frac{dI_{L,OFF}}{dt} = \frac{V_i - V_o}{L}$$

$$\Delta I_{L,OFF} = \frac{V_i - V_o}{L}(1 - D)T \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากที่ได้กล่าวไปในข้างต้น แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในหนึ่งหน่วยคาบเวลาจะมีค่าเป็น 0 ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในหนึ่งคาบเวลาก็จะมีค่าเป็น 0 ด้วยเช่นกัน ดังนั้นเมื่อนำมาพิจารณาเป็นสมการจะได้ดังนี้

$$\Delta I_{L,ON} + \Delta I_{L,OFF} = 0 \quad (2.16)$$

$$-\frac{V_i}{L}DT + \frac{V_i - V_o}{L}(1 - D)T = 0$$

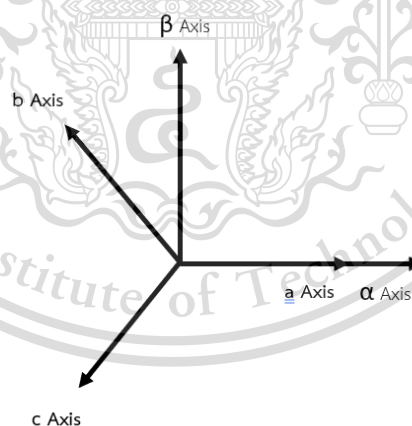
$$V_i - V_o + V_o(D) = 0$$

$$V_o = \frac{V_i}{(1 - D)} \quad (2.17)$$

## 2.5 การแปลงจากกรอบอ้างอิงสามเฟสสู่กรอบอ้างอิงซิงโครนัส

### 2.5.1 Clarke Transform

Clarke Transform เป็นกระบวนการหนึ่ง que แปลงสัญญาณทางไฟฟ้าจากกรอบอ้างอิงสามเฟส (Three Phase Reference Frame) สู่กรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง ( $\alpha\beta$  Reference frame)



รูปที่ 2.14 การแปลงแกนตามกฎของ Clarke

โดยมีสมการที่ใช้ในการแปลงสัญญาณเขียนในรูปของเมตริกได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ของ [  $f_{\alpha\beta}$  ] = [  $T_{\alpha\beta}$  ] [  $f_{abc}$  ] อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (2.18) การค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

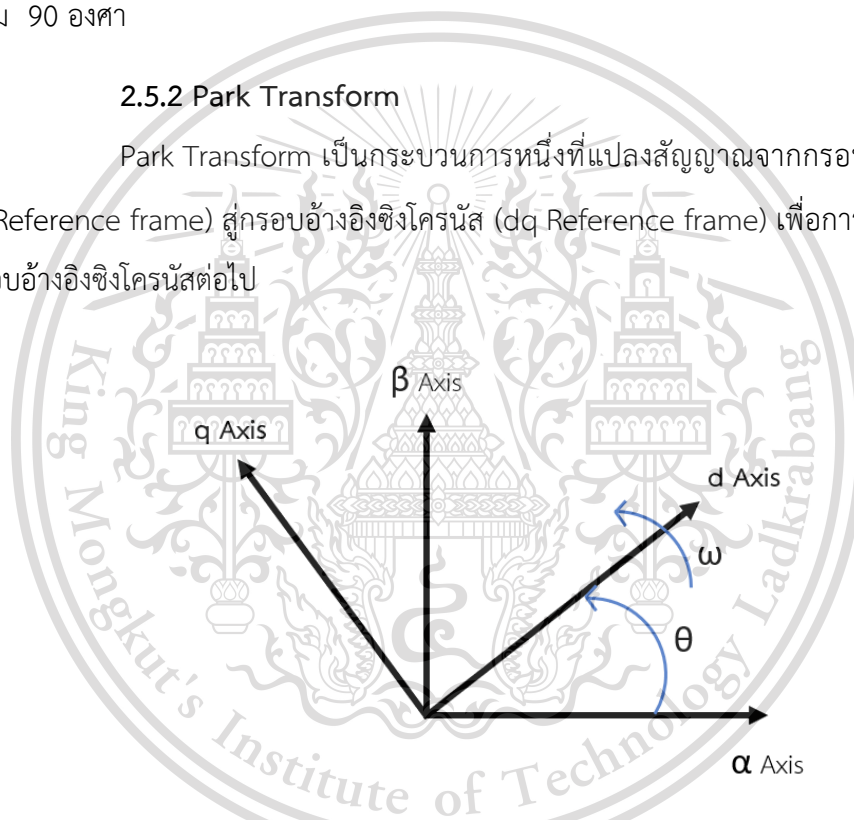
โดยที่  $[T_{\alpha\beta}]$  คือเมตริกซ์ดังนี้

$$[T_{\alpha\beta}] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

โดยที่การแปลงแกนโดยใช้ Clark Transform นั้น แกน  $\beta$  จะนำหน้าแกน  $\alpha$  อยู่ด้วยมุม 90 องศา

### 2.5.2 Park Transform

Park Transform เป็นกระบวนการหนึ่งที่แปลงสัญญาณจากกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง ( $\alpha\beta$  Reference frame) สู่กรอบอ้างอิงซิงโครนัส (dq Reference frame) เพื่อการวิเคราะห์ระบบในกรอบอ้างอิงซิงโครนัสต่อไป



รูปที่ 2.15 การแปลงแกนตามกฎของ Park

โดยมีสมการที่ใช้ในการแปลงสัญญาณเขียนในรูปของเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$[f_{dq}] = [T_{dq}][f_{\alpha\beta}] \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับอาจารย์รวมเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
โดยที่  $[T_{dq}]$  คือเมตริกซ์ดังนี้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

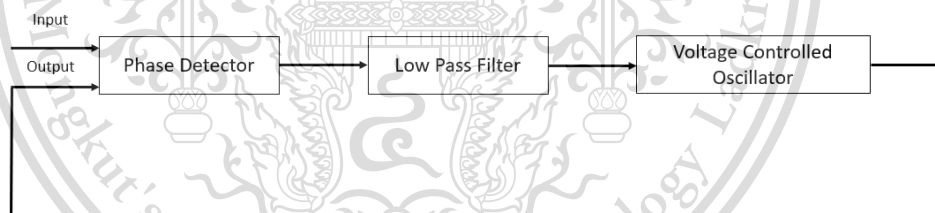
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$[T_{dq}] = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

โดยที่การแปลงแกนโดยใช้ Park Transform นั้น แกน q จะนำหน้าแกน d อยู่ด้วยมุม 90 องศา

## 2.6 Phase Locked Loop (PLL)

ในการที่จะหาค่ามุม  $\theta$  เพื่อใช้ในการแปลงแกนจากกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง ( $\alpha\beta$  Reference frame) สู่กรอบอ้างอิงชิงโครนัส (dq Reference frame) นั้นสามารถหาได้จากวิธี Phase Locked Loop (PLL) ซึ่งเป็นระบบควบคุมชนิดหนึ่งที่จะสร้างสัญญาณเอาต์พุตโดยที่สัญญาณเอาต์พุตนั้นจะมีมุมเฟสเท่ากับสัญญาณอินพุต ซึ่งประกอบด้วยสามองค์ประกอบด้วยกัน ได้แก่ Phase Detector มีหน้าที่สร้างสัญญาณแรงดันจากการเปรียบเทียบสัญญาณอินพุตและสัญญาณที่ถูกสร้างโดย VCO ส่วนที่สองคือ Low Pass Filter มีหน้าที่ในการขจัดสัญญาณรบกวนหรือส่วนที่เป็นสัญญาณแรงดันกระแสตรงออกจากสัญญาณที่มาจาก Phase Detector เพื่อเข้าสู่ VCO ต่อไป และส่วนสุดท้ายคือ Voltage Controlled Oscillator เป็นส่วนที่จะสร้างสัญญาณที่มีความถี่เท่ากับสัญญาณอินพุตออกไป โดยมีบล็อกไดอะแกรมการทำงานเป็นดังนี้



รูปที่ 2.16 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ PLL

เมื่อ PLL ทำงานจะทำให้เราได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีความถี่เท่ากับสัญญาณอินพุตออกมาเพื่อไปใช้ในการแปลงแกนจากกรอบอ้างอิงหยุดนิ่ง ( $\alpha\beta$  Reference frame) สู่กรอบอ้างอิงชิงโครนัส (dq Reference frame) โดยในการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้านั้น ตัวแปรที่ทำหน้าที่เป็น Phase Detector คือ  $V_q$  โดยสามารถพิสูจน์ได้จากสมการดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และนำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

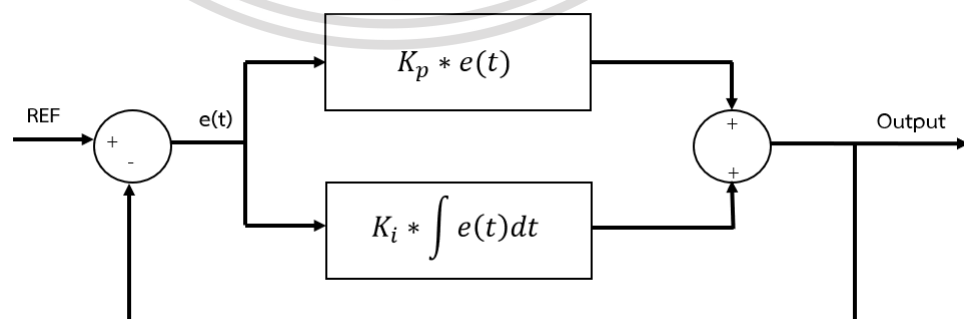
$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_\alpha \\ V_\beta \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

$$\begin{aligned}
 V_q &= V_\alpha(-\sin\theta) + V_\beta(\cos\theta) \\
 V_q &= -V_m(\sin\theta)(\cos(\theta + \delta)) + V_\beta(\cos\theta)(\sin(\theta + \delta)) \\
 V_q &= -V_m \sin(\theta - (\theta + \delta)) \\
 V_q &= V_m \sin(\delta) \\
 V_q &= \delta
 \end{aligned}
 \tag{2.23}$$

ดังนั้นจะได้ว่า Phase Detector คือ  $V_q$  ส่วนสิ่งที่ทำหน้าที่เป็น Low Pass Filter คือ PI Controller และส่วนที่ทำหน้าที่เป็น VCO คือวงจรที่ทำหน้าที่ในการอินทิเกรตนั่นเอง

## 2.7 PI Controller

PI controller เป็นการควบคุมแบบระบบป้อนกลับชนิดหนึ่งที่มีการนำเอาเอาต์พุตมาเป็นอินพุตของระบบป้อนกลับ โดยใช้การเปรียบเทียบค่าเอาต์พุตจริงกับค่าอ้างอิงที่เราต้องการเพื่อให้ได้เป็นค่า error และนำค่า error นั้นไปใช้ในการควบคุมระบบ ซึ่ง PI Controller จะประกอบด้วยสองส่วนได้แก่ ตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Controller) และ ตัวควบคุมแบบอินทิกรัล (Integral Controller) โดย ตัวควบคุมแบบสัดส่วนจะใช้ค่า  $K_p$  ในนำเข้าไปคูณกับค่า error ที่ได้ในช่วงต้นเพื่อนำไปควบคุม โดยการมีตัวควบคุมแบบสัดส่วนนี้จะช่วยลดค่าความผิดพลาดของระบบแต่หากมีค่ามากเกินไปเสถียรภาพของระบบก็จะลดลง ส่วนตัวควบคุมแบบอินทิกรัลจะเป็นการหาค่าปริพันธ์ของ error ที่ได้ในช่วงต้นคูณกับค่า  $K_i$  เพื่อนำไปควบคุม โดยการมีตัวควบคุมแบบอินทิกรัลจะช่วยลด Steady state error ของระบบลงได้ แต่จะทำให้เกิดการ Overshoot ขึ้น ซึ่งการควบคุมแบบ PI Controller มีบล็อกไดอะแกรมการควบคุมเป็นดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.17 บล็อกไดอะแกรมของ PI Controller

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เมื่อ  $e(t)$  คือ ค่าการ error หรือค่าความผิดพลาด

$K_p$  คือ ค่าคงที่ของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน

$K_i$  คือ ค่าคงที่ของตัวควบคุมแบบอินทิกรัล

$t$  คือ เวลา

## 2.8 ระบบที่ใช้ในการควบคุม

### 2.8.1 ระบบที่ใช้ในควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็น

#### กระแสตรงแบบสองทิศทาง

การควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงจะใช้หลักการเปรียบเทียบกระแสไฟฟ้าที่ไหลระหว่างกริดกับอินเวอร์เตอร์กับค่าอ้างอิงในกรอบอ้างอิงซิงโครนัสและนำไปผ่าน PI Controller เพื่อนำไปสร้างสัญญาณแรงดันอ้างอิงในการขับเคลื่อนของอุปกรณ์สวิตซิ่ง โดยกระแสที่ใช้อ้างอิงนั้นจะถูกแปลงมาจากกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ต้องการใช้เป็นค่าอ้างอิง เพื่อให้ระบบสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ตามกำลังไฟฟ้าที่อ้างอิงเอาไว้

โดยเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่กริดกับแรงดันที่อินเวอร์เตอร์ตามกฎของเคอร์ชอฟฟ์พิจารณาได้เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} V_{sa} &= L \frac{dI_{sa}}{dt} + V_{inv,a} \\ V_{sb} &= L \frac{dI_{sb}}{dt} + V_{inv,b} \\ V_{sc} &= L \frac{dI_{sc}}{dt} + V_{inv,c} \end{aligned} \quad (2.24)$$

เมื่อ  $V_{sa}$ ,  $V_{sb}$ ,  $V_{sc}$  คือแรงดันฝั่งกริดเฟส a-b-c ตามลำดับ

$I_{sa}$ ,  $I_{sb}$ ,  $I_{sc}$  คือกระแสที่ไหลจากกริดสู่อินเวอร์เตอร์เฟส a-b-c ตามลำดับ

$V_{inv,a}$ ,  $V_{inv,b}$ ,  $V_{inv,c}$  คือแรงดันฝั่งอินเวอร์เตอร์เฟส a-b-c ตามลำดับ

เมื่อนำสมการข้างต้นมาแปลงแกนสู่กรอบอ้างอิงซิงโครนัส จะได้เป็นดังนี้

$$V_{sd} = L \left( \frac{dI_{sd}}{dt} \right) - L\omega_0 I_{sq} + V_{inv,d} \quad (2.25)$$

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$$V_{sq} = L\left(\frac{dI_{sq}}{dt}\right) + L\omega_0 I_{sd} + V_{inv,q}$$

ซึ่งจากสมการที่ (2.25) จะพบว่า มี Cross-Coupling Term อยู่ ดังนั้นเราจึงต้องกำจัดส่วนนี้ออกเพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมกระแสในกรอบอ้างอิงซิงโครนัส จึงต้องใช้หลักการ Decoupling Method ในการกำจัด Cross-Coupling Term ออกไปเพื่อให้ง่ายต่อการควบคุม โดยเพิ่มตัวควบคุมกระแสเข้าไป ซึ่งสามารถนำสมการที่ (2.25) มาเขียนใหม่ได้เป็นดังนี้

$$V_{inv,d} = V_{sd} + L\omega_0 I_{sq} - \left(K_p + \frac{K_i}{s}\right)(I_{sd}^* - I_{sd}) \quad (2.26)$$

$$V_{inv,q} = V_{sd} - L\omega_0 I_{sd} - \left(K_p + \frac{K_i}{s}\right)(I_{sq}^* - I_{sq})$$

ซึ่งเมื่อเรามาพิจารณากำลังไฟฟ้าของระบบเมื่อทำการแปลงแกนสู่กรอบอ้างอิงซิงโครนัสนั้นจะได้ว่า

$$S = VI^* \quad (2.27)$$

$$S = (V_d + jV_q)(I_d - jI_q)$$

$$S = (V_d I_d + V_q I_q) + j(V_d I_q - V_q I_d) \quad (2.28)$$

โดยเมื่อเรานำสมการที่ (2.28) มาพิจารณาในรูปของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนจะได้ดังนี้

$$P = (V_d I_d + V_q I_q) \quad (2.29)$$

$$Q = (V_d I_q - V_q I_d) \quad (2.30)$$

เมื่อนำสมการที่ (2.29) และ (2.30) มาพิจารณาร่วมกับการทำ Phase locked Loop ที่กล่าวไปในข้างต้น จะได้ว่า  $V_q$  จะมีค่าเท่ากับ 0 จึงสามารถเขียนสมการใหม่ได้ว่า

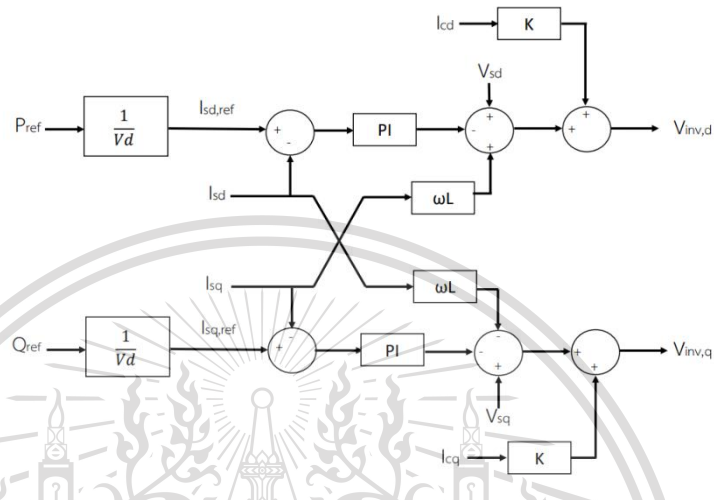
$$P = (V_d I_d) \quad (2.31)$$

$$Q = (V_d I_q) \quad (2.32)$$

จากสมการที่ (2.31) และ (2.32) ทำให้เราสามารถสรุปได้ว่าการควบคุมกำลังไฟฟ้า

จริงของระบบสามารถควบคุมได้โดยการควบคุมค่ากระแส  $I_d$  ในทำนองเดียวกันการควบคุมกำลังไฟฟ้าเสมือนของระบบสามารถทำได้โดยควบคุมค่ากระแส  $I_q$  และเนื่องจากการใช้วงจรกรอง

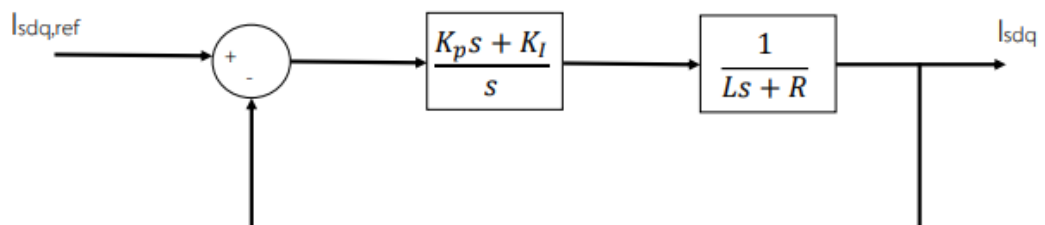
ความถี่แบบ LCL โดยกำหนดความถี่ cutoff ที่ 500 Hz จึงต้องมีการนำกระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ (C) บวกกลับคืนในระบบควบคุมป้อนกลับด้วยเพื่อเพิ่ม Damping ratio . ในการกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงและกำลังไฟฟ้าเสมือนอ้างอิงในระบบเพอร์ยูนิตต้องคูณค่าคงที่ 1.5 ด้วย จึงสามารถสร้างเป็นระบบควบคุมได้ดังนี้



รูปที่ 2.18 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส เป็น กระแสตรงแบบสองทิศทาง

โดยค่า  $V_{inv,d}$  และ  $V_{inv,q}$  ที่ได้จากระบบควบคุมจะอยู่ในกรอบอ้างอิงซิงโครนัสซึ่งต้องทำการแปลงกลับสู่กรอบอ้างอิงสามเฟส เพื่อเป็นแรงดันอ้างอิงในการสร้างสัญญาณ PWM ในการขับอุปกรณ์สวิตซ์ซึ่งต่อไป

ในการปรับค่า  $K_i$  และ  $K_p$  นั้นจะพิจารณาจากฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ ด้วยการวิเคราะห์ของ root locus ซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบมีดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 2.19 ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากฟังก์ชันถ่ายโอนในข้างต้น เราจะทราบค่าซีโรวงเปิดและโพลวงเปิดของระบบ เพื่อใช้ในการควบคุมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองตามที่เราต้องการ ซึ่งได้สมการเป็นดังนี้

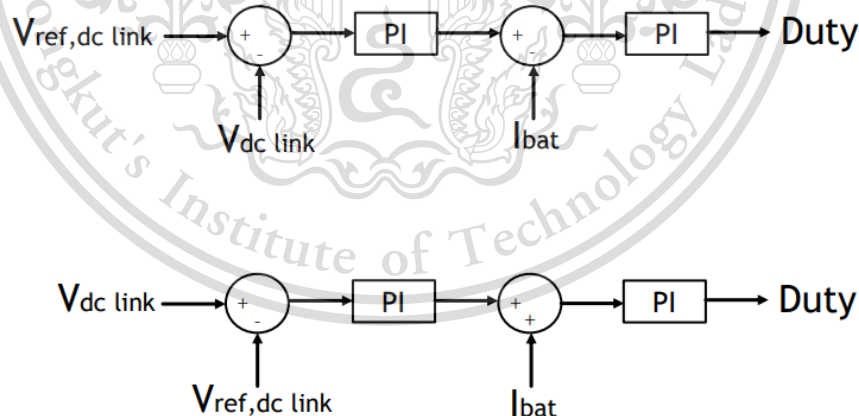
$$z = -\frac{K_I}{K_p} \quad (2.33)$$

$$p = 0, -\frac{L}{R} \quad (2.34)$$

### 2.8.2 ระบบที่ใช้ในการควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบ

#### สองทิศทาง

การควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางจะใช้หลักการในการควบคุมแรงดันที่ฝั่งหนึ่งให้คงที่ โดยนำค่าแรงดันอ้างอิงมาเปรียบเทียบกับแรงดันที่ฝั่งนั้น เพื่อให้ได้ค่าความผิดพลาดแล้วนำค่าความผิดพลาดเข้าสู่ PI controller เพื่อสร้างเป็นสัญญาณกระแสที่ไหลในตัวย่นำอ้างอิงและนำไปเปรียบเทียบกับกระแสในตัวย่นำอีกรอบเพื่อเข้าสู่ PI Controller และนำค่าที่ได้ไปใช้เป็นอัตราส่วน Duty ในการควบคุมอุปกรณ์สวิตซ์ต่อไป ดังรูป



รูปที่ 2.20 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## 2.9 ระบบต่อหน่วย (Per Unit)

เป็นอัตราส่วนของค่าจริงในหน่วยใดๆต่อค่าฐานหรือค่าอ้างอิงในหน่วยเดียวกัน เนื่องจากการที่จะคำนวณระบบไฟฟ้าขึ้น มีพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องการทราบค่ามากมาย เช่น ค่าความต้านทาน ค่ากระแส หรือค่าแรงดัน เพื่อลดความยุ่งยากในการคำนวณจึงนิยมมาแปลงเป็นระบบต่อหน่วย เช่น ในระบบที่ประกอบด้วยวงจรที่ต่อแบบสตาร์หรือเดลต้า เมื่อใช้ระบบต่อหน่วยแล้วจะไม่มี การนำ  $\sqrt{3}$  มาคำนวณในระบบ ระบบต่อหน่วยจะไม่มีหน่วย

$$\text{Per Unit} = \frac{\text{Actual}}{\text{Base}} \quad (2.35)$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

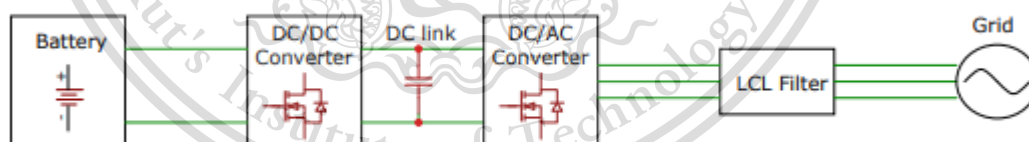
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### บทที่ 3

## การออกแบบวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณของสถานีชาร์จ ประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้า

ในปฏิญญาฉบับนี้ได้นำเสนอการควบคุมปริมาณของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้า โดยใช้ Battery Energy Storage System (BESS) ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า กระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง และแบตเตอรี่ ซึ่งวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทางจะใช้ในการส่งและควบคุมทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าจากกริดสู่แบตเตอรี่ หรือจากแบตเตอรี่สู่กริด หากความต้องการกำลังไฟฟ้าในสถานีอัดประจุไฟฟ้าตอนนั้นมีมาก เราก็สามารถส่งการผ่านระบบควบคุมให้ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาช่วยได้ หรือ สามารถดึงกำลังไฟฟ้าจากกริดมาเพื่อทำการชาร์จแบตเตอรี่ได้ โดยปัจจัยที่สำคัญที่ใช้ควบคุมการทำงานและสั่งการระบบ ก็คือกระบวนการควบคุมกระแสในกรอบอ้างอิงซิงโครนัสเพื่อควบคุมทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้านั่นเอง นอกจากนี้จะใช้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางเพื่อปรับระดับแรงดันไฟฟ้าที่เข้าและออกจากแบตเตอรี่ โดยการควบคุมจะใช้บอร์ด DSP ในการประมวลผลเพื่อสร้างสัญญาณสวิตชิง



รูปที่ 3.1 ระบบ Battery Energy Storage System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

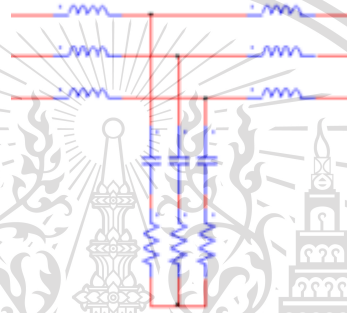
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.1 การออกแบบวงจรกำลัง

#### 3.1.1 การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำแบบ LCL Filter

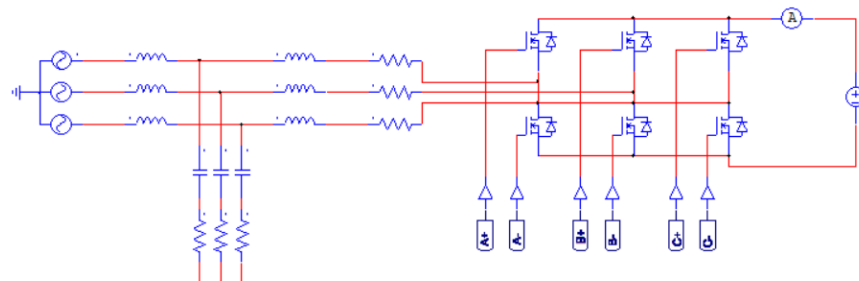
การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำแบบ LCL filter จะสามารถออกแบบได้โดยใช้สมการที่ (2.3) ในการหาค่าความถี่ตัดของวงจร ซึ่งวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทางจะใช้ความถี่สวิตซ์ซึ่งในการสร้างสัญญาณ PWM คือ 10 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังนั้นความถี่ตัดที่จะใช้งานจึงของเลือกที่ 500 เฮิร์ตซ์ โดยเมื่อนำสมการที่ 2.3 มาพิจารณาจะสามารถออกแบบพารามิเตอร์ต่างๆของวงจรกรองได้เป็น ตัวเก็บประจุขนาด 10 ไมโครฟารัด และตัวเหนี่ยวนำขนาด 0.01 เฮนรี่ โดยมีการต่อตัวต้านทานขนาด 5 โอห์มอนุกรมกับตัวเก็บประจุเพื่อลดเปอร์เซ็นต์การผิดพลาดในการควบคุมระบบอีกด้วย



รูปที่ 3.2 วงจรกรองความถี่ของระบบ

#### 3.1.2 การออกแบบวงจรกำลังของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง

การออกแบบและจำลองผลวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับจะใช้ MOSFET จำนวนหกตัวโดยแปลงจากไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 380 โวลต์ ไปไฟฟ้ากระแสตรงที่ DC link ขนาด 650 โวลต์ โดยมีวงจรกรองที่ได้ออกแบบไว้ในข้างต้นเป็นตัวเชื่อม ส่วนตัวต้านทานที่จำลองว่าเป็นความต้านทานของสายไฟมีขนาด 0.01 โอห์มจะใช้โปรแกรม Psim ในการจำลองผล ได้เป็นดังนี้



รูปที่ 3.3 วงจรกำลังของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง

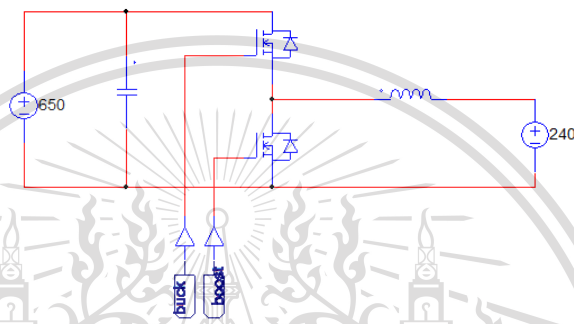
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

### 3.1.3 การออกแบบวงจรกำลังของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

การออกแบบและจำลองผลวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางนั้น จะใช้ MOSFET จำนวนสองตัวและออกแบบให้วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงนั้นสามารถทำงานได้ ทั้งในการทำงานแบบ buck converter และ boost converter โดยรักษาระดับแรงดันที่ DC link ให้มีค่าเท่ากับ 650 โวลต์ โดยตัวเก็บประจุที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2200 ไมโครฟารัด และตัวเหนี่ยวนำที่ใช้มีค่าเท่ากับ 10 มิลลิเฮนรี่ ซึ่งจะใช้ PSIM ในการจำลองผล ได้เป็นดังนี้



รูปที่ 3.4 วงจรกำลังของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

## 3.2 การออกแบบวงจรควบคุม

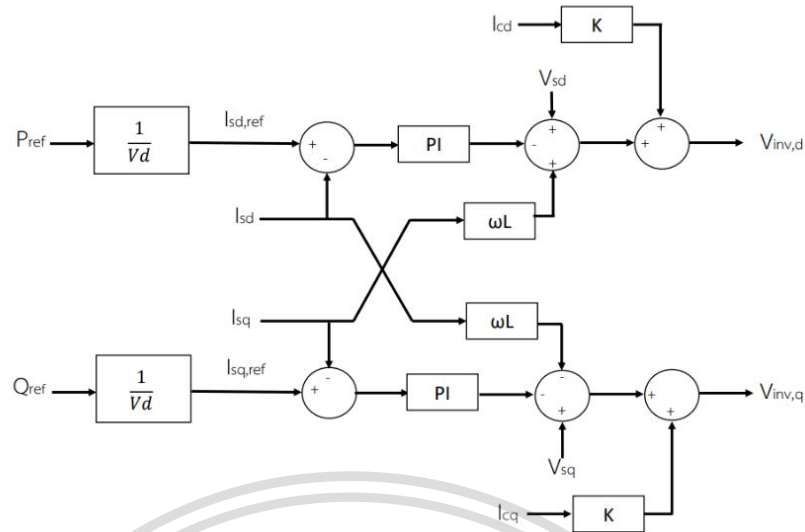
### 3.2.1 การออกแบบวงจรควบคุมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง

ในการควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทางจะใช้หลักการเปรียบเทียบค่าระหว่างค่าอ้างอิงของกระแสไฟฟ้าในกรอบอ้างอิงซิงโครนัส ซึ่งกระแสที่ใช้อ้างอิงนั้นจะถูกแปลงมาจากกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ต้องการใช้เป็นค่าอ้างอิง และนำไปสร้างสัญญาณควบคุม PWM ในการควบคุม MOSFET เพื่อให้ระบบสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ตามกำลังไฟฟ้าที่อ้างอิงเอาไว้ซึ่งถูกควบคุมในกรอบอ้างอิงซิงโครนัส โดยมีบล็อกไดอะแกรมการทำงานเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

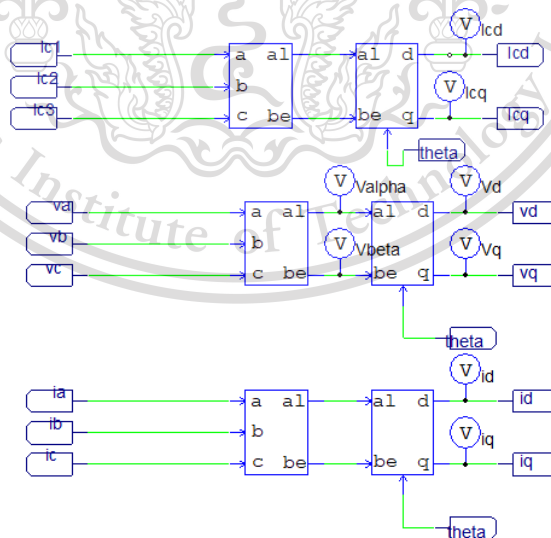
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส เป็น  
กระแสตรงแบบสองทิศทาง

โดยเมื่อนำบล็อกไดอะแกรมในข้างต้นมาออกแบบออกเป็นโปรแกรม PSIM จะสามารถแบ่งได้เป็น 4 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนที่ใช้ในการแปลงแกนจากกรอบอ้างอิงสามเฟสหยุดนิ่งสู่กรอบอ้างอิงซิงโครนัส วงจรวงจรถ่าย phase locked loop วงจรควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง และ วงจรสร้างสัญญาณ PWM ดังรูป

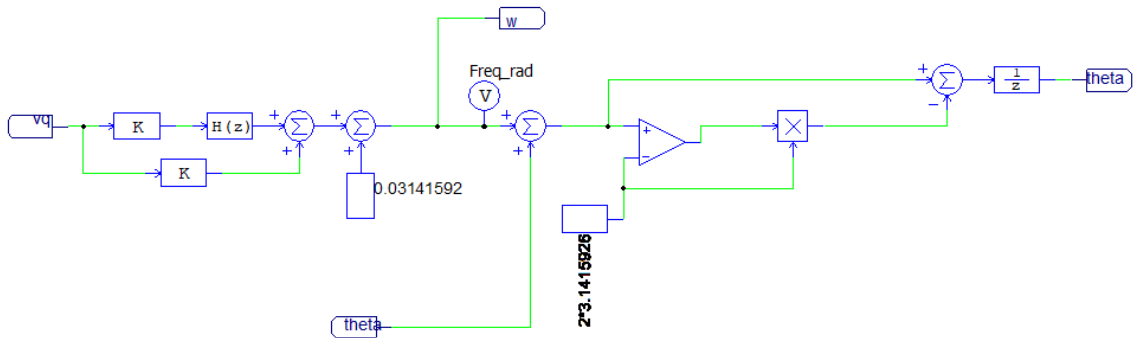


รูปที่ 3.6 วงจรแปลงแกนจากกรอบอ้างอิงสามเฟสหยุดนิ่งสู่กรอบอ้างอิงซิงโครนัส

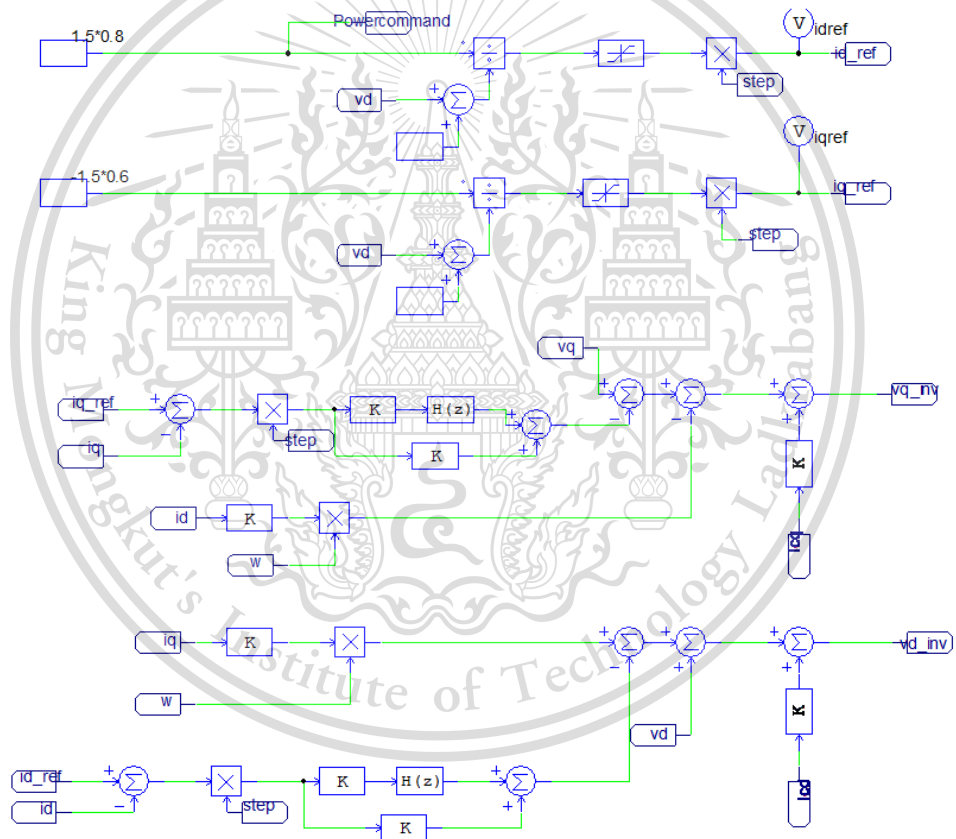
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.7 วงจร phase locked loop

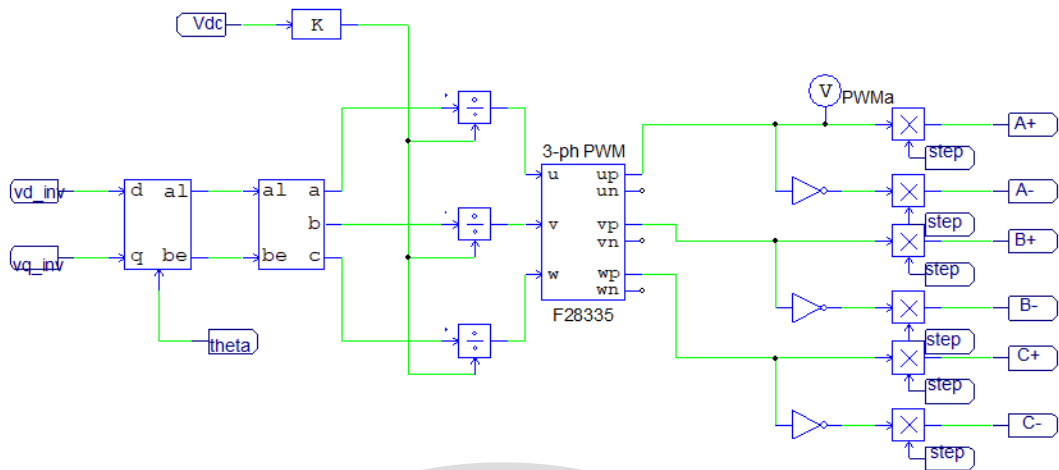


รูปที่ 3.8 วงจรควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสดรงแบบสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

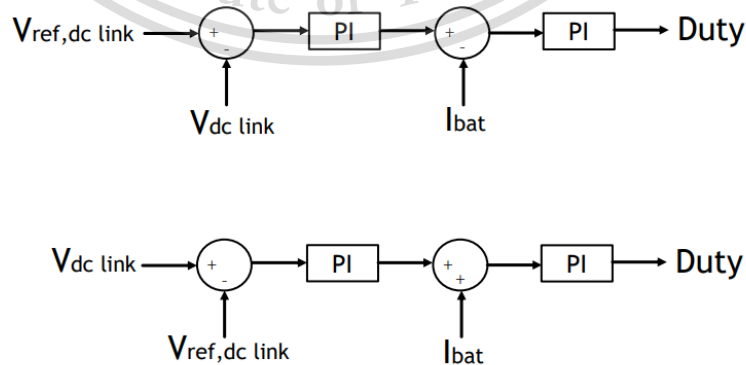
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.9 วงจรสร้างสัญญาณ PWM

### 3.2.2 การออกแบบวงจรควบคุมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

ในการควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางสามารถควบคุมได้โดยการควบคุมแรงดันที่ DC link ให้คงที่ ซึ่งในปริยายานิพนธ์นี้จะควบคุมแรงดันที่ DC link ให้มีค่าเท่ากับ 650 โวลต์และใช้หลักการควบคุมกระแสเพื่อสร้างสัญญาณควบคุม MOSFET โดยวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าสามารถทำงานได้ทั้งในโหมด boost และโหมด buck เพื่อแปลงแรงดันจาก DC link ขนาด 650 โวลต์ไปสู่แรงดันที่แบตเตอรี่ขนาด 240 โวลต์ หรือแรงดันแบตเตอรี่ 240 โวลต์ไปสู่ DC link ขนาด 650 โวลต์ ซึ่งวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางจะทำงานในโหมดไหนนั้นขึ้นอยู่กับทิศทางการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงสองทิศทางที่ควบคุมทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าจากวงจรควบคุมในข้างต้น โดยบล็อกไดอะแกรมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบสองทิศทางมีดังนี้

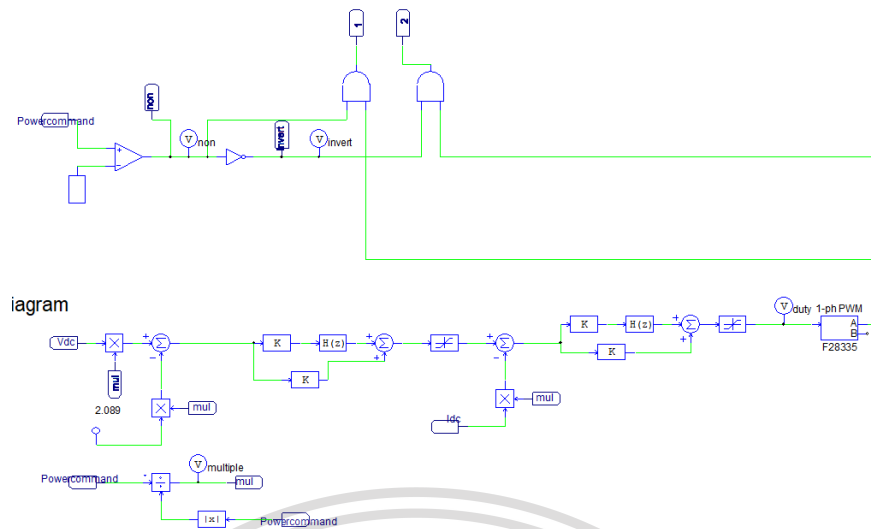


รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายได้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.11 วงจรควบคุมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิตทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

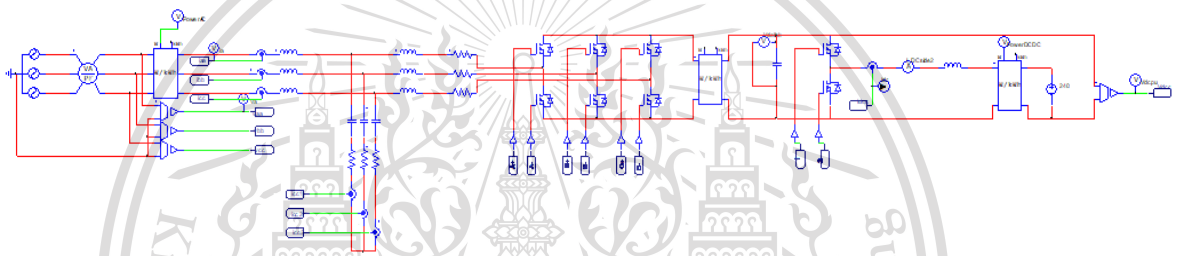
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

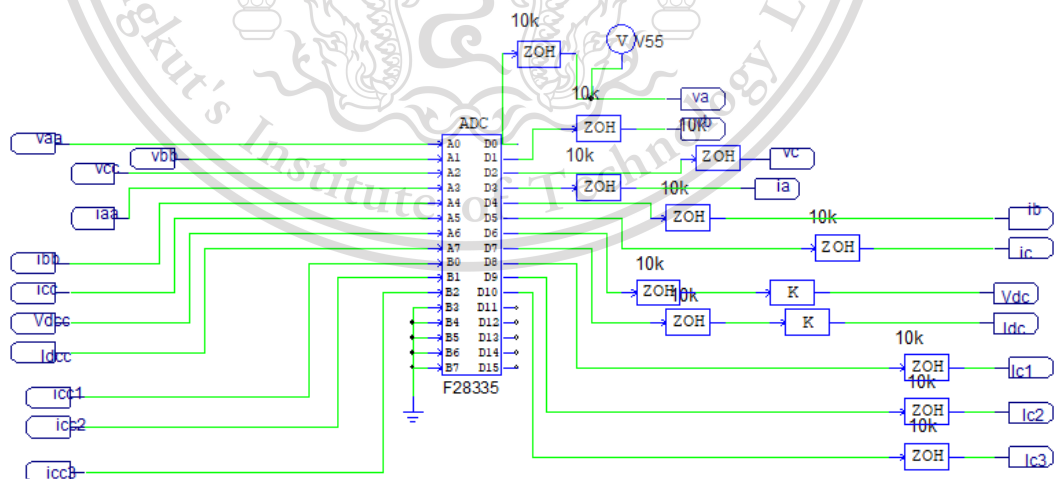
## บทที่ 4

### ผลการทดลองวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมติมานต์ของสถานีชาร์จ ประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้า

ในการจำลองผลการทดลองที่ได้จากโปรแกรม PSIM ของระบบ BESS จะมีการส่งค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเข้าสู่บอร์ด DSP F28335 ด้วยโมดูล ADC ใน PSIM เพื่อจำลองการส่งสัญญาณผ่านบอร์ด DSP F28335 เพื่อให้บอร์ดทำการสร้างสัญญาณในการขับเคลื่อนวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า ทำให้สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ



รูปที่ 4.1 วงจรกำลังที่ออกแบบในการทดลองด้วยโปรแกรม PSIM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.2 วงจรในส่วน AC to DC ในโปรแกรม PSIM ำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

พารามิเตอร์	ขนาด
ระดับแรงดันสามเฟส	380 โวลต์
ระดับแรงดัน DC link	650 โวลต์
ระดับแรงดันแบตเตอรี่	240 โวลต์
ความต้านทานเชื่อมต่อ	0.01 โอห์ม
ตัวเหนี่ยวนำของวงจรกรอง	0.007 และ 0.002 เฮนรี่
ตัวเก็บประจุของวงจรกรอง	10 ไมโครฟารัด
ตัวต้านทานของวงจรกรอง	5 โอห์ม
ตัวเก็บประจุที่ DC link	2200 ไมโครฟารัด
ตัวเหนี่ยวนำในวงจรDC-DC	0.01 เฮนรี่
ความถี่สวิตชิง	10 กิโลเฮิร์ตซ์

ในการจำลองผลการทดลองจะใช้วงจรทั้งสองที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 3 การควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนให้ได้ตามที่เรากำลังต้องการ หากค่ากำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงมีค่าเป็นบวก กำลังไฟฟ้าก็จะไหลเข้าสู่ DC link แต่หากเป็นลบกำลังไฟฟ้าก็จะไหลในทิศทางตรงกันข้าม ในผลการทดลองนี้จะควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงให้มีค่าเท่ากับ 5 กิโลวัตต์และมี Power factor 0.8 lagging เพื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากกริดไปสู่ DC link เปรียบเสมือนกำลังไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ซึ่งเรียกว่าทำงานในโหมดชาร์จ และอีกแบบคือส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจาก DC link ไปสู่ กริด (Power factor -0.8 lagging) เปรียบเสมือนกำลังไหลออกจากแบตเตอรี่ซึ่งเรียกว่าการทำงานในโหมดดิสชาร์จ โดยการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงและกำลังไฟฟ้าเสมือนอ้างอิงในวงจรควบคุมซึ่งทำในระบบเพอร์ยูนิตจะต้องคูณค่าคงที่ 1.5 เข้าไปด้วย โดยกำหนดค่า base ของแรงดันและกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 311.08 โวลต์และ 6.25 กิโลวัตต์แอมป์ และอีกการทดลองคือการจำลองการใช้งานระบบ BESS นี้กับสถานีอัดประจุโดยตั้งเงื่อนไขให้ BESS ขนาด 10 กิโลวัตต์ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับกริด ในกรณีที่สถานีอัดประจุได้จ่ายกำลังไฟฟ้าเกิน 50 กิโลวัตต์

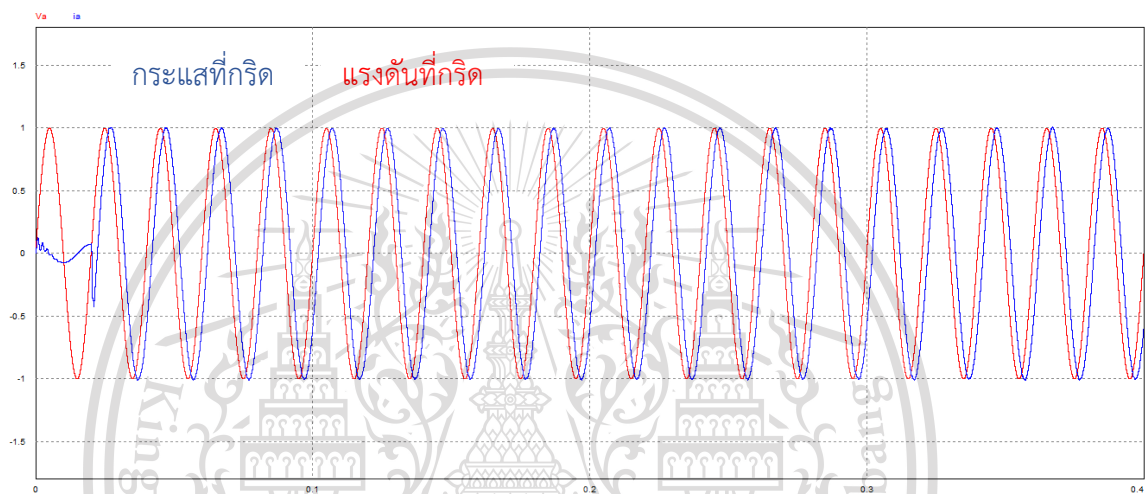
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

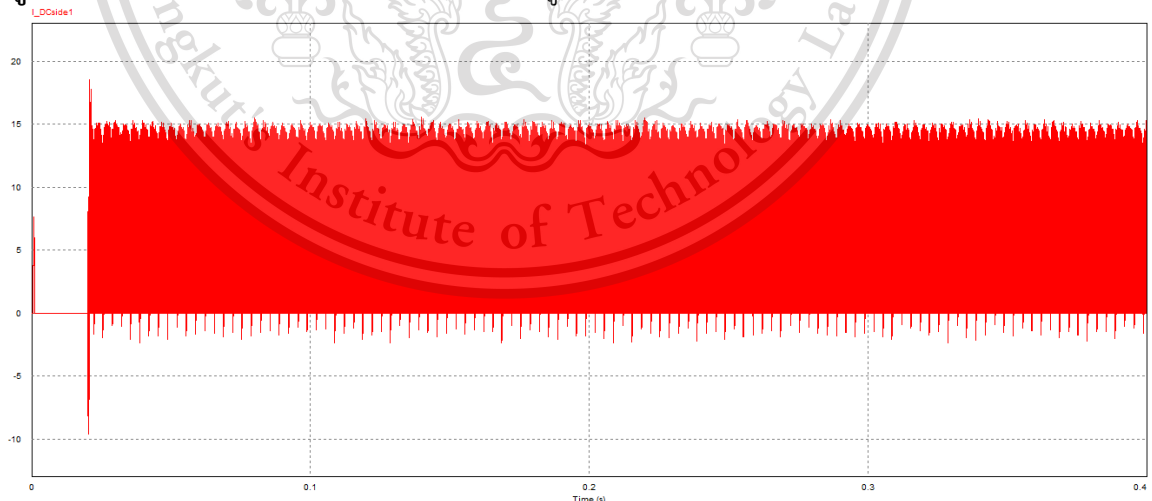
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.1 ผลการทดลองในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

ในโหมดการชาร์จนั้นเป็นการส่งกำลังไฟฟ้าจากกริดไปยังแบตเตอรี่โดยผ่านวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง โดยแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส จากกริดไปเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 650 โวลต์ ที่ DC link จากนั้นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางจะทำงานเป็น buck converter ลดขนาดแรงดันเพื่อเข้าสู่แบตเตอรี่ขนาด 240 โวลต์ โดยกำหนดกำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงเท่ากับ 0.8 เพอร์ยูนิต กำลังไฟฟ้าเสมือนอ้างอิงเท่ากับ -0.6 เพอร์ยูนิต และแรงดันที่ DC link อ้างอิงเท่ากับ 2.089 เพอร์ยูนิต ได้ผลการทดลองเป็นดังนี้



รูปที่ 4.3 แรงดันและกระแสที่กริดในระบบเพอร์ยูนิตเมื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากกริดไปยัง DC link

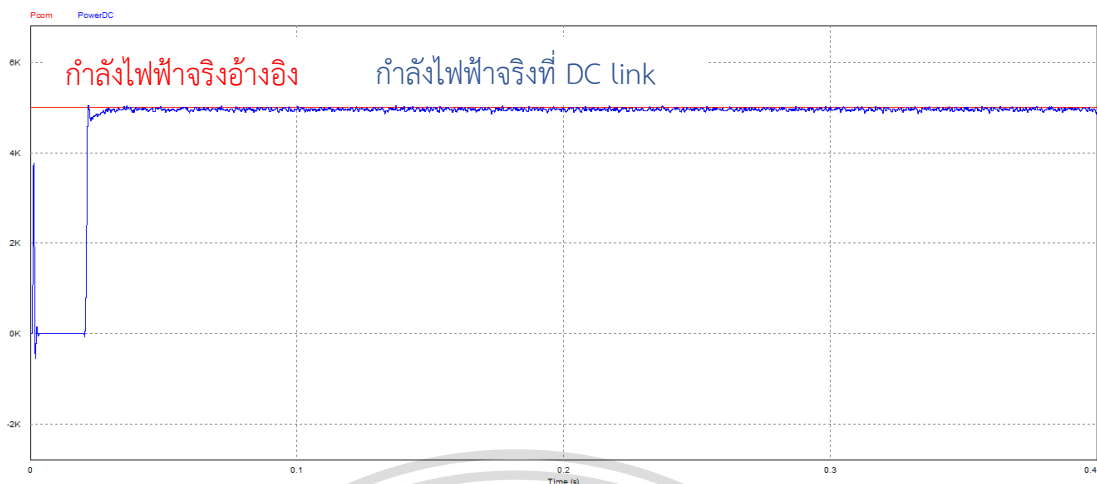


รูปที่ 4.4 กระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่ DC link

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

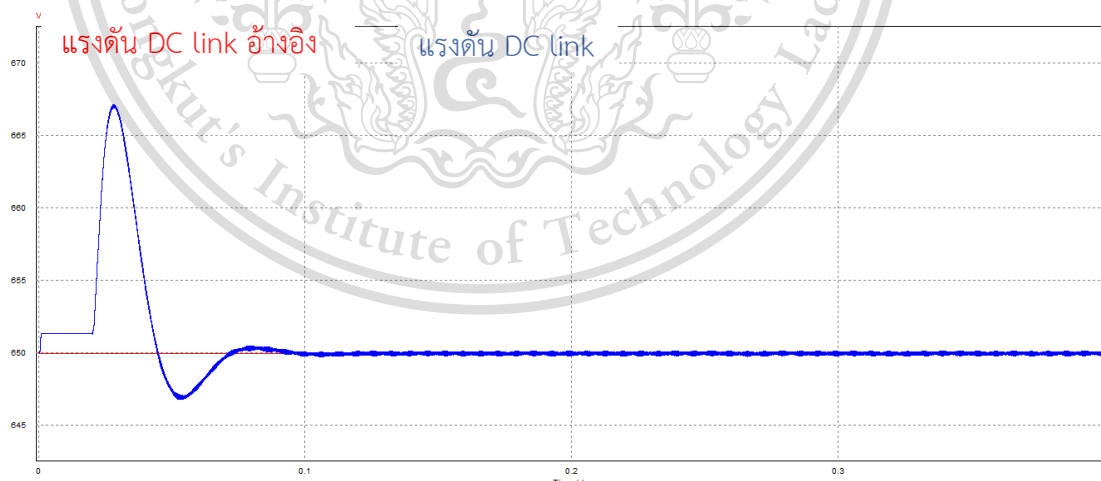
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงกับกำลังไฟฟ้าจริงที่ DC link

จากรูปที่ 4.5 แสดงผลการทดลองข้างต้นเป็นการควบคุมโดยใช้กำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงเท่ากับ 0.8 เพอร์ยูนิต และ กำลังไฟฟ้าเสมือนเท่ากับ -0.6 เพอร์ยูนิต ทำให้รูปคลื่นแรงดันและกระแสมีมุมที่ต่างกันเป็น Power factor เท่ากับ 0.8 และกำลังไฟฟ้าจริงที่ส่งจากกริดไปยัง DC link มีค่าเท่ากับ 5 กิโลวัตต์ โดยจากนั้นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะทำงานในโหมด Buck Converter โดยคงค่าแรงดันที่ DC link ให้มีค่าเท่ากับ 650 โวลต์ โดยมีค่า Duty เท่ากับ 0.37 ได้ผลการทดลองเป็นดังนี้

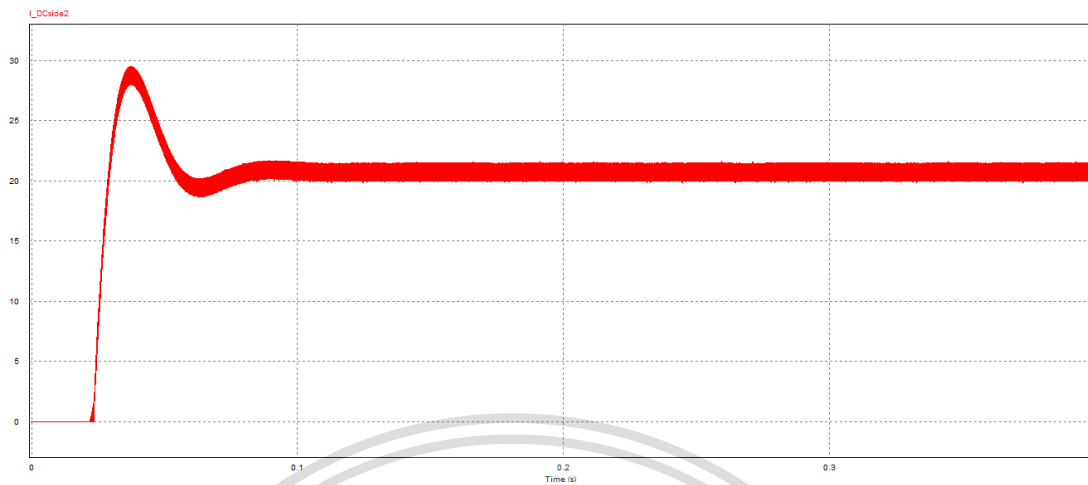


รูปที่ 4.6 แรงดันที่ DC link เมื่อทำงานในโหมด Buck Converter

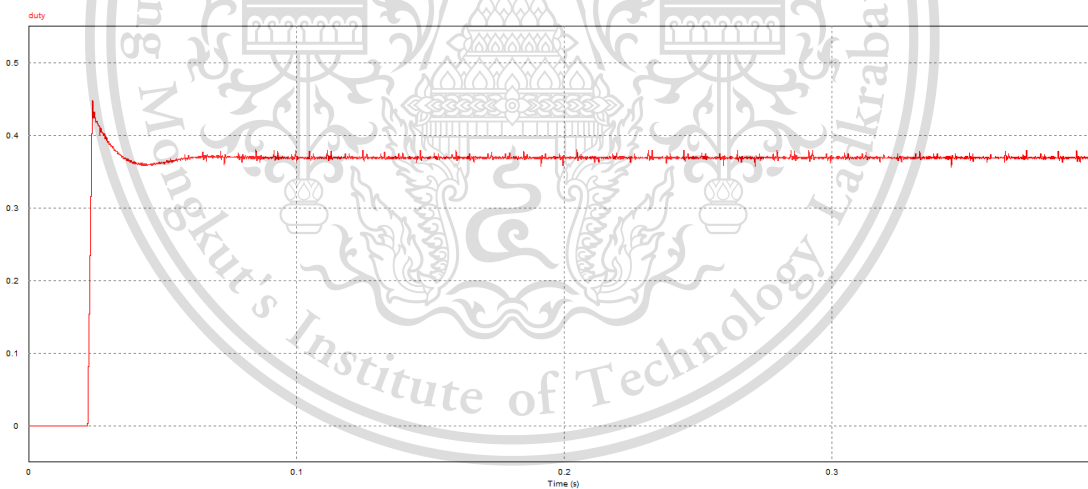
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.7 กระแสที่เข้าสู่เบตเตอร์ในโหมด Buck Converter



รูปที่ 4.8 ค่า duty เมื่อทำงานในโหมด Buck Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงที่ DC link และแบตเตอรี่

โดยจากรูปที่ 4.4 และ 4.7 แสดงให้เห็นว่ากระแสมีทิศเป็นบวกหรือกระแสไหลจากกริดไปสู่แบตเตอรี่ ดังนั้นจึงเป็นการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปที่แบตเตอรี่ หรือก็คือกำลังไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ ซึ่งก็คือการทำงานในโหมดชาร์จ

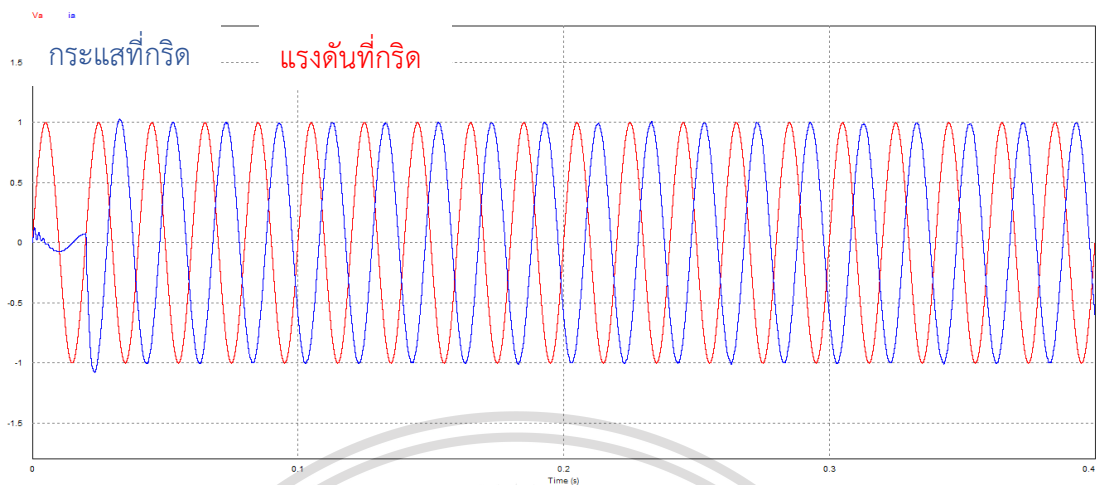
#### 4.2 ผลการทดลองในโหมดดิสชาร์จแบตเตอรี่

ในโหมดการดิสชาร์จนั้นเป็นการส่งกำลังจากแบตเตอรี่ไปยังกริด โดยผ่านวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ทำงานเป็นโหมด Boost Converter เพื่อยกระดับแรงดันจาก 240 โวลต์ที่แบตเตอรี่ ไปสู่ 650 โวลต์ที่ DC link และแปลงจากแรงดันกระแสตรงเป็นแรงดันกระแสสลับด้วยวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับสามเฟสเข้าสู่กริด โดยกำหนดกำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงเท่ากับ -0.8 เพอร์ยูนิต กำลังไฟฟ้าเสมือนอ้างอิงเท่ากับ -0.6 เพอร์ยูนิต และแรงดันที่ DC link อ้างอิงเท่ากับ 2.089 เพอร์ยูนิต ได้ผลการทดลองเป็นดังนี้

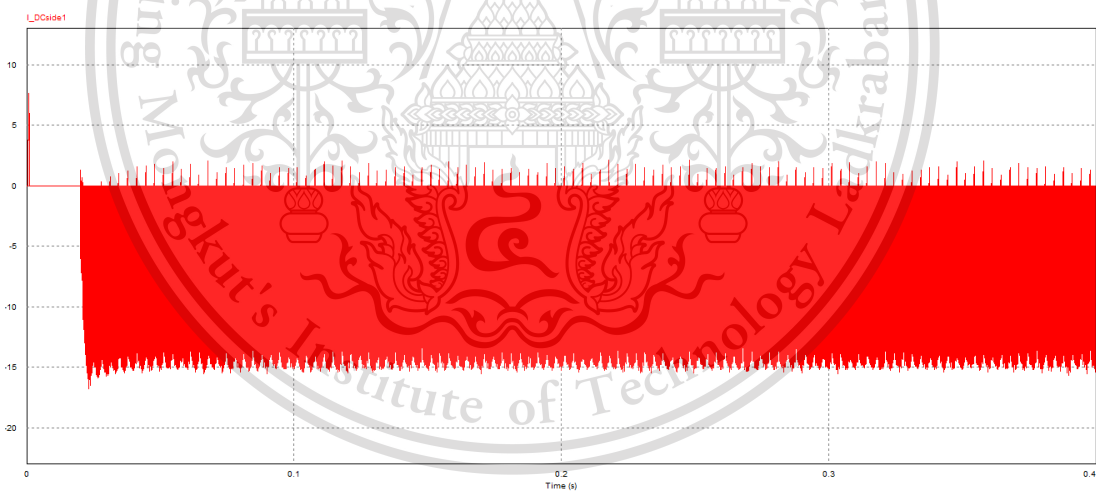
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.10 แรงดันและกระแสที่กริดในระบบเพอร์ยูนิตเมื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจาก DC link ไปยังกริด

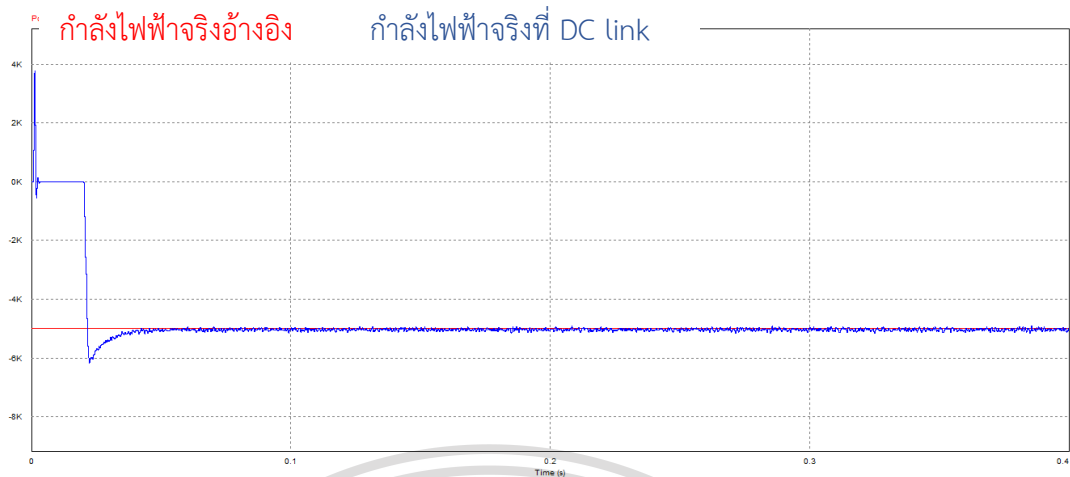


รูปที่ 4.11 กระแสไฟฟ้าที่เข้าสู่ DC link

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

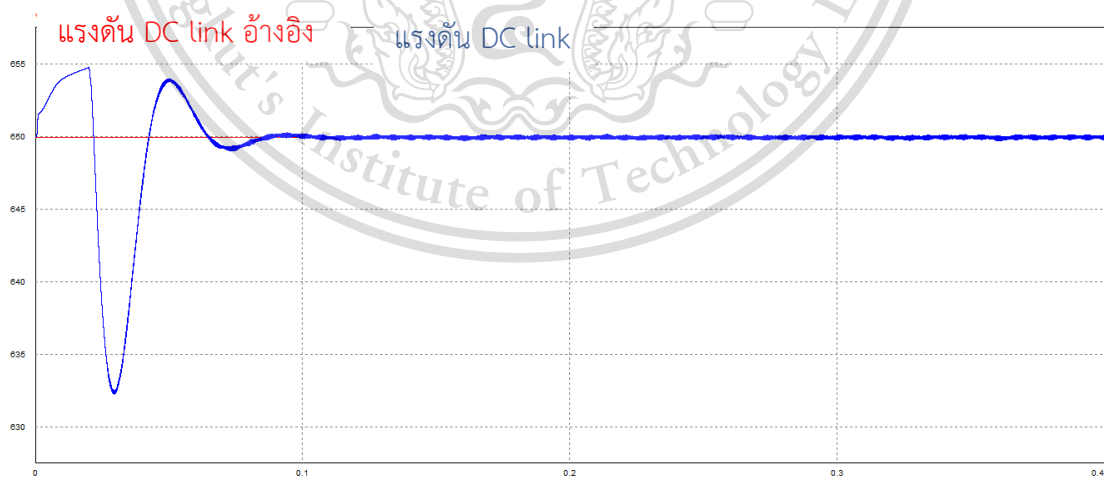
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงกับกำลังไฟฟ้าจริงที่ DC link

จากรูปที่ 4.12 แสดงผลการทดลองข้างต้นเป็นการควบคุมโดยใช้กำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงเท่ากับ -0.8 เพอร์ยูนิต และ กำลังไฟฟ้าเสมือนเท่ากับ -0.6 เพอร์ยูนิต ทำให้รูปคลื่นแรงดันและกระแสมีมุมที่ต่างกันเป็น Power factor เท่ากับ -0.8 และกำลังไฟฟ้าจริงที่ส่งจาก DC link ไปยังกริด มีค่าเท่ากับ 5 กิโลวัตต์ โดยวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะทำงานในโหมด Boost Converter โดยคงค่าแรงดันที่ DC link ให้มีค่าเท่ากับ 650 โวลต์ โดยมีค่า Duty เท่ากับ 0.63 ได้ผลการทดลองเป็นดังนี้

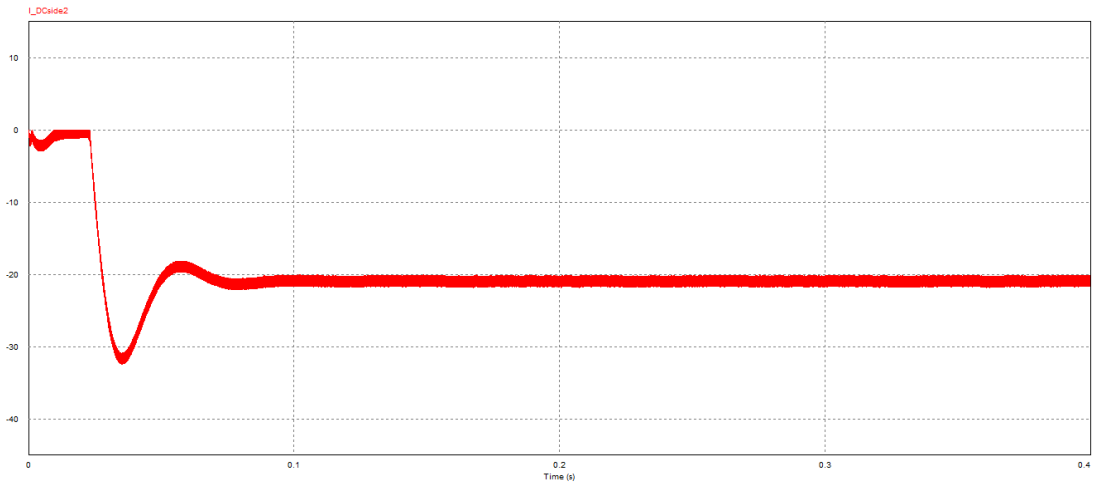


รูปที่ 4.13 แรงดันที่ DC link เมื่อทำงานในโหมด Boost Converter

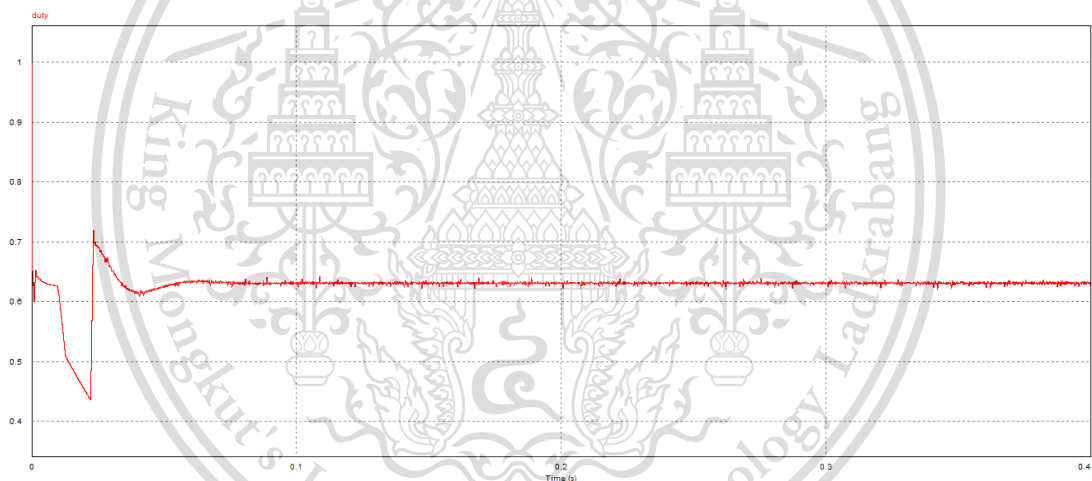
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.14 กระแสไฟฟ้าที่ออกจากแบตเตอรี่ในโหมด Boost Converter

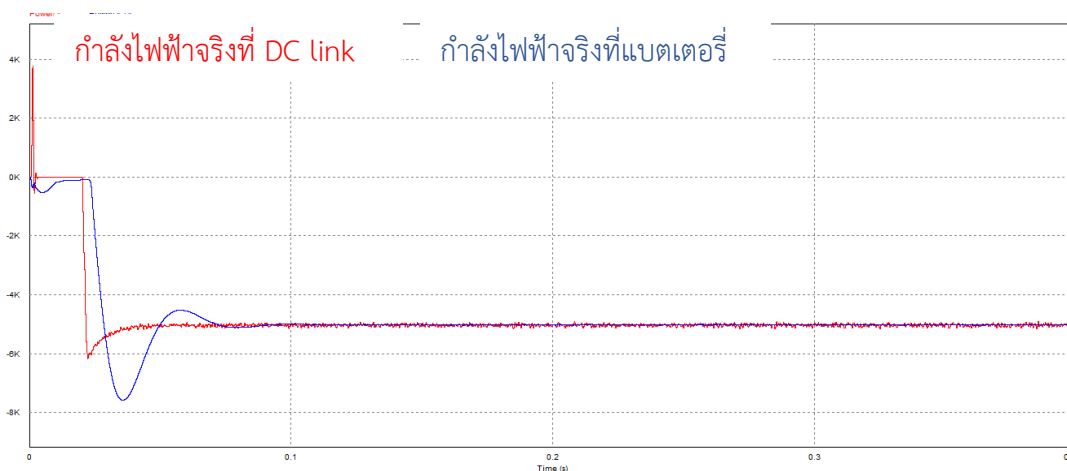


รูปที่ 4.15 ค่า duty เมื่อทำงานในโหมด Boost Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงที่ DC link และเบตเตอร์

โดยจากรูปที่ 4.11 และ 4.14 แสดงให้เห็นว่ากระแสมีทิศเป็นลบ หรือกระแสไหลจากเบตเตอร์ไปสู่กริด ดังนั้นจึงเป็นการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากเบตเตอร์ไปสู่กริด หรือก็คือกำลังไหลเข้าสู่กริดซึ่งก็คือการทำงานในโหมดดิสชาร์จ

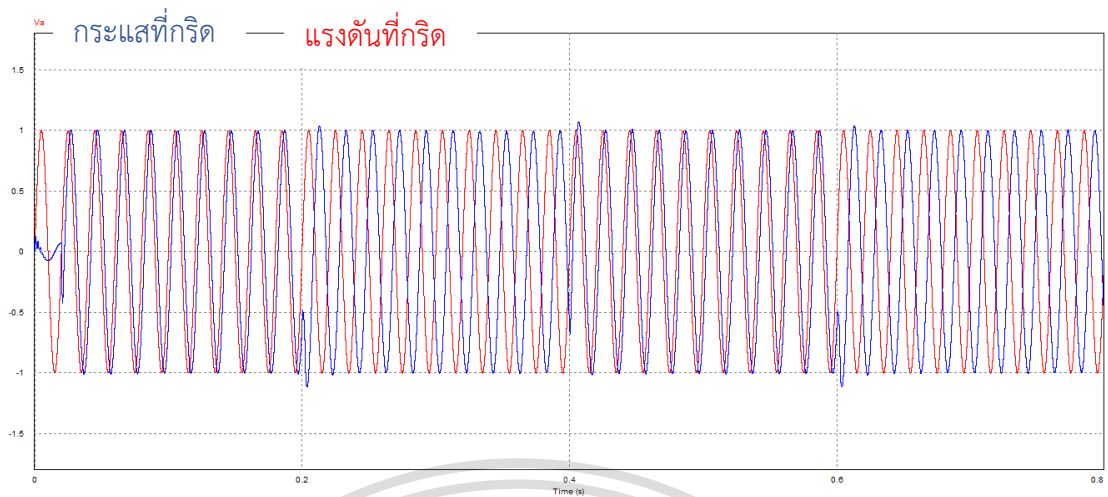
#### 4.3 การทดลองในโหมดชาร์จสลับกับโหมดดิสชาร์จ

ในการทดลองนี้จะให้ระบบเปลี่ยนการทำงานระหว่างสองโหมดการทำงานในช่วงเวลาหนึ่ง โดยกำหนดให้ระบบทำงานในโหมดชาร์จและดิสชาร์จสลับกันไปทุกๆ 0.2 วินาที เพื่อดูว่าระบบสามารถรับการเปลี่ยนแปลงในทันทีทันใดได้หรือไม่ โดยกำหนดให้ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงและค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนอ้างอิงในช่วงชาร์จมีค่าเท่ากับ 0.8 และ -0.6 เพอร์ยูนิต ตามลำดับ และ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงและค่ากำลังไฟฟ้าเสมือนอ้างอิงในช่วงดิสชาร์จมีค่าเท่ากับ -0.8 และ -0.6 เพอร์ยูนิต ซึ่งได้ผลการทดลองเป็นดังนี้

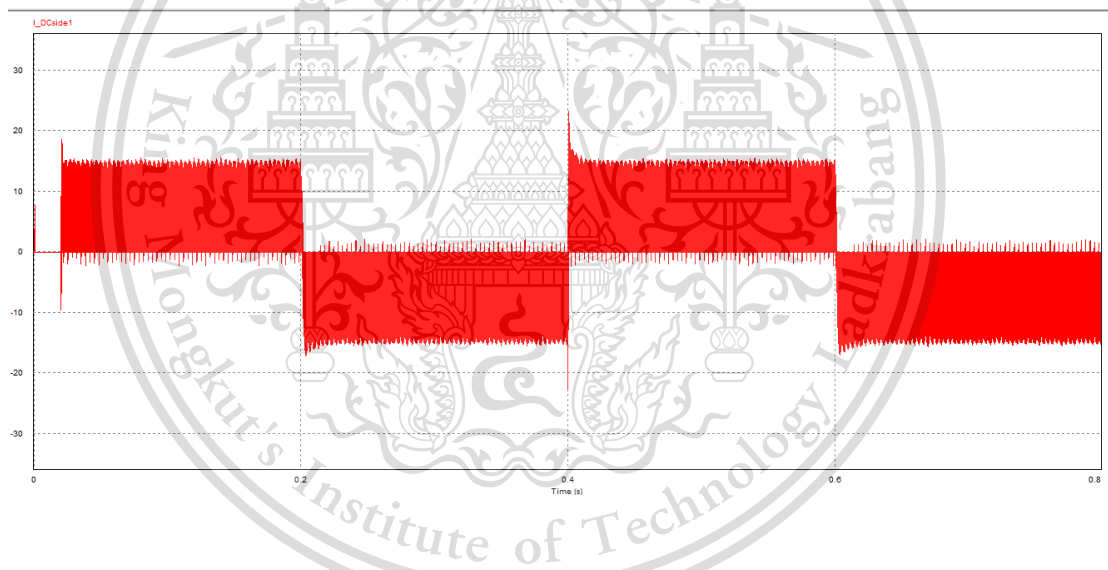
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.17 แรงดันและกระแสที่กริด

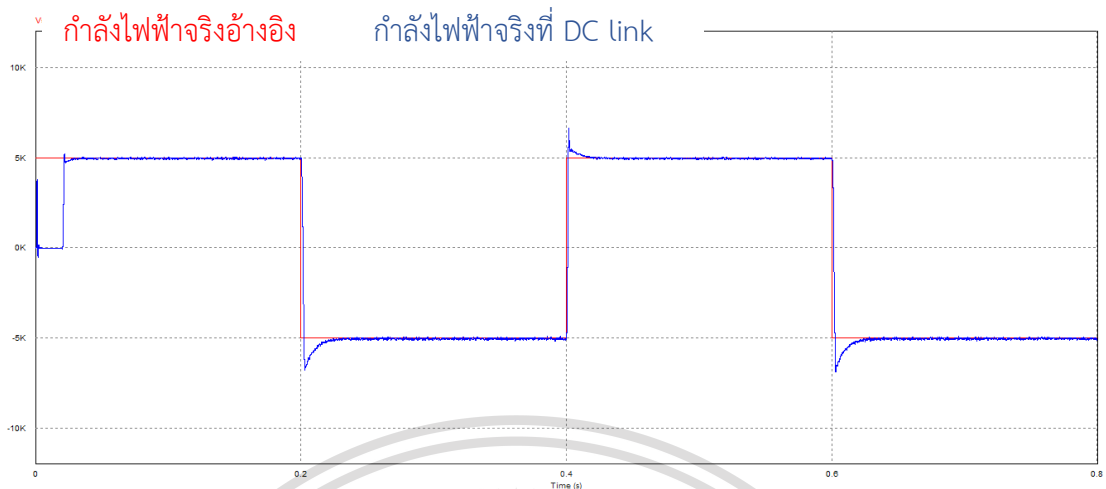


รูปที่ 4.18 กระแสที่เข้าและออกจาก DC link

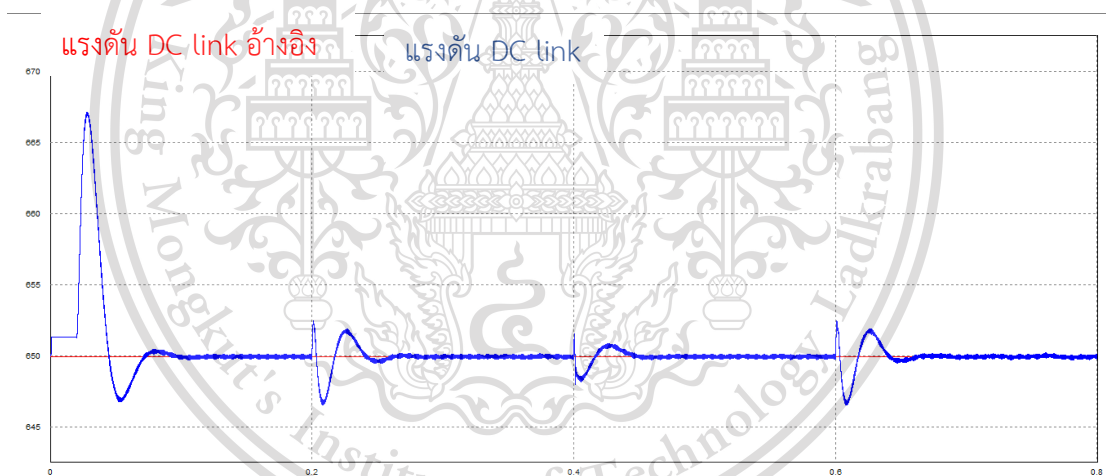
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงกับกำลังไฟฟ้าจริงที่ DC link

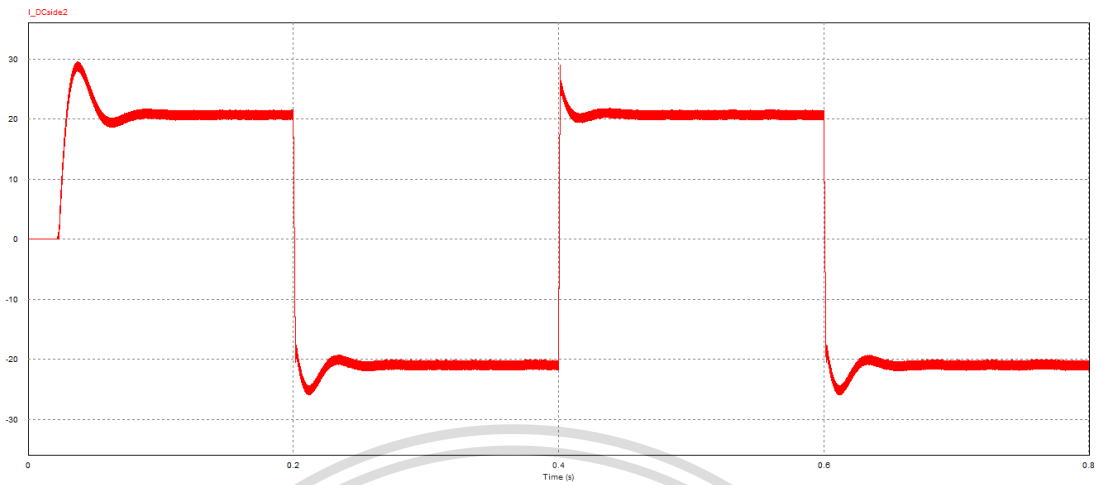


รูปที่ 4.20 แรงดันที่ DC link

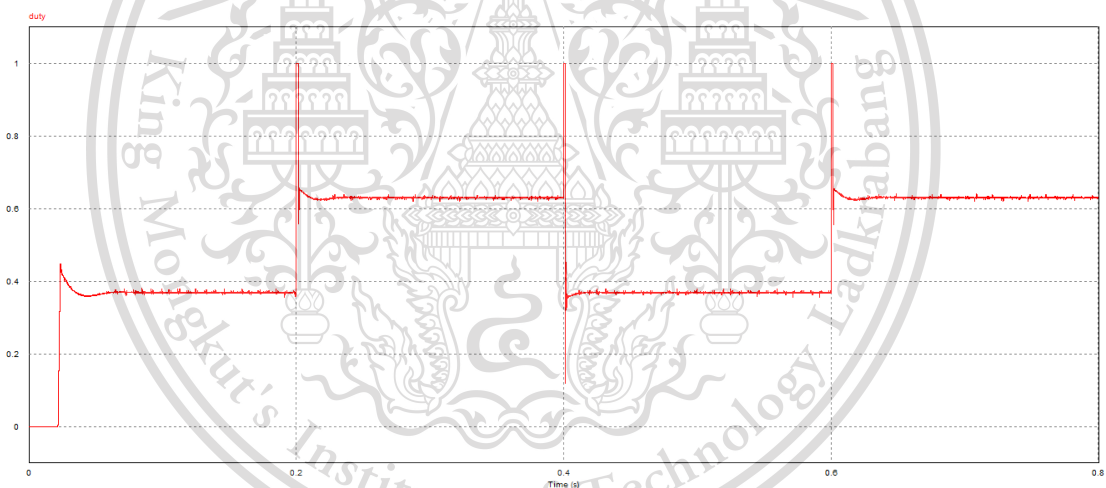
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.21 กระแสที่เข้าและออกจากแบตเตอรี่

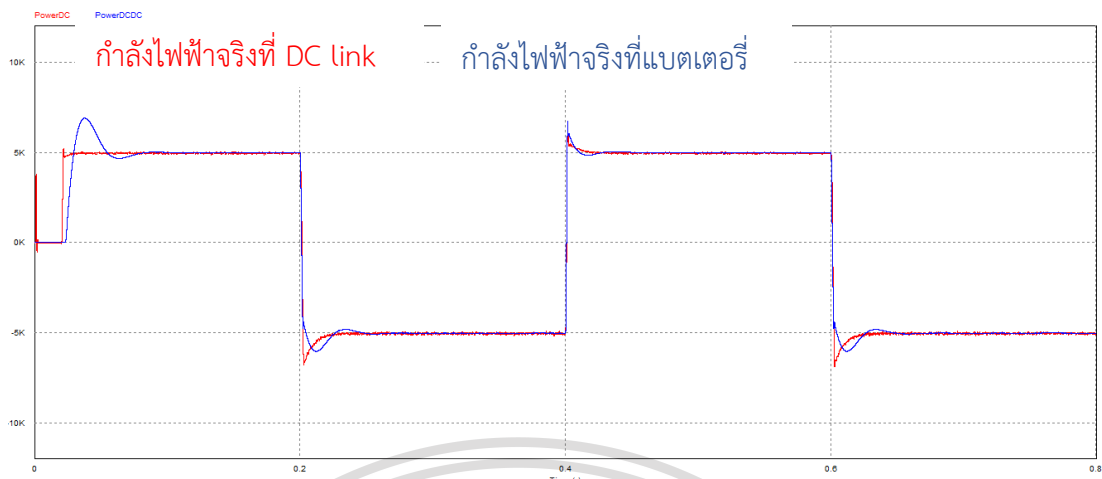


รูปที่ 4.22 duty ของการทำงานในโหมด Buck Converter และ Boost Converter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.23 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงที่ DC link และ แบตเตอรี่

จากรูปในช่วงต้นจะพบว่าระบบที่ได้ออกแบบมานั้นสามารถทำงานเมื่อมีการเปลี่ยนโหมดการทำงานแบบทันทีทันใดได้ ดังนั้นจากผลการทดลองทั้งในโหมดการชาร์จและดิสชาร์จทำให้ทราบว่าระบบ BESS ที่ได้ออกแบบมานั้นสามารถใช้งานได้

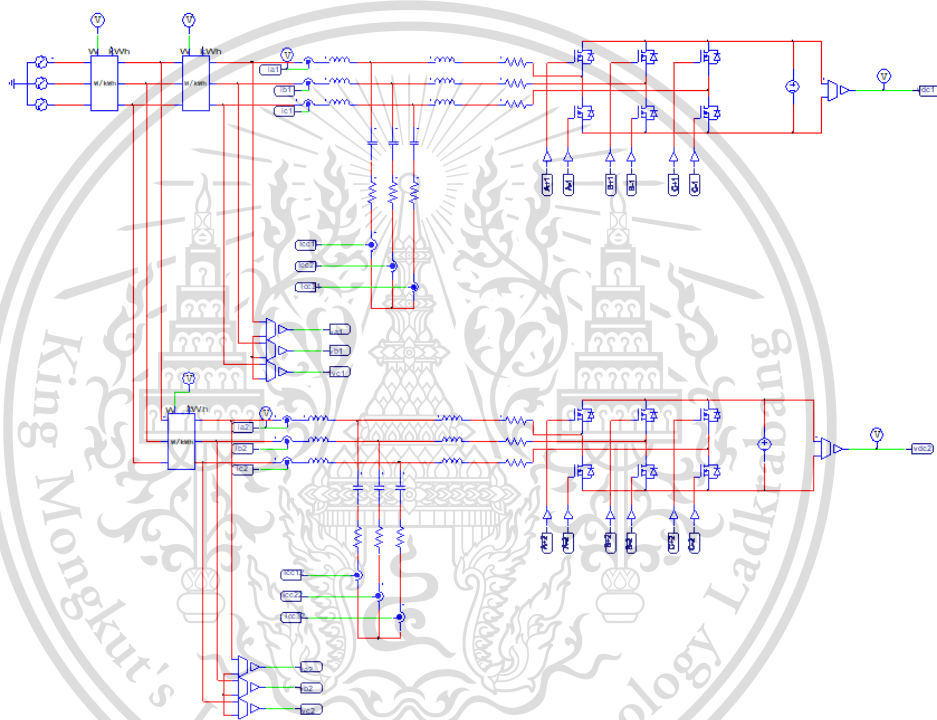
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

#### 4.4 การจำลองการทำงานของ Battery Energy Storage System

การจำลองระบบ Battery Energy Storage System ( BESS ) โดยใช้โปรแกรม PSIM นั้น จะใช้การจำลองโดยวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสดตรงจำนวน 2 ชุด โดยให้ชุดแรกนั้นเปรียบเสมือนตัวแทนของสถานีอัดประจุ ที่ต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด และชุดที่สองนั้นจะทำหน้าที่เป็น BESS ที่คอยส่งกำลังไฟฟ้ากลับเข้ากริดเมื่อสถานีอัดประจุนั้นจ่ายกำลังเกินค่าที่ตั้งไว้เพื่อช่วยให้ค่ายอดของกำลังไฟฟ้ามีค่าไม่เกินจากค่าที่ตั้งไว้ โดยวงจรควบคุมจะใช้วงจรควบคุมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสดตรงที่ได้ถูกออกแบบไว้ในตอนต้น ซึ่งระบบจำลองการทำงานของ BESS จะเป็นดังนี้



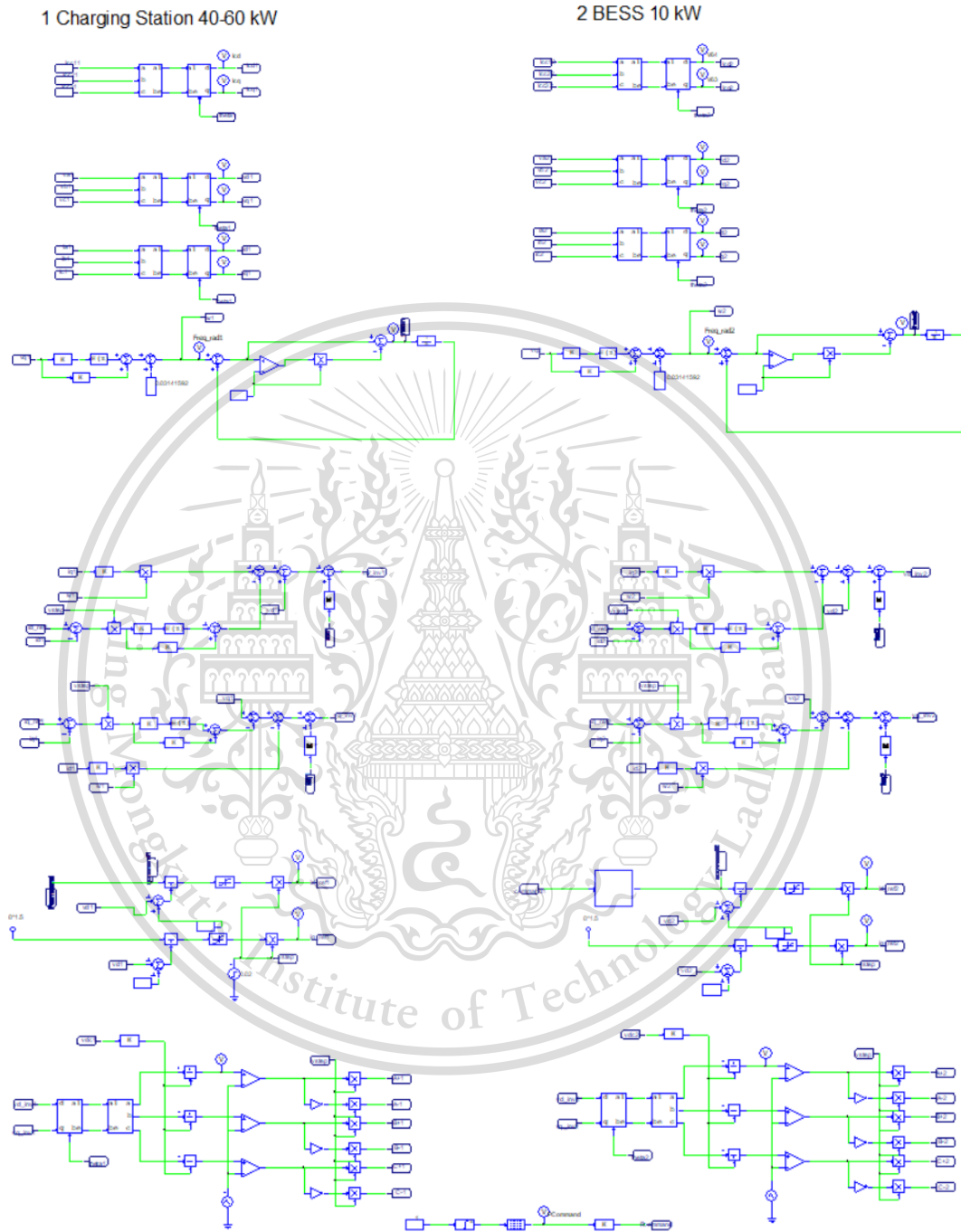
รูปที่ 4.24 วงจรกำลังที่ใช้ในการออกแบบระบบ BESS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Peak cut 50 kW



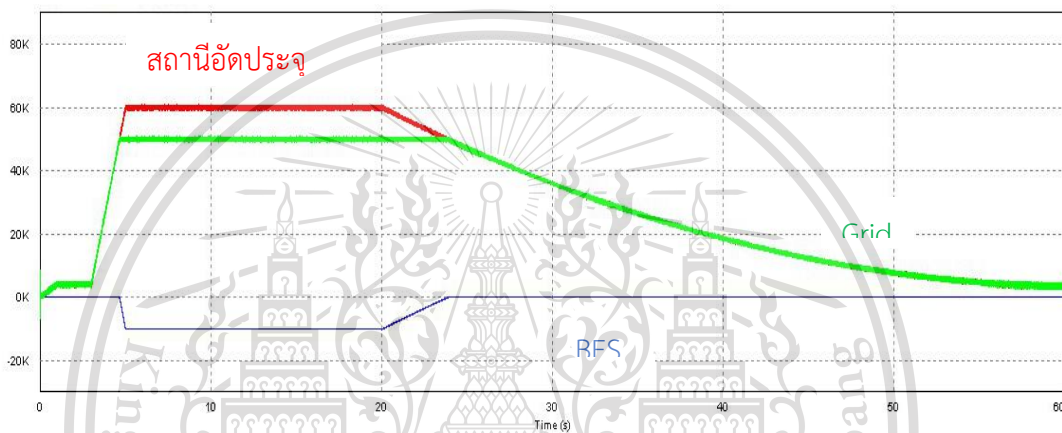
รูปที่ 4.25 วงจรควบคุมของระบบ Battery Energy Storage System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ในการจำลองจะใช้โปรแกรมภาษาซีในการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงของ BESS โดยตั้งไว้ว่าหากกำลังไฟฟ้าที่ส่งให้โหลดมีค่าที่มากกว่าค่าที่ตั้งไว้ ให้นำผลต่างของค่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งให้โหลดกับค่ากำลังไฟฟ้าที่ตั้งไว้มาสร้างเป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงของ BESS เพื่อช่วยจ่ายกำลังส่วนที่เกินมากลับเข้ากริด โดยในการจำลองการทำงานของระบบจะใช้กรณีที่สถานีอัดประจุ ต้องการจ่ายโหลดที่มีค่ายอดสูงสุดเท่ากับ 60 กิโลวัตต์ และให้ระบบ BESS ช่วยในการจ่ายกำลังไฟฟ้าส่วนที่เกินมาจากค่าที่ตั้งเอาไว้ โดยค่าที่ตั้งเอาไว้ในกรณีนี้ตั้งไว้ที่ 50 กิโลวัตต์ และ BESS สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 10 กิโลวัตต์ โดยได้ผลการจำลองเป็นดังนี้



รูปที่ 4.26 ผลการจำลองการทำงานของระบบ BESS

จากกราฟจะแสดงกำลังไฟฟ้า ณ สามตำแหน่งคือ กำลังไฟฟ้าที่เข้าสู่โหลดจากสถานีอัดประจุ (เส้นสีแดง) กำลังไฟฟ้าที่ถูกดึงออกมาจากกริด (สีเขียว) และ กำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งมาจาก BESS (เส้นสีน้ำเงิน) โดยจะเห็นว่า ณ เวลาวินาทีที่ 5 ถึง 24 กำลังไฟฟ้าที่ถูกส่งให้โหลดมีขนาดมากกว่า 50 กิโลวัตต์ ดังนั้น BESS จะส่งกำลังไฟฟ้ากลับสู่กริด ทำให้ขนาดกำลังไฟฟ้าที่ถูกดึงออกมาจากกริดมีค่าเท่ากับ 50 กิโลวัตต์ แต่หลังจากวินาทีที่ 24 กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้โหลดมีค่าน้อยกว่า 50 กิโลวัตต์ทำให้ระบบ BESS ไม่จ่ายกำลังไฟฟ้ามาที่กริด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบ BESS ที่ได้ออกแบบมาสามารถใช้งานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง อุปกรณ์และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ในปัจจุบันผลจากการค่อยๆเพิ่มขึ้นของยานยนต์ไฟฟ้าทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของสถานีอัดประจุไฟฟ้าด้วย ซึ่งในสถานีอัดประจุไฟฟ้านั้นนอกเหนือจากการเก็บค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy charge) ที่ใช้งานตามปกติแล้วนั้น ยังมีการเรียกเก็บค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand charge) ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการที่เราใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาหนึ่งเกินจากสัญญาที่ตั้งไว้ โดยการแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นจากค่าใช้จ่ายของ Demand Charge นี้สามารถทำได้โดยการติดตั้งระบบ Battery Energy Storage System หรือ BESS เพื่อช่วยในการจ่ายกำลังไฟฟ้าส่วนที่เกินจากสัญญาที่ตั้งเอาไว้ทำให้ไม่เกิดการเก็บค่าใช้จ่ายในส่วนของ Demand Charge ขึ้น โดยระบบ BESS นี้จะประกอบไปด้วยสามส่วนคือ วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง และแบตเตอรี่ โดยในปริญญานิพนธ์นี้ได้เสนอการจำลองระบบ BESS ด้วยโปรแกรม PSIM ซึ่งวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทางจะใช้ในการสั่งการและควบคุมทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าจากกริดสู่แบตเตอรี่ หรือ จากแบตเตอรี่สู่กริด โดยแปลงไปมาระหว่างไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 380 โวลต์ กับ ไฟฟ้ากระแสตรงที่ DC link ขนาด 650 โวลต์ และวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางจะทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันระหว่าง DC link กับแบตเตอรี่ ซึ่งวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าทั้งสองจะถูกทดลองในโปรแกรม PSIM โดยใช้บอร์ด DSP F28335 ในโปรแกรม PSIM เป็นตัวประมวลผล ในการออกแบบระบบควบคุมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงจะใช้หลักในการเปรียบเทียบค่ากระแสในกรอบอ้างอิงซิงโครนัส โดยผ่าน PI Controller เพื่อนำไปสร้างแรงดันอ้างอิงในการขับ MOSFET ส่วนระบบควบคุมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทางจะใช้หลักในการควบคุมแรงดันที่ DC link ให้คงที่และนำไปผ่าน PI Controller เพื่อสร้างสัญญาณอ้างอิงของกระแสในตัวเหนี่ยวนำ และนำไปเปรียบเทียบผ่าน PI Controller อีกทีเพื่อสร้างสัญญาณ duty ในการขับ MOSFET

จากผลการทดลอง เมื่อนำระบบที่ BESS ที่ได้ออกแบบเอาไว้ ไปทดสอบพบว่าสามารถสั่งให้แบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับมาเข้าสู่กริด (ดีสชาร์จ) และ สามารถดึงกำลังไฟฟ้าจากกริดมาเข้าสู่แบตเตอรี่ (ชาร์จ) โดยระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากการทดลองในการให้ระบบ BESS ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าส่วนที่เกินมาจากค่าที่ตั้งเอาไว้ ระบบสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ช่วยในการรักษาเสถียรภาพของกำลังไฟฟ้าไม่ให้เกินจากค่าที่ตั้งไว้ได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้เป็นการลดการเกิด Demand Charge ขึ้นได้อีกด้วย

## 5.2 อุปสรรคและแนวทางการแก้ไข

### 5.2.1 อุปสรรค

เนื่องจากการระบาดของโควิด 19 ทำให้ไม่สามารถเข้าไปปฏิบัติงานที่สถาบันได้ตามปกติ ทำให้ไม่สามารถทำงานในส่วนของ Hardware ได้ตามที่ได้กำหนดไว้ รวมถึงการทำงานร่วมกับสมาชิกในกลุ่มก็ลำบากมากขึ้น

### 5.2.2 แนวทางการแก้ไข

มีการประชุมและทำงานผ่านโปรแกรมออนไลน์ และได้ลดสโคปงานลงมาเหลือแค่เพียงการจำลองผลผ่านโปรแกรม PSIM

### 5.2.3 สิ่งที่ต้องปรับปรุงแก้ไข

เนื่องจากการใช้วงจรรองความถี่ต่ำแบบ LCL ทำให้ในการจำลองผล กำลังไฟฟ้าของระบบช่วงก่อนระบบควบคุมทำงานเพิ่มขึ้นสูงขึ้นในช่วงหนึ่ง ซึ่งเป็นสิ่งที่ควรปรับปรุงต่อไปในภายภาคหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## เอกสารอ้างอิง

- [1] จิระพล ศรีเสริญผล, “Controller Design” แหล่งข้อมูล:  
[http://eng.sut.ac.th/me/box/2\\_55/425440/Controller\\_Design2\\_55.pdf](http://eng.sut.ac.th/me/box/2_55/425440/Controller_Design2_55.pdf)
- [2] ปฎิวัติ บุญมา, สยามรัฐ เพิกอาภรณ์ม, (2555), “รายงานวิจัยสื่อการเรียนรู้งจรอินเวอร์เตอร์ inverter toolkit”, แหล่งข้อมูล:  
<https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2555/25552391441202.pdf>
- [3] ดร.กฤษ เฉยไสย (2547), “Power Electronics”, แหล่งข้อมูล:  
[http://eestaff.kku.ac.th/~krit/book\\_project4/Books/Power%20electronics/Power%20electronics.pdf](http://eestaff.kku.ac.th/~krit/book_project4/Books/Power%20electronics/Power%20electronics.pdf)
- [4] Jingang Han, Xiong Zhou, Song Lu and Pinxuan Zhao, “A Three-Phase Bidirectional Grid-Connected AC/DC Converter for V2G Applications, Hindawi Journal of Control Science and Engineering Volume 2020
- [5] ปฐมพงศ์ วิจิตร, “การชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและฮาร์มอนิกส์ด้วยอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558
- [6] คณิศร ทวะชาลี, ญัฐพงศ์ ศรีตระกูล, ธนวัฒน์ ฤวิลพพิทกุล และ ธนายง ตติวรณรัตน์, “การควบคุมระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริด” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง, 2560
- [7] ศิริลักษณ์ โคตรอินทร์, ศุภศรา จรัสแสนประเสริฐ, และอภิวัฒน์ เมืองสุวรรณ, “ระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริด”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2561
- [8] The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. “IEEE Standard Definitions of Basic Per-Unit Quantities for Alternating-Current Rotating Machine”, IEEE Std 86-1975

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาคผนวก ก.

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## การควบคุมปริมาณของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าโดยระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่

### Demand Control in EV Charging station Using Battery Energy Storage System

นพัฏฐกรณ์ เอี่ยมเกตุแก้ว ปวีณ อนันตกุลนธิ และ ปัทมพร คัยนันท์

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

#### บทคัดย่อ

ปฏิญานินพนธ์เล่มนี้นำเสนอการควบคุมปริมาณในสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าด้วยระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ จุดประสงค์ของระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ คือการลดปริมาณชาร์จที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าสัญญาที่ทำได้ ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ ประกอบด้วยแบตเตอรี่ วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า กระแสสลับเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง และวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง เมื่อมีความต้องการการใช้กำลังไฟฟ้าน้อย แบตเตอรี่จะถูกชาร์จด้วยกำลังไฟฟ้าจากกริด และเมื่อมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ามาก แบตเตอรี่จะจ่ายกำลังไฟฟ้ามายังกริด กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ควบคุมโดย PI controller ในกรอบอ้างอิงซิงโครนัส เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ โปรแกรม PSIM ได้ถูกนำมาใช้เพื่อจำลองร่วมกับ Digital Signal Processor (DSP F28335) จากผลการจำลองพบว่าระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ สามารถถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างแบตเตอรี่กับกริดได้อย่างถูกต้อง ในการควบคุมปริมาณในสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าส่วนเกินไปยังสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าเพื่อหลีกเลี่ยงปริมาณชาร์จได้สำเร็จ

**คำสำคัญ:** ระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่, ปริมาณชาร์จ

#### Abstract

This engineering project presented demand controlling in EV charging station using battery energy storage system (BESS). The purpose of the BESS is to reduce demand charge that occurs when using power more than a contract power. The BESS consisted of a battery pack, a bidirectional AC to DC converter and a bidirectional DC to DC

converter. During low demand the BESS is charged with the power from the grid, and when the demand is higher than the contract value the BESS is discharged power to the grid. The output power of the BESS is controlled with PI controller in synchronous reference frame. To validate the effectiveness of BESS controlling technique, PSIM was used to simulate with DSP F28335 microcontroller target. The simulation results show that the power was transferred correctly between grid and battery. In the case of EV charging station demand control, the BESS successfully supplied the excess power to charging station to avoid demand charge.

**Keywords:** battery energy storage system, Demand charge

#### 1. บทนำ

ในสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้านั้น นอกเหนือจากการเรียกเก็บค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy charge) ที่ใช้งานตามปกติแล้วนั้น ยังมีการเรียกเก็บค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Demand charge) โดยที่ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้านั้นคือค่าใช้จ่ายที่เก็บเพิ่มเติมจากค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยเรียกเก็บจากค่ากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากสัญญาการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าในหน่วยบาทต่อกิโลวัตต์ ดังนั้นการลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมากในการใช้ระบบกักเก็บพลังงานเพื่อลดค่าใช้จ่ายสำหรับสถานีชาร์จประจุไฟฟ้า หากสามารถพัฒนาระบบควบคุมปริมาณของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าโดยใช้ระบบกักเก็บพลังงานจากแบตเตอรี่ให้สามารถลดปริมาณความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่สูงสุดต้องใช้ในการชาร์จรถยนต์ไฟฟ้าได้ ก็จะสามารลดค่าใช้จ่ายที่มาจากปริมาณชาร์จของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้าให้น้อยลงได้ ในกรณีที่ใช้นาฬิกาเก็บพลังงานจากแบตเตอรี่มาใช้ภายในสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้า แบตเตอรี่ที่นำมาใช้จำเป็นต้องรับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงในการกักเก็บพลังงาน ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่มาจากกริดนั้นเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ จำเป็นต้องมี

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

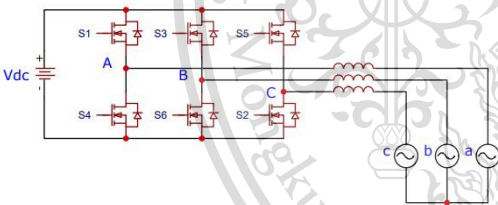
วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้า เพื่อที่จะลดแรงดันที่ใช้ในการเก็บเข้าสู่แบตเตอรี่หรือใช้ในการจ่ายไฟออกจากแบตเตอรี่

**2. วงจรที่ใช้สำหรับการส่งพลังงาน**

ในการถ่ายโอนพลังงานระหว่างแบตเตอรี่กับกริดนั้น เนื่องจากแหล่งจ่ายทั้งสองนั้นเป็นแหล่งจ่ายคนละประเภทโดยที่แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง แต่กริดเป็นแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ ทำให้ต้องใช้ตัววงจรทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังมาช่วยในการส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งวงจรที่ใช้โดยหลักๆนั้นจะประกอบไปด้วยวงจรแปลงผันแรงดันจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง(Three Phase Bidirectional AC to DC Converter) และ วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง(Bidirectional DC to DC converter)

**3. วงจรแปลงผันแรงดันจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง**

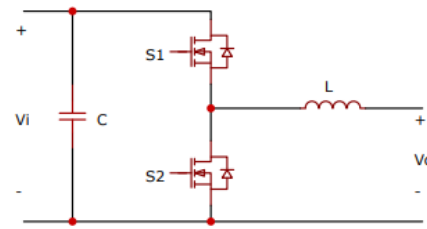
วงจรแปลงผันแรงดันจากกระแสสลับเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง คือวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังรูปแบบหนึ่งทีแปลงแรงดันไฟฟ้าระหว่างกระแสสลับและกระแสตรง



รูปที่ 1 วงจรแปลงผันแรงดันจากกระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง

**4. วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง**

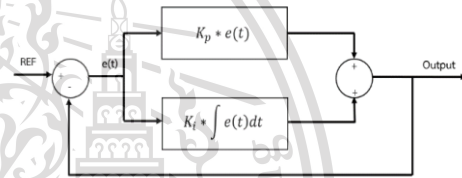
วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถทำงานได้ทั้งในโหมด buck converter และ boost converter โดยใช้เพื่อเพิ่มหรือลดแรงดันตามโหมดการทำงานที่ต้องการ โดยลักษณะของวงจรมีดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าแบบสองทิศทาง

**5. PI Controller**

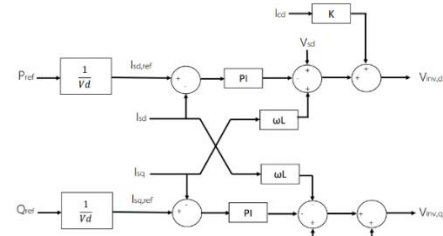
PI controller เป็นการควบคุมแบบระบบป้อนกลับชนิดหนึ่งที่มีการนำเอาเอาต์พุตมาเป็นอินพุตของระบบป้อนกลับ โดยมีการเปรียบเทียบค่าเอาต์พุตจริงกับค่าอ้างอิงที่เราต้องการเพื่อให้ได้เป็นค่า error และนำค่า error นั้นไปใช้ในการควบคุมระบบ มีบล็อกไดอะแกรมการควบคุมเป็นดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมของ PI Controller

**6. วงจรควบคุมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง**

ในการควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงแบบสองทิศทางจะใช้หลักการเปรียบเทียบค่าระหว่างค่าอ้างอิงของกระแสไฟฟ้าในกรอบอ้างอิงซิงโครนัส ซึ่งกระแสที่ใช้อ้างอิงนั้นจะถูกแปลงมาจากกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนที่ต้องการใช้เป็นค่าอ้างอิง และนำไปสร้างสัญญาณควบคุมPWMในการควบคุม MOSFET เพื่อให้ระบบสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ตามกำลังไฟฟ้าที่อ้างอิงเอาไว้ซึ่งถูกควบคุมในกรอบอ้างอิงซิงโครนัส



รูปที่ 4 บล็อก ไดอะแกรมวงจรควบคุมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส เป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง

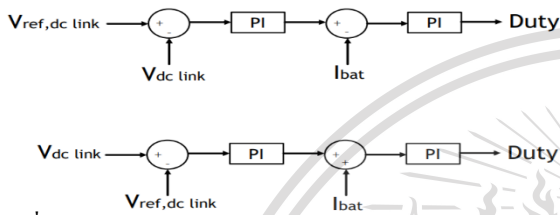
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงแหล่งที่มาของเอกสาร

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

7. วงจรควบคุมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

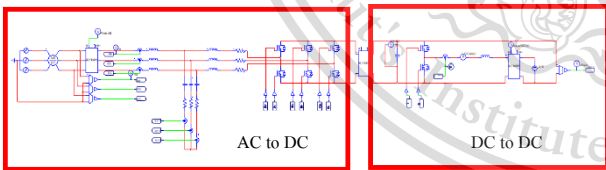
ในการควบคุมวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงสองทิศทางสามารถควบคุมได้โดยการควบคุมแรงดันที่ DC link ให้คงที่ ซึ่งในปริณัยณืพจน์นี้จะควบคุมแรงดันที่ DC link ให้มีค่าเท่ากับ 650 โวลต์ และใช้หลักการควบคุมกระแสเพื่อสร้างสัญญาณควบคุม MOSFET โดยวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้านี้สามารถทำงานได้ทั้งในโหมด boost และโหมด buck เพื่อแปลงแรงดันจาก DC link ขนาด 650 โวลต์ไปสู่แรงดันที่แบตเตอรี่ขนาด 240 โวลต์ หรือแรงดันแบตเตอรี่ 240 โวลต์ไปสู่ DC link ขนาด 650 โวลต์



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมวงจรถวลคุมของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง

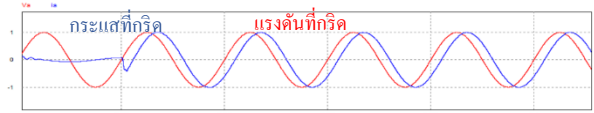
8. ผลการจำลองวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้าเพื่อใช้ในการควบคุมดีมานต์ของสถานีชาร์จประจุไฟฟ้ารถยนต์ไฟฟ้า

วงจรกำลังที่ใช้ในการจำลองผลด้วยโปรแกรม PSIM ประกอบด้วยสองส่วนหลักคือวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส เป็นกระแสตรงแบบสองทิศทาง และ วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงแบบสองทิศทาง ซึ่งแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 วงจรกำลังที่ใช้ในโปรแกรม PSIM

ในผลการทดลองนี้จะควบคุมกำลังไฟฟ้าจริงให้มีค่าเท่ากับ 5 กิโลวัตต์และมี Power factor 0.8 lagging เพื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากกริดไปสู่ DC link เปรียบเสมือนกำลังไหลเข้าสู่แบตเตอรี่ซึ่งเรียกว่าทำงานในโหมดชาร์จ และอีกแบบคือส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจาก DC link ไปสู่กริด (Power factor -0.8 lagging) เปรียบเสมือนกำลังไหลออกจากแบตเตอรี่ซึ่งเรียกว่าการทำงานในโหมดดิสชาร์จ โดยการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าจริงอ้างอิงและกำลังไฟฟ้าเสมือนอ้างอิงในวงจรถวลคุมซึ่งทำในระบบเพอร์ยูนิตโดยกำหนดค่า base ของแรงดันและกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 311.08 โวลต์และ 6.25 กิโลวัตต์แอมป์



รูปที่ 7 แรงดันและกระแสที่กริดในระบบเพอร์ยูนิตเมื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากกริดไปยัง DC link



รูปที่ 8 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงในโหมดชาร์จ

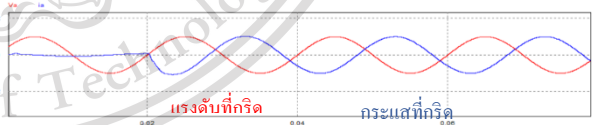


รูปที่ 9 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงที่ DC link และแบตเตอรี่ในโหมดชาร์จ

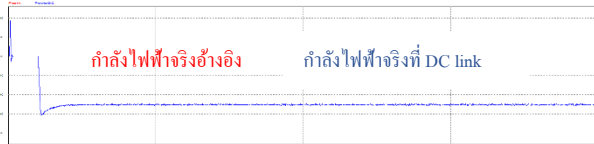
จากรูปที่ 7 และ 8 แสดงผลรูปคลื่นแรงดันและกระแสมีมุมที่ต่างกันเป็น Power factor เท่ากับ 0.8 และกำลังไฟฟ้าจริงที่ส่งจากกริดไปยัง DC link มีค่าเท่ากับ 5 กิโลวัตต์ โดยจากนั้นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะทำงานในโหมด Buck Converter

จากรูปที่ 9 กำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่มีค่าเป็นบวก นั่นคือกระแสไหลเข้าสู่แบตเตอรี่หรือก็คือเป็นการทำงานในโหมดชาร์จ

ในการทดลองโหมดดิสชาร์จเป็นการควบคุมโดยทำให้รูปคลื่นแรงดันและกระแสมีมุมที่ต่างกันเป็น Power factor เท่ากับ -0.8 และกำลังไฟฟ้าจริงที่ส่งจาก DC link ไปยังกริด มีค่าเท่ากับ 5 กิโลวัตต์ โดยวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะทำงานในโหมด Boost Converter



รูปที่ 10 แรงดันและกระแสที่กริดในระบบเพอร์ยูนิตเมื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจาก DC link ไปยังกริด



รูปที่ 11 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงในโหมดดิสชาร์จ



รูปที่ 12 การเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจริงที่ DC link และแบตเตอรี่ในโหมดดิสชาร์จ

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ห้ามมิให้เผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

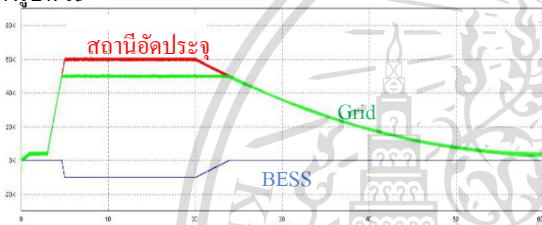
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 12 กำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่มีค่าเป็นลบ นั่นคือกระแสไหลออกจากแบตเตอรี่หรือก็คือเป็นการทำงานในโหมดคิซาร์จ

การจำลองระบบ Battery Energy Storage System ( BESS ) โดยใช้โปรแกรม PSIM นั้น จะใช้การจำลองโดยวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสสลับสามเฟสเป็นกระแสตรงจำนวน 2 ชุด โดยให้ชุดแรกนั้นเปรียบเสมือนตัวแทนของสถานีอัดประจุ ที่ต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลด และชุดที่สองนั้นจะทำหน้าที่เป็น BESS ที่คอยส่งกำลังไฟฟ้ากลับเข้ากริดเมื่อสถานีอัดประจุนั้นจ่ายกำลังเกินค่าที่ตั้งไว้เพื่อช่วยให้ค่ายอดของกำลังไฟฟ้ามีค่าไม่เกินจากค่าที่ตั้งไว้

ในการจำลองต้องการจ่ายโหลดที่มีค่ายอดสูงสุดเท่ากับ 60 กิโลวัตต์ และให้ระบบ BESS ช่วยในการจ่ายกำลังไฟฟ้าส่วนที่เกินมาจากค่าที่ตั้งเอาไว้ โดยค่าที่ตั้งเอาไว้ในกรณีนี้ตั้งไว้ที่ 50 กิโลวัตต์ และ BESS สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 10 กิโลวัตต์ โดยได้ผลการจำลองเป็นดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ผลการจำลองการทำงานของระบบ BESS

9. สรุป

จากผลการทดลอง เมื่อนำระบบ BESS ไปทดสอบพบว่าสามารถสั่งให้แบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้ากลับเข้ามาเข้าสู่กริด (คิซาร์จ) และ สามารถดึงกำลังไฟฟ้าจากกริดมาเข้าสู่แบตเตอรี่ (ชาร์จ) รวมถึงสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ามาช่วยในการรักษาสถียรภาพของกำลังไฟฟ้าไม่ให้เกิดจากค่าที่ตั้งไว้ได้ เพื่อเป็นการลดการเกิด Demand Charge ขึ้นได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] จิระ พล ศรีเสริฐผล, “Controller Design” แหล่งข้อมูล : [http://eng.sut.ac.th/me/box/2\\_55/425440/Controller\\_Design2\\_55.pdf](http://eng.sut.ac.th/me/box/2_55/425440/Controller_Design2_55.pdf)

[2] ปภิวดี บุญมา, สยามรัฐ เทคอากรณัม, (2555), “รายงานวิจัยสื่อการเรียนรู้ วงจร อินเวอร์เตอร์ inverter toolkit”, แหล่งข้อมูล : <https://research.rmutsb.ac.th/fullpaper/2555/25552391441202.pdf>

[3] Jingang Han, Xiong Zhou, Song Lu and Pinxuan Zhao, “A Three-Phase Bidirectional Grid-Connected AC/DC Converter for V2 G Applications, Hindawi Journal of Control Science and Engineering Volume 2020

[4] ปฐมพงศ์ วิจิตร, “การชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและฮาร์มอนิกส์ด้วยอินเวอร์เตอร์หลายระดับชนิดฟลายอิงคาปาซิเตอร์”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2558

[5] คณิศร ทเวชาติ, ณัฐพงศ์ ศรีตระกูล, ธนวัฒน์ ถวิลพุทธิกุล และ ธนชาย ตติวรรณรัตน์, “การควบคุมระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริด” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง, 2560

[6] ศิริลักษณ์ โคตรอินทร์, สุภศรา จรัสแสนประเสริฐ, และอภิวัฒน์ เมืองสุวรรณ, “ระบบ แบตเตอรี่กักเก็บพลังงานสำหรับไมโครกริด”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2561

ประวัติผู้เขียน



นาย นัทธกรณ์ อี่ยมกุดแก้ว  
วิศวกรรмпไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า  
คุณทหาร ลาดกระบัง

วัน/เดือน/ปีเกิด 26 กรกฎาคม 2542  
สนใจงานวิจัยเกี่ยวกับ Power System และ High Voltage Engineering



นาย ปวีณ อนันตกุลนธิ  
วิศวกรรмпไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า  
คุณทหาร ลาดกระบัง

วัน/เดือน/ปีเกิด 15 พฤศจิกายน 2541  
สนใจงานวิจัยเกี่ยวกับ Power Electronics



นาย ปิณณธร คัยนันท์  
วิศวกรรмпไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า  
คุณทหาร ลาดกระบัง

วัน/เดือน/ปีเกิด 7 มีนาคม 2542  
สนใจงานวิจัยเกี่ยวกับ Signals Processing

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในที่สาธารณะ หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาคผนวก ข  
โปรแกรมภาษาซีสำหรับใช้กับบอร์ด DSP F28335

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โปรแกรมมีดังนี้

```
#include <math.h>
#include "PS_bios.h"
typedef float DefaultType;
#define GetCurTime() PS_GetSysTimer()
```

```
interrupt void Task();
```

```
DefaultType fGblValpha = 0.0;
```

```
DefaultType fGblVbeta = 0.0;
```

```
DefaultType fGblVd = 0.0;
```

```
DefaultType fGblVq = 0.0;
```

```
DefaultType fGblFreq_rad = 0.0;
```

```
DefaultType fGblUDELAY1 = 0;
```

```
DefaultType fGbltheta = 0.0;
```

```
DefaultType fGblidref = 0.0;
```

```
DefaultType fGbliqref = 0.0;
```

```
DefaultType fGblid = 0.0;
```

```
DefaultType fGbliq = 0.0;
```

```
DefaultType fGblnon = 0.0;
```

```
DefaultType fGblinvert = 0.0;
```

```
DefaultType fGblVaafterAD = 0.0;
```

```
DefaultType fGbllcd = 0.0;
```

```
DefaultType fGblcq = 0.0;
```

```
DefaultType fGblmultiple = 0.0;
```

```
DefaultType fGbl-duty = 0.0;
```

```
DefaultType fGblunitstep = 0.0;
```

```
DefaultType fGblUDELAY54 = 0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
DefaultType fGblV54 = 0.0;
```

```
DefaultType fGblUDELAY2 = 0;
```

```
DefaultType fGblV55 = 0.0;
```

```
interrupt void Task()
```

```
{
```

```
    DefaultType fTI_ADC2, fZOH21, fTI_ADC2_1, fZOH22, fTI_ADC2_2,
    fZOH23, fABC_AB1, fABC_AB1_1;
```

```
    DefaultType fAB_DQ1, fAB_DQ1_1, fP44, fTF_D6, fP43, fSUMP10, fC3,
    fSUMP11, fSUMP12, fC5;
```

```
    DefaultType fCOMP6, fMULT14, fSUM13, fUDELAY1, fC22, fC28, fC25,
    fTF_D17, fCOMP10, fC26;
```

```
    DefaultType fSUM21, fP89, fMULT60, fSUM23, fC18, fSUMP23, fDIVD4,
    fLIM7, fC21, fTF_D1;
```

```
    DefaultType fCOMP1, fC23, fSUM2, fP3, fMULT55, fC24, fC20, fSUMP22,
    fDIVD5, fLIM2, fMULT56;
```

```
    DefaultType fTI_ADC2_3, fZOH20, fTI_ADC2_4, fZOH19, fTI_ADC2_5,
    fZOH3, fABC_AB2, fABC_AB2_1;
```

```
    DefaultType fAB_DQ2, fAB_DQ2_1, fC7, fCOMP3, fNOT1, fP5, fMULT1,
    fSUM5, fMULT57, fP25;
```

```
    DefaultType fTF_D2, fP24, fSUMP3, fSUM6, fSUMP1, fTI_ADC2_8, fZOH28,
    fTI_ADC2_9, fZOH29;
```

```
    DefaultType fTI_ADC2_10, fZOH30, fABC_AB3, fABC_AB3_1, fAB_DQ3,
    fAB_DQ3_1, fP88, fSUMP25;
```

```
    DefaultType fSUM1, fMULT58, fP27, fTF_D3, fP26, fSUMP4, fSUM8, fP6,
    fMULT2, fSUM9, fP86;
```

```
    DefaultType fSUMP28, fDQ_AB1, fDQ_AB1_1, fAB_ABC1, fAB_ABC1_1,
    fAB_ABC1_2, fTI_ADC2_6;
```

```
    DefaultType fZOH24, fP90, fP66, fDIVD1, fDIVD3, fDIVD2, fABS1, fDIVD6,
    fMULT48, fVCC12;
```

```
    DefaultType fMULT47, fSUM24, fP72, fTF_D11, fP71, fSUMP15, fLIM5,
    fTI_ADC2_7, fZOH31;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ และหากมีข้อสงสัยใดๆ กรุณาติดต่อผู้จัดทำเอกสารนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
DefaultType fp81, fMULT45, fSUM18, fp74, fTF_D12, fp73, fSUMP17,
fLIM3, fUDELAY54, fUDELAY2;
```

```
DefaultType fp91;
```

```
PS_EnableIntr();
```

```
fUDELAY1 = fGblUDELAY1;
```

```
fUDELAY54 = fGblUDELAY54;
```

```
fUDELAY2 = fGblUDELAY2;
```

```
fTI_ADC2 = PS_GetAcAdc(0);
```

```
fTI_ADC2_1 = PS_GetAcAdc(1);
```

```
fTI_ADC2_2 = PS_GetAcAdc(2);
```

```
fTI_ADC2_3 = PS_GetAcAdc(3);
```

```
fTI_ADC2_4 = PS_GetAcAdc(4);
```

```
fTI_ADC2_5 = PS_GetAcAdc(5);
```

```
fTI_ADC2_8 = PS_GetAcAdc(8);
```

```
fTI_ADC2_9 = PS_GetAcAdc(9);
```

```
fTI_ADC2_10 = PS_GetAcAdc(10);
```

```
fTI_ADC2_6 = PS_GetAcAdc(6);
```

```
fTI_ADC2_7 = PS_GetAcAdc(7);
```

```
fZOH21 = fTI_ADC2;
```

```
fZOH22 = fTI_ADC2_1;
```

```
fZOH23 = fTI_ADC2_2;
```

```
fABC_AB1 = 0.81649658 * (fZOH21 - (fZOH22 + fZOH23) /2.0);
```

```
fABC_AB1_1 = 0.70710678 * (fZOH22 - fZOH23); // uvw2ab
```

```
#ifdef _DEBUG
```

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
fGblValpha = fABC_AB1;
```

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

#endif

#ifdef _DEBUG
    fGblVbeta = fABC_AB1_1;
#endif

    fAB_DQ1 = cos(fUDELAY1) * fABC_AB1 + sin(fUDELAY1) * fABC_AB1_1;
    fAB_DQ1_1 = -sin(fUDELAY1) * fABC_AB1 + cos(fUDELAY1) * fABC_AB1_1;
// ab2dq
#ifdef _DEBUG
    fGblVd = fAB_DQ1;
#endif

#ifdef _DEBUG
    fGblVq = fAB_DQ1_1;
#endif

    fP44 = fAB_DQ1_1 * (40.0/20000);
    {
        static DefaultType fln = 0.0;
        static DefaultType fOut = 0.0;

        fTF_D6 = 1 * fP44 + 1 * fln - (-1) * fOut;

        fln = fP44;

        fOut = fTF_D6;
    }

    fP43 = fAB_DQ1_1 * 0.04;

    fSUMP10 = fTF_D6 + fP43;
    fC3 = 0.03141592;
    fSUMP11 = fSUMP10 + fC3;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

#ifdef _DEBUG
    fGblFreq_rad = fSUMP11;
#endif

fSUMP12 = fSUMP11 + fUDELAY1;
fC5 = 2*3.1415926;
fCOMP6 = (fSUMP12 > fC5) ? 1 : 0;
fMULT14 = fCOMP6 * fC5;
fSUM13 = fSUMP12 - fMULT14;
fGblUDELAY1 = fSUM13;

#ifdef _DEBUG
    fGbltheta = fUDELAY1;
#endif

fC22 = 1.5*0.8;
fC28 = 3*0.8;
fC25 = 3999;
{
    static DefaultType fln = 0.0;
    static DefaultType fOut = 0.0;
    fTF_D17 = 1 * fUDELAY2 + 1 * fln - (-1) * fOut;
    fln = fUDELAY2;
    fOut = fTF_D17;
}

fCOMP10 = (fC25 > fTF_D17) ? 1 : 0;
fC26 = 1;
fSUM21 = fCOMP10 - fC26;
fP89 = fSUM21 * (-1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

fC18 = 1e-6;
fSUMP23 = fAB_DQ1 + fC18;
fDIVD4 = fSUM23 / fSUMP23;
fLIM7 = (fDIVD4 > 2) ? 2 : ((fDIVD4 < -2) ? -2 : fDIVD4);
fC21 = 399;
{
    static DefaultType fIn = 0.0;
    static DefaultType fOut = 0.0;
    fTF_D1 = 1 * fUDELAY54 + 1 * fIn - (-1) * fOut;
    fIn = fUDELAY54;
    fOut = fTF_D1;
}
fCOMP1 = (fC21 > fTF_D1) ? 1 : 0;
fC23 = 1;
fSUM2 = fCOMP1 - fC23;
fP3 = fSUM2 * (-1);
fMULT55 = fLIM7 * fP3;
#ifdef _DEBUG
    fGblidref = fMULT55;
#endif
fC24 = -1.5*0.6;
fC20 = 1e-6;
fSUMP22 = fAB_DQ1 + fC20;
fDIVD5 = fC24 / fSUMP22;
fLIM2 = (fDIVD5 > 2) ? 2 : ((fDIVD5 < -2) ? -2 : fDIVD5);
fMULT56 = fLIM2 * fP3;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น fGblidref = fMULT56; และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

#endif

fZOH20 = fTI_ADC2_3;
fZOH19 = fTI_ADC2_4;
fZOH3 = fTI_ADC2_5;
fABC_AB2 = 0.81649658 * (fZOH20 - (fZOH19 + fZOH3) /2.0);
fABC_AB2_1 = 0.70710678 * (fZOH19 - fZOH3); // uvw2ab
fAB_DQ2 = cos(fUDELAY1) * fABC_AB2 + sin(fUDELAY1) * fABC_AB2_1;
fAB_DQ2_1 = -sin(fUDELAY1) * fABC_AB2 + cos(fUDELAY1) * fABC_AB2_1;
// ab2dq

#ifdef _DEBUG
    fGblid = fAB_DQ2;
#endif

#ifdef _DEBUG
    fGbliq = fAB_DQ2_1;
#endif

fC7 = 0;
fCOMP3 = (fSUM23 > fC7) ? 1 : 0;

#ifdef _DEBUG
    fGblnon = fCOMP3;
#endif

fNOT1 = !fCOMP3;

#ifdef _DEBUG
    fGblinvert = fNOT1;
#endif

#ifdef _DEBUG
    fGblVaafterAD = fZOH21;
    fGblVaafterAD = fZOH21;
#endif

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

fp5 = fAB_DQ2_1 * 0.00044;
fmult1 = fp5 * fsump11;
fsum5 = fmult55 - fAB_DQ2;
fmult57 = fsum5 * fp3;
fp25 = fmult57 * (150.0/20000);
{
    static DefaultType fln = 0.0;
    static DefaultType fOut = 0.0;
    fTF_D2 = 1 * fp25 + 1 * fln - (-1) * fOut;
    fln = fp25;
    fOut = fTF_D2;
}
fp24 = fmult57;
fsump3 = fTF_D2 + fp24;
fsum6 = fmult1 - fsump3;
fsump1 = fsum6 + fAB_DQ1;
fzoh28 = fTI_ADC2_8;
fzoh29 = fTI_ADC2_9;
fzoh30 = fTI_ADC2_10;
fabc_ab3 = 0.81649658 * (fzoh28 - (fzoh29 + fzoh30) / 2.0);
fabc_ab3_1 = 0.70710678 * (fzoh29 - fzoh30); // uvw2ab
fAB_DQ3 = cos(fUDELAY1) * fABC_AB3 + sin(fUDELAY1) * fABC_AB3_1;
fAB_DQ3_1 = -sin(fUDELAY1) * fABC_AB3 + cos(fUDELAY1) * fABC_AB3_1;
// ab2dq
#ifdef _DEBUG
    fGbllcd = fAB_DQ3;
#endif

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
#ifdef _DEBUG
```

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

fGblcq = fAB_DQ3_1;

#endif

fP88 = fAB_DQ3 * (-0.5);
fSUMP25 = fSUMP1 + fP88;
fSUM1 = fMULT56 - fAB_DQ2_1;
fMULT58 = fSUM1 * fP3;
fP27 = fMULT58 * (150.0/20000);
{
    static DefaultType fln = 0.0;
    static DefaultType fOut = 0.0;
    fTF_D3 = 1 * fP27 + 1 * fln - (-1) * fOut;
    fln = fP27;
    fOut = fTF_D3;
}
fP26 = fMULT58 * 0.8;
fSUMP4 = fTF_D3 + fP26;
fSUM8 = fAB_DQ1_1 - fSUMP4;
fP6 = fAB_DQ2 * 0.00044;
fMULT2 = fP6 * fSUMP11;
fSUM9 = fSUM8 - fMULT2;
fP86 = fAB_DQ3_1 * (-0.5);
fSUMP28 = fSUM9 + fP86;
fDQ_AB1 = cos(fUDELAY1) * fSUMP25 - sin(fUDELAY1) * fSUMP28;
fDQ_AB1_1 = sin(fUDELAY1) * fSUMP25 + cos(fUDELAY1) * fSUMP28; //
dq2ab
fAB_ABC1 = 0.81649658 * fDQ_AB1; // ab2uvw

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

fAB\_ABC1\_2 = -0.40824829 \* fDQ\_AB1 - 0.70710678 \* fDQ\_AB1\_1;

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

fZOH24 = fTI_ADC2_6;
fP90 = fZOH24 * 2;
fP66 = fP90 * (1.0/2);
fDIVD1 = fAB_ABC1 / fP66;
fDIVD3 = fAB_ABC1_1 / fP66;
fDIVD2 = fAB_ABC1_2 / fP66;
PS_SetPwm3ph1UvwSH(fDIVD1, fDIVD3, fDIVD2);
fABS1 = fabs(fSUM23);
fDIVD6 = fSUM23 / fABS1;
#ifdef _DEBUG
fGblmultiple = fDIVD6;
#endif
fMULT48 = fP90 * fDIVD6;
fVCC12 = 2.089;
fMULT47 = fVCC12 * fDIVD6;
fSUM24 = fMULT48 - fMULT47;
fP72 = fSUM24 * (3000.0/20000);
{
    static DefaultType fln = 0.0;
    static DefaultType fOut = 0.0;
    fTF_D11 = 1 * fP72 + 1 * fln - (-1) * fOut;
    fln = fP72;
    fOut = fTF_D11;
}
fP71 = fSUM24 * 20;
fSUMP15 = fTF_D11 + fP71;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ควรนำเอกสารนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่กรณีที่มีการขออนุญาตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

fp81 = fZOH31 * 2;
fMULT45 = fp81 * fDIVD6;
fSUM18 = fLIM5 - fMULT45;
fp74 = fSUM18 * (100.0/20000);
{
    static DefaultType fln = 0.0;
    static DefaultType fOut = 0.0;
    fTF_D12 = 1 * fp74 + 1 * fln - (-1) * fOut;
    fln = fp74;
    fOut = fTF_D12;
}
fp73 = fSUM18;
fSUMP17 = fTF_D12 + fp73;
fLIM3 = (fSUMP17 > 1.0) ? 1.0 : ((fSUMP17 < 0) ? 0 : fSUMP17);
PS_SetPwm4RateSH(fLIM3);
#ifdef _DEBUG
    fGbl duty = fLIM3;
#endif
#ifdef _DEBUG
    fGbl unitstep = fp3;
#endif
    fGbl UDELAY54 = fCOMP1;
#ifdef _DEBUG
    fGbl V54 = fp89;
#endif
    fGbl UDELAY2 = fCOMP10;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น หากพบว่ามีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

    fGblV55 = fP91;
#endif

    PS_ExitPwm1General();
}

void Initialize(void)
{
    PS_SysInit(30, 10);
    PS_StartStopPwmClock(0);
    PS_InitTimer(0, 0xffffffff);
    PS_InitPwm3ph(1, 1, 10000*1, (4e-6)*1.e6, 35544); // pwnNo,
    waveType, frequency, deadtime
    PS_SetPwm3phPeakOffset(1, 2, (-1), 1.0/2);
    PS_SetPwm3ph1AdcIntr(ePwmNoAdc, 1, 0);
    PS_SetPwm3ph1Vector(ePwmNoAdc, Task);
    PS_SetPwm3ph1TzAct(eTZHighImpedance);
    PS_SetPwm3ph1UvwSH(0, 0, 0);
    PS_StartPwm3ph1();

    PS_InitPwm(4, 1, 10000*1, (4e-6)*1e6, PWM_TWO_OUT, 35544); // pwnNo,
    waveType, frequency, deadtime, outtype
    PS_SetPwmPeakOffset(4, 1, 0, 1.0/1);
    PS_SetPwmIntrType(4, ePwmTrigAdc, 1, 0);
    PS_SetPwmTzAct(4, eTZHighImpedance);
    PS_SetPwm4RateSH(0);
    PS_StartPwm(4);
    PS_ResetAdcConvSeq();
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น สิ่งนี้สงวนไว้เพื่อป้องกันปัญหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

PS_SetAdcConvSeq(eAdcCascade, 0, 1);
PS_SetAdcConvSeq(eAdcCascade, 1, 1);
PS_SetAdcConvSeq(eAdcCascade, 2, 1);
PS_SetAdcConvSeq(eAdcCascade, 3, 1);
PS_SetAdcConvSeq(eAdcCascade, 4, 1);
PS_SetAdcConvSeq(eAdcCascade, 5, 1);
PS_SetAdcConvSeq(eAdcCascade, 6, 1.0);
PS_SetAdcConvSeq(eAdcCascade, 7, 1.0);
PS_SetAdcConvSeq(eAdcCascade, 8, 1.0);
PS_SetAdcConvSeq(eAdcCascade, 9, 1.0);
PS_SetAdcConvSeq(eAdcCascade, 10, 1.0);
PS_Adclnit(0, !2);
PS_StartStopPwmClock(1);
}

void main()
{
    Initialize();
    PS_EnableIntr(); // Enable Global interrupt INTM
    PS_EnableDbgm();
    for (;;) {
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

## ประวัติผู้เขียน



นาย พิชฎกรณณ์ เอี่ยมเกตต์แก้ว

วัน/เดือน/ปีเกิด: 26 กรกฎาคม 2542

ที่อยู่: 99/237 หมู่บ้านปาริชาติ ถ.ค้อมเกล้า แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

Email: 60010496@kmitl.ac.th



นาย ปวีณ อนันตกุลนธิ์

วัน/เดือน/ปีเกิด: 12 พฤศจิกายน 2541

ที่อยู่: 45/84 ซ.พัฒนาการ 57 ถ.พัฒนาการ เขตประเวศ กรุงเทพมหานคร 10250

Email: 60010597@kmitl.ac.th



นาย ปิณญธร คัยนินท์

วัน/เดือน/ปีเกิด: 7 มีนาคม 2542

ที่อยู่: 53 ซ.วชิรธรรมสาธิต 39/1 ถ.สุขุมวิท 101/1 แขวงบางจาก เขตพระโขนง กรุงเทพมหานคร 10260

Email: 60010600@kmitl.ac.th

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.