

การควบคุมสำหรับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดัน  
แบบแคสเคดด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

CONTROL FOR CASCADE DC/DC STEP-DOWN CONVERTERS  
USING GENETIC ALGORITHM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

KMITL-2017-EN-M-020-056

# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมสำหรับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดัน  
แบบแคสเคดด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

CONTROL FOR CASCADE DC/DC STEP-DOWN CONVERTERS  
USING GENETIC ALGORITHM



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน **148787**  
ขึ้นเดือนปี **23 10 2560**

b. 002669๕๕  
l. ....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ KMITL-2017-EN-M-020-056 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONTROL FOR CASCADE DC/DC STEP-DOWN CONVERTERS  
USING GENETIC ALGORITHM



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
2017

KMITL-2017-EN-M-020-056

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การควบคุมสำหรับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม  
Thesis Title Control for Cascade DC/DC Step-Down Converters using Genetic Algorithm  
นักศึกษา นางสาวสุรัตติกาล สุวรรณพรหม  
รหัสประจำตัว 55610734  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-020-056

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สลิทธิพิทย์	สินธุสนธิชาติ	สินธุสนธิชาติ
รศ.ดร.สมยศ	เกียรติวนิชวิไล	
รศ.ดร.เฉลิมชาติ	มานพ	
ดร.ภพ	จันทร์เจริญสุข	
รศ.ดร.อนุวัฒน์	จางวนิชเลิศ	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 10.00-12.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 1

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และวันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมสำหรับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม
นักศึกษา	นางสาวสุรัตติกาล สุวรรณพรหม
รหัสประจำตัว	55610734
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมสำหรับวงจรสแตปดาวน์คอนเวอร์เตอร์แบบแคสเคดเพื่อรักษาระดับแรงดัน วงจรที่ใช้ออกแบบมีขนาดแรงดันด้านเข้า 16 โวลต์ ให้ได้แรงดันด้านออก 4 โวลต์คงที่ โดยใช้วิธีการขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์ของระบบเพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นอันดับแรก ต่อจากนั้นสร้างโมเดลอ้างอิงของเอาต์พุตในแบบที่ต้องการแล้วใช้ขั้นตอนทางเชิงพันธุกรรมค้นหาตัวควบคุมที่เหมาะสม โดยมีค่าส่วนกลับของอินทิกรัลของผลต่างระหว่างโมเดลอ้างอิงกับผลตอบสนองของระบบยกกำลังสองเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ การจำลองและการทดลองถูกนำมายืนยันสมรรถนะของตัวควบคุมที่นำเสนอเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบ ตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (Integral of Squared Error (ISE)) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (Integral of Absolute Error (IAE)) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (Integral of Time Multiply Squared Error (ITSE)) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (Integral of Time multiply Absolute Error (ITAE)) ในสมรรถนะด้านเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกิน เวลาขึ้นและเวลาเข้าสู่สมดุลย์ ผลที่ได้คือตัวควบคุมที่นำเสนอจะมีสมรรถนะด้านเวลาขึ้นและเวลาเข้าสู่สมดุลย์ใกล้เคียงกันแต่สมรรถนะด้านเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินที่เหนือกว่า เมื่อเทียบกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (Integral of Squared Error (ISE)) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (Integral of Absolute Error (IAE)) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (Integral of Time Multiply Squared Error (ITSE)) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (Integral of Time multiply Absolute Error (ITAE)) นอกจากนี้วงจรทำงานได้อย่างยอดเยี่ยมต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะแหล่งจ่ายแรงดัน,ค่าตัวเก็บประจุและค่าโหลดความต้านทาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Control for cascade dc/dc step-down converters using genetic algorithm
Student	Miss.Surattikarn Suwannaprom
Student ID.	55610734
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Anuwat Jangwanitlert

## ABSTRACT

This thesis presents the design of controller for cascade Buck controller to keep a dc constant voltage. The input voltage is 16 V and output voltage is 4 V. By using the system identification procedure, the transfer function is gotten first. Next, a reference model based on the desired output is built and then the genetic algorithm is used to find the optimal controller. With the integral of the difference section, the difference between the model and the response of the squared system is the objective function.

The simulation and experiment results were performed to confirm the performance of the proposed controller compared to the controllers: Integral of Squared Error (ISE), Integral of Absolute Error (IAE), Integral of Time Multiply Squared Error (ITSE), and Integral of Time multiply Absolute Error (ITAE) in the Percent overshoot and Rise time and settling time. The proposed controller has a result of the Rise time and settling time performance are quite similar to those controllers, but it is superior Percent overshoot than the integral controller of the Integral of Squared Error (ISE), Integral of Absolute Error (IAE), Integral of Time Multiply Squared Error (ITSE), and Integral of Time multiply Absolute Error (ITAE). In addition, the proposed controller has the excellent control over other controllers such as changing supply voltages, capacitor values, and load resistances.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.อนุวัฒน์ จางวนิชเลิศ ที่ให้ความช่วยเหลือ ชี้แนะแนวทางแก้ปัญหาจุดบกพร่อง ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่เป็นกรรมการสอบหัวข้อและโครงร่างวิทยานิพนธ์ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ ตลอดจนข้อชี้แนะจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ นายพิษณุ ศรีธงชัย ที่คอยให้คำปรึกษาและชี้แนะแนวทางทำการทดลอง  
สุดท้ายขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้  
สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้กับอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และ  
ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

สุรัตติกาล สุวรรณพรหม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบอื่น.....	3
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.7 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย.....	5
2.1 ทฤษฎีระบบควบคุม.....	5
2.1.1 ระบบเปิดและระบบปิด.....	5
2.1.2 ความสัมพันธ์ของระบบ.....	6
2.1.3 สมรรถนะด้านเวลาของระบบ.....	7
2.1.4 ตัวควบคุมชนิด พี ไอ ดี.....	8
2.2 เอกลักษณ์ของระบบ.....	10
2.3 วงจรแปลงผันจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง.....	13
2.3.1 วงจรแปลงผันไฟฟ้าลดแรงดัน.....	12
2.4 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด.....	19
2.5 วิธีเชิงพันธุกรรม.....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6 เทคนิคการออกแบบตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE).....	26
บทที่ 3 การออกแบบตัวควบคุมด้วยเทคนิคที่นำเสนอ.....	30
3.1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดที่ใช้ในการจำลอง.....	31
3.2 การหาเอกลักษณ์ของระบบ.....	32
3.3 การสร้างโมเดลอ้างอิง.....	37
3.4 การออกแบบตัวควบคุมที่นำเสนอ.....	38
3.5 การจำลองผลตอบสนองของตัวควบคุมที่นำเสนอ.....	41
3.6 การจำลองผลตอบสนองตัวควบคุมแบบISE, IAE, ITSE, ITAE.....	42
3.6.1 แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE).....	42
3.6.2 แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE).....	43
3.6.3 แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE).....	44
3.6.4 แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE).....	45
3.7 เปรียบเทียบการจำลองผลตอบสนองของตัวควบคุมที่นำเสนอและแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE).....	46
บทที่ 4 การทดสอบการทำงาน.....	48
4.1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดที่สร้างขึ้นพร้อมตัวควบคุม.....	48
4.2 ผลตอบสนองของตัวควบคุมที่นำเสนอ.....	49
4.3 ทดลองเปลี่ยนจุดทำงาน.....	52
4.4 ทดลองเปลี่ยนแหล่งจ่ายแรงดันพร้อมรักษาแรงดันด้านออกให้คงที่.....	52
4.5 ทดลองเปลี่ยนโหลดความต้านทานอย่างฉับพลันพร้อมรักษาแรงดันด้านออกให้คงที่.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.6 ทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุให้ต่างจากที่ออกแบบ.....	54
4.6.1 ตัวต้านทาน.....	54
4.6.2 ตัวเก็บประจุ.....	55
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ.....	57
5.1 สรุปผล.....	57
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	58
เอกสารอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก.....	61
ภาคผนวก ก.....	62
ภาคผนวก ข.....	64
ประวัติผู้เขียน.....	



# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบวงรอบเปิด.....	5
2.2 ระบบวงรอบปิด.....	6
2.3 ยุบบล็อกระบบวงรอบปิด.....	7
2.4 สมรรถนะของระบบ.....	8
2.5 วงจรตัวควบคุมแบบพี.....	9
2.6 วงจรตัวควบคุมแบบไอ.....	9
2.7 วงจรตัวควบคุมแบบดี.....	9
2.8 วงจรตัวควบคุมแบบพีไอ.....	10
2.9 ขั้นตอนของการระบุเอกลักษณ์.....	11
2.10 วงจรทอนระดับแรงดัน.....	13
2.11 วงจรทอนระดับแรงดันขณะสวิตช์นำกระแส.....	14
2.12 วงจรทอนระดับแรงดันขณะสวิตช์ไม่นำกระแส.....	15
2.13 กระแสของตัวเหนี่ยวนำที่ค่าตัวน้อยที่สุดในโหมดกระแสต่อเนื่อง.....	16
2.14 กระแสสะลอกคลื่นที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ.....	18
2.15 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด.....	19
2.16. การทำงานของวงจร (ก) วงจรขณะสวิตช์นำกระแส (ข) วงจรขณะสวิตช์ไม่นำกระแส.....	20
2.17 การควบคุมวงจรแบบป้อนกลับ.....	22
2.18 (ก) แบบที่ถอดแบบจากต้นแบบ (ข) แบบข้ามสายพันธุ (ค) แบบที่กลายพันธุ.....	24
2.19 แผนผังการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม.....	25
2.20 การหาตัวควบคุมเพื่อให้ได้ค่าตามที่ต้องการ.....	27
3.1 แผนผังการออกแบบตัวควบคุม.....	30
3.2 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดที่ใช้ในการจำลอง.....	31
3.3 อินพุต.....	32
3.4 เอาท์พุต.....	33
3.5 ขั้นตอนการหาฟังก์ชันถ่ายโอน.....	33
3.6 หน้าต่างของระบบ System Identification Toolbox.....	34
3.7 อินพุต เอาท์พุต ช่วงแรก.....	34
3.8 อินพุต เอาท์พุต ช่วงที่สอง.....	34
3.9 ผลของการหาเอกลักษณ์ของระบบ.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 การเปรียบเทียบกับเอาต์พุตที่ได้จากฟังก์ชันถ่ายโอนและเอาต์พุตที่ได้จากการทดลองจริงในช่วงที่ 2.....	36
3.11 ผลตอบสนองของโมเดลอ้างอิงที่มีอินพุตเป็นแบบขั้นบันไดขนาดหนึ่งหน่วย.....	37
3.12 กระบวนการผลตอบสนอง.....	38
3.13 ขั้นตอนการหาตัวควบคุมโดยใช้ขั้นตอนทางพันธุกรรม.....	39
3.14 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุดในแต่ละรุ่นตั้งแต่รุ่นที่ 1 ถึง 100.....	40
3.15 การจำลองผลตอบสนองของตัวควบคุมที่นำเสนอ.....	41
3.16 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE).....	42
3.17 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE).....	43
3.18 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE).....	44
3.19 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE).....	45
3.20 ผลตอบสนองของตัวควบคุม แบบที่นำเสนอ (สีแดง) แบบ ISE (สีเหลือง) แบบ IAE (สีน้ำเงิน) แบบ ITSE (สีชมพู) แบบ ITAE (สีเขียว) .....	46
4.1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด ที่สร้างขึ้นพร้อมตัวควบคุม.....	48
4.2 ผลตอบสนองของตัวควบคุมที่นำเสนอ (2ms/div) (ก) การจำลอง.....	49
4.2(ต่อ)ผลตอบสนองของตัวควบคุมที่นำเสนอ (2ms/div) (ข) การทดลอง.....	50
4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละตัวควบคุม.....	51
4.4 ผลตอบสนองจากการทดลองเปลี่ยนจุดทำงานที่ตำแหน่งแรงดัน 3.3 โวลต์, 4 โวลต์, 5 โวลต์.....	52
4.5 จุดทำงาน 3.3 โวลต์ เปลี่ยนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ ถึง 24 โวลต์.....	53
4.6 จุดทำงาน 4 โวลต์ เปลี่ยนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ ถึง 24 โวลต์.....	53
4.7 จุดทำงาน 5 โวลต์ เปลี่ยนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ ถึง 24 โวลต์.....	53
4.8 การเปลี่ยนโหลดความต้านทานแบบฉับพลันจาก 20 โอห์ม ไปเป็น 10 โอห์ม.....	54
4.9 เปลี่ยนค่าความต้านทานเป็น 2.5 โอห์ม .....	54
4.10 เปลี่ยนค่าความต้านทานเป็น 20 โอห์ม .....	55
4.11 เปลี่ยนค่าความจุเป็น 220 ไมโครฟารัด.....	55
4.12 เปลี่ยนค่าความจุเป็น 10 ไมโครฟารัด .....	56

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ทราบในแต่ละแบบ.....	12
2.2 พารามิเตอร์ของวงจรแปลงผันไฟฟ้าลดแรงดัน.....	13
3.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ.....	31
3.2 ค่าตัวควบคุมที่นำเสนอและตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัล ของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE).....	41
4.2 ค่าตัวควบคุมของระบบและผลตอบสนองด้านสมรรถนะของตัวควบคุม.....	51



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สวิตชิงโหมตเพาเวอร์ซัพพลายถูกใช้อย่างมากมายซึ่งมีความได้เปรียบเรื่องขนาด ประสิทธิภาพและน้ำหนัก ซึ่งมีอยู่กลุ่มหนึ่งที่มีความน่าสนใจคือวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็น ไฟฟ้ากระแสตรง [1], [2], [3], [4] ไม่ว่าจะเป็นงานที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือ งานอื่นๆอีกมากมายทำให้วงจรจำเป็นที่จะต้องมีความน่าเชื่อถือและมีความถูกต้อง แม่นยำ ขณะ ทำงานแม้ว่าถูกรบกวนทำให้ต้องมีการออกแบบระบบควบคุมเพื่อให้ได้ผลการทำงานตามที่ต้องการ ซึ่งในกลุ่มของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงหากต้องการลดแรงดันไฟฟ้า สามารถใช้วงจรทอนแรงดันไฟฟ้าซึ่งเป็นวงจรที่นิยมใช้กันทั่วไปโดยมีการลดแรงดันด้วยการปรับ ค่าตัวตีไซเคิลหากแรงดันเข้าวงจรมีค่าสูงแล้วต้องการลดแรงดันไฟฟ้าเมื่อใช้วงจรทอนแรงดันแบบ ทั่วไปต้องทำให้วงจรทำงานที่ตัวตีไซเคิลที่ต่ำมาก [5] ทำให้ยากต่อการควบคุมแรงดัน ซึ่งก่อนหน้านี้ มีการแก้ปัญหาโดยใช้หม้อแปลงลดแรงดัน (step-down transformer) แต่ทำให้เกิดปัญหา สวิตชิงเชิร์จ (switching surges) สร้างผลเสียกับอุปกรณ์สวิตซ์ ดังนั้นจึงแก้ปัญหาด้วยการสร้าง วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด [1] โดยสามารถทำงาน ได้ดีมากในการลดระดับแรงดันให้มีค่าต่ำมากโดยใช้ตัวตีไซเคิลที่ไม่ต่ำมากหากเปรียบเทียบกับวงจร ทอนแรงดันแบบเดิมพร้อมทั้งทำให้วงจรง่ายต่อการควบคุม ดังนั้นเพื่อทำให้วงจรทำงานได้ตามที่ ต้องการจึงจำเป็นต้องออกแบบตัวควบคุมการทำงาน เพื่อให้วงจรทำงานได้อย่างที่ต้องการโดยมี เทคนิควิธีการมากมายซึ่งมีความยากง่ายแตกต่างกันไปแล้วแต่ผู้ออกแบบ จากการศึกษาของ [6] N. S. Rathore, Dr. V. P. Singh, D. P. S. Chauhanc ใช้วิธีการแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลัง สอง (ISE) ช่วยในการนำมาควบคุมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ให้เกิดประสิทธิภาพเมื่อ เปรียบเทียบกับวิธีการแบบ Ziegler-Nichols (ZN) โดยวิธีการ [7] F. Leonard ออกแบบตัวควบคุม แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) เข้าช่วยในการควบคุมให้เกิดผลลัพธ์ดีกว่าวิธีการแบบ Ziegler-Nichols (ZN) อีกวิธีของ [8] F. C. Ferreira ได้นำวิธีการในลักษณะเดียวกันกับ [6],[7] แต่ ได้เพิ่มวิธีการแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) และวิธีการแบบอินทิกรัล ของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE) ผลลัพธ์ที่ได้เมื่อนำไปใช้กับระบบถังเก็บน้ำนั้นให้ สมรรถนะที่ดี จากวิธีการควบคุม [8] สามารถนำวิธีการหาค่าตอบที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในการ แก้ปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้นนั้นคือวิธีขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม [9],[10] ถูกสร้างจากการเลียนแบบ กระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรมพันธุ์ที่ดีและเหมาะสมที่สุดมาเป็นคำตอบตามเงื่อนไขและ ฟังก์ชันจุดประสงค์จากที่กล่าวมาแล้วนั้นก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารร่าง  
ดังนั้นการออกแบบตัวควบคุมที่ได้นั้นต้องทราบเอกลักษณ์ของระบบหรือพลานต์ (Plant) ไม่  
หาได้ด้วยการหาความสัมพันธ์ตามสมการฟิสิกส์ซึ่งให้ความถูกต้องที่จะนำไปออกแบบตัวควบคุมได้

หากระบบที่ต้องการนำไปออกแบบตัวควบคุมมีความคลาดเคลื่อนไม่ว่าเกิดจากความไม่แม่นยำของการวัดค่าอุปกรณ์ ความเสื่อมโทรมที่ใช้งานมานาน การรบกวนจากสิ่งแวดล้อม ดังนั้นหากใช้ความสัมพันธ์ของระบบตามกฎฟิสิกส์ก็อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน ดังนั้นวิธีการที่จะนำมาระบุเอกลักษณ์ของระบบที่ให้ค่าที่แม่นยำคือการสร้างสมการคณิตศาสตร์ ซึ่งใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตโดยการเก็บข้อมูลการทดลองโดยตรงทำให้ได้สมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นจริงตามระบบที่ต้องการ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมสำหรับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบใช้โมเดลอ้างอิงซึ่งให้ผลตอบสนองด้านสมรรถนะที่เหนือกว่า เมื่อเทียบกับการออกแบบตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE) ซึ่งยืนยันได้จากผลการจำลองและการทดลอง โดยวงจรนี้สามารถนำไปประยุกต์แรงดันไฟฟ้าระหว่าง 0 – 16 โวลต์ ยกตัวอย่างเช่น เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากับ 3.3 โวลต์หรือ 5 โวลต์

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. สร้างวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดที่สามารถรักษาแรงดันด้านออกให้คงที่ 4 โวลต์
2. ออกแบบตัวควบคุมสำหรับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด ที่สามารถรักษาแรงดันด้านออกให้คงที่และสามารถเปลี่ยนแรงดันไปที่ 3.3 โวลต์หรือ 5 โวลต์
3. ผลตอบสนองของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด ต้องมีค่าเปอร์เซ็นต์การฟุ้งเกินที่ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์
4. เพื่อนำไปใช้กับวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากับ 3.3 โวลต์หรือ 5 โวลต์

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

1. วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด ให้สมรรถนะที่ดีเมื่อมีการควบคุมที่เหมาะสม
2. การออกแบบตัวควบคุมนั้นจะต้องอาศัยขั้นตอนที่มีความถูกต้องตั้งแต่การวิเคราะห์ระบบ การจำลองระบบ การทดลองระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 3. การเปรียบเทียบขั้นตอนและวิธีการในแบบต่างๆภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดลองจริงกับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดแล้วเก็บผลค่าอินพุตและเอาต์พุตจริงนำไปวิเคราะห์ในระบบคอมพิวเตอร์ที่เรียกว่า การระบุเอกลักษณ์ของระบบ เพื่อให้ได้ฟังก์ชันถ่ายโอน แล้วจากนั้นอาศัยขั้นตอนเชิงพันธุกรรมในการหาตัวควบคุมเพื่อให้ระบบมีสมรรถนะที่เหมาะสม จากผลการจำลองและการทดลองเห็นว่าตัวควบคุมมีสมรรถนะที่ดี เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE)

## 1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบอื่น

ตัวควบคุมที่นำเสนอเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE) ในด้านของผลตอบสนองด้านสมรรถนะเชิงเวลาในหัวข้อ เวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (Settling time) การเกิดโอเวอร์ชูต (Overshoot) ความผิดพลาดบนสภาวะคงตัว (Steady State Error)

## 1.6 ขอบเขตการวิจัย

1. สร้างวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด ที่มีแรงดันด้านเข้า 16 โวลต์ แรงดันด้านออก 4 โวลต์และสามารถเปลี่ยนค่าแรงดันด้านออกเป็น 3.3 โวลต์และ 5 โวลต์ ได้
2. หาฟังก์ชันถ่ายโอนวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดด้วยขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์ เมื่อมีแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า 16 โวลต์และแรงดันด้านออก 4 โวลต์
3. ใช้กระบวนการทางพันธุกรรมค้นหาตัวควบคุมแบบพีโอ
4. จำลองและทดสอบการควบคุมวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดเพื่อวัดค่าสมรรถนะด้านเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกิน ไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

## 1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด
2. ศึกษาการหาเอกลักษณ์ของระบบ
3. ศึกษาการทำงานและวิธีการของขั้นตอนเชิงพันธุกรรม
4. ศึกษาตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE)
5. ออกแบบระบบควบคุมวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดที่สามารถรักษาแรงดันด้านออกให้คงที่ 4 โวลต์
6. จำลองและทดสอบการทำงานของระบบ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท คือ

บทที่ 1 ความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด การหาเอกลักษณ์ของระบบ วิธีการของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมและกรณีสมรรถนะ

บทที่ 3 การออกแบบตัวควบคุมสำหรับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม โดยใช้วิธีการขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์ของระบบเพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นอันดับแรก ต่อจากนั้นสร้างโมเดลอ้างอิงของเอาต์พุตในแบบที่ต้องการแล้วใช้ขั้นตอนทางเชิงพันธุกรรมหาตัวควบคุม โดยมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่าเท่ากับส่วนกลับของอินทิกรัลผลต่างระหว่างโมเดลอ้างอิงกับผลตอบสนองของระบบยกกำลังสอง

บทที่ 4 จำลองและทดสอบการทำงานของระบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม พร้อมทั้งเปรียบเทียบกับออกแบบตัวควบคุม แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE)

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย

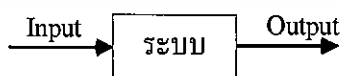
บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยประกอบไปด้วย ทฤษฎีระบบควบคุม วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด เวกเตอร์ของระบบขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม และเทคนิคการออกแบบตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE)

### 2.1 ทฤษฎีระบบควบคุม [11]

#### 2.1.1 ระบบเปิดและระบบปิด

ระบบเปิด (open loop) หรือเรียกอีกอย่างได้ว่าการป้อนตรง (feed forward) การทำงานของระบบนี้เมื่อป้อนสัญญาณไปในระบบพบว่าสัญญาณเอาต์พุตที่ได้นั้นอาจยังไม่เพียงพอหรือเกินไปจากความต้องการหรือเกิดค่าความผิดพลาดได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เห็นได้ว่าระบบไม่มีการตรวจสอบเอาต์พุต ซึ่งในทางกลับกันในรูปที่ 2.2 แสดงระบบปิด (close loop) เมื่อป้อนสัญญาณเข้าไปในระบบจะมีค่าเอาต์พุตออกมาจากนั้นแต่ค่าเอาต์พุตจะถูกป้อนกลับไปเปรียบเทียบกับค่าที่ต้องการเมื่อระบบทำการเปรียบเทียบแล้วทำให้เกิดค่าความผิดพลาด (error) แล้วระบบจะส่งค่าความผิดพลาดไปยังตัวควบคุมเพื่อให้ตัวควบคุมดำเนินการต่อไป ตัวควบคุมก็จะดำเนินการสร้างสัญญาณออกมาควบคุมระบบหรือวงจรมันเอง ดังนั้นระบบปิดถือว่าเป็นระบบที่สามารถทำให้การทำงานได้ผลตอบสนองตามความต้องการ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างระบบปิดกับระบบเปิดพบว่าระบบปิดมีความเหนือกว่าระบบเปิดในด้านการควบคุมผลตอบสนองได้ตามที่ต้องการเพราะมีการตรวจสอบผลตอบสนองอยู่อย่างต่อเนื่องแต่ข้อได้เปรียบของระบบเปิดคือการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ลดต้นทุนของอุปกรณ์ เช่น ตัวตรวจจับค่าป้อนกลับ อุปกรณ์เปรียบเทียบสัญญาณและไม่ต้องมีตัวควบคุม



รูปที่ 2.1 ระบบวงรอบเปิด

### 2.1.2 ความสัมพันธ์ของระบบ

ในขั้นตอนการพิจารณาระบบเปิดและระบบปิดที่ผ่านมามีสิ่งสำคัญที่พบคือระบบที่อยู่ในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอน โดยทั่วไปการทำงานของระบบบ่อยครั้งมักทำงานร่วมกันหลายระบบร่วมกัน แต่ในการพิจารณาระบบเพื่อเป็นการไม่ซับซ้อนจึงมีการแทนระบบย่อยด้วยความสัมพันธ์ของระบบด้วยค่าอัตราส่วนระหว่างอินพุตและเอาต์พุตเป็นสัดส่วนกัน แต่การดำเนินการจะต้องแปลงความสัมพันธ์จากโดเมนเวลาเป็นเอสโดเมนก่อนแล้วจึงนำมาหาค่าอัตราส่วนอินพุตกับเอาต์พุตโดยวิธีการนี้เรียกว่า การสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนเมื่อได้ฟังก์ชันถ่ายโอนมาแล้วทำให้ง่ายต่อการนำไปนำเสนอ ออกแบบ วิเคราะห์ จึงนำค่าฟังก์ชันถ่ายโอนไปเขียนในบล็อกและเมื่อนำบล็อกมาต่อกันเป็นระบบใหญ่ ทำให้ได้บล็อกไดอะแกรมที่ใช้อธิบายภาพรวมของระบบ จากระบบวงรอบปิดที่ได้นำเสนอไปแล้วสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 2.3 จากนั้นหากต้องการทำให้บล็อกลดจำนวนลงทำได้โดยการยุบบล็อกเพื่อลดจำนวนบล็อกและความซับซ้อนลงโดยแสดงได้ตามรูปที่ 2.3 โดยวิธีการคำนวณความสัมพันธ์ของระบบวงรอบปิดทำได้ตามความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$X(s) = C(s)H(s)$$

$$E(s) = R(s) - X(s)$$

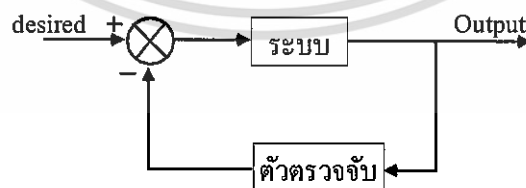
$$E(s) = R(s) - C(s)H(s)$$

$$C(s) = E(s)G_1(s)$$

$$C(s) = [R(s) - C(s)H(s)]G_1(s)$$

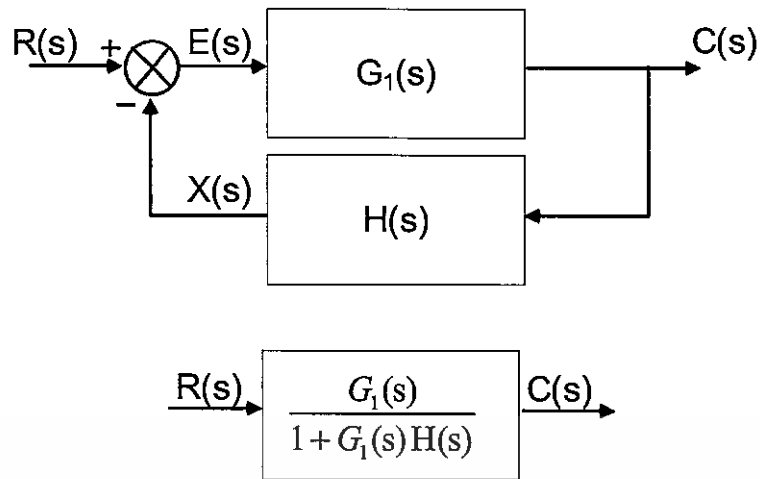
$$C(s) + C(s)H(s)G_1(s) = R(s)G_1(s)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_1(s)}{1 + G_1(s)H(s)}$$



รูปที่ 2.2 ระบบวงรอบปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ยุบบล็อกระบบวงรอบปิด

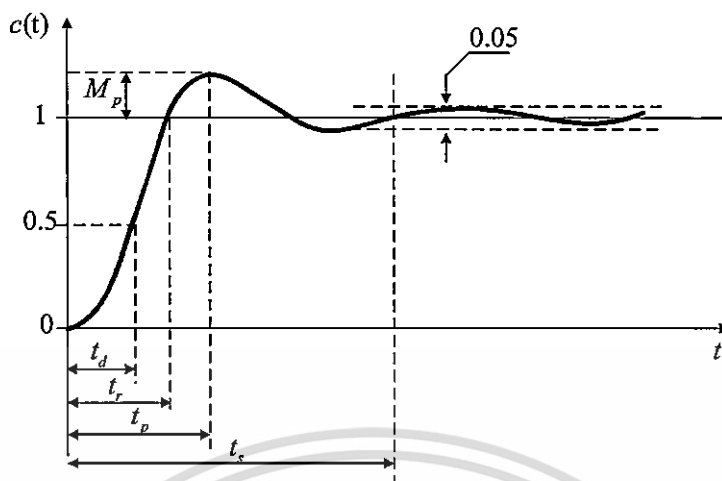
ตามที่ได้พิจารณามาแล้วข้างต้นระบบวงรอบปิดมีความได้เปรียบระบบวงรอบเปิดคือระบบคอยปรับตัวให้มีค่าผลตอบสนองของระบบเท่ากับความต้องการ แต่หากพิจารณาผลตอบสนองของระบบแล้วก็พบว่าผลตอบสนองของระบบไม่ได้ตอบสนองตามความต้องการอย่างทันทีแต่จะใช้เวลาช่วงหนึ่งเพื่อเข้าสู่ค่าที่เราต้องการ ดังนั้นการกำหนดคุณสมบัติของการตอบสนองชั่วคราวทางเวลาจึงถูกใช้ในการอธิบายสมรรถนะของระบบให้ทราบถึงรูปแบบของผลตอบสนอง

### 2.1.3 สมรรถนะด้านเวลาของระบบ

รูปที่ 2.4 แสดงสมรรถนะทางด้านเวลาของระบบโดยประกอบไปด้วย ช่วงเวลาประวิง ( $t_d$ ) ช่วงเวลาขึ้น ( $t_r$ ) ช่วงเวลาของค่ายอด ( $t_p$ ) ช่วงเวลาเข้าที่ ( $t_s$ ) โอเวอร์ชูตสูงสุด ( $M_p$ ) เพื่อเป็นการกำหนดหรือบ่งบอกสมรรถนะด้านเวลาของผลตอบสนองระบบ โดยมีสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันไดขนาดหนึ่งหน่วยทำให้สามารถกำหนดคุณสมบัติเฉพาะของการตอบสนองชั่วคราวได้ดังต่อไปนี้

ช่วงเวลาประวิง ( $t_d$ )	คือช่วงเวลาที่มีผลตอบสนองมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของค่าสุดท้าย
ช่วงเวลาขึ้น ( $t_r$ )	คือช่วงเวลาที่มีผลตอบสนองมีค่าเท่ากับค่าสุดท้าย
ช่วงเวลาของค่ายอด ( $t_p$ )	คือช่วงเวลาที่น้อยที่สุดที่ทำให้ผลตอบสนองมีค่าเท่ากับค่าสูงสุด
ช่วงเวลาเข้าที่ ( $t_s$ )	คือช่วงเวลาที่น้อยที่สุดที่ทำให้ผลตอบสนองมีค่าเท่ากับค่าอยู่ในขอบเขตที่ต้องการ โดยเมื่อเวลาผ่านไปค่าก็ต้องไม่เกินค่าขอบเขตที่ต้องการ
โอเวอร์ชูตสูงสุด ( $M_p$ )	คือค่าความแตกต่างระหว่าง ค่าตอบสนองสูงสุดกับของค่าตอบสนองค่าสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 สมรรถนะของระบบ

สมรรถนะทางด้านเวลา คือ การบ่งบอกถึงผลตอบสนองทางเวลาของระบบโดยปกติแล้วจะมีลักษณะที่เปลี่ยนไปตามระบบที่พิจารณา แต่ถ้าหากระบบที่พิจารณาคือระบบวงรอบปิดแล้วมีการเพิ่มตัวควบคุมเข้าไปในระบบก็จะส่งผลกับสมรรถนะทางด้านเวลา โดยส่งผลมากหรือน้อยเพียงใดก็ขึ้นอยู่กับว่าใช้ตัวควบคุมแบบใดใช้กับระบบใดซึ่งตัวควบคุมที่นิยมนำมาใช้งานก็คือตัวควบคุมชนิดพี พีโอดี พีไอดี ก็มีความสามารถเพียงพอต่อการควบคุมระบบ

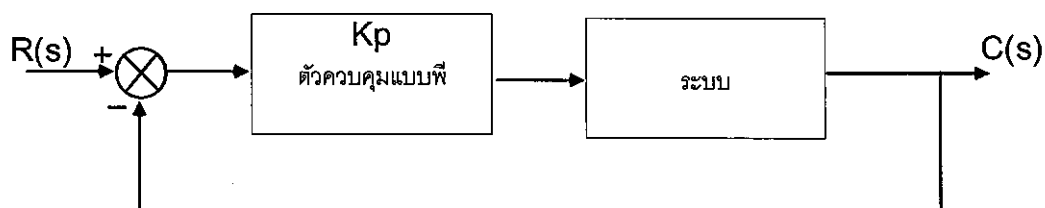
#### 2.1.4 ตัวควบคุมชนิด พี ไอ ดี

โดยทั่วไปแล้วระบบที่ต้องการให้ได้ผลตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการอย่างแม่นยำนั้น จำเป็นที่จะทำงานในรูปแบบของระบบป้อนกลับเพื่อคอยตรวจสอบค่าผลตอบสนอง หากเมื่อมีค่าผลตอบสนองที่ไม่เป็นไปตามที่ต้องการทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อน จึงมีความต้องการตัวควบคุมที่คอยควบคุมผลตอบสนองให้มีค่าเป็นไปตามต้องการโดยสร้างสัญญาณเข้าไปควบคุมหรือชดเชยระบบนั่นเอง โดยตัวควบคุมที่นิยมนำมาใช้ในการควบคุมนั้นมักนำตัวควบคุมแบบสัดส่วนหรือตัวควบคุมแบบพี ตัวควบคุมแบบปริพันธ์หรือตัวควบคุมแบบไอ ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์หรือตัวควบคุมแบบดี มาประกอบกันเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามที่ต้องการโดยตัวควบคุมแต่ละชนิดมีโครงสร้างจุดเด่นจุดด้อยดังต่อไปนี้

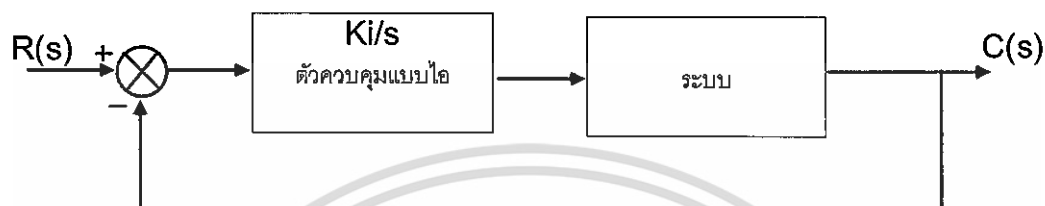
##### 1. ตัวควบคุมแบบสัดส่วนหรือตัวควบคุมแบบพี

แสดงได้ตามรูปที่ 2.5 เมื่อมีสัญญาณค่าความผิดพลาดเข้ามาในระบบสัญญาณนั้นจะถูกทำให้เกิดการขยายของสัญญาณตามค่าตัวควบคุมจึงได้ค่าเอาต์พุตออกมาเพื่อไปเป็นอินพุตให้กับระบบที่ต้องการควบคุมการนำไปใช้งานมักใช้ในงานที่ต้องการผลตอบสนองที่รวดเร็วโดยการปรับค่าอัตราขยายของตัวควบคุมให้มากขึ้นแต่ขอควรระวังคือมักทำให้เกิดการพุ่งเกินของผลตอบสนองของระบบหากปรับค่าอัตราขยายไม่เหมาะสม

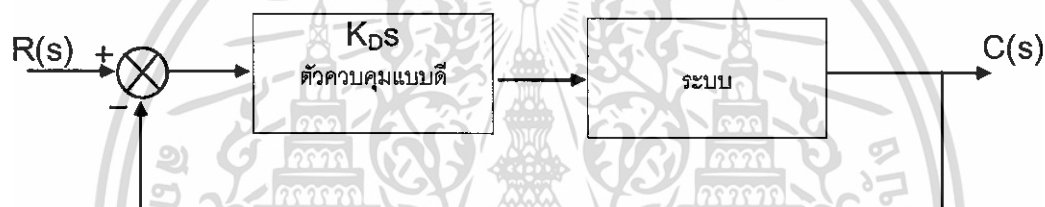
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 วงจรตัวควบคุมแบบพี



รูปที่ 2.6 วงจรตัวควบคุมแบบไอ



รูปที่ 2.7 วงจรตัวควบคุมแบบดี

## 2. ตัวควบคุมแบบปริพันธ์หรือตัวควบคุมแบบไอ

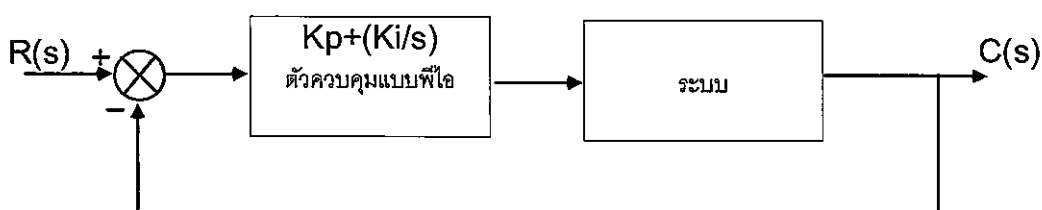
แสดงได้ตามรูปที่ 2.6 เมื่อมีสัญญาณของค่าความผิดพลาดเข้ามาในระบบควบคุมแล้ว สัญญาณจะถูกทำการอินทิเกรตแล้วนำสัญญาณที่ได้นั้นคูณด้วยอัตราขยายของตัวควบคุมได้ค่าสัญญาณเอาต์พุตออกมาเพื่อไปเป็นอินพุตให้กับระบบที่ต้องการควบคุมการนำไปใช้คือเมื่อนำไปใช้กับระบบชนิดศูนย์ ข้อดีทำให้เกิดค่าความผิดพลาดที่สถานะสถิตมีค่าเป็นศูนย์

## 3. ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์หรือตัวควบคุมแบบดี

แสดงได้ตามรูปที่ 2.7 เมื่อมีสัญญาณค่าความผิดพลาดเข้ามาในระบบควบคุมสัญญาณนั้น จะถูกดิฟเฟอเรนเชียลจากนั้นสัญญาณถูกคูณด้วยอัตราขยายของตัวควบคุมจึงทำให้ได้ค่าของเอาต์พุตเพื่อไปเป็นอินพุตให้กับระบบที่ต้องการควบคุม ข้อดีของการนำไปใช้คือลดผลของค่าการพุ่งเกินแต่ไม่สามารถทำให้ค่าความผิดพลาดที่สถานะสถิตมีค่าเป็นศูนย์ได้

การนำตัวควบคุมไปใช้งานนั้นต้องพิจารณาว่าระบบที่ต้องการไปควบคุมนั้นมีความต้องการให้ผลตอบสนองเป็นลักษณะอย่างไร ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการเลือกใช้ตัวควบคุมที่ได้มาจากการนำเอาตัวควบคุมแบบสัดส่วนหรือตัวควบคุมแบบพีร่วมกับตัวควบคุมแบบปริพันธ์หรือตัวควบคุมแบบโอมาเป็นตัวควบคุมที่ใช้ในการออกแบบซึ่งทำให้ระบบที่ต้องการออกแบบมี ข้อเด่นคือให้ผลตอบสนองที่รวดเร็วและให้ค่าความผิดพลาดที่สถานะสถิตมีค่าเป็นศูนย์ซึ่งตัวควบคุมแบบนี้มีชื่อ

เอกสาร  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 วงจรตัวควบคุมแบบพีไอ (ใช้ในการออกแบบ)

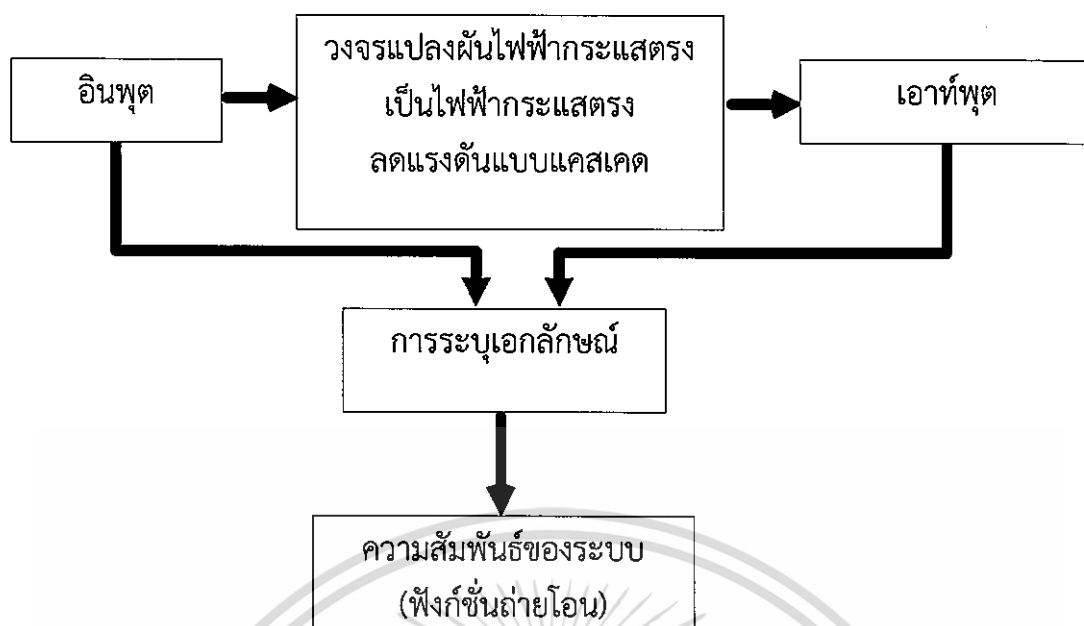
เรียกว่าตัวควบคุมแบบพีไอ โดยมีโครงสร้างตัวควบคุมดังรูปที่ 2.8 สาเหตุในการเลือกตัวควบคุมแบบนี้เพราะเพียงพอต่อการควบคุมระบบและยังง่ายต่อการนำไปสร้างเพื่อควบคุมระบบจริง

จากรูปที่ 2.8 ระบบถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพีไอเพื่อให้ผลตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการโดยตัวควบคุมจะได้รับการออกแบบจากฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบที่ได้ศึกษามาแล้ว ซึ่งในการออกแบบเพื่อให้ได้ตัวควบคุมที่ตรงตามความต้องการนั้นจึงต้องการเพียงตัวควบคุมที่ได้อย่างเดียวไม่ได้แต่การออกแบบนั้นต้องการฟังก์ชันถ่ายโอนที่ถูกต้องตามระบบด้วยไม่เช่นนั้นการออกแบบจะทำให้ได้ตัวควบคุมที่คลาดเคลื่อนไปด้วยดังนั้นการออกแบบจึงต้องการทราบเอกลักษณ์ของระบบหรือค่าฟังก์ชันถ่ายโอนที่ถูกต้องแม่นยำ

## 2.2 เอกลักษณ์ของระบบ

การออกแบบระบบควบคุมแบบเชิงเส้นมีหลากหลายเทคนิค [14] ที่ใช้ในการออกแบบ ส่วนหนึ่งที่สำคัญที่ทำให้การออกแบบมีความแม่นยำและถูกต้องคือผู้ออกแบบต้องเข้าใจและทราบเอกลักษณ์ของระบบที่ทำการออกแบบ โดยทั่วไปแล้วการระบุเอกลักษณ์ของระบบทำได้โดยการหาความสัมพันธ์ตามสมการฟิลิสิกส์ซึ่งให้ความถูกต้องเพียงพอที่จะนำไปออกแบบระบบควบคุมได้แต่หากระบบที่ต้องการควบคุมมีการถูกรบกวน ไม่ว่าจะรบกวนด้านความไม่แม่นยำจากการวัดค่า อุปกรณ์ ความเสื่อมโทรมของระบบที่ใช้งานมานาน สัญญาณรบกวนที่ไม่พึงประสงค์ เป็นต้น ดังนั้นหากใช้ความสัมพันธ์ของระบบตามกฎฟิลิสิกส์ก็อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนจากความไม่แน่นอนต่างๆตามที่ได้ ดังนั้นวิธีการที่จะนำมาช่วยให้การระบุเอกลักษณ์ของระบบมีค่าที่แม่นยำนั้นคือการสร้างสมการคณิตศาสตร์ซึ่งใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุตจากการเก็บข้อมูลการทดลองโดยตรงทำให้ได้สมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นจริงตามการทดลอง

รูปที่ 2.9 แสดงขั้นตอนของการระบุเอกลักษณ์โดยป้อนอินพุตให้กับระบบและทำการวัดผลตอบสนองของระบบหรือเอาต์พุตนั้นเองแล้วนำทั้งสัญญาณอินพุต เอาต์พุต ที่ได้นำไปผ่านขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์แล้วสุดท้ายได้ความสัมพันธ์ของระบบที่เราต้องการ



รูปที่ 2.9 ขั้นตอนของการระบุเอกลักษณ์

แนวคิดในการระบุเอกลักษณ์ของระบบตามรูปที่ 2.9 เห็นได้ว่าการดำเนินการกระทำกับระบบที่เป็นแบบระบบเปิดเพราะต้องการเพียงการเก็บค่าอินพุตและเอาต์พุต โดยใส่สัญญาณอินพุตเข้าไปในระบบที่ต้องการแล้วทำให้ได้ผลตอบสนองของระบบออกมาเป็นเอาต์พุต จากนั้นนำสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตไปเข้ากระบวนการระบุเอกลักษณ์ทำให้ได้ผลออกมาเป็นฟังก์ชันถ่ายโอน ระบบที่นำมาคำนวณหาเอกลักษณ์ของระบบมีความแตกต่างกันไปสามารถจำแนกได้ 3 แบบ คือ

**กล่องดำ (Black box)** คือ การหาเอกลักษณ์ของระบบที่ไม่ทราบโครงสร้างของระบบทั้งหมด การหาเอกลักษณ์ของระบบเช่นนี้อาศัยการลองผิดลองถูกหรือการคาดคะเนจากความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุตของระบบเพื่อนำไปหาค่าเอกลักษณ์ของระบบที่ให้ค่าสอดคล้องกับอินพุตกับเอาต์พุตของระบบการดำเนินการจะใช้เวลานาน

**กล่องขาว (White Box)** คือ การหาเอกลักษณ์ของระบบที่ทราบโครงสร้างของระบบทั้งหมด เป็นการหาเอกลักษณ์ของระบบทำให้การหาเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและได้คำตอบที่มีความคลื่อนน้อย

**กล่องเทา (Grey Box)** คือ การหาเอกลักษณ์ของระบบที่อยู่ระหว่างการหาเอกลักษณ์แบบกล่องดำกับการหาเอกลักษณ์แบบกล่องขาว ลักษณะคือทราบโครงสร้างของระบบบางส่วนแต่ไม่ทราบทั้งหมด การหาเอกลักษณ์ของระบบแบบนี้อาศัยความชำนาญและประสบการณ์ของผู้ดำเนินการซึ่งทำให้ได้เอกลักษณ์ของระบบที่รวดเร็ว ใกล้เคียง ถูกต้อง

จากสามส่วนข้างต้นวิธีระบุเอกลักษณ์ของระบบโดยทั่วไประบบมักอยู่ระหว่างของกล่องดำและกล่องขาวนั่นก็คือกล่องเทาเพราะในระบบที่ทำงานจริงหากระบุค่าตัวแปรไม่ได้หมดก็จะต้องหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะมีตัวแปรที่ไม่ทราบค่าเข้ามาในระบบ ดังนั้นเพื่อความถูกต้องแม่นยำในการนำระบบไปใช้งานต่อไม่ว่าจะนำไปออกแบบระบบควบคุมหรือนำไปทดสอบด้านต่างๆนั้นจึงควรใช้การ

หาเอกลักษณ์ของระบบซึ่งให้ได้ผลเป็นไปตามที่น่าพอใจเพื่องานในส่วนต่อไปจะไม่เกิดความผิดพลาดและสามารถสรุปในตารางที่ 2.1 ตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ทราบในแต่ละแบบ

ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ทราบในแต่ละแบบ

แบบ	การทราบค่าพารามิเตอร์
กล่องดำ(Black box)	ไม่ทราบ
กล่องขาว (White Box)	ทราบ
กล่องเทา (Grey Box)	ทราบบางส่วนแต่ไม่ทราบทั้งหมด

## 2.3 วงจรแปลงผันไฟจากไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง[13], [14]

### 2.3.1 วงจรแปลงผันไฟฟ้าลดแรงดัน

สวิตซ์โหมดเพาเวอร์ซัพพลายถูกใช้อย่างมากมายซึ่งมีความได้เปรียบเรื่องขนาดประสิทธิภาพและน้ำหนัก ซึ่งมีอยู่กลุ่มหนึ่งที่มีความน่าสนใจคือวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง [1], [2], [3], [4]ไม่ว่าเป็นงานที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรืองานอื่นๆอีกมากมายทำให้วงจรจำเป็นที่จะต้องมีความน่าเชื่อถือและมีความถูกต้องแม่นยำขณะทำงาน แม้ว่าถูกรบกวนทำให้วงจรไฟฟ้าจำเป็นต้องการออกแบบระบบควบคุม เพื่อคอยควบคุมค่าเอาต์พุตให้ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งในกลุ่มของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง หากต้องการลดแรงดันไฟฟ้าสามารถใช้วงจรทอนแรงดันหรือวงจรแปลงผันไฟฟ้าลดแรงดันแบบดังรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็นวงจรที่นิยมใช้กันทั่วไปเพราะมีโครงสร้างวงจรที่ง่ายโดยมีการปรับแรงดันด้วยการปรับค่าดิวด์ไซเคิลพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

ค่าดิวด์ไซเคิล คือ อัตราส่วนของเวลานำกระแสของสวิตซ์ต่อหนึ่งคาบเวลาในการทำงานของสวิตซ์ตามความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \quad (2.1)$$

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (2.2)$$

$$t_{on} = DT \quad (2.3)$$

$$t_{off} = (1-D)T \quad (2.4)$$

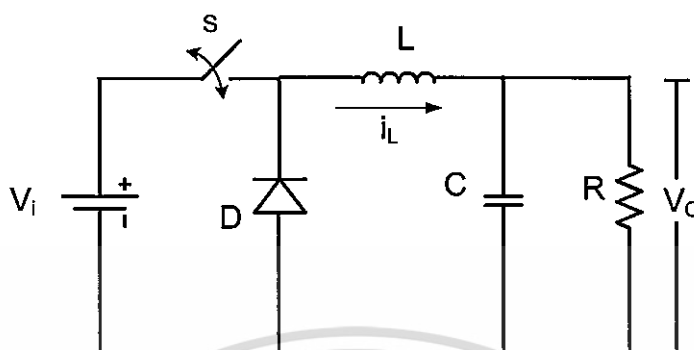
เมื่อ

$t_{on}$  คือ เวล่านำกระแสของสวิตซ์

$t_{off}$  คือ เวลาไม่นำกระแสของสวิตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ซึ่งหนึ่งคาบเวลาในการทำงานของสวิตซ์นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.1) และ(2.2) เห็นได้ว่าค่าตัวชี้เซลล์มีค่าระหว่างศูนย์ถึงหนึ่งและสามารถเขียนค่าช่วงเวลาในการนำกระแสของสวิตช์เวลาไม่นำกระแสของสวิตช์ให้อยู่ในตัวแปรของตัวชี้เซลล์และคาบเวลาได้ในสมการที่ (2.3) และ (2.4) ตามลำดับ



รูปที่ 2.10 วงจรทอนระดับแรงดัน

จากรูปที่ 2.10 วงจรทอนระดับแรงดันไฟฟ้าซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ไม่มากจากค่าตามตารางที่ 2.2 ก็สามารถทำการลดแรงดันของแรงดันค่านอกของวงจรได้โดยใช้การควบคุมผ่านค่าตัวชี้เซลล์

ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ของวงจรแปลงผันไฟฟ้าลดแรงดัน

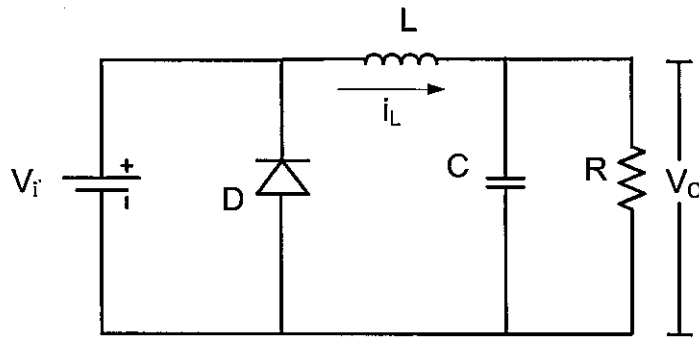
สัญลักษณ์	พารามิเตอร์
$V_i$	แรงดันไฟฟ้าด้านเข้า
$L$	ตัวเหนี่ยวนำ
$D$	ไดโอด
$R$	ความต้านทาน
$C$	ตัวเก็บประจุ
$S$	สวิตช์
$V_o$	แรงดันไฟฟ้าด้านออก

ส่วนการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้าลดระดับแรงดันมีการแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วนคือการทำงานเมื่อสวิตช์นำกระแสและการทำงานเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

#### การทำงานเมื่อสวิตช์นำกระแส

การทำงานนี้เป็นไปตามรูปที่ 2.11 เมื่อสวิตช์นำกระแส แหล่งจ่ายหรือแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าทำการจ่ายกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำผ่านต่อไปสู่ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานแต่ในขณะเดียวกันไดโอดจะไม่มีกระแสตลอดช่วงเวลาที่มีสวิตช์นำกระแส โดยแสดงความสัมพันธ์และสมการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ด้งต่อไปนี้  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 วงจรทอนระดับแรงดันขณะสวิตช์นำกระแส

$$V_i = V_L + V_o$$

$$V_i = L \frac{di_{L_{on}}}{dt_{on}} + V_o \quad (2.5)$$

พิจารณา  $di_{L_{on}}$  คือ การเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำตอนช่วงเวลาสวิตช์ทำงาน

$$di_{L_{on}} = i_2 - i_1 \quad (2.6)$$

นำมาแทนค่าในสมการที่ (2.1)

$$V_i = L \frac{(i_2 - i_1)}{dt_{on}} + V_o \quad (2.7)$$

พิจารณาที่ตำแหน่ง  $dt_{on}$  โดย

$$D = \frac{t_{on}}{T}$$

$$DT = t_{on}$$

นำมาแทนค่าในสมการที่ (2.7)

$$V_i = L \frac{(i_2 - i_1)}{DT} + V_o$$

$$V_i - V_o = L \frac{(i_2 - i_1)}{DT}$$

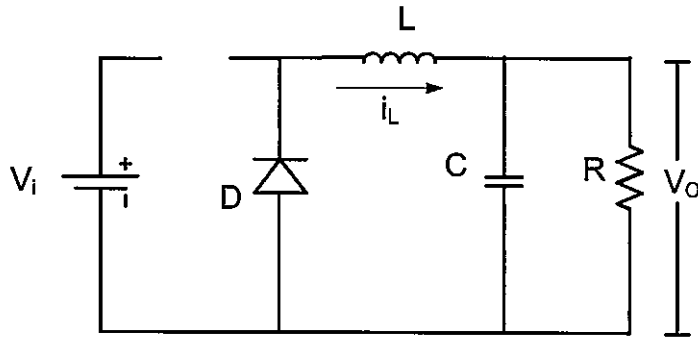
$$\frac{V_i - V_o}{L} = \frac{(i_2 - i_1)}{DT}$$

$$\frac{(V_i - V_o)(DT)}{L} = (i_2 - i_1)$$

$$\therefore (i_2 - i_1) = \frac{(V_i - V_o)(DT)}{L} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.12 วงจรทอนระดับแรงดันขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

การทำงานนี้เป็นไปตามรูปที่ 2.12 เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแสแหล่งจ่ายหรือแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าไม่สามารถทำการจ่ายกระแสได้ แต่ไดโอดจะนำกระแสทำให้เกิดการไหลของกระแสผ่านตัวเหนี่ยวนำผ่านต่อไปสู่ตัวเก็บประจุและตัวต้านทานตลอดช่วงเวลาที่สวิตช์ไม่นำกระแส โดยแสดงความสัมพันธ์และสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} V_i &= V_L + V_o \\ 0 &= V_L + V_o \\ -V_L &= V_o \\ -L \frac{di_{L_{off}}}{dt_{off}} &= V_o \end{aligned} \quad (2.9)$$

พิจารณา  $di_{L_{off}}$  คือการเปลี่ยนแปลงกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเมื่อสวิตช์ไม่ทำงาน

$$di_{L_{off}} = i_1 - i_2 \quad (2.10)$$

แทนค่าสมการที่ (2.10) ในสมการที่ (2.9)

$$-L \frac{(i_1 - i_2)}{dt_{off}} = V_o \quad (2.11)$$

เมื่อพิจารณาที่  $dt_{off}$  โดยกำหนดให้

$$T = t_{on} + t_{off}$$

$$DT' = t_{on}$$

นำไปแทนค่า  $DT = t_{on}$  ในสมการ  $T = t_{on} + t_{off}$

$$T = DT + t_{off}$$

$$t_{off} = T - DT'$$

$$t_{off} = T(1 - D)$$

นำ  $t_{off} = T(1 - D)$  ไปแทนค่าในสมการที่ (2.11)

$$-L \frac{(i_1 - i_2)}{T(1 - D)} = V_o$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ  $-L(i_1 - i_2) = V_o [T(1 - D)]$  นั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 -(i_1 - i_2) &= \frac{V_o[T(1-D)]}{L} \\
 -i_1 + i_2 &= \frac{V_o[T(1-D)]}{L} \\
 i_2 - i_1 &= \frac{V_o[T(1-D)]}{L}
 \end{aligned} \tag{2.12}$$

จากสมการที่ (2.8) ขณะสวิตช์นำกระแส

$$i_2 - i_1 = \frac{(V_i - V_o)}{L} (DT)$$

จากสมการที่ (2.12) ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

$$i_2 - i_1 = \frac{V_o[T(1-D)]}{L}$$

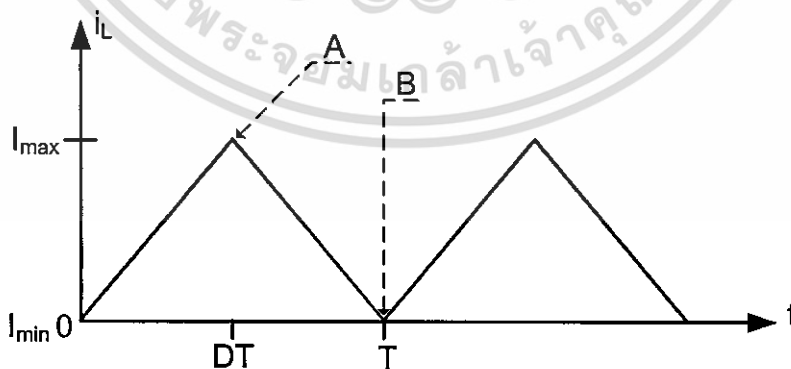
เห็นได้ว่าทั้งสองสมการจะมีค่า  $i_2 - i_1$  ที่เท่ากัน จึงเขียนในรูปสมการใหม่จะได้

$$\begin{aligned}
 i_2 - i_1 &= \frac{(V_i - V_o)}{L} (DT) = \frac{V_o[T(1-D)]}{L} \\
 \frac{(V_i - V_o)DT}{L} &= \frac{V_o T(1-D)}{L}
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

ค่า  $L$  และ  $T$  สามารถนำมาตัดกันได้

$$\begin{aligned}
 V_i D - V_o D &= V_o - V_o D \\
 V_o &= V_i D
 \end{aligned} \tag{2.14}$$

การทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้าลดแรงดันเมื่อต้องการให้ทำงานในโหมดของกระแสต่อเนื่องหรือการที่ให้กระแสไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่องสามารถคำนวณหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่ค่าต่ำที่สุดได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.13 กระแสของตัวเหนี่ยวนำที่ค่าตัวน้อยที่สุดในโหมดกระแสต่อเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มจากพิจารณากระแสที่ไหลผ่านค่าความต้านทานในสภาวะอยู่ตัวได้สมการคือ

$$I_R = \frac{V_o}{R} \quad (2.15)$$

จากนั้นที่สภาวะดังกล่าวนี้กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากับที่ไหลผ่านตัวต้านทานโดยให้กระแสที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ได้

$$I_L = I_o = I_R \quad (2.16)$$

จากรูปที่ 2.13 แสดงกระแสของตัวเหนี่ยวนำที่ค่าตัวน้อยที่สุดในโหมดกระแสต่อเนื่องนั้นหาความสัมพันธ์ที่จุดสูงสุดของกระแสที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำนั้นก็คือจุด A สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

$$I_{L_{max}} = I_L + \frac{\Delta I_L}{2} \quad (2.17)$$

$$I_{L_{max}} = \frac{V_o}{R} + \frac{1}{2} \left( \frac{V_o}{L} (1-D)T \right) \quad (2.18)$$

จากรูปที่ 2.13 หาความสัมพันธ์ที่จุดต่ำสุดของกระแสที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำนั้นก็คือจุด B สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้

$$I_{L_{min}} = I_L - \frac{\Delta I_L}{2} \quad (2.19)$$

$$I_{L_{min}} = \frac{V_o}{R} - \frac{1}{2} \left( \frac{V_o}{L} (1-D)T \right) \quad (2.20)$$

การคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดที่ยังทำให้วงจรทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่องทำได้โดยนำสมการที่ (2.20) ให้มีค่าเท่ากับศูนย์หากพิจารณาในรูปคือจุด B

$$I_{L_{min}} = \frac{V_o}{R} - \frac{1}{2} \left( \frac{V_o}{L} (1-D)T \right) = 0 \quad (2.21)$$

$$\frac{V_o}{R} = \frac{1}{2} \left( \frac{V_o}{L_{min}} (1-D)T \right)$$

$$\frac{2I_{L_{min}}}{TR} = 1-D \quad (2.22)$$

เมื่อ  $T = \frac{1}{f}$  แทนลงในสมการที่ (2.22) ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{2I_{L_{min}}f}{R} = 1-D$$

$$2I_{L_{min}}f = (1-D)R$$

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} \quad (2.23)$$

การทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้าลดแรงดันนั้นต้องการให้ทำงานโดยมีแรงดันต้านออกเป็นเอาต์พุตซึ่งจะมีความเรียบของแรงดันเอาต์พุตส่วนหนึ่งนั้นมาจากรวมความสัมพันธ์ค่าตัวเก็บประจุโดยมีความสอดคล้องและความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

จากสมการความสัมพันธ์ของตัวเก็บประจุ

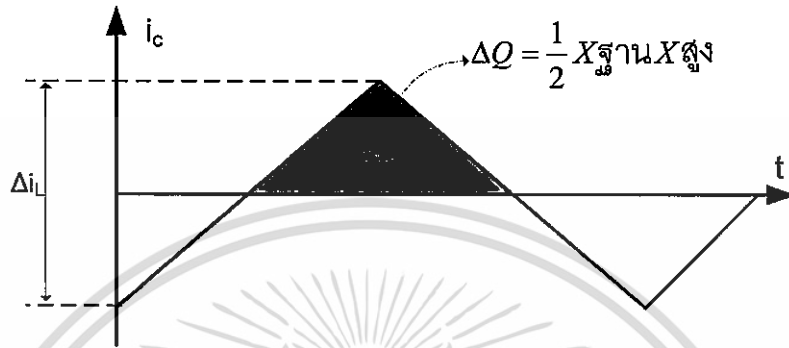
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาใดๆ อย่างอ้อมถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C = \frac{Q}{V_o} \quad (2.24)$$

เมื่อพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงค่าจะได้

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta V_o} \quad (2.25)$$



รูปที่ 2.14 กระแสระลอกคลื่นที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ

จากรูปที่ 2.14 แสดงค่าของกระแสของตัวเก็บประจุโดยที่  $\Delta Q$  เป็นการหาค่าพื้นที่ในรูปตามรูปที่ 2.14 ที่เกิดจากกระแสการเปลี่ยนแปลงของตัวเก็บประจุ ( $I_c$ ) โดยมีค่าเทียบเท่าการเปลี่ยนแปลงกระแสของ ( $I_L$ ) โดยกำหนดให้กระแสที่ผ่านความต้านทานจึงไม่มีการแกว่งจะได้

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left( \frac{T}{2} \right) \left( \frac{\Delta i_L}{2} \right) = \frac{T \Delta i_L}{8} \quad (2.26)$$

แทนค่าจากสมการที่ (2.26) ลงในสมการที่ (2.25) ได้

$$\Delta V_o = \frac{T \Delta i_L}{8C} \quad (2.27)$$

แทนค่า  $\Delta i_L$  จากสมการ (2.12) ลงในสมการ (2.21) ทำให้ได้

$$\begin{aligned} \Delta V_o &= \frac{T}{8C} \frac{V_o}{L} (1-D) T \\ \frac{\Delta V_o}{V_o} &= \frac{T}{8C L} (1-D) T \\ \frac{\Delta V_o}{V_o} &= \frac{T^2}{8C L} (1-D) \end{aligned} \quad (2.28)$$

เมื่อ  $T = \frac{1}{f}$  ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

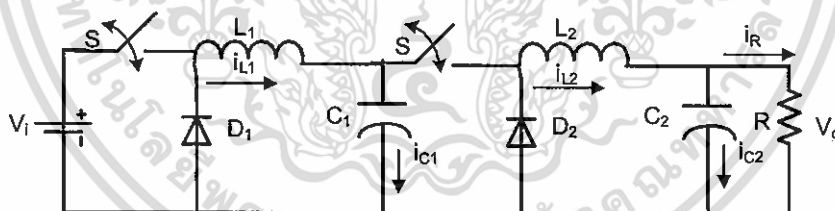
$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{1-D}{8LCf^2} \quad (2.29)$$

จากสมการที่ (2.29) ค่าระลอกคลื่นของแรงดันทางด้านเอาต์พุตเป็นฟังก์ชันสัมพันธ์กับค่าตัวดีไซเคิล ค่าตัวเหนี่ยวนำ ค่าตัวเก็บประจุ และค่าความถี่ในการสวิตช์

## 2.4 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด[1]

จากการศึกษาวงจรแปลงผันไฟฟ้าลดแรงดันที่ผ่านมานั้นหากต้องการควบคุมแรงดันไฟฟ้าด้านออกเพื่อให้เป็นไปตามความต้องการไม่ว่าจะลดแรงดันไฟฟ้ามากหรือน้อยก็ดำเนินการผ่านการกำหนดค่าตัวดีไอโอด์ หากต้องการแรงดันไฟฟ้าที่มากขึ้นกว่าเดิมดำเนินการด้วยการเพิ่มค่าตัวดีไอโอด์และในลักษณะเดียวกันหากต้องการแรงดันไฟฟ้าที่น้อยลงก็ทำการลดค่าตัวดีไอโอด์ แต่ค่าที่ได้ นั้นจะต้องมีค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกต้องไม่เกินกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรนั้นคือการทำงานโดยทั่วไปของวงจรแปลงผันไฟฟ้าลดแรงดัน แต่ในบางเงื่อนไขการทำงานไม่ว่าจะเป็นข้อจำกัดในด้านที่ต้องใช้วงจรแปลงผันไฟฟ้าลดแรงดันไปใช้งานกับระบบที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจร(แหล่งจ่ายชีพหลายหรือแหล่งจ่ายประเภทอื่นๆ)มีค่าสูงมากหากใช้วงจรทอนแรงดันแบบทั่วไปต้องทำให้วงจรทำงานที่ตัวดีไอโอด์ที่ต่ำมากทำให้ยากในการสร้างและปรับตัวดีไอโอด์ ยกตัวอย่างเช่น การลดแรงดันไฟฟ้าจาก 100 โวลต์มาที่แรงดันไฟฟ้า 4 โวลต์ต้องใช้ตัวดีไอโอด์ที่ 0.04 ซึ่งยากต่อการดำเนินการ แต่หากจะแก้ปัญหาโดยใช้หม้อแปลงลดแรงดัน(step-down transformer)ก็สามารถทำได้โดยปรับอัตราส่วนขดลวดแรงดันปฐมภูมิและทุติยภูมิให้เหมาะสม แต่ทำให้เกิดปัญหาสวิตชิ่งเจอร์จ(switching surges) สร้างผลเสียกับอุปกรณ์สวิตซ์

ดังนั้นจึงแก้ปัญหาด้วยการสร้างวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด[1] สามารถทำงานได้ดีมากในการลดระดับแรงดันให้มีค่าต่ำมากและสามารถทำงานได้ที่ค่าตัวดีไอโอด์ที่ไม่ต่ำมากหากเปรียบเทียบกับวงจรทอนแรงดันแบบเดิมซึ่งแสดงรูปของวงจรได้ดังรูปที่ 2.15

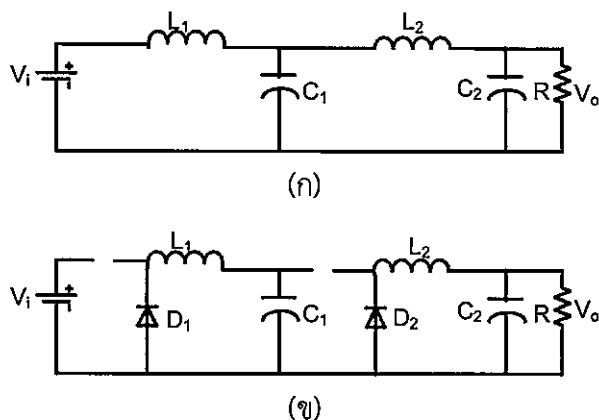


รูปที่ 2.15 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด

รูปที่ 2.15 แสดงวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดซึ่งประกอบไปด้วย แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าคือ( $V_1$ ) ตัวเหนี่ยวนำคือ( $L$ )จำนวน 2 ตัว ไดโอดคือ( $D$ )จำนวน 2 ตัว ความต้านทานคือ( $R$ )จำนวน 2 ตัว ตัวเก็บประจุคือ( $C$ )จำนวน 2 ตัว และสวิตซ์( $S$ )จำนวน 2 ตัวและแรงดันไฟฟ้าด้านออกคือ( $V_o$ )

การทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดมีการทำงานโดยวงจรรับค่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าจากนั้นใช้การปรับค่าตัวดีไอโอด์เพื่อปรับค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออก ผ่านการชั้สวิตซ์ทั้งสองให้ทำงานพร้อมๆกันโดยแบ่งการทำงานของวงจรเป็นสองส่วนตามลักษณะการทำงานขณะนำกระแสและไม่นำกระแสของสวิตซ์ได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การทำงานของวงจร (ก) วงจรขณะสวิตช์นำกระแส (ข) วงจรขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

### การทำงานเมื่อสวิตช์นำกระแส

แสดงได้ดังรูปที่ 2.16(ก) เมื่อสวิตช์นำกระแส ไดโอดไม่นำกระแส การไหลของกระแสไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำทั้งสองตัวซึ่งในขณะเดียวกันกระแสไฟฟ้าก็ไหลเข้าไปที่ตัวเก็บประจุทั้งสองตัวและกระแสอีกส่วนก็ไหลเข้าไปที่โหลดความต้านทาน แสดงความสัมพันธ์แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้ตั้งสมการต่อไปนี้โดยกำหนดให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมของสวิตช์ขณะนำกระแสมีค่าน้อยมากและไม่นำมาคิด

$$V_{L1} = V_i - V_{C1} \quad (2.30)$$

$$V_{L2} = V_{C1} - V_{C2} \quad (2.31)$$

$$i_{C1} = i_{L1} - i_{L2} \quad (2.32)$$

$$i_{C2} = i_{L2} - i_R \quad (2.33)$$

### การทำงานเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส

แสดงได้ดังรูปที่ 2.16(ข) เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ไดโอดทั้งสองนำกระแสที่การทำงานนี้กระแสไฟฟ้าจากแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับวงจรไม่สามารถไหลเข้ามาได้เนื่องจากสวิตช์ไม่นำกระแส เมื่อพิจารณาในส่วนของกระแสที่ไหลผ่านอุปกรณ์แบ่งการพิจารณาเป็นสองวงรอบกระแสได้ดังต่อไปนี้วงรอบกระแสที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำ  $L_1$  ตัวเก็บประจุ  $C_1$  ไดโอด  $D_1$  และวงรอบกระแสที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำ  $L_2$  ตัวเก็บประจุ  $C_2$  ไดโอด  $D_2$  โดยให้แรงดันตกคร่อมของไดโอดขณะนำกระแสมีค่าน้อยมากและไม่นำมาคิด ทำให้ได้ความสัมพันธ์แรงดันไฟฟ้าและกระแสดังนี้

$$V_{L1} = -V_{C1} \quad (2.34)$$

$$V_{L2} = -V_{C2} \quad (2.35)$$

$$i_{C1} = i_{L1} \quad (2.36)$$

$$i_{C2} = i_{L2} - i_R \quad (2.37)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาแรงดันด้านออกตามหลักการของวงจรทอนแรงดันทำให้สามารถแสดงค่าแรงดันด้านออกของวงจรขณะที่ทำงานที่สภาวะอยู่ตัวแล้วได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$V_o = D^2 V_i \quad (2.38)$$

เมื่อ  $V_o$  คือ แรงดันออก

$D$  คือ ดิวตี้ไซเคิล

$V_i$  คือ แรงดันไฟฟ้าด้านเข้า

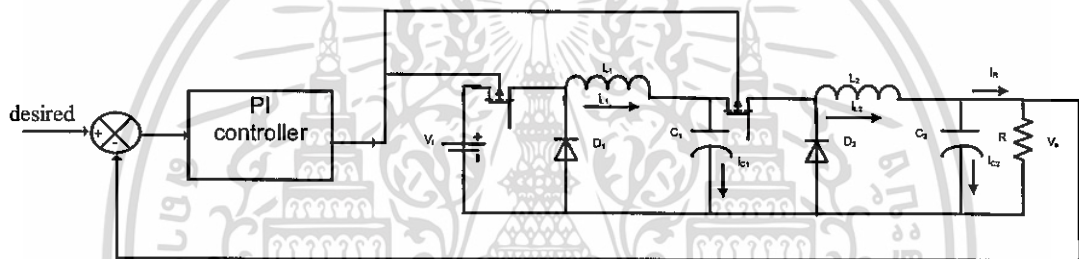
จากที่ได้ศึกษาวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดระดับแรงดันแบบแคสเคดเป็นการแก้ปัญหาการลดแรงดันจากแหล่งจ่ายที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงๆลงมาให้แรงดันไฟฟ้าต่ำมากหากใช้วงจรลดแรงดันแบบทั่วไปทำได้แต่ความน่าเชื่อถือน้อยกว่าแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดระดับแรงดันแบบแคสเคดเพราะต้องสร้างหรือควบคุมค่าดิวตี้ไซเคิลให้มีค่าน้อยกว่าแบบวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดระดับแรงดันแบบแคสเคด โดยสามารถยืนยันได้จากสมการที่ (2.14) และสมการที่(2.38)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การควบคุมวงจรรูปแบบป้อนกลับ วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดระดับแรงดันแบบแคสเคด

เพื่อที่จะให้วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดระดับแรงดันแบบแคสเคดทำงานให้แรงดันด้านออกมีความถูกต้อง แม่นยำ เป็นไปตามความต้องการแม้ว่าโดนรบกวนจากสิ่งไม่พึงประสงค์เพื่อตอบสนองความต้องการต้องเพิ่มตัวควบคุมแบบพีไอเข้าไปในระบบโดยการควบคุมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.17 อธิบายการทำงานคือเมื่อเริ่มทำงานก็กำหนดค่าผลตอบสนองที่ต้องการก่อน(แรงดันด้านออกที่ต้องการ)แล้วระบบจะทำการตรวจสอบค่าผลตอบสนองแล้วป้อนกลับมาเปรียบเทียบกับกันทำให้ได้ค่าความคลาดเคลื่อน(error) จากนั้นส่งค่าที่ได้ไปให้ตัวควบคุมแบบพีไอเพื่อสร้างสัญญาณในการควบคุมต่อไปให้กับระบบเพื่อให้ได้ค่าตามที่ต้องการ ระบบควบคุมจะทำงานตลอดไปโดยทำการควบคุมให้ผลตอบสนองของระบบเป็นไปตามความต้องการแม้จะถูกรบกวนด้วยสิ่งที่ไม่ต้องการแต่การควบคุมจะดีหรือไม่ดีปัจจัยสำคัญคือการออกแบบตัวควบคุมให้มีความเหมาะสมกับระบบก็ทำให้ระบบมีผลตอบสนองที่ดีตามมา



รูปที่ 2.17 การควบคุมวงจรรูปแบบป้อนกลับ

จากเนื้อหาเรื่องการควบคุมวงจรรูปแบบป้อนกลับของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดระดับแรงดันแบบแคสเคดนั้น การนำไปสู่ผลตอบสนองของวงจร(เอาต์พุต)ที่ดีนั้นต้องมีการใช้ตัวควบคุมที่เหมาะสมที่ได้มาจากการออกแบบด้วยเทคนิคต่างๆมีอยู่หลายวิธีการหนึ่งในนั้นคือการหาตัวควบคุมด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งวิธีการนี้ให้ค่าตัวควบคุมที่ดีมากและสะดวกโดยมีเนื้อหาของวิธีเชิงพันธุกรรมดังต่อไปนี้

## 2.5 วิธีเชิงพันธุกรรม

การวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตตามหลักของชาลส์ โรเบิร์ต ดาร์วิน คือการคงอยู่ของสายพันธุ์สายพันธุ์ที่มีการอยู่รอดได้มากกว่าคือสายพันธุ์ที่เหมาะสม ทนต่อการเปลี่ยนแปลง ในขณะที่สายพันธุ์ที่ไม่สามารถปรับตัวเข้ากับ การเปลี่ยนแปลงอาจทำให้สูญพันธุ์ไป

ดังนั้นจากลักษณะทางธรรมชาติของกระบวนการทางพันธุกรรมจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการแก้ปัญหามากมายในด้านหนึ่งที่สำคัญคือการนำไปใช้แก้ปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้น[9], [10] ถูกสร้างจากการเลียนแบบกระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรมพันธุ์ที่ดีและเหมาะสมที่สุดมาเป็นคำตอบตามเงื่อนไขและฟังก์ชันจุดประสงค์ที่กำหนด การทำงานมีขั้นตอนดังนี้

เริ่มจากการสุ่มค่าคำตอบขึ้นมา เรียกว่าประชากรรุ่นแรก นำประชากรเข้าสู่กระบวนการตามที่กำหนดโดยมีฟังก์ชันจุดประสงค์เป็นตัวกำหนดค่าความเหมาะสมเมื่อได้ผลลัพธ์เป็นค่าความเหมาะสมแล้วเลือกประชากรที่ทำให้ค่าของฟังก์ชันจุดประสงค์มากที่สุดเป็นคำตอบของรุ่น จากนั้นทำการคัดเลือกพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์เพื่อนำไปสร้างรุ่นลูก พ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ที่ให้ค่าความเหมาะสมสูงจะมีโอกาสถูกเลือกได้มากกว่า หลังจากนั้นนำพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์มาผลิตรุ่นลูกเพื่อให้ได้เป็นประชากรรุ่นใหม่โดยการเลือกพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ทำโดยการใช้ความน่าจะเป็นตามค่าความเหมาะสมโดยมีตัวอย่างรูปแบบการคัดเลือกเช่น

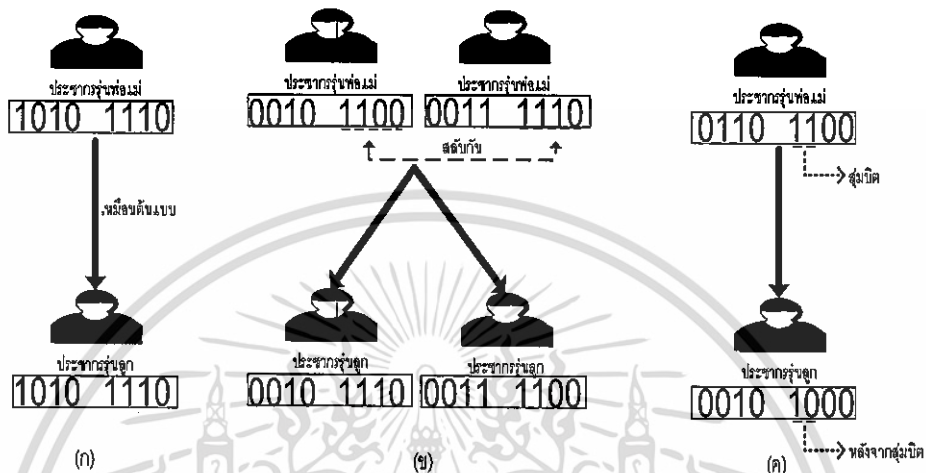
การเลือกแบบวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel) โดยการแบ่งอัตราส่วนของความเหมาะสมของประชากรรุ่นพ่อแม่โดยประชากรตัวใดมีค่าความเหมาะสมมากก็จะมีค่าอัตราส่วนมากตามไปด้วยมีโอกาสถูกเลือกสูงแต่ประชากรตัวใดมีค่าความเหมาะสมน้อยก็จะมีค่าอัตราส่วนน้อยและถูกเลือกน้อยตามเช่นกัน

การเลือกแบบทัวร์นาเมนต์ (Tournaments) ดำเนินการสุ่มเลือกประชากรมาหนึ่งคู่แล้วนำมาเปรียบเทียบกันเลือกตัวที่เหมาะสมกว่าเป็นมาเป็นคำตอบของการเลือก

เพื่อผ่านกระบวนการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์แล้วต่อมาก็คือการสร้างประชากรรุ่นถัดไปมีวิธีดำเนินการทางพันธุกรรมเพื่อผลิตรุ่นลูกมีด้วยกันสามวิธี แบบที่หนึ่งถอดแบบจากต้นแบบคือรุ่นพ่อแม่เป็นอย่างไรรุ่นลูกก็เป็นแบบนั้นแสดงในรูปที่ 2.18(ก) แบบที่สองคือแบบผสมข้ามพันธุ์คือใช้รุ่นพ่อแม่สลับบิดซึ่งกันและกันแสดงในรูปที่ 2.18(ข) สุดท้ายคือแบบกลายพันธุ์ทำโดยการสุ่มบิดของรุ่นพ่อแม่โดยตรงแสดงในรูปที่ 2.18 (ค) โดยการเลือกวิธีการสร้างประชากรรุ่นถัดไปทั้งสามแบบนี้ผู้ออกแบบต้องทำการกำหนดค่าความน่าจะเป็นให้กับวิธีการสร้างประชากรเช่นผู้ออกแบบกำหนดความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.2 สำหรับการสร้างแบบที่หนึ่งถอดแบบจากต้นแบบ กำหนดความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.6 สำหรับการสร้างผสมข้ามพันธุ์ กำหนดความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.2 สำหรับการสร้างแบบกลายพันธุ์ เมื่อรวมความน่าจะเป็นทั้งสามแบบทำให้ได้ค่าความน่าจะเป็นรวมเท่ากับ 1

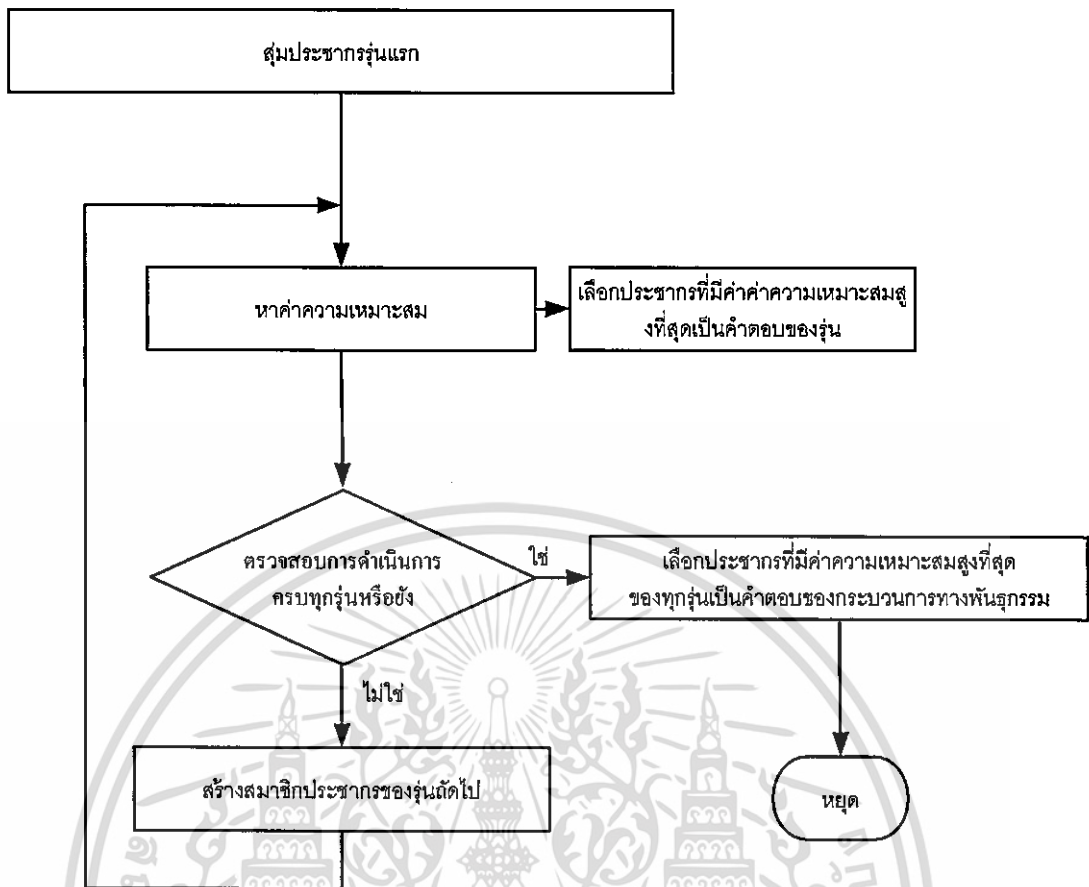
ข้อสังเกตวิธีดำเนินการทางพันธุกรรมเพื่อผลิตรุ่นลูกวิธีการแบบข้ามสายพันธุ์ทำให้เกิดประชากรในรูปแบบใหม่ที่เกิดมาจากส่วนผสมกันของรุ่นพ่อแม่ทำให้อาจจะมีความเหมาะสมที่ดีกว่าเดิมการกำหนดความน่าจะเป็นมักกำหนดให้มีความเหมาะสมแบบกลายพันธุ์ก็เช่นกันจะทำให้มีประชากรที่เกิดขึ้นอาจจะดีขึ้นกว่าเดิมหรือไม่ก็ได้แต่ประชากรที่ได้จะต่างจากรุ่นพ่อแม่ไปเลย

การกำหนดความน่าจะเป็นมักกำหนดให้มีค่าไม่มากและแบบถอดแบบจากต้นแบบก็เช่นกันจะทำให้มีประชากรที่เกิดใหม่ยังคงรักษาค่าเดิมจากรุ่นพ่อแม่ไว้ซึ่งเป็นการคงค่าจากรุ่นเดิมไว้เพราะในการสร้างรุ่นถัดไปทั้งสองวิธีก่อนหน้านี้อาจไม่สามารถสร้างรุ่นลูกที่เหมาะสมกว่ารุ่นพ่อแม่การกำหนดความน่าจะเป็นมักกำหนดให้มีค่าไม่มากเพราะหากกำหนดไว้มากอาจทำให้ไปกระทบต่อประชากรรุ่นถัดไปที่มีความเหมือนรุ่นพ่อแม่มากเกินไป



รูปที่ 2.18 (ก) แบบที่ถอดแบบจากต้นแบบ (ข) แบบข้ามสายพันธุ์ และ (ค) แบบที่กลายพันธุ์

วิธีการดำเนินการทางพันธุกรรมที่ได้นำเสนอมาแล้วนั้นเมื่อนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นไปตามรูปที่ 2.19 สามารถสรุปได้ดังนี้คือสุ่มประชากรแล้วนำไปแทนหาค่าความเหมาะสม จากนั้นเก็บค่าที่ให้ค่าความเหมาะสมสูงที่สุดเป็นคำตอบของรุ่นต่อมาก็ทำการตรวจสอบการดำเนินการว่าครบทุกรุ่นที่กำหนดแล้วหรือยังหากยังก็ให้สร้างประชากรรุ่นถัดไปจากนั้นก็นำประชากรรุ่นลูกที่สร้างได้ไปดำเนินการซ้ำแบบเดิมจนครบทุกรุ่นตามกำหนดแล้วจึงนำค่าความเหมาะสมสูงที่สุดของทุกรุ่นมาเลือกอีกครั้ง โดยเลือกค่าที่มากที่สุดเป็นคำตอบของกระบวนการนี้



รูปที่ 2.19 แผนผังการทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 เทคนิคการออกแบบตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE)

การออกแบบตัวควบคุมเพื่อให้ได้ผลตอบสนองตามต้องการนั้นสามารถออกแบบได้หลากหลายวิธีแล้วแต่ผู้ออกแบบต้องการให้ระบบตอบสนองเป็นเช่นไร หากผู้ออกแบบสนใจและให้ความสำคัญกับค่าความผิดพลาดของระบบ การออกแบบตัวควบคุมนั้น ต้องถูกกำหนดขอบเขตการออกแบบโดยให้มีค่าความผิดพลาดของระบบเข้ามามีส่วนร่วมในการออกแบบ โดยสามารถกำหนดฟังก์ชันดรรชนีสมรรถนะเพื่อเป็นขอบเขตเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ ในการสร้างตัวควบคุมได้ดังต่อไปนี้

### 1. ดรรชนีอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE)

$$J_{IAE} = \int_0^{\infty} |e(t)| dt \quad (2.45)$$

ดรรชนีสมรรถนะแบบนี้ไม่คำนึงถึงเครื่องหมายว่าเป็นบวกหรือลบ แต่สนใจเฉพาะค่าความผิดพลาดเพียงอย่างเดียวทำให้ผู้ออกแบบต้องหาค่าตัวควบคุมเพื่อทำให้ได้ค่า ดรรชนีอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ตามสมการที่(2.45)มีค่าน้อยที่สุด

### 2. ดรรชนีอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE)

$$J_{ISE} = \int_0^{\infty} e^2(t) dt \quad (2.46)$$

มีลักษณะที่เหมือนกับดรรชนีอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แต่ค่าผิดพลาดเป็นกำลังสองเมื่อนำไปออกแบบต้องหาค่าตัวควบคุมเพื่อทำให้ได้ค่า ดรรชนีอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองตามสมการที่(2.46)มีค่าน้อยที่สุด

### 3. ดรรชนีอินทิกรัลของค่าผิดพลาดคูณด้วยเวลา (ITAE)

$$J_{ITAE} = \int_0^{\infty} t|e(t)| dt \quad (2.47)$$

ดรรชนีอินทิกรัลของค่าผิดพลาดคูณด้วยเวลามีรูปแบบของดรรชนีคล้ายกับแบบดรรชนีอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ เพียงแต่มีค่าเวลา  $t$  เพิ่มเข้าไปในค่าดรรชนีทำให้ผู้ออกแบบต้องออกแบบตัวควบคุมที่ให้ผลตอบสนองมีค่าความผิดพลาดเข้าสู่ศูนย์ให้ได้อย่างรวดเร็วไม่เช่นนั้นจะทำให้ได้ค่าดรรชนีมีค่ามากตามไปด้วย การออกแบบโดยใช้ดรรชนีแบบตามสมการที่(2.47)นี้ผู้ออกแบบต้องหาค่าตัวควบคุมเพื่อทำให้ได้ค่าดรรชนีมีค่าน้อยที่สุด

### 4. ดรรชนีอินทิกรัลค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE)

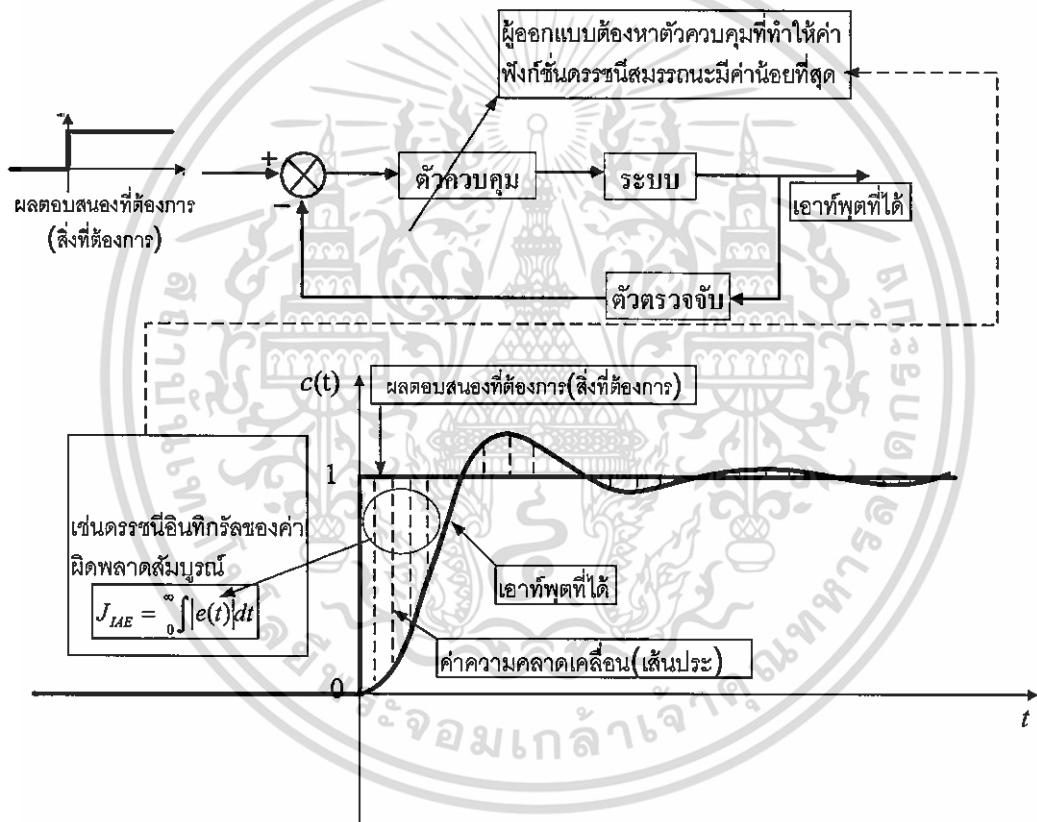
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกระใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  

$$J_{ITSE} = \int_0^{\infty} te^2(t) dt \quad (2.48)$$
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดรชนีอินทิกรัลค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา มีรูปแบบของดรชนีคล้ายกับดรชนีอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง เพียงแต่มีค่าเวลา  $t$  เพิ่มเข้าไปในค่าดรชนีทำให้ผู้ออกแบบต้องออกแบบตัวควบคุมที่ให้ผลตอบสนองมีค่าความผิดพลาดเข้าสู่ศูนย์ให้ได้อย่างรวดเร็วไม่เช่นนั้นจะทำให้ได้ค่าดรชนีมีค่ามากตามไปด้วย การออกแบบโดยใช้ดรชนีตามสมการที่(2.48)ผู้ออกแบบต้องหาค่าตัวควบคุมเพื่อให้ได้ค่าดรชนีมีค่าน้อยที่สุด

เมื่อกำหนดให้  $e(t)$  คือ ค่าความแตกต่างของคำสั่ง(สิ่งที่ต้องการ)กับเอาต์พุตที่ได้จากจากระบบ

ช่วงเวลา  $0 \rightarrow \infty$  คือช่วงกำหนดขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงจากศูนย์ถึงค่าอนันต์



รูปที่ 2.20 การหาตัวควบคุมเพื่อให้ได้ค่าตามที่ต้องการ

รูปที่ 2.20 แสดงการหาตัวควบคุมในระบบโดยใช้ฟังก์ชันดรชนีสมรรถนะเป็นข้อกำหนดเป้าหมายในการออกแบบ โดยผู้ออกแบบต้องดำเนินการหาตัวควบคุมที่ทำให้ค่าดรชนีเป็นไปตามที่กำหนดโดยแบ่งเป็นขั้นตอนดังต่อไปนี้

**ขั้นตอนที่ 1** กำหนดผลตอบสนองที่ต้องการหากพิจารณาตามรูปผู้ออกแบบต้องการผลตอบสนองแบบฟังก์ชันขั้นบันได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2 แทนตัวควบคุมเพื่อใช้ควบคุมระบบ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 จากขั้นตอนที่สองเมื่อใส่สิ่งที่ต้องการ(อินพุต)ให้ระบบเริ่มทำงานจะได้ผลตอบสนอง(เอาต์พุต)

ขั้นตอนที่ 4 นำค่าผลตอบสนองที่ได้ไปคำนวณหาค่าตรรกะเช่น ตรรกะนีอินทิกัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์

ขั้นตอนที่ 5 ทำตามขั้นตอนที่ 3, 4, 5 ซ้ำแล้วเลือกตัวควบคุมที่ทำให้ได้ค่าตรรกะที่ต่ำสุดเป็นคำตอบ

การออกแบบตามที่ได้กล่าวมานี้มีความน่าสนใจในส่วนขั้นตอนที่สองคือ ของวิธีการหาตัวควบคุมมาแทนค่าแล้วได้ผลตอบสนอง (เอาต์พุต) ผู้ออกแบบแทนตัวควบคุมทีละตัวก็เป็นการยุ่งยากลำบากแต่วิธีการออกแบบประเภทนี้จะทรงประสิทธิภาพขึ้นมาทันทีเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคนิควิธีการหาค่าเหมาะสม (optimization techniques) จะทำให้การหาตัวควบคุมเป็นไปได้โดยง่ายตาย

## บทสรุป

วงจรแปลงผันกระแสตรงแบบทั่วไปมีการควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกด้วยการปรับค่าดิวิตีไซเคิลอย่างไรก็ดีวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงแบบทั่วไปเมื่อทำงานในย่านที่ต้องการแปลงผันแรงดันไฟฟ้าต่ำมากฯส่งผลให้ผู้ออกแบบต้องคอยปรับค่าดิวิตีไซเคิลให้ต่ำมากตามไปด้วยเช่นต่ำกว่า 0.1 ทำให้ยากต่อการปรับและยังเกิดความผิดพลาดในการควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการด้วยส่งผลถึงความไม่น่าเชื่อถือเมื่อนำวงจรไปใช้จริง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยใช้วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดระดับแรงดันแบบแคสเคด เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่เป็นแบบเดียวกันกับวงจรแปลงผันไฟฟ้าทั่วไปเพียงเพิ่มอุปกรณ์เข้ามา 4 ชิ้นคือ ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ ไดโอดและสวิตซ์ กลับทำให้สามารถสร้างค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกที่ต่ำมากฯได้ด้วยการปรับค่าดิวิตีไซเคิลไม่ต่ำมากเมื่อเทียบกับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไป

ถึงแม้วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไปได้รับการทดแทนด้วยวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดระดับแรงดันแบบแคสเคดแล้ว เราคงให้วงจรทำงานในระบบที่เป็นแบบระบบเปิดไม่ได้เพราะอาจมีปัจจัยหรือค่าความแปรปรวนของวงจรไม่ว่าจะมาจากการทำงานของวงจรมานำไปใช้กับแรงดันที่ใช้จ่ายให้กับวงจร(Vi)ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปหรือกรณีที่นำไปจ่ายโหลดที่มีค่าเปลี่ยนแปลงทำให้แรงดันด้านออกไม่แม่นยำ ดังนั้นวงจรต้องการระบบที่เป็นแบบระบบปิดที่มีตัวควบคุมคอยตรวจสอบและควบคุมค่าเมื่อมีปัจจัยที่ทำให้แรงดันด้านออกมีค่าเปลี่ยนแปลงให้กลับมา มีค่าตามที่ต้องการ

เพื่อการได้มาซึ่งตัวควบคุมที่มีประสิทธิภาพต้องอาศัยการออกแบบที่ดีด้วยแม้กระนั้นการออกแบบตัวควบคุมที่ดีต้องทราบถึงฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบที่ต้องการออกแบบ การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบหาได้จากสมการทางด้านฟิสิกส์แต่ในความเป็นจริงของวงจรหรือระบบที่ต้องการหาฟังก์ชันถ่ายโอนมีค่าที่เราไม่ทราบแฉ่งอยู่ ดังนั้นการหาฟังก์ชันถ่ายโอนด้วยความสัมพันธ์ทางฟิสิกส์จึงถูกทดแทนด้วยการหาฟังก์ชันถ่ายโอนแบบการระบุเอกลักษณ์ผ่านการเก็บผลการทดลอง

จริงหลังจากได้ฟังก์ชันถ่ายโอนที่ถูกต้องแน่นอนแล้วก็สามารถออกแบบตัวควบคุมได้ซึ่งตัวควบคุมที่น่าสนใจคือตัวควบคุมแบบพีไอเพราะมีรูปแบบการควบคุมที่มีประสิทธิภาพให้ผลตอบสนองเป็นอย่างดี การเลือกค่าตัวควบคุมนั้นเป็นวิธีการทำให้ผู้ออกแบบได้แก้ปัญหาว่าจะได้ค่าเท่าไร แต่หากการเลือกค่าตัวควบคุมโดยใช้ขั้นตอนทางพันธุกรรมเลือกผู้ออกแบบต้องกำหนดค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ การกำหนดค่าดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบเป็นผู้เลือกจากที่กล่าวมาแล้ว ยกตัวอย่างผู้ออกแบบใช้ตรรกะอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เป็นส่วนประกอบในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ก็ทำให้ได้เทคนิคการออกแบบตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์

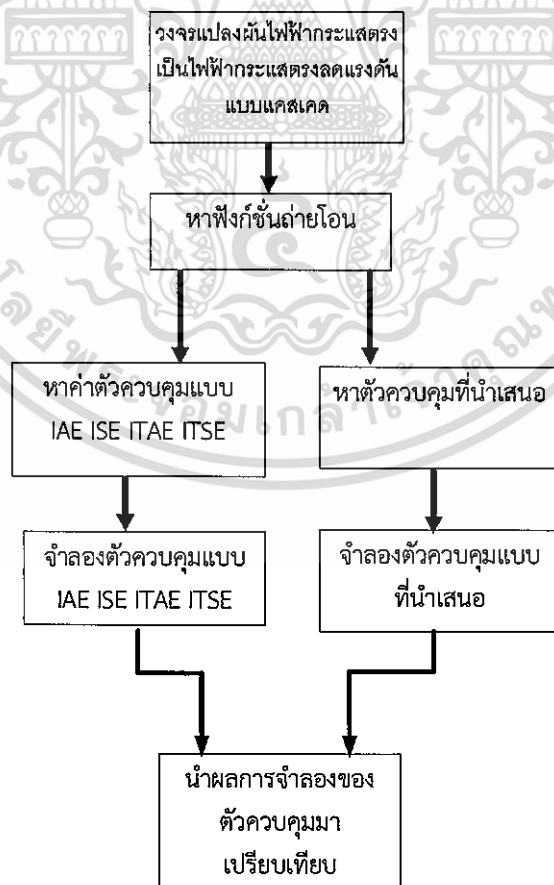


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## การออกแบบตัวควบคุมด้วยเทคนิคที่นำเสนอ

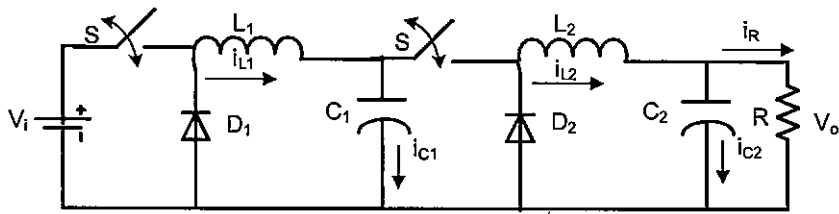
วัตถุประสงค์ในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดเพื่อทำให้วงจรทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ การออกแบบทำได้ตามแผนผังการออกแบบแสดงดังรูปที่ 3.1 เริ่มจากการศึกษาวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดในบทที่ 2 แล้วนำมาสร้างวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดต่อจากนั้นนำวงจรที่ได้หาฟังก์ชันถ่ายโอนเพื่อนำไปประกอบการออกแบบตัวควบคุมในขั้นตอนถัดไป การออกแบบในบทนี้ได้ทำการออกแบบตัวควบคุมเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งคือตัวควบคุมแบบที่นำเสนอ ส่วนที่สองคือตัวควบคุมที่เป็นแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE) จากนั้นทำการจำลองผลตอบสนองที่ได้จากตัวควบคุมทั้ง 2 ส่วน แล้วนำผลการตอบสนองที่ได้จากการจำลองมาเปรียบเทียบกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการวิจัยหรือเพื่อวัตถุประสงค์อื่นที่ไม่ใช่ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 แผนผังการออกแบบตัวควบคุม

### 3.1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด ที่ใช้ในการจำลอง



รูปที่ 3.2 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด ที่ใช้ในการจำลอง

#### ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ

พารามิเตอร์	ค่าที่ออกแบบ
$V_i$	16 V
$V_{(set\ point)}$	4 V
$R$	10 ohm
$L_1$	124 $\mu$ H
$L_2$	127 $\mu$ H
$D$	0.5
$C_1$	93 $\mu$ F
$C_2$	93 $\mu$ F

จากรูปที่ 3.2 แสดงวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด ซึ่งใช้ค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.1 เมื่อ  $L$  คือตัวเหนี่ยวนำ,  $D$  คือไดโอด,  $V_i$  คือแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า,  $R$  คือความต้านทาน,  $V_o$  คือแรงดันไฟฟ้าด้านออก,  $C$  คือตัวเก็บประจุ,  $S$  คือสวิตช์ การเลือกค่าขนาดของค่าพารามิเตอร์ได้รับการอ้างอิงมาจากการงานวิจัย[1] ในส่วนการเลือกความถี่การสวิตช์เลือกที่ความถี่ 50kHz เพราะเป็นความถี่ที่มนุษย์ไม่สามารถได้ยิน ส่วนการเลือกค่าไดโอด (อัลตราฟาสต์ไดโอดRURG8060) และสวิตช์ (เพาเวอร์มอสเฟตIRF840) ซึ่งสามารถทำงานที่ความถี่ 50 kHz ส่วนตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำผู้ออกแบบกำหนดได้ตามความเหมาะสมหลังจากการกำหนดค่าของตัวแปรพารามิเตอร์แล้วก็ทำการคำนวณหาค่าของแรงดันไฟฟ้าด้านออกตามสมการที่ 2.38 ในบทที่ 2 ซึ่งสมการนี้ให้ผลตอบสนองที่สภาวะคงตัวจากนั้นให้แรงดันไฟฟ้าอินพุตมีค่า 16 โวลต์ กำหนดดีวตี้ไซเคิล 0.5 ทำให้ได้ผลตอบสนองแรงดันด้านออก 4โวลต์ งานวิจัยนี้เริ่มต้นจาก

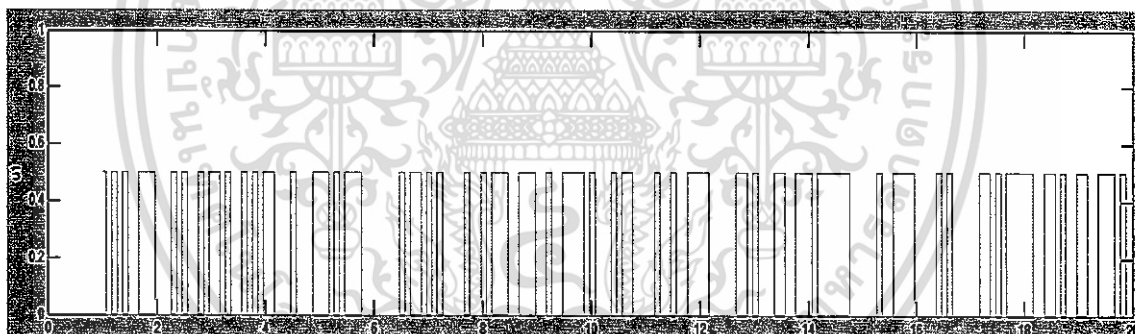
ออกแบบสร้างวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงแบบแคสเคดให้ได้ผลตอบสนองขึ้นมาก่อนจากนั้นพิจารณาการคำนวณว่า ผลตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ หากเป็นไปตามที่ต้องการแล้วเริ่มขั้นตอนการหาค่าใช้

ฟังก์ชันถ่ายโอนจากวิธีการหาเอกลักษณ์ของระบบโดยการหาฟังก์ชันถ่ายโอนด้วยวิธีดังกล่าวนี้ ต้องการอินพุตและเอาต์พุตจากวงจรที่ถูกสร้างโดยผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้อุปกรณ์ได้ตามความต้องการ เช่น ค่าตัวเก็บประจุหรือค่าตัวเหนี่ยวนำ ไม่ให้มีขนาดใหญ่เกินไป

### 3.2 การหาเอกลักษณ์ของระบบ

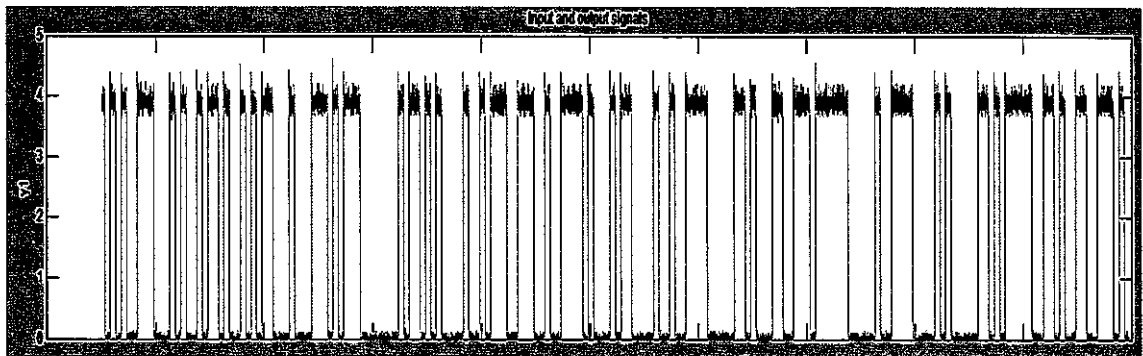
การออกแบบระบบควบคุมในวิทยานิพนธ์นี้สร้างวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดขึ้นมาก่อนแล้วทดลองให้ระบบทำงานในแบบระบบเปิดคือใส่ อินพุตเข้าไปแล้วได้เอาต์พุตที่เป็นผลตอบสนองออกมาเพื่อนำไปสู่การหาฟังก์ชันถ่ายโอนด้วยวิธี ขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์ของระบบ ซึ่งมีความได้เปรียบกว่าการหาด้วยวิธีอื่นโดยฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้นั้นจะรวมเอาค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดทั้งที่ระบุได้หรือไม่ได้ (พารามิเตอร์แฝง) เข้าไปใน กระบวนการนี้

การสร้างวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดจริง ตามรูปที่ 3.1 และค่าพารามิเตอร์ตารางที่ 3.1 เพื่อนำมาหาเอกลักษณ์ของระบบโดยมีอินพุตคือค่า ค่าตัวตัดไซเคิลแสดงในรูปที่ 3.3

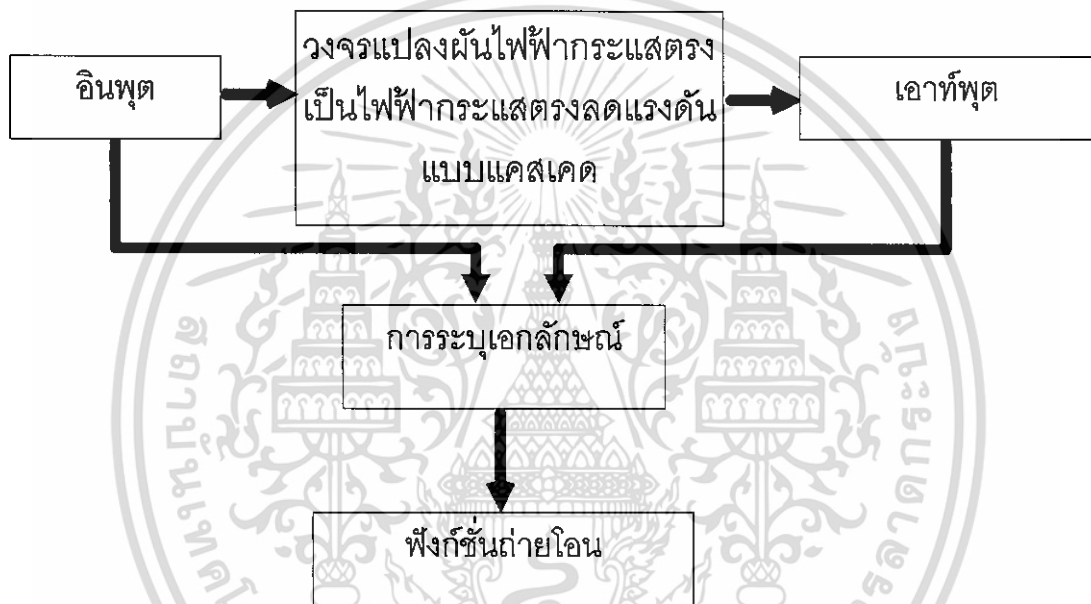


รูปที่ 3.3 อินพุต

รูปที่ 3.3 ผู้ออกแบบใช้ค่าตัวตัดไซเคิลสูงสุดที่ 0.5 และต่ำสุดที่ 0 สลับกันไปมา แล้ว เปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณอินพุตให้มีความหลากหลายของความถี่หลายๆย่าน เพื่อนำไปใช้ หาเอกลักษณ์ของระบบให้ครอบคลุมตลอดย่านความถี่ที่ทำงานของระบบ ต่อจากนั้นนำค่าอินพุตที่ได้ไปใส่ในวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดทำให้ได้ผลตอบสนองด้านเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 3.4 เห็นได้ว่าระบบมีการเปลี่ยนไปตามค่าอินพุต (ค่าตัวตัดไซเคิล) ซึ่งให้ค่าที่อยู่ระหว่าง 0 โวลต์ ถึง 4 โวลต์



รูปที่ 3.4 เอาร์ทพุต



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทำฟังก์ชันถ่ายโอน

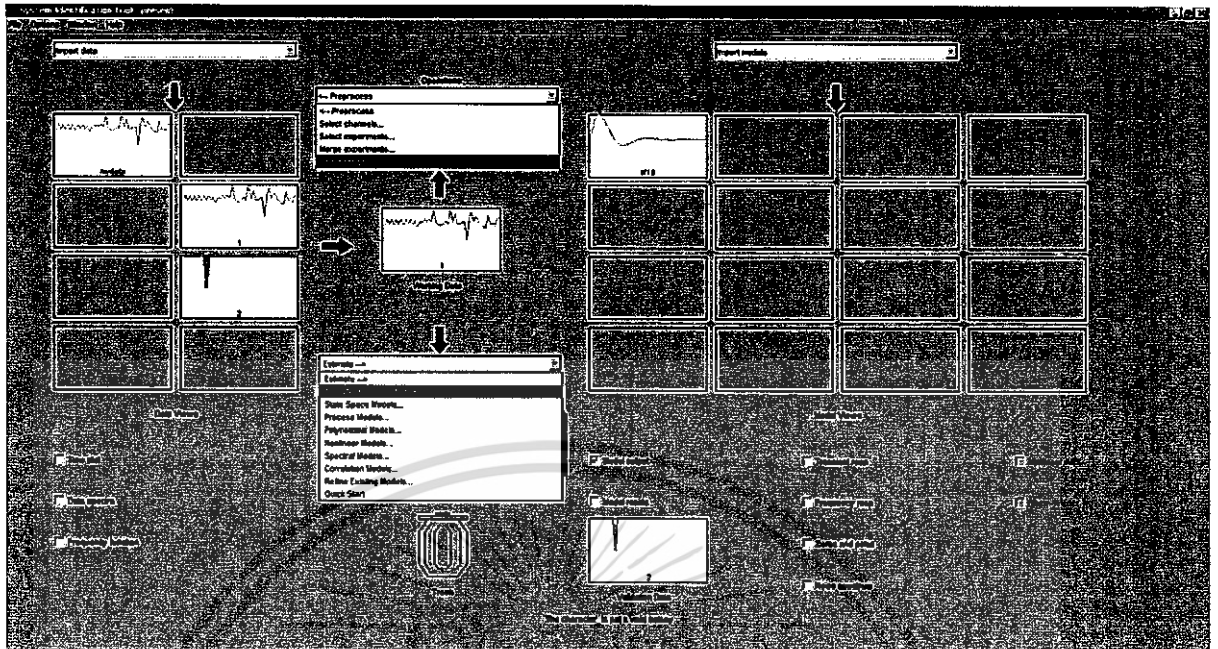
เมื่อดำเนินการทดลองระบบด้วยการป้อนอินพุตทำให้ได้เอาร์ทพุตจากนั้นทำการบันทึกค่าอินพุตและเอาร์ทพุตไปพร้อมกัน เก็บค่าอินพุตและเอาร์ทพุตตามที่ได้แสดงในรูปที่ 3.3 และรูปที่ 3.4 จากนั้นนำค่าที่ได้ไปวิเคราะห์ผ่านขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์เพื่อให้ได้ค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบตามรูปที่ 3.5 โดยแสดงขั้นตอนการดำเนินการดังต่อไปนี้

**ขั้นตอนที่ 1** นำวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงแบบแคสเคด ทำการทดลองแล้วเก็บค่าการทดลองด้านอินพุต เอาร์ทพุต และเวลาการสุ่ม เพื่อนำผลไปวิเคราะห์ในระบคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม Matlab

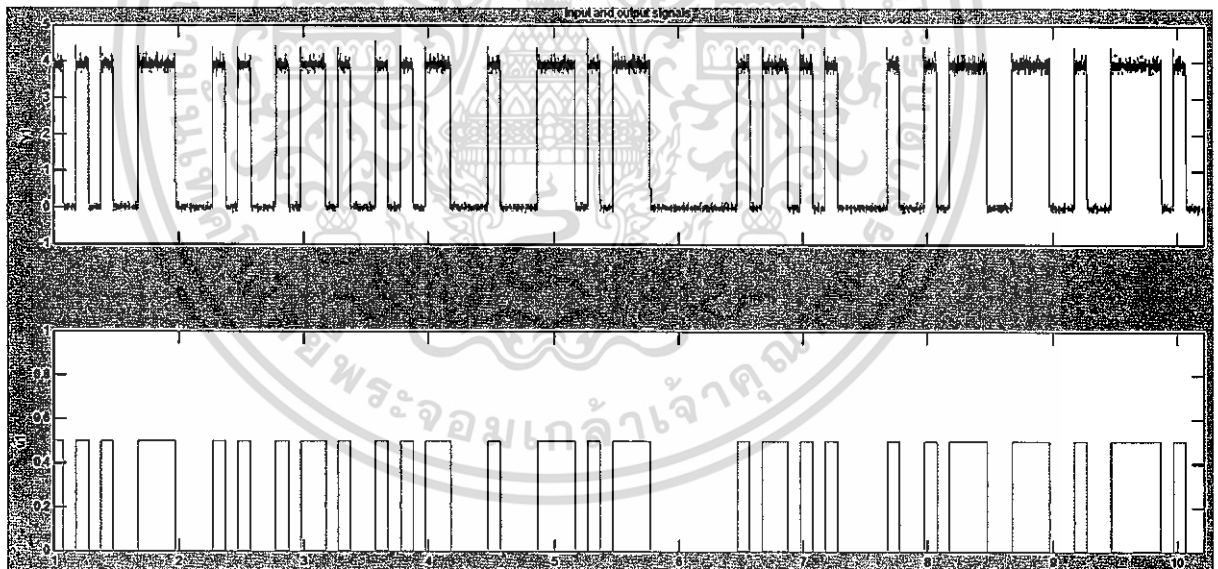
**ขั้นตอนที่ 2** ใช้ System Identification Toolbox ตามรูปที่ 3.6 ในโปรแกรม Matlab นำผลจากการทดลองจริงในขั้นตอนที่ 1 มาทำการแบ่งออกเป็น 2 ช่วง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ในช่วงแรกแสดงดังรูปที่ 3.7 ในการหาฟังก์ชันถ่ายโอน ช่วงที่ 2 ใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้แสดงดังรูปที่ 3.8

**ขั้นตอนที่ 3** นำค่าอินพุต เอาร์ทพุต ช่วงแรกไปหาฟังก์ชันถ่ายโอนได้ผลตามรูปที่ 3.9

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารที่ทรงหมักการนำไปใช้

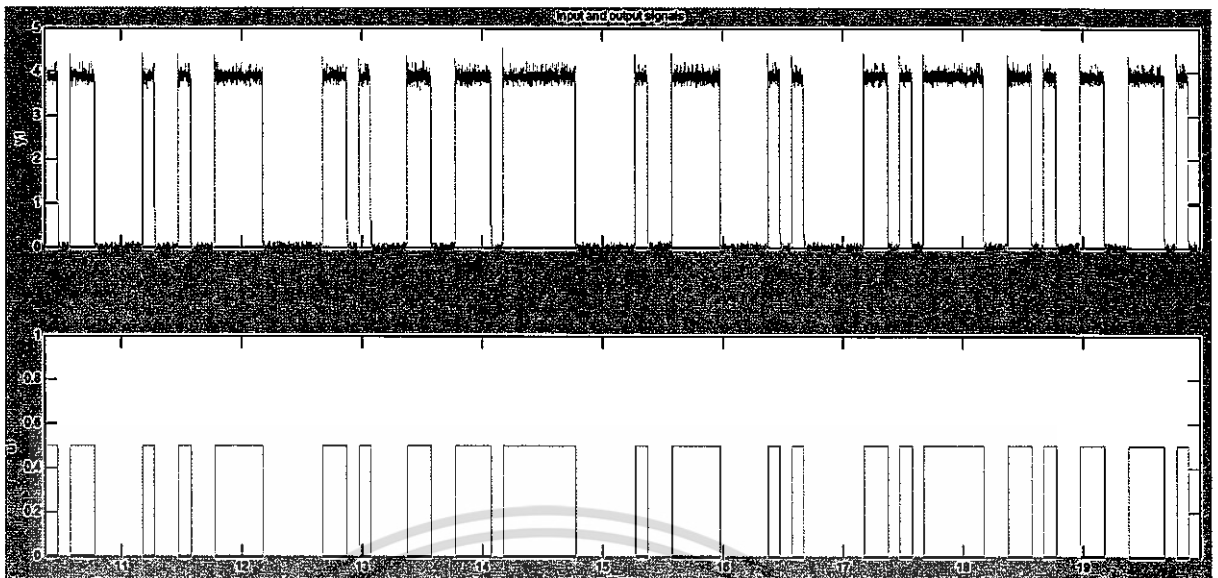


รูปที่ 3.6 หน้าต่างของระบบ System Identification Toolbox

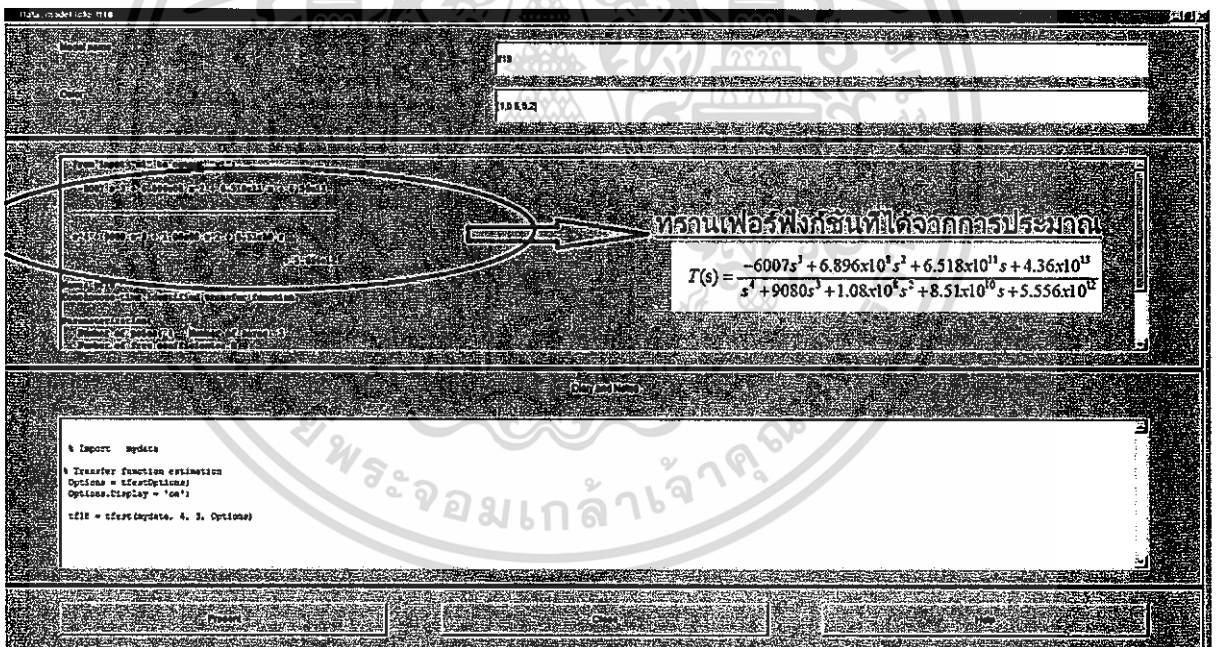


รูปที่ 3.7 อินพุต เอาท์พุต ช่วงแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 อินพุต เอาท์พุต ช่วงที่สอง

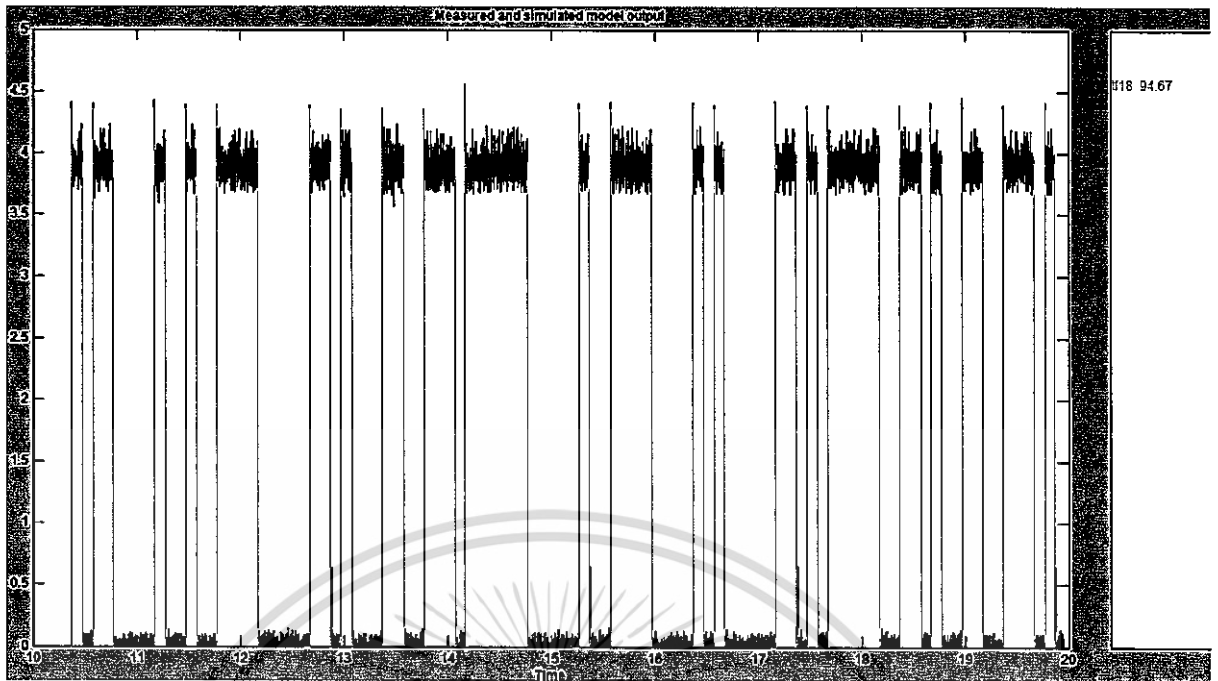


รูปที่ 3.9 ผลของการหาเอกลักษณ์ของระบบ

ขั้นตอนที่ 4 นำอินพุต เอาท์พุต ช่วงที่สองแสดงดังรูปที่ 3.8 มาทดสอบฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบที่ได้ โดยการนำอินพุตจากช่วงที่สองใส่ในฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้จากการระบุเอกลักษณ์ได้อเอาท์พุตที่ผ่านกระบวนการของฟังก์ชันถ่ายโอนเป็นสี่เหลี่ยม จากนั้นนำเอาท์พุตที่ได้จากการทดลองจริงในช่วงที่ 2 (สีดำ) นำมาเปรียบเทียบกับเอาท์พุตที่ได้มาจากฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบแสดงดังรูปที่

3.10 พบว่ามีความใกล้เคียงกันถึง 94.67 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เฉพาะเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การเปรียบเทียบกับเอาต์พุตที่ได้จากฟังก์ชันถ่ายโอนและเอาต์พุต  
ที่ได้จากการทดลองจริงในช่วงที่ 2

เมื่อผ่านขั้นตอนการระบุเอกลักษณ์แล้วได้ฟังก์ชันถ่ายโอนอันดับ 4 เป็นไปตามสมการที่  
(3.1) ซึ่งต่อไปนี้ออกแบบนำไปใช้ออกแบบระบบต่อไป

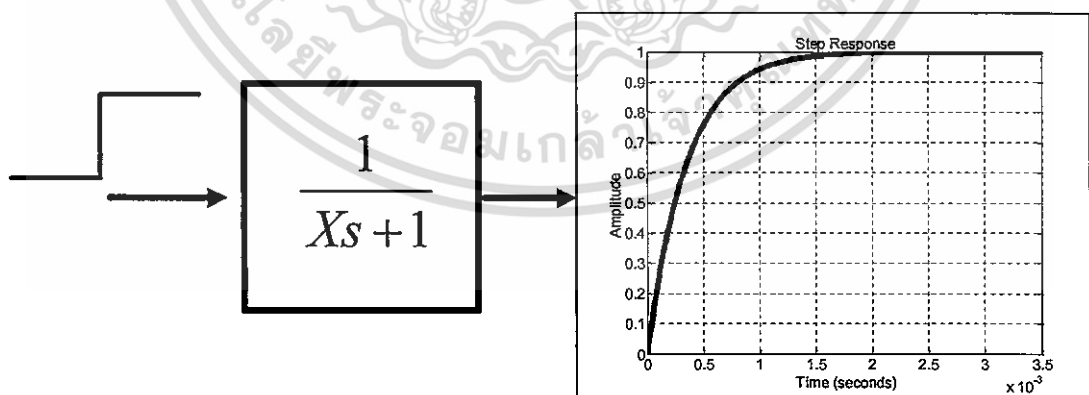
$$T(s) = \frac{-6007s^3 + 6.896 \times 10^8 s^2 + 6.518 \times 10^{11} s + 4.36 \times 10^{13}}{s^4 + 9080s^3 + 1.08 \times 10^8 s^2 + 8.51 \times 10^{10} s + 5.556 \times 10^{12}} \quad (3.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การสร้างโมเดลอ้างอิง

การออกแบบตัวควบคุมที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ต้องการหาตัวควบคุมที่ให้ค่าผลตอบสนองของระบบเมื่อนำไปใช้งานให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ออกแบบนั่นคือผู้ออกแบบต้องกำหนดโมเดลเพื่อใช้สำหรับต้นแบบเพื่อหาผลตอบสนองที่ต้องการซึ่งมีขั้นตอนในการหาดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1 สร้างบล็อกไดอะแกรมตามรูปที่ 3.11 ในโปรแกรม MATLAB โดยมีอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดสร้างสัญญาณให้กับ  $\frac{1}{XS+1}$  แล้วได้เอาท์พุต
- ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าในบล็อกไดอะแกรม
- ขั้นตอนที่ 3 จำลองระบบในบล็อกไดอะแกรมเพื่อให้ได้เอาท์พุต
- ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบผลตอบสนองของเอาท์พุตว่ามีผลตอบสนองตามที่ต้องการหรือไม่ หากไม่ ให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 อีกจนกว่าจะได้ผลตอบสนองตามที่ผู้ออกแบบกำหนด
- ขั้นตอนที่ 5 เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนที่ 4 ให้นำค่า  $x$  ที่ได้ไปแทนใน  $\frac{1}{XS+1}$  เพื่อเป็นโมเดลอ้างอิง
- จากขั้นตอนที่กล่าวมาทั้งหมดวิทยานิพนธ์นี้เลือกค่าฟังก์ชันถ่ายโอน คือ  $\frac{1}{0.00035s+1}$  เป็นโมเดลอ้างอิงเพราะให้ผลตอบสนองที่ไม่มีการพุ่งเกินดังแสดงในรูป 3.11



รูปที่ 3.11 ผลตอบสนองของโมเดลอ้างอิงที่มีอินพุตเป็นแบบขั้นบันไดขนาดหนึ่งหน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.11 แสดงผลตอบสนองของโมเดลอ้างอิงที่มีอินพุตเป็นแบบขั้นบันไดขนาดหนึ่งหน่วยมีลักษณะโค้งที่ไม่มีเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกิน มีเวลาขึ้นประมาณ 0.8 มิลลิวินาที เวลาเข้าสู่สมดุลประมาณ 1.2 มิลลิวินาที เห็นได้ว่ามีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นตัวแบบของคำตอบให้กับการออกแบบตัวควบคุม

### 3.4 การออกแบบตัวควบคุมที่นำเสนอ

จากหัวข้อที่ 3.1 ถึง 3.3 วิทยานิพนธ์ได้ให้ข้อมูล ฟังก์ชันถ่ายโอนวงจรถ่ายแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด โมเดลอ้างอิง นำเข้าสู่ขั้นตอนทางพันธุกรรมเพื่อหาตัวควบคุมที่เหมาะสมเริ่มต้นจากการนำข้อมูลฟังก์ชันถ่ายโอนข้อมูลของวงจรถ่ายแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดนำมาสร้างระบบวงปิดที่มีค่าอินพุตเป็นฟังก์ชันขั้นบันไดแล้วเพิ่มตัวควบคุมแบบพีไอเข้าไปโดยติดค่าพารามิเตอร์  $K_p, K_i$  จากนั้นให้ระบบทำงานโดยใช้กระบวนการทางพันธุกรรมค้นหาค่า  $K_p, K_i$  ที่ทำให้ผลตอบสนองของระบบเหมือนดังรูปที่ 3.11 โดยสรุปเป็นขั้นตอนต่อไปนี้

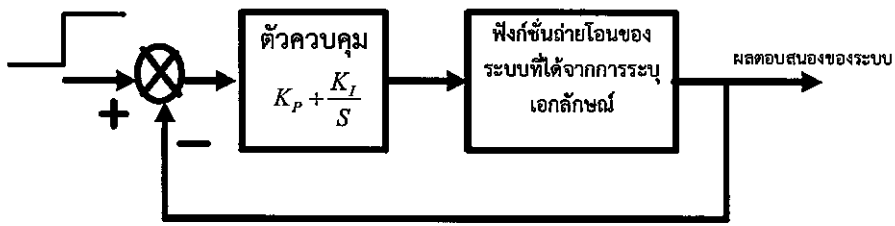
- ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าพารามิเตอร์  $K_p, K_i$  ให้เป็นประชากร กำหนดขอบเขตของตัวควบคุมและจำนวนรุ่น
- ขั้นตอนที่ 2 สุ่มค่าประชากรรุ่นที่ 1 ( $K_p, K_i$ )
- ขั้นตอนที่ 3 นำค่าพารามิเตอร์  $K_p, K_i$  ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 แทนในตัวควบคุมแบบพีไอตามรูปที่ 3.12 จากนั้นระบบจะให้ผลตอบสนองที่ได้จากการแทนตัวควบคุมนำไปหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของประชากรทุกตัวโดยประชากรที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สูงสุดจะเป็นคำตอบของรุ่น โดยกำหนดให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ  $J_{\text{cost}} = \frac{1}{\int_0^{\infty} [e(t)]^2 dt}$

เมื่อ  $e(t)$  คือ ผลตอบสนองจากโมเดลอ้างอิง-ผลตอบสนองของระบบตามรูปที่ 3.12

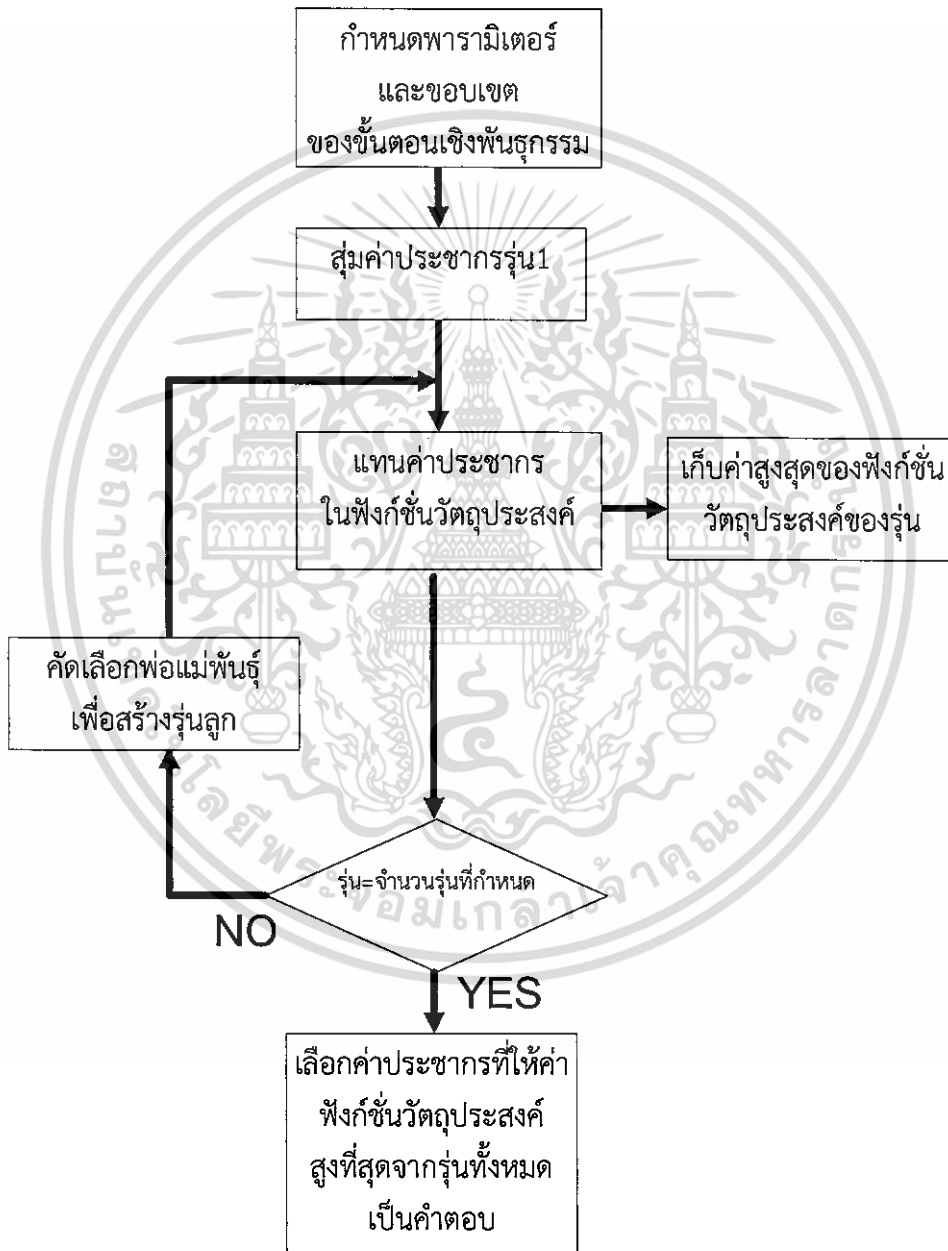
- ขั้นตอนที่ 4 หากจำนวนรุ่นเท่ากับรุ่นที่กำหนดให้หยุดโดยประชากรที่ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สูงสุดจะเป็นคำตอบของวิธีการที่นำเสนอ หากจำนวนรุ่นไม่เท่ากับจำนวนรุ่นที่กำหนดไว้ให้คัดเลือกพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ มาเป็นรุ่นพ่อและรุ่นแม่เพื่อถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกแล้วกลับไปทำขั้นตอนที่ 3 ต่อไป

จากขั้นตอนดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 กระบวนการผลตอบสนอง



รูปที่ 3.13 ขั้นตอนการหาตัวควบคุมโดยการใช้ขั้นตอนทางพันธุกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

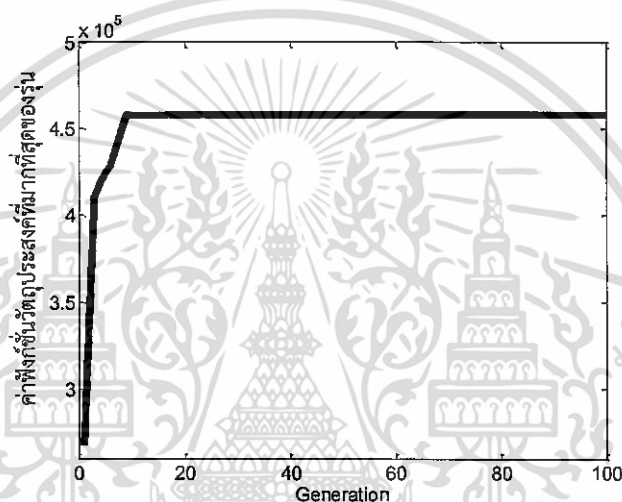
โดยกำหนดขอบเขตของประชากรในขั้นตอนทางพันธุกรรม ดังนี้

ค่าขอบเขตประชากร  $K_p$  มีค่าอยู่ในช่วง  $[0 \rightarrow 1]$

ค่าขอบเขตประชากร  $K_r$  มีค่าอยู่ในช่วง  $[0 \rightarrow 1000]$

จำนวนรุ่น = 100 รุ่น                      รุ่นละ 100 ตัว

จากการดำเนินการทางขั้นตอนทางพันธุกรรมได้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มากที่สุดในแต่ละรุ่นตั้งแต่รุ่นที่ 1 ถึง 100 เห็นได้ว่าได้คำตอบที่ดีที่สุดเข้าสู่ในรุ่นที่ 18 และคงที่ไปถึงรุ่นที่ 100 โดยแกนนอนกำหนดให้เป็นรุ่นและแนวแกนตั้งจะกำหนดให้เป็นค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุดของแต่ละรุ่นแสดงได้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มากที่สุดในแต่ละรุ่นตั้งแต่รุ่นที่ 1 ถึง 100

จากวิธีการในหัวข้อที่ 3.4 ทั้งหมดนำมาปรับใช้ในการหาตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE) โดยทำทุกอย่างเหมือนกันเปลี่ยนเพียงค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

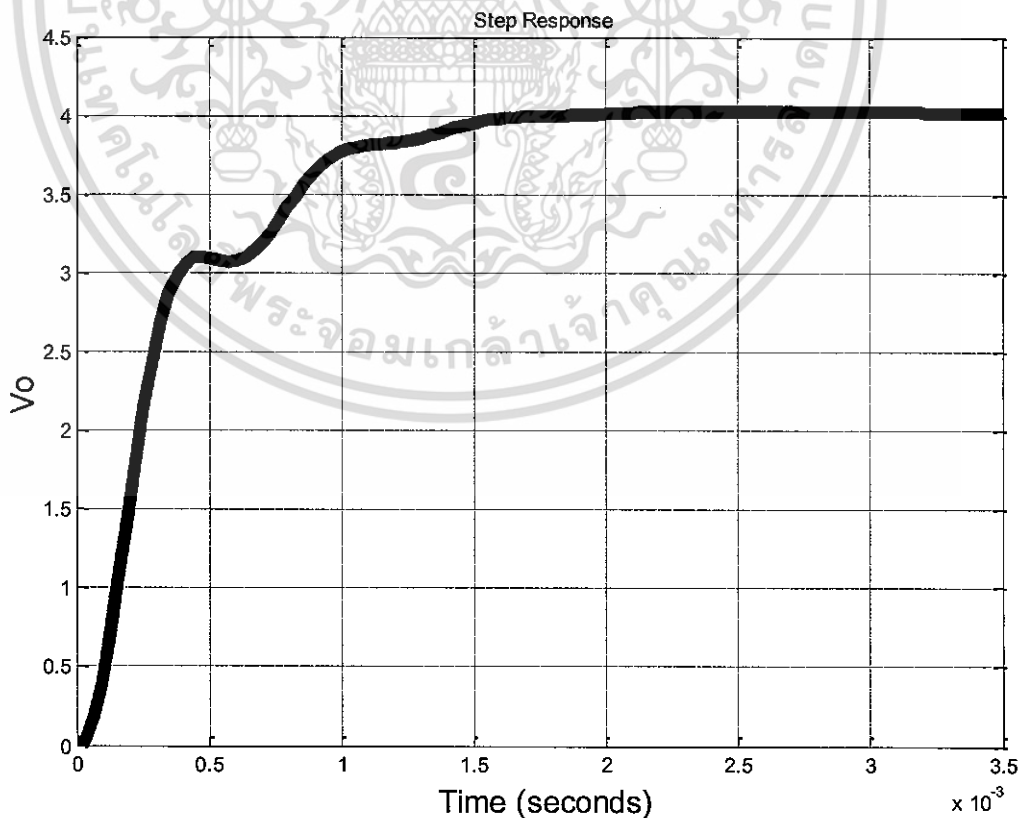
จากข้อความข้างต้นสามารถสรุปค่าของตัวควบคุมที่นำเสนอและตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE) ได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าตัวควบคุมที่นำเสนอและตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE)

ตัวควบคุมแบบที่นำเสนอ	$0.03941 + \frac{358.1}{s}$
ตัวควบคุมแบบ ISE	$0.26960 + \frac{779.0}{s}$
ตัวควบคุมแบบ IAE	$0.16260 + \frac{701.8}{s}$
ตัวควบคุมแบบ ITSE	$0.11800 + \frac{728.0}{s}$
ตัวควบคุมแบบ ITAE	$0.10600 + \frac{698.1}{s}$

### 3.5 การจำลองผลตอบสนองของตัวควบคุมที่นำเสนอ

จากค่าตัวควบคุมที่ออกแบบนำมาแทนในรูประบบวงปิดที่ใช้ในการออกแบบตามรูปที่ 3.12 โดยใช้ฟังก์ชันขั้นบันไดที่มีขนาด 4 หน่วยเป็นอินพุตได้ผลตอบสนองดังต่อไปนี้

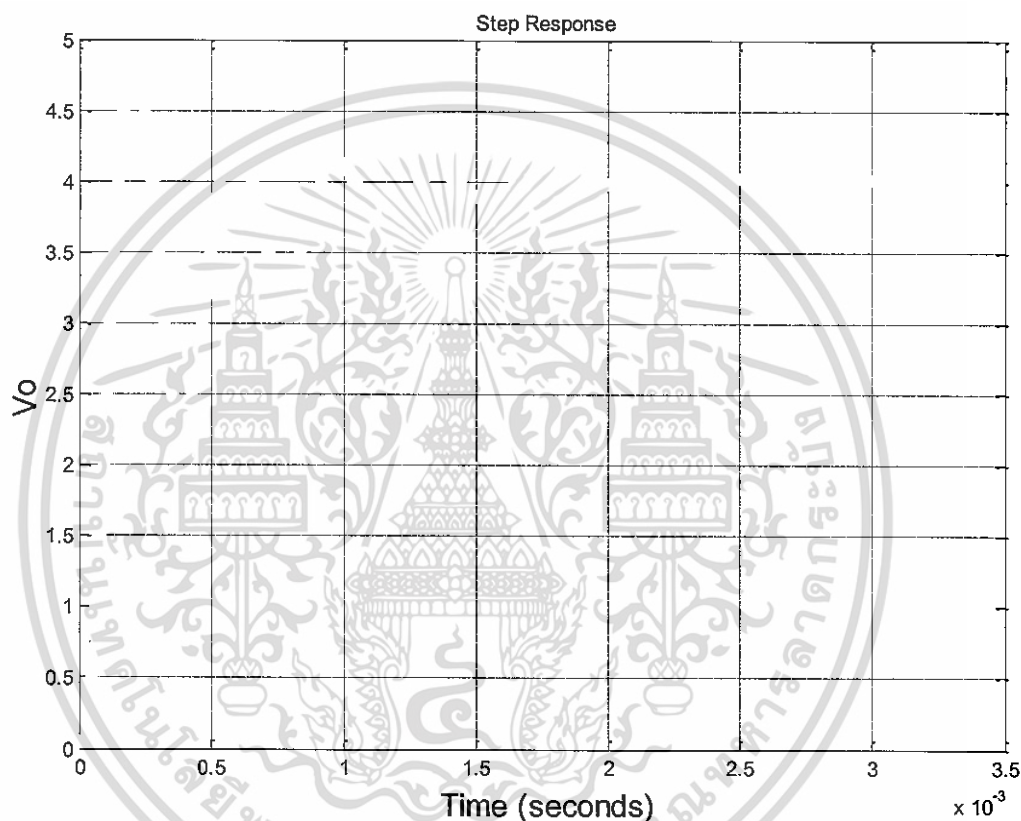


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 3.15 การจำลองผลตอบสนองของตัวควบคุมที่นำเสนอ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.15 พบว่าผลตอบสนองเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินมีค่าเท่ากับ 0.683 เวลาขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.381 มิลลิวินาที และเวลาเข้าสู่สมดุลงมีค่าเท่ากับ 1.43 มิลลิวินาที

### 3.6 การจำลองผลตอบสนองตัวควบคุมแบบ ISE, IAE, ITSE, ITAE

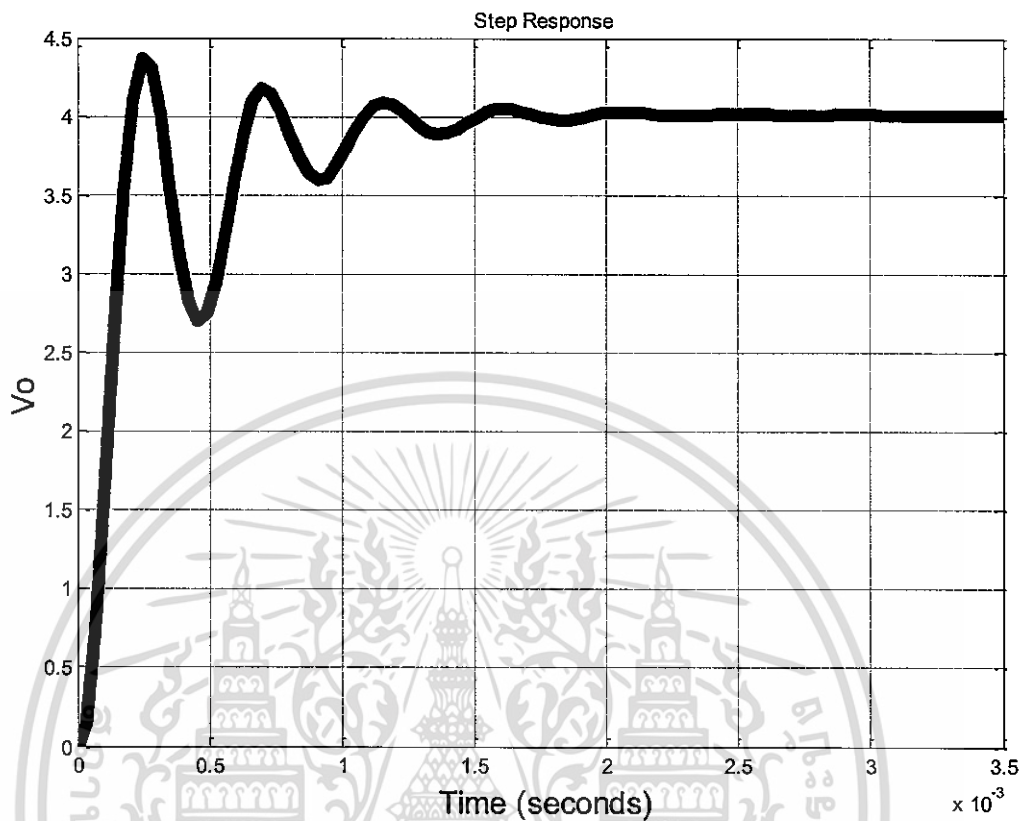
#### 3.6.1 แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE)



รูปที่ 3.16 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE)

จากรูปที่ 3.16 พบว่าผลตอบสนองเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินมีค่าเท่ากับ 22.7 เวลาขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.0915 มิลลิวินาทีและเวลาเข้าสู่สมดุลงมีค่าเท่ากับ 1.6 มิลลิวินาที

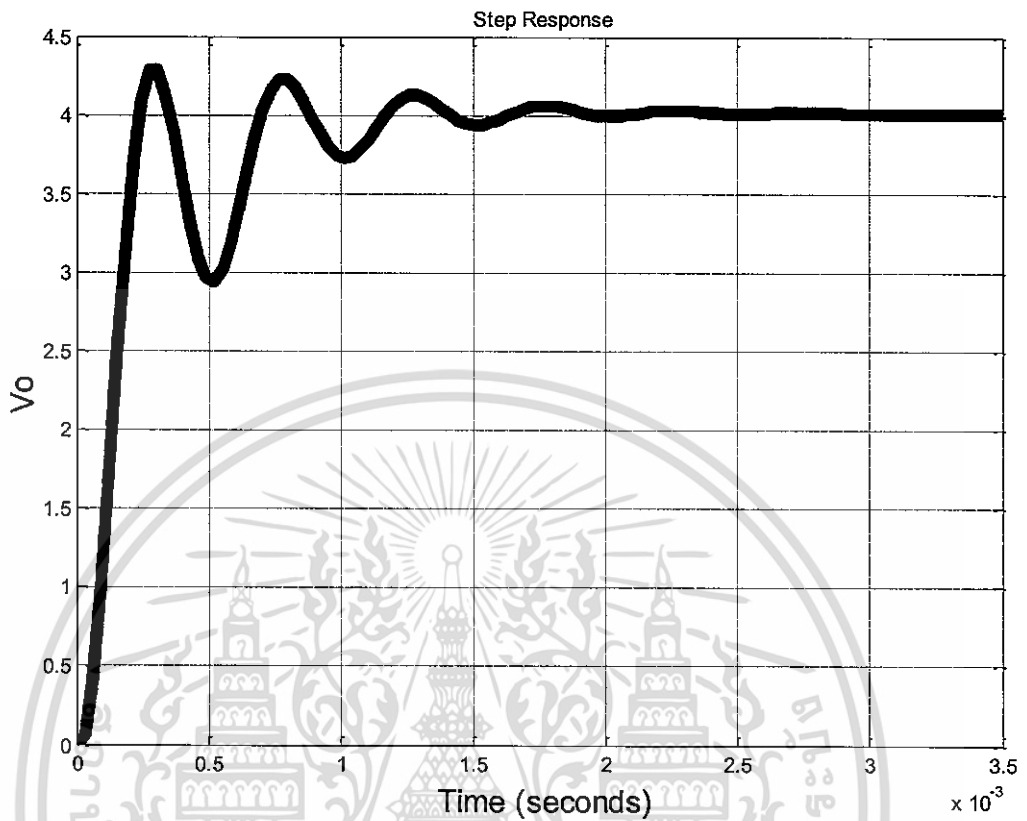
### 3.6.2 แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE)



รูปที่ 3.17 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE)

จากรูปที่ 3.17 พบว่าผลตอบสนองเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินมีค่าเท่ากับ 9.15 เวลาขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.128 มิลลิวินาทีและเวลาเข้าสู่สมดุลงมีค่าเท่ากับ 1.44 มิลลิวินาที

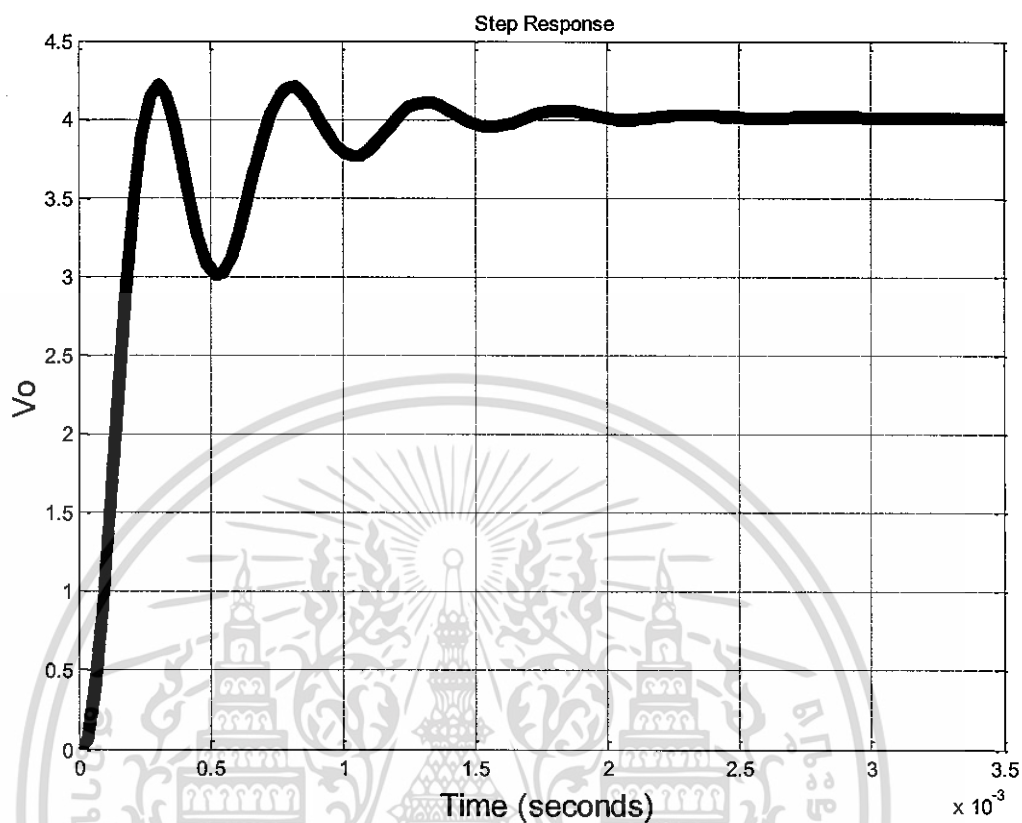
### 3.6.3 แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE)



รูปที่ 3.18 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE)

จากรูปที่ 3.18 พบว่าผลตอบสนองเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินมีค่าเท่ากับ 7.6 เวลาขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.148 มิลลิวินาทีและเวลาเข้าสู่สมดุลย์มีค่าเท่ากับ 1.35 มิลลิวินาที

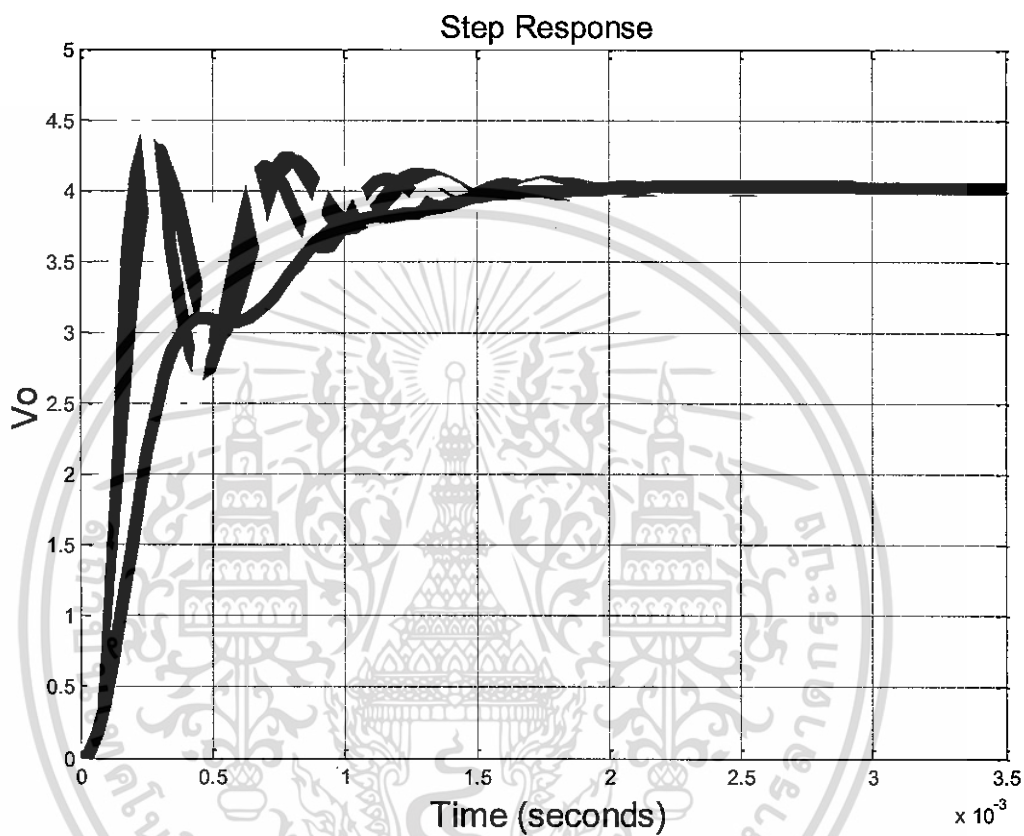
### 3.6.4 แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ด้วยเวลา (ITAE)



รูปที่ 3.19 ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์  
ด้วยเวลา (ITAE)

จากรูปที่ 3.19 พบว่าผลตอบสนองเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินมีค่าเท่ากับ 5.36 เวลาขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.158 มิลลิวินาทีและเวลาเข้าสู่สมดุลงมีค่าเท่ากับ 1.38 มิลลิวินาที

3.7 เปรียบเทียบการจำลองผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบที่นำเสนอและแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE)



รูปที่ 3.20 ผลตอบสนองของตัวควบคุม แบบที่นำเสนอ (สีแดง)

แบบ ISE (สีเหลือง) แบบ IAE (สีน้ำเงิน) แบบ ITSE (สีชมพู) แบบ ITAE (สีเขียว)

การออกแบบตัวควบคุมที่นำเสนอเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE) แสดงตามรูปที่ 3.20 พบว่าตัวควบคุมที่นำเสนอนั้นมีเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินน้อยกว่าและเวลาเข้าสู่สมดุลย์มีความใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE)

## สรุป

การออกแบบตัวควบคุมที่นำเสนอใช้ขั้นตอนทางพันธุกรรมหาตัวควบคุมให้กับวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดเพื่อให้ได้ผลตอบสนองเป็นไปตามโมเดลอ้างอิง วิธีการนี้ทำให้ง่าย สะดวก สามารถกำหนดรูปแบบผลตอบสนอง กำหนดโครงสร้างของตัวควบคุมได้ หากไม่ต้องการตัวควบคุมแบบพีไอก็สามารถกำหนดเป็นแบบอื่นได้ตามความต้องการพร้อมกันนั้นตัวควบคุมที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับสมรรถนะด้านเวลากับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE) ดังแสดงตามรูปที่ 3.21 พบว่าตัวควบคุมที่นำเสนอให้ผลตอบสนองที่เหนือกว่าโดยมีเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินน้อยกว่าส่วนเวลาขึ้นและเวลาเข้าสู่สมดุลย์มีความใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบอื่น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE)

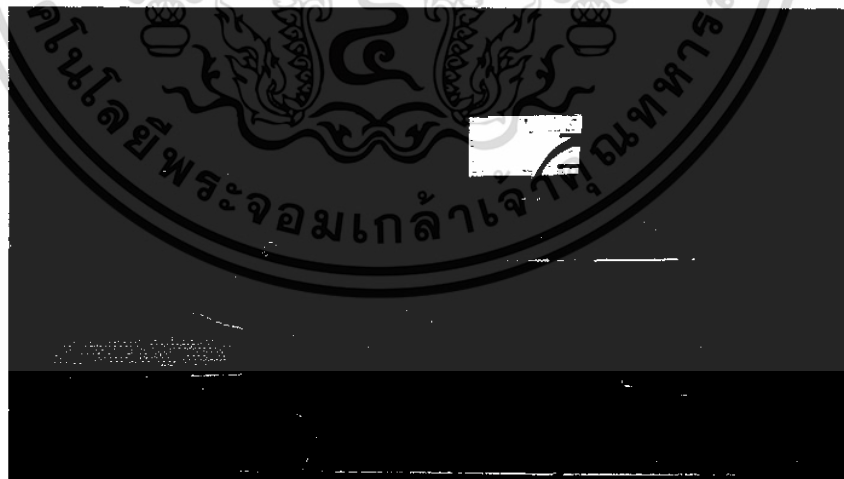
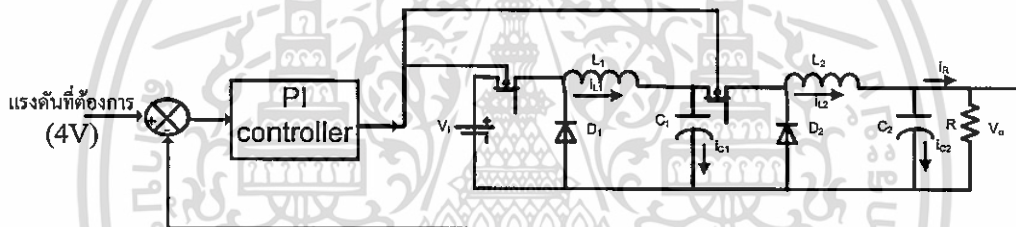


## บทที่ 4

### การทดสอบการทำงาน

จากบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงและนำเสนอในหัวข้อต่าง ๆ ดังนี้ บทที่ 1 ให้เนื้อหาของบทนำ บทที่ 2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ในบทที่ 3 เทคนิคการนำเสนอ เพื่อทำให้เกิดความน่าเชื่อถือและพิสูจน์ความถูกต้องแม่นยำของการจำลอง ในบทนี้จึงทำการทดลองตัวควบคุมที่นำเสนอและเปรียบเทียบผลการจำลองของตัวควบคุมที่นำเสนอกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE)

#### 4.1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคดที่สร้างขึ้นพร้อมตัวควบคุม

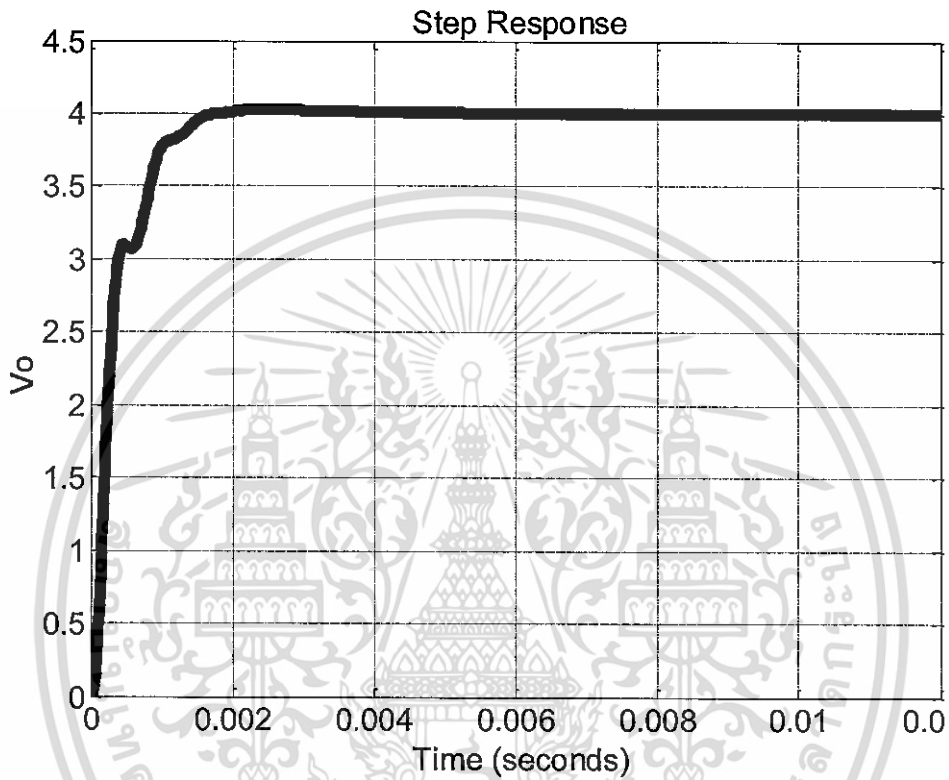


รูปที่ 4.1 วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด ที่สร้างขึ้นพร้อมตัวควบคุม

จากรูปที่ 4.1 ทำการสร้างวงจรซึ่งประกอบไปด้วยสองส่วนหลัก ส่วนแรกคือวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดแรงดันแบบแคสเคด ส่วนที่สองคือส่วนควบคุมวงจรมิว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิทยานิพนธ์ใช้อุปกรณ์การ์ดอินเตอร์เฟซสำหรับควบคุมแบบเวลาจริง DSPACE รุ่น DS1104 (ศึกษาได้ในภาคผนวก) ใช้ค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.1 หลังจากนั้นทำการทดลองระบบเพื่อหาผลตอบสนองของระบบแล้วนำไปวิเคราะห์หาผลการทดลอง

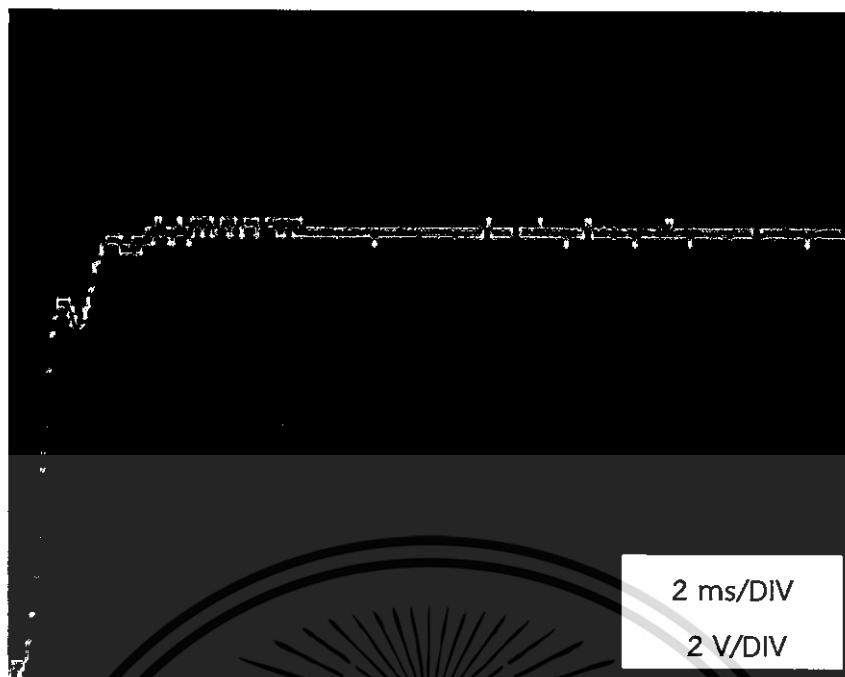
#### 4.2 ผลตอบสนองของตัวควบคุมที่นำเสนอ



(ก)  
รูปที่ 4.2 ผลตอบสนองของตัวควบคุมที่นำเสนอ (2ms/div)

(ก) การจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.2(ต่อ) ผลตอบสนองของตัวควบคุมที่นำเสนอ (2ms/div)

(ข) การทดลอง

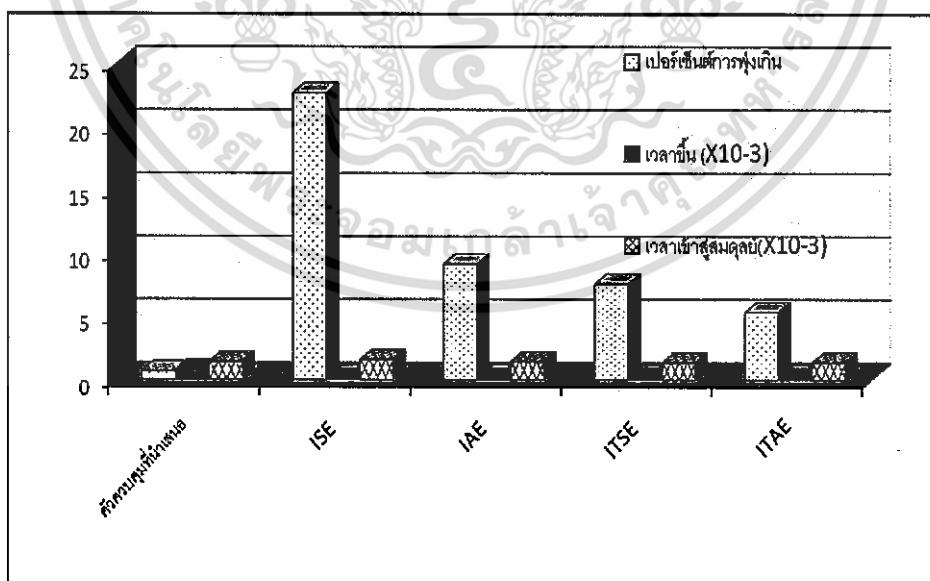
จากรูปที่ 4.2(ก) เกิดมาจากการจำลองในบทที่ 3 ซึ่งพบว่าผลตอบสนองเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินมีค่าเท่ากับ 0.683 เวลาขึ้นมีค่าเท่ากับ 0.381 มิลลิวินาทีและเวลาเข้าสู่สมดุลงมีค่าเท่ากับ 1.43 มิลลิวินาที ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองดังรูปที่ 4.2(ข)

จากรูปที่ 3.20 ในบทที่ 3 แสดงผลตอบสนองสมรรถนะของตัวควบคุมที่นำเสนอเปรียบเทียบกับ แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE) เมื่อนำค่าสมรรถนะทางเวลามาพิจารณาพบว่าตัวควบคุมที่นำเสนอให้ค่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินเล็กน้อยมีช่วงเวลาขาขึ้นและช่วงเวลาเข้าสู่สมดุลงใกล้เคียงกับตัวควบคุมที่ได้จากวิธีการแบบอื่นและนอกจากนี้ยังจะเห็นได้ว่าผลการทดลองให้ค่าผลตอบสนองด้านสมรรถนะที่เป็นไปตามตารางที่ 4.2 และยิ่งเห็นได้ชัดเจนเมื่อนำค่าจากตารางที่ 4.2 มานำเสนอในรูปของกราฟแห่งดังรูปที่ 4.3 ซึ่งตัวควบคุมที่นำเสนอให้ค่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินเล็กน้อยไม่ถึง 1 เปอร์เซ็นต์ มีช่วงเวลาขาขึ้นและช่วงเวลาเข้าสู่สมดุลงใกล้เคียงกับตัวควบคุมที่ได้จากวิธีการแบบอื่น ดังนั้นจึงยืนยันว่าได้ผลตอบสนองของตัวควบคุมที่นำเสนอทำงานได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 4.2 ค่าตัวควบคุมของระบบและผลตอบสนองด้านสมรรถนะของตัวควบคุม

แบบของควบคุม	เปอร์เซ็นต์การ พุ่งเกิน	เวลาขึ้น ( $\times 10^{-3}$ )	เวลาเข้าสู่ สมดุล( $\times 10^{-3}$ )
ตัวควบคุมที่นำเสนอ $0.03941 + \frac{358.1}{s}$	0.683	0.781	1.43
ตัวควบคุมแบบ ISE $0.2696 + \frac{779}{s}$	22.7	0.0915	1.6
ตัวควบคุมแบบ IAE $0.1626 + \frac{701.8}{s}$	9.15	0.128	1.44
ตัวควบคุมแบบ ITSE $0.118 + \frac{728}{s}$	7.6	0.148	1.35
ตัวควบคุมแบบ ITAE $0.106 + \frac{698.1}{s}$	5.36	0.158	1.38

การเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละตัวควบคุมโดยนำค่ามาจากตารางที่ 4.2 ตัวควบคุมที่นำเสนอให้ค่าที่ดีที่สุดและเหนือกว่าตัวควบคุมแบบอื่นมาจัดให้อยู่ในกราฟแท่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.3

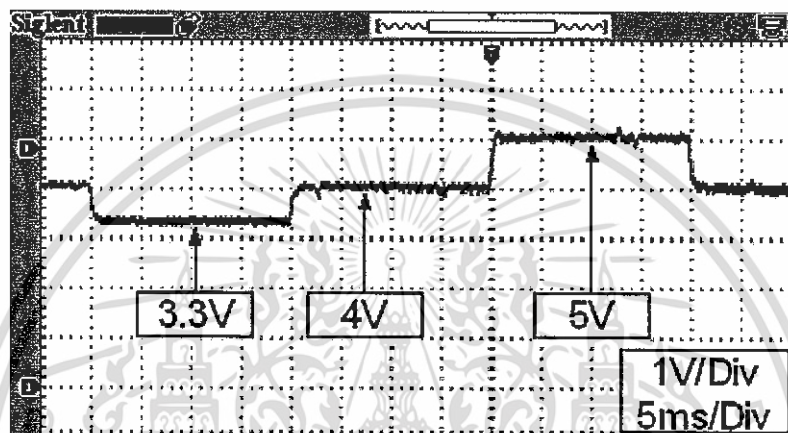


รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ทดลองเปลี่ยนจุดทำงาน

เพื่อเป็นการพิสูจน์ถึงความสามารถในการควบคุมเอาต์พุตของตัวควบคุมที่นำเสนอรูปที่ 4.4 แสดงการทดลองควบคุมระบบ ด้วยการเปลี่ยนค่าความต้องการของเอาต์พุตโดยทำการเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าด้านออกเป็น 3.3 โวลต์, 4 โวลต์, 5 โวลต์ ตามลำดับทำให้ได้ผลตอบสนองตามรูปที่ 4.4 ซึ่งเห็นได้ว่ระบบตอบสนองต่อความต้องการเป็นไปอย่างแม่นยำแม้ว่าทำการเปลี่ยนจุดทำงานอย่างฉับพลันนั้น ตัวควบคุมที่นำเสนอสามารถทำงานได้ดีเยี่ยมที่แรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์, 4 โวลต์, 5 โวลต์



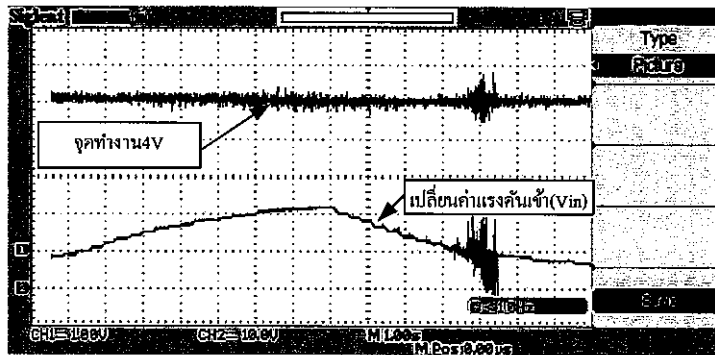
รูปที่ 4.4 ผลตอบสนองจากการทดลองเปลี่ยนจุดทำงาน  
ที่ตำแหน่งแรงดัน 3.3 โวลต์, 4 โวลต์, 5 โวลต์

### 4.4 ทดลองเปลี่ยนแหล่งจ่ายแรงดันพร้อมรักษาแรงดันด้านออกให้คงที่

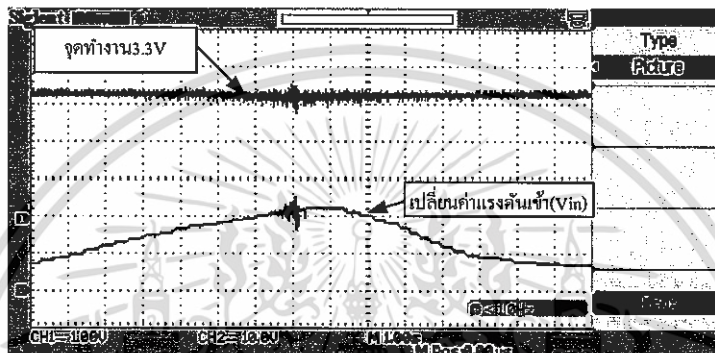
เพื่อเป็นการทดสอบความสามารถในการควบคุมผลตอบสนองให้คงที่ตามที่ต้องการแม้มีการเปลี่ยนแปลงแหล่งจ่ายแรงดันให้กับระบบซึ่งในงานนำไปใช้งานจริงระบบอาจไม่สามารถหาแหล่งจ่ายแรงดันได้ตามที่ออกแบบได้ดั่งนั้นเพื่อเป็นการรองรับแหล่งจ่ายแรงดันที่กว้างแต่ยังให้แรงดันออกให้คงที่เป็นไปตามต้องการ การทดลองแบ่งเป็น 3 แบบ คือ

แบบที่หนึ่งตั้งค่าแรงดันที่ต้องการคือ 4 โวลต์ แล้วทำการเปลี่ยนแหล่งจ่ายแรงดันตามรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าวงจรให้แรงดันเป็นไปตามที่ตั้งค่าจุดทำงาน 4 โวลต์ เสมอแม้มีการเปลี่ยนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ ถึง 24 โวลต์

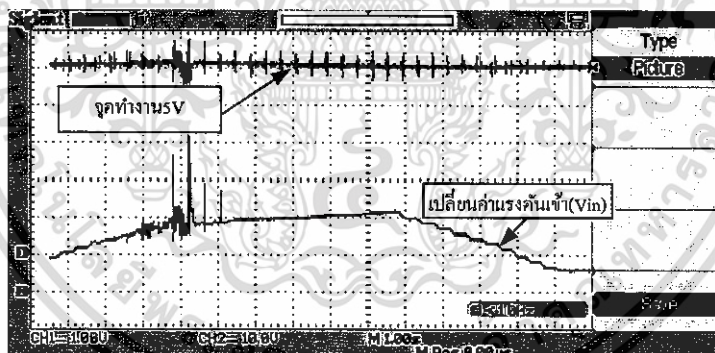
การทดลองแบบที่สองและแบบที่สามทำการทดลองเช่นเดียวกับแบบที่หนึ่งแต่จะทำการเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการเป็น 3.3 โวลต์ และ 5 โวลต์ ทำให้ได้ผลการทดลองแสดงได้ตามรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้นั้นมีแรงดันไฟฟ้าเป็นไปตามที่ตั้งค่าไว้เสมอถึงแม้มีการเปลี่ยนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจาก 9 โวลต์ ถึง 24 โวลต์



รูปที่ 4.5 จุดทำงาน 4 โวลต์ เปลี่ยนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ ถึง 24 โวลต์



รูปที่ 4.6 จุดทำงาน 3.3 โวลต์ เปลี่ยนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ ถึง 24 โวลต์

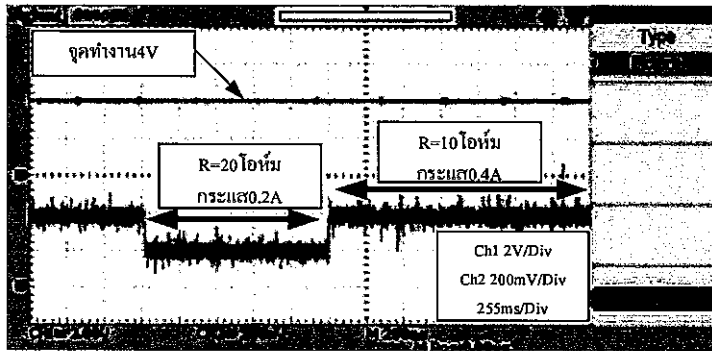


รูปที่ 4.7 จุดทำงาน 5 โวลต์ เปลี่ยนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ ถึง 24 โวลต์

#### 4.5 ทดลองเปลี่ยนโหลดความต้านทานอย่างฉับพลันพร้อมรักษาแรงดันด้านออกให้คงที่

เพื่อเป็นการทดสอบความสามารถในการควบคุมผลตอบสนองให้คงที่ตามที่ต้องการแม้มีการเปลี่ยนแปลงโหลดความต้านทานอย่างฉับพลันให้กับระบบ ซึ่งในการนำไปใช้งานจริงระบบต้องรองรับโหลดความต้านทานที่ไม่คงที่ แต่ยังคงให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกให้คงที่เป็นไปตามต้องการ ดังนั้นการทดลองนี้ตั้งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการคือ 4 โวลต์ แล้วทำการเปลี่ยนโหลดความต้านทานแสดงได้ตามรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าวงจรรักษาแรงดันเป็นไปตามที่ตั้งค่าจุดทำงาน 4 โวลต์ เสมอแม้มีการเปลี่ยนแปลงโหลดความต้านทานแบบฉับพลันจากความต้านทานเท่ากับ 20 โอห์ม เป็นความต้านทานเท่ากับ 10 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้เผยแพร่เห็นแจ้งขอขานการดำเนินการแก้ไขไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนโหลดความต้านทานแบบฉับพลันจาก 20 โอห์ม ไปเป็น 10 โอห์ม

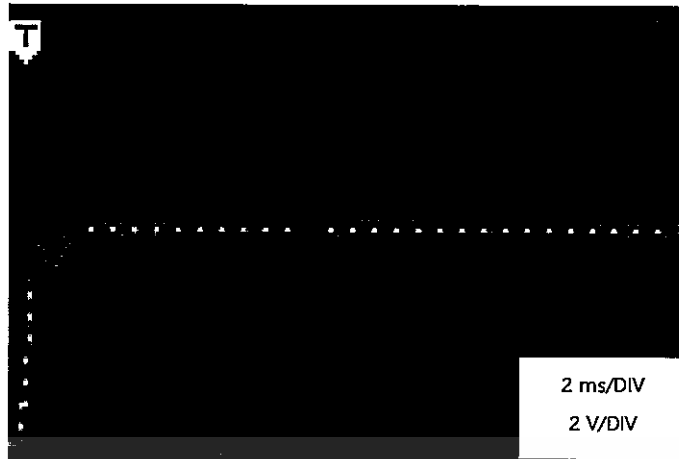
## 4.6 ทดลองเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุให้ต่างจากที่ออกแบบ

### 4.6.1 ตัวต้านทาน



รูปที่ 4.9 เปลี่ยนค่าความต้านทานเป็น 2.5 โอห์ม

จากรูปที่ 4.9 แสดงผลตอบสนองของระบบโดยใช้พารามิเตอร์ในการออกแบบแต่ทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในส่วนของคุณค่าโหลดความต้านทานโดยเปลี่ยนจากค่า 10 โอห์ม ไปเป็น 2.5 โอห์ม นั่นคือการเพิ่มภาระให้กับวงจรซึ่งให้เห็นว่าตัวควบคุมที่นำเสนอสามารถควบคุมผลตอบสนองเป็นไปตามที่ต้องการ



รูปที่ 4.10 เปลี่ยนค่าความต้านทานเป็น 20 โอห์ม

จากรูปที่ 4.10 แสดงผลตอบสนองของระบบโดยใช้พารามิเตอร์ในการออกแบบแต่ทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในส่วนของคุณค่าโพลความต้านทานโดยเปลี่ยนจากค่า 10 โอห์มไปเป็น 20 โอห์ม นั่นคือการลดภาระให้กับวงจรซึ่งให้เห็นว่าตัวควบคุมที่นำเสนอมีผลตอบสนองที่ดีเยี่ยม

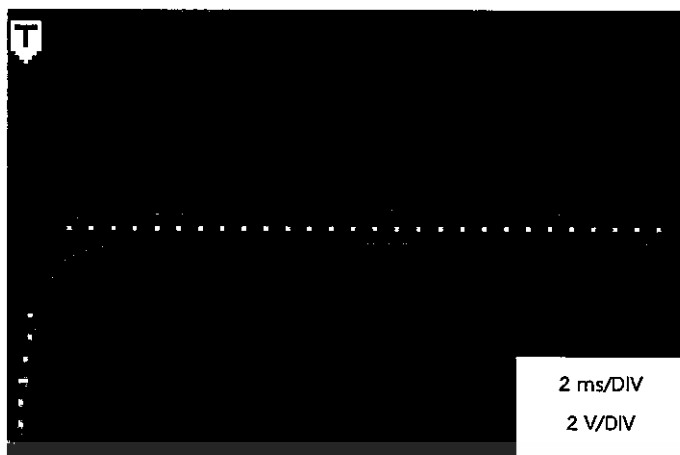
#### 4.6.2 ตัวเก็บประจุ



รูปที่ 4.11 เปลี่ยนค่าความจุเป็น 220 ไมโครฟารัด

จากรูปที่ 4.11 แสดงผลตอบสนองของระบบโดยใช้พารามิเตอร์ในการออกแบบแต่ทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในส่วนของคุณค่าตัวความจุโดยเปลี่ยนจากค่า 93 ไมโครฟารัด ไปเป็น 220 ไมโครฟารัด เมื่อทำการทดลองเห็นว่าตัวควบคุมที่นำเสนอสามารถควบคุมผลตอบสนองเป็นไปตามต้องการมีการแกว่งเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 เปลี่ยนค่าความจุเป็น 10 ไมโครฟารัด

จากรูปที่ 4.12 แสดงผลตอบสนองของระบบโดยใช้พารามิเตอร์ในการออกแบบแต่ทำการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ในส่วนของค่าตัวความจุโดยเปลี่ยนจากค่า 93 ไมโครฟารัด ไปเป็น 10 ไมโครฟารัด เมื่อทำการทดลองเห็นว่าตัวควบคุมที่นำเสนอ สามารถควบคุมระบบให้มีผลตอบสนองที่ดีเป็นไปตามต้องการปราศจากการแกว่ง

### สรุป

การทำงานของตัวควบคุมที่นำเสนอให้ผลตอบสนองของระบบได้ตามการจำลองพร้อมทั้งให้ค่าผลตอบสนองที่เหนือกว่าแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE) ในด้านสมรรถนะการพุ่งเกิน อีกทั้งยังทำงานได้ดีภายใต้เงื่อนไขตัวแปรที่แตกต่างไปจากที่ออกแบบดังต่อไปนี้

1. รักษาแรงดันไฟฟ้าด้านออกได้ตามที่ต้องการ ไม่ว่าจะทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์, 4 โวลต์, 5 โวลต์ และยิ่งไปกว่านั้นยังรักษาแรงดันไฟฟ้าในสถานะที่มีการเปลี่ยนแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า
2. ทำงานได้อย่างดีเป็นไปตามที่ออกแบบไว้ที่แรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์, 4 โวลต์, 5 โวลต์ เมื่อมีการเปลี่ยนโหลดอย่างฉับพลันจาก 20 โอห์ม ไปเป็น 10 โอห์ม
3. ให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่คงที่แรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์, 4 โวลต์, 5 โวลต์ เมื่อมีการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์จากที่ออกแบบไว้เช่น ค่าความต้านทาน ค่าตัวเก็บประจุ

เพื่อพิจารณาทุกปัจจัยที่ทำการทดสอบตัวควบคุมที่นำเสนอจึงเป็นที่ชัดเจนแล้วว่าตัวควบคุมที่นำเสนอนั้นมีการทำงานที่ดีเยี่ยมและทนทาน

## บทที่ 5

# สรุปผลและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผล

จากความต้องการแรงรักษาต้นไฟฟ้าที่ให้มีความแรงต้นไฟฟ้าคงที่ 4 โวลต์ มีวงจรที่ตอบสนองต่อความต้องการคือวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงแบบทั่วไปเมื่อต้องการลดแรงต้นไฟฟ้ามากๆทำให้ต้องปรับลดค่าตัวรีซิสเตอร์ที่ต่ำมากไปด้วยเช่นกันทำให้ยากแก่การควบคุมจึงแก้ปัญหาด้วยการใช้วงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดระดับแรงต้นแบบแคสเคดแทนเพราะสามารถทำงานได้ดีกว่าเมื่อต้องการลดแรงต้นไฟฟ้าที่ต่ำมากค่าตัวรีซิสเตอร์ที่ไม่ต่ำเกินไป แต่แม้กระนั้นวงจรก็ต้องการการทำงานที่แม่นยำ วิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอการออกแบบตัวควบคุม เพื่อนำไปควบคุมการทำงานของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดระดับแรงต้นแบบแคสเคดให้ทำงานได้ดีแม้ถูกรบกวนจากปัจจัยที่ไม่ต้องการ โดยการออกแบบตัวควบคุมที่นำเสนอดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ กำหนดผลตอบสนองของแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดระดับแรงต้นแบบแคสเคดให้มีเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ ค่าเวลาขึ้นและค่าเวลาการเข้าสู่สมดุลง่ายกว่าเล็กน้อย จากนั้นออกแบบวงจรโดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆให้สอดคล้องกับการทำงานไม่ว่าจะเป็นค่าความถี่ของสวิตซ์ให้มากกว่าที่หูของมนุษย์ได้ยิน ค่าความเหนี่ยวนำและค่าตัวเก็บประจุให้เพียงพอต่อการทำงานของระบบแล้วนำมาสร้างวงจรจริงเพื่อตรวจสอบผลตอบสนองหากวงจรทำงานตามที่ต้องการก็นำวงจรไปเข้ากระบวนการระบุเอกลักษณ์ด้วยการเก็บค่าอินพุตและเอาต์พุต ผลที่ได้จากกระบวนการระบุเอกลักษณ์คือค่าฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดระดับแรงต้นแบบแคสเคด แล้วนำค่าฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้ไปสร้างเป็นแบบระบบวงปิดในโปรแกรม MATLAB ซึ่งระบบวงปิดมีตัวควบคุมแบบพีไอคอยควบคุมระบบอยู่แต่ยังไม่ได้กำหนดค่าเพราะรอให้กระบวนการขั้นตอนเชิงพันธุกรรมกำหนดให้ จากนั้นใช้กระบวนการขั้นตอนเชิงพันธุกรรมค้นหาค่าตัวควบคุมที่เหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไขของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ หลังจากดำเนินการออกแบบตามวิธีการข้างต้นแล้วได้ตัวควบคุมจากนั้นนำค่าตัวควบคุมที่ได้ไปจำลองและทดลองได้ผลดังนี้

การจำลองตัวควบคุมที่นำเสนอไปเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE) ในสมรรถนะด้านเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกิน เวลาขึ้นและเวลาเข้าสู่สมดุลง่ายกว่า ได้ผลคือตัวควบคุมที่นำเสนอมีสมรรถนะด้านเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินที่เหนือกว่า เมื่อเทียบกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE) ส่วนสมรรถนะด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อื่นมีค่าใกล้เคียงกันและเมื่อพิจารณาตัวควบคุมเห็นได้ว่ามีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน (ตัวควบคุมแบบพีไอ) ทำให้ง่ายในการนำไปสร้างจริง ทดลองเริ่มจากในวงจรทำงานตามทีออกแบบแรงดันไฟฟ้าด้านออก เท่ากับ 4 โวลต์ ผลปรากฏว่าเป็นไปตามที่จำลองคือมีค่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ให้ค่าเวลาขาขึ้นและค่าเวลาการเข้าสู่สมดุลที่รวดเร็ว เห็นได้ว่าระบบสามารถทำงานดีตามที่ออกแบบไว้ และเพื่อเป็นการพิสูจน์ว่าวงจรสามารถทำงานได้แม้อยู่ภายใต้เงื่อนไขที่เปลี่ยนแปลงไปดังต่อไปนี้

1. เมื่อแหล่งจ่ายแรงดันไม่เท่ากับ 16 โวลต์ ทดลองด้วยการตั้งค่าแรงดันเอาต์พุต เป็น 3 กรณี คือ 3.3 โวลต์, 4 โวลต์ 5 โวลต์ ตามลำดับแล้วเปลี่ยนแรงดันแหล่งจ่ายประมาณ 9 โวลต์ ไปที่ 24 โวลต์ พบว่าวงจรสามารถคงค่าแรงดันเอาต์พุตทั้ง 3 กรณีได้เป็นอย่างดี แม้มีการเปลี่ยน แหล่งจ่าย

2. เมื่อเปลี่ยนโหลดแบบฉับพลัน ทดลองโดยควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้มีค่าคงที่ เท่ากับ 4 โวลต์จากนั้นทำการเปลี่ยนโหลดแบบฉับพลันจาก 20 โอห์ม เป็น 10 โอห์ม ผลการทดลอง พบว่าแรงดันเอาต์พุตคงที่ 4 โวลต์ตามต้องการ

3. เปลี่ยนค่าความต้านทานและค่าตัวเก็บประจุจากค่าเดิมที่ออกแบบไว้ ทดลองโดย ควบคุมแรงดันเอาต์พุตให้มีค่าคงที่เท่ากับ 4 โวลต์ ผลที่ได้คือตัวควบคุมสามารถควบคุมแรงดัน เอาต์พุต 4 โวลต์ เป็นไปตามที่ต้องการได้

วิทยานิพนธ์นี้ประสบความสำเร็จในการออกแบบตัวควบคุมสำหรับวงจรแปลงผันไฟฟ้า กระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงลดระดับแรงดันแบบแคสเคดให้มีผลตอบสนองเป็นไปตามความ ต้องการ มีความแม่นยำของแรงดันด้านออกแม้มีปัจจัยต่างๆที่มารบกวนระบบและยังทำงานได้ดีเยี่ยม เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัล ของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบ อินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE) ส่วนการนำไปประยุกต์ใช้งานสามารถนำไปเป็น แหล่งจ่ายให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ต้องการแรงดันไฟฟ้า 3.3 โวลต์หรือ 5 โวลต์ได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การออกแบบตัวควบคุมที่นำเสนอเห็นได้ว่าพิจารณาเพียงสมรรถนะด้านเวลา หากมีการนำ สมรรถนะด้านความถี่และปัจจัยด้านส่วนเพื่อเสถียรภาพมาร่วมพิจารณาด้วยจะทำให้การวิเคราะห์ การออกแบบตัวควบคุมมีมิติและความแตกต่างเพิ่มมากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Veerachary, M. 2005. "Modelling and analysis of cascade step-down converters. Electric Power Applications". IEE Proceedings -Volume 152, 2005: 41-50.
- [2] Schmidt, Wolfgang. 2008. "DC DC Converter for Hybrid Vehicle Applications". **Integrated Power Systems (CIPS)**, Nuremberg, Germany, Mar. 11-13, 2008: 1-3.
- [3] Lurkens, P. 2004. "Soft-switching preconditioner with integrated DC DC-converter". **IEEE 35th Power Electronics Specialists Conference**, 2004. Volume: 5, Aachen, Germany, Jun. 20-25, 2004: 4031 - 4036.
- [4] Jafari, M., Malekjamshidi, Z., Jian Guo Zhu. 2012. "Design, simulation and implementation of an intelligent MPPT using a ZVCS resonant DC DC converter". **IEEE International Conference on Power and Energy (PECon)**, Kota Kinabalu Sabah, Malaysia, Dec. 2-5, 2012: 280 - 285.
- [5] J. A. Morales-Saldana; E. E. C. Gutierrez; J. Leyva-Ramos. 2002 "Modeling of Switch-Mode DC-DC Cascade Converters". **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, Volume: 38: 295 – 299.
- [6] N. S. Rathore; V. P. Singh; D. P. S. Chauhan 2015. "ISE based PID Controller Tuning for Position Control of DC Servo-Motor using LJ" **International Conference on Signal Processing, Computing and Control (ISPCC)**,: 125 – 128.
- [7] F. Leonard 1997. "An IAE optimum control tuned by one parameter" **European Control Conference (ECC)**,:802-806
- [8] F. C. Ferreira; T. R. Nascimento; M. F. Santos; N. F. S. Bem; V. C. Reis 2016. "Anti wind-up techniques applied to real tank level system performed by PI controllers" **20th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC)**,:263-268.

## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- [9] "Niassati, N., Bagher, M., Sadati, A.M., Hajhosseinlu, A. , Afjei, E. 2012. "Improvement of output voltage and input current for a matrix converter using genetic algorithm". Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems, Bangkok, Thailand, May. 27-31, 2012: 238 - 242.
- [10] Ten, V., Matkarimov, B., Isembergenov, N. 2014. "Using genetic algorithm and single-phase multilevel DC/AC converter for the fuel cells supporting system". 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, Antalya, Turkey, Sep. 21-24, 2014: 600 - 603.
- [11] วิบูลย์ แสงวีระพันธุ์ศิริ. 2538. การควบคุมระบบพลศาสตร์. กรุงเทพฯ :สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [12] Lennart Ljung. 2014. System Identification Toolbox™ User's Guide.;pp886.
- [13] วีระเชษฐ์ ชันเงิน วุฒิพล ธาราธิรเศรษฐ์. 2553. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. กรุงเทพฯ : ห้างหุ้นส่วนจำกัด วี.เจ. พรินตติ้ง.
- [14] โคทม อารียา. 2554. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง2. กรุงเทพฯ :บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน).



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

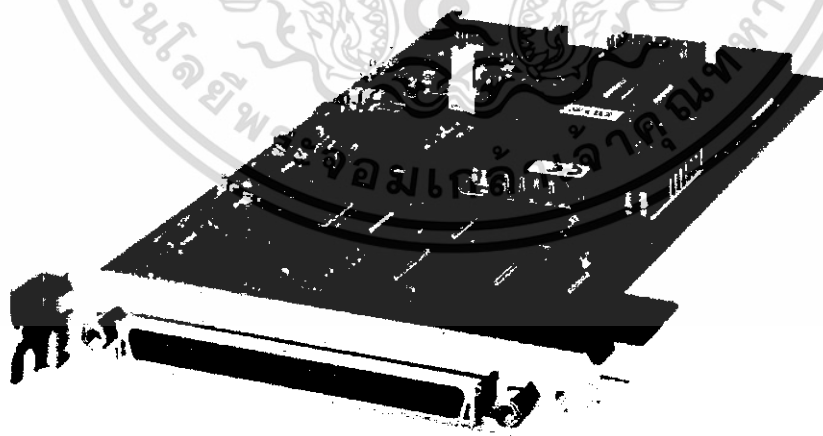


ภาคผนวก ก  
การ์ตูนอินเตอร์เฟสสำหรับควบคุมแบบเวลาจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

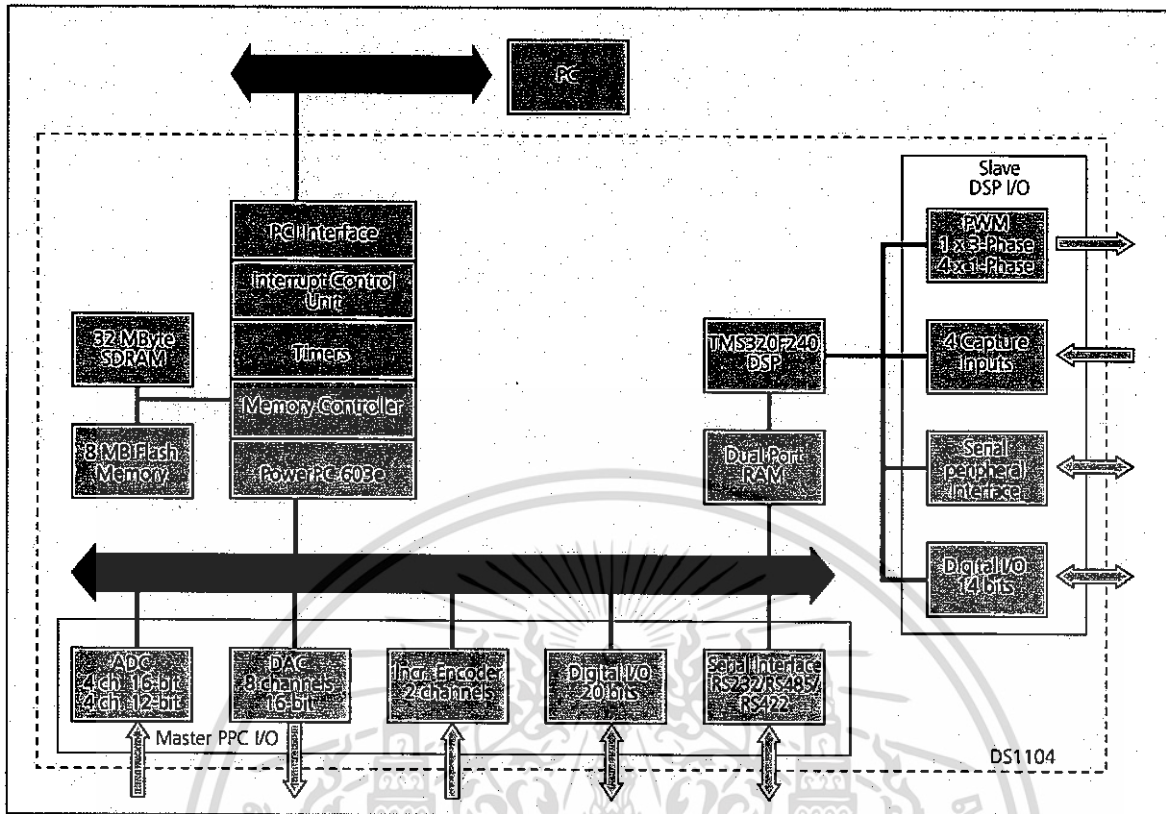
## การ์ดอินเทอร์เฟสสำหรับควบคุมแบบเวลาจริง

การออกแบบระบบควบคุมเมื่อดำเนินการออกแบบจนได้ตัวควบคุมตามที่ต้องการ จากนั้นนำค่าตัวควบคุมที่ได้ไปทำการทดสอบเพื่อยืนยันผลที่ได้จากตัวควบคุมที่ออกแบบซึ่งการออกแบบในส่วนที่ยังปีนงานที่เป็นต้นแบบต้องมีการทดสอบมากมายหลายครั้งไม่ว่าจะใช้ทดสอบที่เงื่อนไขที่ออกแบบหรือภายใต้เงื่อนไขที่ปรับเปลี่ยนไปตามสิ่งแวดล้อมที่เข้ามาพิจารณาร่วมด้วยรวมไปถึงกระบวนการที่ต้องเก็บผล การแสดงค่า การสร้างตัวควบคุม สร้างสัญญาณอื่นๆ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความรวดเร็ว แม่นยำ ถูกต้อง และไม่ยุ่งยากในขั้นตอนของการออกแบบตัวควบคุมต้นแบบนั้นจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ให้ความสะดวกในการทำงานซึ่งทั่วไปนั้นสามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมได้แต่ก็จะต้องดำเนินการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมที่มีความยุ่งยากพอสมควรซึ่งอาจไม่เหมาะกับงานทดลอง วิจัย หรืองานที่อยู่ในขั้นตอนของงานต้นแบบ ดังนั้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการนี้จึงเป็นการเหมาะสมอย่างยิ่งที่ต้องนำการ์ดอินเทอร์เฟสสำหรับควบคุมแบบเวลาจริง เข้ามาใช้งานซึ่งวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้การ์ดอินเทอร์เฟส DSPACE รุ่น DS1104 ดังรูปที่ 1 เมื่อนำมาใช้ต้องติดตั้งในคอมพิวเตอร์ผ่านการเชื่อมต่อแบบพีซีไอ (PCI) โดยมีการทำงานร่วมกับโปรแกรมแมทแลบ ซิมูลิงค์ (Matlab/Simulink) ซึ่งโปรแกรมนี้สามารถใช้ในการจำลองทางด้านงานวิศวกรรมด้านต่างๆมากมายรวมถึงในงานระบบควบคุมด้วย ดังนั้นเมื่อใช้โปรแกรมแมทแลบ ซิมูลิงค์ ในการจำลองแล้วก็สามารถดำเนินการเชื่อมต่อออกไปควบคุมระบบจริงที่อยู่ภายนอกได้แบบเวลาจริง (real time) ส่งผลทำให้งานออกแบบระบบเป็นไปอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 1 การ์ดอินเทอร์เฟส DSPACE รุ่น DS1104 (ที่มา [www.dspspace.com](http://www.dspspace.com))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมของการ์ดอินเตอร์เฟส DSPACE รุ่น DS1104 (ที่มา [www.dspace.com](http://www.dspace.com))

รูปที่ 2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของการ์ดอินเตอร์เฟส DSPACE รุ่น DS1104 ซึ่งมีโครงสร้างการเชื่อมต่อของข้อมูลมีช่องสัญญาณอินพุต เอาท์พุต ให้ใช้มากมายรวมถึงข้อเด่นที่สำคัญบนบอร์ดของการ์ดอินเตอร์เฟส DSPACE รุ่น DS1104 มีโปรเซสเซอร์หลักของตัวเองอยู่แล้ว ทำให้สามารถใช้คาบเวลาในการสุ่มได้น้อยถึงระดับไมโครวินาที ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้งานในส่วนของการสร้างสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชัน (pwm) และช่องสัญญาณการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเข้ามามีส่วนร่วมในการวิจัย

สรุปการใช้งานการ์ดอินเตอร์เฟส DSPACE รุ่น DS1104 ร่วมกับโปรแกรมแมทแลบ ซิมูลิงค์ (Matlab/Simulink)

ขั้นตอนที่ 1 สร้างบล็อกไดอะแกรมการทำงานในโปรแกรมแมทแลบ ซิมูลิงค์ (Matlab/Simulink)

ขั้นตอนที่ 2 จำลองการทำงานบนโปรแกรมเพื่อหาผลตอบสนอง

ขั้นตอนที่ 3 เชื่อมโปรแกรมแมทแลบ ซิมูลิงค์ (Matlab/Simulink) ต่อกับการ์ดอินเตอร์เฟส DSPACE รุ่น DS1104 แล้วดาวน์โหลดโค้ดจากโปรแกรมแมทแลบ ซิมูลิงค์ (Matlab/Simulink) เข้าไปที่การ์ดอินเตอร์เฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 4 การ์ดอินเตอร์เฟสทำงานเป็นไปตามที่เขียนในโปรแกรมแมทแลบซิมูลิงค์  
(Matlab/Simulink)

ขั้นตอนที่ 5 หากต้องการแก้ไขการทำงานให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 1 ถึง 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## การควบคุมสำหรับวงจรสเตปดาวน์คอนเวอเตอร์แบบคาสเคดด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

### Control for Cascade step-down converters using Genetic Algorithm

สุรตติกา สุวรรณพรหม<sup>1\*</sup>, อнуวัฒน์ จางวนิทธิ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

\*Sr.suratikam@gmail.com

Surattikam Suwanprom<sup>1</sup>, Anuwat Jangwanitert<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Department of Electrical, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Bangkok, Thailand

\*E-mail of corresponding author: Sr.suratikam@gmail.com

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการควบคุมวงจรสเตปดาวน์คอนเวอเตอร์แบบคาสเคดด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมถูกนำมาใช้หาคำควบคุมโดยการลดค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มาจากผลต่างระหว่างโมเดลอ้างอิงกับผลตอบสนองของกระบวนการ การจำลองและการทดลองยืนยันสมรรถนะของการออกแบบตัวควบคุมที่นำเสนอ

คำหลัก วงจรสเตปดาวน์คอนเวอเตอร์แบบคาสเคด, ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม, โมเดลอ้างอิง

#### Abstract

The control of Cascade step-down converters is presented. Genetic Algorithm is applied to find the controller by minimizing objective functions that is the error between model reference and process output signal. In addition, the simulation and experimental results verify the performance of the proposed controller.

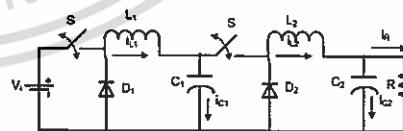
Keywords: Cascade step-down converters, Genetic Algorithm, model reference

#### 1. บทนำ

สวิทช์โหมดเพาเวอร์ชิปหลายถูกใช้อย่างมากมายซึ่งมีความได้เปรียบเรื่องขนาด ประสิทธิภาพ และน้ำหนัก ซึ่งมีอยู่กลุ่มหนึ่งที่มีความน่าสนใจคือวงจรซีทีซีคอนเวอเตอร์ [1], [2], [3], [4] ไม่ว่าจะเป็นงานที่ใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรืองานอื่นๆ อีกมากมายทำให้วงจรจำเป็นที่จะต้องมีความน่าเชื่อถือและมีความถูกต้องแม่นยำขณะทำงานแม้ว่าถูกรบกวนทำให้วงจรจำเป็นต้องมีการออกแบบระบบควบคุม เพื่อให้ได้ผลการทำงานตามที่ต้องการซึ่งในกลุ่มของวงจรซีทีซีคอนเวอเตอร์หากต้องการลดแรงดันไฟฟ้าสามารถใช้อั้วจรทอนแรงดันซึ่งเป็นวงจรที่นิยมใช้กันทั่วไปโดยมีการลดแรงดันโดยการปรับค่าตัวใช้เคลือบบางครั้งแรงดันเข้าวงจรมีค่าสูงหากใช้อั้วจรทอนแรงดันแบบทั่วไปจะต้องทำให้

วงจรทำงานที่ตัวใช้เคลือบที่ต่ำมากทำให้สวิทช์เกิดความเครียด ซึ่งก่อนหน้าที่มีการแก้ปัญหาโดยใช้หม้อแปลงสเตปดาวน์(step-down transformer) แต่ทำให้เกิดปัญหาสวิทช์ชิ่งเชิร์จ(switching surges) มีผลเสียกับอุปกรณ์สวิทช์ซึ่งนั่นจึงแก้ปัญหาด้วยการสร้างวงจรสเตปดาวน์คอนเวอเตอร์แบบคาสเคด[1] โดยสามารถทำงานได้ดีมากในการลดระดับแรงดันให้มีค่าต่ำมากโดยใช้ตัวใช้เคลือบที่ต่ำมากหากเปรียบเทียบกับวงจรทอนแรงดันแบบเดิมดังนั้นเพื่อทำให้วงจรทำงานได้ตามที่ต้องการจึงจำเป็นต้องออกแบบตัวควบคุมการทำงาน บทความนี้เสนอการออกแบบตัวควบคุมสำหรับวงจรสเตปดาวน์คอนเวอเตอร์แบบคาสเคดด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบใช้โมเดลอ้างอิงซึ่งให้ผลตอบสนองที่สมรรถนะที่เหนือกว่าเมื่อเทียบกับการออกแบบตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง(ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์(AE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา(ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา(ITAE) ซึ่งมีมันได้จากผลการจำลองและการทดลอง

#### 2. วงจรสเตปดาวน์คอนเวอเตอร์แบบคาสเคดสองเซลล์ [1]



รูปที่ 1 วงจรสเตปดาวน์คอนเวอเตอร์แบบคาสเคด

เมื่อ  $L$  คือตัวเหนี่ยวนำ  $D$  คือไดโอด  $V_i$  คือแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า  $R$  คือความต้านทาน  $V_o$  คือแรงดันไฟฟ้าด้านออก  $C$  คือตัวเก็บประจุ  $S$  คือสวิทช์

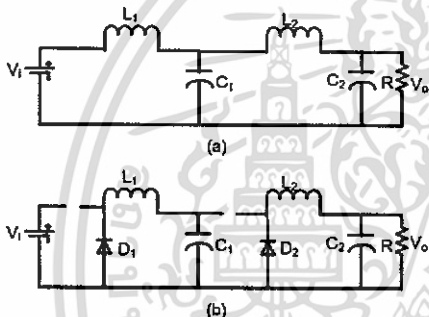
รูปที่ 1 แสดงวงจรสแตคควาน์คอนเวอร์เตอร์แบบคลาสเคตมีการทำงานโดยวงจรรับค่าแรงดันแล้วใช้ตัวใช้เคลิปรับค่าแรงดันด้านออกโดยขั้วสวิทช์ให้ทำงานพร้อมกัน

รูปที่ 2 แสดงการทำงานของวงจร แบ่งการทำงานได้เป็นสองโหมดการทำงานคือโหมดครดคั้งแสดงในรูปที่ 2(a) สวิทช์จะนำกระแสแต่ไดโอดไม่นำกระแส ส่วนโหมดที่สองแสดงในรูปที่ 2(b) สวิทช์จะไม่นำกระแสแต่ไดโอดจะนำกระแสเมื่อพิจารณาความKCL และKVL โดยให้แรงดันตกคร่อมสวิทช์ของสวิทช์และไดโอดขณะนำกระแสมีค่าน้อยมากและไม่นำมาคิดซึ่งทำให้เกิดความสัมพันธ์ตามสมการที่ (1)

$$V_o = D^2 V_i \tag{1}$$

เมื่อ  $V_o$  คือแรงดันออก คือตัวใช้เคลิป คือแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์แรงดันและกระแสทั้งสองโหมด เมื่อไม่เกิดความต้านทานแฝงในตัวอุปกรณ์ [1]  $V_i$



รูปที่ 2 การทำงานของวงจร (a) วงจรขณะสวิทช์นำกระแส (b) วงจรขณะสวิทช์ไม่นำกระแส

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ของแรงดันและกระแส

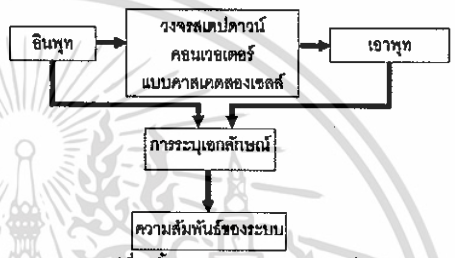
สวิทช์นำกระแส	สวิทช์ไม่นำกระแส
$V_{L1} = V_i - V_{C1}$	$V_{L1} = -V_{C1}$
$V_{L2} = V_{C1} - V_{C2}$	$V_{L2} = -V_{C2}$
$i_{C1} = i_{L1} - i_{L2}$	$i_{C1} = i_{L1}$
$i_{C2} = i_{L2} - i_R$	$i_{C2} = i_{L2} - i_R$

3. การหาเอกลักษณ์ของระบบ

การออกแบบระบบควบคุมแบบเชิงเส้นมีหลากหลายเทคนิค [5] ที่ใช้ในการออกแบบส่วนหนึ่งที่สำคัญซึ่งทำให้การออกแบบมีความแม่นยำและถูกต้องคือผู้ออกแบบต้องเข้าใจและทราบเอกลักษณ์ของระบบที่ทำการออกแบบซึ่งโดยทั่วไปแล้วการระบุเอกลักษณ์ของระบบทำได้โดยการหาความสัมพันธ์ตามสมการ

พีลิสซึ่งให้ความถูกต้องเพียงพอที่จะนำไปออกแบบระบบควบคุมได้แค่หากระบวนการที่ต้องการควบคุมมีการถูกกระทบด้วย ความไม่แม่นยำของการวัดค่าอุปกรณ์ ความเสื่อมโทรมของระบบที่ใช้เวลานาน ดังนั้นหากใช้ความสัมพันธ์ของระบบตามกฎพีลิสก็อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนดังนั้นวิธีการที่จะนำมาระบุเอกลักษณ์ของระบบที่ให้ค่าที่แม่นยำคือการสร้างสมการคณิตศาสตร์ซึ่งใช้ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาท์พุตโดยการเก็บข้อมูลการทดลองโดยตรงทำให้ได้สมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นจริงตามการทดลอง

รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนของการระบุเอกลักษณ์โดยป้อนอินพุตให้กับระบบและทำการวัดผลตอบสนองของระบบแล้วนำสัญญาณอินพุต เอาท์พุต ที่ได้นำไประบุเอกลักษณ์แล้วสุดท้ายจะให้ความสัมพันธ์ของระบบที่เราต้องการ



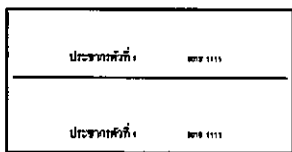
รูปที่ 3 ขั้นตอนของการระบุเอกลักษณ์

4. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม

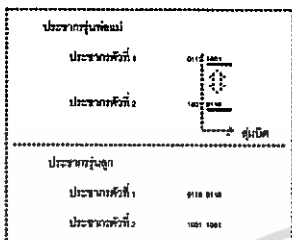
การหาค่าตอบที่เหมาะสมถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหามากมายในด้านหนึ่งที่สำคัญคือการนำไปใช้แก้ปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้นวิธีหนึ่งในนั้นคือวิธีขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม[6], [7] ถูกสร้างจากการเลียนแบบกระบวนการคัดเลือกทางพันธุกรรมพันธุ์ที่ดีและเหมาะสมที่สุดมาเป็นคำตอบตามเงื่อนไขและฟังก์ชันของจุดประสงค์ที่กำหนดการทำงานเริ่มจากการสุ่มค่าคำตอบขึ้นมาเรียกว่าประชากรนำประชากรไปแทนในฟังก์ชันจุดประสงค์ได้ผลลัพธ์เป็นค่าความเหมาะสมเมื่อได้ความเหมาะสมแล้วทำการคัดเลือกพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์เพื่อถ่ายทอดไปยังรุ่นลูก พ่อพันธุ์และแม่พันธุ์ที่ให้ค่าความเหมาะสมสูงจะมีโอกาสถูกเลือกได้มากกว่าหลังจากที่ได้พ่อพันธุ์และแม่พันธุ์แล้วจะนำพ่อพันธุ์และแม่พันธุ์มาผลิตรุ่นลูกได้เป็นประชากรรุ่นใหม่การผลิตรุ่นลูก

รูปที่ 4 แสดงการกระทำทางพันธุกรรมเพื่อผลิตรุ่นลูกมีด้วยกันสามวิธี แบบที่หนึ่งถอดแบบจากต้นแบบคือรุ่นพ่อแม่เป็นอย่างไรรุ่นลูกก็เป็นแบบนั้นแสดงในรูปที่รูปที่ 4(a) แบบที่สองคือแบบผสมข้ามพันธุ์คือใช้รุ่นพ่อแม่สลับบิดซึ่งกันและกันแสดงในรูปที่รูปที่ 4(b) สุดท้ายคือแบบกลายพันธุ์ทำโดยการสุ่มบิดของรุ่นพ่อแม่โดยตรงแสดงในรูปที่รูปที่ 4(c)

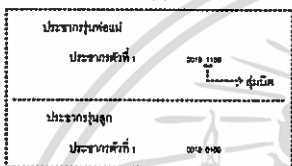
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 4 การกระทำทางพันธุกรรมเพื่อผลิตรุ่นลูก (a) แบบที่ถอดแบบจากต้นแบบ (b) แบบที่ผสมข้ามพันธุ์ (c) แบบที่กลายพันธุ์

5. เทคนิคที่นำเสนอ

งานวิจัยนี้โดยเริ่มจากหาค่าเอกลักษณ์ของระบบ ( $\frac{V_o}{d}$ )

จากนั้นกำหนดโครงสร้างของตัวควบคุมดังต่อไปนี้

$$\text{ตัวควบคุม (Controller)} = K_p + \frac{K_i}{S} \tag{2}$$

เมื่อ  $K_p$ ,  $K_i$  คือค่าคงที่

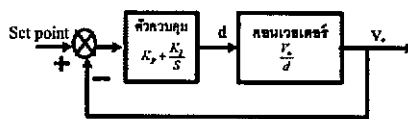
ต่อมาหาความสามารถของขั้นตอนทางพันธุกรรมเพื่อหาค่า  $K_p$  และ  $K_i$  ในรูปที่ 5 ที่ทำให้ได้ผลตอบสนองของระบบ ( ) ใกล้เคียงกับโมเดลอ้างอิงมากที่สุดจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซึ่งมีสมการดังนี้

$$J_{cost} = \int_0^{\infty} [e(t)]^2 dt \tag{3}$$

เมื่อ  $e$  คือ โมเดลอ้างอิง-ผลตอบสนองของระบบ

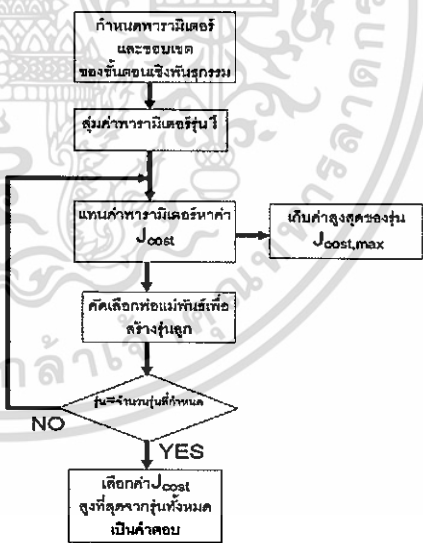
จากสมการที่(3) พบว่าค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ยังมีค่าสูงนั้นหมายความว่าตัวควบคุมดังกล่าวยังจะทำให้ระบบทำงานให้ผลตอบสนองที่มีความใกล้เคียงกับโมเดลอ้างอิงซึ่งโมเดลอ้างอิงนี้หาได้โดยการตรวจสอบสมรรถนะของระบบที่ได้มาจากวิธีที่ต้องการนำมาเปรียบเทียบจากนั้นสร้างโมเดลให้มีสมรรถนะที่ดีกว่าเพื่อเป็นต้นแบบให้กับตัวควบคุมที่นำเสนอ

รูปที่ 5 แสดงวงปิดของการควบคุมโดยเริ่มจากปรับค่าที่ต้องการ (set point) แล้วนำไปหาผลต่างกับผลตอบสนอง ( $V_o$ ) จากนั้นส่งไปที่ตัวควบคุมจะได้สัญญาณขับ ( $d$ ) เพื่อไปขับคอนเวอเตอร์



รูปที่ 5 วงปิดของการควบคุม

รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการหาตัวควบคุมที่นำเสนอโดยการใช้ขั้นตอนทางพันธุกรรมตามารูปแปลงเป็นขั้นตอนดังนี้  
 ขั้นตอนที่ 1 กำหนดพารามิเตอร์และขอบเขตของตัวควบคุมเพื่อใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม หาค่าความเหมาะสมของพารามิเตอร์(การกำหนดค่าขอบเขตผู้ออกแบบต้องมีความรู้หรือเชี่ยวชาญในระบบที่ออกแบบ)  
 ขั้นตอนที่ 2 สุ่มค่าพารามิเตอร์รุ่นที่ 1  
 ขั้นตอนที่ 3 หาค่าฟังก์ชันความเหมาะสมของประชากรทุกตัวโดยประชากรที่มีค่าฟังก์ชันความเหมาะสมสูงสุดจะเป็นคำตอบของรุ่น  
 ขั้นตอนที่ 4 คัดเลือกพ่อแม่พันธุ์และแม่พันธุ์ มาเป็นรุ่นต่อและรุ่นแม่เพื่อถ่ายทอดไปยังรุ่นลูก  
 ขั้นตอนที่ 5 กลับไปทำขั้นตอนที่ 3 หากจำนวนรุ่นเท่ากับรุ่นที่กำหนดให้หยุดโดยประชากรที่ให้ค่าฟังก์ชันความเหมาะสมสูงสุดจะเป็นคำตอบของวิธีการที่นำเสนอ



รูปที่ 6 ขั้นตอนการหาตัวควบคุมโดยใช้ขั้นตอนทางพันธุกรรม

6. ผลการจำลองและทดลอง

ตารางที่ 2 แสดงค่าพารามิเตอร์ของระบบที่ใช้จำลองและทดลองในงานวิจัยนี้ซึ่งประกอบไปด้วย แรงดันอินพุท แรงดันที่ ต้องการ ความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ ตัวรีเซท ค่าความจุ

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ

พารามิเตอร์	ค่าที่ออกแบบ
$V_i$	16 V
$V_{ref\ peak}$	4 V
$R$	10 ohm
$L_1$	124 $\mu$ H
$L_2$	127 $\mu$ H
$D$	0.5
$C_1$	93 $\mu$ F
$C_2$	93 $\mu$ F

เริ่มจากหาเอกลักษณ์ของระบบ(T) ค่าที่ได้คือ

$$T(s) = \frac{-6007s^3 + 6.896 \times 10^3 s^2 + 6.518 \times 10^3 s + 4.36 \times 10^3}{s^4 + 9080s^3 + 1.08 \times 10^8 s^2 + 8.51 \times 10^{10} s + 5.556 \times 10^{12}}$$

(4)

นำสมการเอกลักษณ์ของระบบหาค่าตัวควบคุมด้วยขั้นตอนทางพันธุกรรมโดยกำหนดขอบเขตของการหาค่าความเหมาะสมดังนี้

$$K_p \in [0 \ 1], K_i \in [0 \ 1000]$$

จำนวนรุ่น = 100 รุ่น รุ่นละ 100 ตัว

โมเดลอ้างอิงสร้างจากทรานเฟอร์ฟังก์ชัน  $\frac{1}{0.00035s+1}$  ที่มีอินพุทเป็นแบบขั้นบันไดขนาดหนึ่งหน่วย

ผลจากการจำลองได้ค่าฟังก์ชันความเหมาะสมที่ดีที่สุดคือ  $4.5853 \times 10^3$  ดังรูปที่ 7

รูปที่ 7 แสดงการหาของขั้นคอนทราพันธุกรรมค่าตอบที่ดีที่สุด (Jcost) ในแต่ละรุ่นตั้งแต่รุ่นที่ 1 ถึง 100 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าตอบที่ดีที่สุดจะเข้าสู่ในรุ่นที่ 18 และจะคงที่ไปถึงรุ่นที่ 100

ตารางที่ 3 แสดงผลการออกแบบระบบควบคุมที่นำเสนอโดยเทียบกับการออกแบบตัวควบคุมแบบ ISE IAE ITSE ITAE ซึ่งวิธีการนี้ผู้ออกแบบต้องลดค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้มีค่าน้อยที่สุดโดยมีการปรับขอบเขตของการอินทิเกรตโดยใช้ค่าน้อยลงเป็นศูนย์และขอบเขตเปลี่ยนจากอินฟินิตี้เป็นค่า 0.1 เพราะผลตอบสนองเข้าสู่เวลาสู่สมดุลก่อนเวลา 0.1 วินาที ซึ่งเป็นไปตามสมการ

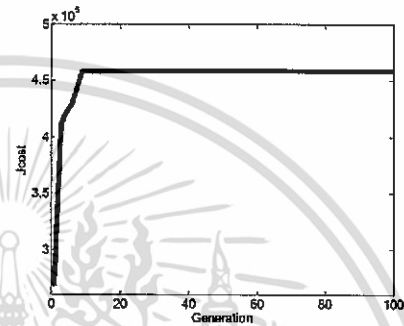
$$J_{ISE} = \int_0^{t_f} [e(t)]^2 dt \text{ อินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง}$$

$$J_{IAE} = \int_0^{t_f} |e(t)| dt \text{ อินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์}$$

$$J_{ITSE} = \int_0^{t_f} t [e(t)]^2 dt \text{ อินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา}$$

$$J_{ITAE} = \int_0^{t_f} t |e(t)| dt \text{ อินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา}$$

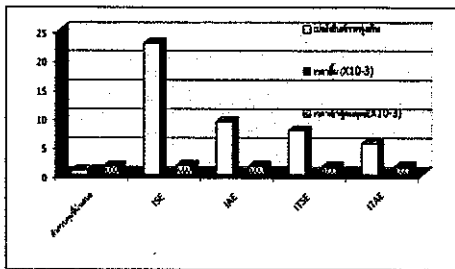
รูปที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละตัวควบคุมแบบโดยนำค่ามาจากรูปที่ 3 พบว่าตัวควบคุมที่นำเสนอให้ค่าเวลาขาขึ้นและเวลาเข้าสู่สมดุลใกล้เคียงกับตัวควบคุมแบบอื่นแต่หากพิจารณาสมรรถนะด้านเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินพบว่าตัวควบคุมที่นำเสนอให้ค่าที่ต่ำและเหนือกว่าตัวควบคุมแบบอื่น



รูปที่ 7 ค่าตอบที่ดีที่สุด (Jcost) ในแต่ละรุ่นตั้งแต่รุ่นที่ 1 ถึง 100

ตารางที่ 3 ค่าตัวควบคุมของระบบและผลตอบสนองด้านสมรรถนะของตัวควบคุม

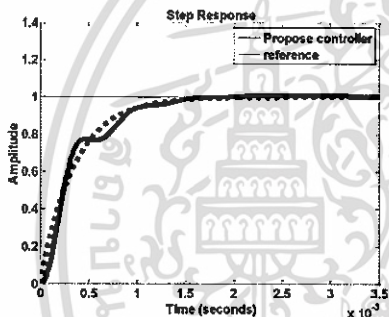
	เปอร์เซ็นต์การพุ่งเกิน	เวลาขึ้น ( $\times 10^{-3}$ )	เวลาเข้าสู่สมดุล ( $\times 10^{-3}$ )
ตัวควบคุมที่นำเสนอ $0.03941 + \frac{358.1}{s}$	0.683	0.781	1.43
ISE $0.2696t + \frac{779}{s}$	22.7	0.0915	1.6
IAE $0.1626t + \frac{701.8}{s}$	9.15	0.128	1.44
ITSE $0.118t + \frac{728}{s}$	7.6	0.148	1.35
ITAE $0.106t + \frac{698.1}{s}$	5.36	0.158	1.38



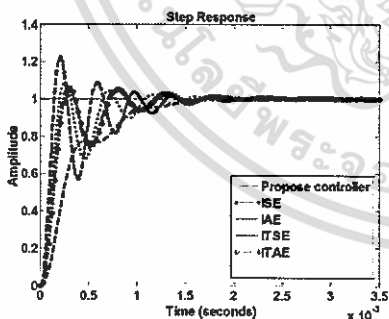
รูปที่ 8 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละตัวควบคุม

รูปที่ 9 แสดงจากการจำลองผลตอบสนองฟังก์ชันขั้นบันไดของระบบที่ใช้ตัวควบคุมนำเสนอให้สมรรถนะใกล้เคียงกับโมเดลอ้างอิง

รูปที่ 10 แสดงการจำลองผลตอบสนองฟังก์ชันขั้นบันไดระบบที่ใช้ตัวควบคุมนำเสนอให้สมรรถนะที่ดีต่างจากระบบที่ใช้ตัวควบคุมแบบ ISE IAE ITSE ITAE ซึ่งจะให้ผลตอบสนองที่มีการสั่นมากและมีค่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินสูงแม้เวลาในการเข้าสู่สมดุลใกล้เคียงกัน



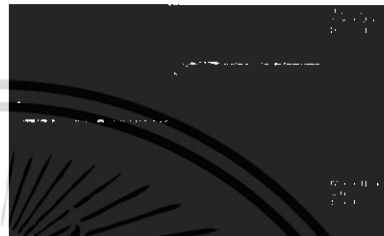
รูปที่ 9 การเปรียบเทียบสมรรถนะของตัวควบคุมที่นำเสนอกับโมเดลอ้างอิง



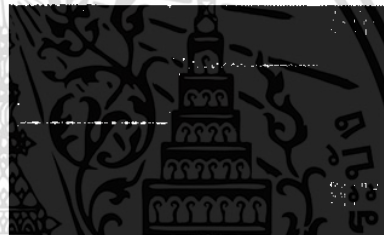
รูปที่ 10 การเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละตัวควบคุม

เมื่อนำค่าตัวควบคุมไปสร้างจริงเพื่อยืนยันความถูกต้องจากผลการทดลองพบว่าได้ผลตอบสนองสอดคล้องเป็นไปตามที่จำลองไว้ซึ่งแสดงในรูปที่ 11

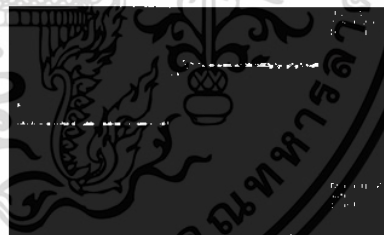
รูปที่ 11(a) ถึง รูปที่ 11(e) แสดงผลตอบสนองของตัวควบคุมที่นำเสนอพบว่าให้ค่าเปอร์เซ็นต์การพุ่งเกินเล็กน้อยมีช่วงเวลาขึ้นและช่วงเวลาเข้าสู่สมดุลใกล้เคียงกับตัวควบคุมที่ได้จากวิธีการแบบอื่นและนอกจากนี้ยังจะเห็นได้ว่าผลการทดลองให้ค่าผลตอบสนองด้านสมรรถนะที่เป็นไปตามตารางที่ 3 ซึ่งเป็นการยืนยันว่าได้ผลตอบสนองสอดคล้องเป็นไปตามที่จำลองไว้



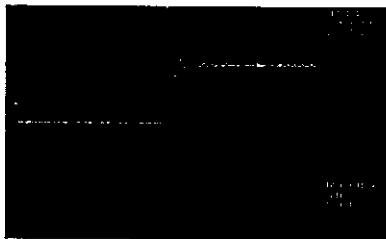
รูปที่ 11(a) ผลตอบสนองของตัวควบคุมที่นำเสนอ(2ms/div)



รูปที่ 11(b) ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ ISE(2ms/div)



รูปที่ 11(c) ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ IAE(2ms/div)



รูปที่ 11(d) ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ ITSE(2ms/div)



รูปที่ 11(e) ผลตอบสนองของตัวควบคุมแบบ ITAE(2ms/div)

## 7. สรุป

เทคนิคที่นำเสนอนี้ใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการออกแบบชุดควบคุมเพื่อให้มีโครงสร้างง่ายขึ้นและใช้โมเดลอ้างอิงในการสร้างค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทำให้สามารถกำหนดรูปร่างของผลตอบสนองได้ จากผลการจำลองและทดสอบของตัวควบคุมที่นำเสนอพบว่าตัวควบคุมที่นำเสนอจะมีสมรรถนะเหนือกว่าเมื่อเทียบกับตัวควบคุมแบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสอง (ISE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (IAE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดกำลังสองคูณด้วยเวลา (ITSE) แบบอินทิกรัลของค่าผิดพลาดสัมบูรณ์คูณด้วยเวลา (ITAE)

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Veerachary, M. 2005. Modelling and analysis of cascade step-down converters. *Electric Power Applications, IEE Proceedings -Volume 152*, 2005: 41-50.
- [2] Schmidt, Wolfgang. 2008. DC DC Converter for Hybrid Vehicle Applications. *Integrated Power Systems (CIPS)*, Nuremberg, Germany, Mar. 11-13, 2008: 1-3.
- [3] Lurkens, P. 2004. Soft-switching preconditioner with integrated DC DC-converter. *Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual Volume: 5*, Aachen, Germany, Jun. 20-25, 2004: 4031 - 4036.
- [4] Jafari, M., Malekjamshidi, Z., Jian Guo Zhu. 2012. Design, simulation and implementation of an intelligent

MPPT using a ZVCS resonant DC DC converter. 2012 IEEE International Conference on Power and Energy (PECon), Kota Kinabalu Sabah, Malaysia, Dec. 2-5, 2012: 280 - 285.

- [5] Lennart Ljung. 2014. *System Identification Toolbox™ User's Guide*.
- [6] Niasati, N., Bagher, M., Sadali, A.M., Hajhosseini, A., Afjei, E. 2012. Improvement of output voltage and input current for a matrix converter using genetic algorithm. *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems*, Bangkok, Thailand, May. 27-31, 2012: 238 - 242.
- [7] Ten, V., Matkarimov, B., Isenbergov, N. 2014. Using genetic algorithm and single-phase multilevel DC/AC converter for the fuel cells supporting system. *16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition*, Antalya, Turke, Sep. 21-24, 2014: 600 - 603.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวสุรัตติกาล สุวรรณพรหม
วัน เดือน ปีเกิด	16 ตุลาคม 2526
ที่อยู่	43/11 หมู่ที่ 13 ซอยสารพัดช่าง 3 ถนนโคกเคียน ตำบลโคกเคียน อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส 96000
ประวัติการศึกษา	2549 อดสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน ปัจจุบัน	เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้