การวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางพลศาสตร์ของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงโดยวิธีตรรกะคลุมเครือ

DYNAMIC SYSTEM IDENTIFICATION OF DC/DC CONVERTER USING FUZZY METHOD

อธิปตย์ จันทร์ดี

ATIP JUNDEE

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2558

KMITL-2015-EN-M-020-121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DYNAMIC SYSTEM IDENTIFICATION OF DC/DC CONVERTER USING FUZZY METHOD

ATIP JUNDEE

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
2015

KMITL-2015-EN-M-020-121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2015
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางพลศาสตร์ของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง โดยวิธีตรรกะคลุมเครือ

Thesis Title Dynamic System Identification of DC/DC Converter Using Fuzzy Method

นักศึกษา นายอธิปตย์ จันทร์ดี

รหัสประจำตัว 54610617

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-020-121

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.สมภพ	ผลไม้	
รศ.ดร.อนุวัฒน์	จางวนิชเลิศ	
ดร.คมสันต์	หงษ์สมบัติ	
ศ.ดร.อิสระชัย	งามหรู	
รศ.ดร.สมยศ	เกียรติวนิชวิไล	

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 เวลา 15.00-17.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 17 กรกฎาคม พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางพลศาสตร์ของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงโดยวิธีตรรกะคลุมเครือ
นักศึกษา	นาย อธิปตย์ จันทร์ดี
รหัสประจำตัว	54610617
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเสนอหาพารามิเตอร์ในสมการพลศาสตร์ของวงจรตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรง-ไฟฟ้ากระแสตรง ในที่นี้ คือวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า โดยมีการเปรียบเทียบเทคนิคการหาค่าตัวแปรโดยการใช้วิธีการประมาณค่า OE (Output Error) กับวิธีการหาค่าตัวแปรโดยใช้วิธีการตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification) โดยมีเงื่อนไขในการสร้างพลศาตร์ คือมีการเปลี่ยนแปลงค่าทางด้านอินพุตคือค่าดิวตี้ไซเคิล และทำการวิเคราะห์ด้านเอาท์พุตที่ได้จากผลการทดลอง จากการวิเคราะห์พบว่าวิธีหาค่าตัวแปรโดยใช้วิธีการตรรกะคลุมเครือนั้นมีความถูกต้องมากกว่าร้อยละ 99 และเมื่อเทียบกับวิธีการประมาณค่า OE (Output Error) จะได้ค่าความถูกต้องเพียงร้อยละ 80 ซึ่งวิธีการนี้สามารถนำไปออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Dynamic system identification of DC/DC converter using fuzzy method
Student	Mr. Atip Jundee
Student ID.	54610617
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Somyot Kaitwanidvilai

ABSTRACT

This thesis proposes the study of nonlinear system identification of the dynamic and parameters of the circuit in the DC - DC converter. The performance of the identification process of the fuzzy identification technique is investigated in comparison with the conventional linear dynamic modeling using the OE (Output Error) model. By proper varying the input signal of the system, the wide range output dynamic response can be achieved. The output is then be analyzed and compared by using the data from the experiments. More than 99% accuracy was achieved by the fuzzy model identification while the linear model can achieve only less than 80% accuracy.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เรื่องการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางพลศาสตร์ของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงโดยวิธีตรรกะคลุมเครือ สามารถประสบความสำเร็จได้ด้วยดีนั้นเกิดจากการทำงาน ด้วยความวิริยะอุตสาหะและได้รับการสนับสนุนจากบุคคลทั้งหลายท่านข้าพเจ้าจึงขอขอบพระคุณในความอนุเคราะห์ดังกล่าวดังมีรายนามดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ รศ.ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ได้คอยให้คำปรึกษาคำแนะนำข้อคิดเห็นและติดตามดูแลเอาใจใส่อบรมสั่งสอนให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ เพื่อนๆ ภาควิศวกรรมไฟฟ้า ที่ช่วยแนะนำเทคนิคและให้ยืมอุปกรณ์บางชิ้นในการทดลอง จนเสร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ นางสาว ธนาพร ฉิมทัด ที่คอยเป็นกำลังใจในยามที่ท้อและหมดหวัง เมื่อผลลัพธ์ที่ได้ไม่เป็นไปตามที่ตั้งใจไว้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ นายสราวุฒิ จันทร์ดี และ นางสุชารัตน์ จันทร์ดี ซึ่งเป็นบิดามารดา ของข้าพเจ้า รวมถึง นายปณต จันทร์ดี น้องชายของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

อธิปตย์ จันทร์ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.......... I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.......... II
กิตติกรรมประกาศ.......... III
สารบัญ.......... IV
สารบัญตาราง.......... VII
สารบัญรูปภาพ.......... VIII

บทที่ 1 บทนำ.......... 1

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการวิจัย.......... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.......... 2
1.3 ความสำคัญของงานวิจัย.......... 2
1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย.......... 2
1.5 แผนงานวิจัย.......... 3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.......... 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.......... 5

2.1 บทนำ.......... 5
2.2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง-กระแสตรงและการออกแบบ.......... 5
2.3 วงจรทอนแรงดัน (Buck Converter).......... 7
2.3.1 ขณะสวิตซ์นำกระแส.......... 7
2.3.2 ขณะสวิตซ์ไม่นำกระแส.......... 8
2.3.3 การหาค่าอัตราการขยายแรงดันของวงจรทอนแรงดัน (Buck Converter).......... 9
2.3.4 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรทอนแรงดัน.......... 10
2.3.5 การหาค่าตัวเก็บประจุของวงจรทอนแรงดัน.......... 11
2.4 การจำลองทางพลศาสตร์ของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง-กระแสตรง (Dynamic Modeling of DC-DC Converters).......... 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.1 ทฤษฎีปริภูมิสถานะ (State-Space theory)....12

2.4.1.1 การสร้างแบบจำลองปริภูมิสถานะของระบบเชิงเส้น (State-Space Modeling of Linear System)....12

2.4.1.2 แบบจำลองปริภูมิสถานะ (State-Space Model) สำหรับวงจรทอนแรงดัน(Buck Converter)....14

2.4.1.3 แบบจำลองปริภูมิสถานะ (State-Space Model) สำหรับวงจรทอนแรงดัน (Buck Converter) ในกรณีที่มีความต้านทานแฝงตัวเก็บประจุ (R_c)....16

2.4.1.4 การสร้างฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function)....19

2.5 การหาพารามิเตอร์ระบบ (System Identification)....20

2.5.1 การประมาณการโดยใช้รูปแบบ ARX (Auto Regressive with external input)....21

2.5.2 การประมาณค่ากำลังสองต่ำสุด (Least squares estimate)....23

2.5.3 การประมาณการโดยใช้รูปแบบ OE (Output Error)....24

2.6 ทฤษฎีตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Logic and Fuzzy System)....26

2.6.1 ความหมายตรรกะคลุมเครือ....26

2.6.2 ความได้เปรียบของการใช้ตรรกะแบบคลุมเครือ....29

2.6.3 กระบวนการตรรกะแบบคลุมเครือ....30

2.6.4 แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบฟัซซี (Fuzzy Model)....34

บทที่ 3 การออกแบบและการสร้างวงจร....37

3.1 บทนำ....37

3.2 ส่วนประกอบหลักของวงจร....37

3.3 การออกแบบวงจรการทดลอง....38

3.3.1 วงจรทอนแรงดันไฟฟ้า (Buck Converter)....38

3.3.2 การหาค่าตัวเหนี่ยวนำ (Inductance)....38

3.3.3 การหาค่าตัวเก็บประจุ (Capacitance)....39

3.3.4 วงจร IC 7805และวงจร 7015....40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3.5 วงจรขับมอสเฟต (Gate Drive)....40

3.3.6 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)....41

3.4 การออกแบบการจำลองวงจรในโปรแกรม....41

3.5 การออกแบบการหาแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุต (Output Error Identification)....44

3.6 การออกแบบการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ(Fuzzy Identification)...46

บทที่ 4 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง.... 50

4.1 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์.... 51

4.1.1 แบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุต (Output Error Identification)..... 52

4.1.2 วิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ฟัซซี่ (Fuzzy Identification).... 55

4.2 ผลการทดลองจริง.... 59

4.2.1 รูปถ่ายวงจรที่ออกแบบ.... 59

4.2.2 ผลการทดลอง.... 63

4.2.3 การตรวจสอบความถูกต้อง (Model Validation).... 67

4.2.3.1 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์........ 67

4.2.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในวงจรจริง.... 73

4.2.3.3 สรุปผลการทดลองการตรวจสอบความถูกต้อง.... 79

บทที่ 5 บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา.... 80

5.1 บทสรุป.... 80

5.2 ข้อเสนอแนะ 81

5.3 แนวทางการพัฒนาพัฒนา.... 81

บรรณานุกรม.... 82

ภาคผนวก 84

ภาคผนวก ก บทความที่ได้ตีพิมพ์ 85

ประวัติผู้เขียน.... 90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่..หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน...3
3.1 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการจำลอง...42
3.2 ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองฟัซซีทาคางิ-ซึเงะโนะของวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า....................................49
4.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบตรรกะคลุมเครือของระบบ..57
4.2 สมการพลศาสตร์โดยวิธีแบบตรรกะคลุมเครือ..58
4.3 ค่าพารามิเตอร์ของระบบแบบตรรกะคลุมเครือ...66
4.4 สมการพลศาสตร์แบบต่อเนื่องของระบบแบบตรรกะคลุมเครือ..67
4.5 ค่าพารามิเตอร์ของระบบแบบตรรกะคลุมเครือ...69
4.6 ค่าพารามิเตอร์ของระบบแบบตรรกะคลุมเครือ...74
4.7 สรุปผลเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของโมเดลเทียบกับสัญญาณที่ใช้ทดสอบ...78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่.....หน้า
2.1 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง.....5
2.2 วงจรทอนแรงดันไฟฟ้า.....7
2.3 วงจรทอนแรงดันขณะสวิตซ์นำกระแส.....7
2.4 วงจรทอนแรงดันขณะสวิตซ์ไม่นำกระแส.....8
2.5 วงจรทอนแรงดัน(Buck Converter).....14
2.6 (ก)ช่วงที่สวิตซ์นำกระแส และ(ข)ช่วงที่สวิตซ์ไม่นำกระแส.....14
2.7 (ก)ช่วงที่สวิตซ์นำกระแส (ข)ช่วงที่สวิตซ์ไม่นำกระแส.....16
2.8 บล็อคไดอะแกรมของแบบจำลองARX.....22
2.9 เวกเตอร์ของค่าเอาท์พุทและค่าความผิดพลาดในColumn space ของ φ^T.....24
2.10 บล็อคไดอะแกรมของแบบจำลองOE.....26
2.11 การเปรียบเทียบการตัดสินใจระหว่างแบบฟิสิกส์และตรรกะแบบคลุมเครือ.....26
2.12 หลักการของการตัดสินใจแบบคลุมเครือในการให้เงินพิเศษ.....27
2.13 ระบบตรรกะคลุมเครือ.....28
2.14 กระบวนการตรรกะแบบคลุมเครือในกรณีปกติและกรณีการให้เงินพิเศษร้านอาหาร.....30
2.15 ฟังก์ชันสมาชิกของฤดูกาลกับ 12 เดือน.....30
2.16 กฎของและ(and) หรือ(or) และไม่(not).....31
2.17 แสดงถึงกระบวนการในการหาค่าขาออกของกระบวนการตรรกะแบบคลุมเครือ.....32
2.18 กระบวนการหาตรรกะแบบคลุมเครือของการกาเงินพิเศษจากร้านอาหาร.....33
2.19 แสดงการหาการกำจัดความคลุมเครือ(Defuzzify)ด้วยการหาจุดศูนย์ถ่วง.....34
3.1 ส่วนประกอบหลักของวงจร.....37
3.2 วงจรทอนแรงดัน.....38
3.3 วงจร IC 7805 และวงจร IC 7815.....40
3.4 วงจรขับมอสเฟต.....40
3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดอาร์มรุ่น ARM Cortex-M3.....41
3.6 จำลองวงจรในโปรแกรม MATLAB.....41
3.7 กราฟอินพุต (ดิวตี้ไซเคิล) เทียบกับเวลา.....42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่...หน้า

3.8 สัญญาณเอาท์พุต (แรงดันด้านออก) เทียบกับเวลา...43

3.9 หน้าต่างเมนูการหาสมการระบบ (Identification System)...44

3.10 หน้าต่างเมนูกำหนดค่าการสุ่มข้อมูล...45

3.11 หน้าต่างเมนูเลือกรูปแบบของแบบจำลอง...46

3.12 ฟังก์ชันสมาชิกที่เป็นแบบฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม...48

4.1 วงจรทอนแรงดันที่สร้างในโปรแกรม MATLAB...50

4.2 รูปสัญญาณอินพุท (สัญญาณขับเกต)...51

4.3 รูปสัญญาณเอาท์พุท (แรงดันไฟฟ้าด้านออก)...52

4.4 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุต...53

4.5 เปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุตกับสัญญาณเอาท์พุต...54

4.6 ฟังก์ชั่นความสัมพันธ์สามเหลี่ยม(Triangle membership function)...57

4.7 เปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้วิธีการหาพารามิเตอร์โดยตรรกะคลุมเครือกับสัญญาณเอาท์พุต...58

4.8 แหล่งจ่ายไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า...59

4.9 แหล่งจ่ายไฟฟ้าด้านเข้า...60

4.10 วงจรสวิตซ์แยกฝั่งควบคุมและฝั่งกำลังหลัก...60

4.11 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์...61

4.12 วงจรขับเกต...61

4.13 วงจรทอนแรงดันไฟฟ้า...62

4.14 ภาระทางไฟฟ้า...62

4.15 รูปวงจรรวมของโครงงาน...63

4.16 (ก)สัญญาณอินพุต$u(t)$ (ข)สัญญาณเอาท์พุต$y(t)$...64

4.17 ผลเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้ (ก) วิธีตรรกะคลุมเครือ...65

(ข) แบบเชิงเส้นโดยการประมาณค่าOE...66

4.18 สัญญาณอินพุตที่ใช้ในการหาโมเดลเพื่อทดสอบความถูกต้องของข้อมูล...68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่...หน้า
4.19 สัญญาณเอาท์พุตที่ใช้ในการหาโมเดลเพื่อทดสอบความถูกต้องของข้อมูล...68
4.20 ผลเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดยวิธีตรรกะคลุมเครือ...69
4.21 สัญญาณอินพุตอีกอันหนึ่งที่ใช้ในการทดสอบโมเดลที่ได้ข้างต้นเพื่อทดสอบความถูกต้องข้อมูล............70
4.22 ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดยวิธีตรรกะคลุมเครือ.......................................71
4.23 ผลเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดยวิธีความผิดพลาดเอาท์พุต..72
4.24 ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดยวิธีความผิดพลาดเอาท์พุต.............................72
4.25 สัญญาณอินพุตที่ใช้ในการหาโมเดลเพื่อทดสอบความถูกต้องข้อมูล...73
4.26 สัญญาณเอาท์พุตที่ใช้ในการหาโมเดลเพื่อทดสอบความถูกต้องของข้อมูล...74
4.27 ผลเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดยวิธีตรรกะคลุมเครือ...75
4.28 สัญญาณอินพุตอีกอันหนึ่งที่ใช้ในการทดสอบโมเดลที่ได้ข้างต้น...76
4.29 ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดยวิธีตรรกะคลุมเครือ.......................................76
4.30 ผลเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดยวิธีความผิดพลาดเอาท์พุต..77
4.31 ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดยวิธีความผิดพลาดเอาท์พุต.............................78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของการทำวิจัย

วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC to Dc Converter) เป็นวงจรที่มีความสำคัญในทางอิเล็กทรอนิกส์กำลัง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังหลายชนิดโดย Ismail และคณะ [1] ได้เสนอการใช้วงจรทอนแรงดัน (Buck Converter) ในการควบคุมการขับเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรงโดยอาศัยการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์เข้ามาช่วยในการออกแบบวงจรด้วยหรือการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์กำลังในลักษณะอื่นที่แตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งานของผู้ใช้อีกทั้งแบบจำลองทางพลศาสตร์นับว่าเป็นแบบจำลองที่มีความสำคัญ โดยเป็นแบบจำลองที่สามารถแสดงผลทั้งในสภาวะชั่วขณะ (Transient state) และสภาวะคงตัว (Steady state) ซึ่งการที่อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่มีสมรรถนะที่ดีจะต้องมีการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ด้วย เพื่อทำให้สมรรถนะต่างๆ เช่น การเข้าสู่สภาวะคงตัว การเกิดแรงดันเกิน มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ หากไม่ทำการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของระบบอาจทำให้เกิดปัญหาต่อการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์กำลัง โดยอาจรุกลามไปสู่การเสียหายถึงระบบใหญ่ๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม โดยจะก่อให้เกิดปัญหาด้านค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเครื่องมือและอุปกรณ์ไฟฟ้าตามมาด้วย วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาการวิเคราะห์สมการพลศาสตร์และการหาพารามิเตอร์ของวงจรตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรง-ไฟฟ้ากระแสตรงคือวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า (Buck converter) โดยมีการเปรียบเทียบเทคนิคการหาค่าตัวแปรโดยการใช้วิธีการแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุต OE (Output Error Identification) เทียบกับวิธีการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification) โดยมีเงื่อนไขในการสร้างพลศาสตร์ คือมีการเปลี่ยนแปลงค่าทางด้านอินพุตนั่นคือค่าดิวตี้ไซเคิล เพื่อในการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์และเปรียบเทียบโดยวงจรจำลองและการทดลองจริง และผลการทดลองยังแสดงถึงสมการพลศาสตร์ที่ได้มาเปรียบเทียบว่าวิธีใดใกล้เคียงผลสัญญาณเอาท์พุตมากกว่ากันและวิธีการใดสมเหตุสมผลมากที่สุด เพื่อให้สามารถวิเคราะห์ระบบได้ง่ายวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการศึกษาเรื่องการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ (System Identification) แบบมาตรฐานตามวิธีของ LennantLjung [2] นั่นคือเมื่อทราบค่าอินพุตและเอาท์พุตของระบบแล้วก็จะสามารถสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ขึ้นมาได้โดยไม่ต้องวิเคราะห์หาพารามิเตอร์โดยตรงโดยทำแบบจำลองในโปรแกรมแมทแลป MATLAB ค่าที่ได้ออกมาจะออกมาในรูปฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer function) และอีกทั้งในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการวิเคราะห์ระบบทางพลศาสตร์ในสามรูปแบบ คือ รูปแบบทางทฤษฎีซึ่งจะวิเคราะห์รูปแบบของแบบจำลองทางปริภูมิสถานะ (State-space model) ในลักษณะเดียวกันกับ Johansson [3] และShaffer [4] รูปแบบการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MATLAB System Identification Toolbox และรูปแบบการทดลองจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง-กระแสตรง

2. จำลองวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง-กระแสตรงในคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรมแมทแลป MATLAB

3. เพื่อศึกษาแบบจำลองทางพลศาสตร์ของระบบที่มีการเปรียบเทียบวิธีการหาพารามิเตอร์ของวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง-กระแสตรง

4. เพื่อศึกษาการวิเคราะห์วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง-กระแสตรง ด้วยทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ (Identification theory)

1.3 ความสำคัญของการวิจัย

1. ผู้ที่สนใจในงานวิจัย สามารถทราบวิธีการการหาพารามิเตอร์ในสมการพลศาสตร์ที่เปรียบเทียบระหว่างวิธีการแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุต OE (Output Error Identification) และแบบวิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy identification) ว่าแบบไหนมีประสิทธิภาพในการได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่ากัน

2. ผู้ที่สนใจในงานวิจัย สามารถทราบสมการพลศาสตร์ที่ได้จากแต่ละวิธีมาเทียบกับสมการพลศาสตร์จริงตามทฤษฎี

1.4 กรอบแนวคิดในการวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลและการทำงานของระบบวงจรแปลงกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง

2. ศึกษาการทำงานและวิธีการของการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์

3. ศึกษาทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ (Identification theory)

4. ออกแบบวงจรควบคุมและวงจรกำลัง

5. ทดสอบวงจรที่ได้ออกแบบไว้

6. ทดสอบวงจรที่ออกแบบด้วยโปรแกรมแมทแลป MATLAB โดยวิธีการแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุต OE (Output Error Identification) กับแบบวิธีการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification)

7. ทดสอบวงจรที่ออกแบบด้วยวงจรการทดลองจริง โดยวิธีการแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุต OE (Output Error Identification) กับแบบวิธีการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy identification)

8. เปรียบเทียบสมการพลศาสตร์และพารามิเตอร์ที่ได้จากวงจรที่สร้างขึ้นและเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎีและการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Validation) โดยเทียบวิธีการแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุต OE (Output Error Identification) กับแบบวิธีการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy identification)

10. สรุปผลการทดลอง

11. รวบรวมข้อมูลการทดลอง และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 แผนงานวิจัย

1. ออกแบบสร้างระบบและอุปกรณ์วงจรทอนแรงดันไฟฟ้า

2. ออกแบบส่วนโปรแกรมวิธีการของตรรกะคลุมเครือ

3. ทดสอบจริงและเปรียบเทียบวิธีการแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุต OE (Output Error Identification) กับแบบวิธีการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification)

4. เก็บผลการทดลองและสรุปการทดลอง

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2			
	ก.ค.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.ศึกษาข้อมูลและการทำงานของระบบวงจรแปลงกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง								
2.ศึกษาการทำงานและวิธีการของการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์								
3.ศึกษาทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ (Identification theory)								
4.ออกแบบวงจรการทำงานต่างๆในโปรแกรม MATLAB								
5.เขียนโปรแกรมควบคุมและสร้างวงจรสร้างสัญญาณด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์								
6.ออกแบบและสร้างวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า , วงจรขับมอตเฟต								
7.ทดสอบแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์								
8.ทดสอบชิ้นงานจริง								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดำเนินงาน	ภาคเรียนที่ 1				ภาคเรียนที่ 2			
	ก.ค.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
9.ออกแบบตรรกะคลุมเครือ								
10.เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ระหว่างสองเทคนิคและสรุปผลการทดลอง								
11.สรุปผลงานวิจัย นำเสนอวิทยานิพนธ์								

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. มีความเข้าใจในการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ของระบบการแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง
2. สามารถใช้เทคนิคการสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ (System Identification) ในการวิเคราะห์ระบบช่วงสภาวะชั่วขณะได้ซึ่งเป็นผลดีต่อการออกแบบอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์หลายชนิดเพื่อลดผลไม่พึงประสงค์ในสภาวะชั่วขณะ
3. สามารถออกแบบวงจรที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงสภาวะทางพลศาสตร์ด้วย
4. สามารถทราบข้อดีของวิธีการหาโดยตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

บทนี้นำเสนอทฤษฎีของวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า (Buck Converter) รวมถึงทฤษฎีการจำลองแบบทางพลศาสตร์ของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง–กระแสตรง รวมถึงทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ (Identification Theory) ซึ่งประกอบด้วยวิธีแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุต (Output Error Identification) และทฤษฎีการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification) และเทคนิคต่างๆ ในปัจจุบันที่ใช้ในการจำลองระบบทางพลศาสตร์ โดยการสร้างค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงเข้าไปในระบบนั้นๆ เพื่อหาแบบจำลองทางพลศาสตร์ที่เหมาะสม

2.2 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรง-กระแสตรง และการออกแบบ [5]

ในปัจจุบันความต้องการอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังนั้นมีความต้องการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว รวมถึงการต้องการในด้านแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้มีน้ำหนักเบา ขนาดเล็ก และมีความน่าเชื่อถือสูง ทำให้เกิดความต้องการสวิตชิ่งโหมดเพาเวอร์ซับพลายที่มีประสิทธิภาพและสมรรถนะสูงตามมา วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงนับเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับการสร้างแหล่งจ่ายไฟแบบสวิตชิ่งดังกล่าว ดังแสดงในรูปที่ 2.1 แสดงพื้นฐานวงจรทอนแรงดันที่มีหลักการทำงานดังต่อไปนี้

เมื่อสวิตช์อยู่สภาวะนำกระแส แรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีแรงดันไฟฟ้าเท่ากับด้านเข้า ($V_0 = V_S$) และเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส แรงดันไฟฟ้าด้านออกจะมีค่าเท่ากับศูนย์

รูปที่ 2.1 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง

ช่วงเวลาในการนำกระแสและหยุดนำกระแสจะสามารถหาค่าเฉลี่ยหรือค่าแรงดันกระแสตรงของแรงดันไฟฟ้าจากด้านออกได้ดังสมการ (2.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_0 = \frac{1}{T}\int_0^T V_0(t)dt$$

$$V_0 = \frac{1}{T}\int_0^{DT} V_S(t)dt$$

$$V_o = V_s D \qquad (2.1)$$

เมื่อ V_S คือแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และ D คือ ดิวตี้ไซเคิล

จากสมการที่ (2.1) พบว่าขนาดของแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงด้านออกจะถูกควบคุมได้จากค่าดิวตี้ไซเคิล ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแสต่อช่วงเวลาหนึ่งคาบการสวิตชิ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการที่ (2.2)

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

$$t_{on} = DT$$

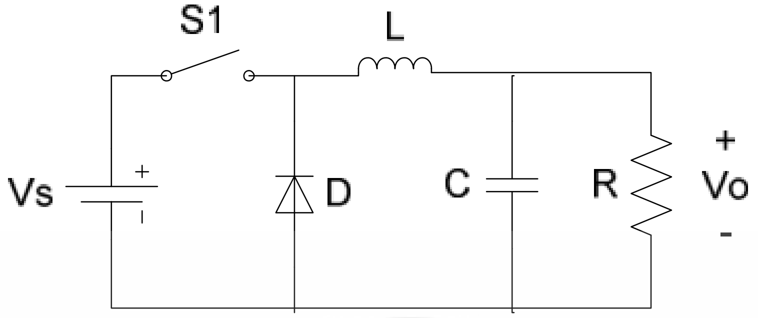
$$t_{off} = (1 - D)T \qquad (2.2)$$

เมื่อ T คือ คาบเวลาการสวิตช์ เท่ากับ t_{on} , t_{off} และ t_{on} , t_{off} คือ เวลาในการนำกระแสและหยุดนำกระแสของอุปกรณ์สวิตช์ตามลำดับ

ความหมายของค่า D ตัวอย่างเช่น D = 40% หรือ D = 0.4 หมายถึงช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแสมีอยู่ 0.4 ส่วนจากช่วงเวลาหนึ่งคาบ หรือหมายถึงช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแสมีอยู่สี่สิบเปอร์เซ็นต์จากช่วงเวลาหนึ่งคาบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

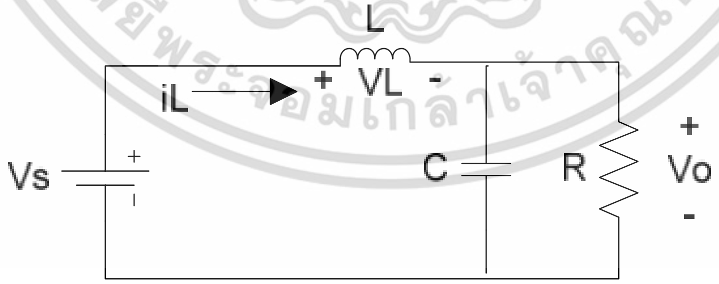
2.3 วงจรทอนแรงดัน (Buck Converter)



รูปที่ 2.2 วงจรทอนแรงดันไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.2 แสดงถึงวงจรทอนแรงดันหรือบั๊กคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งเป็นวงจรที่ให้ระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออก (*V_O*) มีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า (*V_S*) และเพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่มีความเป็นกระแสตรงมากๆ จะใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) ซึ่งโดยมากใช้วงจรกรองแบบ LC เพราะมีอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการที่มีประสิทธิภาพโดยอัตราการลดทอน ผกผันกับกำลังสองของความถี่ซึ่งทำให้ลดทอนสัญญาณรบกวนได้มาก โดยวงจรมีลักษณะการทำงานอยู่ 2 สถานะ คือ สถานะสวิตช์นำกระแสและสถานะสวิตช์ไม่นำกระแส การควบคุมการทำงานของวงจรทอนแรงดันจะใช้ลักษณะสัญญาณพัลส์วิธีมอดูเลต (PWM) ควบคุมการเปิด-ปิดสวิตช์ โดยสามารถพิจารณาการทำงานของวงจรได้ดังนี้

2.3.1 ขณะสวิตช์นำกระแส



รูปที่ 2.3 วงจรทอนแรงดันขณะสวิตช์นำกระแส

เมื่อสวิตช์อยู่สภาวะนำกระแส กระแสจะไหลจากแหล่งจ่ายไฟไปยังตัวเหนี่ยวนำ (*L*) และไหลไปยังตัวเก็บประจุ (*C*) และโหลด (*R*) ในการทำงานของวงจรทอนแรงดันในสถานะนี้ไดโอดจะถูกไบอัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย้อนกลับทำให้ไม่นำกระแส จากรูปที่ 2.3 เมื่อพิจารณาใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่าย (V_S) ตัวเหนี่ยวนำ (V_L) และโหลดดังนี้

$$-V_s + v_L + V_0 = 0 \tag{2.3}$$

$$v_L = V_s - V_0 \tag{2.4}$$

$$V_L = L\frac{di_L}{dt} \tag{2.5}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_0}{L} \tag{2.6}$$

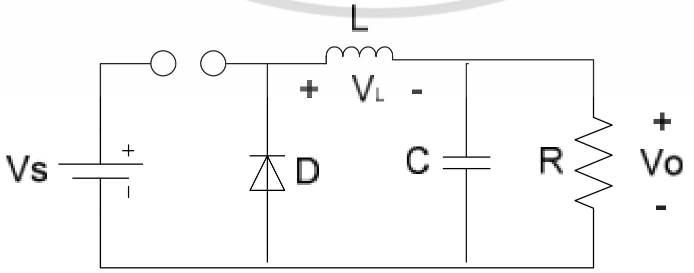
ในช่วงที่สวิตช์นำกระแสจะมีค่าเวลาเป็น DT เมื่อ D คือ ค่าดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแสต่อช่วงเวลาในหนึ่งคาบ (T คือ ผลรวมของช่วงเวลาที่สวิตช์นำกระแสและช่วงเวลาที่สวิตช์ไม่นำกระแส) และในช่วงที่สวิตช์มีการนำกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำนี้จะถือว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่ $dt = DT$ ทำให้ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\frac{\Delta i_{L,on}}{DT} = \frac{V_s - V_0}{L}$$

$$\Delta i_{L,on} = \left(\frac{V_s - V_0}{L}\right)DT \tag{2.7}$$

เมื่อ $\Delta i_{L,on}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำขณะที่สวิตช์นำกระแส

2.3.2 ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.4 วงจรทอนแรงดันขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสวิตช์อยู่ในสภาวะไม่นำกระแส กระแสจะไหลผ่านไดโอด ไดโอดจะถูกไบอัสไปข้างหน้าทำให้เกิดการนำกระแส หากสมมติให้แรงดันทางด้านเอาต์พุตมีค่าคงที่จากรูปที่ 2.4 เมื่อพิจารณาโดยใช้กฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันของตัวเหนี่ยวนำและแรงดันทางด้านเอาต์พุตดังนี้

$$v_L + V_o = 0 \tag{2.8}$$

$$v_L = -V_o \tag{2.9}$$

$$v_L = -V_0 = L\frac{di}{dt} \tag{2.10}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_{L,off}}{\Delta t} = \frac{-V_0}{L} \tag{2.11}$$

ในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแส กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำนี้จะถือว่ามีอัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่ $dt = (1-D)T$ ทำให้ได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$\Delta i_{L,off} = \left(\frac{V_0}{L}\right)(1-D) \tag{2.12}$$

เมื่อ $\Delta i_{L,off}$ คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส

2.3.3 การหาค่าอัตราการขยายแรงดันของวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า

$$i_L(t+T) = i_L(t) \tag{2.13}$$

ในช่วงสภาวะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะที่สวิตช์นำกระแสจะมีการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นเท่ากับการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส หรืออาจจะกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นจะได้ว่า

จากสมการที่ (2.7) และ (2.12) จะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} = 0 \tag{2.14}$$

$$\left(\frac{V_s - V_0}{L}\right)DT + \left(-\left(\frac{V_0}{L}\right)(1-D)T\right) = 0 \tag{2.15}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\left(\frac{V_s - V_0}{L}\right)DT + \left(-\left(\frac{V_0}{L}\right)(1-D)T\right) = 0 \tag{2.16}$$

$$\left(\frac{V_s - V_0}{L}\right)DT + -\left(\frac{V_0}{L}\right)(1-D)T = 0 \tag{2.17}$$

$$(V_s - V_0)D - V_0(1-D) = 0 \tag{2.18}$$

$$V_sD - V_0D - V_0 + V_0D = 0 \tag{2.19}$$

$$\frac{V_0}{V_s} = D \tag{2.20}$$

อัตราขยายแรงดันจะมีค่าสูงสุดจะไม่เกิน 100% ตามค่าดิวตี้ไซเคิลวงจรทอนแรงดันเป็นวงจรที่ทำให้แรงดันไฟฟ้าด้านออกน้อยกว่าหรือเท่ากับแรงดันด้านเข้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าดิวตี้ไซเคิลโดยการปรับค่าดิวตี้ไซเคิลสามารถปรับได้ตั้งแต่ศูนย์ถึงหนึ่ง

2.3.4 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดของวงจรทอนแรงดัน

การหาค่าตัวเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่จะทำให้วงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์ทำงานในโหมดกระแสต่อเนื่อง โดยเริ่มจากการหากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะเท่ากับกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลด เนื่องจากขณะที่อยู่ในสภาวะการทำงานอยู่ตัว กระแสเฉลี่ยจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$I_L = I_0 = \frac{V_0}{R} \tag{2.21}$$

จะสามารถหากระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดได้จากสมการในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแส ดังนี้

$$I_{L,max} = V_0\left[\frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf}\right] \tag{2.22}$$

$$I_{L,min} = V_0\left[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf}\right] \tag{2.23}$$

หาก I_{Lmin} เท่ากับศูนย์พอดี คือเป็นช่วงต่อระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก $$I_{L,min} = V_0 \left[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)R}{2Lf} \right] = 0 \tag{2.24}$$

$$\left[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)R}{2Lf} \right] = 0 \tag{2.25}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{(1-D)R}{2Lf} \tag{2.26}$$

จะได้สมการคำนวณค่าตัวเหนี่ยวนำ ดังนี้

$$L_{min} = \frac{(1-D)R}{2f} \tag{2.27}$$

เมื่อ f คือ ความถี่การสวิตช์ (โดยที่ $f = \frac{1}{T}$), D คือ ดิวตี้ไซเคิล และ R คือ โหลดความต้านทาน

2.3.5 การหาค่าตัวเก็บประจุของวงจรทอนแรงดัน

โดยปกติวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านหรือวงจรกรองแบบ LC ที่อยู่ในวงจรบั๊กคอนเวอร์เตอร์จะมีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ เพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออกมีค่าคงที่ ดังนั้นควรเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีขนาดเหมาะสม ดังนั้นการหาค่าตัวเก็บประจุในส่วนของวงจรทบระดับแรงดันไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.28)

$$C = \frac{(1-D)}{8rLf^2} \tag{2.28}$$

เมื่อ r คือ ค่าแฟคเตอร์คลื่นละลอก ($r = \frac{\Delta V_0}{V_0}$ และค่าปกติ $r < 2\%$), f_s คือความถี่การสวิตช์ (โดยที่ $f = \frac{1}{T}$) และ D คือ ดิวตี้ไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การจำลองทางพลศาสตร์ของวงจรแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรง – กระแสตรง (Dynamic Modeling of DC-DC Converters)

2.4.1 ทฤษฎีปริภูมิสถานะ (State-Space Theory)

เป็นทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์ระบบทางพลศาสตร์โดยอาศัยสมการหลัก 2 สมการดังนี้

สมการสถานะ (State equation) $\dot{x} = Ax + Bu$

สมการเอาท์พุต (Output equation) $y = Cx + Du$

โดย A คือ เมตริกซ์ของระบบ (System matrix)
B คือ เมตริกซ์ควบคุม (Control matrix)
C คือ เมตริกซ์เอาท์พุต (Output matrix)
D คือ เมตริกซ์ป้อนไปข้างหน้า (Feed-forward matrix)
x คือ ตัวแปรสถานะ (State variable)
y คือ ตัวแปรเอาท์พุต (Output variable)

2.4.1.1 การสร้างแบบจำลองปริภูมิสถานะของระบบเชิงเส้น (State-Space Modeling of Linear System)

การสร้างแบบจำลองปริภูมิสถานะของระบบเชิงเส้น (State-Space Modeling of Linear System) สามารถจัดสมการให้อยู่ในรูปสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First-order Differential) ได้ดังนี้

$$\frac{dx_1}{dt} = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + f(t) \tag{2.29}$$

$$\frac{dx_2}{dt} = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 \tag{2.30}$$

เมื่อ x_1 และ x_2 คือ ตัวแปรสถานะ (State variables)
$a_{11} \ldots a_{22}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์คงที่ (Constant coefficients)
$f(t)$ คือ ฟังก์ชันบังคับ (Forcing function)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.29) และ (2.30) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ของสมการสถานะ (State equation) ดังนี้

$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{2.31}$$

โดยที่ x *และ* u ในแบบจำลองปริภูมิมีค่าดังนี้

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \text{ และ } u = f(t)$$

และ A และ B มีค่าดังนี้

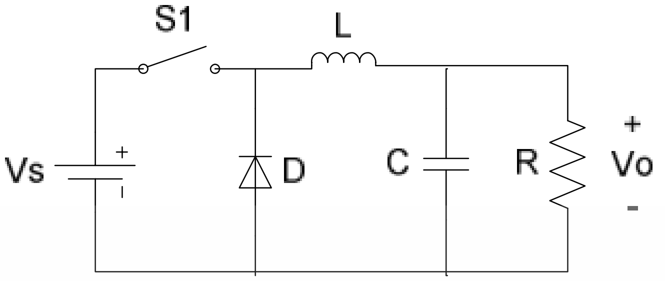
$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \text{ และ } B = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$$

ในกรณีที่มี สมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง (First-orderdifferential) เท่ากับ n สมการ และมีจำนวนฟังก์ชันบังคับ (Forcing function) เท่ากับ m สมการจะได้ค่าของตัวแปรต่างๆดังนี้

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & L & a_{1n} \\ a_{21} & O & O & M \\ M & O & O & M \\ a_{n1} & a_{n2} & L & a_{nn} \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ M \\ x_n \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & L & b_{1n} \\ b_{21} & O & O & M \\ M & O & O & M \\ b_{n1} & b_{n2} & L & b_{nn} \end{bmatrix}, u = \begin{bmatrix} f_1(t) \\ f_2(t) \\ M \\ f_m(t) \end{bmatrix}$$

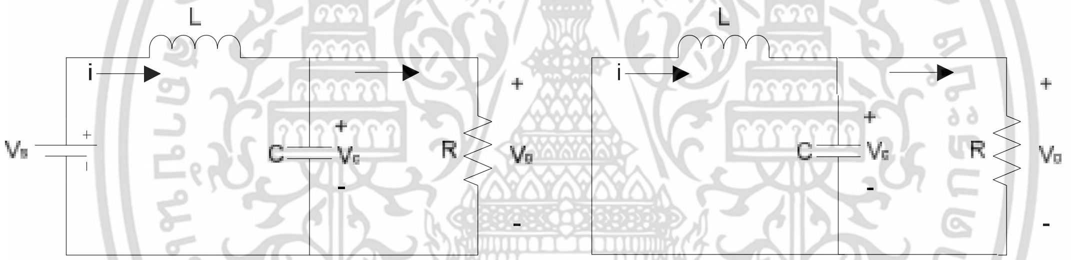
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.2 แบบจำลองปริภูมิสถานะสำหรับวงจรทอนแรงดัน (State-Space Model of Buck Converter)



รูปที่ 2.5 วงจรทอนแรงดัน (Buck Converter)

สามารถแบ่งเป็นช่วงสวิตซ์การทำงาน ในสถานะนำกระแสและไม่นำกระแสได้ดังรูปที่ 2.6



(ก) $0 \le t \le t_{on}$ (ข) $t_{on} \le t \le T$

รูปที่ 2.6 (ก) ช่วงที่สวิตซ์นำกระแส และ (ข) ช่วงที่สวิตซ์ไม่นำกระแส

เมื่อสวิตซ์อยู่สภาวะนำกระแส

เมื่อ $$V_L = L\frac{di}{dt}$$

จากกฎของเคอร์ชอฟ์ (KVL)

$$V_s = L\frac{di}{dt} + v_o \tag{2.32}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $$i_c = C\frac{dv_o}{dt}$$

จากกฎของเคอร์ชอฟ์ (KCL)

$$i = C\frac{dv_o}{dt} + \frac{v_o}{R} \tag{2.33}$$

เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส (Switch-Open)

จากกฎของเคอร์ชอฟ์ (KVL)

$$0 = L\frac{di}{dt} + v_O \tag{2.34}$$

และจากกฎของเคอร์ชอฟ์ (KCL)

$$i = C\frac{dv_o}{dt} + \frac{v_o}{R} \tag{2.35}$$

กำหนดให้ u เป็นเงื่อนไขการควบคุมสวิตซ์

$$u = \begin{Bmatrix} 1, & 0 \le t \le t_{on} \\ 0, & t_{on} \le t \le T \end{Bmatrix}$$

เมื่อรวมเงื่อนไขนี้แล้ว จากสมการที่ (2.32) และ (2.34) จะได้

$$uV_s = L\frac{di}{dt} + v_o \tag{2.36}$$

จัดรูปให้อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ได้ดังนี้

$$\frac{di}{dt} = -\frac{v_o}{L} + \frac{V_s}{L}u \tag{2.37}$$

$$\frac{dv_o}{dt} = \frac{1}{C}i - \frac{1}{RC}v_o \tag{2.38}$$

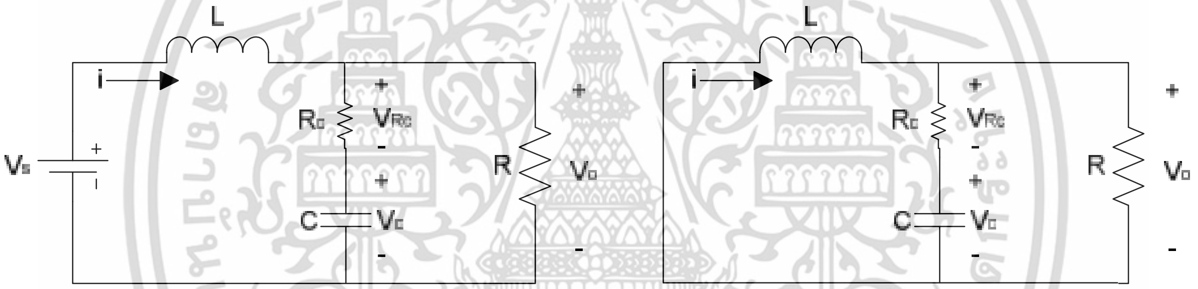
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเขียนในรูปสมการสถานะ (State equation) ได้ดังนี้

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} i \\ v_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{1}{C} & -\frac{1}{RC} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} i \\ v_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V_S}{L} \\ 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} u \end{bmatrix} \tag{2.39}$$

จากรูปสมการที่ (2.39) จะได้ตัวแปรสถานะ (State Variable) คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (i) และแรงดันเอาท์พุต (V_0) และมีฟังก์ชันบังคับ (Forcing Function) คือ เงื่อนไขการควบคุมสวิตช์ (u)

2.4.1.3 แบบจำลองปริภูมิสถานะ (State-Space Model) สำหรับวงจรทอนแรงดัน (Buck Converter) ในกรณีที่มีความต้านทานแฝงตัวเก็บประจุ (R_c)



ก) $0 \le t \le t_{on}$ ข) $t_{on} \le t \le T$

รูปที่ 2.7 (ก) ช่วงที่สวิตซ์นำกระแส (ข) ช่วงที่สวิตซ์ไม่นำกระแส

จากกฎเคอร์ชอฟฟ์ (KCL)

$$i = \frac{v_0}{R} + \frac{v_{Rc}}{R_c} \tag{2.40}$$

$$i = \frac{v_0}{R} + \frac{v_0}{R_c} - \frac{v_c}{R_c} \tag{2.41}$$

จะได้สมการ

$$v_c = \frac{R_c}{R}v_o + v_o - iR_c \tag{2.42}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อกำหนดให้ u เป็นเงื่อนไขการควบคุมสวิตซ์ โดยแบ่งช่วงการทำงานขณะสวิตซ์นำกระแส ($0 \le t \le t_{on}$) และสวิตซ์ไม่นำกระแส ($t_{on} \le t \le T$)

$$u = \begin{cases} 1, & 0 \le t \le t_{on} \\ 0, & t_{on} \le t \le T \end{cases}$$

จากกฎเคอร์ชอฟฟ์ (KVL)

$$uV_s = L\frac{di}{dt} + v_o \tag{2.43}$$

จากสมการที่ (2.43) จัดให้อยู่ในรูปสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งดังนี้

$$\frac{di}{dt} = u\frac{V_s}{L} - \frac{v_o}{L} \tag{2.44}$$

$$\text{เมื่อ } i_c = C\frac{dv_c}{dt} \tag{2.45}$$

$$i - i_o = C\frac{dv_c}{dt} \tag{2.46}$$

$$\frac{dv_c}{dt} = \frac{i}{C} - \frac{v_o}{CR} \tag{2.47}$$

จากสมการที่ (2.42) ทำการอนุพันธ์จะได้

$$\frac{dv_c}{dt} = \frac{R_c}{R}\frac{dv_o}{dt} + \frac{dv_o}{dt} - R_c\frac{di}{dt} \tag{2.48}$$

จากสมการที่ (2.44), (2.47) และ (2.48) จัดให้อยู่ในรูปสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่งดังนี้

$$\frac{dv_o}{dt} = \left(\frac{R}{CR_c+RC}\right)i - v_o\left(\frac{L+RR_cC}{LCR_c+LRC}\right) + \left(\frac{RR_cC}{LCR_c+LRC}\right)V_s u \tag{2.49}$$

พิจารณาสมการสถานะ (State Equation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

นำสมการ (2.44) และ (2.49) เขียนให้อยู่ในรูปสมการสถานะ (State Equation) ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \frac{di}{dt} \\ \frac{dv_o}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{R}{CR_c + CR} & -\left(\frac{L + RR_C C}{LCR_C + LRC}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ v_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V_s}{L} \\ \left(\frac{RR_c C}{LCR_c + LRC}\right) V_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \end{bmatrix} \quad (2.50)$$

จากรูปสมการที่ (2.50) จะได้ตัวแปรสถานะ (State Variable) คือ กระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (i) และแรงดันเอาท์พุต (V_0) และมีฟังก์ชันบังคับ (forcing Function) คือ เงื่อนไขการควบคุมสวิตช์ (U)

พิจารณาสมการเอาท์พุต (Output Equation)

$$y = Cx + Du$$

เนื่องจากระบบของวงจรทอนแรงดันมีเอาท์พุตเพียงค่าเดียวคือ แรงดันเอาท์พุต (V_0) และระบบของวงจรทอนแรงดันไม่มีการป้อนไปข้างหน้าจึงได้สมการเอาท์พุตในรูปของเมตริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ v_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \end{bmatrix} \quad (2.51)$$

จากสมการสถานะ (2.50) และสมการเอาท์พุต (2.51) จะได้เมตริกซ์ของสมการปริภูมิสถานะ ดังนี้

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{R}{CR_c + CR} & -\left(\frac{L + RR_c C}{LCR_c + LRC}\right) \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \frac{V_s}{L} \\ \left(\frac{RR_c C}{LCR_c + LRC}\right) V_s \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix}, D = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย A คือ เมตริกซ์ของระบบ (System matrix)

B คือ เมตริกซ์ควบคุม (Control matrix)

C คือ เมตริกซ์เอาท์พุต (Output matrix)

D คือ เมตริกซ์ป้อนไปข้างหน้า (Feed-forward matrix)

2.4.1.4 การสร้างฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function)

การสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบจากทฤษฎีปริภูมิสถานะ (State-space Theory) [6] จะใช้สมการ

$$G(s) = D + C(sI - A)^{-1} B \tag{2.52}$$

ซึ่งจะมีส่วนของเมตริกซ์เอกลักษณ์ (I: Identity matrix) ที่มีขนาดเท่ากับเมตริกซ์ของระบบ (System matrix) ในกรณีนี้จะได้

$$sI = \begin{bmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{bmatrix} \tag{2.53}$$

จากนั้นแทนค่าเมตริกซ์ต่างๆลงไปในสมการ (2.52)

$$sI - A = \begin{bmatrix} s & \frac{1}{L} \\ -\frac{R}{C(R_c + R)} & s + \left(\frac{L + RR_cC}{LC(R_c + R)}\right) \end{bmatrix} \tag{2.54}$$

$$(sI - A)^{-1} = \frac{1}{\left(\frac{s^2 LC(R_c + R) + s(L + RR_cC)}{LC(R_c + R)}\right) - \left(-\frac{R}{LC(R_c + R)}\right)} \begin{bmatrix} s + \left(\frac{L + RR_cC}{LC(R_c + R)}\right) & -\frac{1}{L} \\ \frac{R}{C(R_c + R)} & s \end{bmatrix} \tag{2.55}$$

$$(sI - A)^{-1} B = \frac{LC(R_c + R)}{s^2 LC(R_c + R) + s(L + RR_cC) + R} \begin{bmatrix} \left(s + \left(\frac{L + RR_cC}{LC(R_c + R)}\right)\right)\frac{V_s}{L} - \frac{1}{L}\left(\frac{RR_cC}{LCR_c + LRC}\right)V_s \\ V_s \frac{sRR_cC + R}{LC(R_c + R)} \end{bmatrix} \tag{2.56}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C(sI - A)^{-1}B = \frac{LC(R_c + R)}{s^2 LC(R_c + R) + s(L + RR_cC) + R}\left[0 + V_s \frac{sRR_cC + R}{LC(R_c + R)}\right] \tag{2.57}$$

$$D + C(sI - A)^{-1}B = 0 + V_s \frac{sRR_cC + R}{s^2 LC(R_c + R) + s(L + RR_cC) + R} \tag{2.58}$$

จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) ของระบบดังนี้

$$G(s) = \frac{V_O(s)}{u(s)} = V_S \frac{sR_CC + 1}{s^2 LC(\frac{R_C}{R} + 1) + s(\frac{L}{R} + R_CC) + 1} \tag{2.59}$$

โดยใช้ฟังก์ชันถ่ายโอนสมการนี้เป็นแบบจำลองอ้างอิงในทางทฤษฎีปริภูมิสถานะ (State-Space) และนำไปเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางพลศาสตร์ถูกสร้างขึ้นด้วยเทคนิคการหาพารามิเตอร์ระบบ (Identification Technique)

2.5 การหาพารามิเตอร์ระบบ (System Identification)

เทคนิคการหาพารามิเตอร์ระบบเป็นการหาพารามิเตอร์ทางแบบจำลองพลวัตของระบบ โดยอาศัยข้อมูลที่วัดได้จากระบบใดระบบหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าอินพุตและเอาท์พุตของระบบที่ต้องการศึกษานั้นๆ โดยในการหารูปแบบของระบบพลวัตจะมีวิธีประมาณการหรือแบบจำลองหลายแบบ ซึ่งรูปแบบในประมาณการแต่ละแบบจะเหมาะกับการหาพารามิเตอร์ของระบบที่แตกต่างกัน เช่น สำหรับโครงสร้างของระบบที่เป็นเชิงเส้น (Linear Structure) จะใช้รูปแบบ ARX (Auto Regressive with external input) รูปแบบ OE (Output Error) หรือรูปแบบ ARMAX (Auto Regressive Moving Average with external input) ในการหาแบบจำลองออกมาแต่สำหรับโครงสร้างของระบบที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear structure) จะใช้รูปแบบ โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) หรือใช้แบบจำลองแบบคลุมเครือ (Fuzzy model) ในการหาแบบจำลองของระบบออกมาแทนโดยขอบเขตของการทำวิทยานิพนธ์นี้ คือ ศึกษาแบบจำลองปริภูมิสถานะของระบบที่เป็นเชิงเส้นของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง (DC-DC converter) จึงได้เลือกใช้รูปแบบ OE ในการประมาณการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ กับวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification) โดยจะอธิบายความหมายในส่วนถัดไป

2.5.1 การประมาณการโดยใช้รูปแบบ ARX (Auto Regressive with External Input)

แบบจำลองนี้เหมาะสำหรับการหารูปแบบของระบบเชิงเส้นที่มีเพียงหนึ่งอินพุตและหนึ่งเอาท์พุต (Single-Input/Single-Output system : SISO) ซึ่งจะสร้างแบบจำลอง โดยใช้สมการของระบบเชิงเส้น

$$y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_{na} y(t-n_a) = b_1 u(t-n_k) + \dots + b_{nb} u(t-n_k-n_b+1) + e(t) \quad (2.60)$$

โดยที่ $y(t)$ คือ ค่าเอาท์พุต ณ เวลา t

$u(t)$ คือ ค่าอินพุต ณ เวลาt

n_a คือ จำนวนโพลของระบบ

n_b คือ จำนวนซีโร่บวกหนึ่งของระบบบวกหนึ่ง

n_k คือ จำนวนการสุ่มข้อมูล ก่อนที่อินพุตจะมีผลต่อเอาท์พุตของระบบ

$y(t-1)....y(t-n_a)$ คือ ค่าเอาท์พุตก่อนหน้าค่าเอาท์พุตที่ออกมา

$u(t-n_k)...n(t-n_k-n_b+1)$ คือ ค่าอินพุตก่อนหน้าค่าเอาท์พุตที่ออกมา

$e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาด

$a_1,..., a_{na}$ *และ* $b_1,..., b_{nb}$ คือ ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่เราต้องการทราบ

กำหนดให้ค่า q คือตัวคูณเปลี่ยนเวลาย้อนหลัง ยกตัวอย่างเช่น $q^{-1}u(t) = u(t-1)$ เป็นต้นซึ่งสามารถจัดรูปสมการที่ (2.60) ให้กระชับขึ้นได้ดังนี้

$$A(q)y(t) = B(q)u(t-n_k) + \frac{1}{A(q)}e(t) \quad (2.61)$$

เมื่อ

$$A(q) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a} \quad (2.62)$$

$$B(q) = b_1 + b_2 q^{-1} + \dots + b_{n_b} q^{-n_b+1} \quad (2.63)$$

จากสมการที่ (2.61) จะได้

$$y(t) = \frac{B(q)}{A(q)}u(t-n_k) + \frac{1}{A(q)}e(t) \quad (2.64)$$

จากสมการที่ (2.63) จะเห็นว่าสมการอยู่ในรูปของสมการไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete Time) จึงต้องแปลงให้อยู่ในรูปสมการต่อเนื่องของเวลา (Continuous Time) เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Y(s) = \frac{B(s)}{A(s)}U(s) + \frac{1}{A(s)}E(s) \tag{2.65}$$

โดยที่ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบมีค่าเท่ากับ $G(s) = \frac{B(s)}{A(s)}$

ตัวอย่าง หากใส่ค่าอินพุตและเอาท์พุต ที่วัดมาได้จากระบบใดระบบหนึ่ง จากนั้นกำหนดให้จำนวนโพล n_a= 3 และจำนวนซีโร่บวกหนึ่ง n_b= 2 เมื่อผ่านรูปแบบ ARX แล้วได้สมการออกมาดังนี้

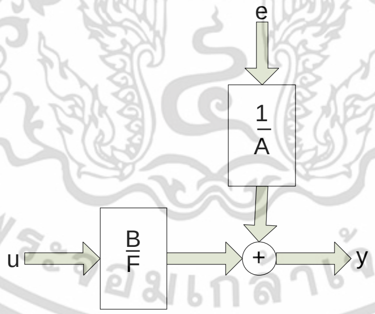
$$A(s) = s^3 + a_1 s^2 + a_2 s^1 + a_3 \tag{2.66}$$

$$B(s) = b_1 s + b_2 \tag{2.67}$$

จะได้ฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบ

$$G(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_1 s + b_2}{s^3 + a_1 s^2 + a_2 s^1 + a_3}$$

จากสมการที่ (2.65) เขียนในรูปของบล็อคไดอะแกรมได้ดังนี้



รูปที่ 2.8 บล็อคไดอะแกรมของแบบจำลอง ARX

สรุปวิธีการใช้คือ เมื่อใส่ข้อมูลค่าอินพุตและเอาท์พุตจากระบบที่วัดได้ พร้อมกับจำนวนของโพลและจำนวนซีโร่บวกหนึ่งของระบบ ซึ่งในการใส่ค่า n_a (จำนวน Pole) และ n_b (จำนวน Zero+1) นั้นก็จะอาศัยการสุ่มค่าตามแบบของ Black Box Model คือ ไม่รู้ค่าจำนวนของ Pole และ Zero ของระบบมาก่อน ใช้การสุ่มค่าต่างๆจนกว่าจะได้คำตอบที่ถูกต้อง ซึ่งคำตอบที่ออกมาคือค่าพารามิเตอร์ $a_1, a_2, ..., a_n$ และ $b_1, b_2, ..., b_n$ ของสมการของระบบที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 การประมาณค่ากำลังสองต่ำสุด (Least Squares Estimate)

ในการสร้างแบบจำลองของระบบด้วยวิธีการทางการหาพารามิเตอร์ระบบ จะสร้างโดยการใช้เกณฑ์ทางสถิติ เพื่อลดค่าความแปรปรวน (Noise Dynamic) หรือค่าความผิดพลาด (Error) ให้ต่ำที่สุด โดยจะได้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆออกมาใช้สร้างแบบจำลองที่ดีที่สุดนั้นเอง

จากสมการที่ (2.63) เมื่อค่าความผิดพลาดเท่ากับ

$$e(t) = y(t) - \hat{y}(t) \tag{2.68}$$

โดยที่ $y(t)$ คือ ค่าเอาท์พุตจริงที่วัดมาจากระบบ

$\hat{y}(t)$ คือ ค่าเอาท์พุตที่สร้างขึ้นจากการประมาณการในแบบจำลอง

จากสมการที่ (2.63) และ (2.66)

$$y(t) = \frac{B(q)}{A(q)}u(t - n_k) + \frac{1}{A(q)}\left(y(t) - \hat{y}(t)\right) \tag{2.69}$$

$$\hat{y}(t) = B(q)u(t - n_k) + (1 - A(q))y(t) \tag{2.70}$$

โดยกำหนดให้

$$\varphi = [-y(t-1),\dots,-y(t-n_a) \quad u(t-n_k),\dots,u(t-n_k-n_b+1)]^T \tag{2.71}$$

$$\theta = \begin{bmatrix} a_1,\dots,a_{na} \\ b_1,\dots,b_{nb} \end{bmatrix} \tag{2.72}$$

เมื่อ φ คือ ข้อมูลอินพุตและเอาท์พุตที่เราวัดมาจากระบบ

θ คือ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของระบบที่เราต้องการทราบค่า

จากสมการที่ (2.68), (2.69) และ (2.70)

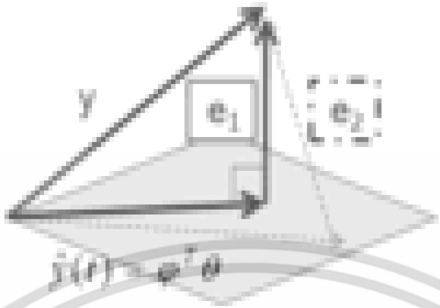
$$\hat{y}(t) = \varphi^T\theta \tag{2.73}$$

นำค่าจากสมการที่ (2.71) แทนลงในสมการ (2.66)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$e = y - \varphi^T \theta \qquad (2.74)$$

จากสมการที่ (2.72) เขียนให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ต่างๆได้ดังนี้



รูปที่ 2.9 เวกเตอร์ของค่าเอาท์พุตและค่าความผิดพลาดในColumn space ของ φ^T

จากรูปที่ 2.9 จะพบว่าที่ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดเวกเตอร์ของค่าความผิดพลาด (e) จะต้องตั้งฉากกันกับ Column space ของ φ^T เพราะฉะนั้นจึงนำสมบัติของเวกเตอร์ตั้งฉาก (Orthogonal vector) มาใช้

จากสมการที่ (2.72) นำ $(\varphi^T)^T$ มาคูณทั้งสมการ จะได้

$$(\varphi^T)^T \cdot \mathrm{e} = \varphi \cdot \mathrm{y} - \varphi \cdot \varphi^T \theta \qquad (2.75)$$

$$0 = \varphi \cdot \mathrm{y} - \varphi \cdot \varphi^T \theta \qquad (2.76)$$

$$\hat{\theta} = \left(\varphi \cdot \varphi^T\right)^{-1} \cdot \varphi \cdot \mathrm{y} \qquad (2.77)$$

จากสมการที่ (2.75) ได้ค่าพารามิเตอร์ของระบบโดยประมาณออกมา ซึ่งจะเป็นแบบจำลองทางพลศาสตร์ของระบบนั้น ที่สามารถประมาณค่าเอาท์พุตได้ใกล้เคียงกับเอาท์พุตของระบบที่วัดจริงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การประมาณการโดยใช้รูปแบบ OE (Output Error)

แบบจำลองนี้อาศัยการประมาณค่าความผิดพลาดในการสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบซึ่งรูปแบบโครงสร้างของการประมาณการแบบ OE จะเป็นดังนี้

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}u(t - nk) + e(t) \tag{2.78}$$

$$B(q) = b_1 + b_2q^{-1} + \ldots + b_{nb}q^{-nb+1} \tag{2.79}$$

$$F(q) = 1 + f_1q^{-1} + \ldots + f_{nf}\,q^{-nf} \tag{2.80}$$

ค่า q คือตัวคูณเปลี่ยนเวลาย้อนหลัง ยกตัวอย่างเช่น $q^{-1}u(t) = u(t-1)$ เป็นต้น

โดยที่ $y(t)$ คือ ค่าเอาท์พุต ณ เวลา t

$u(t)$ คือ ค่าอินพุต ณ เวลา t

n_b คือ จำนวนซีโร่บวกหนึ่งของระบบบวกหนึ่ง

n_f คือ จำนวนโพลของระบบ

n_k คือ จำนวนการสุ่มข้อมูล ก่อนที่อินพุตจะมีผลต่อเอาท์พุตของระบบ

$e(t)$ คือ ค่าความผิดพลาด

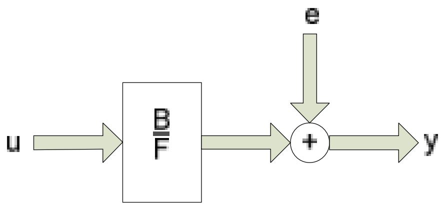
$b_1,\ldots,b_{nb}$ และ $f_1,\ldots,f_{nf}$ คือ ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่เราต้องการทราบ

จากสมการที่ (2.78) จะเห็นว่าสมการอยู่ในรูปของสมการไม่ต่อเนื่องทางเวลา (Discrete Time) จึงต้องแปลงให้อยู่ในรูปสมการต่อเนื่องของเวลา (Continuous Time) เพื่อหาฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบได้ดังนี้

$$G(s) = \frac{B(s)}{F(s)} = \frac{b_{nb}s^{(nb-1)} + b_{nb-1}s^{(nb-2)} + \ldots + b_1}{s^{nf} + f_{nf}s^{(nf-1)} + \ldots + f_1} \tag{2.81}$$

จากสมการที่ (2.81) เขียนในรูปของบล็อคไดอะแกรมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



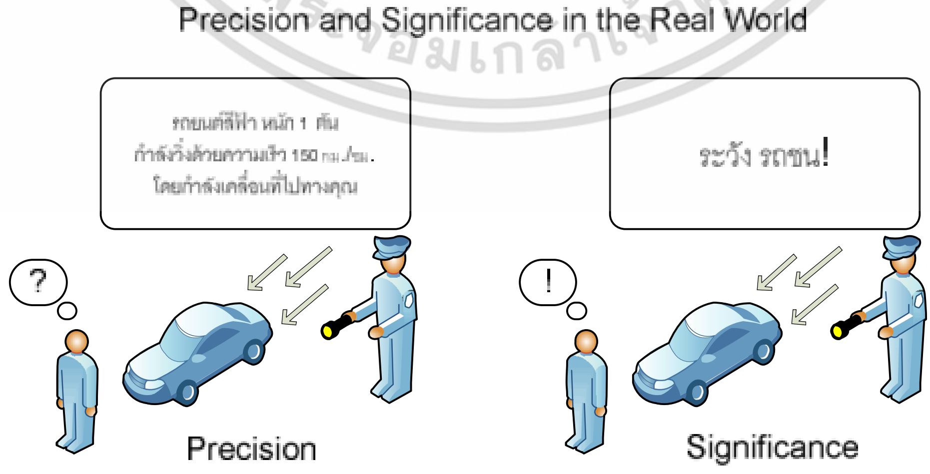
รูปที่ 2.10 บล็อคไดอะแกรมของแบบจำลอง OE

สรุปวิธีการใช้ เมื่อใส่ข้อมูลค่าอินพุต และเอาท์พุต จากระบบที่วัดได้ พร้อมกับจำนวนของโพลและจำนวนซีโร่บวกหนึ่งของระบบ ซึ่งในการใส่ค่า n_f (จำนวน Pole) , n_b (จำนวน Zero+1) และ n_k (จำนวนการสุ่มข้อมูล) นั้นก็จะอาศัยการสุ่มค่าตามแบบของ Black box model คือ ไม่รู้ค่าจำนวนของ pole และ zero ของระบบมาก่อน ใช้การสุ่มค่าต่างๆจนกว่าจะได้คำตอบที่ถูกต้องออกมานั้นเอง ซึ่งคำตอบที่ออกมานั้นคือค่าพารามิเตอร์ $f_1, f_2, \ldots, f_{nf}$ และ $b_1, b_2, \ldots, b_{nb}$ ของสมการของระบบที่ต้องการ เช่นเดียวกันกับการประมาณการค่าตามรูปแบบ ARX (Auto Regressive with external input)

2.6 ทฤษฎีตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Logic and Fuzzy System)

2.6.1 ความหมายตรรกะคลุมเครือ

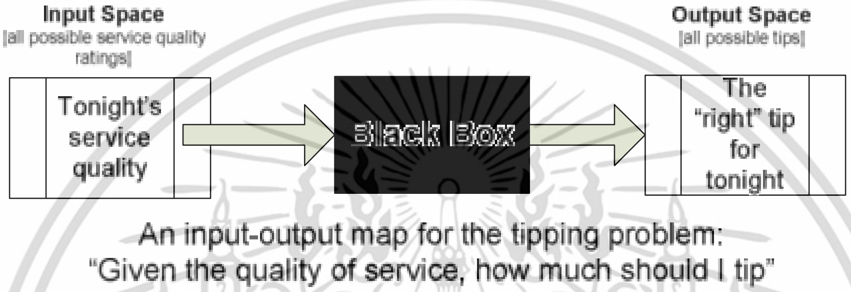
การตัดสินใจแบบตรรกะคลุมเครือ [7] เป็นกระบวนการการควบคุมโดยใช้การตัดสินใจแบบคลุมเครือ ซึ่งการตัดสินใจนั้นอยู่บนพื้นฐานของประสบการณ์และกฎของความเป็นจริงในธรรมชาติ ยกตัวอย่างได้จากรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การเปรียบเทียบการตัดสินใจระหว่างแบบฟิสิกส์และตรรกะแบบคลุมเครือ [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

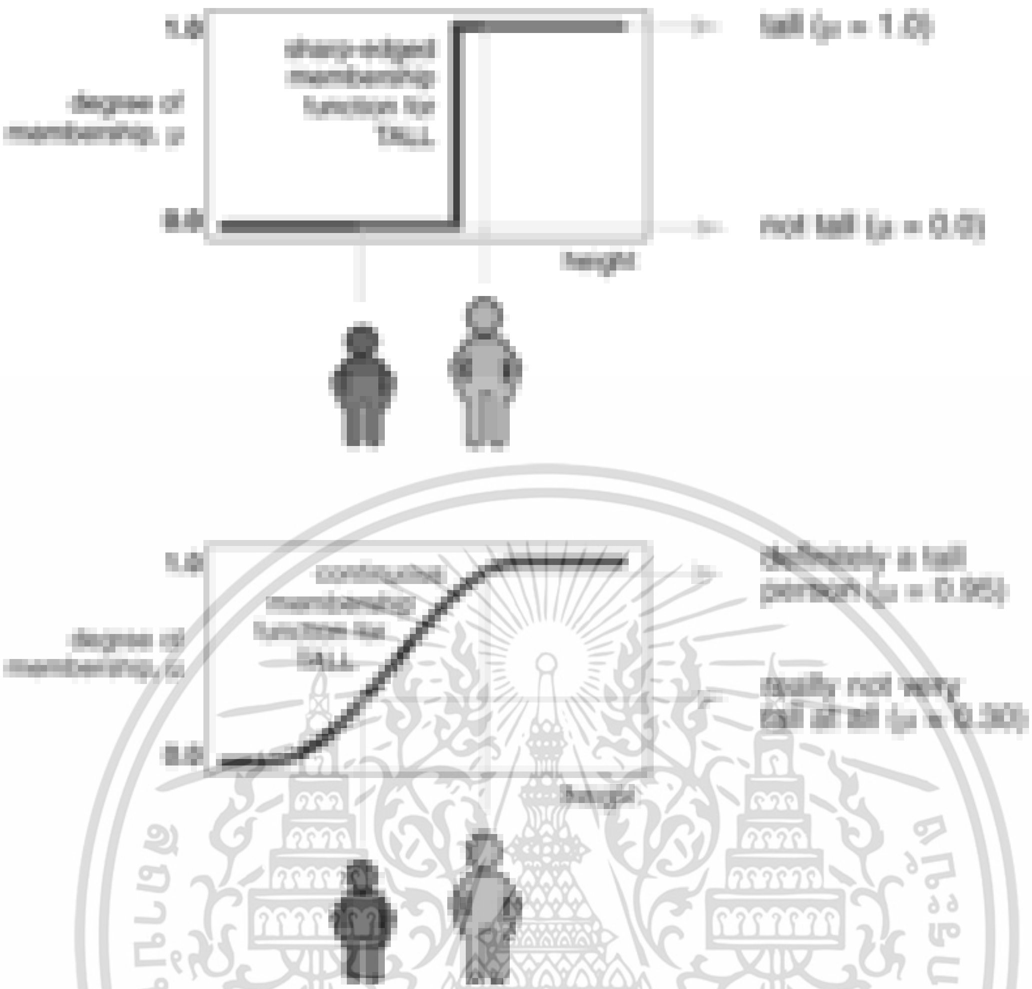
จากรูปแสดงให้เห็นว่าการเตือนอันตรายที่จะเกิดจากรถยนต์ซึ่งปกติมนุษย์จะเตือนด้วยปริมาณเชิงคุณภาพมากกว่าเชิงตัวเลข ในทำนองเดียวกันการตัดสินใจแบบคลุมเครือก็จะใช้ความรู้สึกที่เป็นไปได้ในการตัดสินใจว่าอะไรควรทำและไม่ควรทำโดยมีปัจจัยหลายๆกรณีที่เกี่ยวข้องได้นำมาคิดเพื่อร่วมในการตัดสินใจด้วยนั้นคือกฎ ซึ่งจะมีตัวอย่างที่นิยมใช้กันเพื่อแสดงให้เห็นถึงการใช้ตรรกะแบบคลุมเครือในการตัดสินใจปัญหา นั้นคือการให้ “เงินพิเศษ (tips)” แก่ร้านอาหารนั้นเอง



รูปที่ 2.12 หลักการของการตัดสินใจแบบคลุมเครือในการให้เงินพิเศษ [7]

จากรูปแสดงให้เห็นว่าในการตัดสินใจแบบนี้เพียงรู้คุณภาพของค่าป้อนเข้าของปัญหาทั้งหมดและผลลัพธ์ของปัญหาที่ใช้ในการตัดสินใจเพียงเท่านี้ก็สามารถแก้ปัญหาโดยใช้ตรรกะแบบคลุมเครือได้แล้ว ซึ่งคุณภาพของค่าป้อนเข้าสามารถเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่าฟังก์ชันสมาชิก (Membership function) ในตัวอย่างการให้เงินพิเศษแก่ร้านอาหารก็จะมีปัจจัย 2 อย่าง คือ ความอร่อยของอาหาร และการบริการ สิ่งนี้คือค่าป้อนเข้าของระบบ โดยเมื่อวิเคราะห์ตามความเป็นจริงของสังคมมนุษย์ส่วนใหญ่พบว่า ความอร่อยของอาหารสามารถแบ่งปริมาณเชิงคุณภาพได้อย่างน้อยสองอย่างซึ่งสามารถแบ่งได้มากกว่านั้น นั้นคือ อาหารอร่อย และอาหารไม่อร่อย ในทำนองเดียวกันการบริการนั้นสามารถแบ่งปริมาณเชิงคุณภาพได้อย่างน้อยสองอย่างซึ่งสามารถแบ่งได้มากกว่านั้น นั้นคือ บริการดี และบริการไม่ดี ซึ่งคุณภาพอาหารและบริการนั้นจะรู้ได้อย่างไรว่าอร่อยและบริการดีมากแค่ไหนนี้คือความคลุมเครือที่เกิดขึ้น ซึ่งอธิบายได้ดังรูปที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 ระบบตรรกะแบบคลุมเครือ [7]

จากรูปอธิบายระบบตรรกะแบบคลุมเครือด้วยความสูง เพราะความสูงก็เป็นปัญหาของความคลุมเครือชนิดหนึ่งว่าจะรู้ได้อย่างไรมนุษย์มีความสูงเท่าไรในเชิงปริมาณถึงเรียกว่าสูงในเชิงคุณภาพและจะรู้ได้อย่างไรว่ามนุษย์มีความสูงเท่าไรในเชิงปริมาณถึงเรียกว่าเตี้ยในเชิงคุณภาพ แต่ละสังคมก็มีความคิดไม่เหมือนกันทำให้เกิดกราฟสมาชิก (Membership)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 ความได้เปรียบของการใช้ตรรกะแบบคลุมเครือ

1. เข้าใจง่ายไม่ซับซ้อนเพราะไม่มีคณิตศาสตร์มาวิเคราะห์มาก

2. วิธีนี้ยืดหยุ่นสามารถใช่แก้ปัญหาในการตัดสินใจได้หลายด้านทั้งด้านวิศวกรรม ด้านธุรกิจ เป็นต้น

3. ใช้ในการตัดสิ้นใจกับปัญหาที่คลุมเครือตัดสินใจยากได้ง่ายขึ้นโดยใช้หลักของเหตุผล

4. สามารถใช้วิเคราะห์ปัญหาและวิเคราะห์โครงสร้างแบบไม่เป็นเชิงเส้นได้ดี

5. สามารถแก้ปัญหาได้ง่ายก็ต่อเมื่อผู้ที่ใช้เครื่องมือนี้ในการแก้ปัญหาจะต้องมีประสบการณ์ที่สูงและเข้าใจระบบที่จะแก้ปัญหาได้ดี

6. วิธีนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมแบบอื่นได้

7. ตรรกะแบบคลุมเครือเป็นภาษาที่เข้าใจง่าย

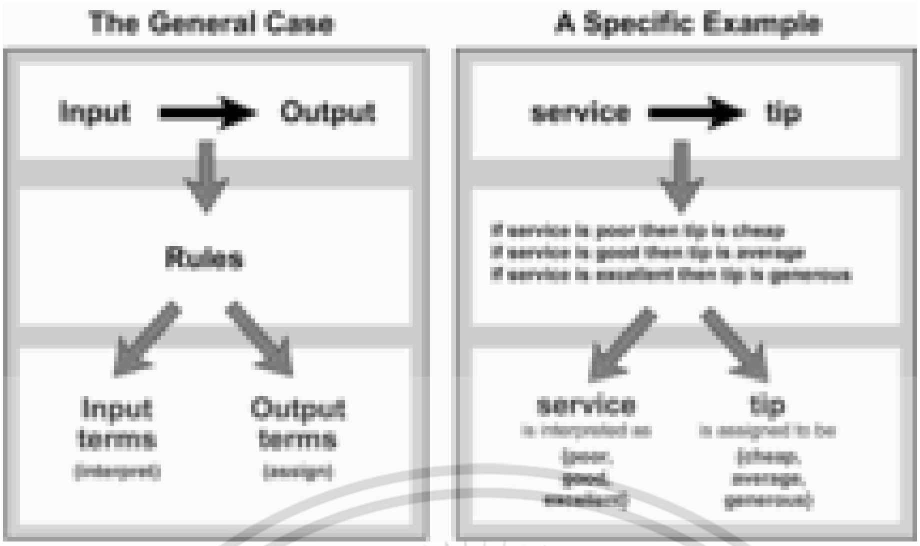
2.6.3 กระบวนการตรรกะแบบคลุมเครือ

ในการคิดวิเคราะห์แบบตรรกะแบบคลุมเครือจะมีกระบวนการอยู่ 3 อย่างคือ

1. การนำความจริงมาเข้าสู่ระบบตรรกะแบบคลุมเครือ (Fuzzification) คือหาฟังก์ชันสมาชิก (Membership function) ของค่าป้อนเข้า
2. การหากฎของตรรกะแบบคลุมเครือ (Inference)
3. การหาค่าที่ออกมาจากตรรกะแบบคลุมเครือ (De-fuzzification) ต้องมีฟังก์ชันสมาชิก (Membership function) ของค่าที่ออกมา

จากกระบวนการสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 กระบวนการตรรกะแบบคลุมเครือในกรณีปกติและกรณีการให้เงินพิเศษร้านอาหาร [7]

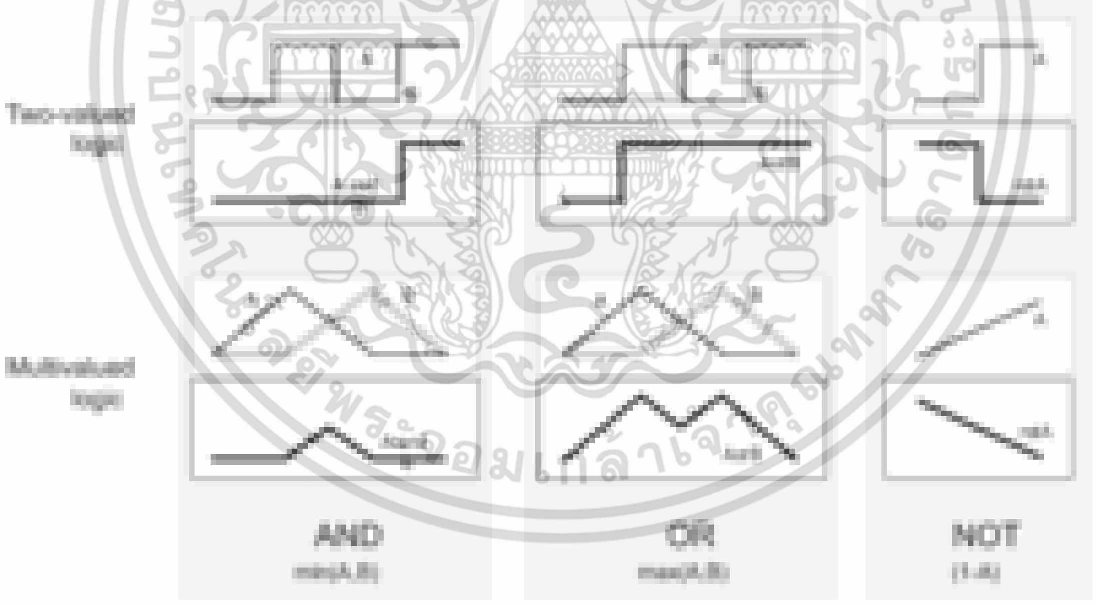
จากรูปทำให้สามารถเห็นภาพรวมของกระบวนการตรรกะแบบคลุมเครือ ดังนั้นในการทำตรรกะแบบคลุมเครือเริ่มแรกต้องหาฟังก์ชันสมาชิก (Membership function) ของค่าป้อนเข้าและค่าออกจากกระบวนการเสียก่อน ซึ่งฟังก์ชันสมาชิก (Membership function) จะสามารถแสดงได้ในรูปแบบของกราฟที่นิยามถึง ความสำคัญ ความถี่ หรือน้ำหนักว่ามากน้อยแค่ไหนของปริมาณเชิงคุณภาพโดยให้เป็นระดับ 0 ถึง 1 ซึ่งการกำหนดของระดับขึ้นอยู่กับตัวผู้ใช้วิธีคิดแบบนี้ว่ามันเป็นจริงตามธรรมชาติหรือไม่หรือถูกหลักตามความเชื่อและทฤษฎีอื่นที่คนอื่นยอมรับหรือไม่ ดังแสดงได้จากภาพของฤดูกาลในด้านล่างนี้

รูปที่ 2.15 ฟังก์ชันสมาชิกของฤดูกาลกับ 12 เดือน [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพแสดงให้เห็นถึงในหนึ่งปีมีสี่ฤดูซึ่งเป็นกรอบความคิดของธรรมชาติในซีกโลกเหนือซึ่งจะไม่เป็นจริงในประเทศไทย หรือ ประเทศที่อยู่แถบซีกโลกใต้อย่างออสเตรเลีย และฤดูของทั้งสี่คือ ใบไม้ผลิ ร้อน ใบไม้ร่วง และ หนาว ซึ่งจะแปรผันไปทุกๆสามเดือนเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงมีนาคมอีกปีถัดไป จากรูปที่ 2.15 ทางซ้ายมือและขวามือแสดงให้เห็นว่าฤดูกาลไม่ได้แน่นอนเหมือนกราฟขาขึ้น (Step Function) กล่าวคือวันที่ 1 ของเดือนมิถุนายน เวลา 0.01 นาฬิกาก็จะเปลี่ยนเป็นฤดูร้อนทันที แต่ในความเป็นจริงแล้วจะมีผลของค่าคงที่ธรรมชาติ (ค่าe) ฤดูกาลค่อยๆเปลี่ยนเป็นกราฟเกาส์เซียน (Gaussian) ดังรูปทางซ้ายมือ ทำให้สามารถหาฟังก์ชันสมาชิกของความเป็นไปของฤดูในหนึ่งปีได้ดังที่กล่าวมาข้างต้น

หลังจากสามารถหาฟังก์ชันสมาชิก ได้แล้วต่อไปจะไปสร้างกฎในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของฟังก์ชันสมาชิก ของค่าป้อนเข้าและฟังก์ชันสมาชิก ของขาที่ออกมาว่าต้องมีความสัมพันธ์กันอย่างไรด้วยกฎของและ (AND) หรือ (OR) และไม่ (NOT) ซึ่งอธิบายได้ตามรูปข้างล่างนี้



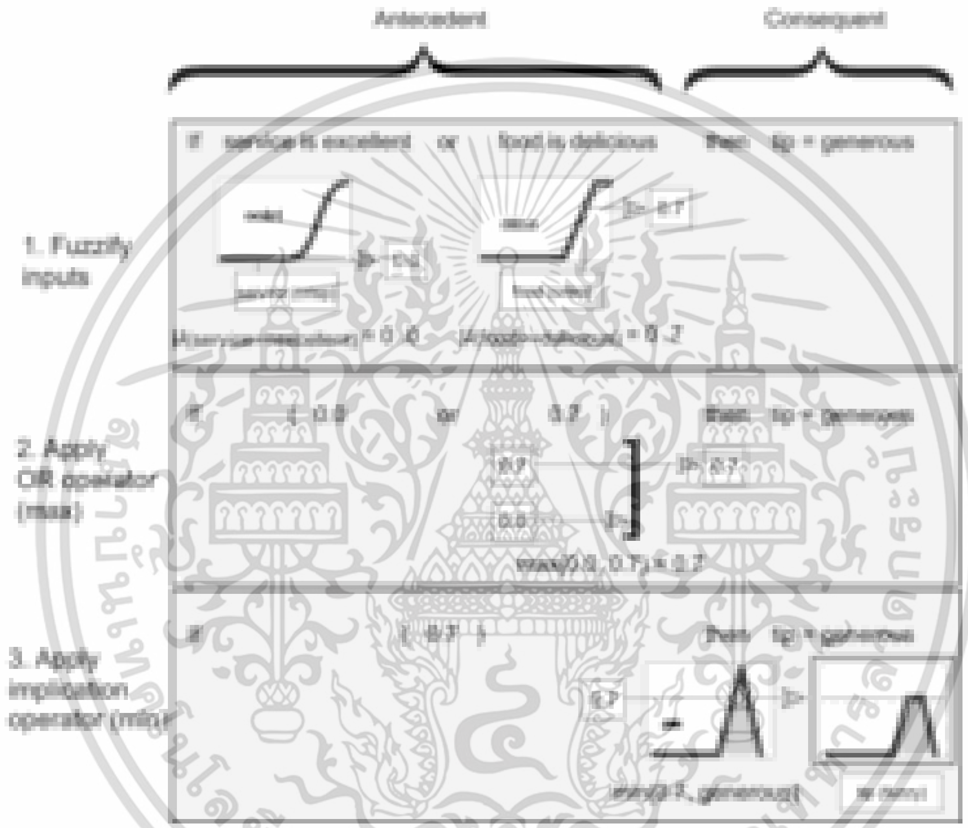
รูปที่ 2.16 กฎของ และ (AND) หรือ (OR) และ ไม่ (NOT) [7]

เมื่อเข้าใจกฎข้างต้นแล้วก็เข้าสู่กระบวนการสร้างเหตุผลโดยการสร้างกฎถ้า...แล้ว... (If-Then) ซึ่งโครงนี้สามารถเพิ่มได้ด้วยกฎตามรูปที่ 2.16 โดยใช้ฟังก์ชันสมาชิก ของค่าป้อนเข้าและฟังก์ชันสมาชิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ออกมามาสร้างกฎเช่นในตัวอย่างการให้เงินพิเศษในร้านอาหารสามรถให้กฎได้ว่าถ้าอาหารอร่อยและบริการดีแล้วให้เงินพิเศษมากที่สุด หรือ ถ้าอาหารอร่อยปานกลางแล้วให้เงินพิเศษปานกลาง เป็นต้น

เมื่อตั้งกฎได้แล้วก็สามารถหาค่าที่ออกมาจากฟังก์ชันสมาชิก ของค่าขาออกโดยได้จากกฎที่ตั้งดังตัวอย่างในรูปที่ 2.17

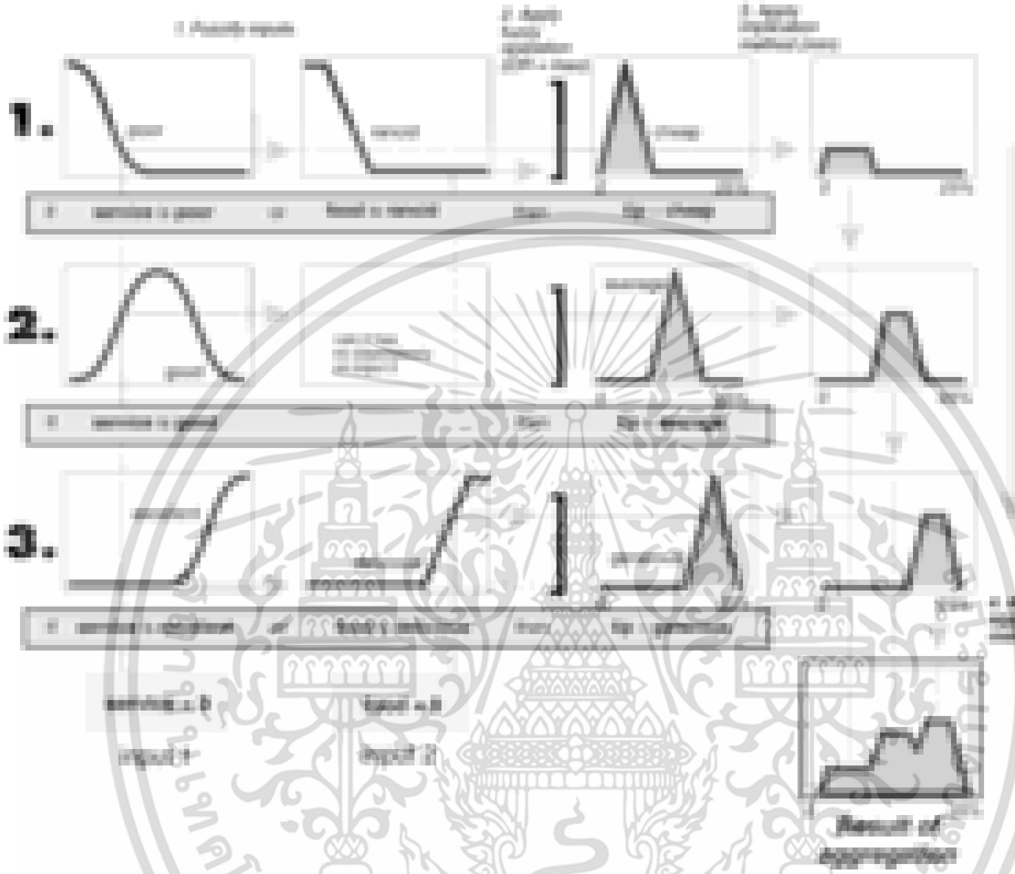


รูปที่ 2.17 แสดงถึงกระบวนการในการหาค่าขาออกของกระบวนการตรรกะแบบคลุมเครือ [7]

จากรูปสามารถอธิบายได้ว่าถ้าให้คะแนนการบริการเท่ากับ 3 จาก 10 และความอร่อยเท่ากับ 8 จาก 10 เมื่อไปสัมพันธ์กับกฎที่ว่าถ้าบริการเยี่ยมหรืออาหารอร่อยแล้วได้เงินพิเศษมาก โดยใช้กฎหรือมาเลือกค่าสูงสุด จากนั้นใช้ฟังก์ชันสมาชิก ของระดับการบริการเยี่ยมเพราะตั้งกฎที่บริการเยี่ยม ข้างต้นให้คะแนนการบริการเท่ากับ 3 นำไปตัดในกราฟจะได้เท่ากับ 0 ออกมา ในทำนองเดียวกันความอร่อยของอาหารก็คิดแบบเดียวกันได้เท่ากับ 0.7 นำมาหรือเลือกค่าสูงสุดได้ค่า 0.7 ออกมาเช่นกันนำค่าที่ได้ไปตัดกับฟังก์ชันสมาชิก ของค่าที่ออกมาในส่วนของฟังก์ชันสมาชิก ที่ให้เงินพิเศษมากเพื่อหาค่าเงินพิเศษออกมาตามรูปทำอย่างนี้ทุกกฎแล้วนำ ฟังก์ชันสมาชิก มารวมกัน (union) จะได้กราฟของฟังก์ชันสมาชิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

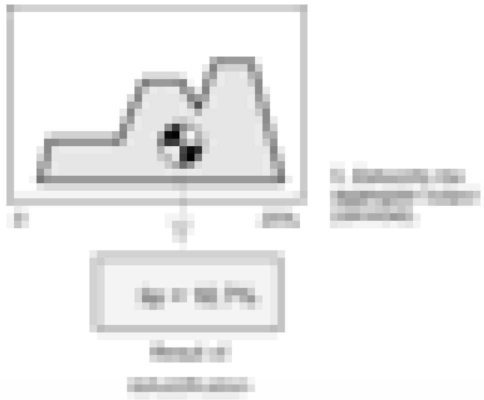
ของเงินพิเศษที่ผ่านกระบวนการตรรกะแบบคุมเครือออกมาเพื่อไปทำการรวมกลุ่ม (Aggregation) เพื่อหาค่าเงินที่ควรได้ต่อไปดังรูปข้างล่างนี้



รูปที่ 2.18 กระบวนการหาตรรกะแบบคลุมเครือของการกาเงินพิเศษจากร้านอาหาร [7]

การทำการรวมกลุ่ม (Aggregation) มีหลายแบบเพื่อหาค่าที่ได้จริงจากกระบวนการตรรกะแบบคลุมเครือค่าที่ได้เป็นค่าของคำตอบของปัญหาซึ่งวิธีที่นิยมใช้กันคือการหาจุดศูนย์ถ่วง (Centroid) ซึ่งสามารถเรียกกระบวนการนี้ได้ว่าการกำจัดความคลุมเครือ (Defuzzify) ซึ่งอธิบายได้ดังรูปข้างล่างนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงการหาการกำจัดความคลุมเครือ (Defuzzify) ด้วยการหาจุดศูนย์ถ่วง

จากการหาการกำจัดความคลุมเครือ (Defuzzify) สามารถมีวิธีได้ 7 แบบในการหาซึ่งขึ้นกับรูปที่ได้จากกระบวนการข้างต้นที่กล่าวมาทั้งหมดมีดังนี้

1. ข้อกำหนดสมาชิกสูงสุด (Max-membership Principle)
2. วิธีจุดศูนย์ถ่วง (Centroid Method)
3. วิธีเฉลี่ยน้ำหนัก (Weighted Average Method)
4. สมาชิกสูงสุดเฉลี่ย (Mean-max Membership)
5. ผลรวมจุดศูนย์กลาง (Centre of Sums)
6. จุดศูนย์กลางของพื้นที่ใหญ่สุด (Centre of Largest Area)
7. ค่าสูงสุดอันดับแรกหรือค่าสูงสุดอันดับสุดท้าย (First of Maxima or Last of Maxima)

2.6.4 แบบจำลองคณิตศาสตร์แบบฟัซซี (Fuzzy Model)

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้น (Linear Model) ที่มีโครงสร้างของแบบจำลองเพียงตัวเดียวสามารถจำลองการทำงานของระบบได้ดีก็ต่อเมื่อมีช่วงการทำงานที่ไม่กว้างมาก แต่ถ้างานที่มีช่วงของการทำงานก็กว้างมากๆ จะทำให้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้นจะไม่สามารถจำลองการทำงานของระบบได้ใกล้เคียงกับระบบจริงเท่าที่ควร ดังนั้นจึงได้มีผู้เสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบฟัซซีที่จำลองการทำงานของระบบได้ใกล้เคียงระบบจริงได้มากขึ้นเพราะจะมีการเปลี่ยนพารามิเตอร์ต่างๆภายในฟังก์ชันถ่ายโอนของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยมี เวกเตอร์ของเอาต์พุตของระบบ (Scheduling Vector) ที่ทำให้สามารถเลือกแบบจำลองในช่วงต่างๆของระบบแบบฟัซซีมาใช้งานได้ การหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบฟัซซีจะหาได้โดยพิจารณาคู่ลำดับอินพุต-เอาต์พุต ($[u(t), y(t)]$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกับการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้น จากนั้นก็มีการพิจารณาเมตริกซ์ของเอาต์พุต และอินพุตของฟัซซีดังนี้

$$z = \begin{bmatrix} z^1 \\ z^2 \\ \vdots \\ z^N \end{bmatrix}, \quad y = \begin{bmatrix} y^1 \\ y^2 \\ \vdots \\ y^N \end{bmatrix}, \quad \beta_{i_1,\ldots,i_n} = \begin{bmatrix} \beta^1_{i_1,\ldots,i_n} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \beta^2_{i_1,\ldots,i_n} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \beta^N_{i_1,\ldots,i_n} \end{bmatrix} \tag{2.25}$$

เมื่อ z คือ เวกเตอร์อินพุตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบฟัซซี

y คือ เอาต์พุตของระบบ

β คือ เมตริกซ์ของความสัมพันธ์ของเอาต์พุตและอินพุตของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในแต่ละช่วง (Local Model) โดยที่ $\beta^1_{i_1,\ldots,i_n} = \prod_{j=1}^{n} A_{j,i_j}(z_j)$

n คือ จำนวนเซตของข้อมูลอินพุต-เอาต์พุต

จากการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบฟัซซีจะต้องมีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด เพื่อประมาณค่าเอาต์พุตของแบบจำลองกับเอาต์พุตของระบบจริงในแต่ละช่วงให้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยใช้เงื่อนไขดังสมการดังนี้

$$\min_{\theta'} \left\{ \frac{1}{2} (\theta')^T H \theta' + c^T \theta' \right\} \tag{2.26}$$

เมื่อ $\theta' = \left[(z')^T z' \right]^{-1} (z')^T y$,

$z' = \left[\beta_{1,\ldots,1,1} z_e, \beta_{1,\ldots,1,2} z_e, \ldots, \beta_{M_1,\ldots,M_n} z_e \right]$,

$H = 2(z')^T z'$,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$c = -2(z')^T y$$

$$z_e = \begin{bmatrix} z & 1 \end{bmatrix}$$

จากทฤษฎีของการออกแบบชุดควบคุมและการหาแบบจำลองของระบบในบทนี้สามารถนำขั้นตอนการออกแบบชุดควบคุมคงทนร่วมกับขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาออกแบบชุดควบคุมคงทนแบบกำหนดโครงสร้างของชุดควบคุมได้ นอกจากนั้นยังได้นำไปใช้กับระบบที่มีหลายอินพุต-หลายเอาต์พุต (MIMO) ที่ยากต่อการออกแบบชุดควบคุมที่มีความคงทนและสมรรถนะที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

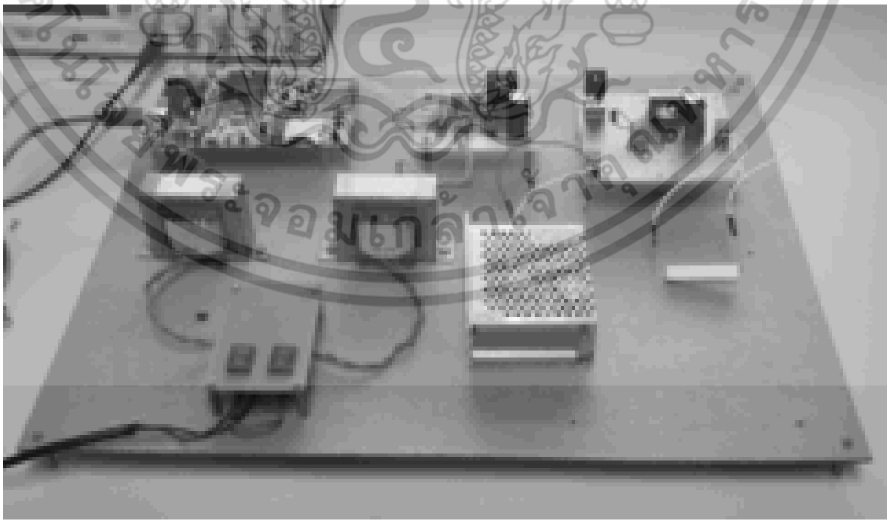
บทที่ 3
การออกแบบและสร้างวงจร

3.1 บทนำ

ในบทนี้นำเสนอการออกแบบวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรง-กระแสตรงที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์โดยเทคนิคการหาพารามิเตอร์ระบบ (Identification Model) เพื่อหารูปแบบทางพลศาสตร์ ซึ่งจะต้องอาศัยค่าข้อมูลอินพุตและเอาท์พุตจากวงจร เพื่อนำมาหาค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ต่างๆ ภายในระบบที่ศึกษา รวมถึงการออกแบบการทดลองของแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุต (Output Error Identification) และการออกแบบการทดลองของแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification)

3.2 ส่วนประกอบหลักของวงจร

จากรูปที่ 3.1 วงจรทอนแรงดันไฟฟ้าจะประกอบด้วยส่วนของวงจรกำลังบนแผงบอร์ดและวงจรควบคุมบนบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อสร้างสัญญาณอินพุตเพื่อเป็นสัญญาณขับเกต ที่ปรับค่าดิวตี้ไซเคิลตามต้องการ ให้ครอบคลุมย่านที่ต้องการทำการศึกษาและออกแบบหาพลศาสตร์ของระบบ ในการทดลองจะใช้หม้อแปลงสองตัวเพื่อแปลงไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการจ่ายเรกูเรเตอร์และวงจรไฟเลี้ยง



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบหลักของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณความถี่ในการสวิตช์จะถูกเลือกและโปรแกรมในไมโครคอนโทรเลอร์ จากนั้นจะเก็บสัญญาณทั้งอินพุตและเอาท์พุตของระบบโดยใช้สโคปดิจิตอลที่มีอัตราการการสุ่มคาบเวลา (sampling) ที่สูง

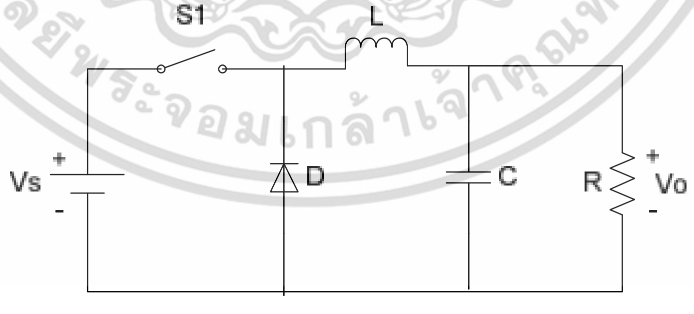
3.3 การออกแบบวงจรการทดลอง

3.3.1 วงจรทอนแรงดันไฟฟ้า (Buck Converter)

วงจรทอนแรงดันไฟฟ้าหรือบั๊กคอนเวอร์เตอร์นั้น เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ลดระดับแรงดันไฟฟ้าด้านออก (V_o) มีค่าต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า (V_s) และด้านออกจะมีวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าด้านออกที่มีความเป็นกระแสตรงมากขึ้น ในช่วงขาออกช่วยกรองสัญญาณ วงจรทอนแรงดันสามารถทำการปรับระดับแรงดันไฟฟ้าได้โดยการปรับดิวตี้ไซเคิลในวงจรควบคุมเพื่อไปสั่งสวิตซ์ทำงานอีกที โดยวงจรทอนแรงดันไฟฟ้าโดยรวมดังวงจรในรูปที่ 3.2 โดยโหมดการทำงานของวงจรทอนแรงดันไฟฟ้าจะแบ่งออกเป็น 2 โหมด คือโหมดกระแสต่อเนื่องและโหมดกระแสไม่ต่อเนื่อง ซึ่งในโหมดกระแสไม่ต่อเนื่องการปรับแรงดันขาออกจะไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าดิวตี้ไซเคิลเพียงอย่างเดียว แต่ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้งานเฉพาะที่โหมดกระแสต่อเนื่องเท่านั้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตและแรงดันเอาท์พุตแสดงได้ตามสมการที (3.1)

$$\frac{V_o}{V_i} = D \tag{3.1}$$

โดยที่ V_o คือ แรงดันไฟฟ้าขาออกและ V_i คือ แรงดันไฟฟ้าขาเข้า และ D คือ ค่าดิวตี้ไซเคิล



รูปที่ 3.2 วงจรทอนแรงดัน

3.3.2 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำ (Inductance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบตัวเหนี่ยวนำจะต้องคำนึงถึงความต่อเนื่องของกระแสด้วย โดยต้องเลือกค่าความเหนี่ยวนำ ที่มีค่ามากกว่าค่าความเหนี่ยวนำต่ำสุดที่ได้จากการคำนวณนั้น ซึ่งสามารถคำนวณมีดังนี้

จาก $$I_{L,min} = V_o\left[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)R}{2Lf}\right] = 0$$

$$\left[\frac{1}{R} - \frac{(1-D)R}{2Lf}\right] = 0$$

$$\frac{1}{R} = \frac{(1-D)R}{2Lf}$$

จะได้สมการคำนวณค่าตัวเหนี่ยวนำ ดังนี้

$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2f} \qquad (3.2)$$

เมื่อ

f คือ ความถี่การสวิตซ์ (โดย $f = \frac{1}{T}$)

D คือ ดิวตี้ไซเคิล

R คือ โหลดความต้านทาน

โดยในการทดลองได้ออกแบบค่าดิวตี้ไซเคิลอยู่ที่ D = 0.45 ที่ความถี่ 50 กิโลเฮิร์ต และใช้ค่าความต้านทานกรณีโหลดน้อยที่สุดมาคำนวน กำหนดให้กรณีโหลดน้อยคือที่ 5 โอห์ม เมื่อนำค่าตัวแปรต่างๆมาแทนค่าในสมการ (3.2) จะได้ค่าความเหนี่ยวนำต่ำสุดเท่ากับ 27.5 ไมโครเฮนรี่ ($L_{\min} = 27.5\,\mu H$) ซึ่งเป็นค่าตัวเหนี่ยวนำที่สามารถทำให้วงจรสามารถทำงานในสภาวะกระแสต่อเนื่องได้ในทุกค่าของโหลดที่เลือก ซึ่งในการทำวงจรจริงสามารถพันได้ค่าความเหนี่ยวนำเลือกใช้เท่ากับ 380 ไมโครเฮนรี่ ($L = 380\,\mu H$)

3.3.3 การออกแบบตัวเก็บประจุ (Capacitance)

การหาค่าตัวเก็บประจุในส่วนของวงจรทอนแรงดันไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.3)

$$C = \frac{(1-D)}{8rLf^2} \qquad (3.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

r คือ ค่าแฟคเตอร์คลื่นละลอก ($r = \frac{\Delta V_o}{V_o}$ และค่าปกติ r < 2%) โดยให้มีค่าเท่ากับ 0.01

f คือ ความถี่การสวิตซ์ (โดยที่ $f = \frac{1}{T}$)

D คือ ดิวตี้ไซเคิล

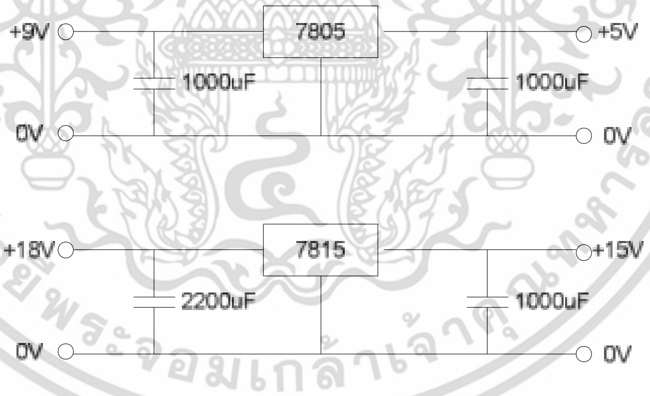
โดยที่ค่าต่างๆมีค่า ดังนี้

f = 50 kHz และ r = 0.01

โดย ค่าดิวตี้ไซเคิล ที่ใช้ในการทดลอง D = 0.45 และเมื่อแทนค่าในสมการ (3.3) จะได้ ค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ 7.23 ไมโครฟารัด (C = 7.23 μF) ดังนั้น ค่าตัวเก็บประจุที่เลือกใช้ในการทดลองจะเท่ากับ 100 ไมโครฟารัด (C = 100 μF) ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้ระลอกคลื่นต่ำกว่าที่ออกแบบไว้

3.3.4 วงจร IC 7805 และวงจร 7815

ใช้วงจรเรกูเรเตอร์ (Regulator) สร้างแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง +5 และ ±15 โวลต์ โดยใช้ IC เบอร์ LM7805, LM7815 โดยทางด้านขาเข้ารับไฟมาจากหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Center Tap) 220/18 โวลต์ เพื่อใช้จ่ายไฟให้กับวงจรขับมอสเฟต (Gate Drive) และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

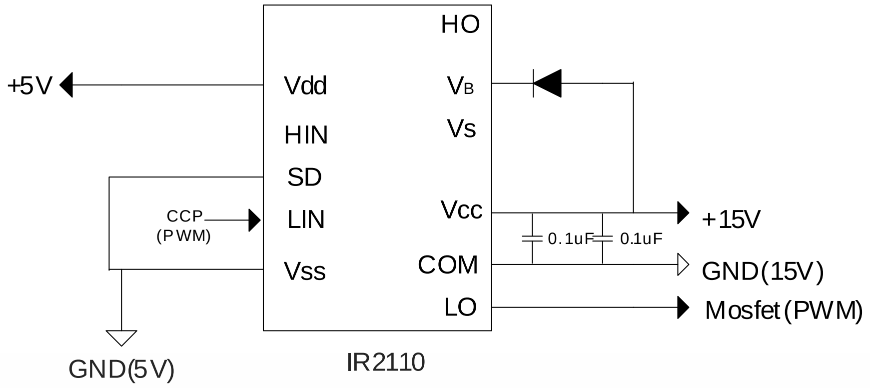


รูปที่ 3.3 วงจร IC 7805 และวงจร IC 7815

3.3.5 วงจรขับมอสเฟต (Gate Drive)

ชุดขับมอสเฟตนี้ใช้ IC เบอร์ IR 2110 โดยสามารถแยกกราวด์ให้กับวงจรขับมอสเฟตได้ ซึ่งวงจรขับมอสเฟตนี้จะได้รับสัญญาณพัลส์ (+5V Duty cycle) ที่สร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำหน้าที่ขยายสัญญาณให้เป็นสัญญาณพัลส์ (+15V) ก่อนที่จะส่งไปขับมอสเฟตต่อไป

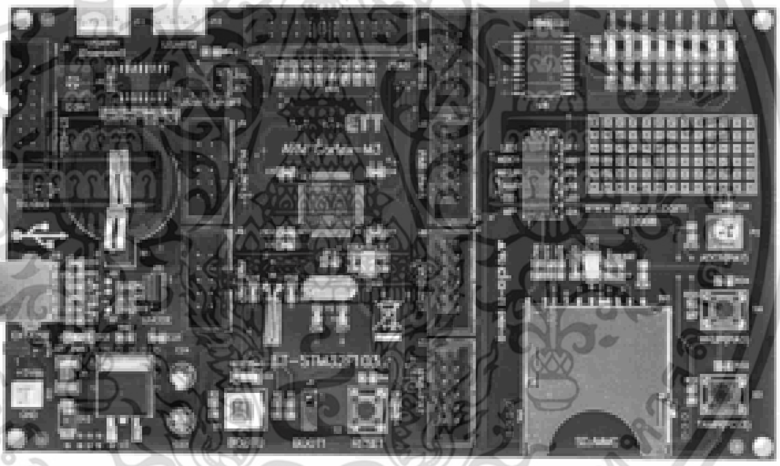
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรขับมอสเฟต

3.3.6 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดอาร์มรุ่น ARM Cortex-M3 ให้ทำหน้าที่ สร้างสัญญาณที่ใช้ในการขับสวิตซ์มอสเฟตจากชุดควบคุม

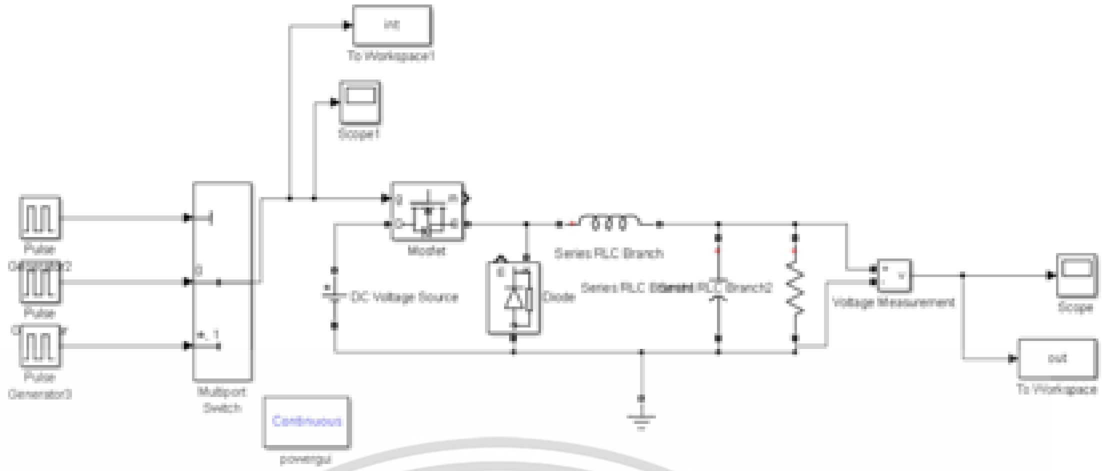


รูปที่ 3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดอาร์มรุ่น ARM Cortex-M3

3.4 การออกแบบการจำลองวงจรในโปรแกรม

การจำลองวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า จะทำการจำลองในโปรแกรมแมทแลป MATLAB Simulink โดยทำการเขียนวงจรเริ่มจากด้านสัญญาณขับเกตสวิตซ์ ซึ่งเป็นสัญญาณคอนโทรลให้สลับกันตั้งแต่ดิวตี้ไซเคิล 0-1 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 0.2 ทุกๆ 2 มิลลิวินาที จากนั้นเขียนในส่วนของวงจรกำลังที่ประกอบด้วยแรงดันอินพุต, สวิตซ์, ไดโอด, ตัวเหนี่ยวนำ, ตัวเก็บประจุ และโหลดความต้านทาน ให้ครบถ้วนดังรูปที่ 3.6 และใช้ค่าตัวแปรพารามิเตอร์ในการจำลองตามตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



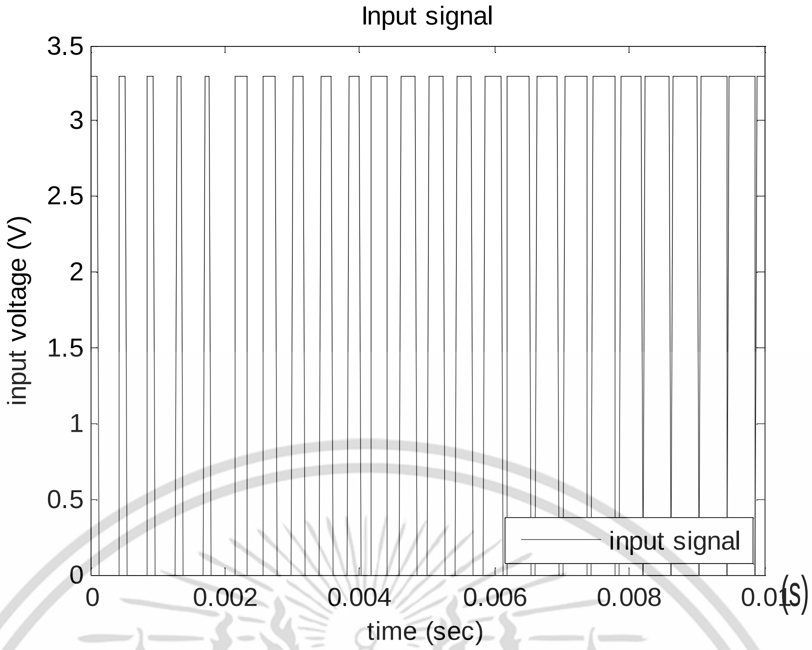
รูปที่ 3.6 จำลองวงจรในโปรแกรม MATLAB

ตารางที่ 3.1 ค่าตัวแปรที่ใช้ในการจำลอง

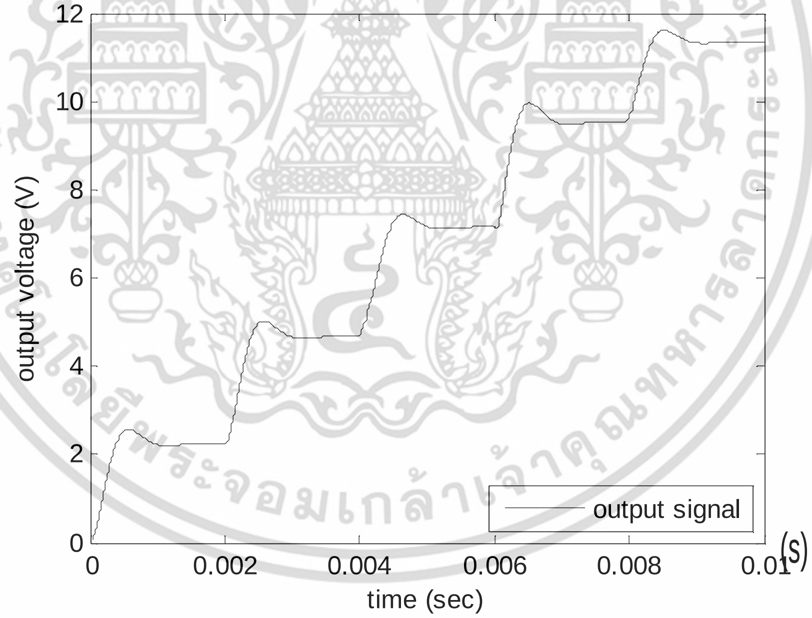
ตัวแปร	ค่าตัวแปร
V_{in}	12 V
L	380 μH
R	5 Ω
C	100 μF
f	50 kHz

จากจำลองวงจรทอนแรงดันไฟฟ้าในโปรแกรมแมทแลป MATLAB จะได้กราฟความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตดังรูปที่ 3.7 และ 3.8 ตามลำดับ โดยเลือกค่าข้อมูลที่อยู่ในสภาวะคงตัว (Steady State) มาใช้ในการประมาลผลด้วยทฤษฏีการหาพารามิเตอร์ระบบ (System Identification)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 สัญญาณอินพุต (สัญญาณขับเกต) เทียบกับเวลา



รูปที่ 3.8 สัญญาณเอาท์พุต (แรงดันด้านออก) เทียบกับเวลา

จากรูปที่ 3.7 และ 3.8 แสดงสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตตามลำดับ พบว่า สัญญาณอินพุตที่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นจากดิวตี้ไซเคิลจะส่งผลโดยตรงให้เกิดพลศาสตร์ในระบบให้กับสัญญาณเอาท์พุตให้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

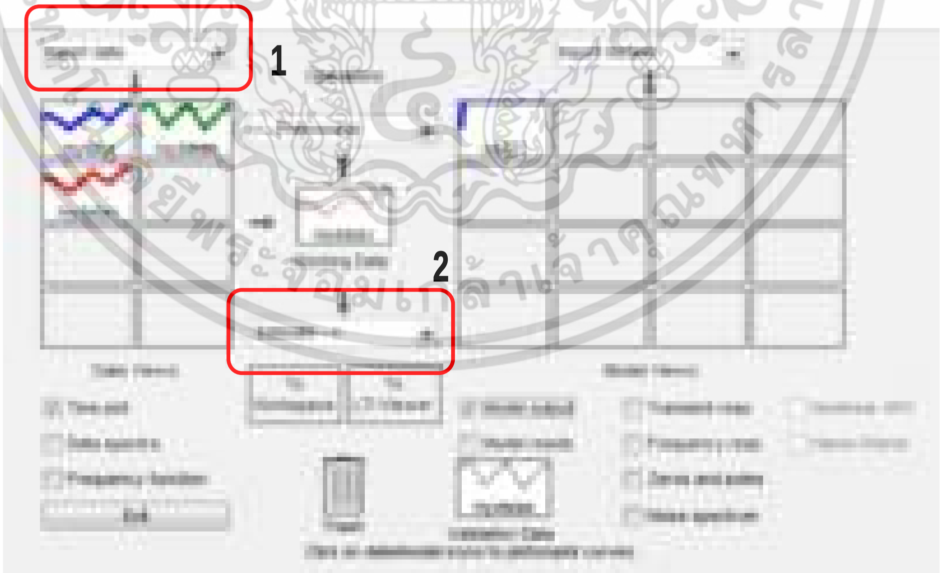
3.5 การออกแบบการหาแบบจำลองโดยใช้ความผิดผลาดของเอาท์พุต (Output Error Identification)

เมื่อได้สัญญาณอินพุตและเอาท์พุตของระบบที่ต้องการ ในการหาแบบจำลองโดยใช้ความผิดผลาดของเอาท์พุต (Output Error Identification) จะต้องเลือกรูปแบบการจำลองตามทฤษฎีการหาสมการระบบที่เหมาะสม โดยการใช้รูปแบบ OE มีรายละเอียดของตัวแปรในแบบจำลองดังนี้

- nb คือ จำนวนซีโร่ของระบบบวกด้วยหนึ่ง
- nf คือ จำนวนโพลของระบบ
- nk คือ จำนวนการสุ่มข้อมูลก่อนที่ค่าอินพุตจะมีผลต่อค่าเอาท์พุตของระบบ

การเลือกตัวแปรของแบบจำลอง จะอาศัยการเดาสุ่มตามรูปแบบของกล่องดำ (Blace-Box Model) กล่าวคือไม่สามารถบ่งบอก จำนวนโพล (Pole) ซีโร่ (Zero) ในระบบมาก่อน แล้วทำการสุ่มตัวแปรของแบบจำลองของทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบไปจนกว่าจะได้แบบจำลองที่มีค่าความถูกต้องและสามารถยอมรับได้

โดยวิธีการทดลองในโปรแกรมแมทแลป MATLAB นั้นสามารถสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของระบบออกมา โดยการใช้คำสั่ง “ident” ในโปรแกรมแมทแลป จะปรากฎหน้าต่างโปรแกรมดังรูปที่ 3.9 สำหรับในการเลือกใช้แบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุต (Output Error Identification)



รูปที่ 3.9 หน้าต่างเมนูการหาสมการระบบ (Identification System)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเริ่มจากการกำหนดอินพุตและเอาท์พุตของระบบที่ต้องการทราบ แล้วเลือกเมนูที่หมายเลข 1 ในรูปที่ 3.9 โดยให้เลือกเป็นชนิด “Time domain data” จากนั้นจะปรากฏหน้าต่างดังรูปที่ 3.10 เพื่อกำหนดค่าอินพุต (Input) และ เอาท์พุต (Output) ต่อไป

รูปที่ 3.10 หน้าต่างเมนูกำหนดค่าการสุ่มข้อมูล

เมื่อทำการกำหนดค่าอินพุตและเอาท์พุตที่ต้องการทราบระบบแล้ว ให้ทำการเลือกเมนูที่หมายเลข 2 ในรูปที่ 3.9 เพื่อกำหนดรูปแบบในการหาโดยให้เลือก “Linear Parametric Models” จะปรากฏเมนูการเลือกรูปแบบของแบบจำลองดังรูปที่ 3.11 โดยเลือกรูปแบบ OE (Output Error) แล้วกด Estimate ก็จะได้แบบจำลองโดยใช้ความผิดผลาดของเอาท์พุต (Output Error Identification) ซึ่งจากการลองผิดลองถูกตามรูปวิธี Black-box model พบว่าจะต้องใช้ค่า nb=2, nf=2 และ nk=1 จึงจะได้ผลที่ใกล้เคียงกับสัญญาณเอาท์พุตมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 หน้าต่างเมนูเลือกรูปแบบของแบบจำลอง

3.6 การออกแบบการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification)

ในการทดลองนี้จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบฟัซซี่ของทาคางิ-ซึเงะโนะ (TS) [15] บนเทคนิคของงานวิจัย [14] ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยเทคนิคของ [14] นั้นสามารถให้แบบจำลองที่แม่นยำสูง ในการทดลองนี้ก็เช่นเดียวกันจะทำการเปรียบเทียบแบบจำลองของระบบจริงโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบฟัซซี่ของทาคางิ-ซึเงะโนะกับแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุต เพื่อให้เห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบฟัซซี่ของทาคางิ-ซึเงะโนะสามารถให้ความแม่นยำที่สูงกว่า และจะได้แบบจำลองที่เที่ยงตรงกว่าดังนี้

ในการทดลองนี้จะมีการวิเคราะห์ระบบเป็นแบบดีสครีต (Discrete Model) ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบจำลองฟัซซีทาคางิ-ซึเงะโนะสามารถแสดงโครงสร้างกฎของแบบจำลองได้ดังนี้

$$R_j : if\,\bar{y}(k)\,is A_j\; then\; y^i(k+1) = a_1^j y(k) + a_2^j y(k-1) + b_1^j u(k-d+1) \qquad (3.4)$$

เมื่อ $\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของเอาท์พุตที่ขึ้นกับค่าดิวตี้ไซเคิล k คือ จำนวนของการสุ่มข้อมูล (Sample Data No.k) d คือ จำนวนของค่าของเวลาหน่วง (Number of Time Delay) และ A_j คือ ฟังก์ชันสมาชิกของฟัซซี (Fuzzy Membership Function) จากแบบจำลองในสมการที่ (3.4) มีค่าเฉลี่ยของเอาท์พุตที่ขึ้นกับค่าดิวตี้ไซเคิลมาเป็นตัวตรวจสอบเงื่อนไข (Scheduling Vector) ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองฟัซซีทาคางิ-ซึเงะโนะ โดยที่กำหนดให้จำนวนกฎของฟัซซี (Number of Rules in the Fuzzy Model) เท่ากับ 6 โดยที่ระบบในตำแหน่งต่างๆ (Local Models) สามารถแสดงในรูปเมตริกซ์ได้ดังสมการที่ (3.5)

$$G = \begin{bmatrix} a_1^1 & a_2^1 & b_1^1 \\ a_1^2 & a_2^2 & b_1^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_1^6 & a_2^6 & b_1^6 \end{bmatrix} \tag{3.5}$$

เมื่อได้ค่าพารามิเตอร์ในระบบ G แล้วนำไปพิจารณาตามแบบจำลองฟัซซีทาคางิ-ซึเงะโนะ จะได้ระบบ $G_{\bar{y}}$ ที่สัมพันธ์กับค่าเฉลี่ยของเอาท์พุตที่ขึ้นกับการปรับดิวตี้ไซเคิล ($\bar{y}$) ดังแสดงได้ดังนี้

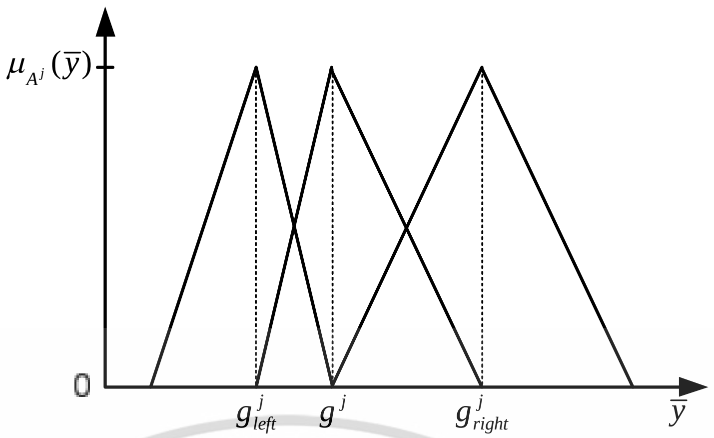
$$G_{\bar{y}} = \frac{\sum_{j=1}^{M} \mu_j G_j}{\sum_{j=1}^{M} \mu_j} \tag{3.6}$$

เมื่อ $\mu_j = \mu_{A^j}(\bar{y})$ คือ ค่าฟังก์ชันค่าความสัมพันธ์ของรูปแบบ j^{th} G_j คือ รูปแบบเฉพาะ j^{th} M คือ จำนวนเซ็ตของตรรกะคลุมเครือ(ในวิทยานิพนธ์นี้คือจำนวนของรูปแบบเฉพาะ) บนด้านอินพุตฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ในระดับตรรกะคลุมเครือถูกกำหนดตามปกติที่ควรจะเป็นดังฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยมตามรูปที่ 3.12 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\mu_{A^j}(\bar{y}) = \begin{cases} \dfrac{\bar{y} - g_{left}^j}{g^j - g_{left}^j} & for\ g_{left}^j < \bar{y} < g^j \\ \dfrac{g_{right}^j - \bar{y}}{g_{right}^j - g^j} & for\ g^j < \bar{y} < g_{right}^j \end{cases} \tag{3.7}$$

โดย g^j , g_{left}^j และ g_{right}^j จุดกึ่งกลางของสามเหลี่ยมตัวของ j ด้านซ้ายและด้านขวาตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 ฟังก์ชันสมาชิกที่เป็นแบบฟังก์ชันรูปสามเหลี่ยม

ในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากระบบจริงในวิธีใดก็ตามจำเป็นต้องมีสัญญาณอินพุตที่วัดได้และสัญญาณเอาท์พุตที่วัดได้โดยเป็นผลมาจากสัญญาณอินพุตนั้น โดยสัญญาณทั้งสองต้องครอบคลุมถึงแบบจำลองที่ต้องการจะหา ในการทดลองนี้จึงสัญญาณอินพุตที่แปรผันตามช่วงของดิวตี้ไซเคิลดังนี้คือจะใส่สัญญาณที่ดิวตี้ไซเคิล 0-0.2, 0.2-0.4, 0.4-0.6, 0.6-0.8 และ 0.8-1 ซึ่งจะเปลี่ยนช่วงดิวตี้ไซเคิล ทุก 2 มิลลิวินาที

เมื่อได้สัญญาณที่ต้องการแล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมแมทแลป (MATLAB) เพื่อหาแบบจำลองออกมาโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้นั้นจะเป็นตัวแทนทางพลศาสตร์ของวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า

จากนั้นนำสัญญาณอินพุตและเอาต์พุตจากการทดลองไปหาแบบจำลองของระบบแบบฟัซซี [14] จะได้ค่าพารามิเตอร์ a_1^i , a_2^i และ b_1^i ดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองฟัซซีทาคางิ-ซึเงะโนะของวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า

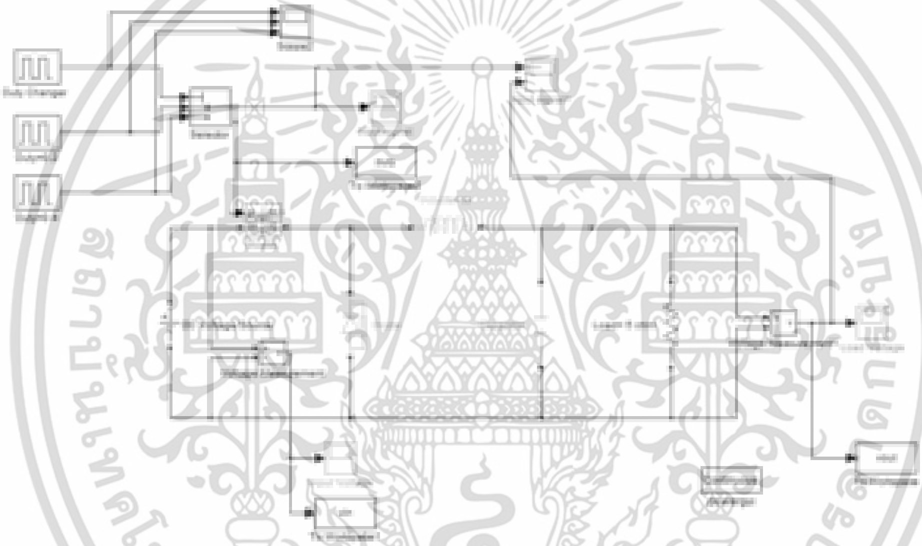
ดิวตี้ไซเคิล i	พารามิเตอร์ a_1^i	พารามิเตอร์ a_2^i	พารามิเตอร์ b_1^i	จำนวนของค่าของเวลาหน่วง d
1	0.4343	0.5731	0.0006	1
2	0.4136	0.8652	-0.0076	1
3	0.4115	0.5971	-0.0106	1
4	0.1571	0.8536	-0.0120	1
5	0.4024	0.5541	0.0499	1
6	0.1569	0.1363	0.6759	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และผลการทดลอง

4.1 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

การจำลองวงจรทอนแรงดันด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็นแบบ 2 แบบ กล่าวคือแบบหาสมการพลศาสตร์โดยแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุต (Output Error identification) และ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy identification) โดยใช้ข้อมูลอินพุตและเอาท์พุตจากการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป MATLAB ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 วงจรทอนแรงดันที่สร้างในโปรแกรม MATLAB

การสร้างแบบจำลองวงจรทอนแรงดัน ได้กำหนดพารามิเตอร์ตามที่ได้ออกแบบการทดลองในสภาวะปกติอ้างอิงไว้ในบทที่ 3 ดังนี้

แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 12 โวลต์

ค่าตัวเหนี่ยวนำ (L) ขนาด 380 ไมโครเฮนรี่

ค่าตัวเก็บประจุ (C) ขนาด 100 ไมโครฟารัด

ค่าความต้านทานโหลด (R) ขนาด 5 โอห์ม

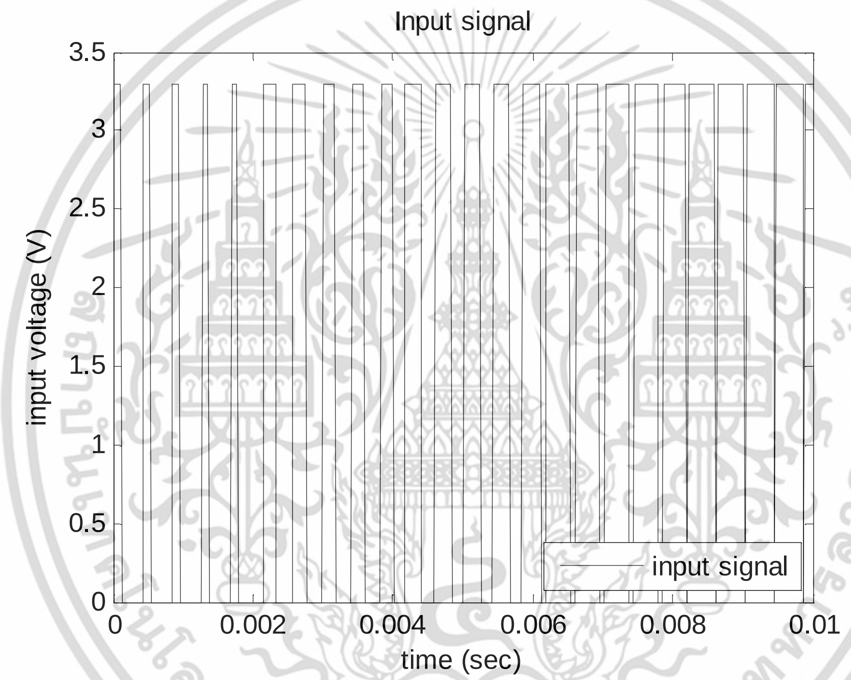
ค่าความถี่ (f) 50 กิโลเฮิร์ต

จากรูปที่ 4.1 สามารถแบ่งวงจรได้เป็นวงจรที่ใช้สร้างสัญญาณพัลส์ในการขับเกตให้กับวงจรทอนแรงดันและวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า เมื่อทำการจำลองทั้งระบบจะได้ข้อมูลอินพุตและเอาท์พุตชุดเดียวกันเพื่อนำไปเปรียบเทียบหาความถูกต้องทางพลศาสตร์ระหว่างวิธีแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

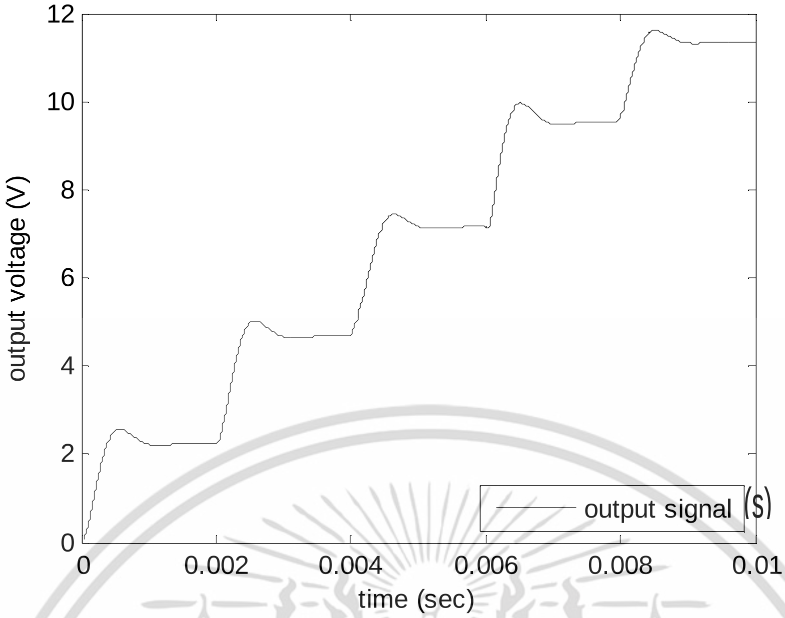
เอาท์พุต (Output Error Identification) และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification)

โดยสร้างเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์เทรนโดยใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณเพื่อสร้างสัญญาณพัลส์เท-รนที่มีความถี่ 50 กิโลเฮิร์ท และค่าดิวตี้ไซเคิลที่ต่างกันคือ ที่ดิวตี้ไซเคิล 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1 ไปยังวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า จากนั้นทำการจำลอง (Simulation) โดยกำหนดเวลาในการจำลองเท่ากับ 0 ถึง 0.3 วินาที และรูปแบบในการจำลองเป็นการจำลองแบบกำหนดลำดับขั้น (Fixed-step) จากนั้นเก็บผลข้อมูลโดยมีคาบเวลาที่ 2 มิลลิวินาที มีจำนวนข้อมูล 500 ข้อมูล เวลาในการสุ่มต้องเท่ากับ 20 ไมโครวินาที จะได้สัญญาณอินพุตตามรูปที่ 4.2 และเอาท์พุตตามรูปที่ 4.3 ตามลำดับ



รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณอินพุต (สัญญาณขับเกต)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณเอาท์พุต (แรงดันไฟฟ้าด้านออก)

เมื่อได้สัญญาณอินพุต (สัญญาณขับเกต) และสัญญาณเอาท์พุต (แรงดันไฟฟ้าด้านออก) ของแบบจำลองระบบแล้ว ทำการเก็บข้อมูลอินพุตและเอาท์พุตที่ได้ไปใช้กับแบบจำลองทั้ง 2 แบบต่อไป

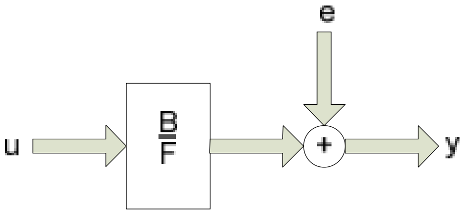
4.1.1 แบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุต (Output Error Identification)

แบบจำลองนี้อาศัยการประมาณค่าความผิดพลาดในการสร้างฟังก์ชันถ่ายโอนของระบบซึ่งรูปแบบโครงสร้างของการประมาณการแบบความผิดพลาดเอาท์พุตจะเป็นดังนี้

$$G(s) = \frac{B(s)}{F(s)} = \frac{b_{nb} s^{(nb-1)} + b_{nb-1} s^{(nb-2)} + \ldots + b_1}{s^{nf} + f_{nf} s^{(nf-1)} + \ldots + f_1} \quad (4.1)$$

จากสมการที่ (4.1) สามารถเขียนในรูปของบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 บล็อกไดอะแกรมของแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุต

สรุปวิธีการใช้ เมื่อใส่ข้อมูลค่าอินพุท และเอาท์พุท จากระบบที่วัดได้ พร้อมกับจำนวนของโพลและจำนวนซีโร่บวกหนึ่งของระบบ ซึ่งในการใส่ค่า n_f (จำนวนโพล) n_b (จำนวนซีโร่+1) และ n_k (จำนวนการสุ่มข้อมูล) นั้นก็จะอาศัยการสุ่มค่าตามแบบของโมเดลกล่องดำ (Black box model) กล่าวคือ ไม่รู้ค่าจำนวนของโพลและซีโร่ของระบบมาก่อน ใช้การสุ่มค่าต่างๆจนกว่าจะได้คำตอบที่ถูกต้องออกมานั้นเอง ซึ่งคำตอบที่ออกมานั้นคือค่าพารามิเตอร์ $f_1, f_2, ..., f_{nf}$ และ $b_1, b_2, ..., b_{nb}$ ของสมการของระบบที่ต้องการรายละเอียดอยู่ในบทที่ 2

ในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากระบบจริงในวิธีใดก็ตามจำเป็นต้องมีสัญญาณอินพุตที่วัดได้และสัญญาณเอาท์พุตที่วัดได้โดยเป็นผลมาจากสัญญาณอินพุตนั้น โดยสัญญาณทั้งสองต้องครอบคลุมถึงแบบจำลองที่ต้องการจะหา ในการทดลองนี้จึงใช้สัญญาณอินพุตที่แปรผันตามช่วงของดิวตี้ไซเคิลดังนี้คือจะใส่สัญญาณที่ดิวตี้ ไซเคิล 0-0.2, 0.2-0.4, 0.4-0.6, 0.6-0.8 และ 0.8-1 ตามลำดับ ซึ่งจะเปลี่ยนช่วงดิวตี้ไซเคิล ทุกๆ 2 มิลลิวินาที ดังนั้นสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จะปรากฏในรูปที่ 4.3

โดยการทดลองสร้างแบบจำลองทางพลศาสตร์ของระบบออกมา โดยใช้ทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ (System Identification) ในโปรแกรม MATLAB ซึ่งวิธีวิเคราะห์โดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุตนั้น จะเป็นการวิเคราะห์ในรูปแบบเชิงเส้น (Linear model) โดยเลือกรูปแบบของแบบจำลองตามทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบที่เหมาะสม โดยเลือกใช้รูปแบบ OE (Output Error) มีความเหมาะสมในการหาแบบจำลองระบบที่มีเพียงค่าอินพุทและเอาท์พุทเพียงค่าเดียว โดยมีรายละเอียดของตัวแปรในแบบจำลองดังนี้

nb คือ จำนวนซีโร่ของระบบบวกด้วยหนึ่ง

nf คือ จำนวนโพลของระบบ

nk คือ จำนวนการสุ่มข้อมูลก่อนที่ค่าอินพุทจะมีผลต่อเอาท์พุทระบบ

จากการสุ่มเลือกรูปแบบจำลองโดยวิธี Black-Box Model พบว่า “OE 221” มีค่าใกล้เคียงกับสัญญาณเอาท์พุตมากที่สุดเมื่อเทียบกับรูปแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุตแบบอื่นและ

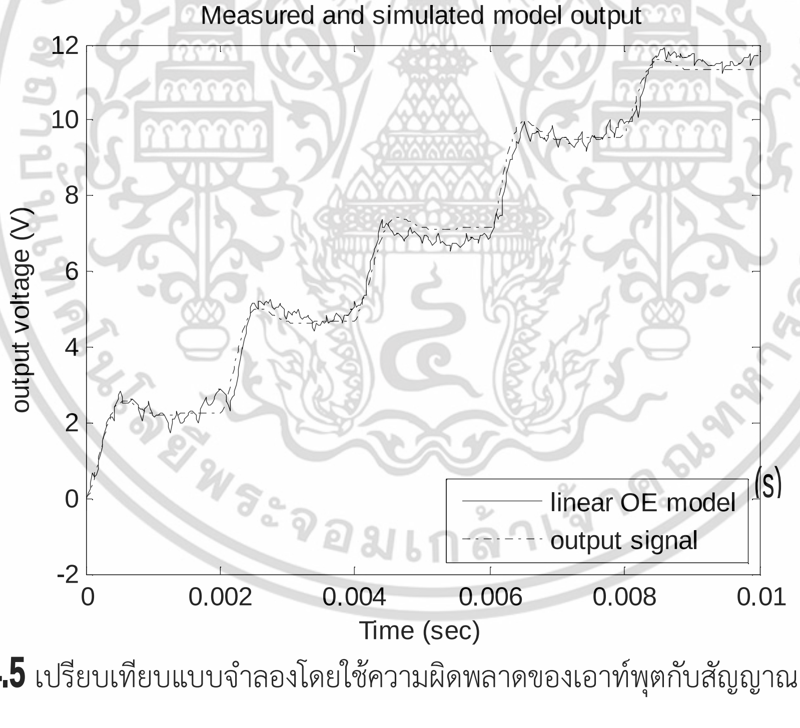
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถทำการตรวจสอบรูปแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดว่าถูกต้องหรือไม่โดยสมการที่ (4.2) ซึ่งเป็นสมการพลศาสตร์ของวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า

$$G(s)=\frac{V_o(s)}{u(s)}=V_s\frac{sR_cC+1}{s^2LC(\frac{R_c}{R}+1)+s(\frac{L}{R}+R_cC)+1} \tag{4.2}$$

จากสมการ (4.2) ดังนั้นจะได้ค่า nb เท่ากับ 2 (ซีโร่เท่ากับ 1), nf เท่ากับ 2 (โพลเท่ากับ 2), nk ให้เท่ากับ 1 และได้เป็นรูปแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุตคือ “OE221”

แล้วทำการเลือกรูปแบบและตัวแปรของแบบจำลองที่สามารถสร้างแบบจำลองของระบบ คือ OE221 จะได้เอาท์พุตที่สร้างจากแบบจำลอง เปรียบเทียบกับค่าเอาท์พุตจริงที่วัดมาจากการจำลองวงจรทอนแรงดันไฟฟ้าดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุตกับสัญญาณเอาท์พุต

จากนั้นอ้างอิงความถูกต้องที่ได้และเมื่อหาค่าความถูกต้องจะอยู่ที่ 91.95% ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องสามารถคิดจากสมการ (4.3) หรือสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Fit = 100 \times \left[1 - \frac{|A-B|}{A}\right] \% \tag{4.3}$$

โดย

Fit คือ เปอร์เซ็นต์ความถูกต้อง

A คือ เอาท์พุตจริง

B คือ แบบจำลองที่จำลองได้

จากเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยใช้แบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุต (Output Error Identification)แสดงให้เห็นว่าความถูกต้องเมื่อเทียบกับเอาท์พุตมีค่าค่อนข้างสูงแต่ก็ยังไม่สามารถจับข้อมูลที่ถูกต้องทั้งหมด แต่ก็อยู่ในระดับที่มีความน่าเชื่อถือได้ซึ่งสมการพลศาสตร์ของระบบโดยใช้ความผิดพลาดของเอาท์พุต จึงได้ดังสมการที่(4.4)

$$G(s) = \frac{3545s+1.132\times10^{6}}{s^{2}+1106s+3.074\times10^{5}} \tag{4.4}$$

4.1.2 วิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification)

ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy) [7] คือกระบวนการการควบคุมโดยใช้การตัดสินใจแบบคลุมเครือ ซึ่งการตัดสินใจนั้นอยู่บนพื้นฐานของประสบการณ์และกฎของความเป็นจริงในธรรมชาติ หลากหลายวิธี [6] ในการปรับพารามิเตอร์ภายใต้กฎพื้นฐานข้อมูลจริง ผู้วิจัยบางท่าน [8-9] ได้นำวิธีนี้ไปควบคุมอุปกรณ์ จากสมการพลศาสตร์ได้ถูกนำไปใช้เป็นตัวอย่างสำหรับโครงสร้างของสมการพลศาสตร์ของวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า ทั้งที่วิธีการหาพารามิเตอร์แบบเชิงเส้นจะไม่สามารถจับค่าข้อมูลที่เป็นแบบพลศาสตร์ได้เมื่อมีการขยายช่วงย่านการทำงาน ทั้งที่ในทางการปฏิบัติวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงมีหลากหลายจุดการทำงาน ดังนั้นรูปแบบเชิงเส้นยังมีความถูกต้องไม่เพียงพอสำหรับระบบ

เพื่อเป็นการเพิ่มความสามารถในการควบคุมระบบ [10] การควบคุมรูปแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ถูกนำเสนอและหาพารามิเตอร์แบบไม่เป็นเชิงเส้นภายใต้พื้นฐานคณิตศาสตร์แบบไม่เป็นเชิงเส้นที่ได้จากการทดลองจริง วิธีการนี้ค่อนข้างใช้เวลานานและใช้กระบวนการที่ซับซ้อน ดังนั้นการสร้างแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไปจึงแทบจะไม่ถูกนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม แต่วิธีตรรกะคลุมเครือเป็นอีกหนึ่งเทคนิคที่มีแนวโน้มที่สุดในการหาพารามิเตอร์ของรูปแบบที่ไม่เชิงเส้น ซึ่งคล้ายกับการหาพารามิเตอร์แบบเชิงเส้นกล่าวคือการหาพารามิเตอร์โดยตรรกะคลุมเครือมีการใช้ชุดข้อมูลอินพุตและเอาท์พุตในการหาพารามิเตอร์ของระบบแบบไม่เป็นเชิงเส้น รูปแบบตรรกะคลุมเครือของทาคางิ-ซึเงโนะ (Takagi-Sugano :TS) [15] ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้อยู่ในรูปสมการลำดับที่สองโดยมีการหน่วงเวลาและสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบตรรกะคลุมเครือได้ดังนี้

$$R_j: if\ \bar{y}(k)\ is\ A_j\ then\ y^i(k+1) = a_1^j y(k) + a_2^j y(k-1) + b_1^j u(k-d+1) \tag{4.5}$$

เมื่อ $\bar{y}$ คือค่าเฉลี่ยของเอาท์พุทที่ขึ้นกับการปรับค่าดิวตี้ไซเคิล, k คือข้อมูลหมายเลขสุ่ม k, d คือหมายเลขค่าหน่วงเวลา, A_j คือฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ของตรรกะคลุมเครือในการทดลองนี้ได้ทำการเลือกจำนวนของกฎในรูปแบบตรรกะคลุมเครืออยู่ที่ 6 กฎ ดังนั้น พารามิเตอร์ของสมการพลศาสตร์จึงสามารถเขียนในรูปแมทริกซ์ดังนี้

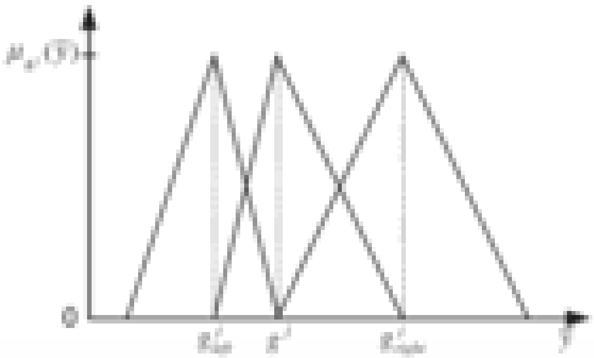
$$G = \begin{bmatrix} a_1^1 & a_2^1 & b_1^1 \\ a_1^2 & a_2^2 & b_1^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_1^6 & a_2^6 & b_1^6 \end{bmatrix} \tag{4.6}$$

รูปแบบกระบวนการโดยการใช้ตรรกะคลุมเครือถูกนำเสนอโดย Abonyi et al. [11] ในวิธีการนี้ พารามิเตอร์ G จะถูกพิจารณาเพื่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างการจำลองและการวัดการตอบสนองเอาท์พุทขนาดเล็ก เมื่อรูปแบบพลศาสตร์ G ถูกระบุบนพื้นฐานของตรรกะคลุมเครือ TS สมการพลศาสตร์ของรูปแบบจะถูกระบุมาก่อนค่าตัวแปร $\bar{y}$ สามารถกำหนดเป็น $G_{\bar{y}}$ ดังนี้:

$$G_{\bar{y}} = \frac{\sum_{j=1}^{M} \mu_j G_j}{\sum_{j=1}^{M} \mu_j} \tag{4.7}$$

เมื่อ $\mu_j = \mu_{A^j}(\bar{y})$ คือฟังก์ชั่นค่าความสัมพันธ์ของรูปแบบ jth, Gj คือรูปแบบเฉพาะ jth, M คือจำนวนเซ็ตของตรรกะคลุมเครือคือจำนวนของรูปแบบเฉพาะบนด้านอินพุท ฟังก์ชั่นความสัมพันธ์ในระดับตรรกะคลุมเครือถูกกำหนดตามปกติที่ควรจะเป็นคือฟังก์ชั่นสามเหลี่ยม (Triangle function, Trapezoidal function or Bell Shape function) ในบทความนี้ฟังก์ชั่นความสัมพันธ์สามารถแสดงดังรูปที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ฟังก์ชั่นความสัมพันธ์สามเหลี่ยม (Triangle Membership Function)

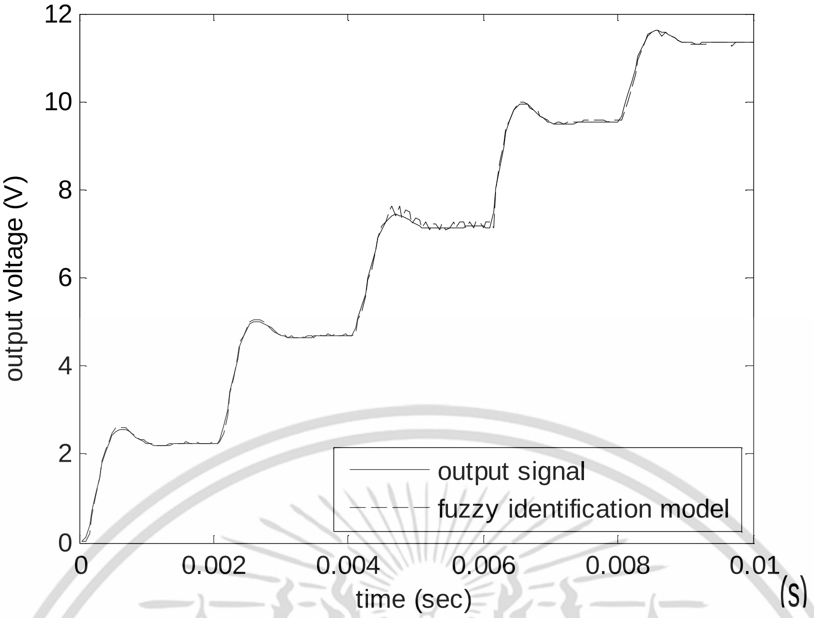
เมื่อ $g^j, g^j_{left}, g^j_{right}$ คือจุดกึ่งกลางของสามเหลี่ยมของ jth, อยู่ติดซ้ายและขวา ตรรกะคลุมเครือถูกกำหนดในรูปแบบ jth, ตามลำดับ.

ผลการทดลองได้เก็บผลข้อมูลโดยมีคาบเวลาที่ 2 มิลลิวินาทีมีจำนวนข้อมูล 500 ข้อมูลเวลาการสุ่มต้องเท่ากับ 20 ไมโครวินาที เช่นกันกับแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ภายใต้เงื่อนไขรูปแบบของตรรกะคลุมเครือ [6] ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบตรรกะคลุมเครือนั้นได้ถูกกำหนดดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเอาท์พุทที่ได้จริงกับค่าจากการใช้รูปแบบตรรกะคลุมเครือในการหาพารามิเตอร์ ผลแสดงให้เห็นว่าการหาพารามิเตอร์ระบบแบบตรรกะคลุมเครือนั้นสามารถประมาณค่าใกล้เคียงค่าจริงได้

ตารางที่ 4.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบตรรกะคลุมเครือของระบบ

ดิวตี้ไซเคิล i	พารามิเตอร์ a_1^i	พารามิเตอร์ a_2^i	พารามิเตอร์ b_1^i	*จำนวนของค่าเวลาหน่วง* d
1	2.0222	-1.0226	0.0020	1
2	2.0206	-1.0201	-0.0049	1
3	1.8161	-0.8165	0.0081	1
4	2.0250	-1.0247	-0.0046	1
5	1.9579	-0.9581	0.0016	1
6	1.8901	-0.8901	-0.0008	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบแบบจำลองโดยใช้วิธีการหาพารามิเตอร์โดยตรรกะคลุมเครือกับสัญญาณเอาท์พุต

จากนั้นเมื่อทำการหาค่าความถูกต้องจะพบว่ารูปแบบการจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification) จะอยู่ที่ 99.17 % และสามารถหาสมการพลศาสตร์ของระบบที่ค่าดิวตี้ไซเคิลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สมการพลศาสตร์โดยวิธีแบบตรรกะคลุมเครือ

ดิวตี้ไซเคิล	สมการพลศาสตร์
20%	$G(s) = \dfrac{0.5001\,s^2 + 1 \times 10^5 s + 5.001 \times 10^9}{s^2 + 1.978 \times 10^5 s + 9.779 \times 10^9}$
40%	$G(s) = \dfrac{0.5\,s^2 + 9.999 \times 10^5 s + 5 \times 10^9}{s^2 + 2.065 \times 10^5 s + 1.065 \times 10^{10}}$
60%	$G(s) = \dfrac{0.5\,s^2 + 1 \times 10^5 s + 5 \times 10^9}{s^2 + 2.062 \times 10^5 s + 1.062 \times 10^{10}}$
80%	$G(s) = \dfrac{0.5\,s^2 + 1 \times 10^5 s + 5 \times 10^9}{s^2 + 2.03 \times 10^5 s + 1.029 \times 10^{10}}$
100%	$G(s) = \dfrac{0.5\,s^2 + 1 \times 10^5 s + 5 \times 10^9}{s^2 + 2.115 \times 10^5 s + 1.115 \times 10^{10}}$

จากเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification) แสดงให้เห็นว่าความถูกต้องสูงเมื่อเทียบกับเอาท์พุตมีค่าค่อนข้างสูงแทบจะสามารถจับ

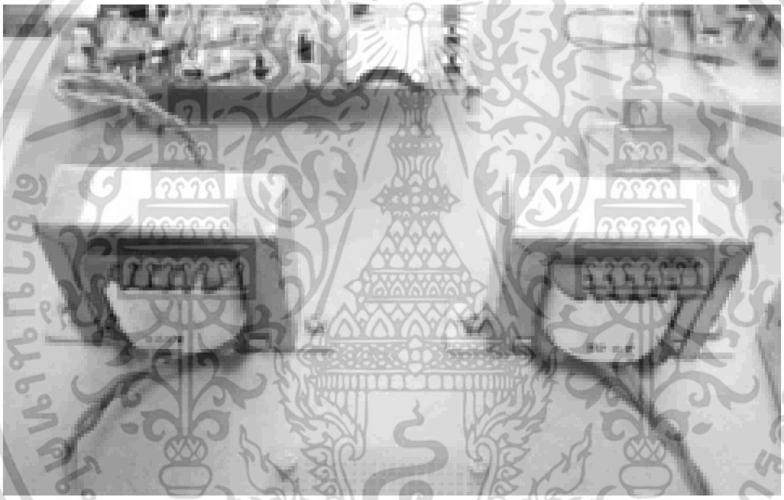
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลได้ถูกต้องทั้งหมด เมื่อเทียบกับวิธีแบบจำลองโดยใช้ความผิดพลาดเอาท์พุต (Output Error Identification) นั้นมีผลลัพธ์ที่ดีกว่า

4.2ผลการทดลองจริง

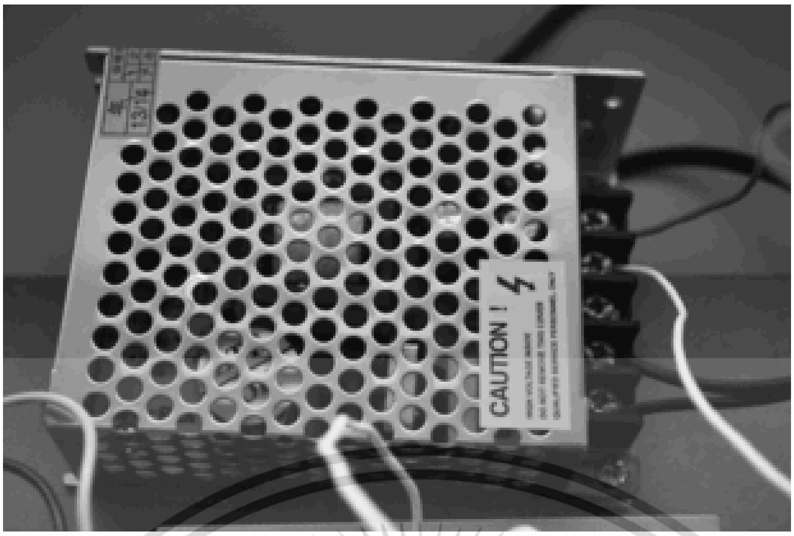
4.2.1 รูปถ่ายวงจรที่ออกแบบ

โครงงานนี้ได้ใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 220 โวลต์แล้วทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าโดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าให้แรงดันลดลงมาที่ 8 โวลต์ (ฝั่งด้านซ้าย) และ 15 โวลต์ (ฝั่งด้านขวา) เพื่อเป็นไฟเลี้ยงขนาด 5 โวลต์ และ 15 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจรตามความต้องการของอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.8 และนอกจากนั้นได้ใช้แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงขนาด 12 โวลต์แยกจ่ายให้กับวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า ดังรูปที่ 4.9

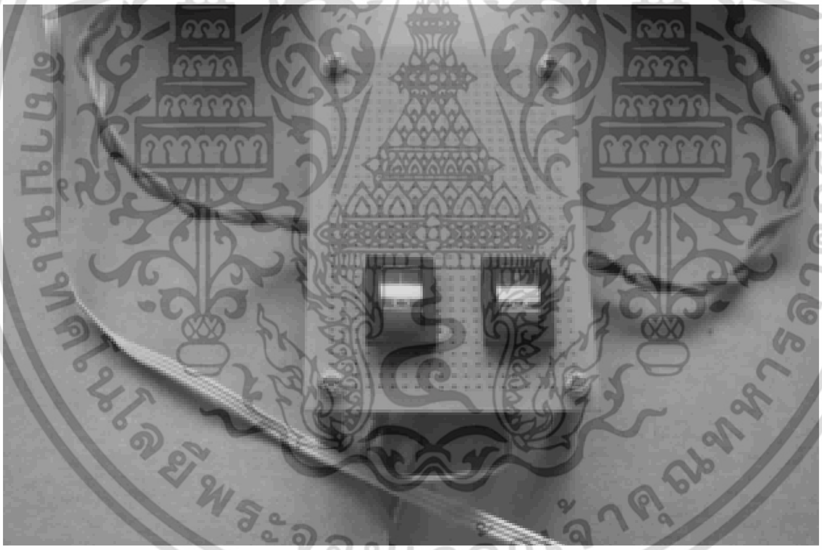


รูปที่ 4.8 แหล่งจ่ายไฟฟ้าผ่านหม้อแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

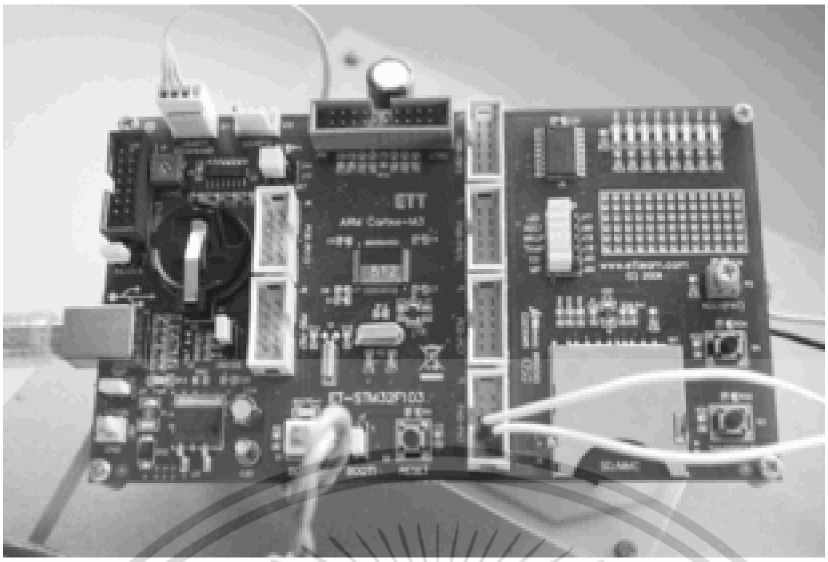


รูปที่ 4.9 แหล่งจ่ายไฟฟ้าด้านเข้า



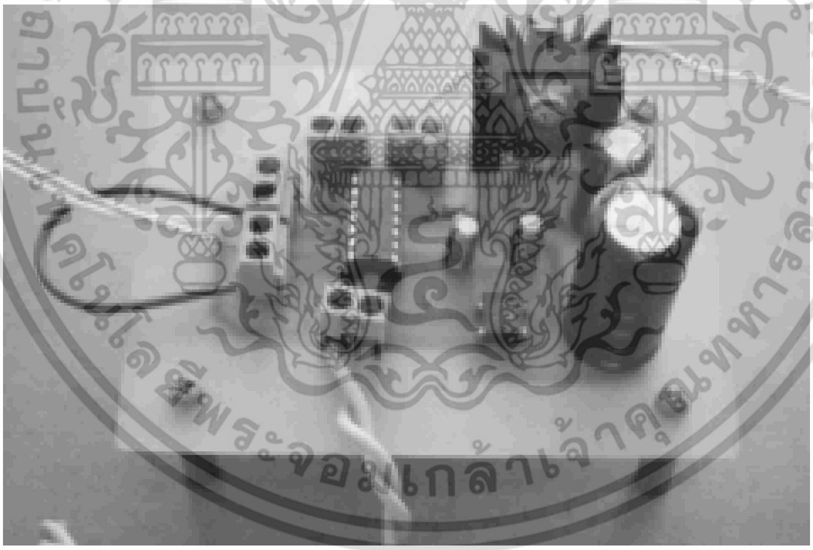
รูปที่ 4.10 วงจรสวิตซ์แยกฝั่งควบคุมและฝั่งกำลังหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

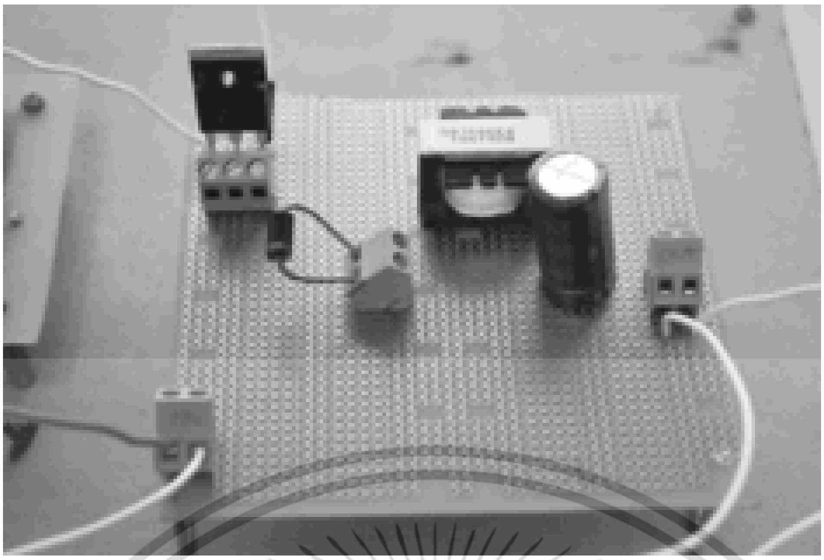
ในการทดลองนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARM Cortex-M3 สำหรับสร้างสัญญาณขับเกต (สัญญาณอินพุต)



รูปที่ 4.12 วงจรขับเกต

รูปที่ 4.12 แสดงวงจรขับเกตเป็นวงจรที่ใช้ในการขยายสัญญาณดิวตี้ไซเคิล เพื่อสามารถนำไปขับขาเกตของมอสเฟต (Mosfet) ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



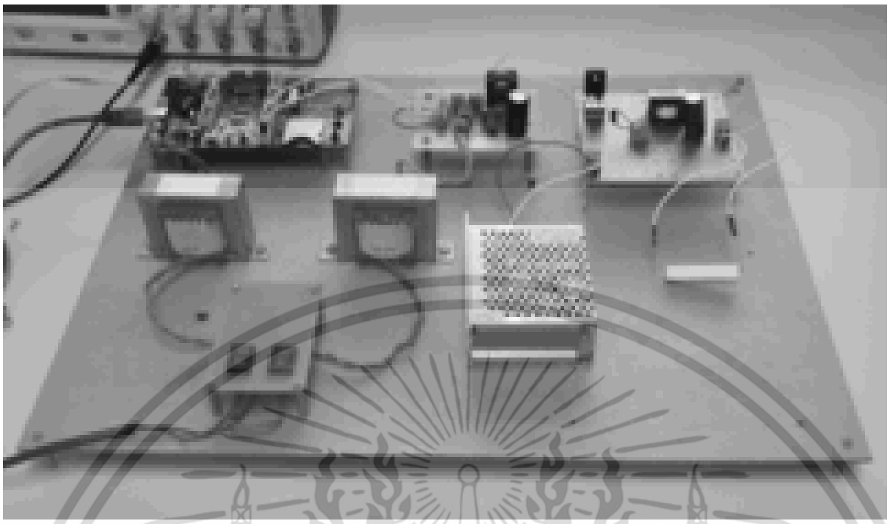
รูปที่ 4.13 วงจรทอนแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 4.14 ภาระทางไฟฟ้า

รูปที่ 4.13 แสดงวงจรกำลังคือวงจรทอนแรงดันไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ทอนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาดสูงให้ต่ำลงได้โดยสัญญาณขับเกตตามค่าดิวตี้ไซเคิลต่างๆกันไปโดยวงจรทอนแรงดันจะประกอบด้วย สวิตซ์ชนิดมอสเฟท (Mosfet), ไดโอด (Diode), ตัวเหนี่ยวนำ (Inductance), ตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Capacitance) และรูปที่ 4.14 แสดงภาระทางไฟฟ้าโดยใช้เป็นชนิดความต้านทานขนาด 5 โอห์ม และสามารถแสดงภาพรวมของวงจรการทดลองได้ดังรูปที่ 4.15

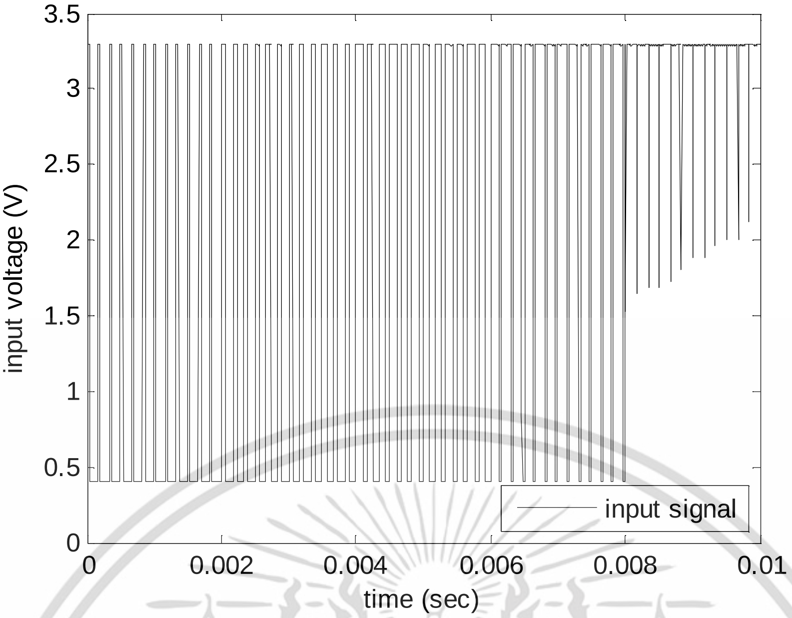


รูปที่ 4.15 วงจรรวมของโครงงาน

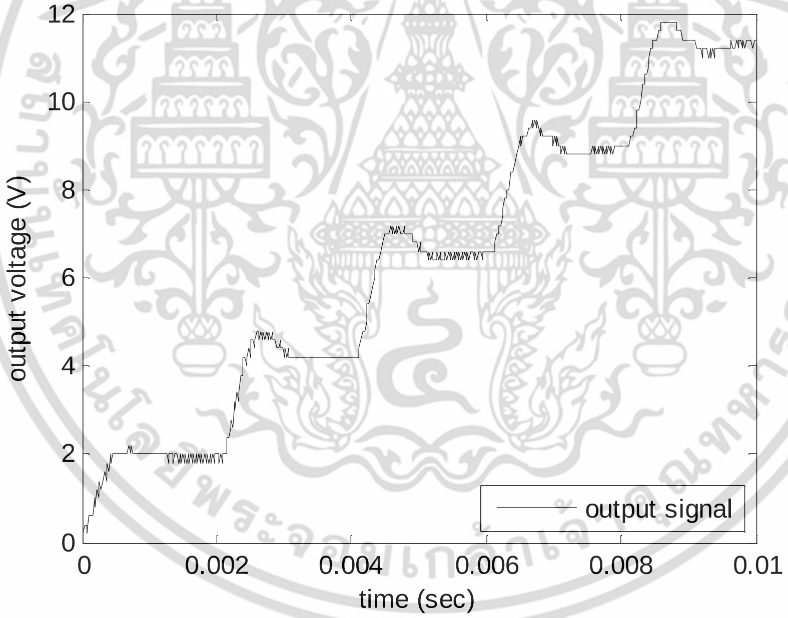
4.2.2 ผลการทดลอง

การหาพารามิเตอร์ของระบบจะใช้ข้อมูลจากการทดลองคือข้อมูล $u(t)$ และ $y(t)$ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ที่ใช้วิธีการหาพารามิเตอร์แบบตรรกะคลุมเครือและวิธีแบบเชิงเส้นเปรียบเทียบกัน จากรูปจะพบว่าสัญญาณด้านออกในที่นี้คือแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุตจะปรากฏทุกย่านของระบบ โดยออกแบบการขยับอินพุตที่กำหนดคือดิวตี้ไซเคิลในช่วง 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 ในทางปฏิบัติ ได้เลือกย่านการทำงานที่ค่อนข้างกว้างเพื่อความมั่นใจในข้อมูลดังกล่าวแทนความไม่เป็นเชิงเส้นได้ ในบทความนี้ได้ทำการออกแบบวงจรทอนแรงดันโดยแบ่งวงจรออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนกำเนิด PWM และส่วนแปลงไฟฟ้ากระแสตรง-ไฟฟ้ากระแสตรง โดย PWM ถูกสร้างโดยการใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ และแรงดันเอาท์พุตที่ PWM อยู่ที่ +5 V และสามารถเพิ่มได้สูงสุดถึง +15 V โดยวงจรขับ MOSFET ใช้ IR2110 โดยมีความถี่สวิตช์ที่ 50 kHz และในงานวิจัยนี้ ยังแบ่งค่าดิวตี้ออกเป็น 5 ระดับได้แก่ 20%, 40%, 60%, 80% และ 100% สัญญาณดังกล่าวใช้ควบคุมวงจรทอนแรงดันโดยใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำ (L) ที่ 380 ไมโครเฮนรี่, ค่าตัวเก็บประจุ (C) ที่ 100 ไมโครฟารัดและจ่ายโหลดขนาด 5 โอห์มและแหล่งจ่ายไฟฟ้าอินพุตที่ +12 V จะได้แรงดันเอาท์พุตออกมาอยู่ในช่วง 0 ถึง +12 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.16 (ก) สัญญาณอินพุต *u(t)* (ข) สัญญาณเอาท์พุต *y(t)*

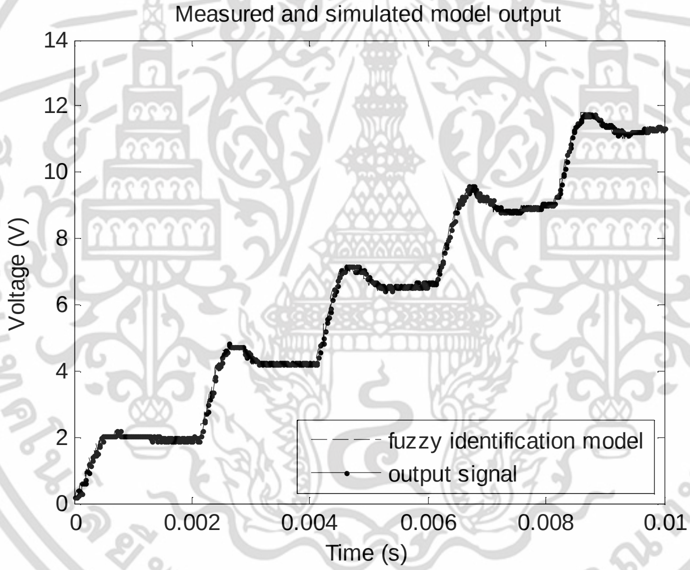
การทดลองนี้ได้ทดสอบเก็บผลข้อมูลโดยมีคาบเวลาการสุ่มเก็บข้อมูลที่ 20 ไมโครวินาทีภายใต้เงื่อนไขรูปแบบของตรรกะคลุมเครือค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบตรรกะคลุมเครือนั้นได้ถูกกำหนดดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.17 (ก) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเอาท์พุตที่ได้จริงกับค่าจากการใช้รูปแบบตรรกะคลุมเครือในการหาพารามิเตอร์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการหาพารามิเตอร์ระบบแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรรกะคลุมเครือสามารถประมาณค่าใกล้เคียงค่าจริงได้และในรูปที่ 4.17 (ข) แสดงถึงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเอาท์พุตที่ได้จริงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบเชิงเส้นโดยใช้วิธีประมาณค่า OE (Output Error) จากผลการทดลองพบว่า ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นที่ได้จากวิธีประมาณ OE จะมีค่ามากกว่ากรณีแบบตรรกะคลุมเครือ โดยผลความถูกต้องเท่ากับ 78.8% ในกรณีเชิงเส้นและมากกว่า 99% ในกรณีตรรกะคลุมเครือ ซึ่งแบบจำลองที่ได้จะเป็นแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การแปลงเป็นเชิงเส้นแบบ Tustin ในการแปลงแบบจำลองให้เป็นแบบต่อเนื่อง ในกรณีแบบจำลองเชิงเส้นจะเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

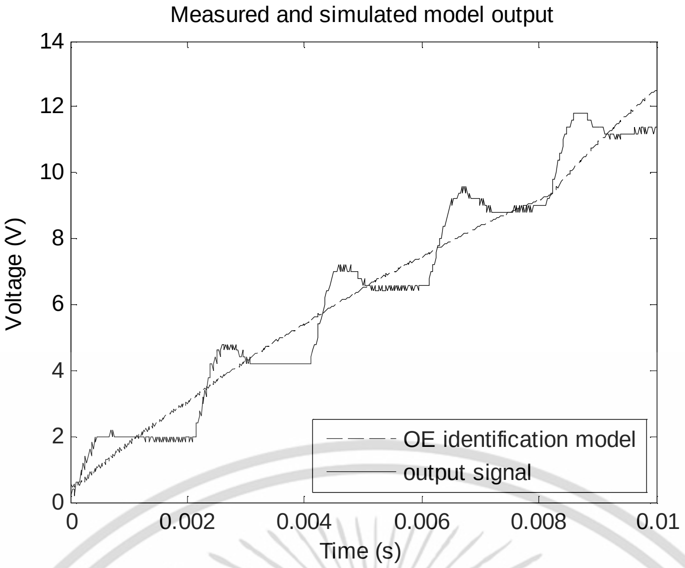
$$G(s) = \frac{0.1794s^2+6.965s+152}{s^3+17.79s^2+1066s+29.62} \quad (4.8)$$

และในกรณีของตรรกะคลุมเครือจะได้ผลของแบบจำลองตามตารางที่ 4.4



(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)

รูปที่ 4.17 ผลเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้ (ก) วิธีตรรกะคลุมเครือ (ข) แบบเชิงเส้นโดยการประมาณค่า OE

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ของระบบแบบตรรกะคลุมเครือ

ดิวตี้ไซเคิล i	พารามิเตอร์ a_1^i	พารามิเตอร์ a_2^i	พารามิเตอร์ b_1^i	*จำนวนของค่าเวลาหน่วง* d
1	0.2367	0.7829	-0.0002	1
2	0.7706	0.2404	-0.0049	1
3	0.4922	0.5186	-0.0137	1
4	0.6291	0.3776	-0.0040	1
5	0.3614	0.6251	0.0478	1
6	0.5292	0.2179	0.6220	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สมการพลศาสตร์แบบต่อเนื่องของระบบแบบตรรกะคลุมเครือ

ดิวตี้ไซเคิล	สมการพลศาสตร์
20%	$G_1(s) = \dfrac{0.4645s^2 + 9.291 \times 10^4 s + 4.645 \times 10^9}{s^2 + 2.856 \times 10^5 s + 1.998 \times 10^{10}}$
40%	$G_2(s) = \dfrac{0.4977s^2 + 9.953 \times 10^4 s + 4.977 \times 10^9}{s^2 + 2.858 \times 10^5 s + 1.867 \times 10^{10}}$
60%	$G_3(s) = \dfrac{0.4997s^2 + 9.994 \times 10^4 s + 4.997 \times 10^9}{s^2 + 2.536 \times 10^5 s + 1.537 \times 10^{10}}$
80%	$G_4(s) = \dfrac{0.5183s^2 + 1.037 \times 10^5 s + 5.183 \times 10^9}{s^2 + 2.868 \times 10^5 s + 1.795 \times 10^{10}}$
100%	$G_5(s) = \dfrac{0.6111s^2 + 1.222 \times 10^5 s + 6.111 \times 10^9}{s^2 + 4.1 \times 10^5 s + 2.656 \times 10^{10}}$

4.2.3 การตรวจสอบความถูกต้อง (Model Validation)

นอกจากความถูกต้องด้วยการเปรียบเทียบโมเดลเอาท์พุตกับสัญญาณเอาท์พุตที่วัดได้แล้ว การทดสอบควรจะมีการทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองพลศาสตร์อื่นๆ หนึ่งในนั้นก็คือการทดสอบความถูกต้องของข้อมูล นี่เป็นการทดสอบความถูกต้องข้อมูลของการหาแบบจำลองแบบวิธีทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy identification) และการทดสอบแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุต OE (Output Error) ทั้งในส่วนของสัญญาณที่ได้จากแบบจำลองกับสัญญาณที่ได้จากการทดลองจริง

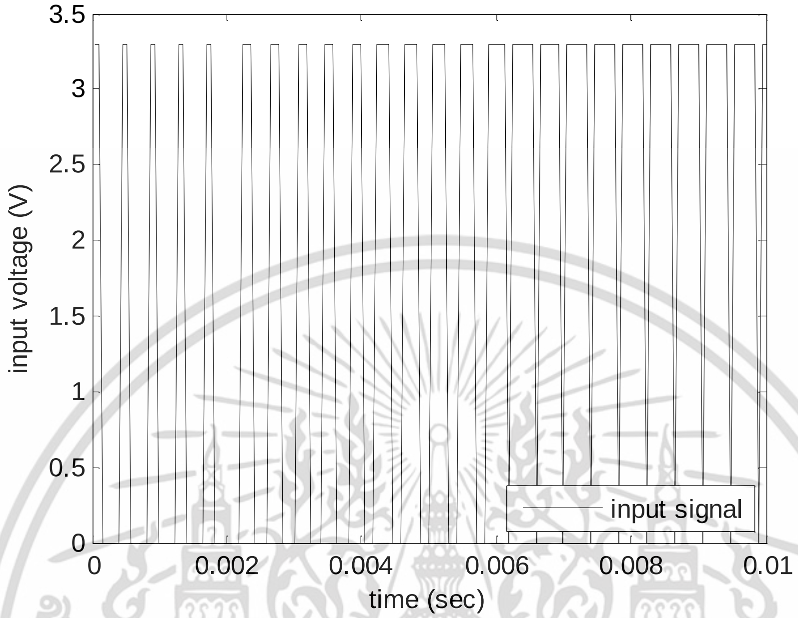
ขั้นตอนในการทดสอบนั้นเริ่มจากสุ่มข้อมูลจากข้อมูล 500 ข้อมูลของทั้งสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตที่มีอยู่ข้างต้นมาให้เหลือ 100 ข้อมูลเพื่อใช้ในการหาโมเดลทั้งการหาแบบจำลองแบบวิธีทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy identification) และแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุต OE (Output Error) หลังจากหาโมเดลได้แล้ว สุ่มเลือกข้อมูลอินพุตให้ได้อีก 100 ข้อมูล โดยไม่ให้ข้อมูลที่ได้นั้นเหมือนกับข้อมูลอินพุตอันแรกที่ใช้ในการหาโมเดล เมื่อได้มาแล้วก็นำไปทดสอบกับโมเดลที่คำนวณได้ข้างต้น และนำสัญญาณเอาท์พุตที่ได้นำมาเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของสัญญาณกับสัญญาณเอาท์พุตที่ได้จากโมเดลข้างต้น ถ้าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่ทดสอบกับเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของโมเดลที่ได้มีค่าที่สูง แสดงว่าข้อมูลที่นำมาใช้ในการหาโมเดลและวิธีการโมเดลนั้นมีความถูกต้องและแม่นยำ

4.2.3.1 การตรวจสอบความถูกต้อง (Model Validation) ของแบบจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์

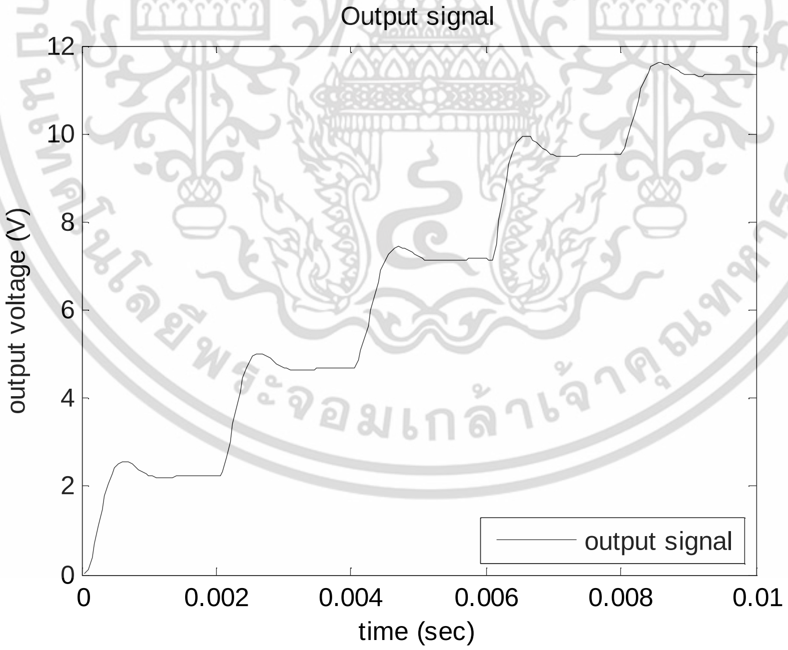
จากขั้นตอนการทดสอบที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ตอนนี้นำข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ทั้ง 500 ข้อมูลมาทดสอบความถูกต้อง เริ่มแรกต้องทำการสุ่มสัญญาณอินพุตและเอาท์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนถึง 100 ข้อมูล เพื่อใช้ในการหาโมเดลด้วยวิธีการหาแบบจำลองแบบวิธีทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ และแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุต ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.18 และ 4.19



รูปที่ 4.18 สัญญาณอินพุตที่ใช้ในการหาโมเดลเพื่อทดสอบความถูกต้องของข้อมูล



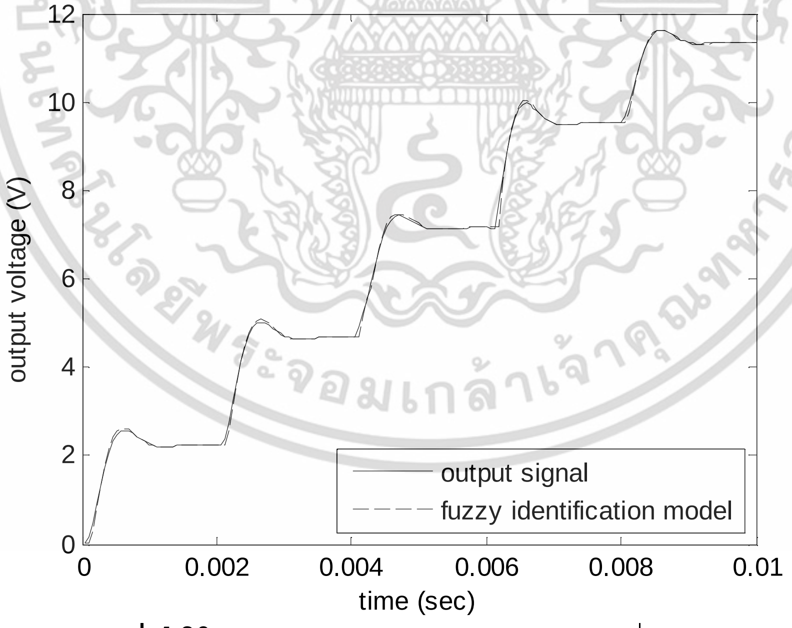
รูปที่ 4.19 สัญญาณเอาท์พุตที่ใช้ในการหาโมเดลเพื่อทดสอบความถูกต้องของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้ข้อมูลที่สุ่มมาแล้วทั้งในส่วนสัญญาณอินพุตและเอาท์พุต จากนั้นเริ่มแรกทำการโมเดลด้วยวิธีการหาแบบจำลองแบบวิธีทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy identification) ซึ่งจะได้ข้อมูลในส่วนของค่าพารามิเตอร์ของระบบแบบตรรกะคลุมเครือในตาราง 4.5 และสัญญาณเอาท์พุตกับสัญญาณที่ได้จากการสร้างโมเดลซึ่งแสดงในรูป 4.20 โดยมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องอยู่ที่ 99.04%

ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ของระบบแบบตรรกะคลุมเครือ

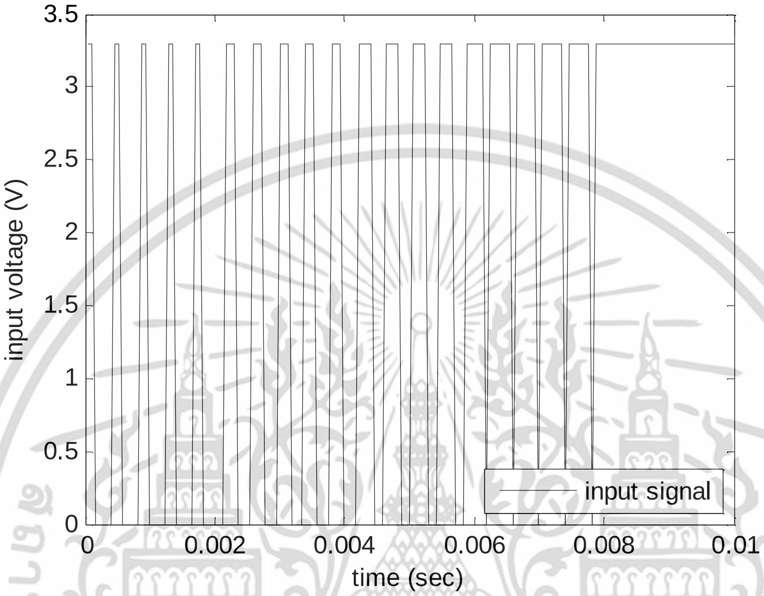
ดิวตี้ไซเคิล i	พารามิเตอร์ a_1^i	พารามิเตอร์ a_2^i	พารามิเตอร์ b_1^i	*จำนวนของค่าเวลาหน่วง* d
1	2.0134	-1.0123	0.0033	1
2	1.9225	-0.9252	-0.0044	1
3	1.7903	-0.7820	0.0045	1
4	1.9624	-0.9596	-0.0214	1
5	1.8624	-0.8627	0.0053	1
6	1.7231	-0.7237	-0.0024	1



รูปที่ 4.20 ผลเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดยวิธีตรรกะคลุมเครือซึ่งมีความถูกต้องอยู่ที่ 99.04%

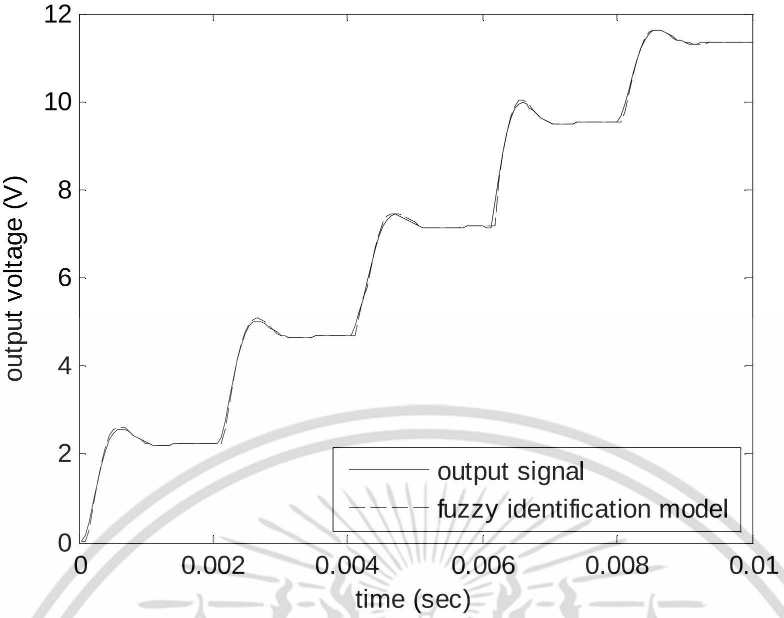
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นทำการสุ่มข้อมูลอีก 100 จำนวนของสัญญาณอินพุตเท่านั้น โดยไม่ให้เหมือนกับสัญญาณอินพุตข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.21 เพื่อสัญญาณอินพุตที่สุ่มใหม่ได้ไปทดสอบกับโมเดลที่ได้จากสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตที่สุ่มได้เดิม เพื่อทดสอบว่าโมเดลที่ได้นั้นมีความถูกต้องโดยดูจากเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่ได้จากการเทียบสัญญาณเอาท์พุตซึ่งแสดงในรูป 4.22 โดยมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องอยู่ที่ 97.11%



รูปที่ 4.21 สัญญาณอินพุตอีกอันหนึ่งที่ใช้ในการทดสอบโมเดลที่ได้ข้างต้น เพื่อทดสอบความถูกต้องของข้อมูล

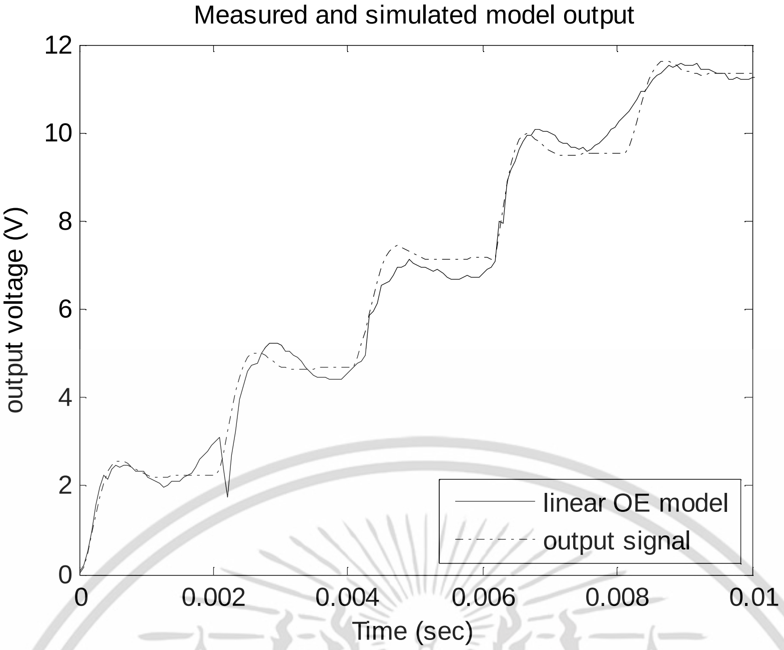
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



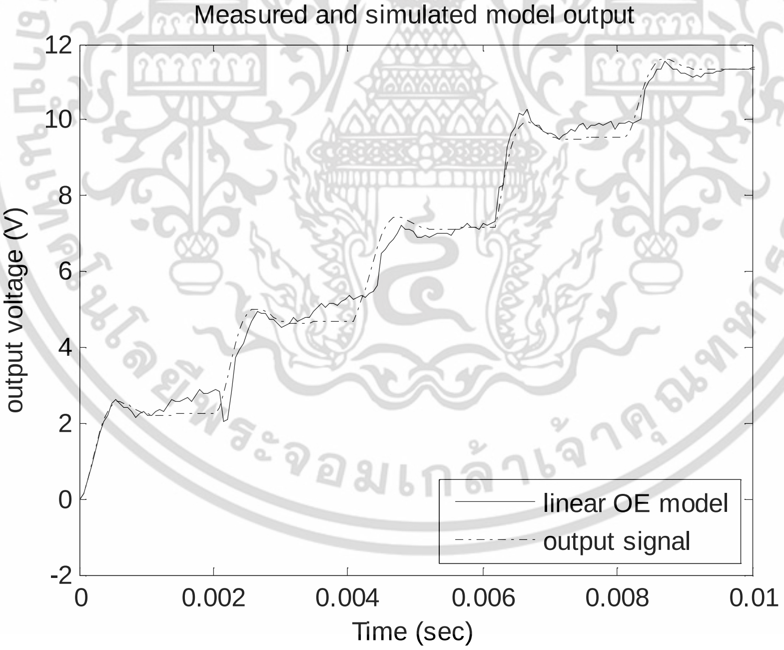
รูปที่ 4.22 ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดย
วิธีตรรกะคลุมเครือซึ่งมีความถูกต้องอยู่ที่ 97.11%

เมื่อทดสอบการหาโมเดลด้วยวิธีตรรกะคลุมเครือแล้วจากนั้นก็จะเป็นการทดสอบด้วยแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุตซึ่งนำสัญญาณและวิธีการทดสอบเดียวกันกับที่ใช้ทดสอบการหาโมเดลด้วยวิธีตรรกะคลุมเครือ ผลการทดสอบพบว่าสัญญาณข้อมูลชุดแรกที่นำมาทำโมเดลนั้นได้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องอยู่ที่ 90.77% ซึ่งแสดงดังรูป 4.23 จากนั้นนำโมเดลที่ได้ไปทดสอบด้วยสัญญาณอินพุตที่สุ่มมาอีกอันหนึ่งที่ไม่เหมือนกับอันแรก ซึ่งจะได้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องอยู่ที่ 90.39% ซึ่งแสดงดังรูป 4.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 ผลเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดยวิธีความผิดพลาดเอาท์พุตซึ่งมีความถูกต้องอยู่ที่ 90.77%

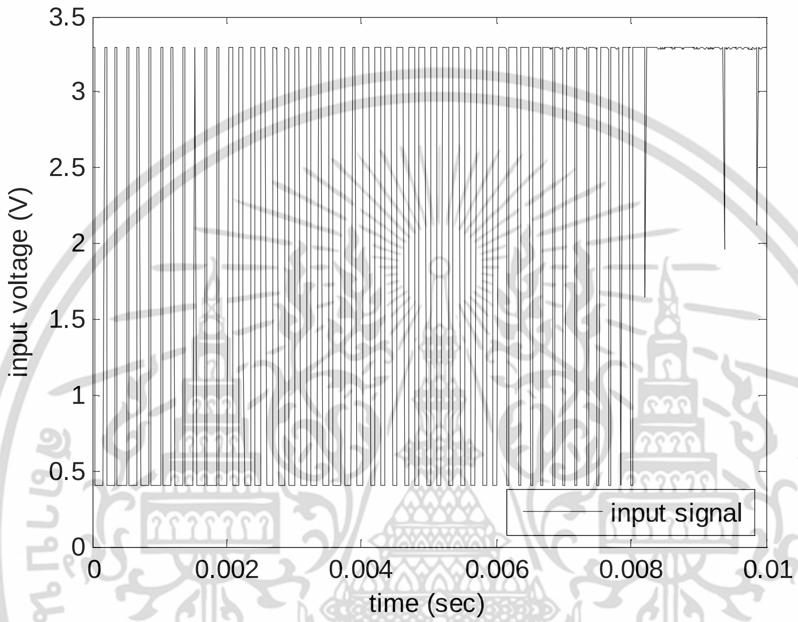


รูปที่ 4.24 ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดยวิธีความผิดพลาดเอาท์พุตซึ่งมีความถูกต้องอยู่ที่ 90.39%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

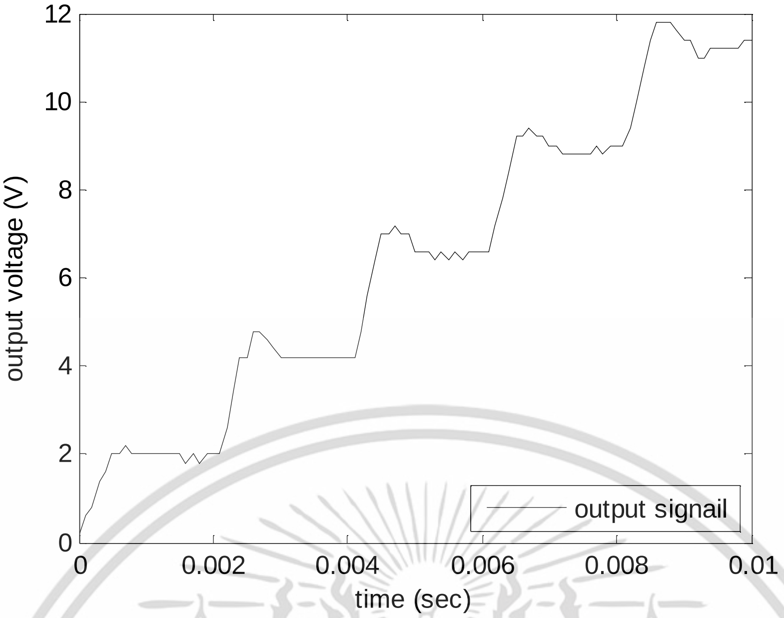
4.2.3.2 การตรวจสอบความถูกต้อง (Model Validation) ของแบบจำลองในวงจรจริง

ในทำนองเดียวกันกับการทดสอบข้อมูลในแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ การทดสอบข้อมูลในวงจรจริงได้ใช้วิธีเดียวกัน เริ่มต้นนำข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองในคอมพิวเตอร์ทั้ง 500 ข้อมูลมาทดสอบความถูกต้อง เริ่มแรกต้องทำการสุ่มสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตจำนวนถึง 100 ข้อมูล เพื่อใช้ในการหาโมเดลด้วยวิธีการหาแบบจำลองแบบวิธีทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือและแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุต ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.25 และ 4.26



รูปที่ 4.25 สัญญาณอินพุตที่ใช้ในการหาโมเดลเพื่อทดสอบความถูกต้องของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



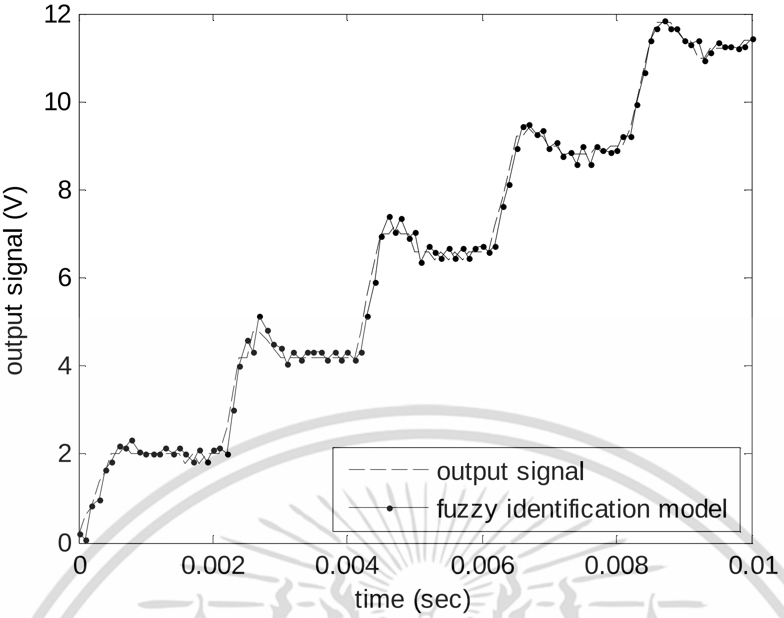
รูปที่ 4.26 สัญญาณเอาท์พุตที่ใช้ในการหาโมเดลเพื่อทดสอบความถูกต้องของข้อมูล

เมื่อได้ข้อมูลที่สุ่มมาแล้วทั้งในส่วนสัญญาณอินพุตและเอาท์พุต จากนั้นเริ่มแรกทำการโมเดลด้วยวิธีการหาแบบจำลองแบบวิธีทางคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือ ซึ่งจะได้ข้อมูลในส่วนของค่าพารามิเตอร์ของระบบแบบตรรกะคลุมเครือในตาราง 4.6 และสัญญาณเอาท์พุตกับสัญญาณที่ได้จากการสร้างโมเดลซึ่งแสดงในรูป 4.27 โดยมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องอยู่ที่ 98.9%

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ของระบบแบบตรรกะคลุมเครือ

ดิวตี้ไซเคิล i	พารามิเตอร์ a_1^i	พารามิเตอร์ a_2^i	พารามิเตอร์ b_1^i	*จำนวนของค่าเวลาหน่วง* d
1	1.5558	-0.4822	-0.0299	1
2	1.5736	-0.5922	-0.0510	1
3	1.4881	-0.4475	-0.0679	1
4	1.7600	-0.7856	-0.0503	1
5	1.4676	-0.5109	0.1716	1
6	1.2483	-0.4151	0.3790	1

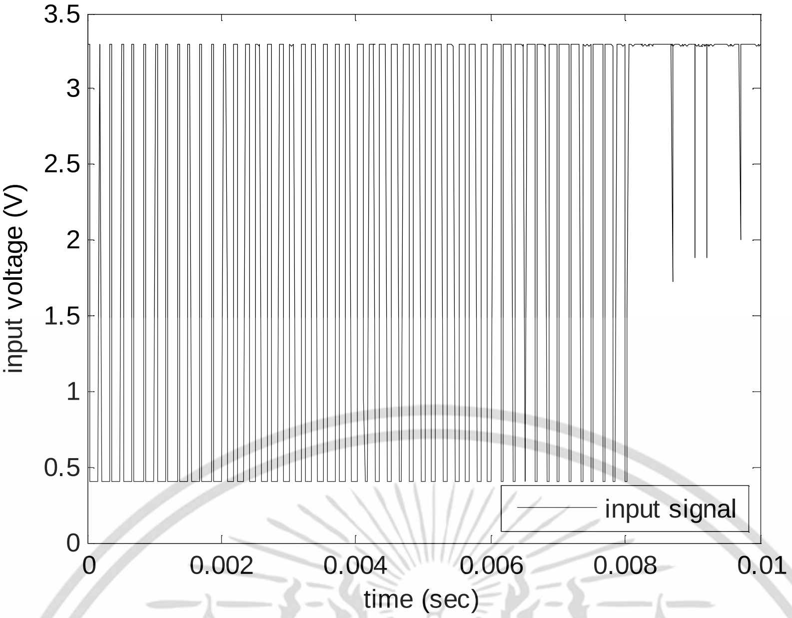
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



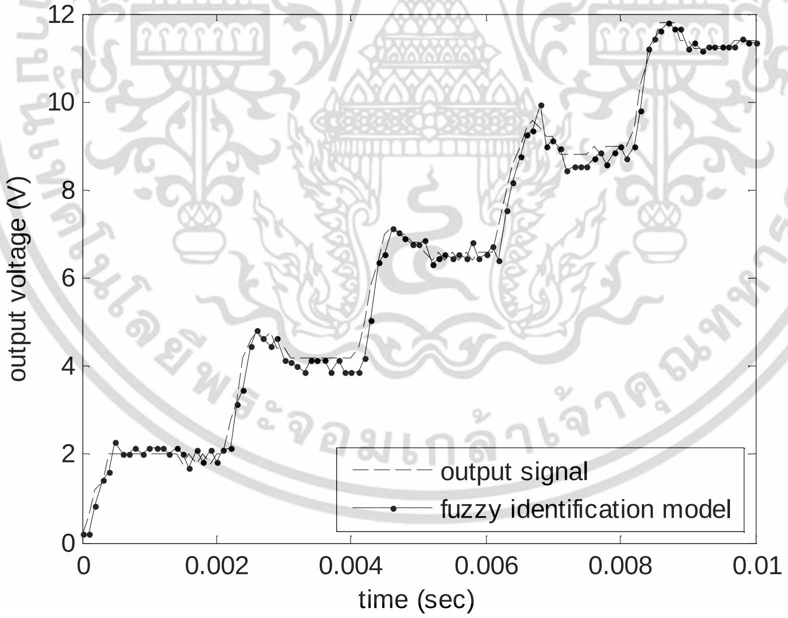
รูปที่ 4.27 ผลเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดย วิธีตรรกะคลุมเครือซึ่งมีความถูกต้องอยู่ที่ 98.9%

ต่อมาได้ทำการสุ่มข้อมูลอีก 100 จำนวนของสัญญาณอินพุตเท่านั้น โดยไม่ให้เหมือนกับสัญญาณอินพุตข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 4.28 เพื่อสัญญาณอินพุตที่สุ่มใหม่ได้ไปทดสอบกับโมเดลที่ได้จากสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตที่สุ่มได้เดิม เพื่อทดสอบว่าโมเดลที่ได้นั้นมีความถูกต้องโดยดูจากเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่ได้จากการเทียบสัญญาณเอาท์พุตซึ่งแสดงในรูป 4.29 โดยมีเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องอยู่ที่ 98.43%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



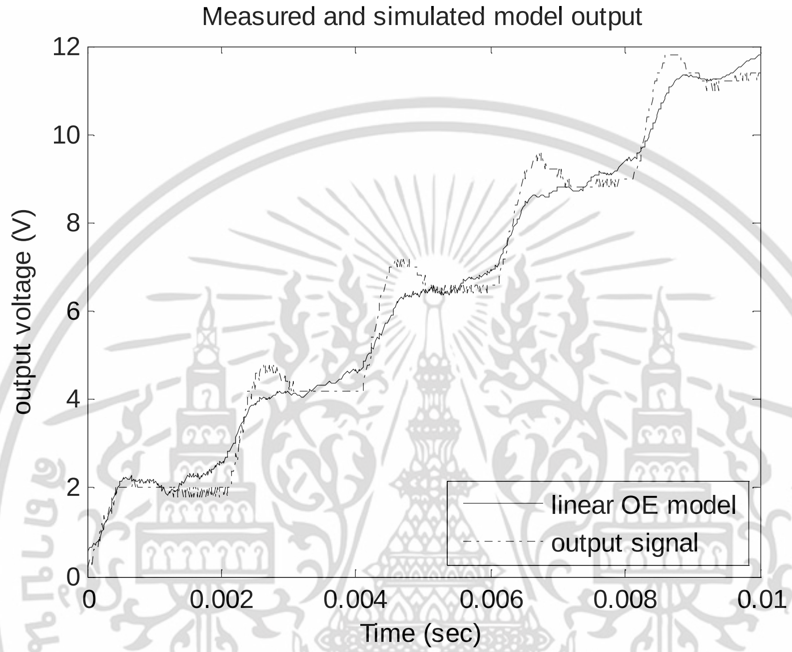
รูปที่ 4.28 สัญญาณอินพุตอีกอันหนึ่งที่ใช้ในการทดสอบโมเดลที่ได้ข้างต้นเพื่อทดสอบความถูกต้องของข้อมูล



รูปที่ 4.29 ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดยวิธีตรรกะคลุมเครือซึ่งมีความถูกต้องอยู่ที่ 98.43%

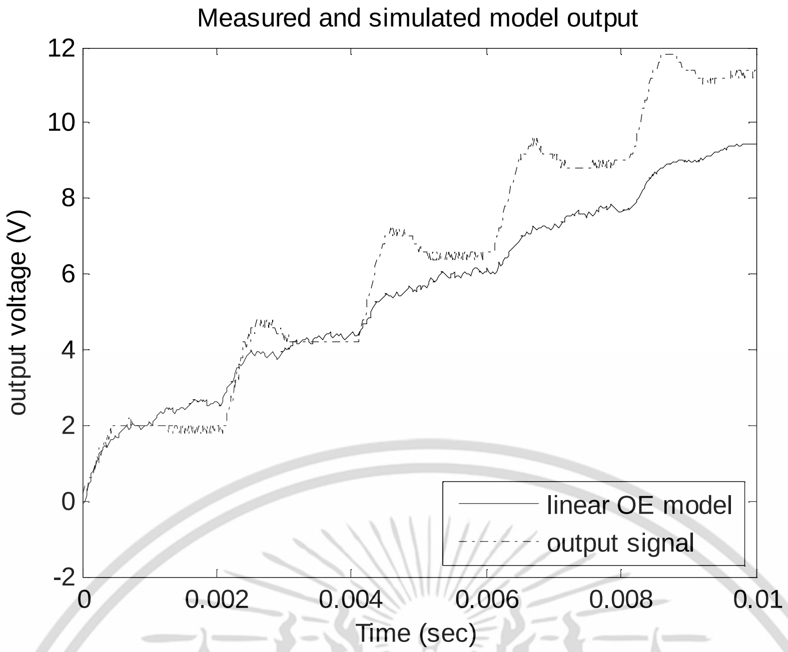
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทดสอบการหาโมเดลด้วยวิธีตรรกะคลุมเครือแล้วจากนั้นก็จะเป็นการทดสอบด้วยแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุตซึ่งนำสัญญาณและวิธีการทดสอบเดียวกันกับที่ใช้ทดสอบการหาโมเดลด้วยวิธีตรรกะคลุมเครือ ผลการทดสอบพบว่าสัญญาณข้อมูลชุดแรกที่นำมาทำโมเดลนั้นได้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องอยู่ที่ 87.61% ซึ่งแสดงดังรูป 4.30 จากนั้นนำโมเดลที่ได้ไปทดสอบด้วยสัญญาณอินพุตที่สุ่มมาอีกอันหนึ่งที่ไม่เหมือนกับอันแรก ซึ่งจะได้เปอร์เซ็นต์ความถูกต้องอยู่ที่ 60.74% ซึ่งแสดงดังรูป 4.31



รูปที่ 4.30 ผลเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดยวิธีความผิดพลาดเอาท์พุตซึ่งมีความถูกต้องอยู่ที่ 87.61%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31 ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้โดย
วิธีความผิดพลาดเอาท์พุตซึ่งมีความถูกต้องอยู่ที่ 60.74%

ตารางที่ 4.7 สรุปผลเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของโมเดลเทียบกับสัญญาณที่ใช้ทดสอบ

	แบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์	แบบจำลองจากระบบจริง
วิธีตรรกะคลุมเครือใช้ข้อมูลที่สร้างโมเดล	99.04%	98.9%
วิธีตรรกะคลุมเครือใช้ข้อมูลที่ทดสอบโมเดล	97.11%	98.43%
วิธีความผิดพลาดเอาท์พุตใช้ข้อมูลที่สร้างโมเดล	90.77%	87.61%
วิธีความผิดพลาดเอาท์พุตใช้ข้อมูลที่ทดสอบโมเดล	90.39%	60.74%

จากตารางที่ 4.7 เห็นได้ชัดเจนว่าเมื่อทดสอบความถูกต้องของข้อมูลแล้วพบว่าการหาโมเดลด้วยวิธีตรรกะคลุมเครือได้ความแม่นยำที่เที่ยงตรงกว่าวิธีความผิดพลาดเอาท์พุตเมื่อสังเกตจากเปอร์เซ็นต์ของความถูกต้องของโมเดลไม่ว่าจะเป็นการทดสอบจากสัญญาณของแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบสัญญาณจากระบบจริง ทำให้ระบบได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่น่าเชื่อและสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในด้านอื่นต่อไป

4.2.3.3 สรุปผลการทดลองการตรวจสอบความถูกต้อง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลระหว่างรูปแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification) กับรูปแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุต (Output Error Identification) นั้นพบว่ารูปแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุตจะมีการแกว่งของชุดข้อมูลมากกว่ารูปแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยตรรกะคลุมเครือ กล่าวคือรูปแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือนั้นมีความแม่นยำมากกว่ารูปแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุต และมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่มากกว่าไม่ว่าจะเป็นการทดสอบจากสัญญาณของแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ หรือทดสอบสัญญาณจากระบบจริง อีกทั้งโมเดลที่ได้ในแต่ละดิวตี้ไซเคิลที่แบ่งนั้นมีความใกล้กันไม่ว่าจะเป็นการทดสอบจากสัญญาณของแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ หรือทดสอบสัญญาณจากระบบจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุป ข้อเสนอแนะ และแนวทางการพัฒนา

5.1 บทสรุป

จากผลการทดลองและการจำลองในวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรง-กระแสตรงชนิดทอนแรงดันไฟฟ้า เมื่อทำการเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิลในระบบเพื่อให้เกิดการพลศาสตร์ขึ้นในระบบ และทำการเก็บข้อมูลสัญญาณอินพุต และสัญญาณเอาท์พุตที่เปลี่ยนแปลงนั้นไปทำการวิเคราะห์ จะพบว่าวิธีแบบจำลองโดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification) ในวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรง-กระแสตรงนั้น ผลการทดลองที่ได้จะดีกว่าแบบวิธีวิเคราะห์แบบเชิงเส้นโดยวิธีแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุต (Output Error Identification) ซึ่งสามารถดูได้จากความถูกต้องของข้อมูลนั้นมากกว่า 99% โดยข้อดีของการออกแบบรูปแบบนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมแบบตัดตารางเกนได้ ซึ่งถือว่าเป็นการควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้นและมีผลการตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบเชิงเส้น และเมื่อทำการทดสอบความถูกต้องของข้อมูลโดยวิเคราะห์วิเคราะห์ข้อมูลชุดเดียวกันระหว่างรูปแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy Identification) กับรูปแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุต (Output Error Identification) นั้นพบว่ารูปแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุตจะมีการแกว่งของชุดข้อมูลมากกว่ารูปแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยตรรกะคลุมเครือ กล่าวคือรูปแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือนั้นมีความแม่นยำมากกว่ารูปแบบจำลองความผิดพลาดเอาท์พุต และมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่มากกว่าไม่ว่าจะเป็นการทดสอบจากสัญญาณของแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ หรือทดสอบสัญญาณจากระบบจริง อีกทั้งโมเดลที่ได้ในแต่ละดิวตี้ไซเคิลที่แบ่งนั้นมีความใกล้กันไม่ว่าจะเป็นการทดสอบจากสัญญาณของแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ หรือทดสอบสัญญาณจากระบบจริง จึงอาจกล่าวได้ว่ารูปแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยใช้ตรรกะคลุมเครือนั้นดีกว่าทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการทดลองตลอดโครงการวิจัยนี้พบว่ามีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. ในการสวิตซ์ชิ่งด้วยความถี่สูงอาจทำให้เกิดความร้อนสะสมที่อุปกรณ์มอสเฟต และอาจทำให้เกิดการลัดวงจรขึ้นได้ในกรณีที่มอสเฟตเสียหาย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการระบายความร้อนที่เหมาะสม

2. การเปลี่ยนของสัญญาณดิวตี้ไซเคิลเพื่อสร้างพลศาสตร์ให้กับระบบ ที่ได้ทำเป็นการเปลี่ยนไปอย่างมีแบบแผนคือ จะเปลี่ยนดิวตี้ไซเคิลทุก 2 มิลลิวินาที แต่ในระบบที่พบทั่วไปในชีวิตจริง จะเป็นระบบที่เกิดพลศาสตร์อย่างไม่มีแบบแผน (Random) ซึ่งเป็นสิ่งที่น่าศึกษาต่อไปได้ในอนาคต

3. การสร้างแบบจำลองของระบบต้องเลือกรูปแบบของทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ ที่เหมาะสมกับระบบที่กำลังทำการศึกษา เพื่อให้แบบจำลองที่สร้างขึ้นมามีความถูกต้องใกล้เคียงกับแบบจำลองจริงมากที่สุด

4. ความถูกต้องของข้อมูลที่บันทึกจากวงจรทอนแรงดันจริงจะต้องมีสัญญาณรบกวนในข้อมูลที่วัดมาไม่สูงจนเกินไป เพราะจะส่งผลต่อการสร้างแบบจำลองของระบบทำให้ไม่มีความถูกต้อง

5.3 แนวทางการพัฒนา

กระบวนการทดลองเป็นการจำลองวงจรทอนแรงดันไฟฟ้าที่ใช้พารามิเตอร์ในวงจรค่าเดียวตามที่ออกแบบไว้ ซึ่งในความเป็นจริงยังสามารถปรับค่าพารามิเตอร์ในวงจรเพื่อวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเพื่อต่อยอดการวิจัยในรูปแบบอื่นต่อไป อีกทั้งยังสามารถนำวิธีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Fuzzy Identification) ไปใช้ทดสอบกับรูปแบบพลวัตรูปแบบอื่นๆที่เกิดขึ้นในระบบต่างๆได้อย่างกว้างขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] R. M. T. Raja Ismail, M. A. Ahmad and M. S. Ramli, "Speed Control of Buck - converter Driven Dc Motor Based on Smooth Trajectory Tracking" Third Asia International Conference on Modelling & Simulation,2009

[2] Lennart Ljung, "System identification", New jersey, P T R Prentice Hall.inc, 1987.

[3] Bengt Johansson, "DC-DC Converters - Dynamic Model Design and Experimental Verification", Lund, Media-Tryck, 2004

[4] Randall Shaffer, "Fundamentals of Power electronic with MATLAB", Massachusetts, CHARLES RIVER MEDIA, 2007

[5] รศ.ดร.วีรเชษฐ์ ขันเงิน, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, พิมพ์ครั้งที่ 9 , กรุงเทพฯ , หจก.วี.เจ. พรินติ้ง , 2552.

[6] Kabaila,P, "On output-error methods for system identification,"*Automatic Control, IEEE Transactions on,* 28:1, 1983

[7] MATLAB 2013a, What is Fuzzy logic? [Online]. Available:http://www.mathworks.com/help/fuzzy/what-is-fuzzy-logic.html

[8] Katsuhigo Ogata, "Modern control engineering", Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, One Lake Street, New Jersey 07458.

[9] Szczesniak,P.,.Kaniewski,J., "Dynamic model of a space vector modulated buck-boost matrix- reactance frequency converter",*ISNCC*, 2013.

[10] Schittler, A.C.,Pappis, D., Rech, C. , Campos, A.,"Generalized state-space model for the interleaved buck converter," *COBEP*, Brazilian, 2011.

[11] Abonyi J, Babuška R, Verbruggen HB, Szeifert F, "Incorporating prior knowledge in fuzzy model identification", *Int J SystSci* 2000;31:657–67.

[12] Somyotkaitwanidvilai, PiyapongOlranthichachart, "Robust loop shaping-fuzzy gain scheduling control of a servo-pneumatic system using particle swarm optimization aproach", *Mechartronics*, 21:1,2011.

[13] Tanaka K, Wang H. *Fuzzy control systems design and analysis. A linear matrix inequality approach*, New York: Wiley Interscience; 2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[14] Katsuhigo Ogata, *Modern control engineering*, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, One Lake Street, New Jersey 07458.

[15] T. Takagi and M. Sugeno., Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control. *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, 15(1) : 116–132, 1985.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์พารามิเตอร์ทางพลศาสตร์ของวงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรงโดยวิธีตรรกะคลุมเครือ

Dynamic system identificationof DC/DC converter using fuzzymodel identification

อธิปตย์ จันทร์ดี (AtipJundee) และสมยศ เกียรติวนิชวิไล (SomyotKaitwanidvilai)

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

atipkmitl@gmail.com, drsomyot@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอหาพารามิเตอร์ในสมการพลศาสตร์ของวงจรตัวแปลงไฟฟ้ากระแสตรง-ไฟฟ้ากระแสตรง ในที่นี้ คือ วงจรทอนแรงดันไฟฟ้า โดยมีการเปรียบเทียบเทคนิคการหาค่าตัวแปรโดยการใช้วิธีการประมาณค่า *OE (Output Error)* **กับวิธีการหาค่าตัวแปรโดยใช้วิธีการตรรกะคลุมเครือ**(*Fuzzy Identification*)**โดยมีเงื่อนไขในการสร้างพลศาสตร์ คือมีการเปลี่ยนแปลงค่าทางด้านอินพุตคือค่าดิวตี้ไซเคิล และทำการวิเคราะห์ด้านเอาท์พุตที่ได้จากผลการทดลอง จากการวิเคราะห์พบว่าวิธีหาค่าตัวแปรโดยใช้วิธีการตรรกะคลุมเครือนั้นมีความถูกต้องมากกว่าร้อยละ** *99* **และเมื่อเทียบกับวิธีการประมาณค่า** *OE(Output Error)* **จะได้ค่าความถูกต้องเพียงร้อยละ** *80* **ซึ่งวิธีการนี้สามารถนำไปออกแบบตัวควบคุมแบบฟัซซีได้ในอนาคต**

คำสำคัญ:ตรรกะคลุมเครือวงจรทอนแรงดันไฟฟ้าแบบจำลองทางพลศาสตร์

Abstract

This paper presents the study of system identification of the DC-DC converter circuit, in this case, the buck converter. The performance of the identification process of the fuzzy identification technique is investigated in comparison with the conventional linear dynamic modeling using the OE (Output Error) model. By proper varying the input signal of the system, the wide range output dynamic response can be achieved. The output is then be analyzed and compared by using the data from the experiments. More than 99% accuracy was achieved by the fuzzy model identification technique while the linear model can achieve only less than 80% accuracy. The proposed technique can be used in the future design of fuzzy controller for this circuit.

Keyword:fuzzy model identification, buck converter, system identification

1.บทนำ

วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง(DC to DC Converter)เป็นวงจรที่มีความสำคัญในอิเล็กทรอนิกส์กำลัง วงจรนี้ได้ถูกนำไปใช้ในงานหลากหลายประเภท[1-3]ในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังจะต้องมีการวิเคราะห์ผลด้านพลศาสตร์เช่น ผลตอบสนองที่สถานะชั่วขณะ เงื่อนไขความผิดพลาดช่วงสภาวะคงตัว หากไม่มีการวิเคราะห์ปัญหาเหล่านี้อาจส่งผลกระทบกับวงจรในระยะยาวและเป็นปัญหาในการซ่อมบำรุงและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ อาทิเช่น อาจเกิดการพุ่งของแรงดันเกินทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายIsmial และคณะ[1] ได้นำเสนอการใช้วงจรทอนแรงดัน(Buck converter) ในการควบคุมการขับเครื่องจักรกลไฟฟ้ากระแสตรง โดยออกแบบการควบคุมด้วยอาศัยการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์ในการออกแบบวงจรที่มีประสิทธิภาพสูงSzczesniakและ Kaniewski [2] ได้นำเสนอการปรับรูปแบบพลศาสตร์ของสเปซเวคเตอร์(Space-Vector) โดยวงจรที่ถูกวิเคราะห์ในบทความ

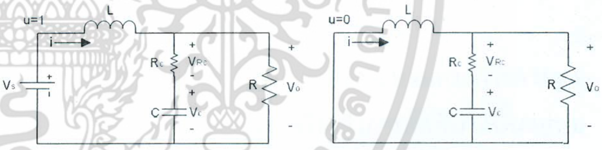
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นชนิดวงจรทอนทบแรงดันไฟฟ้าชนิดแมททริกซ์รีแอคแตนซ์ (Buck-boostmatrix-reactancefrequency) Schittlerและคณะนำเสนอการวิเคราะห์แบบจำลองทฤษฎีปริภูมิสถานะสำหรับวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า และนำเสนอวิธีการวิเคราะห์รูปแบบพลศาสตร์วงจร จากงานวิจัยในอดีตพบว่ารูปแบบทางพลศาสตร์มีความสำคัญในการออกแบบวงจรที่ต้องคำนึงถึงสมรรถนะทั้งแบบสภาวะชั่วขณะและสภาวะคงตัว ซึ่งนอกจากจะสามารถบ่งบอกถึง ความผิดพลาดช่วงสภาวะคงตัว ช่วงแรงดันเกิน ได้แล้ว ยังสามารถวิเคราะห์ถึงความไวของระบบรวมถึงค่าเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัวของระบบ ซึ่งถือเป็นสมรรถนะหลักอย่างหนึ่งด้วย อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ที่นิยมใช้วิธีการหนึ่งในการออกแบบนอกจากการวิเคราะห์แบบโมเดลทางกายภาพคือ การป้อนสัญญาณอินพุตและเอาท์พุตที่เหมาะสมเข้าไปยังระบบ จากนั้นจะหาพารามิเตอร์ที่ทำให้ความผิดพลาดต่ำสุด อย่างไรก็ตามพบว่ายังมีอีกหลายปัจจัยที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการหาค่าตัวแปรพลศาสตร์เช่น ย่านการทำงานที่กว้างเกินไป ความไม่เป็นเชิงเส้นของระบบ ตัวรบกวนระบบ (noise)เป็นต้น ตัวอย่างของการวิเคราะห์ระบบและการออกแบบระบบควบคุมในที่นี้ คือ การใช้การวิเคราะห์แบบหาค่าต่ำสุดของกำลังสองของความผิดพลาดระหว่างผลจากแบบจำลองและผลที่วัดจริง ซึ่งอาศัยเทคนิคค่ากำลังสองของความผิดพลาดน้อยที่สุด (least square error) อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้มีข้อจำกัดเฉพาะระบบที่เป็นเชิงเส้นเท่านั้น ในวงจรแปลงผันกระแสตรง-กระแสตรง

ในบทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้การหาตัวแปรทางพลศาสตร์ของวงจรทอนแรงดันไฟฟ้านั้นคือ วิธีการหาค่าตัวแปรโดยใช้วิธีตรรกะคลุมเครือ(Fuzzy Identification)ในวงจรทอนแรงดันไฟฟ้าซึ่งได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีวิเคราะห์แบบเชิงเส้นโดยวิธีการประมาณค่า OE (Output Error) [4,5] งานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการหาค่าพารามิเตอร์โดยใช้วิธีตรรกะคลุมเครือ[6] ในการหาพารามิเตอร์ของวงจรโดยทำการศึกษาอินพุตของวงจรโดยใช้สัญญาณขับแบบสวิตซ์ชิ่งและเอาท์พุตคือแรงดันไฟฟ้าขาออกแล้วนำทั้งข้อมูลทั้งสองส่วนนำมาใช้ในการหาค่าตัวแปรพารามิเตอร์โดยวิธีตรรกะคลุมเครือ [6] ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในการหารูปแบบความเป็นเชิงเส้นกับรูปแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นในโครงสร้างตรรกะคลุมเครือที่ได้มาจากการใช้ฟังก์ชั่นสมาชิกตรรกะคลุมเครือ(Fuzzy Membership Function)ที่คล้ายกับการรวมรูปแบบจำลองเชิงเส้นโดยหาค่าเฉลี่ย แบบจำลองนี้จะเหมาะสมเมื่อนำไปออกแบบตัวควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้นบางรูปแบบ เช่น ตัวควบคุมชนิดควบคุมการปรับ(Adaptive Controllers) และตัวควบคุมแบบปรับตารางอัตราขยายควบคุม (Fuzzy gain scheduling) ที่เป็นไปได้ การควบคุมเหล่านี้จะปรับพารามิเตอร์ของตัวควบคุมไปตามจุดการทำงานและอัตราการควบคุมสำหรับจุดการทำงานต่างๆที่นอกเหนือจากจุดที่มีการคำนวณจะใช้วิธีการประมาณค่าหรืออินเตอร์โพเลท (Interpolate) เชื่อมโยงกับจุดที่ทราบค่าสองจุด ในบทความนี้เลือกชนิดของรูปแบบตรรกะคลุมเครือที่เหมาะสมสำหรับการหาพารามิเตอร์ คือวิธีของ Takagi-Sugano Fuzzy Model(TS Fuzzy Model)[6]

2. วงจรทอนแรงดัน

โดยพื้นฐานทฤษฎีปริภูมิสถานะ (State-space model) ของวงจรทอนแรงดันแบ่งช่วงการทำงานเป็น 2 ช่วง ตามการวิเคราะห์ที่มีอยู่ทั่วไปคือ ภาพที่1(a)เป็นช่วงสวิตช์นำกระแส และภาพที่1(b)เป็นช่วงสวิตช์ไม่นำกระแสดังนี้



(a) $0 \leq t \leq t_{on}$ (b) $t_{on} \leq t \leq T$

ภาพที่ 1:(a) ช่วงสวิตช์นำกระแส (b)ช่วงสวิตช์ไม่นำกระแส

กำหนดให้ u เป็นเงื่อนไขของการควบคุมสวิตช์

$$u = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq t_{on} \\ 0, & t_{on} \leq t \leq T \end{cases} \quad (1)$$

จากภาพที่ 1 สามารถวิเคราะห์และจัดรูปให้อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์อันดับหนึ่ง ได้ดังนี้

$$\frac{di}{dt} = u\frac{V_s}{L} - \frac{v_o}{L} \quad (2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{dv_0}{dt} = \left(\frac{R}{CR_c+RC}\right)i - v_0\left(\frac{L+RR_cC}{LCR_c+LRC}\right) + \left(\frac{RR_cC}{LCR_c+LRC}\right)V_s u \quad (3)$$

รูปแบบพลศาสตร์ใน (3) สามารถเขียนในรูปแบบสมการปริภูมิสถานะได้ดังนี้

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

$$\begin{bmatrix} \frac{di}{dt} \\ \frac{dv_o}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{L} \\ \frac{R}{CR_c+CR} & -\left(\frac{L+RR_CC}{LCR_C+LRC}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i \\ v_o \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{V_s}{L} \\ \left(\frac{RR_cC}{LCR_c+LRC}\right)V_s \end{bmatrix} [u] \quad (4)$$

3. วิธีการหาพารามิเตอร์ระบบแบบเชิงเส้น(Linear System identification)และแบบวิธีตรรกะคลุมเครือ (fuzzy identification methods) [4, 6]

3.1วิธีการหาพารามิเตอร์ระบบแบบเชิงเส้นโดยใช้รูปแบบ OE (Output Error)[5]

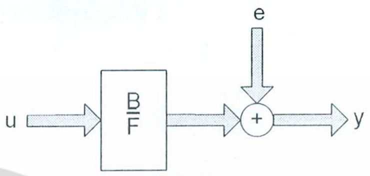
รูปแบบของ OE (Output Error) นั้นถูกใช้อย่างกว้างขวางในวงจรหลากหลายแบบที่มีการวิเคราะห์พลศาสตร์ ในงานวิจัยนี้ได้นำมาใช้หาแบบจำลองพลศาสตร์สำหรับวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยวิธีนี้จะทำการประมาณค่าความผิดพลาดของฟังก์ชั่นการถ่ายโอนของระบบ โดยรูปแบบสมการของการประมาณค่า OE มีลักษณะดังนี้ [6]

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}u(t - nk) + e(t) \quad (5)$$

จากสมการที่ (5) สามารถเขียนในรูปฟังก์ชั่นการถ่ายโอนในรูปแบบต่อเนื่องดังแสดงใน(6)ตัวแปร bและf คือค่าพารามิเตอร์ระบบที่ระบบต้องการทราบ

$$G(s) = \frac{B(s)}{F(s)} = \frac{b_{nb}s^{(nb-1)} + b_{nb-1}s^{(nb-2)} + \ldots + b_1}{s^{nf} + f_{nf}s^{(nf-1)} + \ldots + f_1} \quad (6)$$

โดยที่$y(t)$คือ ค่าเอาท์พุตณเวลา $tu(t)$คืออินพุต ณ เวลาn_bคือ จำนวนซีโร่บวกหนึ่งของระบบบวกหนึ่งn_fคือ จำนวนโพลของระบบn_kจำนวนการสุ่มข้อมูลก่อนที่อินพุตจะมีผลต่อเอาท์พุตของระบ,$e(t)$คือค่าความผิดพลาด, $b_1, \ldots, b_{nb}$ และ $f_1, \ldots, f_{nf}$ คือค่าพารามิเตอร์ของระบบที่ผู้ออกแบบต้องการหา จากสมการที่ (6) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปบล็อคไดอะแกรมดังภาพที่ 2 [8]



ภาพที่ 2:บล็อคไดอะแกรมของวิธี OE [4]

เมื่อวัดข้อมูลค่าอินพุต และเอาท์พุตของระบบเพื่อนำไปสร้างแบบจำลองด้วยการประมาณการรูปแบบ โดยในการใส่ค่า OE n_b, n_fและ n_kจะอาศัยการสุ่มค่าตามแบบของแบบจำลองสีเทาหรือGray Box model [4] ซึ่งจะได้แบบจำลองของระบบตามทฤษฎีการหาพารามิเตอร์ระบบ

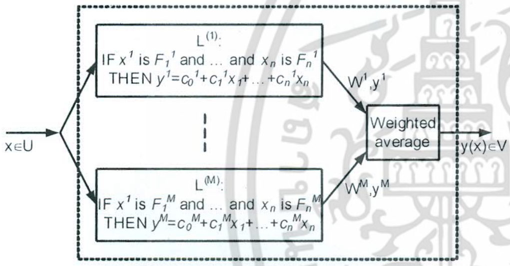
3.2 วิธีการหาพารามิเตอร์ระบบโดยใช้ตรรกะคลุมเครือ (Fuzzy model identification)

ตรรกะคลุมเครือ(Fuzzy) [6, 7] คือกระบวนการการควบคุมโดยใช้การตัดสินใจแบบคลุมเครือ ซึ่งการตัดสินใจนั้นอยู่บนพื้นฐานของประสบการณ์และกฎของความเป็นจริงในธรรมชาติ หลากหลายวิธีในการปรับพารามิเตอร์ภายใต้กฎพื้นฐานข้อมูลจริง ผู้วิจัยบางท่าน[8-9] ได้นำวิธีนี้ไปควบคุมอุปกรณ์ จากสมการพลศาสตร์ในหัวข้อที่ 2 ได้ถูกนำไปใช้เป็นโครงสร้างของสมการพลศาสตร์ของวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า ทั้งนี้วิธีการหาพารามิเตอร์แบบเชิงเส้นจะเหมาะสมกับการทำงานในย่านจุดทำงานที่กำหนด อย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงมักมีการทำงานในย่านช่วงการทำงานที่กว้างและมักมีความไม่เป็นเชิงเส้นค่อนข้างสูง ดังนั้นรูปแบบเชิงเส้นยังมีความถูกต้องไม่เพียงพอสำหรับระบบในลักษณะนี้

เพื่อเป็นการเพิ่มความสามารถในการควบคุมระบบ[10] การควบคุมรูปแบบที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ถูกนำเสนอและหาพารามิเตอร์แบบไม่เป็นเชิงเส้นภายใต้พื้นฐานคณิตศาสตร์แบบไม่เป็นเชิงเส้นที่ได้จากการทดลองจริง วิธีการนี้ค่อนข้างใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลานานและใช้กระบวนการที่ซับซ้อน ดังนั้นการสร้างแบบจำลองไม่เป็นเชิงเส้นทั่วไปจึงไม่เป็นที่นิยมในการใช้งานจริง อย่างไรก็ตามยังมีวิธีการอีกรูปแบบหนึ่งในการวิเคราะห์ระบบแบบไม่เป็นเชิงเส้นที่มีพื้นฐานมาจากวิธีแบบเชิงเส้นและมีแนวโน้มสูงในการใช้งานได้จริงนั่นคือ การหาแบบจำลองโดยวิธีตรรกะคลุมเครือ[6] ซึ่งคล้ายกับการหาพารามิเตอร์แบบเชิงเส้นกล่าวคือการหาพารามิเตอร์โดยตรรกะคลุมเครือมีการใช้ชุดข้อมูลอินพุตและเอาท์พุตในการหาพารามิเตอร์ของระบบแบบไม่เป็นเชิงเส้น จากโครงสร้างแบบจำลองในหัวข้อที่ 2 รูปแบบตรรกะคลุมเครือของทาคางิซึเงะโนะ-(Takagi-Sugano :TS) [6] ของวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงไฟฟ้ากระแสตรง - สามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการลำดับที่สองโดยมีการหน่วงเวลาและสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบตรรกะคลุมเครือได้ดัง (7) และแผนภาพระบบฟัซซีแบบทาคาจิ-ซึเงะโนะดังภาพที่3



ภาพที่ 3:ภาพระบบฟัซซีแบบทาคางิซึเงะโนะ- [6]

$$R_j: if\ \bar{y}(k)\ is\ A_j\ ,\ then\ \ y^i(k+1) = a_1^j y(k) + a_2^j y(k-1) + b_1^j u(k-d+1) \quad (7)$$

เมื่อ$\bar{y}$คือค่าเฉลี่ยของเอาท์พุตที่ขึ้นกับการปรับค่าดิวตี้ไซเคิล; k คือข้อมูลหมายเลขสุ่มk; dคือหมายเลขค่าหน่วงเวลา; A_jคือฟังก์ชั่นความสัมพันธ์เชิงภาษาของตรรกะคลุมเครือ

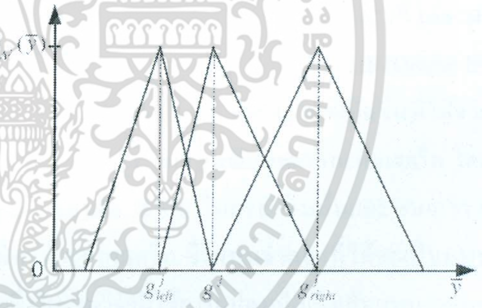
ในบทความนี้ ได้ทำการเลือกจำนวนของกฎในรูปแบบตรรกะคลุมเครืออยู่ที่ 6 กฎ ดังนั้นพารามิเตอร์ของสมการพลศาสตร์จึงสามารถเขียนในรูปแมทริกซ์ดังนี้

$$G = \begin{bmatrix} a_1^1 & a_2^1 & b_1^1 \\ a_1^2 & a_2^2 & b_1^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ a_1^6 & a_2^6 & b_1^6 \end{bmatrix} \quad (8)$$

รูปแบบกระบวนการหาแบบจำลองโดยการใช้ตรรกะคลุมเครือถูกนำเสนอโดย Abonyi et al.[6] ในวิธีการนี้ พารามิเตอร์G จะถูกพิจารณาเพื่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างการจำลองและการวัดการตอบสนองเอาท์พุตขนาดเล็ก เมื่อรูปแบบพลศาสตร์ Gถูกระบุบนพื้นฐานของตรรกคลุมเครือ T-S สมการพลศาสตร์ของรูปแบบจะถูกระบุมาก่อนค่าตัวแปร$\bar{y}$ สามารถกำหนดเป็น$G_{\bar{y}}$ดังนี้

$$G_{\bar{y}} = \frac{\sum_{j=1}^{M} \mu_j G_j}{\sum_{j=1}^{M} \mu_j} \quad (9)$$

เมื่อ$\mu_j = \mu_{A^j}(\bar{y})$คือฟังก์ชันค่าความสัมพันธ์ของรูปแบบj^{th} G_j คือรูปแบบเฉพาะj^{th} Mคือ จำนวนเซ็ตของตรรกะคลุมเครือ (ในบทความนี้คือจำนวนของรูปแบบเฉพาะ) บนด้านอินพุต ฟังก์ชันความสัมพันธ์ในระดับตรรกะคลุมเครือถูกกำหนดตามปกติที่ควรจะเป็นดังฟังก์ชันสามเหลี่ยม(Triangle function, Trapezoidal function or Bell Shape function)ในบทความนี้ ฟังก์ชันความสัมพันธ์สามารถแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่4:ฟังก์ชันความสัมพันธ์สามเหลี่ยม(Triangle membership function)

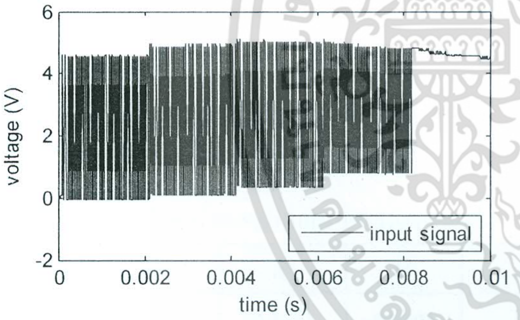
เมื่อ$g^j, g^j_{left}, g^j_{right}$คือจุดกึ่งกลางของสามเหลี่ยมของj^{th}, อยู่ติดซ้ายและขวา ตรรกะคลุมเครือถูกกำหนดในรูปแบบj^{th}ตามลำดับ

4.ผลการทดลอง

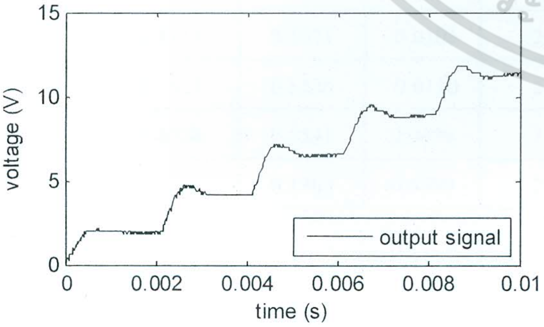
การหาพารามิเตอร์ของระบบจะใช้ข้อมูลจากการทดลองคือ ข้อมูล $u(t)$และ $y(t)$ดังแสดงในภาพที่ 5ที่ใช้วิธีการหาพารามิเตอร์แบบตรรกะคลุมเครือและวิธีแบบเชิงเส้นเปรียบเทียบกัน จากรูปจะพบว่าสัญญาณด้านออกในที่นี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุตจะปรากฏทุกย่านของระบบ โดยออกแบบการขยับอินพุตที่กำหนดคือดิวตี้ไซเคิ้ลในช่วง[20%, 40%, 60%, 80%, 100%] ในทางปฏิบัติ ได้เลือกย่านการทำงานที่ค่อนข้างกว้างเพื่อความมั่นใจในข้อมูลดังกล่าวแทนความไม่เป็นเชิงเส้นได้ ในบทความนี้ได้ทำการออกแบบวงจรทอนแรงดันโดยแบ่งวงจรออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนกำเนิด PWM และส่วนแปลงไฟฟ้ากระแสตรง-ไฟฟ้ากระแสตรง โดย PWM ถูกสร้างโดยการใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ และแรงดันเอาท์พุตที่PWM อยู่ที่ +5V และสามารถเพิ่มได้สูงสุดถึง +15V โดยวงจรขับ MOSFETใช้IR2110 โดยมีความถี่สวิตช์ที่ 50 kHzและในงานวิจัยนี้ ยังแบ่งค่าดิวตี้ออกเป็น 5 ระดับได้แก่ 20% 40% 60% 80% และ 100% สัญญาณดังกล่าวใช้ควบคุมวงจรทอนแรงดันโดยใช้ค่าตัวเหนี่ยวนำที่ 380 มิลลิเฮนรี่, ค่าตัวเก็บประจุที่ 100 ไมโครฟารัดและจ่ายโหลดขนาด 5 โอห์มและแหล่งจ่ายไฟฟ้าอินพุตที่ +12Vจะได้แรงดันเอาท์พุตออกมาอยู่ในช่วง 0 ถึง +12V และวงจรการทดลองแสดงดังภาพที่6

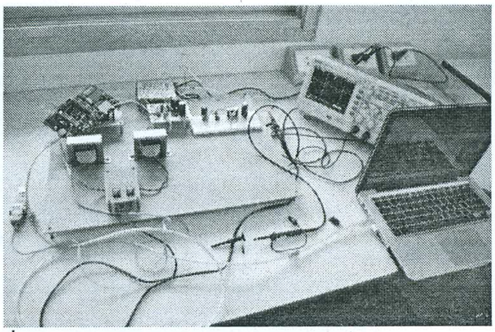


(ก)



(ข)

ภาพที่5: (ก)สัญญาณอินพุต$u(t)$ (ข)สัญญาณเอาท์พุต$y(t)$



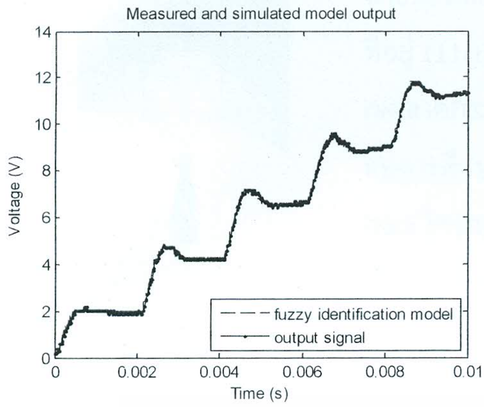
ภาพที่6:วงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงและวงจรควบคุม

การทดลองนี้ได้ทดสอบเก็บผลข้อมูลโดยมีคาบเวลาการสุ่มเก็บข้อมูลที่ 2 มิลลิวินาทีภายใต้เงื่อนไขรูปแบบของตรรกะคลุมเครือ[6] ค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบตรรกะคลุมเครือนั้นได้ถูกกำหนดดังตารางที่ 1 และภาพที่ 7 (ก) แสดงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเอาท์พุตที่ได้จริงกับค่าจากการใช้รูปแบบตรรกะคลุมเครือในการหาพารามิเตอร์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการหาพารามิเตอร์ระบบแบบตรรกะคลุมเครือสามารถประมาณค่าใกล้เคียงค่าจริงได้และในภาพที่ 7 (ข) แสดงถึงการเปรียบเทียบระหว่างค่าเอาท์พุตที่ได้จริงกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์แบบเชิงเส้น โดยใช้วิธีประมาณค่า OE (Output Error) จากผลการทดลองพบว่า ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นที่ได้จากวิธีประมาณ OE จะมีค่ามากกว่ากรณีแบบตรรกะคลุมเครือ โดยผลความถูกต้องเท่ากับ 78.8% ในกรณีเชิงเส้นและมากกว่า 99% ในกรณีตรรกะคลุมเครือ ซึ่งแบบจำลองที่ได้จะเป็นแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้การแปลงเป็นเชิงเส้นแบบ Tustin ในการแปลงแบบจำลองให้เป็นแบบต่อเนื่อง ในกรณีแบบจำลองเชิงเส้นจะเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

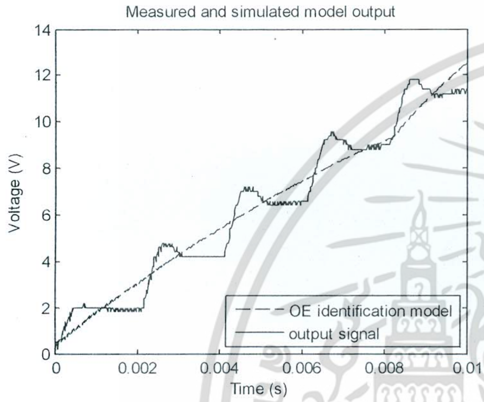
$$G(s) = \frac{0.1794s^2+6.965s+152}{s^3+17.79s^2+1066s+29.62} \tag{10}$$

และในกรณีของตรรกะคลุมเครือจะได้ผลของแบบจำลองตามตารางที่ 1และ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

ภาพที่ 7:ผลเปรียบเทียบกับค่าแรงดันเอาท์พุตที่ได้ (ก) วิธีตรรกะคลุมเครือ (ข) แบบเชิงเส้นโดยการประมาณค่าOE

ตารางที่ 1:ค่าพารามิเตอร์ของระบบแบบตรรกะคลุมเครือ

i	a_1^i	a_2^i	b_1^i	d
1	0.4343	0.5731	0.0006	3
2	0.4136	0.8652	-0.0076	2
3	0.4115	0.5971	-0.0106	2
4	0.1571	0.8536	-0.0120	2
5	0.4024	0.5541	0.0499	2
6	0.1569	0.1363	0.6759	2

ตารางที่ 2: สมการพลศาสตร์แบบต่อเนื่องของระบบแบบตรรกะคลุมเครือ

Duty cycle	Model
20%	$G_1(s) = \frac{0.3876s^2 + 1.551 \times 10^6 s + 1.551 \times 10^{12}}{s^2 + 4.3 \times 10^5 s + 3.062 \times 10^{12}}$
40%	$G_2(s) = \frac{0.1749s^2 + 6.995 \times 10^5 s + 6.995 \times 10^{11}}{s^2 + 1.29 \times 10^6 s + 1.377 \times 10^{12}}$
60%	$G_3(s) = \frac{0.2161s^2 + 8.644 \times 10^5 s + 8.644 \times 10^{11}}{s^2 + 1.127 \times 10^6 s + 1.712 \times 10^{12}}$
80%	$G_4(s) = \frac{0.2892s^2 + 1.157 \times 10^6 s + 1.157 \times 10^{12}}{s^2 + 8.529 \times 10^5 s + 2.332 \times 10^{12}}$
100%	$G_5(s) = \frac{0.146s^2 + 5.841 \times 10^5 s + 5.841 \times 10^{11}}{s^2 + 1.674 \times 10^6 s + 1.685 \times 10^{12}}$

4. สรุป

จากการผลการทดลองจริงในวงจรทอนแรงดันไฟฟ้า จะพบว่าแบบจำลองโดยใช้ตรรกะคลุมเครือในวงจรแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงนั้นผลการทดลองที่ได้จะดีกว่าแบบวิธีวิเคราะห์แบบเชิงเส้นโดยการประมาณค่า OE (Output Error) ซึ่งดูได้จากความถูกต้องของข้อมูลนั้นมากกว่า99 % ผลที่ได้นี้เนื่องจากโครงสร้างของฟัซซีมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง ซึ่งระบบที่มีย่านการทำงานกว้างเช่นระบบคอนเวอร์เตอร์นี้มีลักษณะความไม่เป็นเชิงเส้นสูง ข้อดีของการออกแบบแบบนี้จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมแบบตัดตารางเกนได้ ซึ่งถือว่าเป็นการควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้นและมีผลตอบสนองที่ดีกว่าการควบคุมแบบเชิงเส้น ซึ่งเป็นงานวิจัยต่อไปในอนาคตของผู้แต่ง

เอกสารอ้างอิง

[1] R. M. T. Raja Ismail, M. A. Ahmadand M. S. Ramli, "Speed Control of Buck converter Driven DC Motor Based on Smooth Trajectory Tracking," *3rd Asia International Conference on Modelling&Simulation*,2009
[2] Szczesniak,P.,.Kaniewski,J., "Dynamic model of a space vector modulated buck-boost matrix-reactance frequency converter",*ISNCC*, 2013.
[3] Schittler, A.C.,Pappis, D., Rech, C. , Campos, A.,"Generalized state-space model for the interleaved buck converter," *COBEP*, Brazilian, 2011.
[4] LennartLjung, "*System identification*", New jersey, P T R Prentice Hall.inc, 1987.
[5] Kabaila,P., "On output-error methods for system identification,"*Automatic Control, IEEE Transactions on*, 28:1, 1983
[6] Abonyi J, Babuška R, Verbruggen HB, Szeifert F, "Incorporating prior knowledge in fuzzy model identification", *Int J SystSci* 2000;31:657–67.
[7] MATLAB 2013a,What is Fuzzy logic ? [Online].Available :http://www.mathworks.com/help/fuzzy/what-is-fuzzy-logic.html
[8] Somyotkaitwanidvilai, PiyapongOlranthichachart, "Robust loop shaping-fuzzy gain scheduling control of a servo-pneumatic system using particle swarm optimization aproach", *Mechartronics*, 21:1,2011.
[9] Tanaka K, Wang H. *Fuzzy control systems design and analysis. A linear matrix inequality approach*, New York: Wiley Interscience; 2001
[10] Katsuhigo Ogata, *Modern control engineering*, Pearson Education, Inc., publishing as Prentice Hall, One Lake Street, New Jersey 07458.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นายอธิปตย์ จันทร์ดี เกิดวันที่ 13 สิงหาคม พ.ศ. 2531
ที่อยู่ 111/193 หมู่บ้านพฤกษาวิลเลจ27 ซ.ฉลองกรุง 53 แขวงลำปลาทิว
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
จบการศึกษาในระดับปริญญาตรีภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาโทสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง
E-mail :atip7@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้