



การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

โดยใช้โปรแกรม MATLAB

IDENTIFICATION OF BOOST-CONVERTER'S TRANSFER FUNCTION

BY USING MATLAB

นายทองสุข คิตสุขุม รหัส 44362218

นายนครินทร์ ไชยวรรณ รหัส 44362275

นายอนุสรณ์ ตูลาทอง รหัส 44362424

ห้องสมุด.....	5
วันที่รับ.....	5
เลขทะเบียน.....	14995508
เลขเรียกหนังสือ.....	2/5
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ๓๓/๗ 11	

2548

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2548



## ใบรับรองโครงการวิศวกรรม

หัวข้อโครงการ	การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรบุสต์คอนเวอร์เตอร์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB		
ผู้ดำเนินโครงการ	นายทองสุข คิคสุขุม	รหัส	44362218
	นายนครินทร์ ไชยวรรณ	รหัส	44362375
	นายอนุสรณ์ ตูลาทอง	รหัส	44362424
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผศ. ดร.สุชาติ เข้มมน่		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2548		

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี อนุมัติให้โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

.....  
.....ประธานกรรมการ  
(ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล)

.....กรรมการ  
(ผศ. ดร.สุชาติ เข้มมน่)

.....กรรมการ  
(ดร.สมพร เรืองสินชัยวานิช)

หัวข้อโครงการ

การหาฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ โดยใช้โปรแกรม MATLAB

ผู้ดำเนินโครงการ

นายทองสุข กิจสุขุม รหัส 44362218

นายนครินทร์ ไชยวรรณ รหัส 44362275

นายอนุสรณ์ ตุลาทอง รหัส 44362424

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ผศ.ดร.สุชาติ แย้มเม่น

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา

วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา

2548

### บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมนี้ ศึกษาเกี่ยวกับรูปแบบมาตรฐานการหาพารามิเตอร์ ที่นำไปประยุกต์ใช้ในการแยกแยะพลวัตของระบบของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ ซึ่งภายในโครงการเป็นการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ ที่ได้จากข้อมูลซึ่งนำมาจากการวัดจากอุปกรณ์ตรวจวัด การหาค่าพารามิเตอร์นี้ใช้วิธีการหาแบบ Black-Box Model โดยใช้ข้อมูลที่ใช้จากการทดลองในการหาพารามิเตอร์จาก System Identification Toolbox ในโปรแกรม MATLAB การจำลองทางคอมพิวเตอร์ และผลจากการทดลองจะถูกนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อความถูกต้องในการหาพารามิเตอร์ของแบบจำลอง ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์และผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของวิธีการหาพารามิเตอร์ของระบบ

**Project Title** Identification of Boost Converter' Transfer Function  
method by using MATLAB

**Name** Mr. Thongsook Kidsukhum ID. 44362218  
Mr. Nakharin Chaiwan ID. 44362275  
Mr. Anusorn Tulathong ID. 44362424

**Project Advisor** Dr. Somyot Kiatwanitwilai

**Co-Project Advisor** Asst. Prof. Dr. Suchat Yammen

**Major** Electrical Engineering

**Department** Electrical and Computer Engineering

**Academic Year** 2005

.....

### ABSTRACT

In this projects, standard system identification algorithm is applied to identify the system dynamic of a boot converter. This project addresses the topic of model's system identification of a boost converter from the data from a hardware measurement. The concept of system identification in this project is based on the black-box model approach using the data generated from the experimental. System identification toolbox in MATLAB is applied for this purpose. Simulation and experimental results are compared for validating the identified model. The simulation and experimental results show the effectiveness of applied identification algorithms.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยความช่วยเหลือจากหลายๆ ท่านด้วยกัน ผู้จัดทำขอถือโอกาสนี้ ขอกราบขอบพระคุณ

ดร. สมยศ เกียรติวนิชวิไล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. สุชาติ แย้มเม่น ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ร่วม และคณะกรรมการสอบโครงงานทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการแก้ปัญหาที่เป็นประโยชน์อย่างสูงในการทำโครงงานนี้ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าชั้นปีที่ 4 และน้องๆ นิสิตทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุกด้านเสมอมา

ท้ายนี้ผู้จัดทำโครงงานขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้จัดทำโครงงาน

นายทองสุข คิตสุขุม

นายนครินทร์ ไชยวรรณ

นายอนุสรณ์ ตูลาทอง

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ข
กิตติกรรมประกาศ .....	ค
สารบัญ .....	ง
สารบัญตาราง .....	จ
สารบัญรูป .....	ฉ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญและความเป็นมา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ .....	2
1.3 ขอบข่ายของโครงการ .....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน .....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
1.6 งบประมาณของโครงการ .....	3
<b>บทที่ 2 วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์</b>	
2.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ .....	4
2.2 หลักการทำงานของวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ .....	5
2.3 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำสำหรับวงจรมุสค์คอนเวอร์เตอร์ .....	10
2.4 มอสเฟต (MOSFET) .....	12
<b>บทที่ 3 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของเทคนิคการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ (System Identification)</b>	
3.1 หลักการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ .....	15
3.2 หลักการพื้นฐานของการประมาณค่าพารามิเตอร์ .....	17
3.3 การประมาณค่าพารามิเตอร์ .....	17
3.4 การพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองเชิงเส้น .....	18

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.5 การพยากรณ์โดยใช้แบบจำลอง ARX .....	18
3.6 การหาค่าความใกล้เคียงกัน (Best fit) .....	20
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	
4.1 การทดลองที่ 1 .....	22
4.2 การทดลองที่ 2 .....	23
<b>บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง</b>	
5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง .....	33
5.2 สรุปผลการทดลอง .....	35
5.3 ปัญหาที่พบ .....	35
5.4 แนวทางการพัฒนาต่อ .....	35
<b>เอกสารอ้างอิง</b> .....	36
<b>ภาคผนวก</b>	
ภาคผนวก ก ตารางค่าสัญญาณพัลส์ที่ได้จากการสุ่มและค่าแรงดันไฟฟ้าออกที่วัดได้ .....	38
ภาคผนวก ข โปรแกรมภาษาเบสิกที่ใช้ในการทดลอง.....	52
ภาคผนวก ค โปรแกรมแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าออกโดยใช้โปรแกรม VISUAL BASIC .....	64

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 อัตราขยายแรงดันของวงจรบуст์คอนเวอร์เตอร์ เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าคิวด์ไอเหนิล ( $D$ ).....	9
ตารางที่ 5.1 ตำแหน่งของศูนย์(Zero) และตำแหน่งของโพล(Pole) ของแต่ละแบบจำลอง.....	34





# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1 แสดงวงจรรูปสตัคก่อนเวอร์เตอร์.....	4
2.2 วงจรรูปสตัคก่อนเวอร์เตอร์.....	5
2.3 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส.....	6
2.4 (ก) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ.....	7
2.5 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส.....	7
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการขยายแรงดันกับคิวดี้ไซเคิล.....	10
2.7 แสดงวงจรสมมูลของมอสเฟต.....	12
2.8 โครงสร้างมอสเฟตแบบดีพลีชัน.....	12
2.9 แสดงสัญลักษณ์ของมอสเฟตแบบดีพลีชัน.....	13
2.10 แสดงโครงสร้างของมอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์.....	13
2.11 แสดงสัญลักษณ์มอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์.....	14
3.1 แสดงลักษณะทั่วไปของการหาค่าพารามิเตอร์.....	16
4-1 ตารางแสดงการทำงานของระบบ.....	21
4-2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	21
4-3 แสดงตำแหน่งที่วัดค่าคิวดี้ไซเคิล และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าออก.....	22
4-4 โปรแกรมแสดงผลที่ได้จากแรงดันไฟฟ้าออกของวงจรรูปสตัคก่อนเวอร์เตอร์.....	22
4-5 รูปแสดงค่าคิวดี้ไซเคิลที่เป็นสัญญาณขาเข้าให้แก่วงจรรูปสตัคก่อนเวอร์เตอร์.....	24
4.6 กราฟแสดงสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของข้อมูลครั้งที่ 1.....	25
4.7 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขาออกจริงของข้อมูลครั้งที่ 1 กับสัญญาณที่สร้างจากแบบจำลอง.....	25
4.8 กราฟเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้จากข้อมูลครั้งที่ 1 กับกราฟสัญญาณขาออกจริงที่ได้จากข้อมูลครั้งที่ 3.....	25
4.9 กราฟแสดงสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของข้อมูลครั้งที่ 2.....	27
4.10 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขาออกจริงของข้อมูลครั้งที่ 2 กับสัญญาณที่สร้างจากแบบจำลอง.....	27
4.11 กราฟเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้จากข้อมูลครั้งที่ 2 กับกราฟสัญญาณขาออกจริงที่ได้จากข้อมูลครั้งที่ 3.....	27

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 กราฟแสดงสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของข้อมูลครั้งที่ 3 .....	29
4.13 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขาออกจริงของข้อมูลครั้งที่ 3 กับสัญญาณที่สร้างจากแบบจำลอง .....	29
4.14 กราฟเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้จากข้อมูลครั้งที่ 3 กับกราฟสัญญาณขาออกจริงที่ได้จากข้อมูลครั้งที่ 3.....	29
4.15 กราฟแสดงสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของข้อมูลครั้งที่ 4 .....	31
4.16 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขาออกจริงของข้อมูลครั้งที่ 4 กับสัญญาณที่สร้างจากแบบจำลอง .....	31
4.17 กราฟเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้จากข้อมูลครั้งที่ 4 กับกราฟสัญญาณขาออกจริงที่ได้จากข้อมูลครั้งที่ 3.....	31
5.1 แสดงตำแหน่งของโพล (Pole) และศูนย์ (Zero) ของแต่ละแบบจำลอง .....	33

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและความเป็นมา

ระบบพลวัต (Dynamic System) ไม่ว่าจะเป็นระบบทางกล ทางไฟฟ้า ความร้อน เคมี หรือ เศรษฐศาสตร์ สามารถแทน หรือบรรยายพฤติกรรมของระบบเหล่านั้นด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสมการเหล่านั้นส่วนใหญ่มาจากกฎทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับระบบนั้นๆ เช่น กฎของโอห์ม กฎของเคอร์ชอฟฟ์ สำหรับระบบไฟฟ้า และกฎของนิวตัน สำหรับระบบทางกล

การบรรยายคุณลักษณะทางพลวัตของระบบหนึ่งๆ ด้วยวิธีการทางสมการคณิตศาสตร์ เรียกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ดีจะต้องเข้าใจง่าย มีความแม่นยำให้ผลใกล้เคียงกับระบบจริง การจำลองระบบจึงมีความสำคัญมากในการวิเคราะห์ระบบ

เมื่อทำการวิเคราะห์ระบบทางฟิสิกส์ ซึ่งใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาความสัมพันธ์ของระบบในรูปของฟังก์ชันถ่ายโอน (Transfer Function) และนำไปใช้ทดสอบหาเสถียรภาพของระบบ หรือหาผลตอบสนองของระบบ ซึ่งฟังก์ชันถ่ายโอน จะใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณขาเข้า และสัญญาณขาออกของระบบนั่นเอง

การหาค่าพารามิเตอร์ (Identification) ของระบบใดๆ นั้นค่อนข้างทำได้ยาก เนื่องจากผู้ที่ทำนั้นจะต้องมีความเข้าใจพลวัตและกฎทางฟิสิกส์ของระบบที่ต้องการหาค่าพารามิเตอร์ เป็นอย่างดี ซึ่งทำให้คนที่ไม่เข้าใจในระบบไม่สามารถทำการหาค่าพารามิเตอร์ ระบบนั้นๆ ได้แม้จะเข้าใจหลักการของหาค่าพารามิเตอร์ ก็ตาม และผลจากการคำนวณที่ผิดพลาดก็ทำให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของระบบที่ไม่มีความแม่นยำและไม่สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไปได้

ในปัจจุบันวิทยาการทางด้านคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาไปมากทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ส่งผลให้การทำงานที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านวิศวกรรมมีความง่าย รวดเร็ว และถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น เนื่องจากคอมพิวเตอร์มีการคำนวณที่รวดเร็วและถูกต้องมากกว่ามนุษย์หลายร้อยเท่าหนึ่งในโปรแกรมที่อำนวยความสะดวกแก่งานคำนวณทางด้านวิศวกรรมมากที่สุด โปรแกรมหนึ่งก็คือ โปรแกรม MATLAB ปัจจุบันโปรแกรม MATLAB ได้พัฒนาถึงเวอร์ชัน 7 แล้วในโปรแกรม MATLAB มีฟังก์ชันที่ใช้คำนวณงานทางด้านวิศวกรรมมากมาย และฟังก์ชันที่จะกล่าวถึงก็คือ System Identification Toolbox ซึ่งเป็นหนึ่งในเครื่องมือที่มีประโยชน์มากในการหาค่าพารามิเตอร์ ในโครงการทางวิศวกรรมนี้จะประยุกต์ใช้เครื่องมือนี้ในการหาแบบจำลองของระบบที่ใช้อยู่จริง ซึ่งระบบที่นำมาเป็นตัวอย่างการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบก็คือ วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 สร้างวงจรบุสต์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อนำมาเป็นสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของระบบ

1.2.2 เพื่อศึกษาการหาฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรบุสต์คอนเวอร์เตอร์โดยใช้ System Identical Toolbox ของโปรแกรม MATLAB

## 1.3 ขอบข่ายของโครงการ

1.3.1 สร้างวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งสัญญาณขาเข้าและเก็บสัญญาณขาออก

1.3.2 สร้างวงจรบุสต์คอนเวอร์เตอร์เพื่อรับสัญญาณขาเข้าและส่งสัญญาณขาออก

1.3.3 ดำเนินการทดลองเพื่อเก็บค่าตัวชี้วัดของสัญญาณพัลส์และแรงดันไฟฟ้าด้านออกจากวงจรบุสต์คอนเวอร์เตอร์

1.3.4 นำค่าตัวชี้วัดของสัญญาณพัลส์และแรงดันไฟฟ้าด้านออกจากวงจรบุสต์คอนเวอร์เตอร์มาหาฟังก์ชันถ่ายโอนโดยใช้ System Identical Toolbox ของโปรแกรม MATLAB

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ปี 2548				
	มี.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค
1. ศึกษาและค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับวงจรบุสต์ คอนเวอร์เตอร์	←→				
2. สร้างวงจรวงจรบุสต์ คอนเวอร์เตอร์ และเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของวงจร		←→			
3. ดำเนินการทดลองพร้อมบันทึกผลการทดลอง				←→	
4. สรุปผลการทดลองพร้อมจัดทำรูปเล่มโครงการ					←→

## 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เข้าใจหลักการทำงานของวงจรบุสต์คอนเวอร์เตอร์

1.5.2 สามารถหาฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรบุสต์คอนเวอร์เตอร์ได้

## 1.6 งบประมาณของโครงการ

1.6.1 ค่าอุปกรณ์ทางไฟฟ้า

1.6.2 ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มโครงการ

1.6.3 ค่าอุปกรณ์คอมพิวเตอร์

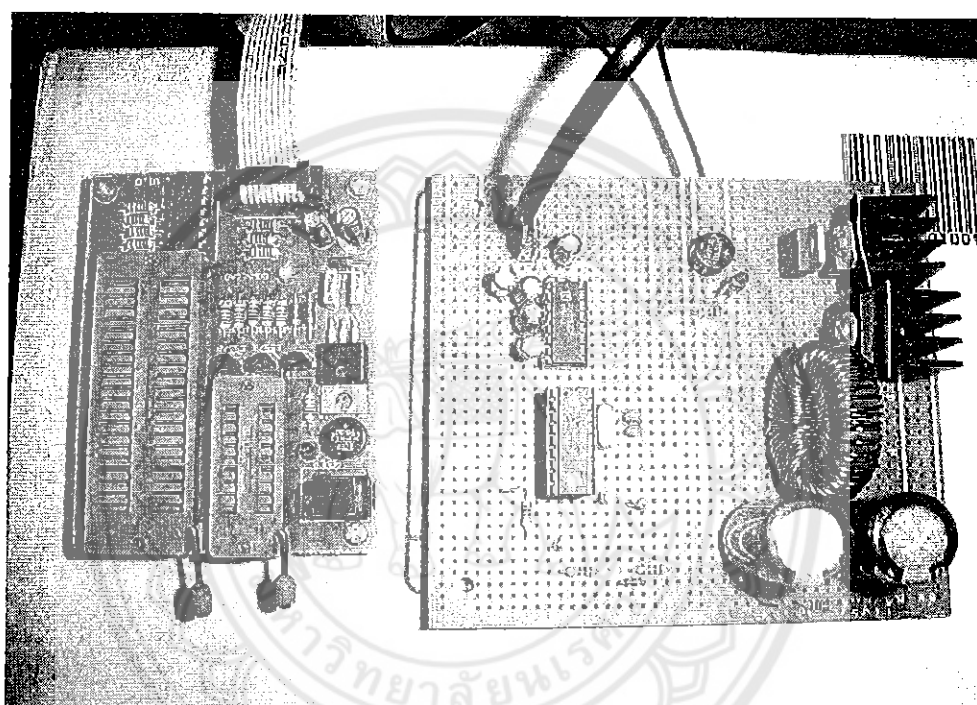
รวมเป็นเงิน 3,000 บาท (สามพันบาทถ้วน)



## บทที่ 2

### วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

วงจรทระดับแรงดันไฟฟ้าหรือวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ คือวงจรที่ทำการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าขาออกให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ที่เรียกววงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ ก็เพราะแรงดันไฟฟ้าขาออกสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้านั่นเอง



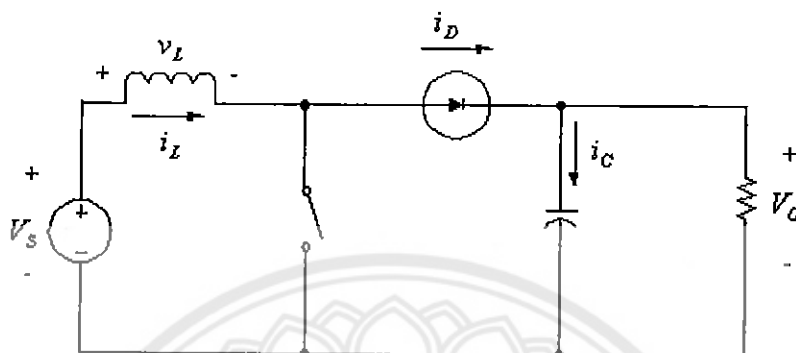
รูปที่ 2-1 แสดงวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

#### 2.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ในช่วงสภาวะคงตัว จะมีการกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของวงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ดังนี้

- 2.1.1 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ( $i_L$ ) ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากันและมีค่าเป็นบวกเสมอ
- 2.1.2 แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์ หมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลาในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์
- 2.1.3 ตัวเก็บประจุมีขนาดใหญ่ทำให้แรงดันไฟฟ้าขาออก ( $V_o$ ) มีค่าคงที่

2.1.4 กำลังไฟฟ้าขาเข้าเท่ากับกำลังไฟฟ้าขาออก กรณีนี้ไม่คำนึงการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจร โดยกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพของวงจรเป็นหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์



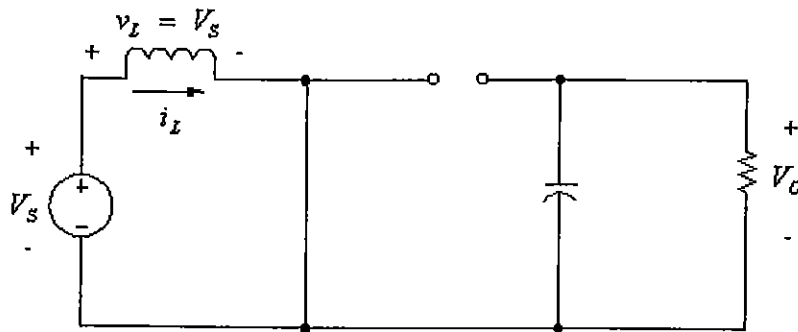
รูปที่ 2.2 วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ (จาก รศ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, กรุงเทพฯ: วิ.เจ. พรินติ้ง, 2547, หน้า 376)

## 2.2 หลักการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

จากวงจรดังรูปที่ 2.2 กำหนดให้  $V_s$  คือแรงดันจากแหล่งจ่าย,  $v_L$  คือ แรงดันที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ,  $i_L$  คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ,  $i_D$  คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด,  $i_C$  คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุและ  $V_o$  คือแรงดันไฟฟ้าขาออก

หลักการทำงานของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้แรงดันขาออกตามต้องการ จะเริ่มจากข้อกำหนดที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะเท่ากับศูนย์ และสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้ โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมด ทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในสภาวะอยู่ตัวดังนี้

### ขณะสวิตช์นำกระแส



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส (จาก รศ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, กรุงเทพฯ: วี.เจ. พรินติ้ง, 2547, หน้า 378)

กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยผ่านสวิตช์ ขณะเดียวกันไดโอดจะถูกไบอัสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ดังรูปที่ 2.3 จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการแรงดันไฟฟ้าดังนี้

$$-V_s + v_L = 0 \quad (2.1)$$

จาก 
$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.2)$$

จะได้ 
$$-V_s + L \frac{di_L}{dt} = 0 \quad (2.3)$$

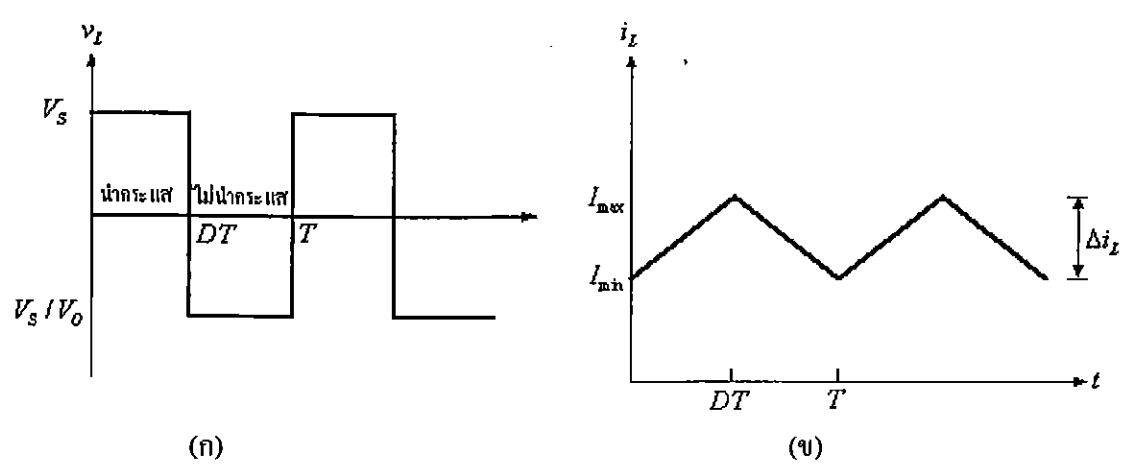
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L}$$

ขณะที่สวิตช์นำกระแส  $dt = DT$  เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสคงที่ อาจจะถือว่าการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ (2.3)} \quad \frac{di_{L,on}}{dt} &= \frac{V_s}{L} \\ \frac{\Delta i_{L,on}}{\Delta t} &= \frac{V_s}{L} \\ \frac{\Delta i_{L,on}}{DT} &= \frac{V_s}{L} \\ \Delta i_{L,on} &= \frac{V_s DT}{L} \end{aligned} \quad (2.4)$$

$\Delta i_{L,on}$  หมายถึง อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส

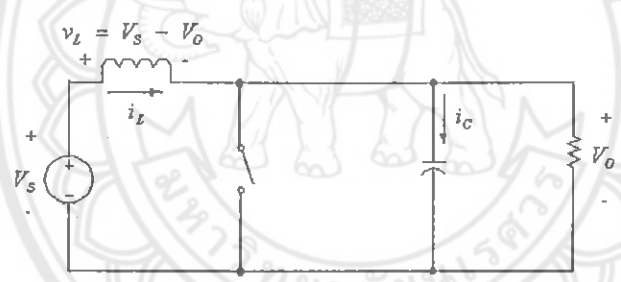




รูปที่ 2.4 (ก) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ (ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ  
 (จาก รศ.ดร.วีระเชษฐ ชันเงิน, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, กรุงเทพฯ: วิ.เจ. พรินติ้ง, 2547, หน้า

378)

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส



รูปที่ 2.5 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส (จาก รศ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, กรุงเทพฯ: วิ.เจ. พรินติ้ง, 2547, หน้า 378)

จากรูปที่ 2.5 เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ไดโอดจะถูกไบอัสไปข้างหน้าเพื่อนำกระแส ผลก็คือกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมติแรงดันไฟฟ้าขาออกมีค่าคงที่ จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำดังนี้

$$\begin{aligned}
 -V_s + v_L + V_o &= 0 \\
 v_L &= V_s - V_o \\
 v_L &= L \frac{di_L}{dt}
 \end{aligned}$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.5)$$

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส  $dt = (1 - D)T$  ดังรูปที่ 2.4 (ก) อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าคงที่ และจะถือว่าการลดลงของกระแสเป็นเชิงเส้นดังรูปที่ 2.4 (ข) สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta i_{L,off} = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) (1 - D)T \quad (2.6)$$

ที่สถานะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ จากสมการที่ 2.4 และสมการที่ 2.6 จะได้ว่า

$$\begin{aligned} \Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} &= 0 \\ \left( \frac{V_s}{L} \right) DT + \frac{(V_s - V_o)(1 - D)T}{L} &= 0 \\ V_s D + (V_s - V_o)(1 - D) &= 0 \\ V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D &= 0 \\ V_s - V_o(1 - D) &= 0 \\ \frac{V_o}{V_s} &= \frac{1}{1 - D} \end{aligned} \quad (2.7)$$

จากการหาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้าที่เรียกว่า อัตราการขยายแรงดัน สามารถหาได้โดยวิธีง่าย ๆ โดยใช้สมการแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบซึ่งจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และได้ผลเช่นเดียวกับสมการที่ 2.7 ดังนี้

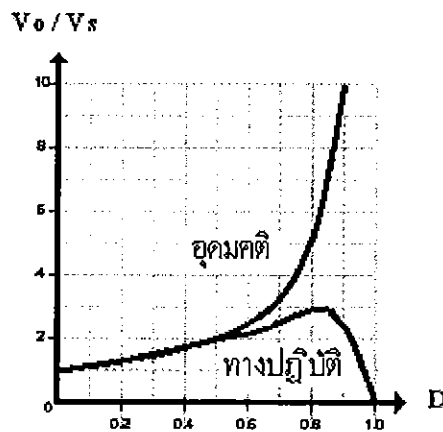
$$\begin{aligned} \text{จาก} \quad v_{L,av} &= v_{L,on}(t_{on}) + v_{L,off}(t_{off}) = 0 \\ t_{on} &= DT \\ t_{off} &= (1 - D)T \\ \text{โดยที่} \quad v_{L,on} &= V_s \\ v_{L,off} &= V_s - V_o \\ \text{จะได้} \quad v_{L,av} &= (V_s)(t_{on}) + (V_s - V_o)(t_{off}) = 0 \\ &= (V_s)(DT) + (V_s - V_o)(1 - D)T = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s D + (V_s - V_o)(1 - D) &= 0 \\
 V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D &= 0 \\
 V_s - V_o(1 - D) &= 0 \\
 \frac{V_o}{V_s} &= \frac{1}{1 - D}
 \end{aligned} \tag{2.8}$$

การได้มาซึ่งสมการอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้า จากสมการที่ 2.8 แท้จริงแล้วมีหลักการทำงานเดียวกัน ทำให้สามารถคำนวณค่าอัตราส่วนของแรงดันไฟฟ้าขาออกต่อแรงดันไฟฟ้าขาเข้าได้จากการปรับค่า  $D$  ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 อัตราขยายแรงดันของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์เมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่าดิวตี้ไซเคิล ( $D$ ) (จาก รศ.ดร. วีระเชษฐ์ ชันเงิน, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, กรุงเทพฯ: วี.เจ. พรินติ้ง, 2547, หน้า 381)

ดิวตี้ไซเคิล ( $D$ )	อัตราการขยายแรงดัน (Voltage gain) ( $\Delta i_L$ )
0.0	1.00
0.1	1.10
0.2	1.25
0.3	1.43
0.4	1.67
0.5	2.00
0.6	2.50
0.7	3.33
0.8	5.00
0.9	10.00
1.0	Infinity



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันกับคิวดิวตี้ไซเคิล (จาก รศ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน, อิเล็กทรอนิกส์กำลัง, กรุงเทพฯ: วิ.เจ. พรินติ้ง, 2547, หน้า 381)

จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 2.6 เมื่อค่าคิวดิวตี้ไซเคิลเพิ่มขึ้นค่าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบไม่เชิงเส้น ในทางปฏิบัตินิยมปรับอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 4 เท่า ทั้งนี้เพื่อให้วงจรมีความเสถียรภาพ โดยอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำสุดคือหนึ่งหรือแรงดันไฟฟ้าด้านออกเท่ากับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าในทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติแรงดันไฟฟ้าขาออกจะน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้าเล็กน้อย เนื่องจากค่าความสูญเสียจากแรงดันที่ตกคร่อมไดโอดและตัวอุปกรณ์สวิตช์

### 2.3 การออกแบบตัวเหนี่ยวนำสำหรับวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

ในการคำนวณหาค่าความเหนี่ยวนำ ขั้นแรกจะต้องสมมติให้มีค่าการสูญเสียภายในวงจรมีค่าเท่ากับศูนย์ โดยกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายกระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าของโหลด จากเงื่อนไขดังกล่าวจะได้

$$\begin{aligned}
 P_L &= P_O = \frac{V_o^2}{R} \\
 P_L &= V_s I_s = V_s I_L \\
 V_s I_L &= \frac{V_o^2}{R} \\
 V_o &= \frac{V_s}{1 - D} \\
 V_s I_L &= \frac{\left(\frac{V_s}{1 - D}\right)^2}{R} \\
 I_L &= \frac{V_s}{(1 - D)^2 R} \quad (2.9)
 \end{aligned}$$

เมื่อต้องการหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดจะหาได้จากสมการค่าเฉลี่ยและการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าคือ

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s DT}{L} \quad (2.10)$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดคือ

$$I_{L,max} = i_L + \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$I_{L,max} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \left( \frac{V_s DT}{L} \right) \quad (2.11)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left( \frac{V_s DT}{L} \right) \quad (2.12)$$

เมื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและมีค่าเป็นบวก การที่จะหาค่าความเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุดที่จะทำให้วงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ทำงานได้ในขอบเขตระหว่างโหมดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ทั้งเป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง จะหาได้จากการกำหนดให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นศูนย์ดังสมการนี้

$$\text{จากสมการที่ (2.12)} \quad I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} - \frac{1}{2} \left( \frac{V_s DT}{L} \right) = 0$$

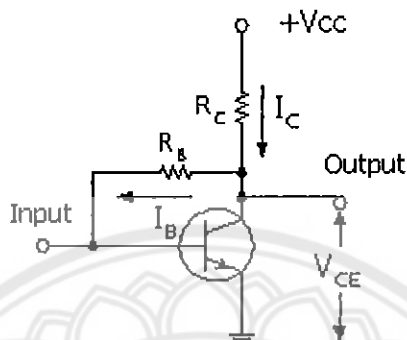
$$\frac{V_s}{(1-D)^2 R} = \frac{1}{2} \left( \frac{V_s DT}{L} \right)$$

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.13)$$

การปรับค่าเหนี่ยวนำที่เล็กที่สุด จากสมการที่ 2.13 สามารถทำได้โดยการปรับที่ค่าคิวตี้-ไซเคิล ( $D$ ) หรือค่าความต้านทานโหลด ( $R$ ) หรือค่าความถี่สวิตซิ่ง ( $f$ )

## 2.4 มอสเฟต (MOSFET)

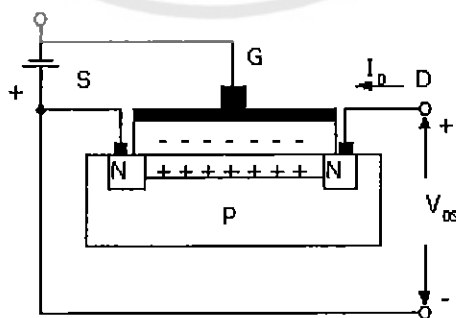
มอสเฟตมาจากคำว่า Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor เป็นเฟตที่ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำซึ่งได้รับการเคลื่อนผิวบางส่วนด้วยโลหะออกไซด์ชั้นของมอสเฟตคือ มีค่าความต้านทานอินพุตสูงมาก



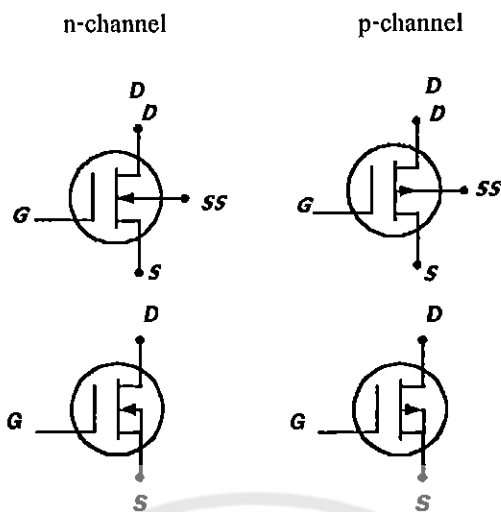
รูปที่ 2.7 แสดงวงจรสมมูลของมอสเฟต (จาก [www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/device/diode\\_transistor/mosfet.htm](http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/device/diode_transistor/mosfet.htm))

มอสเฟตจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ดีพลีชัน (Depletion) และ เอนฮานซ์เมนต์ (Enhancement) แต่ละประเภทยังแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ แบบแซน-เนลเอ็น (n) และ แบบแซน-เนลพี (p)

การทำงานของมอสเฟตแบบดีพลีชันหรือดีมอสเฟต (D-MOSFET) พิจารณาจากรูปที่ 2.8 ให้ขาคัด (gate) มีแรงดันเป็นลบเมื่อเทียบกับขาคอร์ส (source) จะทำให้ประจุลบเกิดขึ้นที่ขาคัดและเกิดประจุบวกปรากฏขึ้นทางด้านที่ติดฉนวนซิลิกอนออกไซด์ส่งผลให้เนื้อสารเอ็นที่มีอยู่น้อยมีขนาดลดลง ทำให้ช่องว่างระหว่างขาคอร์สและซอร์สมากขึ้นกระแสก็จะไหลได้น้อยลง

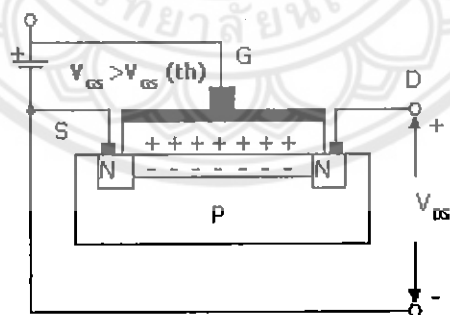


รูปที่ 2.8 โครงสร้างมอสเฟตแบบดีพลีชัน(จาก [www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/device/diode\\_transistor/mosfet.htm](http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/device/diode_transistor/mosfet.htm))

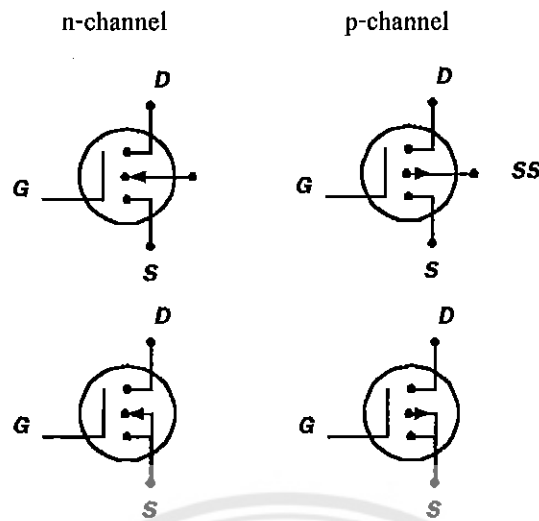


รูปที่ 2.9 แสดงสัญลักษณ์ของมอสเฟตแบบดีฟลิชัน (จาก [www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/device/diode\\_transistor/mosfet.htm](http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/device/diode_transistor/mosfet.htm))

การทำงานของมอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์ ( Enhancement ) พิจารณาจากรูปที่ 2.10 เนื่องจากสารเอ็นทีเซมิคอนดักเตอร์และโฮลเป็นสารพีซึ่งแตกต่างจากมอสเฟตแบบดีฟลิชันทำให้เมื่อป้อนแรงดันบวกเข้าที่ขาคัดจะเกิดประจุลบขึ้นทำให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากสารเอ็นทีเซมิคอนดักเตอร์ที่ขอร์สมาขาแคทโอดได้ดังนั้นมอสเฟตแบบนี้จะทำงานได้ ต้องป้อนแรงดันที่ขาคัดเป็นแรงดันบวกเท่านั้นและแรงดันระหว่างขาคัดและขอร์ส ( $V_{GS}$ ) ที่ป้อนให้ต้องมีค่ามากกว่า  $V_{GS(th)}$  (Gate Source threshold voltage)



รูปที่ 2.10 แสดงโครงสร้างของมอสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์ (จาก [www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/device/diode\\_transistor/mosfet.htm](http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/device/diode_transistor/mosfet.htm))



รูปที่ 2.11 แสดงสัญลักษณ์โมสเฟตแบบเอนฮานซ์เมนต์(จาก [www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/device/diode\\_transistor/mosfet.htm](http://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/device/diode_transistor/mosfet.htm))

เมื่อต้องการให้มอสเฟตกำลังนำกระแสอย่างต่อเนื่อง จะต้องมีกรป้อนแรงดันไฟฟ้าระหว่างขาเกตกับขาซอร์ส ( $V_{GS}$ ) อย่างต่อเนื่อง ช่วงเวลาของการสวิตซ์ซิ่งของมอสเฟตกำลังจะมีค่าอยู่ระหว่างหลักสิบของนาโนวินาที ถึงหลักร้อยนาโนวินาทีซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดพิกัดของมอสเฟตกำลัง

ความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอร์ส จะขึ้นอยู่กับการทำงานของแรงดันไฟฟ้าหากทนแรงดันไฟฟ้าได้สูงก็ยิ่งทำให้ค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอร์สมีค่ามากขึ้น ซึ่งจะมีผลต่อกำลังสูญเสียจากการนำกระแส (Conduction losses) เช่น มอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้า 1,000 โวลต์ จะมีค่าความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอร์สมากกว่ามอสเฟตกำลังมีค่าพิกัดการทำงานของแรงดันไฟฟ้า 200 โวลต์ ดังนั้นการสูญเสียจากการนำกระแสของมอส-เฟตกำลังที่ทนได้ 1,000 โวลต์ จะมีกำลังสูญเสียที่เกิดจากการนำกระแสมากกว่าของมอสเฟตกำลังที่ทนแรงดันไฟฟ้าได้ 200 โวลต์

ความต้านทานระหว่างขาเดรนกับขาซอร์สของมอสเฟตกำลัง จะมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิเป็นบวก คือเมื่ออุณหภูมิมากขึ้นความต้านทานก็จะมากขึ้น มอสเฟตกำลังจะสามารถนำมาต่อขนานกันได้ง่ายหากต้องการใช้งานที่ต้องการกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ทั้งนี้มอสเฟตกำลังจะต้องมีคุณสมบัติต่างๆ เหมือนกันมากที่สุดจึงจะสามารถนำมาต่อกันได้



### บทที่ 3

## หลักการและทฤษฎีเบื้องต้นของการหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ

การวิเคราะห์ระบบใดๆ นั้นสิ่งที่สำคัญที่ต้องทราบ คือ พลวัตของระบบ เพื่อที่จะนำไปวิเคราะห์ระบบต่อไป เช่นในงานควบคุม จำเป็นที่จะต้องรู้พลวัตของระบบที่ต้องการจะควบคุมเพราะไม่เช่นนั้นแล้วการวิเคราะห์หาเสถียรภาพ การวิเคราะห์ทางเดินรบกวน การวิเคราะห์โบล การวิเคราะห์ในควิตซ์ จะไม่สามารถทำได้เลย นี่คือสาเหตุที่ว่าเพราะเหตุใด จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบพลวัตของระบบ และในการหาพลวัตของระบบคือ การหาค่าพารามิเตอร์ของระบบ

การหาค่าพารามิเตอร์ของระบบมีวิธีการหา 3 แบบ คือ

1. White Box Model คือ พิจารณาโครงสร้างและค่าพารามิเตอร์จากสมการพื้นฐานทางกายภาพ
2. Gray Box Model คือ แบบจำลองที่ทราบโครงสร้างของแบบจำลองแต่ไม่ทราบพารามิเตอร์
3. Black Box Model คือ แบบจำลองที่ไม่ทราบทั้งโครงสร้างของแบบจำลองและพารามิเตอร์ของระบบ

ซึ่งในส่วนของโครงการนี้จะใช้วิธีที่ 3 คือ แบบ Black Box Model ในการหาพารามิเตอร์

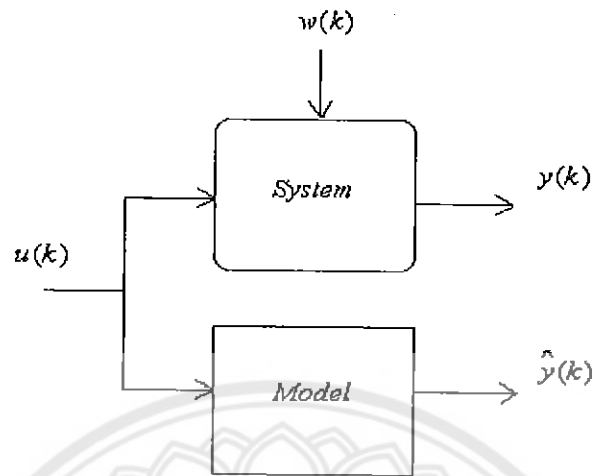
### 3.1 หลักการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง

หลักการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง (Identification) หมายถึง การหาค่าพารามิเตอร์ทางพลวัตของระบบ การทราบถึงรายละเอียดของแบบจำลองจะช่วยให้สามารถให้ออกแบบและสร้างระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงได้ การหาค่าพารามิเตอร์ของระบบเพื่อให้ทราบถึงแบบจำลองของระบบ โดยมีขั้นตอนหลักอยู่ 4 ขั้นตอนดังนี้

1. รับสัญญาณจากระบบทั้งสัญญาณขาเข้าและขาออก
2. เลือกโครงสร้างรูปแบบจำลองของระบบ
3. ทำการประมาณค่าพารามิเตอร์ของระบบจากระบบที่ได้รับมา (Estimation)
4. ทำการตรวจสอบรูปแบบจำลองว่าสามารถนำไปใช้ได้จริงหรือไม่ (Validation)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) เป็นการอธิบายคุณสมบัติทางกายภาพของระบบโดยใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยรูปแบบทางคณิตศาสตร์นี้ได้จากกฎพื้นฐานต่างๆ ทางฟิสิกส์ เคมี หรืออื่นๆ ที่ใช้ในการอธิบายระบบนั้นๆ ในการอธิบายรูปแบบจำลองของระบบสามารถแสดงได้ 2 แนวทางคือ อธิบายแบบจำลองโดยใช้ฟังก์ชัน ตาราง หรือกราฟของผลตอบสนองความถี่ ซึ่งจะมีข้อมูลเกี่ยวกับระบบแฝงอยู่ในนั้น เรียกการแสดงนี้ว่า nonparametric model อีกแบบหนึ่งคือ แสดงโดยสมการ

อนุพันธ์ หรือ ฟังก์ชันถ่ายโอน เป็นต้น ซึ่งเรียกการแสดงแบบนี้ว่า parametric model โดยในงานวิจัยนี้ ได้ใช้แบบจำลองแบบที่สอง โดยเป็นการแสดงแบบเต็มหน่วยซึ่งมีรูปแบบทั่วไปดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะทั่วไปของการหาค่าพารามิเตอร์

$$y(t) = \frac{[b_1 q^{-1} + \dots + b_{nb} q^{-nb}]}{[1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{na} q^{-na}]} u(t) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(t) \quad (3.1)$$

$$\hat{y}(t) = \frac{[b_1 q^{-1} + \dots + b_{nb} q^{-nb}]}{[1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{na} q^{-na}]} u(t) = \frac{B(q^{-1})}{A(q^{-1})} u(t) \quad (3.2)$$

โดยกำหนดให้

$$A(q^{-1}) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{na} q^{-na} \quad (3.3)$$

$$B(q^{-1}) = b_1 q^{-1} + \dots + b_{nb} q^{-nb} \quad (3.4)$$

$y(t)$  คือ สัญญาณขาออกของระบบ

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

เวกเตอร์พารามิเตอร์กำหนดให้เป็น  $\theta$  ซึ่ง

$$\theta = [b_1 + \dots + b_{nb} \quad a_1 + \dots + a_{na}]^T \quad (3.5)$$

$\theta$  เป็นค่าพารามิเตอร์ของระบบที่ต้องการหาจากการทำ Identification

ในการหาแบบจำลองของระบบ วิธีการที่ใช้เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบจำลองให้มีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับระบบจริงจากข้อมูลที่มีอยู่คือ PAA (Parameter Adaptation Algorithm) ซึ่งวิธีการนี้มีลักษณะเป็นแบบวนซ้ำ (recursive) โดยมีโครงสร้างดังนี้

$$\begin{bmatrix} \text{พารามิเตอร์ที่} \\ \text{ประมาณใหม่} \\ \text{(เวกเตอร์)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{พารามิเตอร์ที่} \\ \text{ประมาณเดิม} \\ \text{(เวกเตอร์)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \text{ค่าอัตราขยาย} \\ \text{การปรับ} \\ \text{(เมทริกซ์)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{ฟังก์ชัน} \\ \text{การวัด} \\ \text{(เวกเตอร์)} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{ฟังก์ชันค่าการทำนาย} \\ \text{ความผิดพลาด} \\ \text{(สเกลาร์)} \end{bmatrix}$$

เหตุผลที่เลือกวิธีการที่มีลักษณะวนซ้ำ เนื่องจากสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานกับคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลหรือคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กได้ โดยใช้ทรัพยากรน้อย เช่น หน่วยความจำ เป็นต้น และสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมที่มีลักษณะเป็นการควบคุมแบบเวลาจริง (real time control) ซึ่งจะมีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของรูปแบบจำลองไปตามค่าพารามิเตอร์ของระบบจริงที่มีการเปลี่ยนแปลงต่อเวลา (time-variable system) ได้

### 3.2 หลักการพื้นฐานของการประมาณค่าพารามิเตอร์

เมื่อมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์  $\theta$  ใดๆ สัญญาณขาออกที่ได้จากการพยากรณ์คือ  $\hat{y}[t; \theta]$  ซึ่งการกำหนดค่าพารามิเตอร์นั้น สัญญาณขาออก ของแบบจำลอง เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับสัญญาณขาออก  $y[t]$  ของระบบแล้วจะต้องมีความใกล้เคียงกันเท่าที่จะเป็นไปได้ ในการพิสูจน์การประมาณค่าพารามิเตอร์ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ

1. ค่าของ  $\hat{y}[t; \theta]$  จะขึ้นอยู่กับค่าสัญญาณรบกวนของแบบจำลอง
2. หลักการของความใกล้เคียงเท่าที่จะเป็นไปได้ จะต้องเป็นไปตามสมการทางคณิตศาสตร์

### 3.3 การประมาณค่าพารามิเตอร์

1. หาค่า  $\hat{y}[n; \theta|n-1]$  (สัญญาณขาออกที่จากแบบจำลอง ที่เวลา  $n-1$ )
2. การทำนายค่าความผิดพลาดหาได้จากสมการ

$$e[n] = y[n] - \hat{y}[n; \theta|n-1] \quad (3.6)$$

3. ฟังก์ชันการสูญเสีย

$$V_N(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N e^2[n] \quad (3.7)$$

### 3.4 การพยากรณ์โดยใช้แบบจำลองเชิงเส้น

พิจารณาสมการแบบจำลองเชิงเส้น

$$y[k] = G(q)u[k] + H(q)e[k] \quad (3.8)$$

นำค่า  $H^{-1}$  คูณตลอดทั้งสมการ (3.8) จะได้

$$y[k] = (1 - H^{-1}(q))y[k] + H^{-1}G(q)u[k] + e[k] \quad (3.9)$$

โดยที่ไม่พิจารณาค่าความผิดพลาด  $\{e\}$  จะได้สมการ

$$\hat{y}[k] = (1 - H^{-1}(q))y[k] + H^{-1}G(q)u[k] \quad (3.10)$$

### 3.5 การพยากรณ์โดยใช้แบบจำลอง ARX

กำหนดให้  $H = \frac{1}{A}$  และ  $G = q^{-nk} \frac{B}{A}$  จะได้สมการ

$$(1 - H^{-1}(q))y[k] = (1 - A(q))y[k] = -(a_1q^{-1} + \dots + a_{na}q^{-na})y[k] \quad (3.11)$$

$$H^1(q)G(q)u[k] = q^{-nk}B(q)u[k] = (b_0 + b_1q^{-1} + \dots + b_{nb}q^{-nb})q^{-nk}u[k] \quad (3.12)$$

ดังนั้นการพยากรณ์จะเป็นแบบเชิงเส้นในพารามิเตอร์

$$\hat{y}[k; \theta | k-1] = \phi^T[k] \theta \quad (3.13)$$

โดยที่

$$\varphi[k] = \begin{pmatrix} -y[k-1] \\ \vdots \\ -y[k-na] \\ u[k-nk] \\ \vdots \\ u[k-nk-nb] \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

จากสมการแบบจำลองเชิงเส้นกับการพยากรณ์แบบจำลองเชิงเส้น

$$y[n] = \psi^T[n]\theta_0 + e[n], \quad \hat{y}[n] = \psi^T[n]\theta \quad (3.15)$$

โดยไม่พิจารณาค่าความผิดพลาด  $\{e[n]\}$

สามารถเขียนสมการ  $\varepsilon[k] = y[k] - \hat{y}[k]$  ในรูปเวกเตอร์ดังต่อไปนี้

$$\varepsilon_N = \begin{pmatrix} \varepsilon[1] \\ \vdots \\ \varepsilon[N] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y[1] \\ \vdots \\ y[N] \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \psi^T[1] \\ \vdots \\ \psi^T[N] \end{pmatrix} \theta = y_N - \psi_N \theta \quad (3.16)$$

ฟังก์ชันการสูญเสียคือ

$$V(\theta) = \frac{1}{N} \sum_{N=1}^N \varepsilon^2[k] = \frac{1}{N} \varepsilon^T \frac{1}{N} \varepsilon_N = \frac{1}{N} (y_N - \psi_N \theta)^T (y_N - \psi_N \theta) \quad (3.17)$$

การประมาณค่าที่เหมาะสมที่สุด  $\hat{\theta}$  สามารถหาได้โดยการหาอนุพันธ์  $\frac{d}{d\theta} V(\theta) = 0$  โดยให้

$$\hat{\theta} = (\psi_N^T \psi_N)^{-1} \psi_N^T y_N \quad (3.18)$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองทั่วไป

ในการลดค่า  $V_N(\theta)$  จะใช้วิธีการวนซ้ำเชิงตัวเลข ดังสมการ

$$\theta^{(i+1)} = \theta^{(i)} - \mu^{(i)} M^{(i)} V_N'(\theta^{(i)}) \quad (3.19)$$

### 3.6 การหาค่าความใกล้เคียงกัน (Best fit)

โดยหลักการแล้วการหาค่าความใกล้เคียงกันของกราฟจะหาได้จาก

$$\% \text{Best Fit} = 100 - \% \text{error}$$

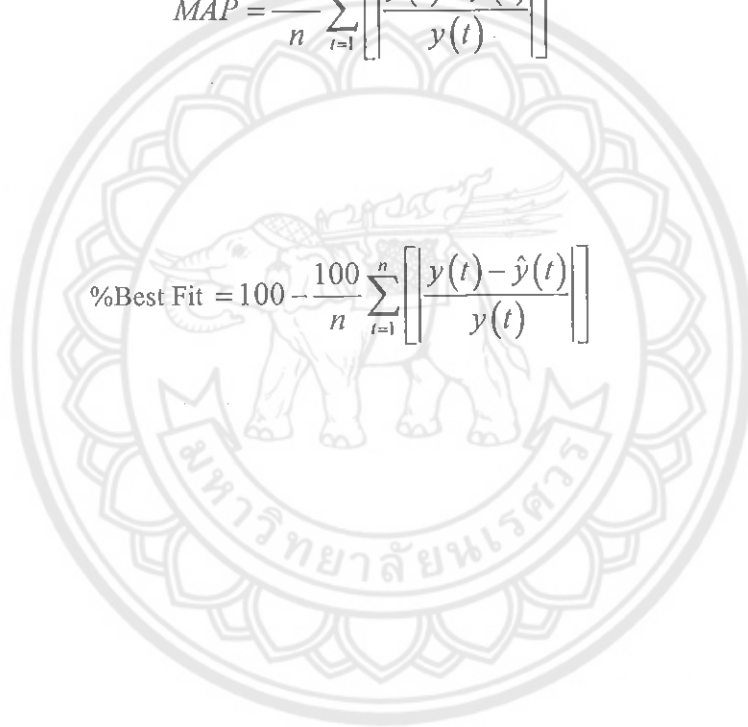
โดยหา %error ได้จากการหาค่าความคลาดเคลื่อน โดยวิธีต่อไปนี้

วิธีค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ของความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error, MAP)

$$MAP = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y(t) - \hat{y}(t)}{y(t)} \right| \quad (3.20)$$

ดังนั้นจะได้

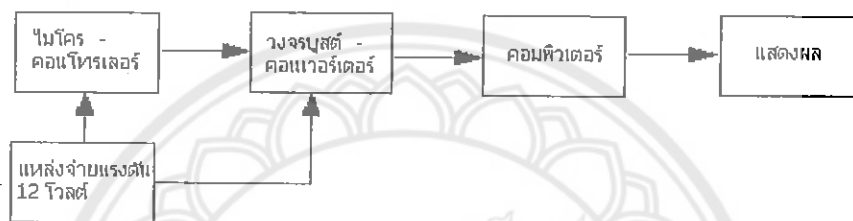
$$\% \text{Best Fit} = 100 - \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{y(t) - \hat{y}(t)}{y(t)} \right| \quad (3.21)$$



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในการหาค่าพารามิเตอร์ ระบบของวงจรมูลต์คอนเวอร์เตอร์ จำเป็นที่จะต้องเก็บข้อมูลขาเข้า และข้อมูลขาออกเพื่อใช้ในการหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการทดลองมีรายละเอียดการทดลอง ดังนี้



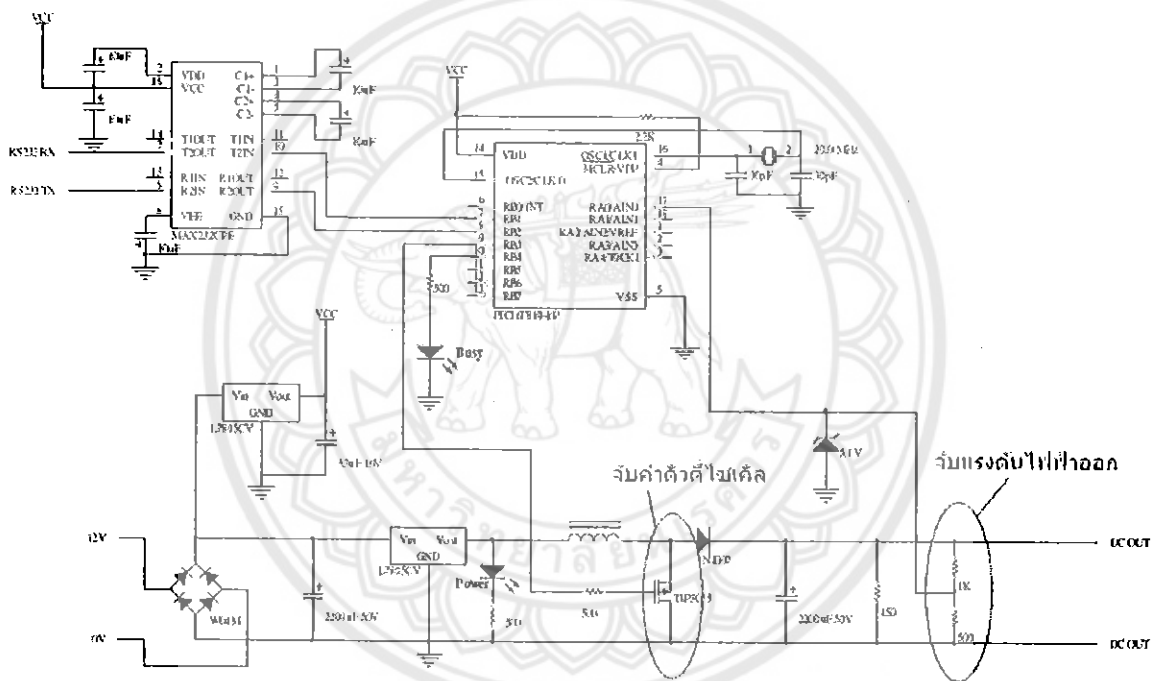
รูป 4.1 แสดงการทำงานของระบบ



รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

### 4.1 การทดลองที่ 1

เก็บสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกที่ได้จากวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์ ภาคสัญญาณขาเข้า เป็นสัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมที่ไซเคิล เพื่อเป็นสัญญาณขาเข้าให้แกระบบ โดยค่าที่สุ่มเป็นค่าตัว ไซเคิล จำนวน 2 ค่า คือ 30% และ 60% ในการสุ่มค่าใช้การสุ่มค่าจาก โปรแกรม MATLAB โดยสุ่มค่า 0 ถึง 1 หากตัวเลขจากการสุ่มน้อยกว่า 0.5 ให้ตัวไซเคิลมีค่า 30% และถ้าการสุ่มได้ค่าที่มากกว่า หรือ เท่ากับ 0.5 ให้ ตัวไซเคิลเป็น 60% สุ่มค่าทั้งหมด 100 ค่า จำนวน 4 ชุดข้อมูล ส่งสัญญาณขาเข้าด้วย ความถี่ 25 KHz เป็นเวลา 5 วินาที ภาคสัญญาณขาออกเป็นการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าออกจากวงจรบัสต์ คอนเวอร์เตอร์ ทุกๆ 50 มิลลิวินาทีและเก็บค่าเอาต์พุตไว้



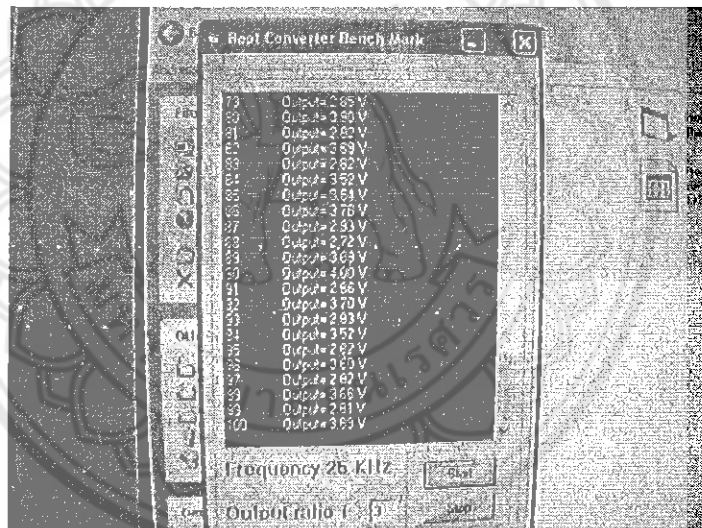
รูปที่ 4.3 แสดงตำแหน่งที่วัดค่าตัวไซเคิล และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าออก



## 4.2 การทดลองที่ 2

หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบโดยใช้ System Identification Toolbox ของโปรแกรม MATLAB เวอร์ชัน 6.1 ในการทดลองนี้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเพื่อที่จะนำมาใช้เป็นแบบจำลองของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์โดยพิจารณาจากกราฟที่ได้จากการจำลองของโปรแกรม ที่มีความใกล้เคียงกับสัญญาณขาออกจริงมากที่สุดและมีความเข้ากันได้กับข้อมูลชุดอื่นๆ มากที่สุดมีขั้นตอนดังนี้

1. ใส่ค่าสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกเพื่อใช้หาแบบจำลองเข้าไปในโปรแกรม
2. ใช้การคำนวณหาแบบจำลอง แบบ Parametric Model โดยใช้การหาแบบ ARX model
3. สุ่มค่าขั้ว(Pole) และ ศูนย์(Zero) ของระบบ
4. พิจารณาแบบจำลองที่ได้ว่าเหมาะสมเพียงพอรหรือไม่
5. นำแบบจำลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับสัญญาณขาออก ของข้อมูลชุดถูกที่เลือกไว้แล้วว่ามี ความเข้ากันได้มากน้อยเพียงใด



รูปที่ 4.4 โปรแกรมแสดงผลที่ได้จากแรงดันไฟฟ้าออกของวงจรบัสต์คอนเวอร์เตอร์

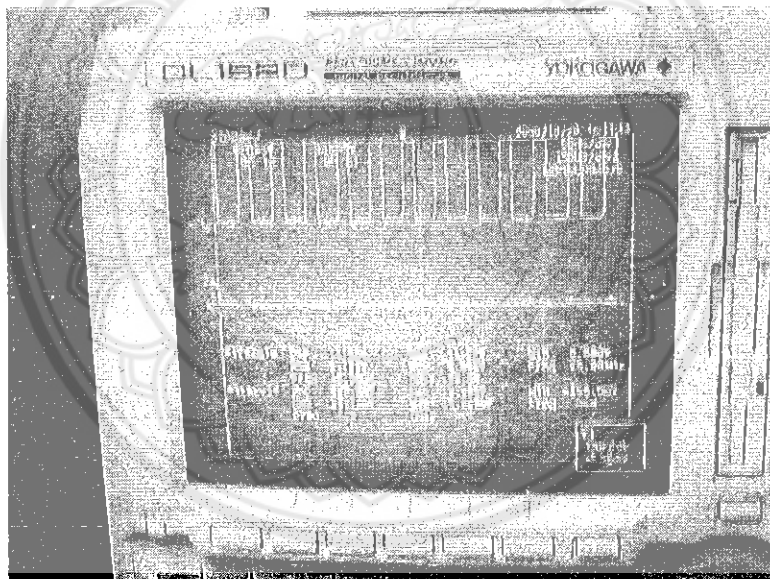
การเก็บข้อมูลจะเก็บเป็นชุดๆ ซึ่งประกอบด้วยสัญญาณขาเข้าซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์และสัญญาณขาออกซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าออก ดังนี้

ข้อมูลชุดที่ 1 คือชุดข้อมูลที่เก็บค่าความถี่ไซเคิลของสัญญาณขาเข้าที่ถูกสุ่มค่าความถี่ไซเคิลครั้งที่ 1 และ สัญญาณขาออกไว้

ข้อมูลชุดที่ 2 คือชุดข้อมูลที่เก็บค่าความถี่ไซเคิลของสัญญาณขาเข้าที่ถูกสุ่มค่าความถี่ไซเคิลครั้งที่ 2 และ สัญญาณขาออกไว้

ข้อมูลชุดที่ 3 คือชุดข้อมูลที่เก็บค่าความถี่ไซเคิลของสัญญาณขาเข้าที่ถูกสุ่มค่าความถี่ไซเคิลครั้งที่ 3 และ สัญญาณขาออกไว้

ข้อมูลชุดที่ 4 คือชุดข้อมูลที่เก็บค่าความถี่ไซเคิลของสัญญาณขาเข้าที่ถูกสุ่มค่าความถี่ไซเคิลครั้งที่ 4 และ สัญญาณขาออกไว้

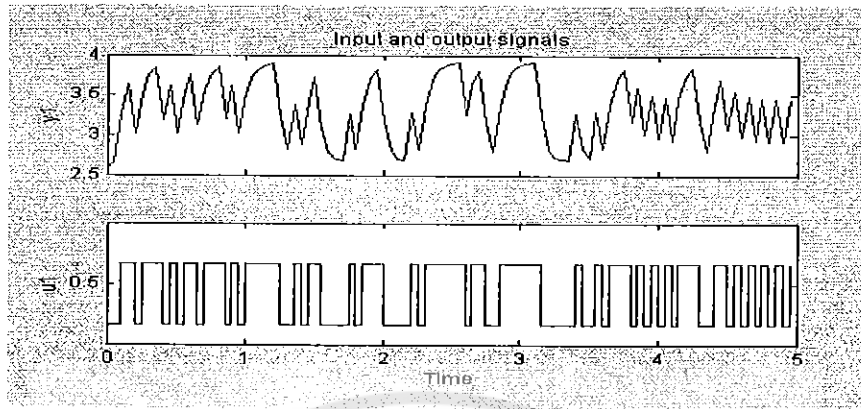


รูปที่ 4.5 รูปแสดงค่าความถี่ไซเคิลที่เป็นสัญญาณขาเข้าให้แก่วงจรมัลติคอนเวอร์เตอร์

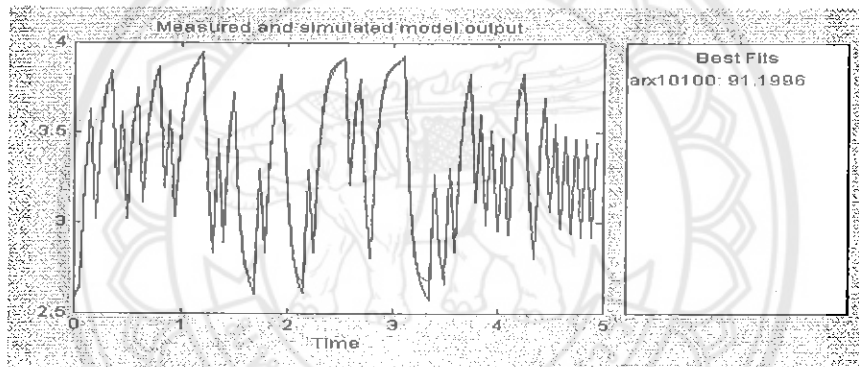
ผลการทดลองที่ 1

14995508

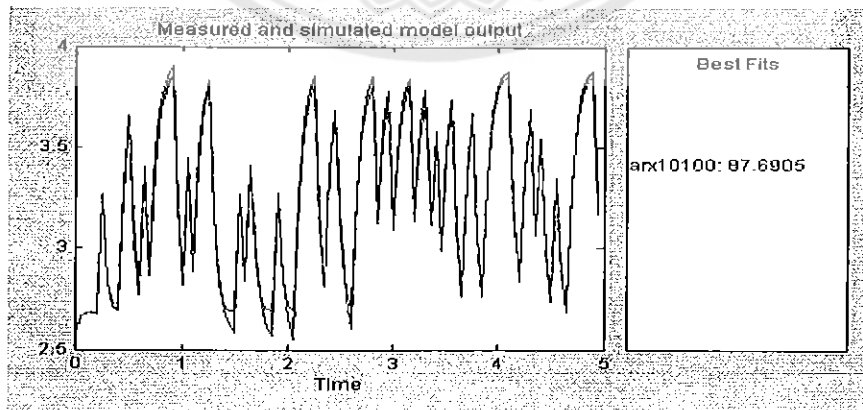
ป.ร.  
ท 817 ก  
2548



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของข้อมูลชุดที่ 1



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขาออกจริงของข้อมูลชุดที่ 1 กับสัญญาณที่สร้างจากแบบจำลอง



รูป 4.8 กราฟเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้จากข้อมูลชุดที่ 1 กับกราฟสัญญาณขาออกจริงที่ได้จากข้อมูลชุดที่ 3

แบบจำลองของข้อมูลชุดที่ 1 จะได้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

$$A(s) = s^{10} + 39.86 s^9 + 6534s^8 + 2.011 \times 10^5 s^7 + 1.327 \times 10^7 s^6 + 2.995 \times 10^8 s^5 \\ + 9.376 \times 10^9 s^4 + 1.478 \times 10^{11} s^3 + 1.776 \times 10^{12} s^2 + 1.655 \times 10^{13} s + 5.953 \times 10^{12}$$

$$B(s) = 2.437 s^{10} + 130.4 s^9 + 1.673 \times 10^4 s^8 + 6.938 \times 10^5 s^7 + 3.599 \times 10^7 s^6 + 1.112 \times 10^9 s^5 \\ + 2.728 \times 10^{10} s^4 + 6.026 \times 10^{11} s^3 + 5.77 \times 10^{12} s^2 + 7.825 \times 10^{13} s + 4.156 \times 10^{13}$$

$$C(s) = s^{10} + 59.35 s^9 + 6982s^8 + 3.035 \times 10^5 s^7 + 1.541 \times 10^7 s^6 + 4.622 \times 10^8 s^5 \\ + 1.22 \times 10^{10} s^4 + 2.287 \times 10^{11} s^3 + 2.959 \times 10^{12} s^2 + 2.576 \times 10^{13} s + 9.752 \times 10^{13}$$

ซึ่งการหาแบบจำลองของระบบทั่วไปจะอยู่ในรูป

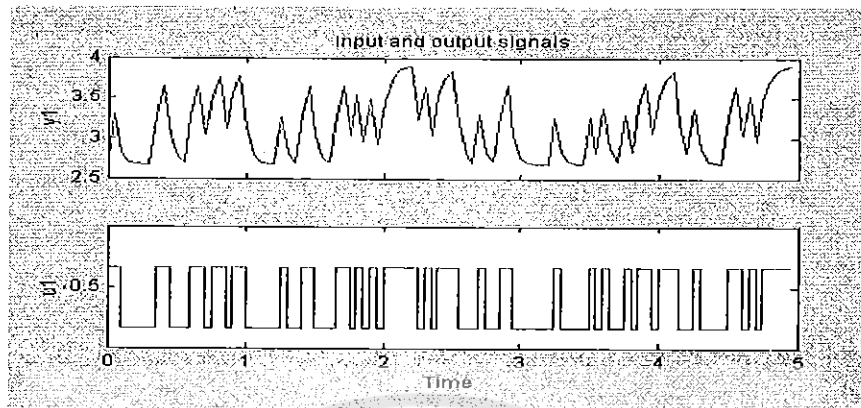
$$y(t) = \frac{B(s)}{A(s)} u(t)$$

ดังนั้นแบบจำลองของข้อมูลชุดที่ 1 เป็นดังนี้

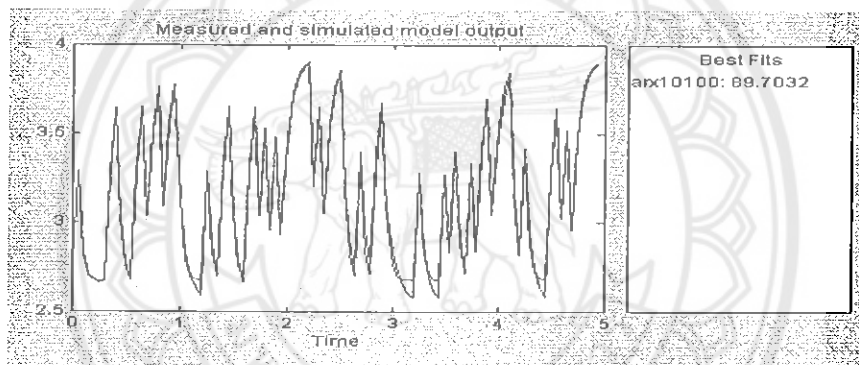
$$\frac{B(s)}{A(s)} = \frac{0.0145s^3 + 0.1388s^2 + 1.8828s + 1}{0.0036s^3 + 0.0427s^2 + 0.3982s + 0.1432}$$

จากกราฟสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกจะเห็นว่ากราฟในตอนเริ่มต้นมีการกระเพื่อมในช่วงแคบๆ เนื่องจากใช้เวลาน้อย เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1-3 วินาที กราฟจะมีการกระเพื่อมในช่วงที่กว้างขึ้นเนื่องใช้เวลามากกว่า หลังจากนั้นกราฟก็จะกลับมามีการกระเพื่อมในช่วงแคบๆ อีกครั้ง สัญญาณของกราฟที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลงทันที จากนั้นนำค่าสัญญาณขาออกที่ได้จากข้อมูลชุดที่ 1 มาเปรียบเทียบกับสัญญาณที่สร้างจากแบบจำลอง จะเห็นว่าค่าสัญญาณขาออกของข้อมูลชุดที่ 1 จะกระเพื่อมน้อยกว่าแบบจำลอง แต่ก็มีค่าใกล้เคียงกับแบบจำลองถึง 91.1996% แล้วนำค่าสัญญาณของข้อมูลชุดที่ 1 ไปเปรียบเทียบกับกราฟข้อมูลชุดที่ 3 ก็จะมีค่าใกล้เคียงกันถึง 87.6905%

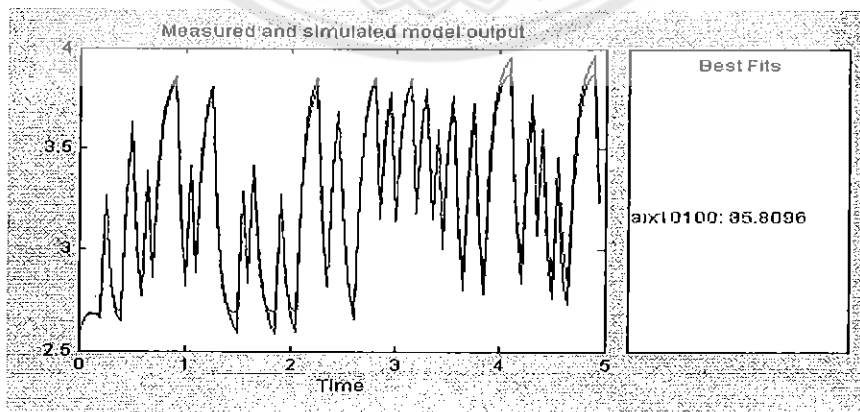
ผลการทดลองซ้ำครั้งที่ 2



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของข้อมูลชุดที่ 2



รูปที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขาออกจริงของข้อมูลชุดที่ 2 กับสัญญาณที่สร้างจากแบบจำลอง



รูป 4.11 กราฟเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้จากข้อมูลชุดที่ 2 กับกราฟสัญญาณขาออกจริงที่ได้จากข้อมูลชุดที่ 3

แบบจำลองข้อมูลชุดที่ 2 จะได้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

$$A(s) = s^{10} + 66.77 s^9 + 7992 s^8 + 3.534 \times 10^5 s^7 + 1.882 \times 10^7 s^6 + 5.476 \times 10^8 s^5 + 1.434 \times 10^{10} s^4 \\ + 2.553 \times 10^{11} s^3 + 3.011 \times 10^{12} s^2 + 2.452 \times 10^{13} s + 1.305 \times 10^{13}$$

$$B(s) = 2.402 s^{10} + 189.1 s^9 + 2.074 \times 10^4 s^8 + 1.068 \times 10^6 s^7 + 5.257 \times 10^7 s^6 + 1.797 \times 10^9 s^5 \\ + 4.41 \times 10^{10} s^4 + 9.309 \times 10^{11} s^3 + 1.054 \times 10^{13} s^2 + 1.098 \times 10^{14} s + 9.479 \times 10^{13}$$

$$C(s) = s^{10} + 85.6 s^9 + 8942 s^8 + 4.761 \times 10^5 s^7 + 2.341 \times 10^7 s^6 + 7.967 \times 10^8 s^5 \\ + 2.119 \times 10^{10} s^4 + 4.152 \times 10^{11} s^3 + 5.607 \times 10^{12} s^2 + 4.911 \times 10^{13} s + 1.912 \times 10^{14}$$

ซึ่งการหาแบบจำลองของระบบทั่วไปจะอยู่ในรูป

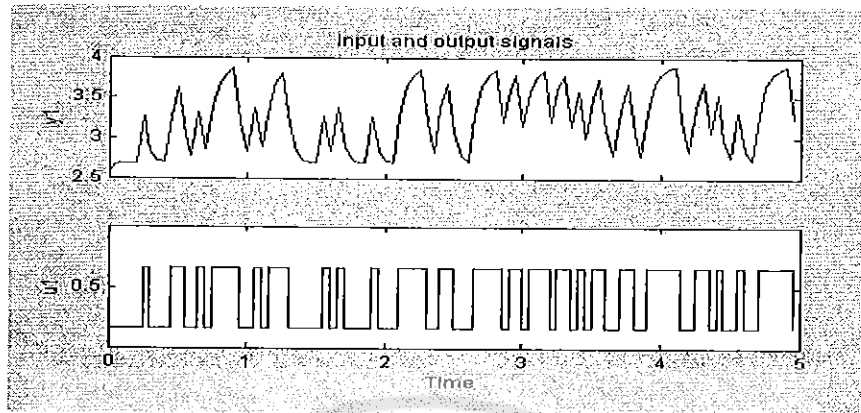
$$y(t) = \frac{B(s)}{A(s)} u(t)$$

ดังนั้นแบบจำลองของข้อมูลชุดที่ 2 เป็นดังนี้

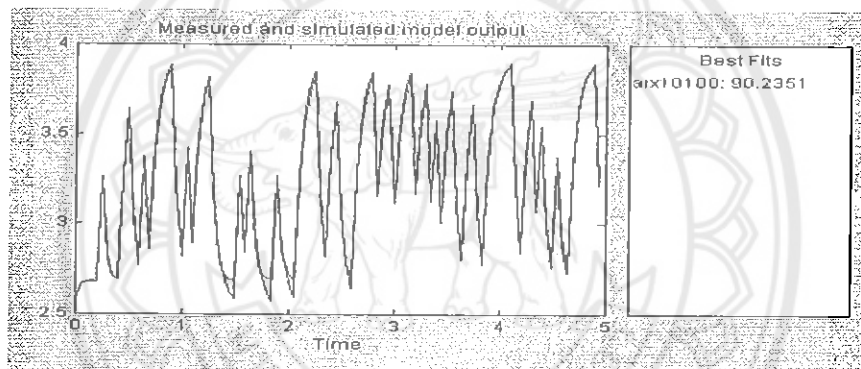
$$\frac{B(s)}{A(s)} = \frac{0.0098s^3 + 0.1112s^2 + 1.1584s + 1}{0.0027s^3 + 0.0318s^2 + 0.2587s + 0.1377}$$

จากกราฟสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกจะเห็นว่ากราฟส่วนใหญ่จะมีการกระเพื่อมในช่วงที่กว้างเนื่องจากใช้เวลานาน ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าความถี่ที่ป้อนเข้าไปโดยส่วนมากจะมีค่าความถี่ที่ 60% จากนั้นนำค่าสัญญาณขาออกที่ได้จากข้อมูลชุดที่ 2 มาเปรียบเทียบกับสัญญาณที่สร้างจากแบบจำลอง จะเห็นว่าค่าสัญญาณขาออกของข้อมูลชุดที่ 2 จะกระเพื่อมน้อยกว่าแบบจำลอง แต่ก็มีค่าความใกล้เคียงกับแบบจำลองถึง 89.7032% แล้วนำค่าสัญญาณของข้อมูลชุดที่ 2 ไปเปรียบเทียบกับกราฟข้อมูลชุดที่ 3 ก็จะมีค่าความใกล้เคียงกันถึง 85.8096%

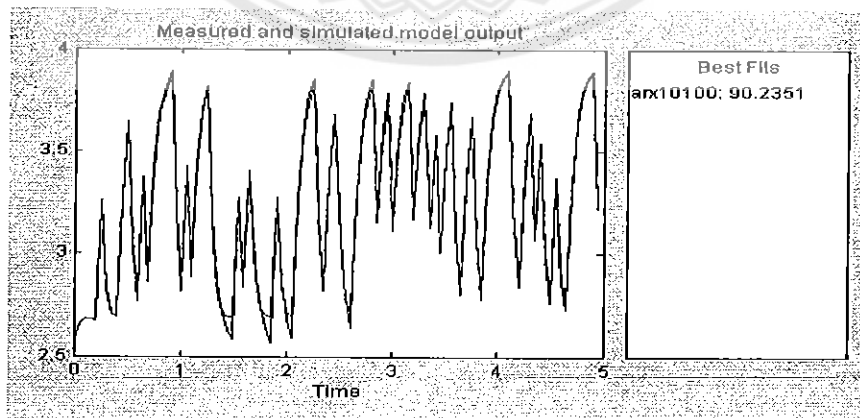
ผลการทดลองซ้ำครั้งที่ 3



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของข้อมูลชุดที่ 3



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขาออกจริงของข้อมูลชุดที่ 3 กับสัญญาณที่สร้างจากแบบจำลอง



รูป 4.14 กราฟเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้จากข้อมูลชุดที่ 3 กับกราฟสัญญาณขาออกจริงที่ได้จากข้อมูลชุดที่ 3

แบบจำลองข้อมูลชุดที่ 3 จะได้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

$$A(s) = s^{10} + 52.12s^9 + 7082s^8 + 2.657 \times 10^5 s^7 + 1.547 \times 10^7 s^6 + 3.965 \times 10^8 s^5 \\ + 1.172 \times 10^{10} s^4 + 1.874 \times 10^{11} s^3 + 2.409 \times 10^{12} s^2 + 2.113 \times 10^{13} s + 6.016 \times 10^{12}$$

$$B(s) = 2.364s^{10} + 156.3s^9 + 1.8 \times 10^4 s^8 + 8.423 \times 10^5 s^7 + 4.223 \times 10^7 s^6 + 1.361 \times 10^9 s^5 \\ + 3.464 \times 10^{10} s^4 + 7.255 \times 10^{11} s^3 + 7.851 \times 10^{12} s^2 + 9.845 \times 10^{13} s + 4.265 \times 10^{13}$$

$$C(s) = s^{10} + 71.08s^9 + 7733s^8 + 3.721 \times 10^5 s^7 + 1.845 \times 10^7 s^6 + 5.822 \times 10^8 s^5 \\ + 1.561 \times 10^{10} s^4 + 2.948 \times 10^{11} s^3 + 3.909 \times 10^{12} s^2 + 3.44 \times 10^{13} s + 1.316 \times 10^{14}$$

ซึ่งการหาแบบจำลองของระบบทั่วไปจะอยู่ในรูป

$$y(t) = \frac{B(s)}{A(s)} u(t)$$

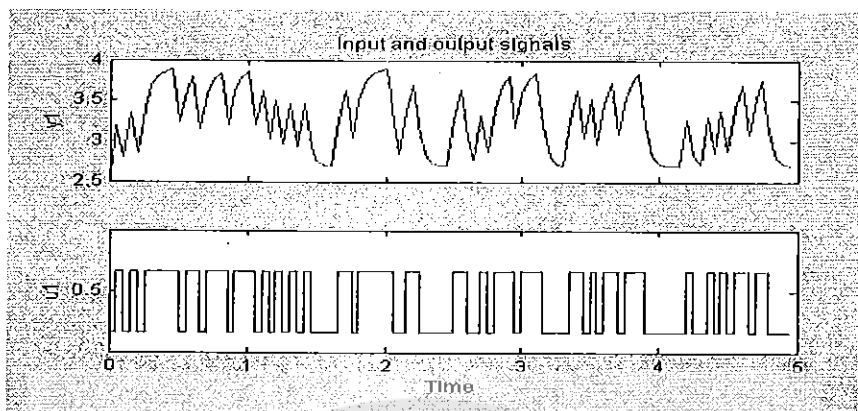
ดังนั้นแบบจำลองของข้อมูลชุดที่ 3 เป็นดังนี้

$$\frac{B(s)}{A(s)} = \frac{0.0170s^3 + 0.1841s^2 + 2.3083s + 1}{0.0044s^3 + 0.0565s^2 + 0.4954s + 0.1411}$$

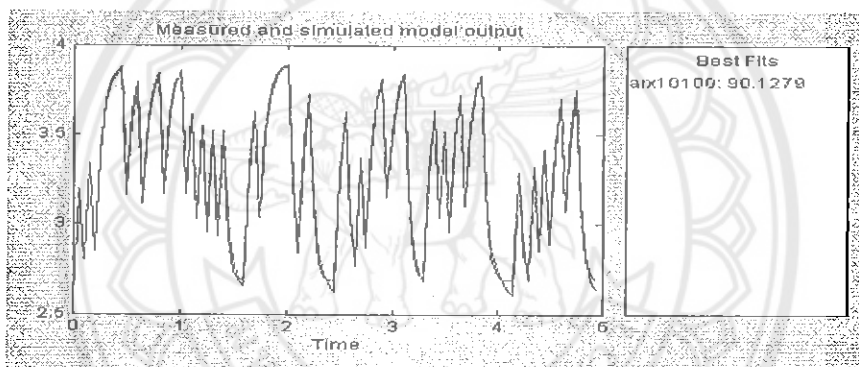
จากกราฟที่ได้กราฟของแบบจำลองข้อมูลชุดที่ 4 มีความใกล้เคียงกับสัญญาณขาออกจริง ซึ่งจะเห็นว่าช่วงเวลาวินาทีที่ 0 ถึงช่วงเวลาวินาทีที่ 1 กราฟทับกันสนิท ช่วงเวลาวินาทีที่ 1 ถึงช่วงเวลาวินาทีที่ 2 กราฟแบบจำลองที่ 3 ต่ำกว่าสัญญาณขาออกเล็กน้อย เนื่องจากเป็นช่วงที่สัญญาณขาเข้าของแบบจำลองมีการสุ่มค่า คิวดีไอเกิดเป็น 30% ติดต่อกันนานจึงทำให้สัญญาณขาออกของแบบจำลองมีค่าตมมากกว่าพอสมควร ช่วงเวลาวินาทีที่ 2 ถึงช่วงเวลาวินาทีที่ 5 กราฟมีความใกล้เคียงกันชัดเจน ดังรูปที่ 4-9 เมื่อนำเอาแบบจำลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับสัญญาณขาออกจริงจะเห็นว่ากราฟที่ได้มีความใกล้เคียงกันมากจะต่างกันในช่วงเวลาวินาทีที่ 1 ถึงวินาทีที่ 2 โดยรวมจากแบบจำลองนี้มีกราฟที่ใกล้เคียงกับสัญญาณขาออกของระบบจริงจากข้อมูลชุดที่ 3 ซึ่งมีค่าการใกล้เคียงกันของกราฟที่ 90.2351% ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงมาก



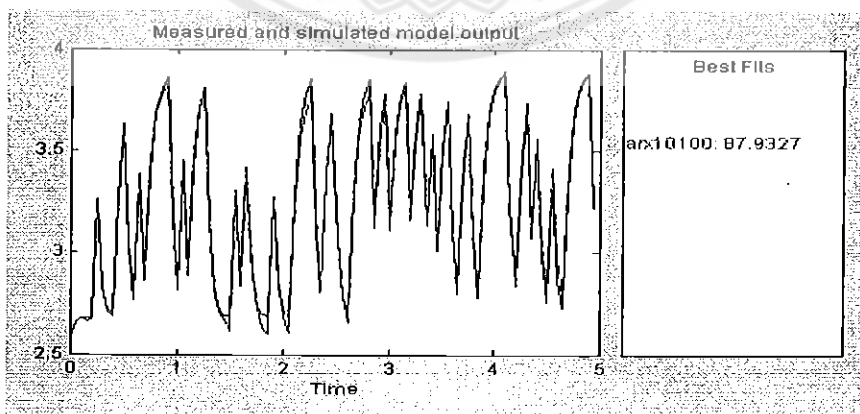
ผลการทดลองซ้ำครั้งที่ 4



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงสัญญาณขาเข้าและสัญญาณขาออกของข้อมูลชุดที่ 4



รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบสัญญาณขาออกจริงของข้อมูลชุดที่ 4 กับสัญญาณที่สร้างจากแบบจำลอง



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบแบบจำลองที่ได้จากข้อมูลชุดที่ 4 กับกราฟสัญญาณขาออกจริงที่ได้จากข้อมูลชุดที่ 3

แบบจำลองข้อมูลชุดที่ 4 จะได้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

$$A(s) = s^{10} + 53.44s^9 + 7505s^8 + 2.811 \times 10^5 s^7 + 1.667 \times 10^7 s^6 + 4.304 \times 10^8 s^5 \\ + 1.223 \times 10^{10} s^4 + 2.04 \times 10^{11} s^3 + 2.127 \times 10^{12} s^2 + 1.641 \times 10^{13} s + 7.115 \times 10^{12}$$

$$B(s) = 2.35s^{10} + 153.8s^9 + 1.873 \times 10^4 s^8 + 8.669 \times 10^5 s^7 + 4.428 \times 10^7 s^6 + 1.439 \times 10^9 s^5 \\ + 3.518 \times 10^{10} s^4 + 7.546 \times 10^{11} s^3 + 7.092 \times 10^{12} s^2 + 7.237 \times 10^{13} s + 5.1 \times 10^{13}$$

$$C(s) = s^{10} + 71.48s^9 + 8171s^8 + 3.965 \times 10^5 s^7 + 2.009 \times 10^7 s^6 + 6.487 \times 10^8 s^5 \\ + 1.736 \times 10^{10} s^4 + 3.399 \times 10^{11} s^3 + 4.507 \times 10^{12} s^2 + 3.853 \times 10^{13} s + 1.48 \times 10^{14}$$

ซึ่งการหาแบบจำลองของระบบทั่วไปจะอยู่ในรูป

$$y(t) = \frac{B(s)}{A(s)} u(t)$$

ดังนั้นแบบจำลองของข้อมูลชุดที่ 4 เป็นดังนี้

$$\frac{B(s)}{A(s)} = \frac{0.0148s^3 + 0.1391s^2 + 1.419s + 1}{0.0040s^3 + 0.0417s^2 + 0.3218s + 0.1395}$$

จากกราฟสัญญาณขาเข้าที่ได้จากการสุ่มนั้นค่อนข้างเกาะกันเป็นกลุ่ม โดยส่วนมากจะเป็นสัญญาณขาเข้ามีค่าตัววัดไซเคิล 60% เป็นเวลานานหลังจากนั้นสัญญาณขาเข้าเริ่มมีการแกว่งอยู่ในค่าระหว่างค่าตัววัดไซเคิล 30% และ 60% ทำให้กราฟสัญญาณขาออกที่ได้มีการแกว่งขึ้นลงอย่างเห็นได้ชัด เมื่อนำเอาแบบจำลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับสัญญาณขาออกจริงจะเห็นว่ากราฟที่ได้มีความใกล้เคียงกันมากถึง 90.1279% และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับชุดข้อมูลชุดที่ 3 ซึ่งค่าความใกล้เคียงกันของกราฟที่ได้มากถึง 87.9327

## บทที่ 5

### วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

#### 5.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทำการทดลองสุมการป้อนสัญญาณขาเข้าและได้สัญญาณขาออก ซึ่งทำการทดลองสุมเพื่อจะนำมาหาฟังก์ชันถ่ายโอน จำนวน 4 ชุดการทดลองได้ฟังก์ชันถ่ายโอน ดังนี้

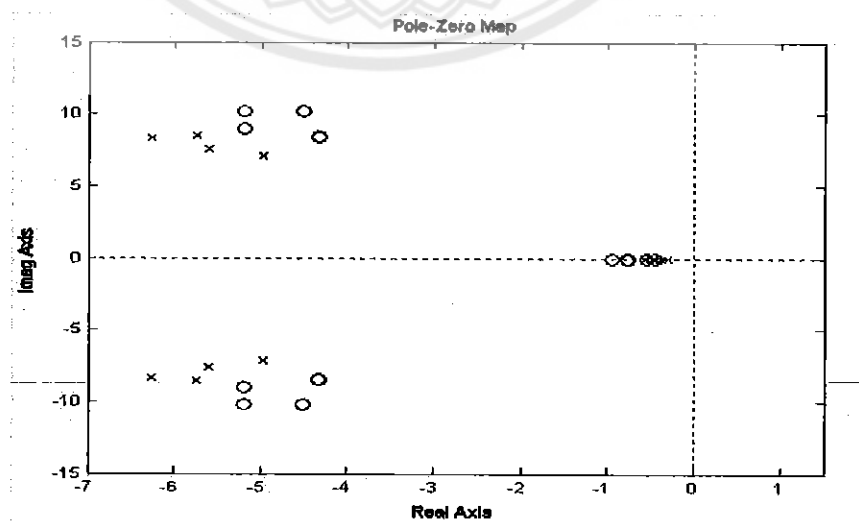
$$\text{ผลการทดลองซ้ำครั้งที่ 1} \quad \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{0.0145s^3 + 0.1388s^2 + 1.8828s + 1}{0.0036s^3 + 0.0427s^2 + 0.3982s + 0.1432}$$

$$\text{ผลการทดลองซ้ำครั้งที่ 2} \quad \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{0.0098s^3 + 0.1112s^2 + 1.1584s + 1}{0.0027s^3 + 0.0318s^2 + 0.2587s + 0.1377}$$

$$\text{ผลการทดลองซ้ำครั้งที่ 3} \quad \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{0.0170s^3 + 0.1841s^2 + 2.3083s + 1}{0.0044s^3 + 0.0565s^2 + 0.4954s + 0.1411}$$

$$\text{ผลการทดลองซ้ำครั้งที่ 4} \quad \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{0.0148s^3 + 0.1391s^2 + 1.419s + 1}{0.0040s^3 + 0.0417s^2 + 0.3218s + 0.1395}$$

นำฟังก์ชันถ่ายโอนที่ได้มาหาค่าแห่งของโพล (Pole) และศูนย์ (Zero) ของแต่ละแบบจำลอง มาสร้างแผนภาพโพล (Pole) และศูนย์ (Zero) ได้ดังนี้



รูปที่ 5.1 แสดงตำแหน่งของโพล (Pole) และศูนย์ (Zero) ของแต่ละแบบจำลอง

จากรูปที่ 5.1

- สีแดง แทน ฟังก์ชันถ่ายโอนผลการทดลองซ้ำครั้งที่ 1  
 สีนํ้าเงิน แทน ฟังก์ชันถ่ายโอนผลการทดลองซ้ำครั้งที่ 2  
 สีเขียว แทน ฟังก์ชันถ่ายโอนผลการทดลองซ้ำครั้งที่ 3  
 สีดำ แทน ฟังก์ชันถ่ายโอนผลการทดลองซ้ำครั้งที่ 4

ตารางที่ 5.1 ตำแหน่งตำแหน่งของโพล (Pole) และศูนย์ (Zero) ของแต่ละแบบจำลอง

	ตำแหน่งของศูนย์(Zero)	ตำแหน่งของโพล(Pole)
แบบจำลองที่ 1	-4.5100 + 10.2238i, -4.5100 - 10.2238i, -0.5523	-5.7435 + 8.5630i, -5.7435 - 8.5630i, -0.3742
แบบจำลองที่ 2	-5.2028 + 9.0189i, -5.2028 - 9.0189i, -0.9413	-5.6037 + 7.6172i, -5.6037 - 7.6172i, -0.5703
แบบจำลองที่ 3	-5.1904 + 10.2071i, -5.1904 - 10.2071i, -0.4486	-6.2732 + 8.3392i, -6.2732 - 8.3392i, -0.2945
แบบจำลองที่ 4	-4.3212 + 8.4065i, -4.3212 - 8.4065i, -0.7563	-4.9827 + 7.1444i, -4.9827 - 7.1444i, -0.4597

ซึ่งเมื่อพิจารณาด้านตำแหน่งของโพล(Pole) และศูนย์ (Zero) จะเห็นว่าตำแหน่งอยู่ใกล้เคียงกันและฟังก์ชันถ่ายโอนทั้ง 4 มีผลใกล้เคียงกันเป็นที่ยอมรับได้ดังนั้นสามารถนำฟังก์ชันถ่ายโอนไปแทนในระบบที่ทำการทดลองได้ โดยสามารถนำฟังก์ชันถ่ายโอน มาวิเคราะห์ทางระบบควบคุมเพื่อหาเสถียรภาพของระบบได้

## 5.2 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองหลังจากที่มีการสร้างกราฟจากชุดข้อมูลจำนวน 4 ชุด จะเห็นว่ากราฟที่ได้ ออกมามีลักษณะใกล้เคียงกับกราฟของข้อมูลที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบดังนี้

การทดลองซ้ำครั้งที่ 1 มีค่าความใกล้เคียงกันของกราฟ ความถูกต้องประมาณ 87.6905%

การทดลองซ้ำครั้งที่ 2 มีค่าความใกล้เคียงกันของกราฟ ความถูกต้องประมาณ 85.8096%

การทดลองซ้ำครั้งที่ 3 มีค่าความใกล้เคียงกันของกราฟ ความถูกต้องประมาณ 90.0406%

การทดลองซ้ำครั้งที่ 4 มีค่าความใกล้เคียงกันของกราฟ ความถูกต้องประมาณ 90.2351%

จากข้อมูลที่ได้จะเห็นว่ามีความผิดพลาด ประมาณ 10-15% ผลที่มีค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอาจ เกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่นเป็นคุณสมบัติของระบบเอง เป็นต้น

## 5.3 ปัญหาที่พบ

1. หน่วยความจำ(RAM) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F819 ไม่สามารถเก็บข้อมูลได้ เพียงพอตามที่ต้องการ คือ ต้องการเก็บข้อมูลจำนวน 400 ค่า แบ่งเป็นเก็บค่าสัญญาณขาเข้า 200 ค่า และ สัญญาณขาออก 200ค่า แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหน่วยความจำเพียง 256 MB ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แค่ 200 ค่าเท่านั้น จึงต้องแบ่งเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ชุด โดยแบ่งเป็นหน่วยความจำโปรแกรม 100 ค่า และหน่วยความจำข้อมูล 100 ค่า แล้วทำการจัดเก็บไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์

2. ความถี่ที่ใช้ในการสวิตซ์ที่สูงถึง 25 KHz ต่อการเก็บค่าใน 1 หน่วยเวลาทำให้มีข้อจำกัดในการเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

## 5.4 แนวทางพัฒนาต่อ

สามารถนำฟังก์ชันถ่ายโอนไปวิเคราะห์หาเสถียรภาพของระบบ หรือผลตอบสนองของระบบ เพื่อนำไปออกแบบระบบควบคุมที่มีเสถียรภาพ หรือออกแบบระบบควบคุมแบบคงทน เพื่อควบคุม วงจรบูสต์คอนเวอร์เตอร์ให้ได้เสถียรภาพที่ดีขึ้น เป็นต้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] รศ.ดร. วีระเชษฐ ชันเงิน. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพฯ : หจก. วี.เจ. พรินติ้ง. 2547.
- [2] MUHAMMAD H.RASHID. POWER ELECTRONICS. NEW JERSEY: PRINTICE. 1997.
- [3] สุระพล เขียวมนตรี. อิเล็กทรอนิกส์กำลัง. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ. 2545.
- [4] Ioan Dore Landau. System Identification and Control Design : using P.I.M. + software. New Jersey : Prentice-Hall, Inc.1990.
- [5] ผศ. พูลสุข สังข์รุ่ง และคณะ. การบริหารการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : หจก. วี.เจ.พรินติ้ง. 2544.
- [6] Lennart Ljung. " System Identification Toolbox For Use With MATLAB." [Online]. Available : [Http://www.matworks.com](http://www.matworks.com)





## ภาคผนวก ก

ตารางที่ 1 ค่าสัญญาณพัลส์ที่ได้จากการสุ่มและค่าแรงดันไฟฟ้าออกที่วัดได้

การสุ่มครั้งที่ 1	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวตี้ไซเทิล(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.0149	30	2.58
	0.2882	30	2.65
	0.8167	60	3.25
	0.9855	60	3.63
	0.0174	30	3.02
	0.8194	60	3.51
	0.6211	60	3.75
	0.5602	60	3.84
	0.2440	30	3.19
	0.8220	60	3.61
	0.2632	30	3.02
	0.7536	60	3.52
	0.6596	60	3.75
	0.2141	30	3.12
	0.6021	60	3.57
	0.6049	60	3.77
	0.6595	60	3.85
	0.1834	30	3.20
	0.6365	60	3.62
	0.1703	30	3.03
	0.5396	60	3.52
	0.6234	60	3.76
	0.6859	60	3.84
	0.6773	60	3.88
	0.8768	60	3.90
	0.0129	30	3.24



## ตารางที่ 1 (ต่อ)

การสุ่มครั้งที่ 1	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวตี้ไซเคิล(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.3104	60	2.83
	0.7791	60	3.38
	0.3073	30	2.89
	0.9267	60	3.42
	0.6787	60	3.72
	0.0743	30	3.09
	0.0707	30	2.78
	0.0119	30	2.70
	0.2272	30	2.68
	0.5163	60	3.27
	0.4582	30	2.83
	0.7032	60	3.38
	0.5825	60	3.70
	0.5092	60	3.82
	0.0743	30	3.17
	0.1932	30	2.81
	0.3796	30	2.70
	0.2764	30	2.68
	0.7709	60	3.28
	0.3139	30	2.83
	0.6382	60	3.38
	0.9866	60	3.70
	0.5029	60	3.82
	0.9477	60	3.87
	0.8280	60	3.90
	0.9176	60	3.91
	0.1131	30	3.25
	0.8121	60	3.64
	0.9083	60	3.80

ตารางที่ 1 (ต่อ)

การสูบล้างครั้งที่ 1	ตัวเลขจากการสูบล้าง	ความชื้นที่เหลือ(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.1564	30	3.16
	0.1221	30	2.80
	0.7627	60	3.36
	0.7218	60	3.69
	0.6516	60	3.82
	0.7540	60	3.88
	0.6632	60	3.90
	0.8835	60	3.91
	0.2722	30	3.25
	0.4194	30	2.83
	0.2130	30	2.71
	0.0356	30	2.69
	0.0812	30	2.68
	0.8506	60	3.27
	0.3402	30	2.83
	0.4662	30	2.71
	0.9138	60	3.29
	0.2286	30	2.84
	0.8620	60	3.38
	0.6566	60	3.70
	0.8912	60	3.82
	0.4881	30	3.17
	0.9926	60	3.60
	0.3733	30	3.02
	0.5314	60	3.51
	0.1813	30	2.96
	0.5019	60	3.47
	0.4222	30	2.93
	0.6604	60	3.45

## ตารางที่ 1 (ต่อ)

การสุ่มครั้งที่ 1	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวตีไซเคิล(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.6737	60	3.73
	0.9537	60	3.83
	0.1919	30	3.18
	0.1112	30	2.81
	0.5651	60	3.37
	0.9692	60	3.69
	0.0237	30	3.07
	0.8702	60	3.55
	0.0269	30	2.98
	0.5195	60	3.48
	0.1923	30	2.94
	0.7157	60	3.46
	0.2507	30	2.92
	0.9339	60	3.45
	0.1372	30	2.92
	0.5216	60	3.45
การสุ่มครั้งที่ 2	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวตีไซเคิล(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.8952	60	2.75
	0.9424	60	3.29
	0.3351	30	2.83
	0.4374	30	2.70
	0.4712	30	2.68
	0.1493	30	2.67
	0.1359	30	2.67
	0.5325	60	3.27
	0.7258	60	3.64
	0.3987	30	3.03
	0.3584	30	2.76

ตารางที่ 1 (ต่อ)

การสุ่มครั้งที่ 2	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวดีไซเกิล(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.2853	30	2.69
	0.8686	60	3.28
	0.6264	60	3.65
	0.2412	30	3.04
	0.9781	60	3.52
	0.6405	60	3.76
	0.2298	30	3.12
	0.6813	60	3.57
	0.6658	60	3.77
	0.1347	30	3.14
	0.0225	30	2.79
	0.2622	30	2.70
	0.1165	30	2.68
	0.0693	30	2.68
	0.8529	60	3.27
	0.1803	30	2.83
	0.0324	30	2.70
	0.7339	60	3.29
	0.5365	60	3.65
	0.2760	30	3.05
	0.3685	30	2.76
	0.0129	30	2.69
	0.8892	60	3.28
	0.8660	60	3.65
	0.2542	30	3.05
	0.5695	60	3.53
	0.1593	30	2.96
	0.5944	60	3.48
	0.3311	30	2.93

## ตารางที่ 1 (ต่อ)

การสุ่มครั้งที่ 2	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวที่ไซเคิล(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.6586	60	3.45
	0.8636	60	3.73
	0.5676	60	3.83
	0.9805	60	3.88
	0.7918	60	3.89
	0.1526	30	3.24
	0.8330	60	3.65
	0.1919	30	3.05
	0.6390	60	3.53
	0.6690	60	3.76
	0.7721	60	3.84
	0.3798	30	3.20
	0.4416	30	2.82
	0.4831	30	2.70
	0.6081	60	3.29
	0.1760	30	2.84
	0.0020	30	2.71
	0.7902	60	3.30
	0.5136	60	3.66
	0.2132	30	3.05
	0.1034	30	2.76
	0.1573	30	2.69
	0.4075	30	2.68
	0.4078	30	2.68
	0.0527	30	2.68
	0.9418	60	3.27
	0.1500	30	2.83
	0.3844	30	2.71
	0.3111	30	2.68

## ตารางที่ 1 (ต่อ)

การสุ่มครั้งที่ 2	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวดีไซเคิล(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.1685	30	2.68
	0.8966	60	3.2
	0.3227	30	2.83
	0.7340	60	3.38
	0.4109	30	2.88
	0.3998	30	2.72
	0.5055	60	3.30
	0.1693	30	2.84
	0.5247	60	3.39
	0.6412	60	3.70
	0.0162	30	3.08
	0.8369	60	3.55
	0.8035	60	3.76
	0.6978	60	3.84
	0.4619	30	3.20
	0.0826	30	2.82
	0.8207	60	3.37
	0.1930	30	2.88
	0.4454	30	2.72
	0.0130	30	2.69
	0.3087	30	2.68
	0.8754	60	3.27
	0.8353	60	3.64
	0.3331	30	3.04
	0.8807	60	3.52
	0.4797	30	2.96
	0.5608	60	3.47
	0.6159	60	3.73
	0.6619	60	3.83

## ตารางที่ 1 (ต่อ)

การสุ่มครั้งที่ 2	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวดีไซเคิล(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.6166	60	3.88
	0.6851	60	3.90
การสุ่มครั้งที่ 3	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวดีไซเคิล(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.4398	30	2.58
	0.3400	30	2.66
	0.3142	30	2.68
	0.3651	30	2.68
	0.3932	30	2.68
	0.5915	60	3.26
	0.1197	30	2.83
	0.0381	30	2.71
	0.4586	30	2.69
	0.8699	60	3.26
	0.9342	60	3.63
	0.2644	30	3.03
	0.1603	30	2.77
	0.8729	60	3.32
	0.2379	30	2.86
	0.6458	60	3.39
	0.9669	60	3.69
	0.6649	60	3.81
	0.8704	60	3.86
	0.0099	30	3.21
	0.1370	30	2.82
	0.8188	60	3.37
	0.4302	30	2.89
	0.8903	60	3.41
	0.7349	60	3.70
	0.6873	60	3.81

## ตารางที่ 1 (ต่อ)

การสุ่มครั้งที่ 3	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวตี้ไซเคิล(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.3461	30	3.17
	0.1660	30	2.82
	0.1556	30	2.72
	0.1911	30	2.69
	0.4225	30	2.69
	0.8560	60	3.27
	0.4902	30	2.84
	0.8159	60	3.37
	0.4608	30	2.89
	0.4574	30	2.73
	0.4507	30	2.70
	0.4122	30	2.69
	0.9016	60	3.27
	0.0056	30	2.84
	0.2974	30	2.72
	0.0492	30	2.69
	0.6252	60	3.37
	0.7334	60	3.68
	0.3759	30	3.07
	0.0099	30	2.78
	0.4199	30	2.71
	0.7537	60	3.28
	0.7939	60	3.64
	0.9200	60	3.78
	0.8447	60	3.85
	0.3678	30	3.20
	0.6208	60	3.61
	0.7313	60	3.78
	0.1939	30	3.15



## ตารางที่ 1 (ต่อ)

การสุ่มครั้งที่ 3	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวดีไซเคิล(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.9048	60	3.58
	0.5692	60	3.77
	0.6318	60	3.84
	0.2344	30	3.20
	0.5488	60	3.61
	0.9316	60	3.78
	0.3352	30	3.15
	0.6555	60	3.58
	0.3919	30	3.01
	0.6273	60	3.50
	0.6991	60	3.74
	0.3972	30	3.11
	0.4136	30	2.80
	0.6552	60	3.34
	0.8376	60	3.67
	0.3716	30	3.07
	0.4253	30	2.78
	0.5947	60	3.33
	0.5657	60	3.67
	0.7165	60	3.80
	0.5113	60	3.86
	0.7764	60	3.88
	0.4893	30	3.23
	0.1859	30	2.84
	0.7006	60	3.37
	0.9827	60	3.69
	0.8066	30	3.07
	0.7036	60	3.54
	0.4850	30	2.98

## ตารางที่ 1 (ต่อ)

การสุ่มครั้งที่ 3	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวตีไซเคิล(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.1146	30	2.76
	0.6649	60	3.31
	0.3654	30	2.86
	0.1400	30	2.73
	0.5668	60	3.29
	0.8230	60	3.64
	0.6739	60	3.79
	0.9994	60	3.85
	0.9616	60	3.88
	0.0589	30	3.23
การสุ่มครั้งที่ 4	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวตีไซเคิล(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.3603	30	2.58
	0.5485	60	3.19
	0.2618	30	2.80
	0.5973	60	3.34
	0.0493	30	2.86
	0.5711	60	3.39
	0.7009	60	3.69
	0.9623	60	3.80
	0.7505	60	3.85
	0.7400	60	3.88
	0.4319	30	3.23
	0.6343	60	3.63
	0.8030	60	3.79
	0.0839	30	3.15
	0.9455	60	3.58
	0.9159	60	3.77
	0.6020	60	3.84
	0.2536	30	3.20

## ตารางที่ 1 (ต่อ)

การสุ่มครั้งที่ 4	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวที่ไซเคิล(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.8735	60	3.61
	0.5134	60	3.78
	0.7327	60	3.85
	0.4222	30	3.20
	0.9614	60	3.61
	0.0721	30	3.03
	0.5534	60	3.51
	0.2920	30	2.96
	0.8580	60	3.46
	0.3358	30	2.94
	0.6802	60	3.45
	0.0534	30	2.93
	0.3567	30	2.74
	0.4983	30	2.70
	0.4344	30	2.69
	0.5625	60	3.27
	0.6166	60	3.63
	0.1133	30	3.04
	0.8983	60	3.51
	0.7546	60	3.74
	0.7911	60	3.83
	0.8150	60	3.87
	0.6700	60	3.89
	0.2009	30	3.24
	0.2731	30	2.84
	0.6262	60	3.38
	0.5369	60	3.69
	0.0595	30	3.08
	0.0890	30	2.79

ตารางที่ 1 (ต่อ)

การสุ่มครั้งที่ 4	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวดีไซเกิด(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.2713	30	2.71
	0.4091	30	2.69
	0.4740	30	2.69
	0.9090	60	3.27
	0.5962	60	3.63
	0.3290	30	3.04
	0.4782	30	2.77
	0.5972	60	3.32
	0.1614	30	2.87
	0.8295	60	3.39
	0.9561	60	3.70
	0.5955	60	3.81
	0.0287	30	3.17
	0.8121	60	3.59
	0.6101	60	3.77
	0.7015	60	3.84
	0.0922	30	3.20
	0.4249	30	2.82
	0.3756	30	2.72
	0.1662	30	2.70
	0.8332	60	3.27
	0.8386	60	3.63
	0.4516	30	3.04
	0.9566	60	3.52
	0.1472	30	2.96
	0.8699	60	3.46
	0.7694	60	3.72
	0.4442	30	3.10
	0.6206	60	3.55

## ตารางที่ 1 (ต่อ)

การสุ่มครั้งที่ 4	ตัวเลขจากการสุ่ม	คิวตี้ไซเคิล(%)	แรงดันไฟฟ้าออก(โวลต์)
	0.9517	60	3.76
	0.6400	60	3.83
	0.2473	30	3.19
	0.3527	30	2.82
	0.1879	30	2.72
	0.4906	30	2.69
	0.4093	30	2.69
	0.4635	30	2.69
	0.6109	60	3.27
	0.0712	30	2.84
	0.3143	30	2.72
	0.6084	60	3.29

## ภาคผนวก ข

โปรแกรมภาษาเบสิกที่ใช้ในการทดลอง  
โปรแกรมส่งสัญญาณพัลส์

```
define osc 20
define DEBUG_REG PORTB
define DEBUG_BIT 1
define DEBUG_MODE 0
```

```
define DEBUGIN_REG PORTB
define DEBUGIN_BIT 2
define DEBUGIN_MODE 0
```

```
define DEBUG_BAUD 9600
define ADC_BITS 10
define ADC_CLOCK 2
```

```
pwdx1 con 11
pwdx2 con 11
pwdx3 con 23
pwdx4 con 23
pwdx5 con 11
pwdx6 con 23
pwdx7 con 23
pwdx8 con 23
pwdx9 con 11
pwdx10 con 23
pwdx11 con 11
pwdx12 con 23
pwdx13 con 23
```

pwdx14 con 11  
pwdx15 con 23  
pwdx16 con 23  
pwdx17 con 23  
pwdx18 con 11  
pwdx19 con 23  
pwdx20 con 11  
pwdx21 con 23  
pwdx22 con 23  
pwdx23 con 23  
pwdx24 con 23  
pwdx25 con 23  
pwdx26 con 11  
pwdx27 con 11  
pwdx28 con 23  
pwdx29 con 11  
pwdx30 con 23  
pwdx31 con 23  
pwdx32 con 11  
pwdx33 con 11  
pwdx34 con 11  
pwdx35 con 11  
pwdx36 con 23  
pwdx37 con 11  
pwdx38 con 23  
pwdx39 con 23  
pwdx40 con 23  
pwdx41 con 11  
pwdx42 con 11  
pwdx43 con 11  
pwdx44 con 11  
pwdx45 con 23

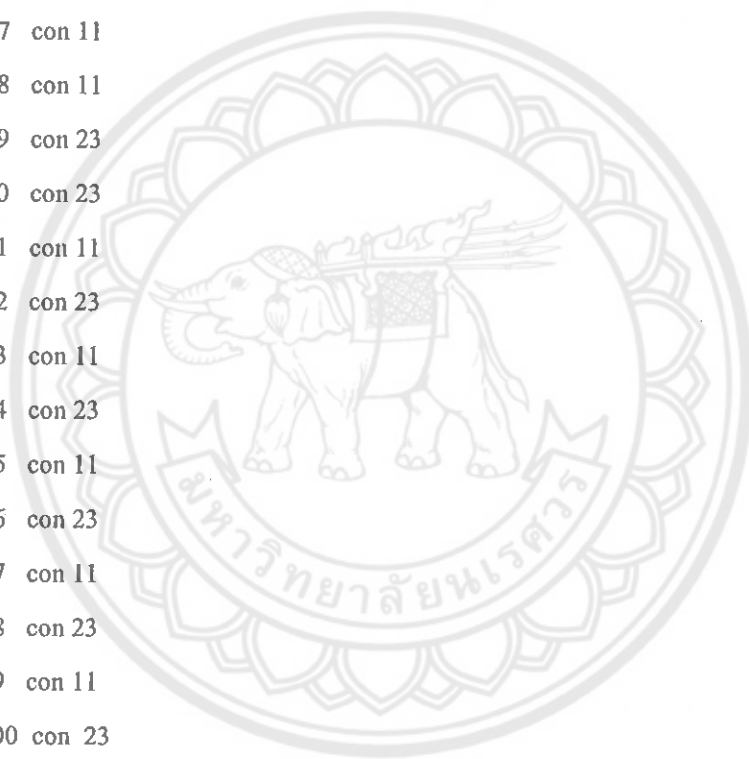


pwdx46 con 11  
pwdx47 con 23  
pwdx48 con 23  
pwdx49 con 23  
pwdx50 con 23  
pwdx51 con 23  
pwdx52 con 23  
pwdx53 con 11  
pwdx54 con 23  
pwdx55 con 23  
pwdx56 con 11  
pwdx57 con 11  
pwdx58 con 23  
pwdx59 con 23  
pwdx60 con 23  
pwdx61 con 23  
pwdx62 con 23  
pwdx63 con 23  
pwdx64 con 11  
pwdx65 con 11  
pwdx66 con 11  
pwdx67 con 11  
pwdx68 con 11  
pwdx69 con 23  
pwdx70 con 11  
pwdx71 con 11  
pwdx72 con 23  
pwdx73 con 11  
pwdx74 con 23  
pwdx75 con 23  
pwdx76 con 23  
pwdx77 con 11





pwdx78 con 23  
pwdx79 con 11  
pwdx80 con 23  
pwdx81 con 11  
pwdx82 con 23  
pwdx83 con 11  
pwdx84 con 23  
pwdx85 con 23  
pwdx86 con 23  
pwdx87 con 11  
pwdx88 con 11  
pwdx89 con 23  
pwdx90 con 23  
pwdx91 con 11  
pwdx92 con 23  
pwdx93 con 11  
pwdx94 con 23  
pwdx95 con 11  
pwdx96 con 23  
pwdx97 con 11  
pwdx98 con 23  
pwdx99 con 11  
pwdx100 con 23



EEP\_addr var byte

LED var PORTB.4

A2D var word

EEPROMdat var word

cnt var word

Pwd var byte

Nwd var byte  
T var byte  
maxT var word

P1 var byte  
P2 var byte  
T1 var byte  
T2 var byte

init:

ADCON1 = %10000000

TRISA = %11111111

cnt=0

Pwd=27

Nwd=3

maxT=1250

main:

rs232IN:

debugin 1000,rs232IN,[P2]

EEP\_addr=0

high LED

pwd=pwdx1

call GEN

pwd=pwdx2

call GEN

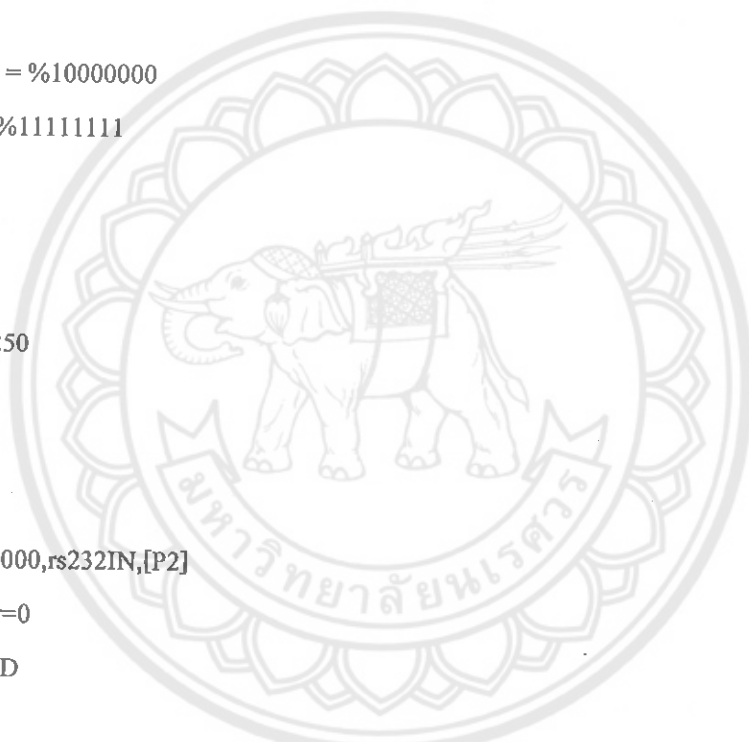
pwd=pwdx3

call GEN

pwd=pwdx4

call GEN

pwd=pwdx5



call GEN  
pwd=pwdx6  
call GEN  
pwd=pwdx7  
call GEN  
pwd=pwdx8  
call GEN  
pwd=pwdx9  
call GEN  
pwd=pwdx10  
call GEN  
.....  
pwd=pwdx11  
call GEN  
pwd=pwdx12  
call GEN  
pwd=pwdx13  
call GEN  
pwd=pwdx14  
call GEN  
pwd=pwdx15  
call GEN  
pwd=pwdx16  
call GEN  
pwd=pwdx17  
call GEN  
pwd=pwdx18  
call GEN  
pwd=pwdx19  
call GEN  
pwd=pwdx20  
call GEN



-----  
pwd=pwdx21  
call GEN  
pwd=pwdx22  
call GEN  
pwd=pwdx23  
call GEN  
pwd=pwdx24  
call GEN  
pwd=pwdx25  
call GEN  
pwd=pwdx26  
call GEN  
pwd=pwdx27  
call GEN  
pwd=pwdx28  
call GEN  
pwd=pwdx29  
call GEN  
pwd=pwdx30  
call GEN  
-----  
pwd=pwdx31  
call GEN  
pwd=pwdx32  
call GEN  
pwd=pwdx33  
call GEN  
pwd=pwdx34  
call GEN  
pwd=pwdx35  
call GEN



pwd=pwdx36

call GEN

pwd=pwdx37

call GEN

pwd=pwdx38

call GEN

pwd=pwdx39

call GEN

pwd=pwdx40

call GEN

-----

pwd=pwdx41

call GEN

pwd=pwdx42

call GEN

pwd=pwdx43

call GEN

pwd=pwdx44

call GEN

pwd=pwdx45

call GEN

pwd=pwdx46

call GEN

pwd=pwdx47

call GEN

pwd=pwdx48

call GEN

pwd=pwdx49

call GEN

pwd=pwdx50

call GEN

-----



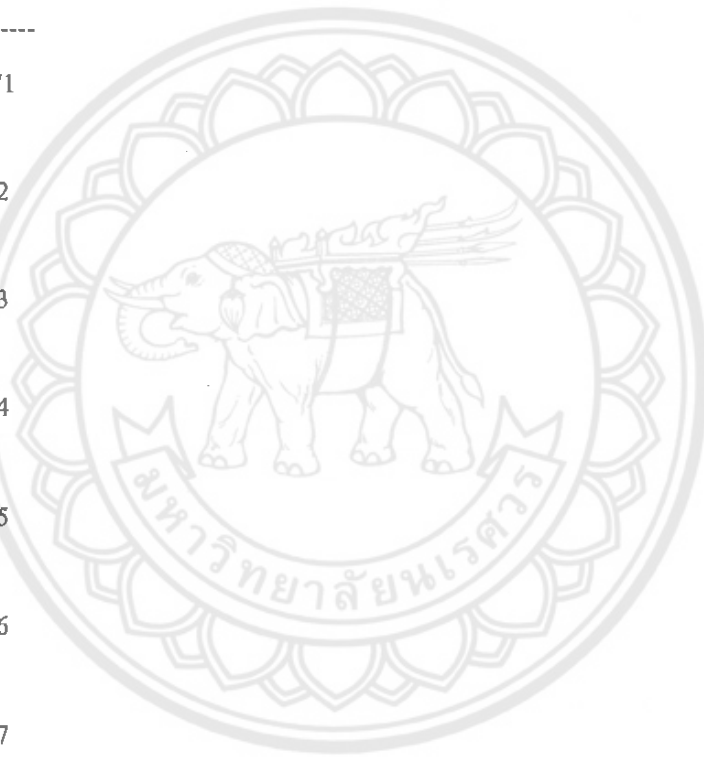
pwd=pwdx51  
call GEN  
pwd=pwdx52  
call GEN  
pwd=pwdx53  
call GEN  
pwd=pwdx54  
call GEN  
pwd=pwdx55  
call GEN  
pwd=pwdx56  
call GEN  
pwd=pwdx57  
call GEN  
pwd=pwdx58  
call GEN  
pwd=pwdx59  
call GEN  
pwd=pwdx60  
call GEN  
-----  
pwd=pwdx61  
call GEN  
pwd=pwdx62  
call GEN  
pwd=pwdx63  
call GEN  
pwd=pwdx64  
call GEN  
pwd=pwdx65  
call GEN  
pwd=pwdx66



call GEN  
pwd=pwdx67  
call GEN  
pwd=pwdx68  
call GEN  
pwd=pwdx69  
call GEN  
pwd=pwdx70  
call GEN

-----  
pwd=pwdx71  
call GEN  
pwd=pwdx72  
call GEN  
pwd=pwdx73  
call GEN  
pwd=pwdx74  
call GEN  
pwd=pwdx75  
call GEN  
pwd=pwdx76  
call GEN  
pwd=pwdx77  
call GEN  
pwd=pwdx78  
call GEN  
pwd=pwdx79  
call GEN  
pwd=pwdx80  
call GEN

-----  
pwd=pwdx81



call GEN  
pwd=pwdx82  
call GEN  
pwd=pwdx83  
call GEN  
pwd=pwdx84  
call GEN  
pwd=pwdx85  
call GEN  
pwd=pwdx86  
call GEN  
pwd=pwdx87  
call GEN  
pwd=pwdx88  
call GEN  
pwd=pwdx89  
call GEN  
pwd=pwdx90  
call GEN  
-----  
pwd=pwdx91  
call GEN  
pwd=pwdx92  
call GEN  
pwd=pwdx93  
call GEN  
pwd=pwdx94  
call GEN  
pwd=pwdx95  
call GEN  
pwd=pwdx96  
call GEN





```

pwd=pwdx97
call GEN
pwd=pwdx98
call GEN
pwd=pwdx99
call GEN
pwd=pwdx100
call GEN
'-----

```

```

low LED
call SendData
goto main

```

GEN:

```

cnt=0
Nwd=30-Pwd

```

GEN1:

```

high PORTB.3
pauseus Pwd
low PORTB.3
pauseus Nwd
cnt=cnt+1

```

```

if cnt < maxT then GEN1

```

```

ADCIN 0,A2D

```

```

write EEP_addr,A2D.BYTE1

```

```

EEP_addr=EEP_addr+1

```

```

write EEP_addr,A2D.BYTE0

```

```

EEP_addr=EEP_addr+1

```

```

return

```

SendData:

```

EEP_addr=0

```

```
SendDataLoop:  
  read EEP_addr,EEPROMdat.BYTE1  
  EEP_addr=EEP_addr+1  
  read EEP_addr,EEPROMdat.BYTE0  
  EEP_addr=EEP_addr+1  
  debug dec EEPROMdat,13,10  
  if EEP_addr < 199 then  
    debugin 1000,rs232IN,[P2]  
  goto SendDataLoop  
endif  
RETURN
```



## ภาคผนวก ก

โปรแกรมแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าออกโดยใช้โปรแกรม VISUAL BASIC

```
Dim mycount As Integer
```

```
Dim myRnd As Integer
```

```
Dim myDutyShow As Integer
```

```
Dim myDuty As Double
```

```
Dim myA2D As Integer
```

```
Dim myVolt As Double
```

```
Dim sample As Integer
```

```
Sub my_init()
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command3_Click()
```

```
Text6.Text = ""
```

```
mycount = 1
```

```
MSComm1.Output = "0"
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command6_Click()
```

```
mycount = sample
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
Call my_init
```

```
MSComm1.PortOpen = True
```

```
MSComm1.RThreshold = 1
```

```
End Sub
```

## ประวัติผู้เขียนโครงการ



ชื่อ นายทองสุข กิจสุขุม

ภูมิลำเนา 141 หมู่ 2 ต.ทุ่งรวงทอง อ.จุน จ.พะเยา

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนจุนวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : k\_thongsook999@hotmail.com



ชื่อ นายนครินทร์ ไชยวรรณ

ภูมิลำเนา 264/60 หมู่ 13 ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนขอนแก่นวิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : ko\_chaiwan@thaimail.com



ชื่อ นายอนุสรณ์ ตูลาทอง

ภูมิลำเนา 98 หมู่ 7 ต.วังมหากร อ.ท่าตะโก จ.นครสวรรค์

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนโพธิสารศึกษา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : asd\_2424@hotmail.com