



การพัฒนาตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง

## DEVELOPMENT OF A BI-DIRECTIONAL DC CONVERTER



นายอิศรา ปลาคำ รหัส 49362581

นายรัชพล เจริญคำ รหัส 49364103

ชื่อและนามสกุลผู้สวกรรรมศาสตร์
วันที่รับ.....ปี 11 ส.ค. 2555
เลขทะเบียน.....15733066
เลขเรียกหนังสือ.....ฟร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๓7๕๖ ๑

2๕๕2

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552



ชื่อหัวข้อโครงการงาน	การพัฒนาตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง		
ผู้ดำเนินโครงการงาน	นายอิสรา ปลาคำ	รหัส	49362581
	นายรัชพล เจริญคำ	รหัส	49364103
ที่ปรึกษาโครงการงาน	ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า		
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์		
ปีการศึกษา	2552		

### บทคัดย่อ

ปริญญาโทฉบับนี้นำเสนอโครงการงานเกี่ยวกับการออกแบบ และสร้างตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงที่ยอมให้กำลังไฟฟ้าไหลผ่านได้ทั้งสองทิศทาง ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงโดยทั่วไปมีการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าได้ในทิศทางเดียว นั่นคือลักษณะของวงจรจะกำหนดอย่างชัดเจนว่าด้านใดของวงจรเป็นด้านเข้า (ด้านอินพุต) และด้านใดเป็นด้านออก (หรือเอาต์พุต) อย่างไรก็ตาม ในการนำตัวแปลงผันกำลังไปใช้งานกับอุปกรณ์ที่สามารถทำหน้าที่ได้ทั้งแหล่งกำเนิดและโหลด เช่น แบตเตอรี่แบบตะกั่ว ซึ่งสามารถอัดและคายประจุได้ ตัวแปลงผันกำลังที่ใช้จำเป็นต้องยอมให้กำลังไฟฟ้าไหลผ่านได้ทั้งสองทิศทาง ในโครงการงานนี้จึงได้พัฒนา “ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง” ขึ้นมาจากโครงสร้างของตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงแบบพื้นฐานสองชนิด นั่นคือ วงจรทอนระดับแรงดัน และวงจรทบระดับแรงดัน ในการดำเนินโครงการงานได้มีการเขียนโปรแกรมใน MATLAB เพื่อวิเคราะห์ผลตอบสนองชั่วคราวและผลตอบสนองในสถานะอยู่ตัวของวงจรทั้งสองเพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง หลังจากนั้นได้นำตัวแปลงผันฯ ที่สร้างขึ้นไปทดสอบกับแบตเตอรี่แบบตะกั่ว ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเราสามารถควบคุมทิศการไหลของกำลังไฟฟ้าได้ทั้งสองทิศทางด้วยการควบคุมการทำงานของสวิทช์ในตัวแปลงผันฯ ที่สร้างขึ้น

**Project title**            Development of a Bi-directional DC Converter

**Name**                    Mr. Aisara       Plakhum       ID. 49362581

                                 Mr. Thouchapol Jareonkam    ID. 49364103

**Project advisor**        Mr. Niphat Jantharamin, Ph.D.

**Major**                    Electrical Engineering

**Department**            Electrical and Computer Engineering

**Academic year**         2009

---

### Abstract

This thesis presents a project that deals with design and construction of a DC power converter which allows power flow in both directions. In general, DC power converters transfer power in one direction: their topologies dictate input and output terminals. When applied to a device that can be a power source as well as a load, such as a lead-acid battery which can discharge and can be recharged, a converter allowing bi-directional flow of power is needed. In this project a bi-directional DC power converter was developed from the two well-known topologies, i.e. step-down and step-up converters. Hereby, simulation of transient and steady-state responses of the two aforementioned converters was carried out in MATLAB. Subsequently, the developed bi-directional converter was tested with a lead-acid battery. The testing result showed that the converter allowed the power flow in both directions corresponding to control of the converter switches.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก ดร. นิพัทธ์ จันทรมินทร์ ที่สละเวลาอันมีค่ารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และให้ความกรุณาในการตรวจทานปริญญาานิพนธ์ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงและขอระลึกถึงความกรุณาของท่านไว้ตลอดไป

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดร. สุภวรรณ พลพิทักษ์ชัย และ ดร. แททริยา สุวรรณศรีที่ได้สละเวลารับเป็นกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์ และให้คำชี้แนะเพิ่มเติมอันเป็นประโยชน์ในการแก้ไขปรับปรุงปริญญาานิพนธ์นี้จนเสร็จสมบูรณ์

นอกจากนี้ยังต้องขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ที่ให้ยืมอุปกรณ์และเครื่องมือวัดมาใช้งาน ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้

เหนือสิ่งอื่นใด คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ผู้มอบความรักความเมตตา สติปัญญา รวมทั้งเป็นผู้ให้ทุกสิ่งทุกอย่างตั้งแต่วัยเยาว์จวบจนถึงปัจจุบัน คอยเป็นกำลังใจทำให้ได้รับความสำเร็จอย่างทุกวันนี้ และขอขอบคุณทุกคนในครอบครัวของคณะผู้จัดทำที่ไม่ได้กล่าวไว้ ณ ที่นี้ด้วย

หากปริญญาานิพนธ์เล่มนี้จะก่อให้เกิดคุณประโยชน์อยู่บ้าง คุณงามความดีทั้งหมด คณะผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น แต่หากมีข้อบกพร่องประการใด คณะผู้จัดทำขออภัยไว้แต่เพียงผู้เดียว

นายอิสรา ปลาคำ

นายรัชพล เจริญคำ

# สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....ก	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ค	ค
กิตติกรรมประกาศ.....ง	ง
สารบัญ.....จ	จ
สารบัญตาราง.....ช	ช
สารบัญรูป.....ฉ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ..... 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ..... 1	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ..... 1	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ..... 2	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินงาน..... 2	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ..... 2	2
1.6 งบประมาณที่ใช้..... 3	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 4	4
2.1 ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง..... 4	4
2.2 วงจรทอนระดับแรงดัน..... 5	5
2.2.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน..... 5	5
2.2.2 หลักการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน..... 6	6
2.2.3 การหาค่าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าของวงจรทอนระดับแรงดัน..... 8	8
2.2.4 ค่าความพลีวของแรงดันด้านออก..... 9	9
2.2.5 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดในวงจรทอนระดับแรงดัน..... 12	12
2.3 วงจรทอนระดับแรงดัน..... 15	15
2.3.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน..... 15	15
2.3.2 หลักการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน..... 16	16
2.3.4 การหาค่าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าของวงจรทอนระดับแรงดัน..... 18	18

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.5 การหาค่าความเหนียวนำที่น้อยที่สุดของวงจรถอบระดับแรงดัน.....	23
2.4 ไอซีหมายเลข 555.....	24
2.4.1 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของวงจรถอบในไอซีหมายเลข 555.....	26
<b>บทที่ 3 การสร้างวงจรถอบการทำงาน.....</b>	<b>28</b>
3.1 การจำลองแบบวงจรถอบระดับแรงดันและวงจรถอบระดับแรงดัน.....	28
3.1.1 การจำลองแบบวงจรถอบระดับแรงดัน.....	28
3.1.2 การจำลองแบบวงจรถอบระดับแรงดัน.....	32
3.2 การสร้างวงจรถอบระดับแรงดัน.....	36
3.2.1 ขั้นตอนการสร้างวงจรถอบ.....	36
3.2.3 การทดสอบการทำงานของวงจรถอบ.....	37
3.3 การสร้างวงจรถอบระดับแรงดัน.....	40
3.3.1 ขั้นตอนการสร้างวงจรถอบ.....	40
3.3.2 การทดสอบการทำงานของวงจรถอบ.....	40
3.4 การสร้างตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง.....	46
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง.....</b>	<b>50</b>
4.1 การทดสอบตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง.....	50
4.2 การทดสอบควบคุมการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ จากตัวแปลงผันกระแสตรงสองทิศทาง.....	53
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>56</b>
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ.....	56
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข.....	57
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป.....	57
เอกสารอ้างอิง.....	58

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ก ตารางข้อมูลของอุปกรณ์ในวงจร.....	59
ภาคผนวก ข รหัสต้นฉบับที่ใช้ในโปรแกรม MATLAB.....	71
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	76





## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	อัตราขยายแรงดันไฟฟ้าของวงจรทระดับแรงดันเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่า D.....21
2.2	ตารางแสดงค่าของแนค้เกด.....26
2.3	ตารางแสดงค่าของวงจรฟลิปฟลอป.....26
3.1	ตารางเปรียบเทียบค่าแรงดันด้านออก กระแสด้านเข้า และกระแสด้านออกที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากทฤษฎีของวงจรทระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 20 V....37
3.2	ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังด้านเข้าและด้านออกของทฤษฎี และการทดลองกำหนดค่าคิวดีไซเกิดตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.7 ของวงจรทระดับแรงดันที่แรงดันด้านเข้า 20 V.....39
3.3	ตารางเปรียบเทียบค่าแรงดันด้านออก กระแสด้านเข้า และกระแสด้านออกที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากทฤษฎีของวงจรทระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 10 V.....41
3.4	ตารางเปรียบเทียบค่าแรงดันด้านออก กระแสด้านเข้า และกระแสด้านออกที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากทฤษฎีของวงจรทระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 12 V.....42
3.5	ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังด้านเข้าและด้านออกของทฤษฎี และการทดลองกำหนดค่าคิวดีไซเกิดตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.7 ของวงจรทระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 10 V.....44
3.6	ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังด้านเข้าและด้านออกของทฤษฎี และการทดลองกำหนดค่าคิวดีไซเกิดตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.7 ของวงจรทระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 12 V.....45

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 วงจรทอนระดับแรงดัน.....	5
2.2 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส.....	7
2.3 วงจรสมมูลขณะสวิตช์ไม่นำกระแส.....	8
2.4 รูปคลื่นการทำงานของวงจร.....	10
2.5 รูปคลื่นการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน.....	13
2.6 วงจรทอระดับแรงดัน.....	15
2.7 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส.....	16
2.8 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส.....	17
2.9 รูปคลื่นการทำงานของวงจรทอระดับแรงดัน.....	19
2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันไฟฟ้ากับค่า D.....	21
2.11 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ.....	22
2.12 ไอซีหมายเลข 555.....	25
2.13 วงจรภายในของวงจร ไอซีหมายเลข 555.....	25
3.1 ผังงานแสดงการทำงานของโปรแกรมของวงจรทอนระดับแรงดัน.....	29
3.2 ผลตอบสนองของแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน.....	31
3.3 ผลตอบสนองของกระแสตัวเหนี่ยวนำของวงจรทอนระดับแรงดัน.....	32
3.4 ผังงานแสดงการทำงานของโปรแกรมของวงจรทอระดับแรงดัน.....	33
3.5 ผลตอบสนองของแรงดันด้านออกของวงจรทอระดับแรงดัน.....	35
3.6 ผลตอบสนองของกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำของวงจรทอระดับแรงดัน.....	36
3.7 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 20 V.....	38
3.8 กราฟค่าประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 20 V.....	39
3.9 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรทอระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 10 V.....	42
3.10 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรทอระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 12 V.....	43
3.11 กราฟค่าประสิทธิภาพของวงจรทอระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 10 V.....	44
3.12 กราฟค่าประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 20 V.....	45
3.13 แผนภาพตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง.....	46
3.14 แผนภาพวงจรขับมอสเฟต.....	48
3.15 ชุดตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง.....	49

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.16 ชุดวงจรขับมอสเฟต.....	49
4.1 กราฟแรงดันค่านอกของตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง ขณะทำการทอนระดับแรงดัน ที่แรงดันค่านเข้า 20 V.....	51
4.2 กราฟแรงดันค่านอกของตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง ขณะทำการทบระดับแรงดัน ที่แรงดันค่านเข้า 12 V.....	52
4.3 กราฟแรงดันค่านอกของตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง ขณะทำการทบระดับแรงดัน ที่แรงดันค่านเข้า 10 V.....	53
4.4 การเปลี่ยนแปลงของกระแสเบตเตอร์ ขณะทำการทดสอบการอัดและคายประจุ.....	54
4.5 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันเบตเตอร์ ขณะทำการทดสอบการอัดและคายประจุ.....	55



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมีการใช้งานส่วนใหญ่ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และใช้ในการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ ซึ่งตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงเป็นกระแสตรง (Dc-dc converters) ทั่วไปมีข้อจำกัดในการทำงาน คือไม่สามารถทำให้กำลังไฟฟ้าไหลผ่านได้ทั้งสองทิศทาง ซึ่งในการนำมาใช้กับแบตเตอรี่ที่ต้องมีทั้งการทำงานในการอัดประจุของแบตเตอรี่ และการทำงานในการคายประจุเพื่อเป็นแหล่งจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดอื่นตามแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการ ซึ่งแนวทางในการแก้ไขปัญหาคือการสร้างตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงที่ยอมให้กำลังไฟฟ้าไหลผ่านได้ทั้งสองทิศทาง (Bi-directional dc-dc converter)

หลักการในการสร้างตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง ใช้หลักการเบื้องต้นของวงจรทอนระดับแรงดัน และวงจรทอนระดับแรงดัน ในช่วงการอัดประจุของแบตเตอรี่จะใช้วงจรทอนระดับแรงดันในการทำงาน และในช่วงการคายประจุของแบตเตอรี่เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายให้กับโหลดจะใช้วงจรทอนระดับแรงดันในการทำงาน ซึ่งวงจรทอนระดับแรงดัน และวงจรทอนระดับแรงดันจะถูกควบคุมให้จ่ายกำลังไฟฟ้าตามความต้องการของ โหลดได้โดยอาศัยสัญญาณสัญญาณพีดีดับเบิลยูเอ็ม (Pulse-width modulation, PWM) ควบคุมการนำกระแสและไม่นำกระแสของสวิตช์กำลัง

โครงการนี้จึงทำการสร้างตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงซึ่งยอมให้กำลังไฟฟ้าไหลผ่านได้ทั้งสองทิศทาง จากการนำวงจรทอนระดับแรง และวงจรทอนระดับแรงดันมาประยุกต์ใช้ร่วมกัน เพื่อให้ใช้งาน ได้กับแบตเตอรี่

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

ออกแบบและสร้างตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงซึ่งยอมให้กำลังไฟฟ้าไหลผ่านได้ทั้งสองทิศทาง เพื่อใช้ควบคุมการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) สร้างตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงที่ยอมให้กำลังไฟฟ้าไหลผ่านได้ทั้งสองทิศทาง
- 2) นำวงจรที่สร้างขึ้นไปทดสอบ โดยนำไปใช้ควบคุมการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่

### 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	ปี 2553			
	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย
1) ศึกษาการทำงานและออกแบบวงจรทอนระดับแรงดันและวงจรทอนระดับแรงดัน				
2) ศึกษาการทำงานและออกแบบวงจรขับมอเตอร์				
2) จัดทำชิ้นงาน				
3) ทดสอบและปรับปรุงชิ้นงาน				
4) สรุปผลการดำเนินงาน				
5) รวบรวมข้อมูลและจัดทำปฏิญานินพนธ์				

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

วงจรที่สร้างขึ้นนั้นสามารถให้กำลังไฟฟ้าไหลผ่านได้ทั้งสองทิศทาง จึงสามารถนำไปใช้ควบคุมการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ได้ ซึ่งหลักการดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ได้ เช่น ในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (Photovoltaic systems) และแหล่งจ่ายพลังงานต่อเนื่อง (Uninterruptible power supply) เป็นต้น

## 1.6 งบประมาณที่ใช้

1) ค่าอุปกรณ์ในวงจรจับมอสเฟต	160 บาท
2) ค่าอุปกรณ์ในตัวแปลงคั่นกำลังฯ	200 บาท
3) ค่าถ่ายเอกสารและจัดทำรูปเล่มปริญญาบัตร	1,000 บาท
รวมเป็นเงิน (หนึ่งพันสามร้อยหกสิบบาทถ้วน)	<u>1,360 บาท</u>

หมายเหตุ: เฉลี่ยทุกรายการ



## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในปัจจุบัน ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงเป็นกระแสตรง กำลังเป็นที่นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรม วงจรอิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์อย่างแพร่หลาย แต่ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงเป็นกระแสตรงแบบพื้นฐาน เช่น วงจรทอนระดับแรงดัน วงจรทบระดับแรงดัน เป็นต้น นั้นทำให้กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นไหลไปในทิศทางเดียว ซึ่งยังไม่สามารถนำไปใช้ควบคุมการทำงานในการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ ซึ่งจำเป็นต้องใช้วงจรควบคุมที่ยอมให้กระแสไหลผ่านได้ทั้งสองทิศทาง จึงได้มีการประยุกต์ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงเป็นกระแสตรงเหล่านี้ ให้กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถไหลได้สองทิศทาง ซึ่งเรียกว่าตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง

ในโครงการนี้ได้สนใจที่จะศึกษาการทำงาน การวิเคราะห์ผลตอบสนอง ของตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง ซึ่งมีหลักการพื้นฐานมาจากวงจรทอนระดับแรงดัน และวงจรทบระดับแรงดัน และการทดสอบการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่

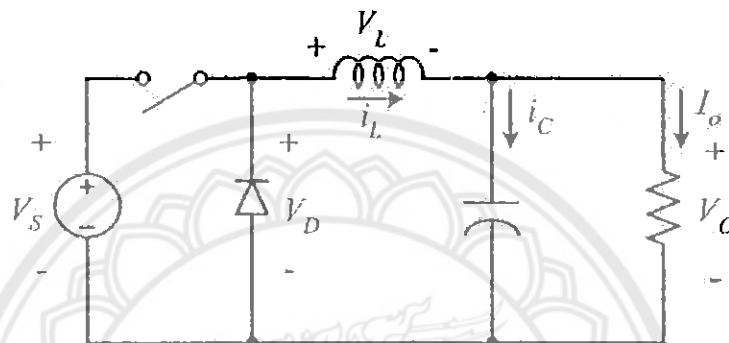
#### 2.1 ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง

ในโครงการนี้ได้ทำการเลือกตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงเป็นกระแสตรงสองวงจร คือ วงจรทอนระดับแรงดัน และวงจรทบระดับแรงดัน ซึ่งข้อดีของวงจรมีคือ วงจรทั้งสองชนิดนี้ ประกอบขึ้นจาก สวิตช์กำลัง (Power switch) ไดโอดกำลัง (Power diode) ตัวเหนี่ยวนำ ตัวเก็บประจุ และตัวต้านทาน ซึ่งเป็นอุปกรณ์พื้นฐานทางไฟฟ้า และสามารถหาซื้อได้ง่าย ตัววงจรไม่ยุ่งยากซับซ้อน และสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ดี

ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทางที่สร้างขึ้น ถูกนำไปใช้ควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่โดยวงจรจะทำงานในสองโหมดคือ โหมดการอัดประจุ (Charging mode) ซึ่งวงจรจะทำงานเป็นวงจรทอนระดับแรงดัน และโหมดการคายประจุ (Discharging mode) ซึ่งวงจรจะทำงานเป็นวงจรทบระดับแรงดัน

## 2.2 วงจรทอนระดับแรงดัน

วงจรทอนระดับแรงดัน คือ วงจรที่ทำให้ระดับแรงดันด้านออกมีค่าต่ำกว่าแรงดันด้านเข้า และเพื่อให้ได้แรงดันด้านออกที่มีความเป็นกระแสดตรงมาก ๆ จะนิยมใช้วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low pass filter) ซึ่งโดยมากจะเลือกใช้วงจรกรองแบบ LC เพราะอัตราการลดทอนสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการ ผกผันกับกำลังสองของความถี่ แสดงวงจร ได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 วงจรทอนระดับแรงดัน [1]

### 2.2.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน

การวิเคราะห์การทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน ในช่วงที่เป็นสถานะอยู่ตัว (Steady state) จะมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดันดังนี้

ก. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากัน

$$i_L(t+t) = i_L(t) \quad (2.3)$$

หมายถึงกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากัน ณ ตำแหน่งเดียวกันทุกคาบเวลา

ข. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์

$$V_L = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(\lambda) d\lambda = 0 \quad (2.4)$$



หมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลา (Volt-second) ในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับศูนย์

ค. กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากับศูนย์

$$I_c = \frac{1}{T} \int_i^{i+T} i_c(t) dt = 0 \quad (2.5)$$

หมายถึงประจุที่ถูกอัดและคายของตัวเก็บประจุในแต่ละคาบเวลาจะต้องเท่ากัน

ง. กำลังด้านเข้าเท่ากับกำลังด้านออก

$$P_s = P_o \quad (2.6)$$

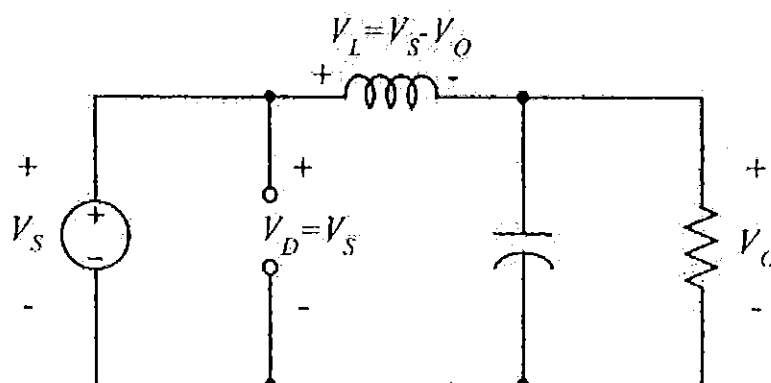
กรณีนี้กำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ทำให้ไม่มีการสูญเสียเนื่องจากการทำงานของวงจร ประสิทธิภาพของวงจรจึงเท่ากับ 100%

### 2.2.2 หลักการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน

หลักการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน เพื่อที่จะออกแบบให้ได้แรงดันด้านออกตามที่ต้องการ คือ ต้องเริ่มจากเงื่อนไขที่ว่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบมีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นจะสามารถคำนวณหาอัตราขยายแรงดันของวงจรได้ดังสมการที่ (2.10)

การวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมดจะต้องวิเคราะห์ในสถานะอยู่ตัวดังนี้

ขณะสวิตช์นำกระแส กระแสไฟฟ้าที่ไหลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจะไหลผ่านสวิตช์ผ่านตัวเหนี่ยวนำไปยังโหลด โดยที่กระแสไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะไปเก็บอยู่ที่ตัวเก็บประจุ แสดงวงจรดังรูปที่ 2.2 จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์สำหรับแรงดันไฟฟ้า สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส [1]

$$-V_s + v_L + V_o = 0 \quad (2.7)$$

$$v_L = V_s - V_o$$

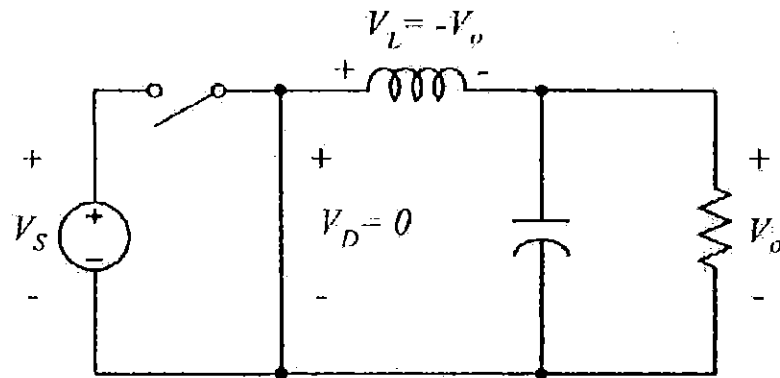
$$v_L = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.8)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s - V_o}{L} \quad (2.9)$$

$dt$  ในกรณีอยู่ในช่วงเวลานำกระแส คือ  $dt = DT$

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

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส ไดโอดจะถูกไบแอสไปหน้า (Forward bias) ให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเกิดการไหลอย่างต่อเนื่องแสดงได้ดังรูปที่ 2.3 จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์ จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าดังนี้



รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลขณะสวิตช์ไม่นำกระแส [1]

$$v_L = -v_o \quad (2.11)$$

$$v_L = -V_o = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.12)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{di_{L,off}}{\Delta t} = \frac{-V_o}{L} \quad (2.13)$$

ความหมายของสมการที่ (2.13) คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำจะค่อย ๆ มีค่าลดลง เพราะการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำต่อเวลามีค่าเป็นลบ

$dt$  ในกรณีอยู่ในช่วงเวลาหยุดนำกระแส คือ  $dt = (1-D)T$  ดังนั้นจากสมการที่ (2.13) สามารถจัดรูปใหม่ได้เป็น

$$\Delta i_{L,off} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T \quad (2.14)$$

### 2.2.3 การหาค่าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าของวงจรทอนระดับแรงดัน

จากเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ในสมการที่ (2.3) กล่าวคือ ในช่วงสถานะอยู่ตัวจะพบว่า การเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำขณะที่สวิตช์นำกระแสทำกับการเปลี่ยนแปลงที่ลดลงของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านตัวเหนี่ยวนำในขณะที่สวิตช์ไม่นำกระแส หรืออาจจะกล่าวได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจากสมการที่ (2.10) และ (2.14) จะได้ว่า

$$\Delta i_{L,on} = \Delta i_{L,off} = 0 \quad (2.15)$$

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

$$\left(\frac{V_s - V_o}{L}\right)DT - \left(\frac{V_o}{L}\right)(1-D)T = 0$$

$$(V_s - V_o)D - V_o(1-D) = 0$$

$$V_s D - V_o D + V_o D = 0$$

$$\frac{V_o}{V_s} = D \quad (2.17)$$

จากสมการที่ (2.17) จะพบว่าในสมการอัตราขยายแรงดัน ไฟฟ้าจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 100% ตามค่า  $D$  วงจรทอนระดับแรงดันเป็นวงจรที่ทำให้แรงดันด้านออกน้อยกว่า หรือเท่ากับ แรงดันด้านเข้า ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า  $D$  โดยการปรับค่า  $D$  สามารถปรับได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1 เช่น แรงดัน ด้านเข้าเท่ากับ 100 V ซึ่งในทฤษฎีวงจรทอนระดับแรงดัน ก็จะสามารถปรับแรงดันด้านออกได้ ตั้งแต่ 0 ถึง 100 V แต่ในทางปฏิบัติจะไม่สามารถปรับได้ถึง 100 V เพราะเกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม สวิตช์ และตัวเหนี่ยวนำ

#### 2.2.4 ค่าความพลีวของแรงดันด้านออก

โดยปกติวงจรกรองความถี่ที่อยู่ในวงจรทอนระดับแรงดันจะมีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่เพื่อจะรักษาแรงดันด้านออกมีค่าคงที่ แต่ในทางปฏิบัติจะเลือกขนาดตัวเก็บประจุที่ขนาดใหญ่ มาก ๆ ไม่ได้ เนื่องจากมีราคาแพง และต้องใช้พื้นที่มากในการติดตั้ง ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ขนาดที่ เหมาะสม และทำให้ค่าความพลีวของแรงดันด้านออกมีค่าที่ยอมรับได้ สามารถหาได้จาก ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของตัวเก็บประจุ ดังรูปที่ 2.4 เมื่อกระแสไฟฟ้าที่ ไหลผ่านตัวเก็บประจุมีค่าเป็นบวก ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวตัวเก็บประจุสะสมประจุโดยคำนวณจาก

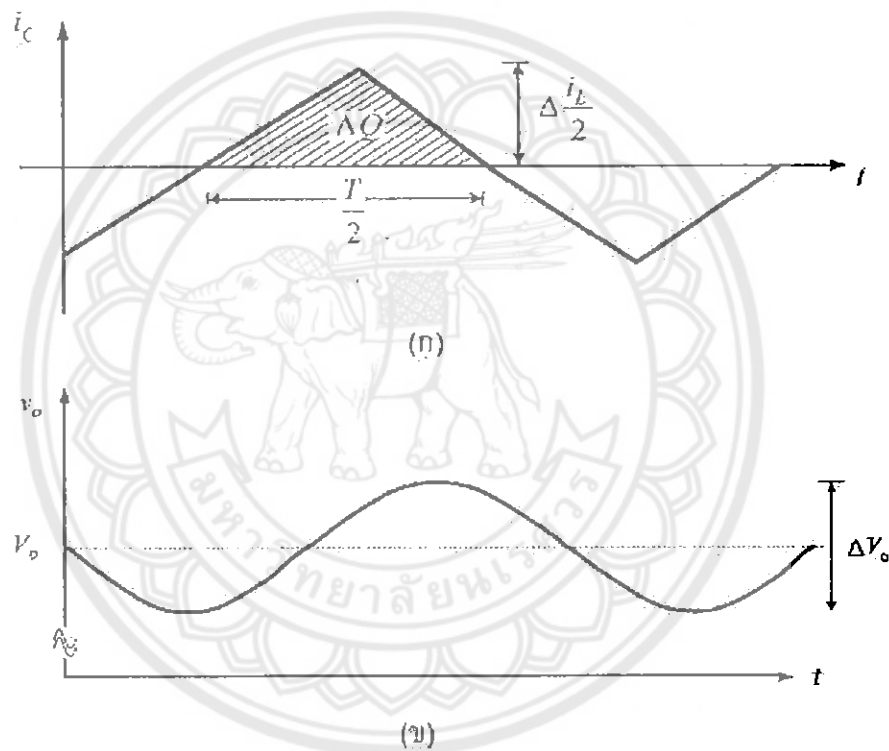
$$Q = CV_0 \quad (2.18)$$

$$\Delta Q = C\Delta V_0$$

$$\Delta V_0 = \frac{\Delta Q}{C} \quad (2.19)$$

โดยที่  $\Delta Q$  คือ ปริมาณประจุที่ไหลเข้าในตัวเก็บประจุใน 1 คาบสวิตซิง (C)

$\Delta V_0$  คือ ค่ายอดถึงยอดของการเปลี่ยนแปลงแรงดันด้านออก (V)



รูปที่ 2.4 รูปคลื่นการทำงานของวงจร

(ก) กระแสไฟฟ้าในตัวของเก็บประจุ (ข) ค่าความพลิวของแรงดันด้านออก [1]

จากรูปที่ 2.4(ก) สามารถหา  $\Delta Q$  ได้จากการหาพื้นที่สามเหลี่ยม

$$\Delta Q = \frac{1}{2} \left( \frac{T}{2} \right) \left( \frac{\Delta i_L}{2} \right) = \frac{T \Delta i_L}{8} \quad (2.20)$$

นำสมการที่ (2.20) แทนลงในสมการที่ (2.19) จะได้

$$\Delta V_0 = \frac{T \Delta i_L}{8C} \quad (2.21)$$

แทนค่า  $\Delta i_{L,off} = -\left(\frac{V_0}{L}\right) (1-D)T$  โดยพิจารณาเฉพาะขนาดลงในสมการที่ (2.21)

$$\Delta V_0 = \frac{T}{8C} \frac{V_0}{L} (1-D)T \quad (2.22)$$

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{T}{8C} \frac{1}{L} (1-D)T$$

$$\Delta V_0 = \frac{T^2}{8C} \frac{1}{L} (1-D) \quad (2.23)$$

ดังนั้น จะได้ว่า

$$\frac{\Delta V_0}{V_0} = \frac{1-D}{8CLf^2} \quad (2.24)$$

สมการที่ (2.24) เรียกว่า ค่าความพลัว มักใช้แสดงเป็นอัตราส่วนของความพลัวแรงดันด้านออกระหว่างขอดถึงขอดกับค่าแรงดันด้านออก หากต้องการทำให้ความพลัวของแรงดันไฟฟ้ามีค่าน้อยลง สามารถทำได้โดยการพยายามทำให้ค่า  $D$  มีค่าเข้าใกล้ 1 หรืออาจจะเพิ่มค่าตัวเหนี่ยวนำตัวเก็บประจุ หรือความถี่สวิตชิงให้มากขึ้น [1]

ประเด็นที่น่าสนใจอีกอย่างหนึ่ง คือกำลังไฟฟ้าที่จ่ายจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลังจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับ เงื่อนไขคือกำหนดให้ไม่มีการสูญเสียเนื่องจากการทำงานจะได้ว่า

$$P_s = P_o$$

โดยที่  $P_s$  คือ กำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง

$P_o$  คือ กำลังไฟฟ้าที่โหลด

$$\text{จะได้} \quad V_s I_s = V_o I_o \quad (2.25)$$

จากสมการที่ (2.25) จะเห็นความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าเหมือนกับกรณีหม้อแปลงไฟฟ้า จึงอาจกล่าวได้ว่า วงจรทอนระดับแรงดันมีวงจรสมมูลเปรียบได้กับหม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง

### 2.2.5 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดในวงจรทอนระดับแรงดัน

การหาค่าความเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดที่จะทำให้วงจรทอนระดับแรงดันทำงานในโหมดการนำกระแสแบบต่อเนื่อง (Continuous conduction mode, CCM) โดยเริ่มต้นจากการหาค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำซึ่งจะเท่ากับกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลด เนื่องจากขณะที่อยู่ในสถานะอยู่ตัว กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้นจะได้

$$I_L = I_o = \frac{V_o}{R} \quad (2.26)$$

จากรูปที่ 2.5 จะสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุดได้จากสมการในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแส ดังนี้

$$I_{L,\max} = I_L + \frac{\Delta i_L}{2} \quad (2.27)$$

หรือเขียนสมการให้ง่ายขึ้น ได้ดังนี้

$$I_{L,\max} = V_o \left[ \frac{1}{R} + \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.28)$$

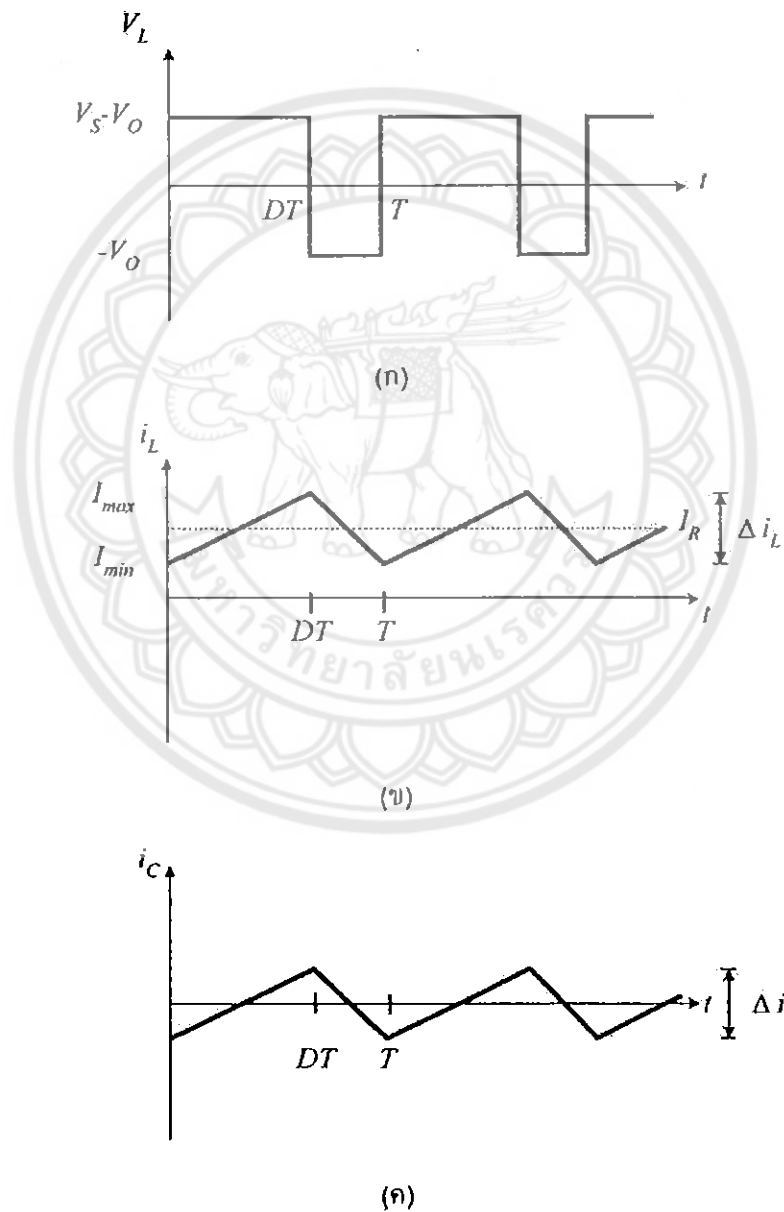
ดังนั้นกระแสไฟฟ้าของตัวเหนี่ยวนำต่ำสุด คือ

$$I_{L,\min} = I_L - \frac{\Delta i_L}{2}$$

$$I_{L,\min} = \frac{V_0}{R} - \frac{1}{2} \left[ \frac{V_0}{L} (1-D)T \right] \quad (2.29)$$

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

$$I_{L,\min} = V_0 \left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] \quad (2.30)$$



รูปที่ 2.5 รูปคลื่นการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน (ก) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ  
(ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ (ค) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ [1]



เงื่อนไขที่สำคัญสำหรับการทำงานในโหมดกระแสนำแบบต่อเนื่อง คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำต้องมีค่าเป็นบวกเสมอ สมการที่ (2.30) สามารถนำมาใช้หาค่าความเหนี่ยวนำและความถี่สวิตชิง และหาก  $I_{L,\min}$  เท่ากับศูนย์พอดี ก็เป็นช่วงต่อระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง

$$I_{L,\min} = V_0 \left[ \frac{1}{R} - \frac{(1-D)}{2Lf} \right] = 0 \quad (2.31)$$

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

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

ดังนั้นจะได้ว่า

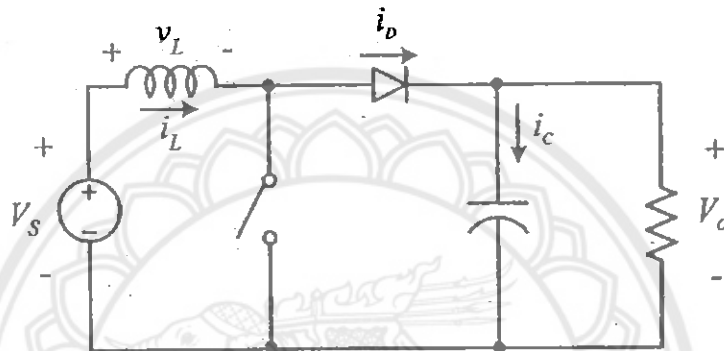
$$L_{\min} = \frac{(1-D)R}{2Lf} \quad (2.32)$$

$$f = \frac{(1-D)R}{2L_{\min}} \quad (2.33)$$

สมการที่ (2.31) ใช้ในการหาค่าความเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดที่ทำให้วงจรยังสามารถทำงานในโหมดกระแสแบบต่อเนื่อง ซึ่งจะได้ค่าความเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดดังสมการที่ (2.32) ดังนั้นหากต้องการจะออกแบบให้ได้ค่าความเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุด โดยที่วงจรยังทำงานในโหมดกระแสแบบต่อเนื่อง ก็จะสามารถเลือกออกแบบได้สองแนวทางคือ กรณีที่หนึ่งการพยายามทำให้เศษในสมการที่ (2.32) มีค่าน้อยที่สุดโดยการทำให้ค่า  $D$  มีค่าเข้าใกล้หนึ่ง ทำให้โหลดความต้านทานมีค่าน้อย ๆ แต่ผลกระทบที่เกิดขึ้นคือ กระแสไฟฟ้าของโหลดจะมีค่าสูง ส่วนอีกกรณีหนึ่งพยายามทำให้ค่าส่วนที่ต้องการในสมการที่ (2.32) มีค่ามาก ๆ เช่น ความถี่สวิตชิงเพิ่มขึ้นจาก 50 kHz เป็น 100 kHz ก็จะทำให้ขนาดของตัวเหนี่ยวนำที่ออกแบบเล็กลงสองเท่าได้เช่นกัน ส่วนสมการที่ (2.33) ใช้สำหรับการพิจารณาหาความถี่สวิตชิงที่เหมาะสม เมื่อมีการกำหนดค่าของตัวเหนี่ยวนำไว้ก่อนแล้ว

## 2.3 วงจรทระดับแรงดัน

วงจรทระดับแรงดัน เป็นตัวแปลงกำลังที่ทำหน้าที่เพิ่มระดับแรงดันด้านออกให้สูงกว่าแรงดันด้านเข้าวงจรดังรูปที่ 2.6 กำหนดให้  $V_s$  คือ แรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย,  $v_L$  คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ,  $i_L$  คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ,  $i_D$  คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด,  $i_C$  คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ และ  $V_o$  คือ แรงดันด้านออก



รูปที่ 2.6 วงจรทระดับแรงดัน [1]

### 2.3.1 เงื่อนไขการทำงานของวงจรทระดับแรงดัน

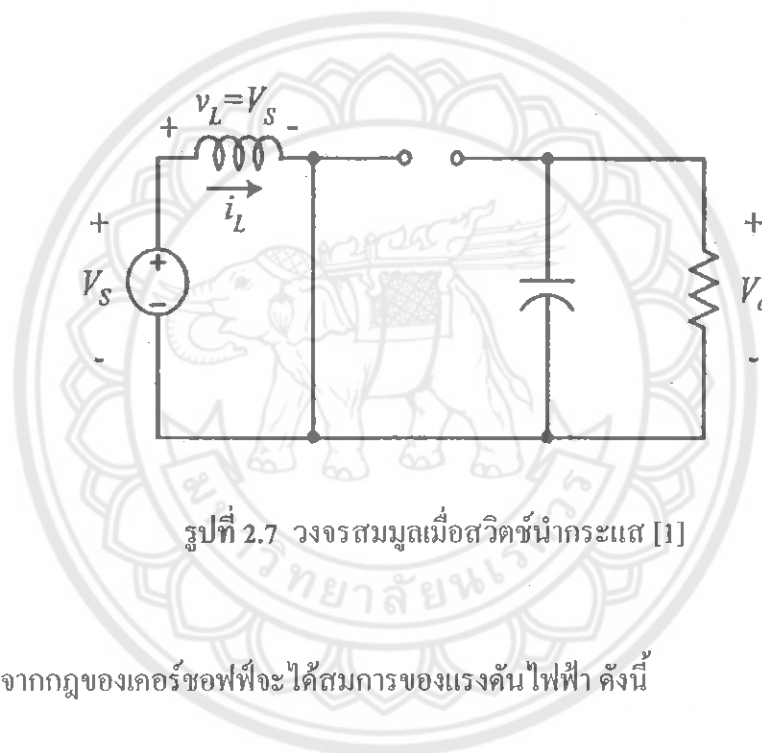
การวิเคราะห์การทำงานของวงจรทระดับแรงดันในช่วงสถานะอยู่ตัว จะมีการกำหนดเงื่อนไขการทำงานของวงจรทระดับแรงดัน เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ดังนี้

- ก. กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ( $i_L$ ) ณ ตำแหน่งเดียวกันในแต่ละคาบ จะมีค่าเท่ากัน และมีค่าเป็นบวกเสมอ
- ข. แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์ หมายถึงผลรวมของผลคูณระหว่างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำกับเวลาในแต่ละคาบจะเท่ากับศูนย์
- ค. ตัวเก็บประจุต้องมีขนาดใหญ่พอ เพื่อให้แรงดันด้านออก ( $V_o$ ) มีค่าคงที่
- ง. กำลังด้านเข้าเท่ากับกำลังด้านออก กรณีนี้ไม่คำนึงถึงการสูญเสีย เนื่องจากการทำงานของวงจร โดยกำหนดให้อุปกรณ์ทุกตัวเป็นอุดมคติ ทำให้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของวงจรเป็น 100%

### 2.3.2 หลักการทำงานของวงจรทระดับแรงดัน

หลักการทำงานของวงจรทระดับแรงดันเพื่อให้ได้แรงดันด้านออกตามที่ต้องการ จะเริ่มต้นจากข้อกำหนดที่ว่า แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำในแต่ละคาบเวลาจะมีค่าเท่ากับ ศูนย์ และสามารถหากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำได้โดยวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์ในแต่ละโหมบค ทั้งนี้การทำงานต้องอยู่ในช่วงสถานะอยู่ตัวดังนี้

ขณะสวิตช์นำกระแส เมื่อสวิตช์นำกระแส กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง จะไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ โดยผ่านสวิตช์ ขณะเดียวกัน ไดโอดจะถูกไบแอสย้อนกลับทำให้ไม่สามารถนำกระแสได้ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์นำกระแส [1]

จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้า ดังนี้

$$-V_s + V_L = 0 \quad (2.34)$$

จาก 
$$V_L = V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.35)$$

จะได้ 
$$-V_s + L \frac{di_L}{dt} = 0 \quad (2.36)$$

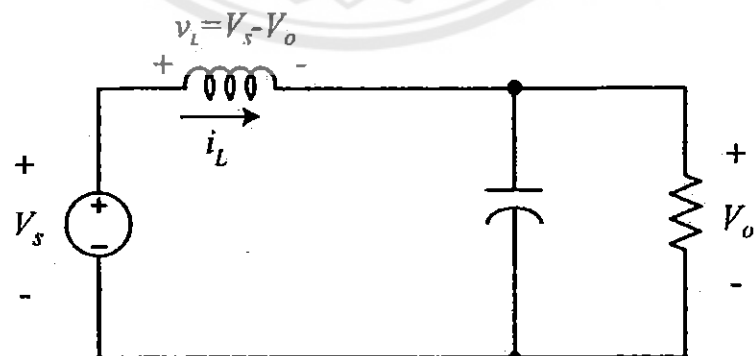
$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_s}{L}$$

ขณะที่สวิตช์นำกระแส  $dt = DT$  เมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าคงที่ อาจถือว่าการเพิ่มของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้น โดยที่ค่า  $D$  คือ ค่าดีวตี้ไซเคิล (Duty cycle) ทำให้สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned}\frac{di_{L,on}}{dt} &= \frac{V_s}{L} \\ \frac{\Delta i_{L,on}}{\Delta t} &= \frac{V_s}{L} \\ \frac{\Delta i_{L,on}}{DT} &= \frac{V_s}{L} \\ \Delta i_{L,on} &= \frac{V_s DT}{L}\end{aligned}\quad (2.37)$$

โดยที่  $\Delta i_{L,on}$  คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำขณะสวิตช์นำกระแส

ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส เมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส กระแสไฟฟ้าในตัวเหนี่ยวนำจะเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ ใดโอดจะถูกไบแอสไปข้างหน้าเพื่อให้นำกระแส ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำอย่างต่อเนื่อง สมมุติแรงดันไฟฟ้าที่ด้านออกมีค่าคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วงจรสมมูลเมื่อสวิตช์ไม่นำกระแส [1]

จากกฎของเคอร์ชอฟฟ์จะได้สมการของแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 -V_s + v_L + V_o &= 0 \\
 v_L &= V_s - V_o \\
 v_L &= L \frac{di_L}{dt} \\
 \frac{di_L}{dt} &= \frac{V_s - V_o}{L}
 \end{aligned} \tag{2.38}$$

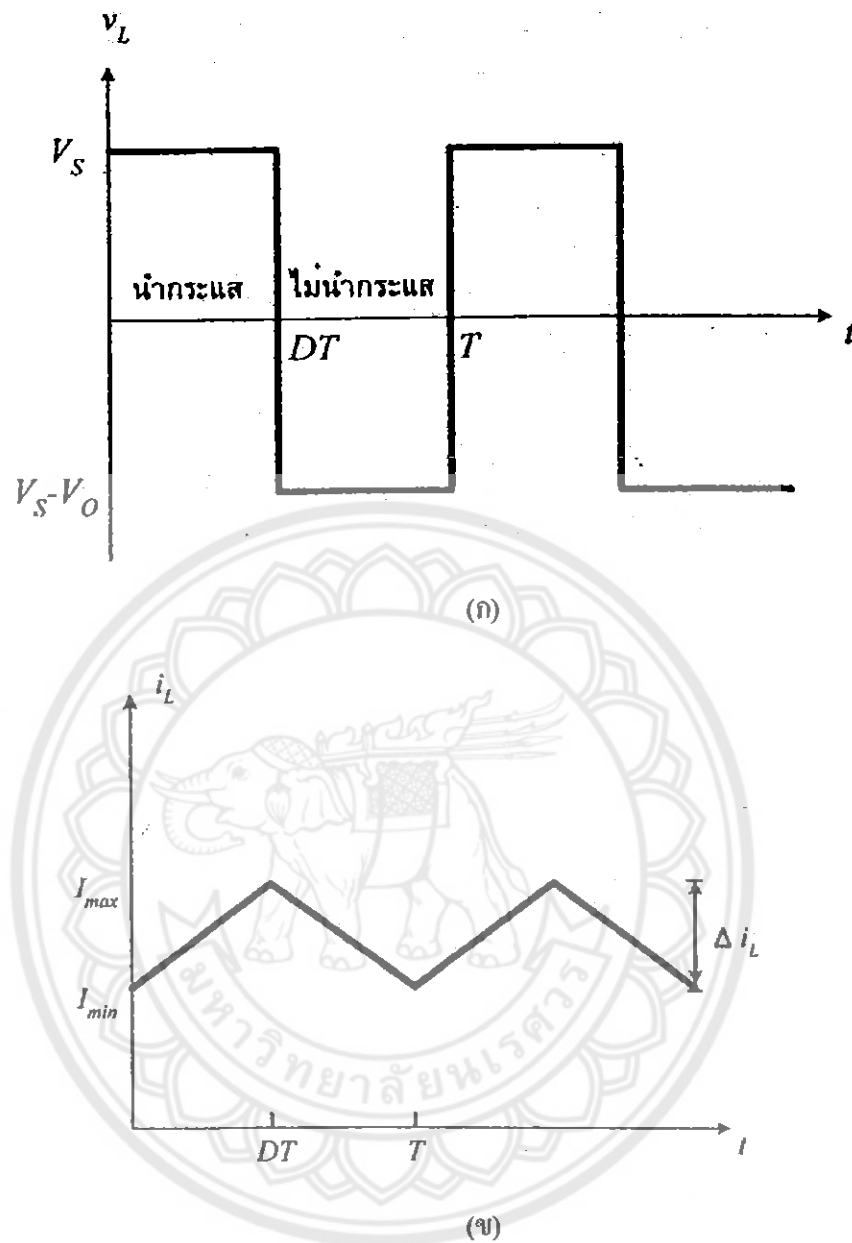
ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส  $dt = (1-D)T$  ดังแสดงในรูปที่ 2.9(ก) อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าคงที่ และจะถือว่าการลดลงของกระแสไฟฟ้าเป็นเชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 2.9(ข) สามารถคำนวณได้จาก

$$\Delta i_{L,off} = \left( \frac{V_s - V_o}{L} \right) (1-D)T \tag{2.39}$$

### 2.3.3 การหาค่าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าของวงจรทอร์คดับแรงดัน

ที่สถานะอยู่ตัว การเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสุทธิมีค่าเท่ากับศูนย์จากสมการที่ (2.37) และ (2.39) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 \Delta i_{L,on} + \Delta i_{L,off} &= 0 \\
 \left( \frac{V_s}{L} \right) DT + \frac{(V_s - V_o)(1-D)T}{L} &= 0 \\
 V_s D + (V_s - V_o)(1-D) &= 0 \\
 V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D &= 0 \\
 V_s - V_o(1-D) &= 0 \\
 \frac{V_o}{V_s} &= \frac{1}{1-D}
 \end{aligned} \tag{2.40}$$



รูปที่ 2.9 รูปคลื่นการทำงานของวงจรระดับแรงดัน (ก) แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำ  
(ข) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ [1]

จากการหาความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของแรงดันด้านออกต่อแรงดันด้านเข้าที่เรียกว่า อัตราขยายแรงดันไฟฟ้า สามารถหาได้อีกวิธีโดยใช้สมการแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตกรวมตัวเหนี่ยวนำ ในแต่ละคาบซึ่งจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และได้ผลเช่นเดียวกับสมการที่(2.40) ดังนี้

จาก 
$$V_{L,av} = v_{L,on}(t_{on}) + v_{L,off}(t_{off}) = 0$$

แทนค่า 
$$t_{on} = DT \text{ และ } t_{off} = (1-D)T$$

โดยที่ 
$$V_{L,on} = V_s$$

$$V_{L,off} = V_s - V_o$$

จะได้ 
$$V_{L,av} = (V_s)(t_{on}) + (V_s - V_o)(t_{off}) = 0$$

$$(V_s)(DT) + (V_s - V_o)(1-D)T = 0$$

$$V_s D + (V_s - V_o)(1-D) = 0$$

$$V_s D + V_s - V_s D - V_o + V_o D = 0$$

$$V_s - V_o(1-D) = 0$$

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1-D}$$

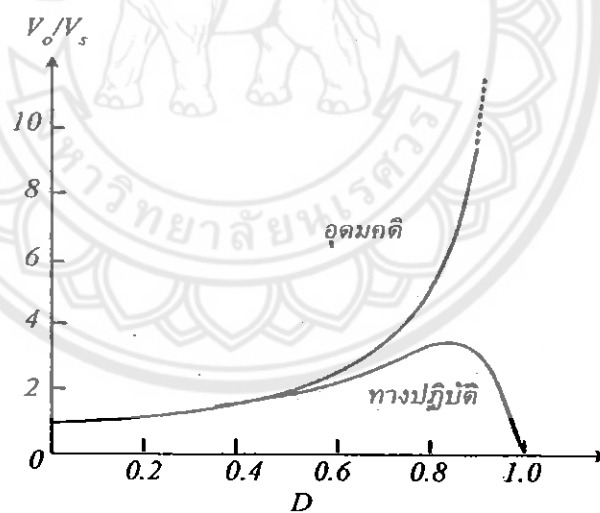
(2.41)

การได้มาซึ่งสมการอัตราส่วนของแรงดันด้านออกต่อแรงดันด้านเข้า จากสมการที่ (2.41) แท้จริงแล้วมีหลักการทำงานเดียวกัน ทำให้สามารถคำนวณค่าอัตราส่วนของแรงดันด้านออกต่อแรงดันด้านเข้าได้จากการปรับค่า  $D$  ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันของวงจรทบทระดับแรงดันกับค่าคิวดีไซ์เกิดแสดงได้ดังรูป 2.10 โดยจะเห็นว่า เมื่อค่า  $D$  เพิ่มขึ้นถ้าอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นแบบไม่เชิงเส้นในทางปฏิบัตินิยมปรับอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 4 เท่า ทั้งนี้เพื่อให้วงจรมีเสถียรภาพ โดยอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าขั้นต่ำสุดคือหนึ่ง หรือแรงดันด้านออกเท่ากับแรงดันด้านเข้าในทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติแรงดันด้านออกจะน้อยกว่าแรงดันด้านเข้าเล็กน้อย เนื่องจากค่าความสูญเสียจากแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมไดโอด และตัวอุปกรณ์สวิตช์

ตารางที่ 2.1 อัตราขยายแรงดันไฟฟ้าของวงจรทระดับแรงดันเมื่อมีการปรับเปลี่ยนค่า  $D$

ตัวชี้เซลล์ ( $D$ )	อัตราขยายแรงดันไฟฟ้า ( $V_o/V_s$ )
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
0.9	10
1.0	ค่าอนันต์



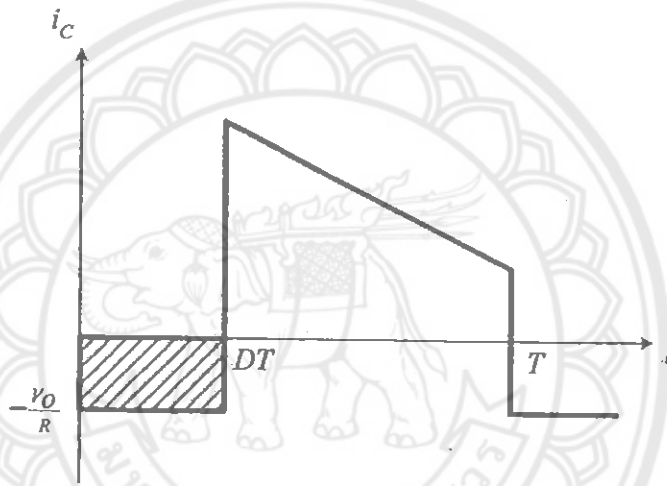
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราขยายแรงดันไฟฟ้ากับค่า  $D$  [1]



### 2.3.4 ค่าความพลีของแรงดันด้านออก

การที่มีตัวเก็บประจุที่มีขนาดใหญ่จะสามารถทำให้แรงดันด้านออกมีค่าคงที่ หรือ สัญญาณมีความเรียบมากขึ้น แต่ในทางด้านปฏิบัติไม่สามารถเลือกใช้เก็บประจุที่มีขนาดใหญ่ มาก ๆ ได้ เนื่องจากมีราคาแพง และต้องใช้พื้นที่มากในการติดตั้ง จึงต้องเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มี ขนาดเหมาะสม และทำให้ความพลีของแรงดันด้านออกอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

การคำนวณหาค่าความพลีของแรงดันด้านออกจากขอดถึงขอด สามารถหาได้จาก กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเก็บประจุ [1]

$$|\Delta Q| = C\Delta V_o = I_o\Delta t_{on} \quad (2.42)$$

$$I_o = \frac{V_o}{R}$$

$$\Delta t_{on} = DT$$

$$\Delta V_o = \frac{I_o\Delta t_{on}}{C} = \frac{V_oDT}{RC}$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{DT}{RC} \quad (2.43)$$

$$\frac{\Delta V_o}{V_o} = \frac{D}{RCf} \quad (2.44)$$

การจะลดความพลัวของแรงดันด้านออก สามารถทำได้โดยการลดค่า  $D$  ให้เข้าใกล้ศูนย์ หรือการเพิ่มค่าโหลด หรือการเพิ่มค่าของตัวเก็บประจุ หรือการเพิ่มค่าความถี่สวิตซิงให้สูงขึ้น [1]

### 2.3.5 การหาค่าความเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดของวงจรทระดับแรงดัน

สมมติการสูญเสียภายในวงจรทระดับแรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์ กำลังไฟฟ้าที่ออกจากแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงจะเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดได้รับเงื่อนไขนี้จะได้

$$P_s = P_o = \frac{V_o^2}{R} \quad (2.45)$$

$$P_s = V_s I_s = V_s I_L \quad (2.46)$$

$$V_s I_L = \frac{V_o^2}{R}$$

$$V_o = \frac{V_s}{1-D}$$

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

$$I_L = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} \quad (2.47)$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุด หาได้จากค่าเฉลี่ย และการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้า ในช่วงที่สวิตช์นำกระแส ดังแสดงในสมการที่ (2.37)

$$\Delta i_{L,on} = \frac{V_s D T}{L}$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำสูงสุดและต่ำสุดคือ

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

$$I_{L,max} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \left( \frac{V_s D T}{L} \right) \quad (2.48)$$

$$I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \left( \frac{V_s D T}{L} \right) \quad (2.49)$$

สมมติให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำเป็นแบบต่อเนื่อง และมีค่าบวก ดังนั้นจะหาค่าความเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุดที่ทำให้วงจรทระดับแรงดันทำงานได้ในขอบเขตระหว่างโหมดการนำกระแสแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ได้จากการกำหนดให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็นศูนย์ดังสมการที่ (2.50)

$$I_{L,min} = \frac{V_s}{(1-D)^2 R} + \frac{1}{2} \left( \frac{V_s D T}{L} \right) = 0 \quad (2.50)$$

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

$$L_{min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.51)$$

การปรับค่าความเหนี่ยวนำที่น้อยที่สุด จากสมการที่ (2.51) สามารถทำได้โดยปรับที่ค่า  $D$  หรือค่าความต้านทานโหลด  $R$  หรือค่าความถี่สวิตชิง

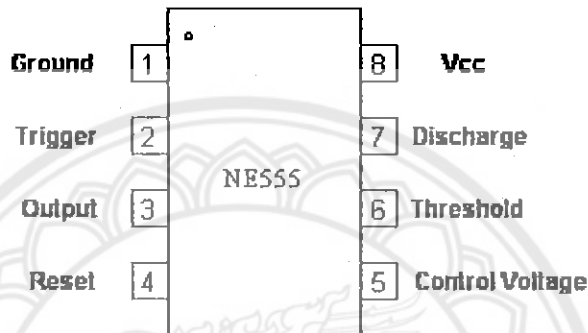
การทำให้ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทางสามารถทำงานได้นั้น จะต้องทำการสร้างวงจรขับ เพื่อทำหน้าที่สร้างสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse-width modulation, PWM) หรือสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม เพื่อเป็นสัญญาณในการควบคุมสวิตช์ การสร้างสัญญาณสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็ม สามารถทำได้หลายวิธีในโครงการนี้จะทำการสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มจากไอซีหมายเลข 555 ซึ่งมีข้อดีคือ หาซื้อได้ง่ายและราคาถูก วงจรที่ใช้สร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มไม่ยุ่งยากซับซ้อน และยังสามารถควบคุมค่าตัวที่ไซเคิลได้ง่าย

## 2.4 ไอซีหมายเลข 555

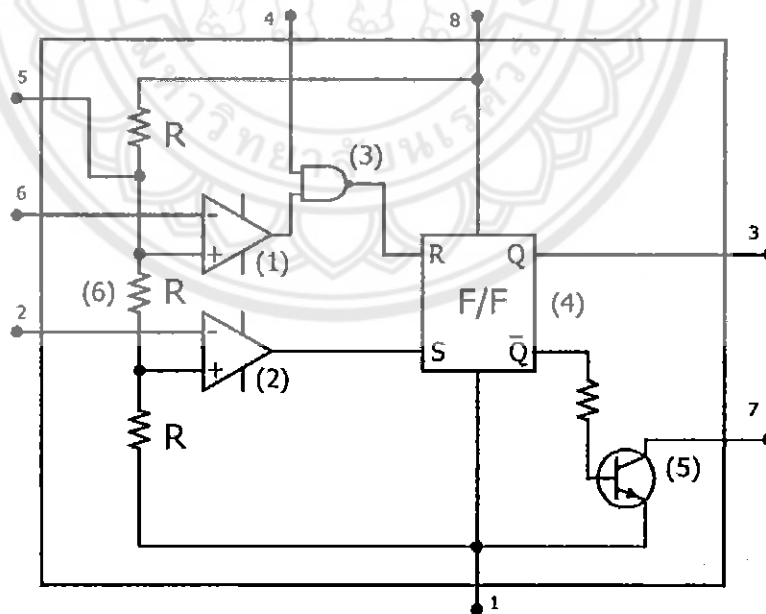
ไอซีหมายเลข 555 ได้รับการออกแบบ และประดิษฐ์โดย นายฮันส์ อาร์ คามเมนซินด์ (Hans R. Camenzind) โดยเริ่มออกแบบเมื่อ พ.ศ. 2513 และผลิตขึ้นในปีถัดมา โดยบริษัทซิกเนติกส์ คอร์ปอเรชัน (Signetics Corporation) มีหมายเลขรุ่น SE555/NE555 และเรียกชื่อว่า "The IC Time

Machine" มีการใช้อย่างกว้างขวาง ทั้งนี้เพราะสามารถใช้งานง่าย ราคาถูก มีเสถียรภาพที่ดี ในปัจจุบันนี้ บริษัทซัมซุง คอร์ปอเรชั่น (Samsung Corporation) ผลิตได้มากกว่า 1 พันล้านตัว [2]

ไอซีหมายเลข 555 ถูกติดตั้งในตัวถัง 8 ขา ดังรูปที่ 2.12 ภายในประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ คือ ตัวเปรียบเทียบ แนนด์เกต วงจรฟลิปฟล็อป ทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน และมีส่วนต่อออกทางภายนอกเพื่อควบคุมการทำงาน แสดงได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 ไอซีหมายเลข 555 [3]



รูปที่ 2.13 วงจรภายในของวงจรไอซีหมายเลข 555 [3]

16733066

ร.ร.

๐7569

2๐๖2

### 2.4.1 ส่วนประกอบต่างๆ ของวงจรภายในไอซีหมายเลข 555

- ก. ตัวเปรียบเทียบ 2 ตัว ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณแรงดันด้านเข้าที่ขั้วบวกและขั้วลบ ถ้าแรงดันไฟฟ้าขั้วบวกมีแรงดันไฟฟ้ามากกว่าแรงดันไฟฟ้าขั้วลบ แรงดันด้านออกจะเท่ากับ  $V_{CC}$  หรือลอจิก "0" ถ้าแรงดันไฟฟ้าขั้วบวกมีแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าขั้วลบ แรงดันด้านออกจะเท่ากับ 0 V หรือลอจิก "1"
- ข. แนนด์เกต มีคุณสมบัติว่า ถ้าค่าอินพุตทั้งสองขาเป็นลอจิก "1" ค่าเอาต์พุตจะมีค่าเป็นลอจิก "0" แต่ถ้าค่าอินพุตขาใดขาหนึ่งเป็นลอจิก "0" ก็จะทำให้ค่าเอาต์พุตมีค่าเป็นลอจิก "1" ทั้งนี้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงค่าของแนนนด์เกต

อินพุต 1	อินพุต 2	เอาต์พุต
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

- ค. วงจรฟลิปฟล็อป เป็นอุปกรณ์ดิจิทัลที่มีคุณสมบัติ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตารางแสดงค่าของวงจรฟลิปฟล็อป

อินพุต 1	อินพุต 2	เอาต์พุต $Q$	เอาต์พุต $\bar{Q}$
0	0	$Q$ เดิม	$\bar{Q}$ เดิม
0	1	1	0
1	0	1	1
1	1	ไม่ใช่	ไม่ใช่

- ง. ทราานซิสเตอร์ ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ถ้าเอาต์พุต  $Q$  เป็นลอจิก "1" ทราานซิสเตอร์จะทำงาน นั่นคือจะลัดวงจรระหว่างขา 7 และ 1 ถ้าเอาต์พุต  $\bar{Q}$  เป็นลอจิก "0" จะทำการเปิดวงจรขา 7 และ 1 ของไอซีหมายเลข 555

- จ. ตัวต้านทาน 3 ตัว ที่มีขนาดความต้านทานเท่ากันทั้ง 3 ตัว มีหน้าที่แบ่งแรงดันไฟฟ้า  $V_{cc}$  ออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน ตกรวมตัวต้านทานแต่ละตัว มีค่าเท่ากับ  $V_{cc}/3$  ค่าตัวต้านทานนั้นจะมีค่าความต้านทานเป็น  $k\Omega$



## บทที่ 3

### การสร้างวงจรการทำงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการจำลองแบบ (Simulation) และการสร้างวงจรการทำงาน ในส่วนของวงจรทอนระดับแรงดัน วงจรทระดับแรงดัน ตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง และวงจรขับมอเตอร์

#### 3.1 การจำลองแบบวงจรทอนระดับแรงดันและวงจรทระดับแรงดัน

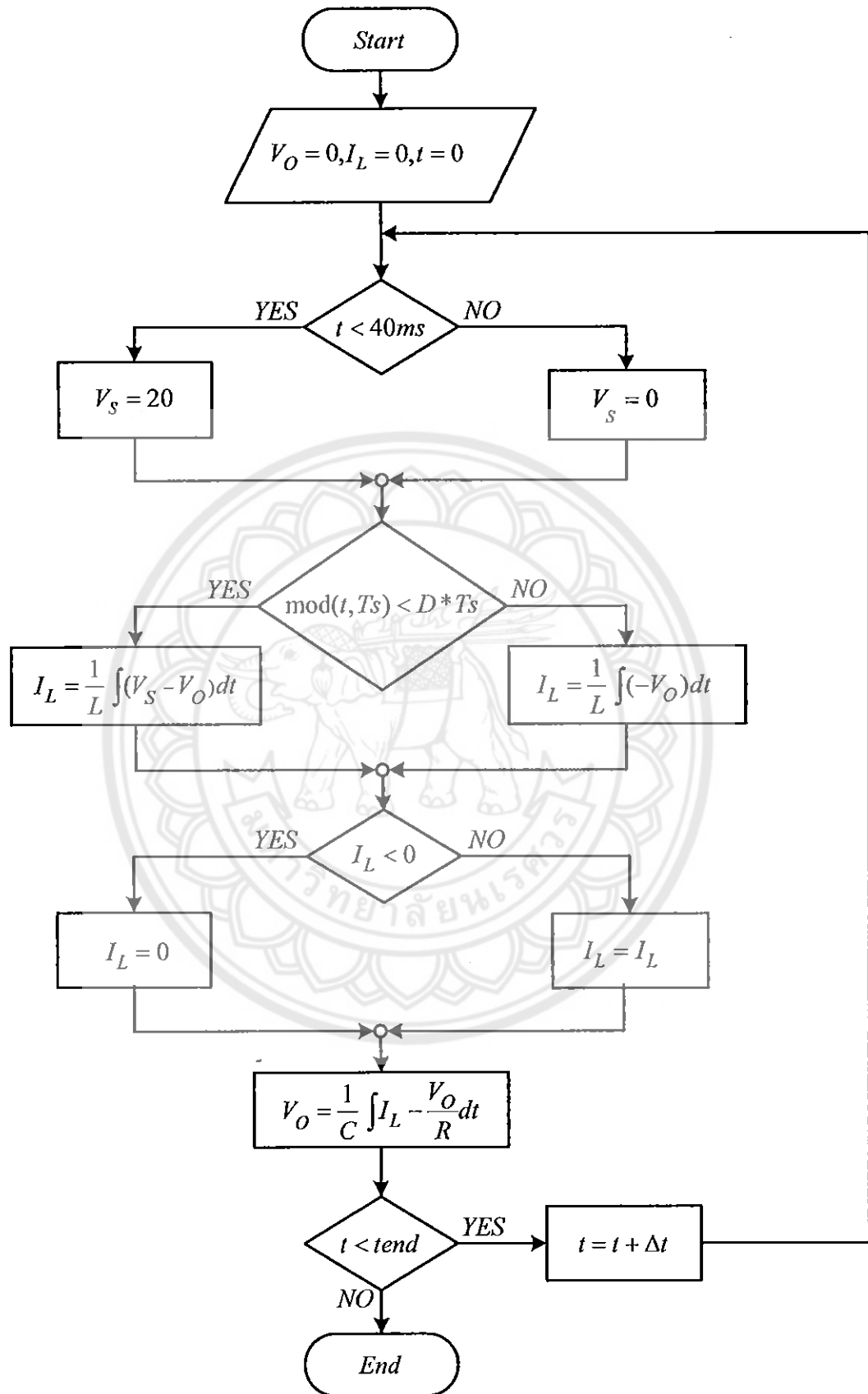
การจำลองแบบวงจรทอนระดับแรงดัน และวงจรทระดับแรงดันในโครงการนี้เพื่อสังเกตผลตอบสนองสถานะชั่วคราว (Transient response) ผลตอบสนองสถานะอยู่ตัว (Steady-state response) และสามารถนำผลการจำลองแบบไปใช้เลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการสร้างวงจร

##### 3.1.1 การจำลองแบบวงจรทอนระดับแรงดัน

ในการจำลองแบบได้กำหนดค่าในวงจรทอนระดับแรงดันที่สร้างในโปรแกรม MATLAB โดยมีค่าต่าง ๆ ดังนี้

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ( $V_s$ )	= 20 V
โหลดตัวต้านทาน (R)	= 50 $\Omega$
ตัวเหนี่ยวนำ (L)	= 1.85 mH
ตัวเก็บประจุ (C)	= 47 $\mu$ F
ความถี่สวิตชิง ( $f_s$ )	= 20 kHz
คิวดิวตี้ไซเคิล (D)	= 0.6

การทำงานของโปรแกรมจะเป็นไปตามผังงาน (Flowchart) ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ค้างงานแสดงการทำงานโปรแกรมของวงจรทอนระดับแรงดัน



การทำงานของโปรแกรมจะเริ่มต้นจากการกำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้  $V_o = 0$ ,  $I_L = 0$  และ  $t = 0$  จากนั้นโปรแกรมจะเข้าสู่เงื่อนไข  $t < 40$  ms

ก. ถ้าค่าของเวลามีค่าน้อยกว่า 40 ms จะกำหนดค่าแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเท่ากับ 20 V

ข. ถ้าค่าของเวลามีค่ามากกว่า 40 ms จะกำหนดค่าแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเท่ากับ 0 V

สาเหตุที่เลือกเงื่อนไขที่ 40 ms เพื่อต้องการที่จะเน้นช่วงการเกิดผลตอบสนองชั่วคราวให้เด่นชัดขึ้น

จากนั้นโปรแกรมจะเข้าสู่เงื่อนไข  $\text{mod}(t, T_s) < D * T_s$  หมายถึง ค่าที่ได้จากการหารเอาเศษของ  $t$  และ  $T_s$  น้อยกว่า  $D$  คูณกับ  $T_s$  ซึ่ง  $T_s$  คือ คาบเวลา

ก. ถ้าค่าของ  $\text{mod}(t, T_s)$  มีค่าน้อยกว่า  $D * T_s$  โปรแกรมจะคำนวณค่าของกระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำในช่วงที่สวิตช์นำกระแส

ข. ถ้าค่าของ  $\text{mod}(t, T_s)$  มีค่ามากกว่า  $D * T_s$  โปรแกรมจะคำนวณค่าของกระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแส

หลังจากที่โปรแกรมคำนวณค่าของกระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำแล้ว โปรแกรมจะเข้าสู่เงื่อนไข  $I_L < 0$  ซึ่งจะเป็นการกำหนดค่าของ  $I_L$  ไม่ให้ติดลบ

ก. ถ้าค่าของ  $I_L$  มีค่าน้อยกว่า 0 จะกำหนดให้  $I_L$  มีค่าเท่ากับ 0

ข. ถ้าค่าของ  $I_L$  มีค่ามากกว่า 0 จะกำหนดให้  $I_L$  มีค่าเท่ากับ  $I_L$

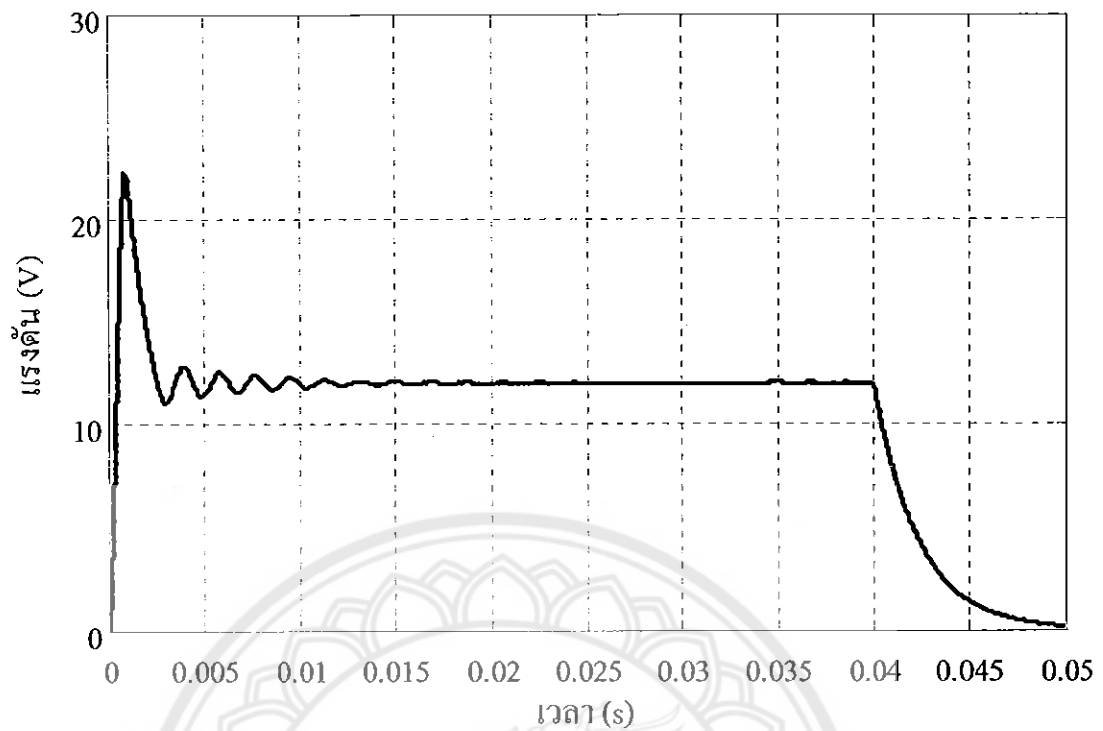
จากนั้นโปรแกรมจะคำนวณค่าของแรงดันด้านออก จากนั้นโปรแกรมจะเข้าสู่เงื่อนไขสุดท้าย คือ เงื่อนไข  $t < \text{tend}$  ซึ่งกำหนด  $\text{tend} = 50$  ms จะได้

ก. ถ้าค่าของเวลาน้อยกว่า 50 ms โปรแกรมจะเข้าสู่กระบวนการ  $t = t + \Delta t$  ซึ่งจะเป็นการบวกเวลาเพิ่มไป  $\Delta t$  จากนั้นจะวนซ้ำเข้าสู่เงื่อนไข  $t < 40$  ms ต่อไป

ข. ถ้าค่าของเวลามากกว่า 50 ms โปรแกรมจะจบการทำงาน

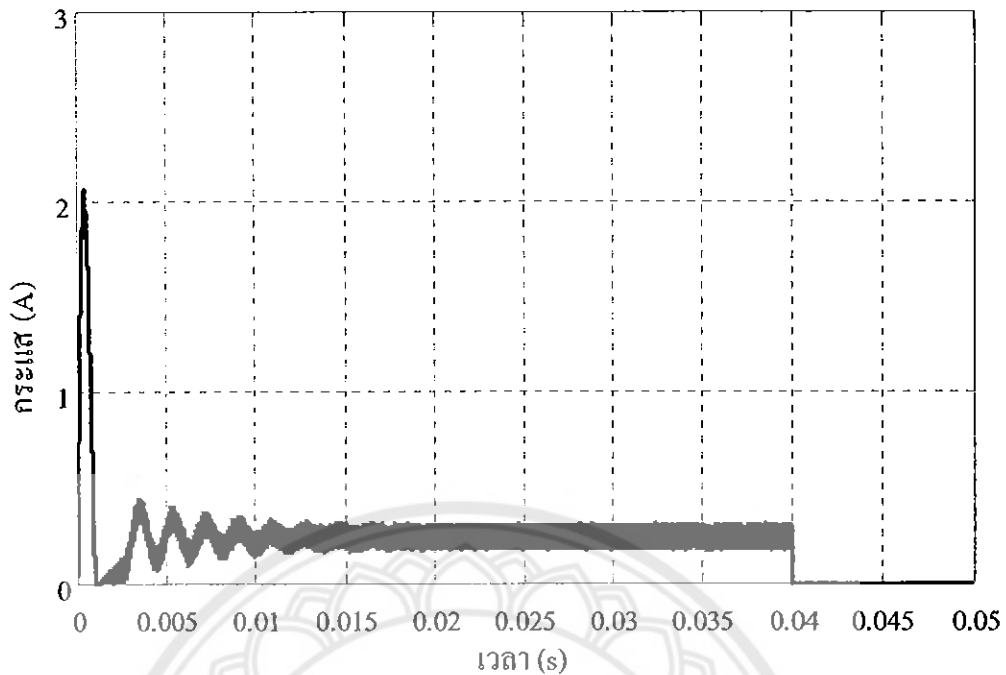
สาเหตุที่เลือกเงื่อนไขที่  $\text{tend} = 50$  ms เพื่อต้องการให้เห็นช่วงการเกิดผลตอบสนองชั่วคราวได้อย่างชัดเจนมากขึ้น

เมื่อโปรแกรมทำงานเสร็จจะได้ผลตอบสนองของแรงดันด้านออก และผลตอบสนองของกระแสตัวเหนี่ยวนำดังรูปที่ 3.2 และ 3.3



รูปที่ 3.2 ผลตอบสนองของแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน

จากรูปที่ 3.2 จากผลการจำลองแบบจะได้ค่าแรงดันเฉลี่ยเท่ากับ 12 V และคำนวณหาค่าสัดส่วนที่เกินไปจากค่าเฉลี่ย (Maximum percent overshoot) เท่ากับ 85.83% ค่าความพลีวของแรงดันที่ได้จากการจำลองแบบเท่ากับ 0.175% ส่วนค่าความพลีวของแรงดันที่ได้จากสมการ  $(1-D)/8LCf^2$  เท่ากับ 0.144%



รูปที่ 3.3 ผลตอบสนองของกระแสตัวเหนี่ยวนำของวงจรทอนระดับแรงดัน

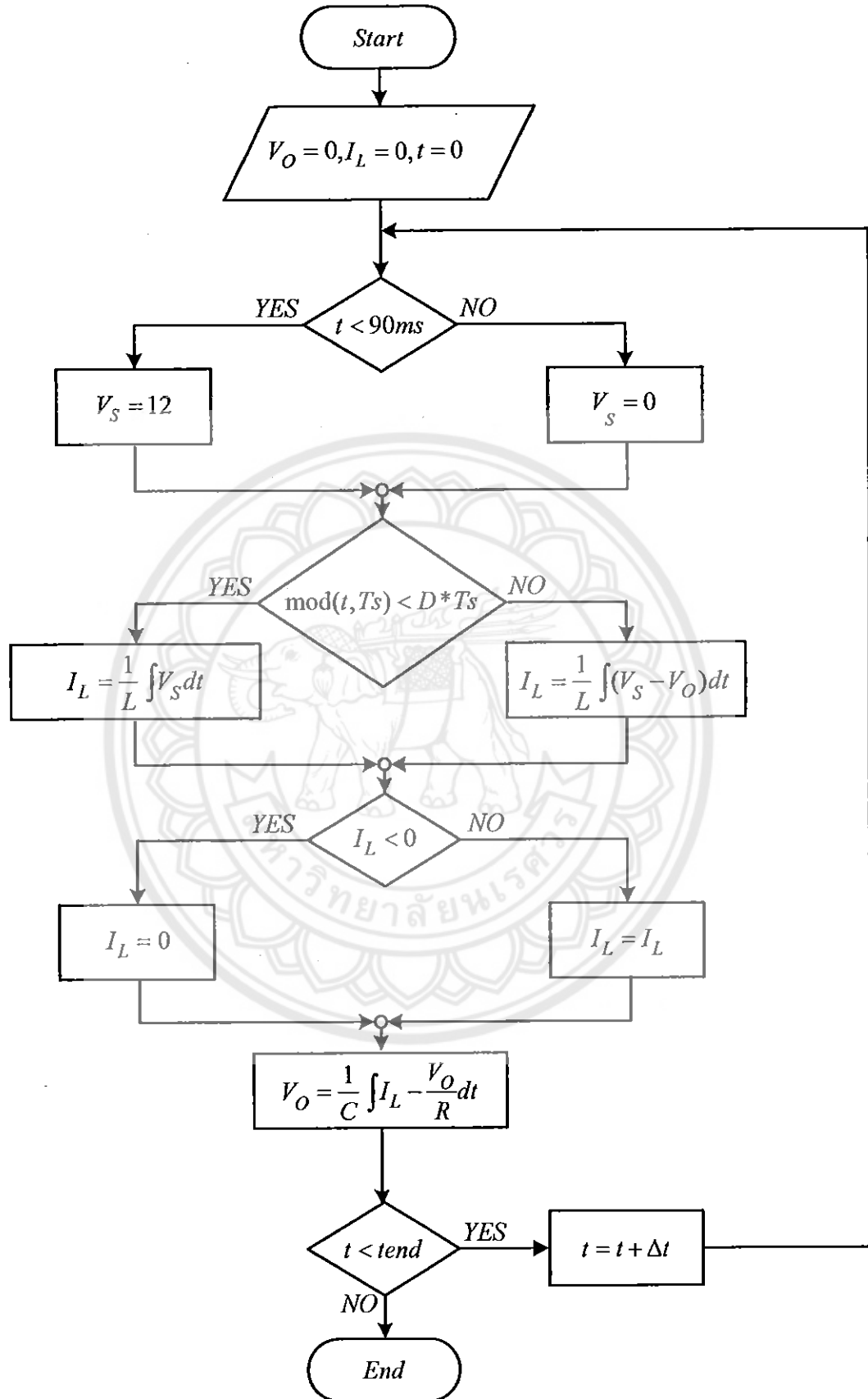
จากรูปที่ 3.3 จากผลการจำลองแบบจะได้ค่ากระแสเฉลี่ยเท่ากับ 0.239 A และคำนวณหาค่าสัดส่วนที่เกิดขึ้นจากค่าเฉลี่ยเท่ากับ 768.2% ค่าความพลีวของกระแสที่ได้จากการจำลองแบบเท่ากับ 59.8% ส่วนค่าความพลีวของกระแสที่ได้จากสมการ  $((V_s - V_o)/I_L) DT$  เท่ากับ 54.3%

### 3.1.2 การจำลองแบบวงจรทอนระดับแรงดัน

ในการจำลองแบบได้กำหนดค่าในวงจรทอนระดับแรงดันที่สร้างในโปรแกรม MATLAB โดยมีค่าต่าง ๆ ดังนี้

แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ( $V_s$ )	= 12 V
โหลดตัวต้านทาน (R)	= 220 $\Omega$
ตัวเหนี่ยวนำ (L)	= 1.85 mH
ตัวเก็บประจุ (C)	= 47 $\mu$ F
ความถี่สวิตซิง ( $f_s$ )	= 20 kHz
คิตตี้ไซเคิล (D)	= 0.6

การทำงานของโปรแกรมจะเป็นไปตามผังงาน ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ผังงานแสดงการทำงานของโปรแกรมของวงจรทบทระดับแรงดัน

การทำงานของโปรแกรมจะเริ่มต้นจากการกำหนดค่าต่าง ๆ ดังนี้  $V_0 = 0$ ,  $I_L = 0$  และ  $t = 0$  จากนั้นโปรแกรมจะเข้าสู่เงื่อนไข  $t < 90$  ms

ก. ถ้าค่าของเวลามีค่าน้อยกว่า 90 ms จะกำหนดค่าแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเท่ากับ 12 V

ข. ถ้าค่าของเวลามีค่ามากกว่า 90 ms จะกำหนดค่าแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงเท่ากับ 0 V

สาเหตุที่เลือกเงื่อนไขที่ 90 ms เพื่อต้องการที่จะเน้นช่วงการเกิดผลตอบสนองชั่วคราวให้เด่นชัดขึ้น

จากนั้น โปรแกรมจะเข้าสู่เงื่อนไข  $\text{mod}(t, T_s) < D * T_s$  หมายถึง ค่าที่ได้จากการหารเอาเศษของ  $t$  และ  $T_s$  น้อยกว่า  $D$  คูณกับ  $T_s$  ซึ่ง  $T_s$  คือ คาบเวลา

ก. ถ้าค่าของ  $\text{mod}(t, T_s)$  มีค่าน้อยกว่า  $D * T_s$  โปรแกรมจะคำนวณค่าของกระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำในช่วงที่สวิตช์นำกระแส

ข. ถ้าค่าของ  $\text{mod}(t, T_s)$  มีค่ามากกว่า  $D * T_s$  โปรแกรมจะคำนวณค่าของกระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำในช่วงที่สวิตช์ไม่นำกระแส

หลังจากที่โปรแกรมคำนวณค่าของกระแสไฟฟ้าที่ตัวเหนี่ยวนำแล้ว โปรแกรมจะเข้าสู่เงื่อนไข  $I_L < 0$  ซึ่งจะเป็นการกำหนดค่าของ  $I_L$  ไม่ให้ติดลบ

ก. ถ้าค่าของ  $I_L$  มีค่าน้อยกว่า 0 จะกำหนดให้  $I_L$  มีค่าเท่ากับ 0

ข. ถ้าค่าของ  $I_L$  มีค่ามากกว่า 0 จะกำหนดให้  $I_L$  มีค่าเท่ากับ  $I_L$

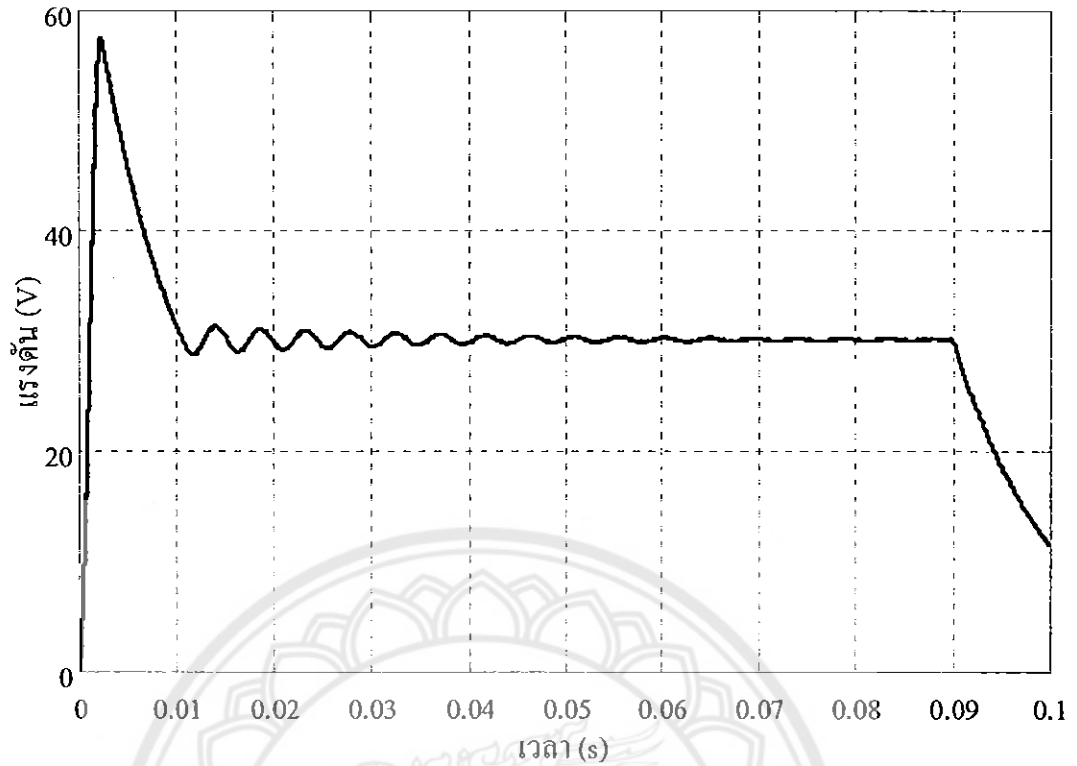
จากนั้น โปรแกรมจะคำนวณค่าของแรงดันค่านอก จากนั้นโปรแกรมจะเข้าสู่เงื่อนไขสุดท้าย คือ เงื่อนไข  $t < \text{tend}$  ซึ่งกำหนด  $\text{tend} = 100$  ms จะได้

ก. ถ้าค่าของเวลาน้อยกว่า 100 ms โปรแกรมจะเข้าสู่กระบวนการ  $t = t + \Delta t$  ซึ่งจะเป็นการบวกเวลาเพิ่มไป  $\Delta t$  จากนั้นจะวนซ้ำเข้าสู่เงื่อนไข  $t < 90$  ms ต่อไป

ข. ถ้าค่าของเวลามากกว่า 100 ms โปรแกรมจะจบการทำงาน

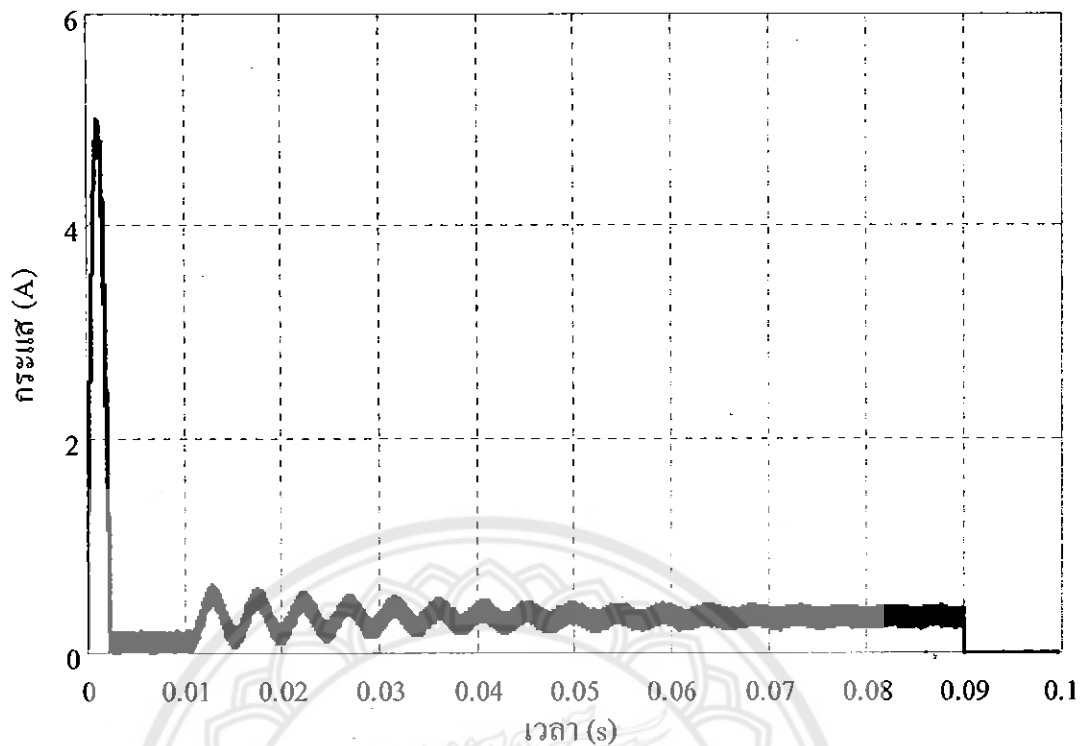
สาเหตุที่เลือกเงื่อนไขที่  $\text{tend} = 100$  ms เพื่อต้องการให้เห็นช่วงการเกิดผลตอบสนองชั่วคราวได้อย่างชัดเจนมากขึ้น

เมื่อโปรแกรมทำงานเสร็จจะได้ผลตอบสนองของแรงดันค่านอก และผลตอบสนองของกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำ ดังรูปที่ 3.5 และ 3.6



รูปที่ 3.5 ผลตอบสนองของแรงดันด้านออกของวงจรระดับแรงดัน

จากรูปที่ 3.5 จากผลการจำลองแบบจะได้ค่าแรงดันเฉลี่ยเท่ากับ 29.903 V และคำนวณหา  
 ค่าสัดส่วนที่เกินไปจากค่าเฉลี่ยเท่ากับ 92.28% ค่าความพลีวของแรงดันที่ได้จากการจำลองแบบ  
 เท่ากับ 1.2% ส่วนค่าความพลีวของแรงดันที่ได้จากสมการ D/RCf เท่ากับ 0.29%



รูปที่ 3.6 ผลตอบสนองของกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำของวงจรระดับแรงดัน

จากรูปที่ 3.6 จากผลการจำลองแบบจะได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.294 A และคำนวณหาค่าสัดส่วนที่เกินไปจากค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1600% ค่าความพลัวของกระแสที่ได้จากการจำลองแบบเท่ากับ 77.89% ส่วนค่าความพลัวของกระแสที่ได้จากสมการ  $V_s DT / I_L$  เท่ากับ 66.2%

## 3.2 การสร้างวงจรทอนระดับแรงดัน

### 3.2.1 ขั้นตอนการสร้างวงจร

การสร้างวงจรทอนระดับแรงดันในโครงงานนี้ เพื่อทดสอบการทำงานของวงจร และนำไปประยุกต์ใช้ในตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง โดยใช้วงจรขั้วมอสเฟตในการสร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็ม เพื่อควบคุมการทำงานของสวิตช์ ให้สวิตช์นำกระแสหรือไม่นำกระแส จากนั้นทำการทดสอบวงจรตามขั้นตอนดังนี้

- ก) ออกแบบวงจรทอนระดับแรงดัน และจัดซื้ออุปกรณ์ที่ใช้
- ข) ต่อยังตามแบบที่ได้ทำการศึกษา และออกแบบมา โดยการต่อยังเข้ากับแผ่นโปรโตบอร์ด (Protoboard) และในการควบคุมมอสเฟตจะใช้วงจรขั้วมอสเฟตสร้างสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มเข้าที่ขาเกต (Gate) ของมอสเฟต (MOSFET) เพื่อควบคุมค่าคิวทีไซเคิล

ค) ทดสอบการทำงานของวงจร โดยวัดค่ากระแสด้านเข้า กระแสด้านออก และแรงดันด้านออก

ง) บันทึกผล และสรุปผลการทดสอบที่ได้

### 3.2.2 การทดสอบการทำงานของวงจร

ทำการปรับค่าตัวรีไซเคิลตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.7 แล้วทำการวัดค่าแรงดันด้านออก และกระแสตัวเหนี่ยวนำของวงจรทอนระดับแรงดัน ตั้งค่าแรงดันด้านเข้ามีค่าคงที่ 20 V เพื่อทดสอบแรงดันค่าหนึ่งว่าสามารถทอนระดับแรงดันให้ได้ค่าตามที่ต้องการหรือไม่ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.1 นำค่าที่ได้มาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 3.7

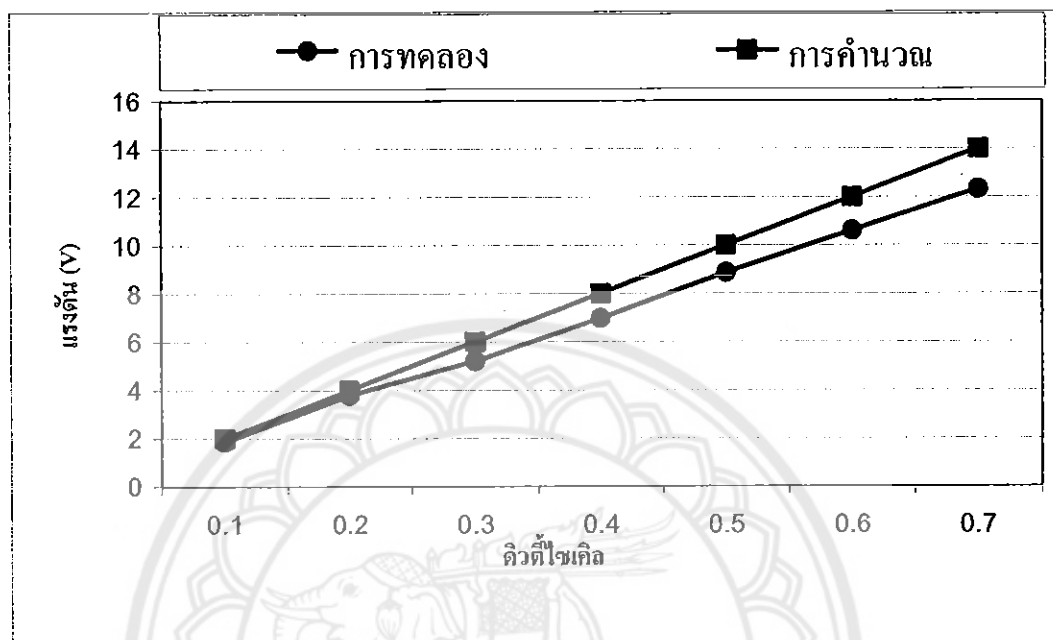
ตารางที่ 3.1 ตารางเปรียบเทียบค่าแรงดันด้านออก กระแสด้านเข้า และกระแสด้านออกที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากทฤษฎีของวงจรทอนระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 20 V

ตัวรีไซเคิล	แรงดันด้านเข้า = 20 V					
	แรงดันด้านออก (V)		กระแสด้านเข้า (A)		กระแสด้านออก (A)	
	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ
0.1	1.854	2	0.013	0.004	0.042	0.040
0.2	3.784	4	0.023	0.016	0.074	0.080
0.3	5.197	6	0.040	0.036	0.106	0.120
0.4	6.970	8	0.065	0.064	0.140	0.160
0.5	8.860	10	0.101	0.100	0.178	0.200
0.6	10.600	12	0.154	0.144	0.214	0.240
0.7	12.310	14	0.205	0.196	0.249	0.280

จากสมการ  $V_{out}/V_m = D$  เป็นสมการแปรผันตรงแบบเชิงเส้นจึงส่งผลให้กราฟที่ได้เป็นกราฟเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 3.7 ผลการทดสอบนำค่าแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดันมาเปรียบเทียบกันจะสังเกตได้ว่าค่าแรงดันด้านออกจากการทดลอง จะมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันด้านออกจากการคำนวณ เนื่องจากมอสเฟต ไค โอด และตัวเหนี่ยวนำมีความต้านทานแฝงภายในอุปกรณ์ [1] เมื่อตัวรีไซเคิลเพิ่มขึ้นทำให้มีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรสูงขึ้น นั่นคือทำให้แรงดัน



ดกพร้อมที่มีอสเฟต ไคโอค และตัวเหนียวที่มีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดันด้านออกมีค่าลดลง แรงดันด้านออกที่ได้จากการทดลองจึงมีค่าแตกต่างกับค่าทฤษฎีเพิ่มขึ้น



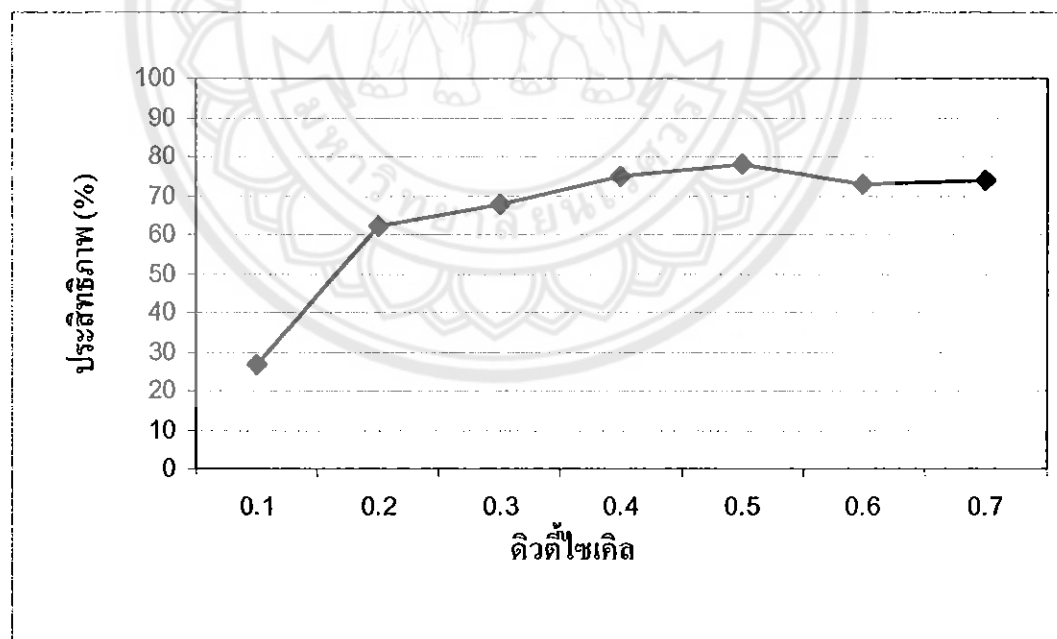
รูปที่ 3.7 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 20 V

ตารางที่ 3.2 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ตามทฤษฎี และค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง ของวงจรทอนระดับแรงดันสำหรับค่าคิวตี้ไซเคิลตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.7 โดยกำหนดแรงดันด้านเข้า 20 V นำค่าประสิทธิภาพที่ได้มาวาดกราฟแสดงได้ดังรูปที่ 3.8

จากรูปที่ 3.8 ค่าประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดันจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าคิวตี้ไซเคิลเพิ่มขึ้น ค่าประสิทธิภาพมีค่าสูงขึ้นตั้งแต่คิวตี้ไซเคิล 0.4 – 0.7 มีค่าเท่ากับ 75% ในการนำไปทดสอบกับแบตเตอรี่ควรทำการทดสอบที่ค่าคิวตี้ไซเคิลตั้งแต่ 0.4 – 0.7 เพราะมีค่าประสิทธิภาพที่สูง

ตารางที่ 3.2 ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังด้านเข้าและด้านออกของทฤษฎี และการทดลอง กำหนดค่าตัวไซเคลิตตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.7 ของวงจรทอนระดับแรงดันที่แรงดันด้านเข้า 20 V

ตัวไซเคลิต	การคำนวณ	การทดลอง		
	Pin = Pout (W)	Pin (W)	Pout (W)	$\eta$ (%)
0.1	0.080	0.260	0.069	26.441
0.2	0.320	0.460	0.286	62.255
0.3	0.720	0.800	0.540	67.522
0.4	1.280	1.300	0.972	74.740
0.5	2.000	2.020	1.570	77.722
0.6	2.880	3.080	2.247	72.961
0.7	3.920	4.100	3.031	73.920



รูปที่ 3.8 กราฟค่าประสิทธิภาพของวงจรทอนระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 20 V

### 3.3 การสร้างวงจรทระดับแรงดัน

#### 3.3.1 ขั้นตอนการสร้างวงจร

การสร้างวงจรทระดับวงจรในโครงการนี้เพื่อทดสอบการทำงานของวงจร และนำไปประยุกต์ใช้ในตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง โดยใช้วงจรขั้วมอสเฟตในการสร้างสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็ม เพื่อควบคุมการทำงานของสวิตช์ ให้สวิตช์นำกระแสหรือไม่นำกระแส แล้วทำการทดสอบวงจร

ก) ออกแบบวงจรทระดับแรงดัน และจัดซื้ออุปกรณ์ที่ใช้

ข) ต่อวงจรตามแบบที่ได้ทำการศึกษา และออกแบบมา โดยการต่อวงจรเข้ากับแผ่นโปรโตบอร์ด และในการควบคุมมอสเฟตจะใช้วงจรขั้วมอสเฟตสร้างสัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็มเข้าที่ขาเกต ของมอสเฟต เพื่อควบคุมค่าคิวตี้ไชเกิล

ค) ทดสอบการทำงานของวงจร โดยวัดค่ากระแสด้านเข้า กระแสด้านออก และแรงดันด้านออก

ง) บันทึกผล และสรุปผลการทดสอบที่ได้

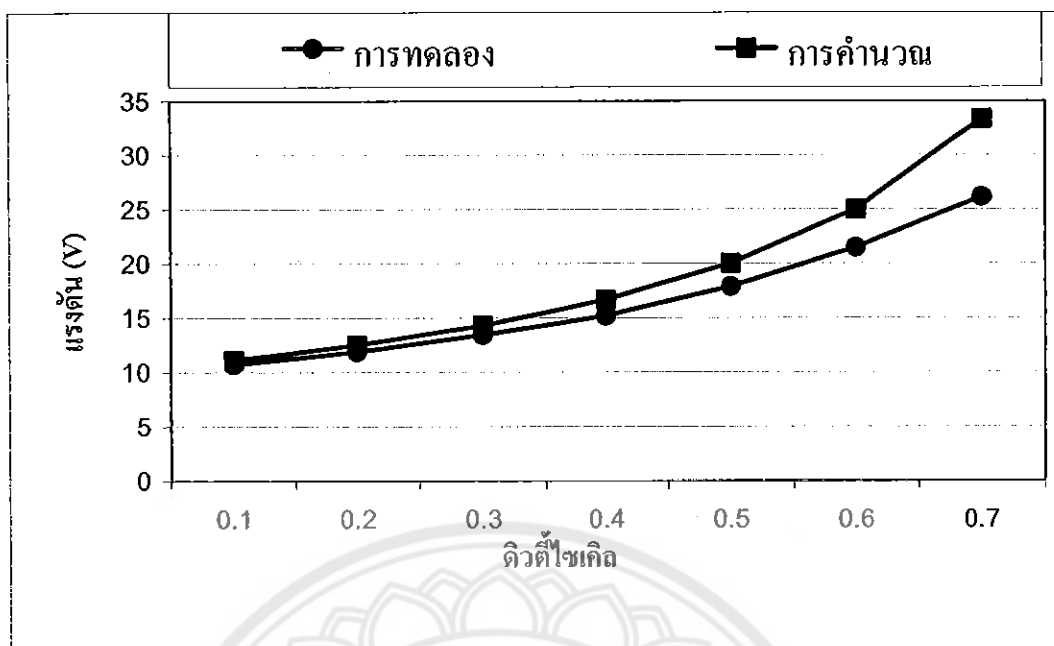
#### 3.3.2 การทดสอบการทำงานของวงจร

ทำการปรับค่าคิวตี้ไชเกิลตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.7 แล้วทำการวัดค่าแรงดันด้านออก และกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำของวงจรทระดับแรงดัน โดยทำการปรับตั้งค่าแรงดันด้านเข้ามีค่าคงที่ 10 V เนื่องจากต้องการทดสอบค่าแรงดันต่ำสุดที่เบตเตอร์ยังสามารถจ่ายได้ และทำการทดสอบที่แรงดัน 12 V เนื่องจากเป็นแรงดันปกติที่เบตเตอร์ใช้ในการจ่าย ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 3.3 และ 3.4 นำค่าที่ได้มาวาดกราฟได้ดังรูปที่ 3.9 และ 3.10

ตารางที่ 3.3 ตารางเปรียบเทียบค่าแรงดันด้านออก กระแสด้านเข้า และกระแสด้านออกที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากทฤษฎีของวงจรทระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 10 V

คิวดั้ไซเคิล	แรงดันด้านเข้า = 10 V					
	แรงดันด้านออก (V)		กระแสด้านเข้า (A)		กระแสด้านออก (A)	
	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ
0.1	10.690	11.111	0.056	0.012	0.051	0.011
0.2	11.870	12.500	0.071	0.016	0.054	0.013
0.3	13.410	14.286	0.091	0.020	0.061	0.014
0.4	15.160	16.667	0.118	0.028	0.068	0.017
0.5	17.880	20.000	0.167	0.040	0.081	0.020
0.6	21.470	25.000	0.256	0.063	0.097	0.025
0.7	26.110	33.333	0.378	0.111	0.111	0.033

จากสมการ  $V_{out}/V_{in} = 1/(1-D)$  เป็นสมการแปรผันตรงแบบไม่เชิงเส้นจึงส่งผลให้กราฟที่ได้เป็นกราฟไม่เส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 3.9 ผลการทดสอบนำค่าแรงดันด้านออกของวงจรทอนระดับแรงดันมาเปรียบเทียบกัน จะสังเกตได้ว่าค่าแรงดันด้านออกจากการทดลองจะมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันด้านออกจากการคำนวณ เนื่องจากมอสเฟต ไดโอด และตัวเหนี่ยวนำมีความต้านทานแฝงภายในอุปกรณ์ [1] เมื่อคิวดั้ไซเคิลเพิ่มขึ้นทำให้มีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรสูงขึ้น นั่นคือทำให้แรงดันตกคร่อมที่มอสเฟต ไดโอด และตัวเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดันด้านออกมีค่าลดลง แรงดันด้านออกที่ได้จากการทดลองจึงมีค่าแตกต่างกับค่าทฤษฎีเพิ่มขึ้น



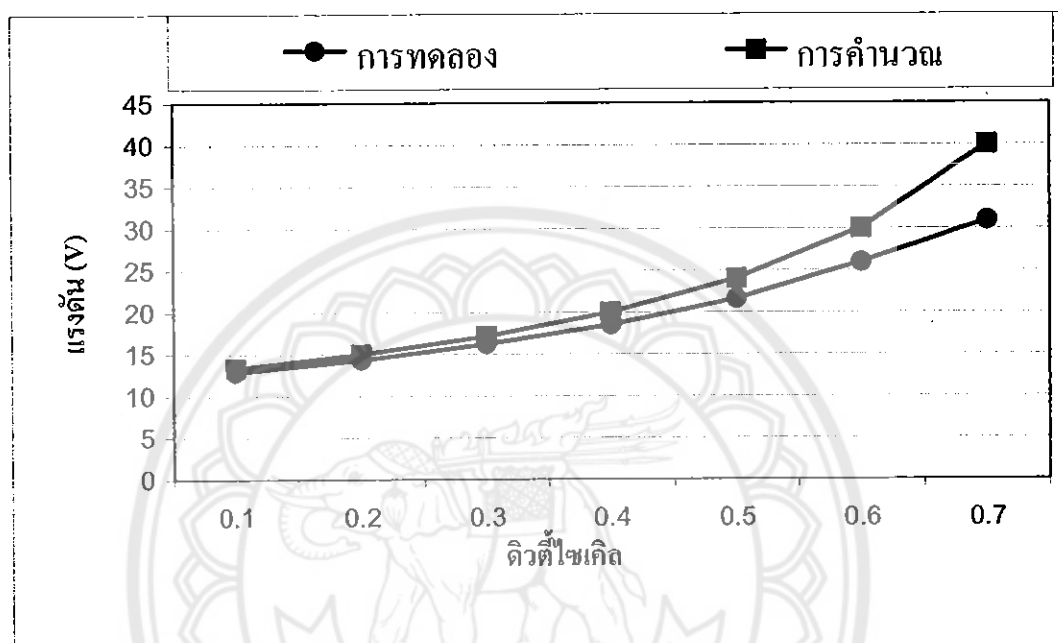
รูปที่ 3.9 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรหม้อแปลงระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 10 V

ตารางที่ 3.4 ตารางเปรียบเทียบค่าแรงดันด้านออก กระแสด้านเข้า และกระแสด้านออกที่ได้จากการทดลอง และค่าที่ได้จากทฤษฎีของวงจรหม้อแปลงระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 12 V

คิวต์ไซเกิล	แรงดันด้านเข้า = 12 V					
	แรงดันด้านออก (V)		กระแสด้านเข้า (A)		กระแสด้านออก (A)	
	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ	ทดลอง	คำนวณ
0.1	12.870	13.333	0.067	0.015	0.059	0.013
0.2	14.310	15.000	0.085	0.019	0.065	0.015
0.3	16.800	17.143	0.109	0.024	0.073	0.017
0.4	18.500	20.000	0.142	0.033	0.083	0.020
0.5	21.560	24.000	0.201	0.048	0.097	0.024
0.6	25.930	30.000	0.301	0.075	0.117	0.030
0.7	30.900	40.000	0.451	0.133	0.133	0.040

จากสมการ  $V_{out}/V_{in} = 1/(1-D)$  เป็นสมการแปรผันตรงแบบไม่เชิงเส้นจึงส่งผลให้กราฟที่ได้เป็นกราฟไม่เส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 3.10 ผลการทดสอบนำค่าแรงดันด้านออกของวงจรหม้อแปลงระดับแรงดันมาเปรียบเทียบกัน จะสังเกตได้ว่าค่าแรงดันด้านออกจากการทดลองจะมีค่าต่ำกว่าค่า

แรงดันด้านออกจากการคำนวณ เนื่องจากมอสเฟต โค โอด และตัวเหนี่ยวนำมีความต้านทานแฝงภายในอุปกรณ์ [1] เมื่อคิวตี้ไซเคิลเพิ่มขึ้นทำให้มีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรสูงขึ้น นั่นคือทำให้แรงดันตกคร่อมที่มอสเฟต โค โอด และตัวเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดันด้านออกมีค่าลดลง แรงดันด้านออกที่ได้จากการทดลองจึงมีค่าแตกต่างกับค่าทฤษฎีเพิ่มขึ้น

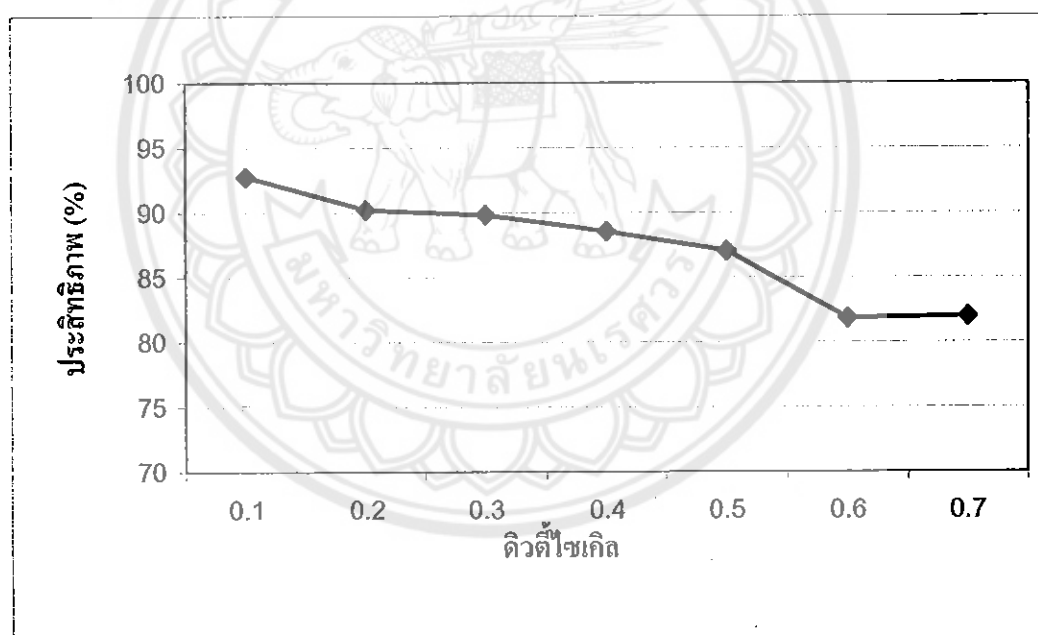


รูปที่ 3.10 กราฟแรงดันด้านออกของวงจรทระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 12 V

ตารางที่ 3.5 และ 3.6 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ตามทฤษฎี และค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองของวงจรทระดับแรงดันสำหรับค่าคิวตี้ไซเคิลตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.7 โดยกำหนดแรงดันด้านเข้าที่ 10 V และ 12 V ตามลำดับ นำค่าประสิทธิภาพที่ได้มาวาดกราฟแสดงได้ดังรูปที่ 3.11 และ 3.12

ตารางที่ 3.5 ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังด้านเข้า และด้านออกของทฤษฎี และการทดลอง กำหนดค่าตัวชี้ไขเกิดตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.7 ของวงจรทระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 10 V

ตัวชี้ไขเกิด	การคำนวณ	การทดลอง		
	Pin = Pout (W)	Pin (W)	Pout (W)	$\eta$ (%)
0.1	0.561	0.560	0.519	92.757
0.2	0.710	0.710	0.640	90.203
0.3	0.928	0.910	0.817	89.824
0.4	1.263	1.180	1.045	88.531
0.5	1.818	1.670	1.453	87.015
0.6	2.841	2.560	2.095	81.847
0.7	5.051	3.780	3.099	81.978

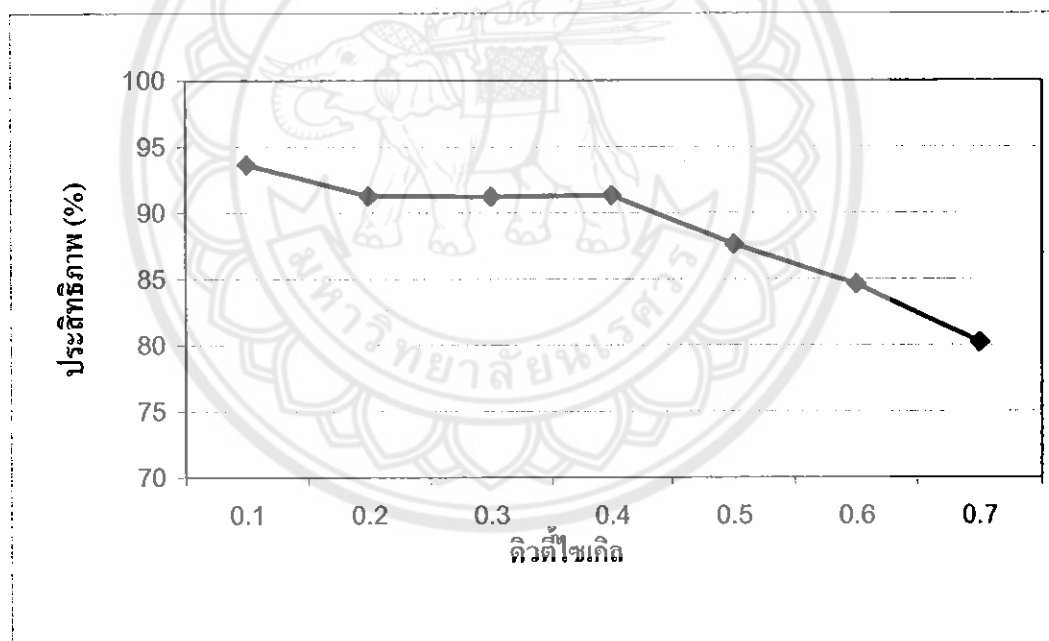


รูปที่ 3.11 กราฟค่าประสิทธิภาพของวงจรทระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 10 V

จากรูปที่ 3.11 ค่าประสิทธิภาพของวงจรทระดับแรงดันจะมีค่าลดลงเมื่อค่าตัวชี้ไขเพิ่มขึ้น แต่ค่าประสิทธิภาพในวงจรทระดับแรงดันมีค่าสูงกว่า 80% ในการนำไปทดสอบกับแบตเตอรี่สามารถทำการทดสอบที่ค่าตัวชี้ไขเกิดตั้งแต่ 0.1 – 0.7 ได้เพราะมีค่าประสิทธิภาพที่สูง

ตารางที่ 3.6 ตารางเปรียบเทียบค่ากำลังด้านเข้า และด้านออกของทฤษฎี และการทดลอง กำหนดค่าควิตซ์ไชเกิดตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.7 ของวงจรทระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 12 V

ควิตซ์ไชเกิด	การคำนวณ	การทดลอง		
	Pin = Pout (W)	Pin (W)	Pout (W)	$\eta$ (%)
0.1	0.808	0.804	0.753	93.644
0.2	1.023	1.020	0.931	91.255
0.3	1.336	1.308	1.193	91.201
0.4	1.818	1.704	1.556	91.296
0.5	2.618	2.412	2.113	87.599
0.6	4.091	3.612	3.056	84.613
0.7	7.273	5.412	4.340	80.193



รูปที่ 3.12 กราฟค่าประสิทธิภาพของวงจรทระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 12 V

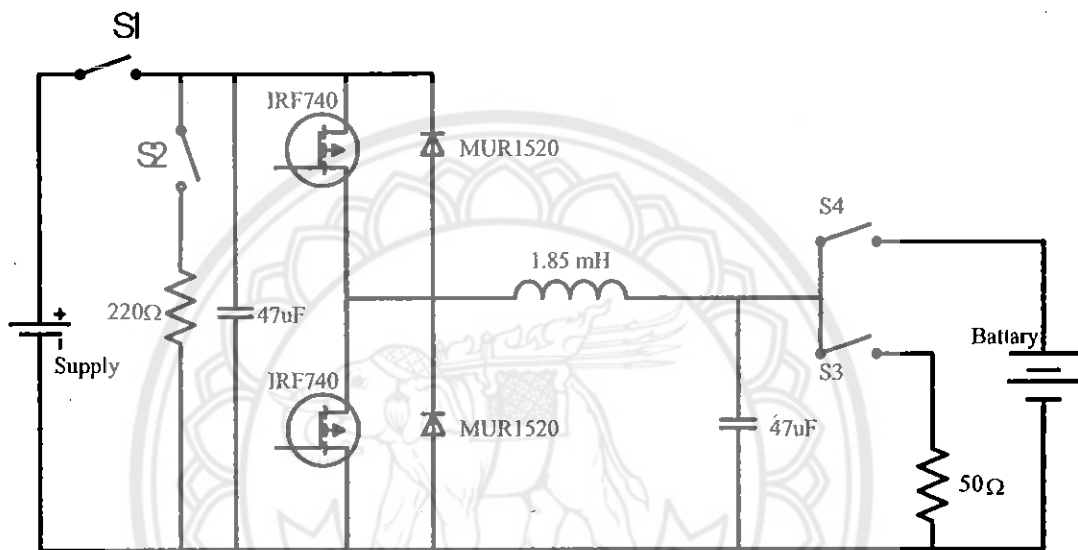
จากรูปที่ 3.12 ค่าประสิทธิภาพของวงจรทระดับแรงดันจะมีค่าลดลงเมื่อค่าควิตซ์ไชเกิดเพิ่มขึ้น แต่ค่าประสิทธิภาพในวงจรทระดับแรงดันมีค่าสูงกว่า 80% ในการนำไปทดสอบกับแบตเตอรี่สามารถทำการทดสอบที่ค่าควิตซ์ไชเกิดตั้งแต่ 0.1 – 0.7 ได้เพราะมีค่าประสิทธิภาพที่สูง



### 3.4 การสร้างตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง

หลังจากที่ได้ทำการทดสอบวงจรทอนระดับแรงดัน และวงจรทบระดับแรงดันแล้ว จึงได้นำวงจรทั้งสองมาประกอบรวมกัน โดยออกแบบให้เป็นตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง ประกอบไปด้วยชุดวงจรดังนี้

- ก) ชุดตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง
- ข) ชุดวงจรขับมอสเฟต



รูปที่ 3.13 แผนภาพตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง

ในชุดตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทางที่สร้างขึ้นในโครงการนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ดังนี้

- ก) ตัวเหนี่ยวนำ

การเลือกตัวเหนี่ยวนำจะพิจารณาจากค่าความถี่ของแหล่งจ่าย ค่ากระแสเฉลี่ย (Current average) และค่าความพลิวของกระแส (Current ripple) ในโครงการนี้จึงเลือกใช้ตัวเหนี่ยวนำชนิดแกนเฟอร์ไรต์ (Ferrite core) ซึ่งเหมาะกับการใช้งานที่ความถี่สูง และมีค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้า 1.85 mH จำนวน 1 ตัว

- ข) ตัวเก็บประจุ

การเลือกตัวเก็บประจุจะพิจารณาจากค่าพิกัดแรงดันไฟฟ้า และค่าความพลิวของแรงดัน (Voltage ripple) ที่ตกคร่อมโหลด ในชุดตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทางนี้จึงเลือกใช้ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic capacitor) มีค่าความจุไฟฟ้า 47  $\mu\text{F}$  และมีพิกัด

แรงดันไฟฟ้า 50 V จำนวน 2 ตัว สำหรับค่าความพลีวของแรงดันในด้านทอนระดับแรงดันเท่ากับ 0.144 % และค่าความพลีวของแรงดันในด้านทบระดับแรงดันเท่ากับ 0.29% เพราะฉะนั้นจึงออกแบบให้ค่าความพลีวของแรงดันมีค่าไม่เกิน 0.5%

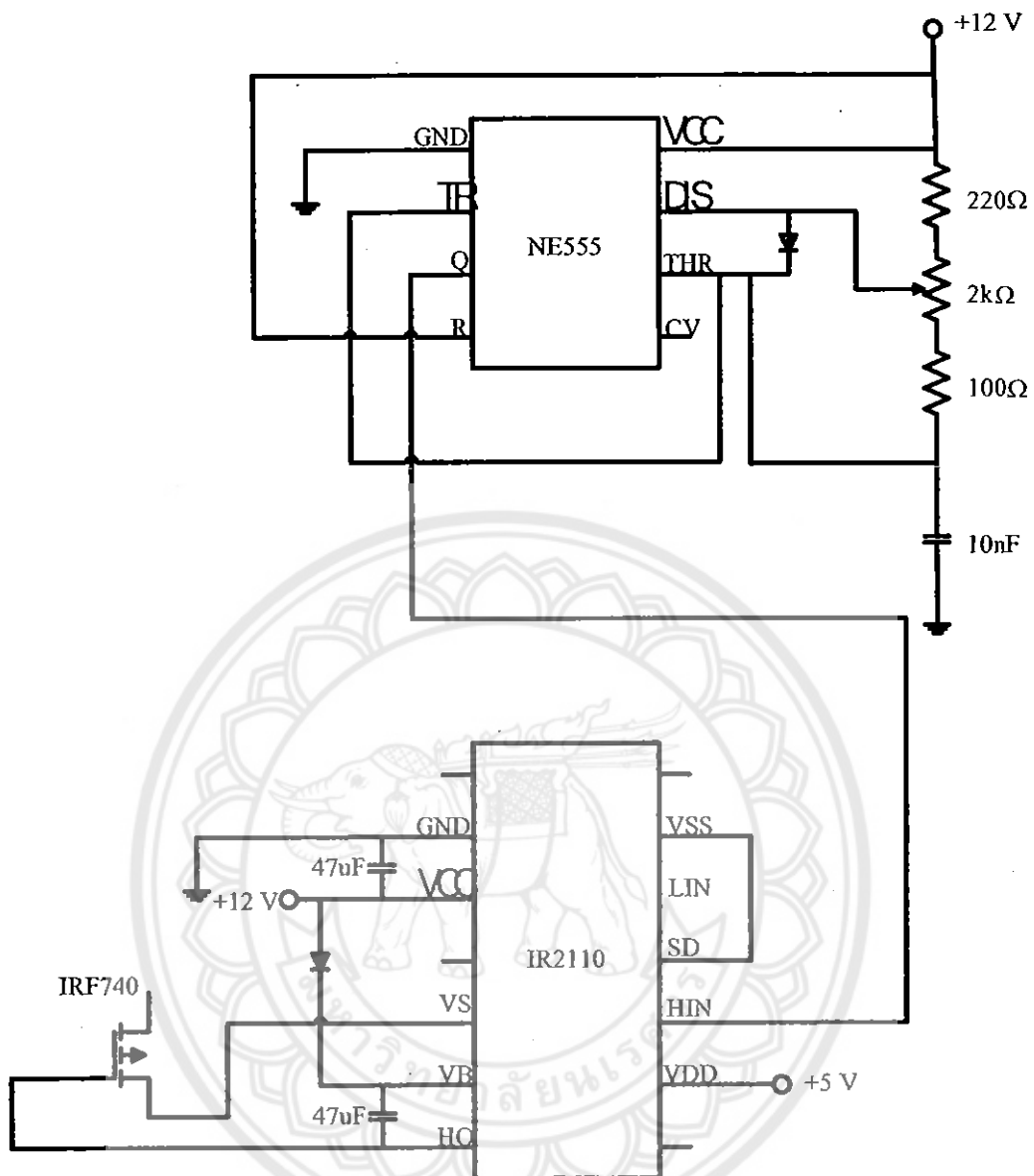
ค) ไดโอด

ในที่นี้จะใช้ไดโอด คือ MUR1520 จำนวน 2 ตัว ซึ่งเป็นไดโอดของวงจรทอนระดับแรงดัน และเป็นไดโอดของวงจรทบระดับแรงดัน

ง) สวิตช์

เลือกใช้มอสเฟตกำลัง (Power MOSFET) ชนิด n-channel และในที่นี้ได้เลือกใช้หมายเลข IRF740 จำนวน 2 ตัว (พิกัดกระแสไฟฟ้า 10 A พิกัดแรงดันไฟฟ้า 400 V และค่าความต้านทานขณะนำกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 0.55  $\Omega$ ) สำหรับรายละเอียดอื่น ๆ ของมอสเฟตชนิดนี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ก

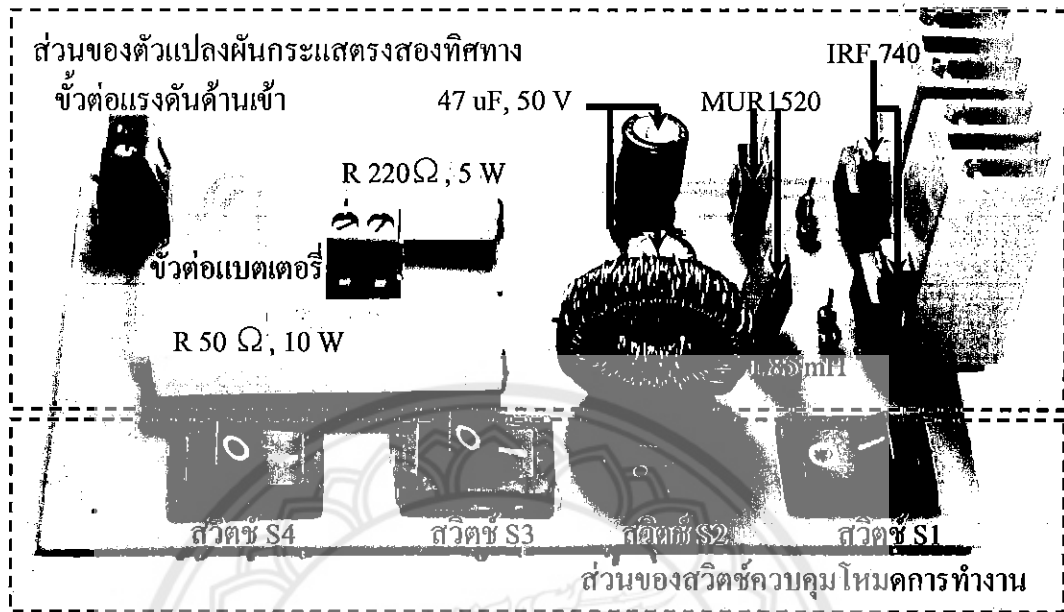
การควบคุมตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทางทำการต่อวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.13 ขณะที่ทำการทอนระดับแรงดัน สวิตช์ S1 และ S3 ทำการปิดวงจรอยู่ ส่วนสวิตช์ S2 และ S4 ทำการเปิดวงจรโดยที่มอสเฟต Q1 จะเป็นตัวทำการสวิตชิง แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 50  $\Omega$  คือแรงดันหลังจากวงจรทำการทอนระดับแรงดันแล้ว และเมื่อทำการทบระดับแรงดันให้เปิดวงจรสวิตช์ S3 และ S1 ส่วนสวิตช์ S2 และ S4 ทำการปิดวงจรโดยที่มอสเฟต Q2 จะเป็นตัวทำการสวิตชิง แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทาน 220  $\Omega$  คือแรงดันหลังจากวงจรทำการทบระดับแรงดันแล้ว



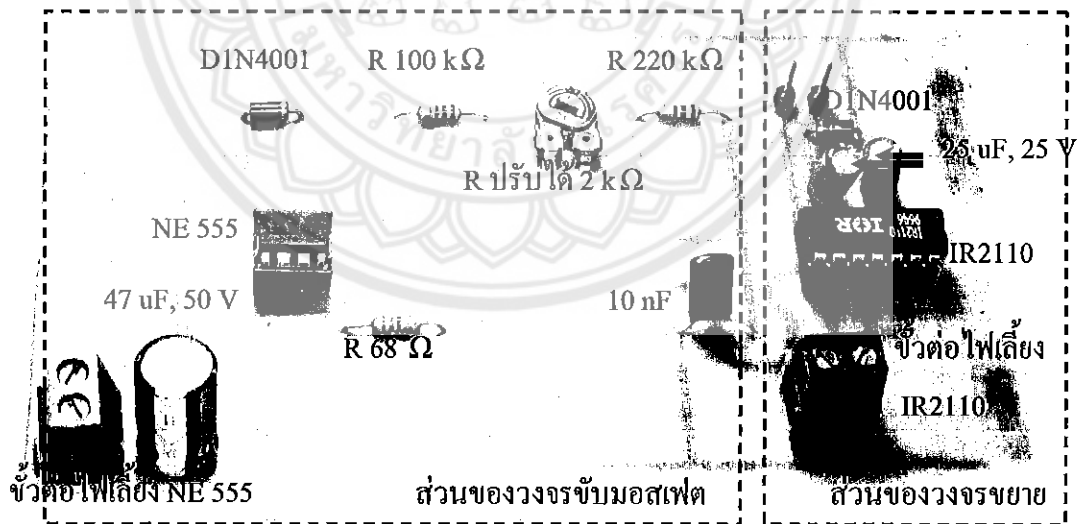
รูปที่ 3.14 แผนภาพวงจรขับมอสเฟต

จากรูปที่ 3.14 สัญญาณที่ใช้ขับมอสเฟต เป็นสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่สร้างจากจากไอซีหมายเลข NE555 หลังจากนั้นจะถูกส่งเข้าไปยังไอซีที่ใช้ขยายตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง โดยในที่นี้เลือกใช้ไอซีหมายเลข IR2110 เพื่อนำสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ได้จากไอซีหมายเลข NE555 มาขยายสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณพีคดับเบิลยูเอ็มที่ได้ไม่สามารถขับมอสเฟตกำลังได้ โดยสัญญาณที่ถูกขยายแล้วจะมีแรงดันประมาณ 8-15 โวลต์ ซึ่งสามารถนำไปขับมอสเฟตกำลังในตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง สำหรับรายละเอียดของไอซี ทั้งสองหมายเลขนี้สามารถศึกษาเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ก

เมื่อนำวงจรทั้งสองชุดที่กล่าวข้างต้นมาต่อรวมกันแสดงได้ดังรูปที่ 3.15 และ 3.16



รูปที่ 3.15 ชุดตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง



รูปที่ 3.16 ชุดวงจรขับมอสเฟต

## บทที่ 4

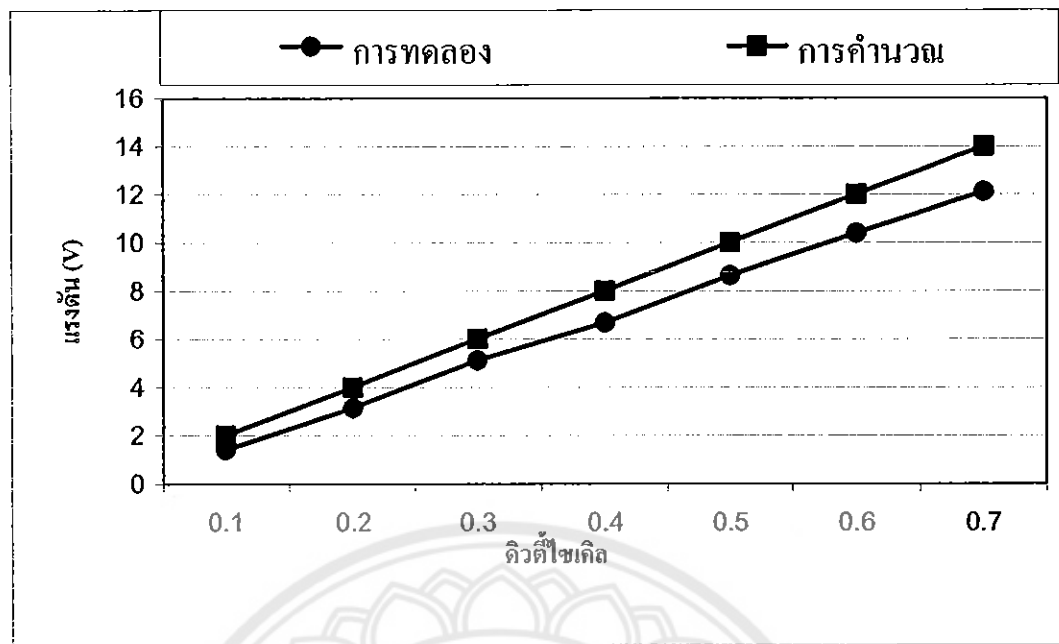
### ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง และทำการทดลองโดยนำตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทางนำไปใช้ควบคุมการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ โดยมีผลการทดสอบต่าง ๆ ดังนี้

#### 4.1 การทดสอบตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง

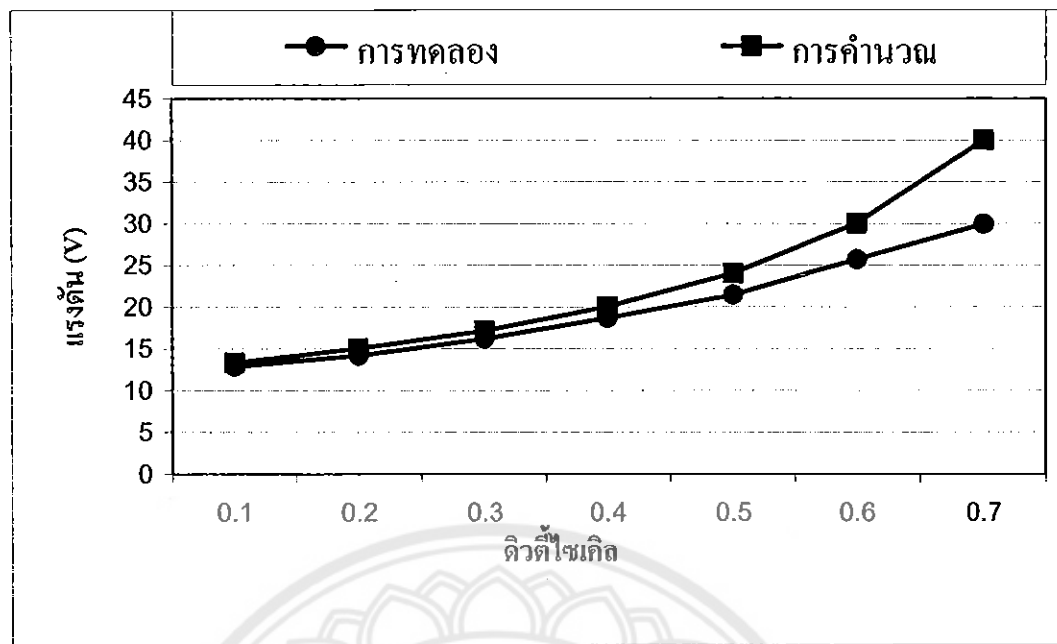
ในโครงการนี้ได้ทำการออกแบบวงจร และทดสอบตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง เพื่อทำการวัดค่าแรงดันด้านออก กระแสด้านเข้า และกระแสด้านออก ทั้งในช่วงทอนระดับแรงดัน และทาระดับแรงดันของตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง ที่ดีวีดีไอเคิลตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.7 นำค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้มาวาดกราฟคุณลักษณะของแรงดันด้านออก แล้วทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้กับค่าทางทฤษฎี ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1 ถึง 4.3

จากสมการ  $V_{out}/V_{in} = D$  เป็นสมการแปรผันตรงแบบเชิงเส้นจึงส่งผลให้กราฟที่ได้เป็นกราฟเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 4.1 ผลการทดสอบนำค่าแรงดันด้านออกของตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทางในช่วงทอนระดับแรงดันมาเปรียบเทียบกัน จะสังเกตได้ว่าค่าแรงดันด้านออกจากการทดลองจะมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันด้านออกจากการคำนวณ เนื่องจากมอสเฟต ไดโอด และตัวเหนี่ยวนำมีความต้านทานแฝงภายในอุปกรณ์ [1] เมื่อดีวีดีไอเคิลเพิ่มขึ้นทำให้มีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรสูงขึ้น นั่นก็ทำให้แรงดันตกคร่อมที่มอสเฟต ไดโอด และตัวเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดันด้านออกมีค่าลดลง แรงดันด้านออกที่ได้จากการทดลองจึงมีค่าแตกต่างกับค่าทฤษฎีเพิ่มขึ้น



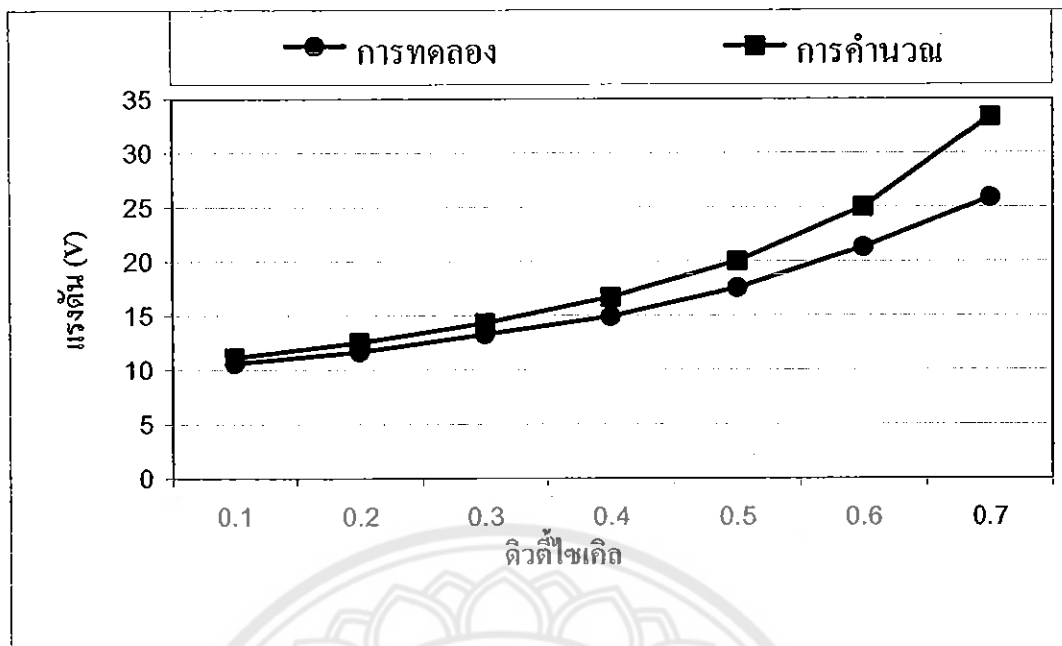
รูปที่ 4.1 กราฟแรงดันด้านออกของตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง ในช่วงทอนระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 20 V

จากสมการ  $V_{out}/V_{in} = 1/(1-D)$  เป็นสมการแปรผันตรงแบบไม่เชิงเส้นจึงส่งผลให้กราฟที่ได้เป็นกราฟไม่เส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 4.2 ผลการทดสอบนำค่าแรงดันด้านออกของตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทางในช่วงทอนระดับแรงดันมาเปรียบเทียบกัน จะสังเกตได้ว่าค่าแรงดันด้านออกจากการทดลองจะมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันด้านออกจากการคำนวณ เนื่องจากมอสเฟต ไดโอด และตัวเหนี่ยวนำมีความต้านทานแฝงภายในอุปกรณ์ [1] เมื่อดิวตี้ไซเคิลเพิ่มขึ้นทำให้มีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรสูงขึ้น นั่นคือทำให้แรงดันตกคร่อมที่มอสเฟต ไดโอด และตัวเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดันด้านออกมีค่าลดลง แรงดันด้านออกที่ได้จากการทดลองจึงมีค่าแตกต่างกับค่าทฤษฎีเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.2 กราฟแรงดันด้านออกของตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง ในช่วงทระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 12 V

จากสมการ  $V_{out}/V_{in} = 1/(1-D)$  เป็นสมการแปรผันตรงแบบไม่เชิงเส้นจึงส่งผลให้กราฟที่ได้เป็นกราฟไม่เส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 4.3 ผลการทดสอบนำค่าแรงดันด้านออกของตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทางในช่วงทระดับแรงดันมาเปรียบเทียบกันจะสังเกตได้ว่าค่าแรงดันด้านออกจากการทดลองจะมีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันด้านออกจากการคำนวณ เนื่องจากมอสเฟต ไดโอด และตัวเหนี่ยวนำมีความต้านทานแฝงภายในอุปกรณ์ [1] เมื่อดิวตี้ไซเคิลเพิ่มขึ้นทำให้มีกระแสไหลผ่านอุปกรณ์ต่าง ๆ ในวงจรสูงขึ้น นั่นคือทำให้แรงดันตกคร่อมที่มอสเฟต ไดโอด และตัวเหนี่ยวนำมีค่าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้แรงดันด้านออกมีค่าลดลง แรงดันด้านออกที่ได้จากการทดลองจึงมีค่าแตกต่างกับค่าทฤษฎีเพิ่มขึ้น

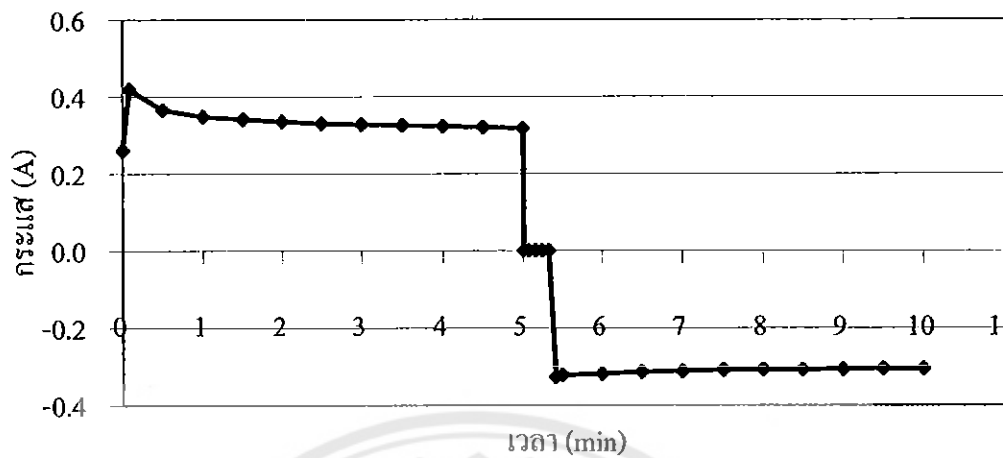


รูปที่ 4.3 กราฟแรงดันด้านออกของตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง ในช่วงทบระดับแรงดัน ที่แรงดันด้านเข้า 10 V

#### 4.2 การทดสอบควบคุมการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่จากตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง

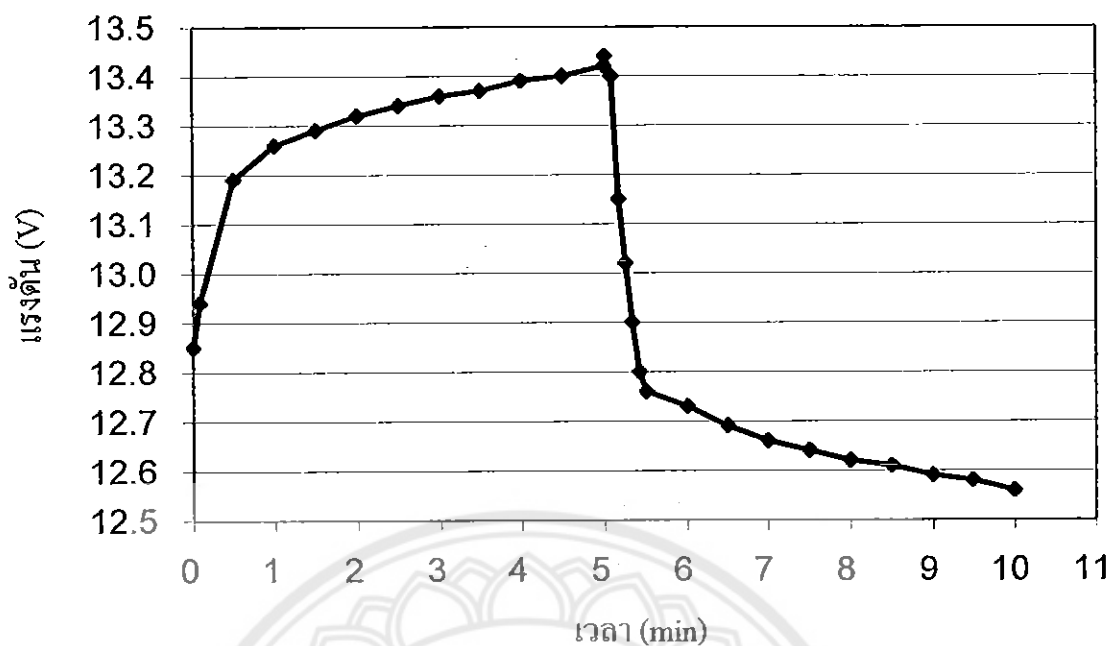
โหมดอัดประจุก่อนทำการทดสอบวัดค่าแรงดัน ไฟฟ้าเริ่มต้นที่แบตเตอรี่ได้ 12.42 V ใช้แรงดันแหล่งจ่าย 25.6 V ที่วัตต์/โวลต์เท่ากับ 0.6 ทำการต่อวงจรดังแสดงในรูปที่ 3.13 สวิตช์ S1 และ S3 ทำการปิดวงจรอยู่ ส่วนสวิตช์ S2 และ S4 ทำการเปิดวงจร วงจรจะทำงานเสมือนวงจรทอนระดับแรงดัน โดยมอสเฟต Q1 จะเป็นตัวทำการสวิตชิง แล้วทำการวัดค่าแรงดัน ไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ความต้านทาน  $50\Omega$  ได้แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 13.08 V และกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 0.262 A หลังจากนั้นทำการปิดสวิตช์ S4 แล้ววัดค่ากระแสด้านเข้าที่แหล่งจ่าย กระแส และแรงดันที่แบตเตอรี่ หลังจากนั้นทำการเปิดสวิตช์ S3 แล้วทำการวัดค่ากระแสด้านเข้าที่แหล่งจ่าย กระแส และแรงดันที่แบตเตอรี่เป็นเวลา 5 นาที ในการอัดประจุจะไม่ให้แรงดันที่แบตเตอรี่เกิน 14.4 V ซึ่งเป็นพิกัดสูงสุดในการอัดประจุ ก่อนที่จะทำการทดสอบในโหมดคายประจุจะต้องทำให้แน่ใจก่อนว่ากระแสไฟฟ้าตัวเหนี่ยวนำมีค่าลงมาเป็นศูนย์เพราะกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดไม่ได้ โดยการเปิดสวิตช์ S1 และ S4 แล้วทำการปิดสวิตช์ S3 เพื่อทำการคายพลังงานของตัวเหนี่ยวนำ หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนการทำงานของมอสเฟต Q1 มาเป็นมอสเฟต Q2 จึงทำการเปิดสวิตช์ S3 แล้วทำการปิดสวิตช์ S2 และ S4 วัดค่ากระแสที่แบตเตอรี่ ส่วนกระแส และแรงดันด้านออกวัดที่ความต้านทาน  $220\Omega$  จนครบ 10 นาที ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.4 และ 4.5





รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงของกระแสแบตเตอรี่ ขณะทำการทดสอบการอัดและคายประจุ

จากรูปที่ 4.4 ทำการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่แบตเตอรี่ กระแสเริ่มต้นก่อนที่จะทำการอัดประจุเท่ากับ 0.260 A และมีแรงดันตกคร่อมโหลดในวงจรเท่ากับ 13.08 V ส่วนแรงดันเริ่มต้นของแบตเตอรี่เท่ากับ 12.42 V เมื่อเริ่มการอัดประจุจะมีการทำงานเสมือนวงจรทอนระดับแรงดัน กระแสที่แบตเตอรี่เพิ่มสูงขึ้นเท่ากับ 0.419 A กระแสในขณะอัดประจุของแบตเตอรี่ขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ระหว่างแรงดันตกคร่อมโหลดในวงจรกับแรงดันเริ่มต้นของแบตเตอรี่จากกฎของโอห์ม  $I_{\text{batt}} = (V_{\text{out}} - V_{\text{batt}}) / R_{\text{batt}}$  หลังจากเริ่มอัดประจุของแบตเตอรี่ แรงดันที่แบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้น ความต่างศักย์ระหว่างแรงดันตกคร่อมโหลดในวงจรกับแรงดันที่แบตเตอรี่ลดลงกระแสที่แบตเตอรี่ในขณะอัดประจุจึงค่อย ๆ ลดลง ทดสอบจนครบ 5 นาที หลังจากนั้นต้องทำกระแสที่ตัวเหนี่ยวนำให้เป็นศูนย์ก่อนการเปลี่ยนโหมด จากการอัดประจุ ไปเป็นการคายประจุจะสังเกตเห็นว่ากระแสไฟฟ้าลดลงเป็นศูนย์ในทันที เนื่องจากการคายพลังงานของตัวเหนี่ยวนำ และเมื่อเปลี่ยนเป็นโหมดคายประจุจะมีการทำงานเสมือนวงจรทอนระดับแรงดัน แบตเตอรี่จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายเนื่องจากแรงดันตกคร่อมโหลดความต้านทานมีค่าคงที่ และแรงดันที่แบตเตอรี่ซึ่งทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายจึงมีค่าค่อย ๆ ลดลง กระแสที่แบตเตอรี่จึงมีค่าลดลงอย่างช้า ๆ มีค่าเท่ากับ 0.3 A



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงของแรงดันแบตเตอรี่ ขณะทำการทดสอบการอัดและคายประจุ

จากรูปที่ 4.5 ทำการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่แบตเตอรี่ขณะทำการอัดประจุ จะทำงานเสมือนวงจรทอนระดับแรงดัน แรงดันที่แบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากการอัดประจุ แต่จะไม่ให้มีค่าเกิน 14.4 V เนื่องจากเป็นพิกัดสูงสุดในการอัดประจุ ทดลองจนครบ 5 นาที ในช่วงเปลี่ยนโหมดการทำงาน แรงดันที่แบตเตอรี่จะลดลงทันทีในช่วงเวลาสั้น ๆ เมื่อทำการเปลี่ยนเป็น โหมดคายประจุจะมีการทำงานเสมือนวงจรทอนระดับแรงดัน จะเกิดการไหลของพลังงาน ตลอดเวลา กระแสที่แบตเตอรี่มีค่าค่อย ๆ ลดลง เนื่องจากการคายประจุ แรงดันที่แบตเตอรี่จึงมีค่า ลดลงซึ่งการเปลี่ยนแปลงของแรงดันแบตเตอรี่ในการทดสอบเป็นไปตามคุณลักษณะของการอัด และคายประจุของแบตเตอรี่แบบตะกั่วชนิดแห้ง

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึง การสรุปผลการทดลองในโครงการนี้ทั้งหมด พร้อมทั้งวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ตลอดจนข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการนำโครงการนี้ไปพัฒนาต่อ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

โครงการนี้เริ่มต้นจากการศึกษาทฤษฎี และจำลองผลการทำงานของวงจรทอนระดับแรงดัน และวงจรทอนระดับแรงดันด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อวิเคราะห์ผลตอบสนองสถานะชั่วคราว และผลตอบสนองสถานะอยู่ตัวของวงจร จากนั้นจึงออกแบบ และสร้างตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง ซึ่งพัฒนามาจากวงจรทอนระดับแรงดัน และวงจรทอนระดับแรงดัน จากนั้นจึงนำวงจรที่สร้างขึ้นมาทดสอบหาค่าของแรงดัน กระแส และประสิทธิภาพ เพื่อเปรียบเทียบกับวงจรทอนระดับแรงดัน และวงจรทอนระดับแรงดันขณะที่ยังไม่ได้รวมวงจร จากนั้นจึงนำวงจรที่สร้างขึ้น ไปควบคุมการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ เพื่อทดสอบการไหลของพลังงานในสองทิศทางดังนี้

จากการทดลองที่ 4.1 เมื่อมีการนำตัวแปลงผันกำลังกระแสตรงสองทิศทาง มาทดสอบ โดยจ่ายแรงดันด้านเข้า จะเห็นได้ว่า ค่าของแรงดัน กระแส กำลังด้านเข้าและด้านออก รวมไปถึงค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการทดลองจะมีค่าต่ำกว่าค่าที่คำนวณในทางทฤษฎี เนื่องจากเกิดแรงดันที่ตกคร่อมมอสเฟต ไดโอด และตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งในทฤษฎีได้กำหนดให้ค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับศูนย์

ผลจากการทดลองที่ 4.1 ผลการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎี จึงสามารถนำวงจรที่สร้างขึ้น ไปใช้ในการควบคุมการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ในการทดลองที่ 4.2 ต่อไป

จากการทดลองที่ 4.2 เมื่อนำวงจรที่สร้างขึ้น ไปควบคุมการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ วงจรที่สร้างขึ้นสามารถควบคุมการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ได้โดย ในช่วง 5 นาทีแรกได้ควบคุมวงจรให้ทำงานเสมือนวงจรทอนระดับแรงดัน เพื่อให้วงจรควบคุมการอัดประจุของแบตเตอรี่ ในช่วง 05:01 นาที ถึง 05:25 นาที ได้ควบคุมวงจรให้อยู่ในช่วงการเปลี่ยนโหมด ในช่วงนี้กระแสจะตกลงเป็นศูนย์อย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเกิดการคายพลังงานที่ตัวเหนี่ยวนำ และในช่วง 05:26 นาที ถึง 10:00 นาที ได้ควบคุมวงจรให้ทำงานเสมือนวงจรทอนระดับแรงดัน เพื่อให้วงจรควบคุมการคายประจุของแบตเตอรี่

จากผลการทดลองทั้งหมดที่เกิดขึ้น พิสูจน์ได้แล้วว่าวงจรแปลงผันกระแสตรงสองทิศทางที่สร้างขึ้นในโครงการนี้ สามารถทำให้พลังงานเกิดการไหลได้ทั้งสองทิศทางได้ ซึ่งสามารถนำวงจรที่สร้างขึ้น ไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ ได้

## 5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ไข

- 1) เนื่องจากแรงดันของสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มที่ออกจากไอซีหมายเลข 555 มีค่าสูงไม่พอสำหรับใช้ขับมอสเฟตโดยตรง ทำให้ต้องใช้วงจรขยาย เพื่อยกระดับแรงดันของสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มให้มีค่าสูงพอในการขับมอสเฟต
- 2) การเลือกอุปกรณ์จากโปรแกรม MATLAB สำหรับวงจรทระดับแรงดัน มีปัญหาในเรื่องค่ากำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานทนได้ เนื่องจากการจำลองผลได้ใช้ค่าความต้านทาน  $50\ \Omega$  เมื่อนำค่าความต้านทานที่ได้จากการจำลองผลมาใช้งานจริง ค่ากระแสต้านออกจะมีค่ามาก จากสมการ  $P = I^2R$  ทำให้กำลังต้านออกมีค่าสูงเกินกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ตัวต้านทานทนได้ ทำให้วงจรทระดับแรงดันไม่ทำงาน จึงจำเป็นต้องเลือกค่าความต้านทานที่ทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าอยู่ในช่วงที่กำลังไฟฟ้าของตัวต้านทานทนได้ และมีค่าใกล้เคียงกับค่าความต้านทานเดิม จากนั้นนำค่าความต้านทานไปจำลองผลด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อวิเคราะห์ผลตอบสนองว่าได้ผลที่ยอมรับได้หรือไม่

## 5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

- 1) เนื่องจากวงจรแปลงผันกระแสตรงสองทิศทางที่สร้างขึ้นในวงจรนี้ ยังควบคุมการเปลี่ยนโหมดการทำงานด้วยการควบคุมจากสวิตช์โดยผู้ทำการทดลอง หากเปลี่ยนมาใช้ในการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำให้ได้ค่าคุณลักษณะต่าง ๆ ที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้น
- 2) วงจรสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มในโครงการนี้ สร้างด้วยไอซีหมายเลข 555 หากเปลี่ยนมาใช้ในการสร้างสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มจากไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำให้ได้ค่าความถูกต้องของความถี่สวิตชิง และสัญญาณพีดับเบิลยูเอ็มมีมากขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระเชษฐ ชันเงิน และวุฒิพล ธาราธีรสรยฐ์. (2550). อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics). กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด วิ.เจ. พรินติ้ง
- [2] Wikipedia, the free encyclopedia. 555 timer IC. Retrieved August, 29, 2010 from [http://en.wikipedia.org/wiki/555\\_timer\\_IC#cite\\_note-0](http://en.wikipedia.org/wiki/555_timer_IC#cite_note-0)
- [3] ทฤษฎีเบื้องต้นของไอซีหมายเลข555. สืบค้นเมื่อ 29 สิงหาคม 2533, จาก <http://www.chontech.ac.th/~electric/pdf/IC555.pdf>
- [4] กฤษ เฉยไธย (2547). Power Electronics. เอกสารประกอบการสอน วิชาอิเล็กทรอนิกส์กำลัง. ขอนแก่น: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย ขอนแก่น





ภาคผนวก ก

ตารางข้อมูลของอุปกรณ์ในวงจร

มหาวิทยาลัยพระนคร

## ก.1 ตารางข้อมูลของมอดเฟต IRF740

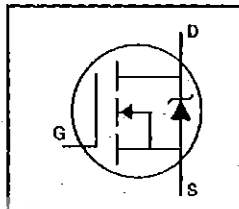
**International  
IR Rectifier**

PD-9.375H

# IRF740

HEXFET® Power MOSFET

- Dynamic dv/dt Rating
- Repetitive Avalanche Rated
- Fast Switching
- Ease of Paralleling
- Simple Drive Requirements



$$V_{DSS} = 400V$$

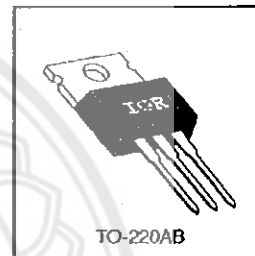
$$R_{DS(on)} = 0.55\Omega$$

$$I_D = 10A$$

### Description

Third Generation HEXFETs from International Rectifier provide the designer with the best combination of fast switching, ruggedized device design, low on-resistance and cost-effectiveness.

The TO-220 package is universally preferred for all commercial-industrial applications at power dissipation levels to approximately 50 watts. The low thermal resistance and low package cost of the TO-220 contribute to its wide acceptance throughout the industry.



DATA  
SHEETS

### Absolute Maximum Ratings

Parameter	Max.	Units
$I_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	10	A
$I_D @ T_C = 100^\circ\text{C}$	6.3	A
$I_{DM}$	40	A
$P_D @ T_C = 25^\circ\text{C}$	125	W
	1.0	W/°C
$V_{GS}$	±20	V
$E_{AS}$	520	mJ
$I_{AR}$	10	A
$E_{AR}$	13	mJ
dv/dt	4.0	V/ns
$T_J$	-55 to +150	°C
$T_{STG}$		
	300 (1.6mm from case)	
	10 lbf·in (1.1 N·m)	

### Thermal Resistance

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
$R_{\theta JC}$	—	—	1.0	°C/W
$R_{\theta CS}$	—	0.50	—	°C/W
$R_{\theta JA}$	—	—	62	°C/W

## IRF740

Electrical Characteristics @  $T_J = 25^\circ\text{C}$  (unless otherwise specified)

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{(BR)DSS}$	Drain-to-Source Breakdown Voltage	400	—	—	V	$V_{GS}=0V, I_D=250\mu A$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	Breakdown Voltage Temp. Coefficient	—	0.49	—	V/°C	Reference to $25^\circ\text{C}, I_D=1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	Static Drain-to-Source On-Resistance	—	—	0.55	$\Omega$	$V_{GS}=10V, I_D=6.0A$ ①
$V_{GS(th)}$	Gate Threshold Voltage	2.0	—	4.0	V	$V_{DS}=V_{GS}, I_D=250\mu A$
$g_{fs}$	Forward Transconductance	5.8	—	—	S	$V_{DS}=50V, I_D=6.0A$ ①
$I_{DSS}$	Drain-to-Source Leakage Current	—	—	25	$\mu A$	$V_{DS}=400V, V_{GS}=0V$
		—	—	250	$\mu A$	$V_{DS}=320V, V_{GS}=0V, T_J=125^\circ\text{C}$
$I_{GSS}$	Gate-to-Source Forward Leakage	—	—	100	nA	$V_{GS}=20V$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	—	-100	nA	$V_{GS}=-20V$
$Q_g$	Total Gate Charge	—	—	63	nC	$I_D=10A$
$Q_{gs}$	Gate-to-Source Charge	—	—	9.0	nC	$V_{DS}=320V$
$Q_{gd}$	Gate-to-Drain ("Miller") Charge	—	—	32	nC	$V_{GS}=10V$ See Fig. 6 and 13 ②
$t_{d(on)}$	Turn-On Delay Time	—	14	—	ns	$V_{DD}=200V$
$t_r$	Rise Time	—	27	—	ns	$I_D=10A$
$t_{d(off)}$	Turn-Off Delay Time	—	50	—	ns	$R_G=9.1\Omega$
$t_f$	Fall Time	—	24	—	ns	$R_D=20\Omega$ See Figure 10 ②
$L_D$	Internal Drain Inductance	—	4.5	—	nH	Between lead, 6 mm (0.25in.) from package and center of die contact
$L_S$	Internal Source Inductance	—	7.5	—	nH	
$C_{iss}$	Input Capacitance	—	1400	—	pF	$V_{GS}=0V$
$C_{oss}$	Output Capacitance	—	330	—	pF	$V_{DS}=25V$
$C_{rss}$	Reverse Transfer Capacitance	—	120	—	pF	$f=1.0\text{MHz}$ See Figure 5

## Source-Drain Ratings and Characteristics

	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$I_S$	Continuous Source Current (Body Diode)	—	—	10	A	MOSFET symbol showing the integral reverse p-n junction diode.
$I_{SM}$	Pulsed Source Current (Body Diode) ①	—	—	40	A	
$V_{SD}$	Diode Forward Voltage	—	—	2.0	V	$T_J=25^\circ\text{C}, I_S=10A, V_{GS}=0V$ ②
$t_{rr}$	Reverse Recovery Time	—	370	790	ns	$T_J=25^\circ\text{C}, I_F=10A$
$Q_{rr}$	Reverse Recovery Charge	—	3.8	8.2	$\mu C$	$di/dt=100A/\mu s$ ②
$t_{on}$	Forward Turn-On Time	Intrinsic turn-on time is negligible (turn-on is dominated by $L_S+L_D$ )				

## Notes:

- ① Repetitive rating; pulse width limited by max. junction temperature (See Figure 11)      ③  $I_{SD} \leq 10A, di/dt \leq 120A/\mu s, V_{DD} \leq V_{(BR)DSS}, T_J \leq 150^\circ\text{C}$
- ②  $V_{DD}=50V, \text{starting } T_J=25^\circ\text{C}, L=9.1\text{mH}, R_G=25\Omega, I_{AS}=10A$  (See Figure 12)      ④ Pulse width  $\leq 300\mu s$ ; duty cycle  $\leq 2\%$ .



ก.2 ตารางข้อมูลของไดโอด MUR 1520

**MUR1510, MUR1515,  
MUR1520, MUR1540,  
MUR1560**

Preferred Devices

**SWITCHMODE™  
Power Rectifiers**

... designed for use in switching power supplies, inverters and as free wheeling diodes, these state-of-the-art devices have the following features:

- Ultrafast 35 and 60 Nanosecond Recovery Time
- 175°C Operating Junction Temperature
- Popular TO-220 Package
- High Voltage Capability to 600 Volts
- Low Forward Drop
- Low Leakage Specified @ 150°C Case Temperature
- Current Derating Specified @ Both Case and Ambient Temperatures

**Mechanical Characteristics:**

- Case: Epoxy, Molded
- Weight: 1.9 grams (approximately)
- Finish: All External Surfaces Corrosion Resistant and Terminal Leads are Readily Solderable
- Lead Temperature for Soldering Purposes: 260°C Max. for 10 Seconds
- Shipped 50 units per plastic tube
- Marking: U1510, U1515, U1520, U1540, U1560

**MAXIMUM RATINGS**

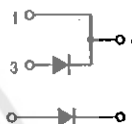
Please See the Table on the Following Page



**ON Semiconductor™**

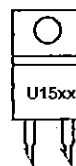
<http://onsemi.com>

**ULTRAFAST  
RECTIFIERS  
15 AMPERES  
100-600 VOLTS**



TO-220AC  
CASE 221B  
PLASTIC

**MARKING DIAGRAM**



U15xx = Device Code  
xx = 10, 15, 20,  
40 or 60

**ORDERING INFORMATION**

Device	Package	Shipping
MUR1510	TO-220	50 Units/Rail
MUR1515	TO-220	50 Units/Rail
MUR1520	TO-220	50 Units/Rail
MUR1540	TO-220	50 Units/Rail
MUR1560	TO-220	50 Units/Rail

Preferred devices are recommended choices for future use and best overall value.

## MUR1510, MUR1515, MUR1520, MUR1540, MUR1560

## MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	MUR					Unit
		1510	1515	1520	1540	1560	
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	$V_{RRM}$ $V_{RWM}$ $V_R$	100	150	200	400	600	Volts
Average Rectified Forward Current (Rated $V_R$ )	$I_{F(AV)}$	15 @ $T_C = 150^\circ\text{C}$			15 @ $T_C = 145^\circ\text{C}$		Amps
Peak Rectified Forward Current (Rated $V_R$ , Square Wave, 20 kHz)	$I_{FRM}$	30 @ $T_C = 150^\circ\text{C}$			30 @ $T_C = 145^\circ\text{C}$		Amps
Nonrepetitive Peak Surge Current (Surge applied at rated load conditions halfwave, single phase, 60 Hz)	$I_{FSM}$	200			150		Amps
Operating Junction Temperature and Storage Temperature Range	$T_J, T_{stg}$	-65 to +175					$^\circ\text{C}$

## THERMAL CHARACTERISTICS

Maximum Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.5	$^\circ\text{C/W}$
--	-----------------	-----	--------------------

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Maximum Instantaneous Forward Voltage (Note 1.) ( $I_F = 15$ Amps, $T_C = 150^\circ\text{C}$ ) ( $I_F = 15$ Amps, $T_C = 25^\circ\text{C}$ )	$V_F$	0.85 1.05	1.12 1.25	1.20 1.50	Volts
Maximum Instantaneous Reverse Current (Note 1.) (Rated dc Voltage, $T_C = 150^\circ\text{C}$ ) (Rated dc Voltage, $T_C = 25^\circ\text{C}$ )	$I_R$	500 10	500 10	1000 10	$\mu\text{A}$
Maximum Reverse Recovery Time ( $I_F = 1.0$ Amp, $dI/dt = 50$ Amps/ $\mu\text{s}$ )	$t_{rr}$	35	60		ns

1. Pulse Test: Pulse Width = 300  $\mu\text{s}$ , Duty Cycle  $\leq 2.0\%$ .

### ก.3 ตารางข้อมูลของไอซีหมายเลข 555

**FAIRCHILD**  
SEMICONDUCTOR\*

www.fairchildsemi.com

## LM555/NE555/SA555

### Single Timer

#### Features

- High Current Drive Capability (200mA)
- Adjustable Duty Cycle
- Temperature Stability of 0.005%/°C
- Timing From  $\mu$ Sec to Hours
- Turn off Time Less Than 2 $\mu$ Sec

#### Applications

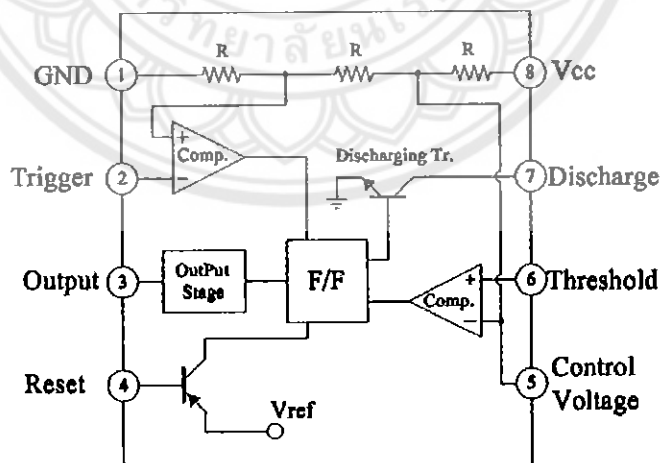
- Precision Timing
- Pulse Generation
- Time Delay Generation
- Sequential Timing

#### Description

The LM555/NE555/SA555 is a highly stable controller capable of producing accurate timing pulses. With a monostable operation, the time delay is controlled by one external resistor and one capacitor. With an astable operation, the frequency and duty cycle are accurately controlled by two external resistors and one capacitor.



#### Internal Block Diagram



Rev. 1.0.3

LM555/NE555/SA555

**Absolute Maximum Ratings (TA = 25°C)**

Parameter	Symbol	Value	Unit
Supply Voltage	VCC	16	V
Lead Temperature (Soldering 10sec)	TLEAD	300	°C
Power Dissipation	PD	600	mW
Operating Temperature Range LM555/NE555 SA555	TOPR	0 ~ +70 -40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	TSTG	-65 ~ +150	°C



## Electrical Characteristics

( $T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5 \sim 15\text{V}$ , unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Supply Voltage	VCC	-	4.5	-	16	V
Supply Current (Low Stable) (Note1)	ICC	VCC = 5V, $R_L = \infty$	-	3	6	mA
		VCC = 15V, $R_L = \infty$	-	7.5	15	mA
Timing Error (Monostable) Initial Accuracy (Note2) Drift with Temperature (Note4) Drift with Supply Voltage (Note4)	ACCUR $\Delta V/\Delta T$ $\Delta V/\Delta V_{CC}$	$R_A = 1\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$	-	1.0 50 0.1	3.0 - 0.5	% ppm/ $^\circ\text{C}$ %/V
Timing Error (Astable) Initial Accuracy (Note2) Drift with Temperature (Note4) Drift with Supply Voltage (Note4)	ACCUR $\Delta V/\Delta T$ $\Delta V/\Delta V_{CC}$	$R_A = 1\text{k}\Omega$ to $100\text{k}\Omega$ $C = 0.1\mu\text{F}$	-	2.25 150 0.3	-	% ppm/ $^\circ\text{C}$ %/V
Control Voltage	V <sub>C</sub>	VCC = 15V	9.0	10.0	11.0	V
		VCC = 5V	2.6	3.33	4.0	V
Threshold Voltage	V <sub>TH</sub>	VCC = 15V	-	10.0	-	V
		VCC = 5V	-	3.33	-	V
Threshold Current (Note3)	I <sub>TH</sub>	-	-	0.1	0.25	$\mu\text{A}$
Trigger Voltage	V <sub>TR</sub>	VCC = 5V	1.1	1.67	2.2	V
		VCC = 15V	4.5	5	5.6	V
Trigger Current	I <sub>TR</sub>	V <sub>TR</sub> = 0V	-	0.01	2.0	$\mu\text{A}$
Reset Voltage	V <sub>RST</sub>	-	0.4	0.7	1.0	V
Reset Current	I <sub>RST</sub>	-	-	0.1	0.4	mA
Low Output Voltage	V <sub>OL</sub>	VCC = 15V I <sub>SINK</sub> = 10mA I <sub>SINK</sub> = 50mA	-	0.06 0.3	0.25 0.75	V V
		VCC = 5V I <sub>SINK</sub> = 5mA	-	0.05	0.35	V
High Output Voltage	V <sub>OH</sub>	VCC = 15V I <sub>SOURCE</sub> = 200mA I <sub>SOURCE</sub> = 100mA	12.75	12.5 13.3	-	V V
		VCC = 5V I <sub>SOURCE</sub> = 100mA	2.75	3.3	-	V
Rise Time of Output (Note4)	t <sub>R</sub>	-	-	100	-	ns
Fall Time of Output (Note4)	t <sub>F</sub>	-	-	100	-	ns
Discharge Leakage Current	I <sub>LKG</sub>	-	-	20	100	nA

### Notes:

- When the output is high, the supply current is typically 1mA less than at VCC = 5V.
- Tested at VCC = 5.0V and VCC = 15V.
- This will determine the maximum value of  $R_A + R_B$  for 15V operation, the max. total R = 20M $\Omega$ , and for 5V operation, the max. total R = 6.7M $\Omega$ .
- These parameters, although guaranteed, are not 100% tested in production.

### ก.3 ตารางข้อมูลของไอซีหมายเลข IR2110

International  
**IR** Rectifier

Data Sheet No. PD60147 Rev.T

## IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF) HIGH AND LOW SIDE DRIVER

### Features

- Floating channel designed for bootstrap operation  
Fully operational to +500V or +600V  
Tolerant to negative transient voltage  
dV/dt immune
- Gate drive supply range from 10 to 20V
- Undervoltage lockout for both channels
- 3.3V logic compatible  
Separate logic supply range from 3.3V to 20V  
Logic and power ground  $\pm 5V$  offset
- CMOS Schmitt-triggered inputs with pull-down
- Cycle by cycle edge-triggered shutdown logic
- Matched propagation delay for both channels
- Outputs in phase with inputs
- Also available LEAD-FREE

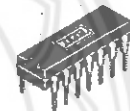
### Description

The IR2110/IR2113 are high voltage, high speed power MOSFET and IGBT drivers with independent high and low side referenced output channels. Proprietary HVIC and latch immune CMOS technologies enable ruggedized monolithic construction. Logic inputs are compatible with standard CMOS or LSTTL output, down to 3.3V logic. The output drivers feature a high pulse current buffer stage designed for minimum driver cross-conduction. Propagation delays are matched to simplify use in high frequency applications. The floating channel can be used to drive an N-channel power MOSFET or IGBT in the high side configuration which operates up to 500 or 600 volts.

### Product Summary

$V_{\text{OFFSET}}$ (IR2110)	500V max.
(IR2113)	600V max.
$I_{\text{O}+/-}$	2A / 2A
$V_{\text{OUT}}$	10 - 20V
$t_{\text{on/off}}$ (typ.)	120 & 94 ns
Delay Matching (IR2110)	10 ns max.
(IR2113)	20ns max.

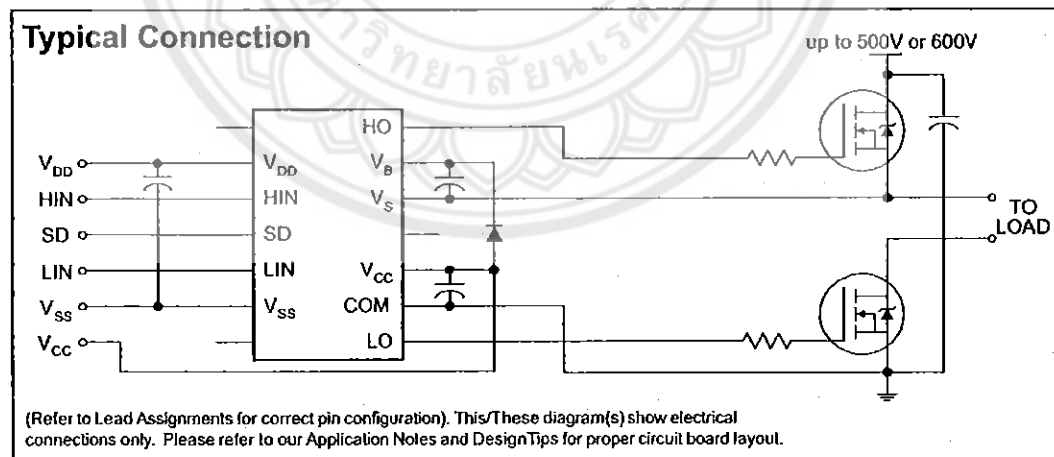
### Packages



14-Lead PDIP  
IR2110/IR2113



16-Lead SOIC  
IR2110S/IR2113S  
(Also available  
LEAD-FREE (PbF))



# IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

International  
IR Rectifier

## Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings indicate sustained limits beyond which damage to the device may occur. All voltage parameters are absolute voltages referenced to COM. The thermal resistance and power dissipation ratings are measured under board mounted and still air conditions. Additional information is shown in Figures 28 through 35.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units	
V <sub>B</sub>	High side floating supply voltage (IR2110)	-0.3	525	V	
	(IR2113)	-0.3	625		
V <sub>S</sub>	High side floating supply offset voltage	V <sub>B</sub> - 25	V <sub>B</sub> + 0.3		
V <sub>HO</sub>	High side floating output voltage	V <sub>S</sub> - 0.3	V <sub>B</sub> + 0.3		
V <sub>CC</sub>	Low side fixed supply voltage	-0.3	25		
V <sub>LO</sub>	Low side output voltage	-0.3	V <sub>CC</sub> + 0.3		
V <sub>DD</sub>	Logic supply voltage	-0.3	V <sub>SS</sub> + 25		
V <sub>SS</sub>	Logic supply offset voltage	V <sub>CC</sub> - 25	V <sub>CC</sub> + 0.3		
V <sub>IN</sub>	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub> - 0.3	V <sub>DD</sub> + 0.3		
dV <sub>S</sub> /dt	Allowable offset supply voltage transient (figure 2)	—	50	V/ns	
P <sub>D</sub>	Package power dissipation @ T <sub>A</sub> ≤ +25°C	(14 lead DIP)	—	1.6	W
		(16 lead SOIC)	—	1.25	
R <sub>THJA</sub>	Thermal resistance, junction to ambient	(14 lead DIP)	—	75	°C/W
		(16 lead SOIC)	—	100	
T <sub>J</sub>	Junction temperature	—	150	°C	
T <sub>S</sub>	Storage temperature	-55	150		
T <sub>L</sub>	Lead temperature (soldering, 10 seconds)	—	300		

## Recommended Operating Conditions

The input/output logic timing diagram is shown in figure 1. For proper operation the device should be used within the recommended conditions. The V<sub>S</sub> and V<sub>SS</sub> offset ratings are tested with all supplies biased at 15V differential. Typical ratings at other bias conditions are shown in figures 36 and 37.

Symbol	Definition	Min.	Max.	Units
V <sub>B</sub>	High side floating supply absolute voltage	V <sub>S</sub> + 10	V <sub>S</sub> + 20	V
V <sub>S</sub>	High side floating supply offset voltage (IR2110)	Note 1	500	
	(IR2113)	Note 1	600	
V <sub>HO</sub>	High side floating output voltage	V <sub>S</sub>	V <sub>B</sub>	
V <sub>CC</sub>	Low side fixed supply voltage	10	20	
V <sub>LO</sub>	Low side output voltage	0	V <sub>CC</sub>	
V <sub>DD</sub>	Logic supply voltage	V <sub>SS</sub> + 3	V <sub>SS</sub> + 20	
V <sub>SS</sub>	Logic supply offset voltage	-5 (Note 2)	5	
V <sub>IN</sub>	Logic input voltage (HIN, LIN & SD)	V <sub>SS</sub>	V <sub>DD</sub>	
T <sub>A</sub>	Ambient temperature	-40	125	°C

Note 1: Logic operational for V<sub>S</sub> of -4V to +500V. Logic state held for V<sub>S</sub> of -4V to -V<sub>B</sub>. (Please refer to the Design Tip DT97-3 for more details).

Note 2: When V<sub>DD</sub> < 5V, the minimum V<sub>SS</sub> offset is limited to -V<sub>DD</sub>.

### Dynamic Electrical Characteristics

$V_{BIAS}$  ( $V_{CC}$ ,  $V_{BS}$ ,  $V_{DD}$ ) = 15V,  $C_L$  = 1000 pF,  $T_A$  = 25°C and  $V_{SS}$  = COM unless otherwise specified. The dynamic electrical characteristics are measured using the test circuit shown in Figure 3.

Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$t_{on}$	Turn-on propagation delay	7	—	120	150	ns	$V_S = 0V$
$t_{off}$	Turn-off propagation delay	8	—	94	125		$V_S = 500V/600V$
$t_{sd}$	Shutdown propagation delay	9	—	110	140		$V_S = 500V/600V$
$t_r$	Turn-on rise time	10	—	25	35		
$t_f$	Turn-off fall time	11	—	17	25		
MT	Delay matching, HS & LS turn-on/off	(IR2110) (IR2113)	—	—	—		10 20

### Static Electrical Characteristics

$V_{BIAS}$  ( $V_{CC}$ ,  $V_{BS}$ ,  $V_{DD}$ ) = 15V,  $T_A$  = 25°C and  $V_{SS}$  = COM unless otherwise specified. The  $V_{IN}$ ,  $V_{TH}$  and  $I_{IN}$  parameters are referenced to  $V_{SS}$  and are applicable to all three logic input leads: HIN, LIN and SD. The  $V_O$  and  $I_O$  parameters are referenced to COM and are applicable to the respective output leads: HO or LO.

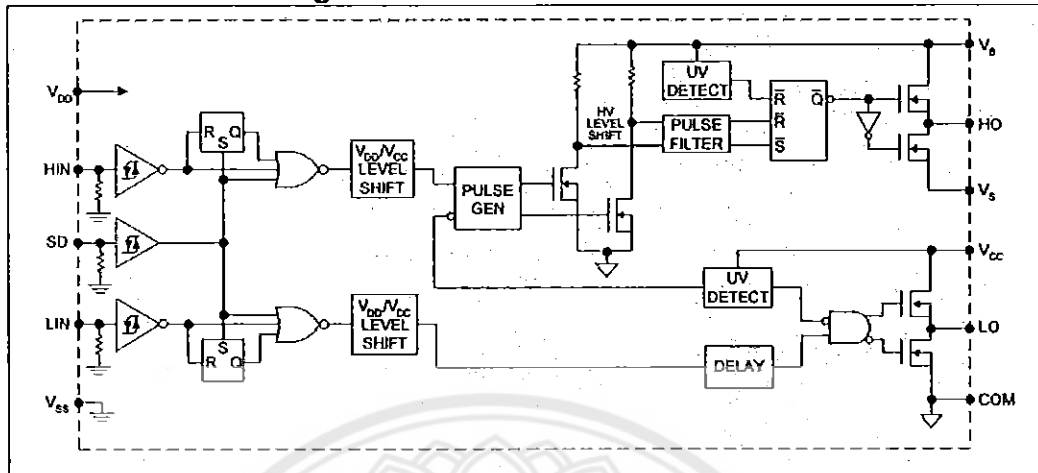
Symbol	Definition	Figure	Min.	Typ.	Max.	Units	Test Conditions
$V_{IH}$	Logic "1" input voltage	12	9.5	—	—	V	
$V_{IL}$	Logic "0" input voltage	13	—	—	6.0		
$V_{OH}$	High level output voltage, $V_{BIAS} - V_O$	14	—	—	1.2		$I_O = 0A$
$V_{OL}$	Low level output voltage, $V_O$	15	—	—	0.1		$I_O = 0A$
$I_{LK}$	Offset supply leakage current	16	—	—	50	$\mu A$	$V_B = V_S = 500V/600V$
$I_{QBS}$	Quiescent $V_{BS}$ supply current	17	—	125	230		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{QCC}$	Quiescent $V_{CC}$ supply current	18	—	160	340		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{QDD}$	Quiescent $V_{DD}$ supply current	19	—	15	30		$V_{IN} = 0V$ or $V_{DD}$
$I_{IN+}$	Logic "1" input bias current	20	—	20	40		$V_{IN} = V_{DD}$
$I_{IN-}$	Logic "0" input bias current	21	—	—	1.0		$V_{IN} = 0V$
$V_{BSUV+}$	$V_{BS}$ supply undervoltage positive going threshold	22	7.5	8.6	9.7	V	
$V_{BSUV-}$	$V_{BS}$ supply undervoltage negative going threshold	23	7.0	8.2	9.4		
$V_{CCUV+}$	$V_{CC}$ supply undervoltage positive going threshold	24	7.4	8.5	9.6		
$V_{CCUV-}$	$V_{CC}$ supply undervoltage negative going threshold	25	7.0	8.2	9.4		
$I_{O+}$	Output high short circuit pulsed current	26	2.0	2.5	—	A	$V_O = 0V$ , $V_{IN} = V_{DD}$ $PW \leq 10 \mu s$
$I_{O-}$	Output low short circuit pulsed current	27	2.0	2.5	—		$V_O = 15V$ , $V_{IN} = 0V$ $PW \leq 10 \mu s$



# IR2110(S)/IR2113(S) & (PbF)

International  
IR Rectifier

## Functional Block Diagram



## Lead Definitions

Symbol	Description
VDD	Logic supply
HIN	Logic input for high side gate driver output (HO), in phase
SD	Logic input for shutdown
LIN	Logic input for low side gate driver output (LO), in phase
VSS	Logic ground
VB	High side floating supply
HO	High side gate drive output
VS	High side floating supply return
VCC	Low side supply
LO	Low side gate drive output
COM	Low side return

## Lead Assignments

<p>14 Lead PDIP</p>	<p>16 Lead SOIC (Wide Body) (Also available LEAD-FREE (PbF))</p>
<b>IR2110/IR2113</b>	<b>IR2110S/IR2113S</b>
<b>Part Number</b>	

ภาคผนวก ข

รหัสต้นฉบับ (Source code) ที่ใช้ในโปรแกรม MATLAB



## ข.2 รหัสต้นฉบับของวงจรทอนระดับแรงดัน

```

%%%%Step Down Circuit%%
close all; clear; clc;

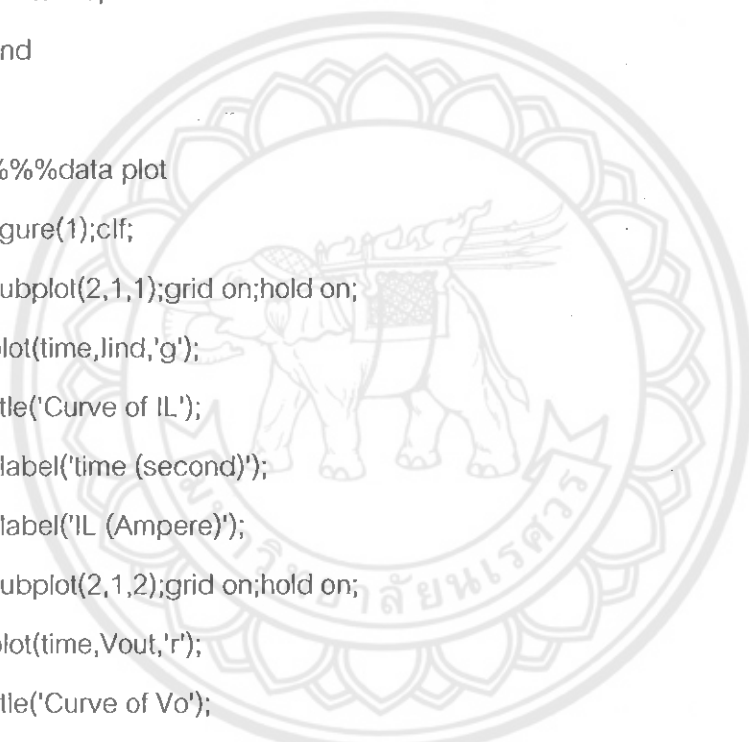
%%Parameter
R = 50; L = 1.85e-3; C = 47e-6;
fs = 20e3; Ts = 1/fs ;
D = 0.6; dt = 3e-6;
tend = 100e-3; Vs = 20;

%%Initialization
n = 1;
t = 0;
IL_old = 0;
Vo_old = 0;
%%Program
while (t < tend)
if t < 90e-3
Vs = 20;
else
Vs = 0;
end
if mod(t,Ts) < D*Ts
IL_new = IL_old + (Vs-Vo_old)/L*dt;
Vo_new = Vo_old + (IL_old-Vo_old/R)/C*dt;
else
IL_new = IL_old - (Vo_old)/L*dt;
Vo_new = Vo_old + (IL_old-Vo_old/R)/C*dt;
end
%%diode block
if IL_new < 0
IL_new = 0;
end

```

```
%%%Data save
time(n) = t;
Iind(n) = IL_new;
Vout(n) = Vo_new;
IL_old = IL_new;
Vo_old = Vo_new;
t = t + dt;
n = n + 1;
end
```

```
%%%data plot
figure(1);clf;
subplot(2,1,1);grid on;hold on;
plot(time,Iind,'g');
title('Curve of IL');
xlabel('time (second)');
ylabel('IL (Ampere)');
subplot(2,1,2);grid on;hold on;
plot(time,Vout,'r');
title('Curve of Vo');
xlabel('time (second)');
ylabel('Vo (Volt)');
```



## ข.2 รหัสต้นฉบับของวงจรทระดับแรงดัน

```

%% Step Up Circuit
close all; clear; clc;

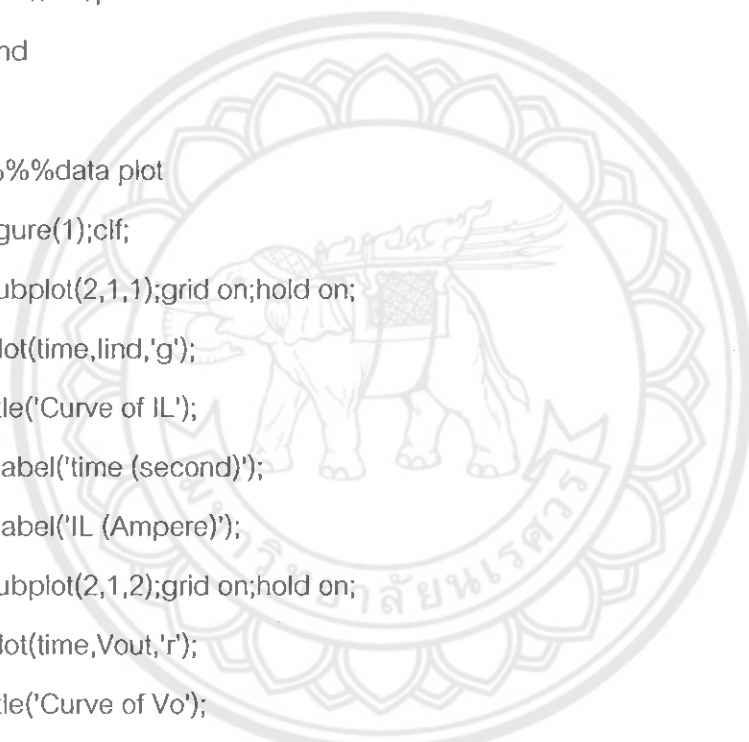
%% Parameter
R = 220; L = 1.85e-3; C = 47e-6;
fs = 20e3; Ts = 1/fs ;
D = 0.6; dt = 3e-6;
tend = 100e-3; Vs = 12;

%% Initialization
n = 1;
t = 0;
IL_old = 0;
Vo_old = 0;
%% Program
while (t < tend)
if t < 90e-3
Vs = 12;
else
Vs = 0;
end
if mod(t,Ts) < D*Ts
IL_new = IL_old + Vs/L*dt;
Vo_new = Vo_old - (Vo_old/R)/C*dt;
else
IL_new = IL_old + (Vs-Vo_old)/L*dt;
Vo_new = Vo_old + (IL_old-Vo_old/R)/C*dt;
end
%% diode block
if IL_new < 0
IL_new = 0;
end
end

```

```
%%%Data save  
time(n) = t;  
Iind(n) = IL_new;  
Vout(n) = Vo_new;  
IL_old = IL_new;  
Vo_old = Vo_new;  
t = t + dt;  
n = n + 1;  
end
```

```
%%%data plot  
figure(1);clf;  
subplot(2,1,1);grid on;hold on;  
plot(time,Iind,'g');  
title('Curve of IL');  
xlabel('time (second)');  
ylabel('IL (Ampere)');  
subplot(2,1,2);grid on;hold on;  
plot(time,Vout,'r');  
title('Curve of Vo');  
xlabel('time (second)');  
ylabel('Vo (Volt)');
```



## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นายอิสรา ปลาคำ

ภูมิลำเนา 227 หมู่ 4 ต. ท่าอิบุญ อ. หล่มสัก จ. เพชรบูรณ์

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัยเพชรบูรณ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: aomzinzaa\_zine@hotmail.com



ชื่อ นายรัชพล เจริญคำ

ภูมิลำเนา 537 หมู่ 5 ต. แม่จัวะ อ. เด่นชัย จ. แพร่

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจาก โรงเรียนพิริยาลัยจังหวัดแพร่
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: bestzeed@hotmail.com