# การวิเคราะห์วงจรคาสเคดแบบ n ชั้นที่เหมาะสมที่สุด

## The Analysis of optimized N-Stage cascade Circuit


นาย ชลัท ไทยสิทธิเวช รหัส 46361598

นาย ณปกรณ์ อรรคโชติ รหัส 46361614



i 508153l. e.2

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 17 ม.ค. 2550
เลขทะเบียน 5000114
เลขเรียกหนังสือ.....
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปร.
ช238ก
2549


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2549

# ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

| | | | |
|---|---|---|---|
| **หัวข้อโครงงาน** | การวิเคราะห์วงจรคาสเคดแบบ n ชั้นที่เหมาะสมที่สุด | | |
| **ผู้ดำเนินโครงงาน** | นาย ชลัท | ไทยสิทธิเวช | รหัส 46361598 |
| | นาย ณปกรณ์ | อรรคโชติ | รหัส 46361614 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ดร.สมยศ | เกียรติวนิชวิไล | |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมไฟฟ้า | | |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ | | |
| **ปีการศึกษา** | 2549 | | |

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

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

.....กรรมการ
(ดร.ชัยรัตน์ พินทอง)

.....กรรมการ
(ดร.สมพร เรืองสินชัยวนิช)

| | | | |
|---|---|---|---|
| **หัวข้อโครงงาน** | การวิเคราะห์วงจรคาสเคดแบบ n ชั้นที่เหมาะสมที่สุด | | |
| **ผู้ดำเนินโครงงาน** | นาย ชลัท | ไทยสิทธิเวช | รหัส 46361598 |
| | นาย ณปกรณ์ | อรรคโชติ | รหัส 46361614 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | ดร.สมยศ | เกียรติวนิชวิไล | |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม** | ดร.ชัยรัตน์ | พินทอง | |
| | ดร.สมพร | เรืองสินชัยวนิช | |
| **สาขาวิชา** | วิศวกรรมไฟฟ้า | | |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ | | |
| **ปีการศึกษา** | 2549 | | |


## บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการวิเคราะห์วงจรคาสเคดแบบ n ชั้น หรือวงจรทวีแรงดันโดยการออกแบบวงจรทวีแรงดันขึ้นแล้วทำการทดลองวงจรนั้น เก็บผลการทดลอง และคำนวนวงจรที่ออกแบบมาโดยใช้สูตรหา n Optimize จากสูตรในหนังสือ High Voltage Engineering Fundamentals E. Kuffel W.S. Zaengl ในโครงงานนี้จะนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบ เทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสูตรทั้ง 2 สูตรเปรียบเทียบมีความคลาดเคลื่อน

จากการเปรียบเทียบพบว่า สูตรที่พัฒนาในโครงงานนี้ มีความใกล้เคียงกว่าสูตรคำนวณ ในหนังสือของ High Voltage Engineering Fundamentals E. Kuffel W.S. Zaengl โดยเฉพาะกรณีที่มีจำนวนสเตจต่ำ

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Project Title** | The Analysis of optimized N-Stage cascade Circuit | | |
| **Name** | Mr. Chalat | Thaisitivej | ID 46361598 |
| | Mr. Napakorn | Akkhachod | ID 46361614 |
| **Project Advisor** | Mr. Somyot | Kaitwanidvilai | |
| **Co- Project Advisor** | Mr. Chairat | Pinthong | |
| | Mr. Somporn | Ruangsinchaiwanich | |
| **Major** | Electrical Engineering. | | |
| **Department** | Electrical and computer Engineering. | | |
| **Academic Year** | 2006 | | |

.....


## ABSTRACT

This project studies the analysis of n – stages cascades circuit .The implementation of circuits was applied on practical work . The experimental results simulation results and calculation based on theory are compared by using 2 formula. One is – from the HV book [High Voltage Engineering Fundamentals E. Kuffel W.S. Zaengl] and other is formulated by our Research.

By comparison the formula developed in the project has smaller error compared. To the formula form [High Voltage Engineering Fundamentals E. Kuffel W.S. Zaengl]especially in small stage of cascade circuit.

# กิตติกรรมประกาศ

โครงงานวิศวกรรมเรื่องการวิเคราะห์วงจรคาสเคดแบบ n ชั้นที่เหมาะสมที่สุดนี้ได้รับความอนุเคราะห์จาก ดร.สมยศ เกียรติวนิชวิไล ดร.ชัยรัตน์ พินทองและ ดร.สมพร เรืองสินชัยวนิช อาจารย์ประภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวะกรรมศาสตร์ นาย ระพิน เตี้ยนกลิ่น หัวหน้างานช่าง เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป ตลอดจนทุกท่านที่มิอาจเอ่ยนามได้ครบ ณ ที่ได้ช่วยสละเวลาและความรู้อันมีค่ามาช่วยเหลือจนโครงงานสำเร็จลุล่วงด้วยดีตลอดมา ทางผู้จัดทำขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ชลัท ไทยสิทธิเวช

ณปกรณ์ อรรคโชติ

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย .....ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....ข

กิตติกรรมประกาศ .....ค

สารบัญ .....ง

สารบัญตาราง .....ฉ

สารบัญรูป .....ง

บทที่ 1บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ .....1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน .....1

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน .....1

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน .....2

1.5 แผนการดำเนินงาน .....3

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ .....4

1.7 งบประมาณของโครงงาน .....4

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 วงจรทวีแรงดัน .....5

2.2 การหาจำนวนชั้นที่พอเหมาะ n – Optimum ที่ได้จากการค้นพบใหม่ .....11

2.3 การไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรทวีแรงดัน .....11

บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน

3.1 ออกแบบวงจรทวีแรงดัน .....17

3.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมกับวงจร .....17

3.3 คำนวณวงจรที่ออกแบบมาโดยใช้สูตรหา n – optimize สูตรเดิมและสูตรใหม่ที่ได้จากการคำนวณ .....21

3.4 การคำนวณแรงดันที่ออกมาแต่ละ stage .....22

3.5 การคำนวณหาค่า ripple ของวงจรทวีแรงดัน .....23

# สารบัญ(ต่อ)

หน้า

3.6 การนำวงจรทวีแรงดันที่ได้ออกแบบมาต่อเป็นวงจรจริง .....24

3.7 การปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจร .....24

3.8 การเก็บค่าต่างๆ และกราฟโดยใช้ออสซิลโลสโคป .....26

บทที่4 ผลการดำเนินการ

4.1 ผลการทดลองที่ได้จากวงจรทวีแรงดันที่ได้ออกแบบไว้ .....28

4.2 ผลการคำนวณโดยใช้สูตรทั้ง 2 สูตร .....34

4.3 การนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบการคำนวณ .....36

4.4 นำผลที่ได้จากการทดลองจริงมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณ .....37

บทที่ 5สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน .....38

5.2 ปัญหาและอุปสรรค .....39

5.3 ข้อเสนอแนะ .....39

เอกสารอ้างอิง .....40

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของไดโอด .....19

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบ n – optimize จากสูตรทั้งสอง .....36

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองแรงดันที่ออกมาจากวงจรทวีแรงดัน .....37

# สารบัญรูป


รูปที่ หน้า

2.1 วงจรแบบ cockcroft walton .....5

2.2 จำนวนชั้นแรงดันที่จุดต่างๆขณะ no load .....7

2.3 วงจรขั้นบันไดของ Cockcroft Walton .....7

2.4 แรงดันระลอกของวงจรขั้นบันได .....9

2.5 วงจรทวีแรงดัน2เท่าแบบฮาล์ฟเวฟ .....12

2.6 แสดงการทำงานของวงจร .....12

2.7 วงจรทวีแรงดัน 2 เท่าแบบฟูลเวฟ .....13

2.8 วงจรทวีแรงดันแบบ n เท่า .....14

2.9 วงจรทวีแรงดันฟูลเวฟสามเท่า .....15

2.10 วงจรทวีแรงดันฟูลเวฟสี่เท่า .....16

3.1 วงจรทวีแรงดันที่ออกแบบ .....17

3.2 ตัวเก็บประจุอิเล็กทรอไลท์ .....18

3.3 ตัวเก็บประจุเซรามิค .....18

3.4 ตัวเก็บประจุที่ใช้จริง .....18

3.5 ไดโอด เบอร์ 1N4007 .....19

3.6 รีโอสตัส .....20

3.7 โพเทนชิโอมิเตอร์ .....20

3.8 การต่อวงจรทวีแรงดันที่ได้ออกแบบ .....24

3.9 การทำการทดลอง .....25

3.10 ตัวต้านทานปรับค่าได้ .....25

3.11 ออสซิลโลสโคป .....26

3.12 สายสโคป .....26

3.13 การเก็บผลการทดลองโดยใช้ออสซิลโลสโคป .....27

4.1 แรงดัน 1 Stage .....28

4.2 ripple voltage ของ 1 Stage .....29

4.3 แรงดัน 2 Stage .....29

4.4 ripple voltage ของ 2 Stage .....30

4.5 แรงดัน 3 Stage .....30

# สารบัญรูป(ต่อ)


| รูปที่ | หน้า |
|---|---|
| 4.6 ripple Voltage ของ 3 Stage | 31 |
| 4.7 แรงดัน 4 Stage | 31 |
| 4.8 ripple voltage ของ 4 Stage | 32 |
| 4.9 แรงดัน 5 Stage | 32 |
| 4.10 ripple voltage ของ 5 Stage | 33 |
| 4.11 แรงดัน 6 Stage | 33 |
| 4.12 ripple voltage ของ 6 Stage | 34 |
| 4.13 กราฟระหว่าง Stage กับ สูตรคำนวณ | 36 |
| 4.14 กราฟระหว่างแรงดันกับจำนวน Stage | 37 |
| 5.1 กราฟเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อน | 38 |

# บทที่ 1

# บทนำ

## 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

วงจรทวีแรงดัน(Voltage Multiplier) นั้นสามารถทวีแรงดันไฟฟ้าจากแรงดันต่ำให้สูงขึ้นได้ ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ทวีสูงขึ้นนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนชั้น (stage) ของวงจรทวีแรงดัน ยิ่งจำนวนชั้นมากแรงดันไฟฟ้าก็จะทวีมากขึ้นด้วย แต่ว่าการเพิ่มขึ้นของแรงดันไฟฟ้านั้นจะมีจุดที่เหมาะสมที่สุด คือเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลเข้าสู่วงจรทวีแรงดันแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากวงจรทวีแรงดันจะเพิ่มสูงขึ้นเป็นอัตราหนึ่งยิ่งเพิ่มจำนวนstageอัตราการทวีแรงดันก็ยิ่งเพิ่มขึ้น แต่ว่าเมื่อเพิ่มจำนวนstageไปถึงค่าหนึ่งอัตราการทวีแรงดันก็จะค่อยๆลดลงหรืออัตราของแรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในที่เทียบกับวงจรก่อนหน้านี้(จำนวนstageน้อยกว่า)จะมีอัตราการทวีแรงดันต่ำกว่าดังนั้นเราจึงต้องหาจำนวน stage ของวงจรทวีแรงดันที่ทำให้มีแรงดันไฟฟ้าออกมามากที่สุดโดยที่ใช้จำนวนstage น้อยที่สุดหรือเหมาะสมที่สุด (Optimize) นั่นเอง การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ต่อวงจรวิธีการที่จะใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของวงจรทวีแรงดันนั้นคือการต่อวงจรจริงๆแล้ววัดค่าต่างๆ เปรียบกับการคำนวณด้วยสูตรที่นำมาคำนวณหาชั้นที่มีอยู่ในหนังสือกับสูตรที่คำนวณหาชั้นที่ได้จากการค้นพบใหม่ว่าสูตรที่ใช้กันในหนังสือมีความคลาดเคลื่อนมากกว่าสูตรที่หามาได้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

**1.2.1** เพื่อค้นหาสูตรหา n Optimizeของวงจรทวีแรงดันที่เหมาะสมกว่าสูตรเดิม

**1.2.2** ลดการสูญเสียในกระบวนการต่อวงจรทวีแรงดัน โดยลดการใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อวงจรทวีแรงดัน

**1.2.3** เพื่อศึกษาวงจรทวีแรงดัน

## 1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

**1.3.1** ออกแบบวงจรทวีแรงดันและทำการต่อวงจรจริง ทำการปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าวงจรแล้ววัดแรงดันขาออก เก็บข้อมูลต่างๆโดยใช้ออสซิลโลสโคป

**1.3.2** ทำการคำนวณวงจรทวีแรงดันที่ออกแบบมาโดยใช้สูตรทั้ง 2 สูตร

**1.3.3** เปรียบเทียบระหว่างผลการทดลอง กับผลการคำนวณที่ได้จากสูตรทั้ง 2 สูตร

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

**1.4.1** ศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการคำนวณวงจรทวีแรงดัน(Voltage Multiplier)

**1.4.2** ออกแบบวงจรทวีแรงดัน(Voltage Multiplier) และคำนวณค่าแรงดันขาออกและจำนวนชั้นเหมาะสมที่สุด

**1.4.3** ต่อวงจรที่ได้ออกแบบมาวัดค่า

**1.4.4** นำค่าที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบกับการคำนวณ

**1.4.5** สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์

มหาวิทยาลัยนเรศวร

## 1.5 แผนการดำเนินงาน

| กิจกรรม | ระยะเวลาดำเนินงาน (เดือน) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1.ศึกษาเบื้องต้นเกี่ยวกับการคำนวณวงจรทวีแรงดัน (Voltage Multiplier) | | | | | |
| 2.ออกแบบวงจรทวีแรงดัน(Voltage Multiplier) และคำนวณค่าแรงดันขาออกและจำนวนชั้นหมาะสมที่สุด | | | | | |
| 3. ต่อวงจรที่ได้ออกแบบมาวัดค่า | | | | | |
| 4. นำค่าที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบกับการคำนวณ | | | | | |
| 5.สรุปผลและเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์ | | | | | |
| 7.เก็บผลการทดลองโดยเปรียบเทียบกับระบบเดิมกับระบบที่ปรับปรุง | | | | | |
| 8. แก้ไขข้อผิดพลาด สรุปผลและจัดทำรายงาน | | | | | |

## 1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

**1.6.1** เพื่อหาจำนวนชั้นที่เหมาะสมที่สุดในการต่อวงจรทวีแรงดัน

**1.6.2** ลดการสูญเสียในกระบวนการต่อวงจรทวีแรงดัน โดยลดการใช้อุปกรณ์ที่ใช้ในการต่อวงจรทวีแรงดัน

## 1.7 งบประมาณของโครงงาน

| | |
|---|---|
| **1.7.1** ค่าถ่ายเอกสารและค่าเข้าเล่มโครงงาน | 800 บาท |
| **1.7.2** ค่าอุปกรณ์ต่างๆ | 1,000 บาท |
| รวมเป็นเงิน | 1,800 บาท |

มหาวิทยาลัยนเรศวร

# บทที่ 2

# ทฤษฎี

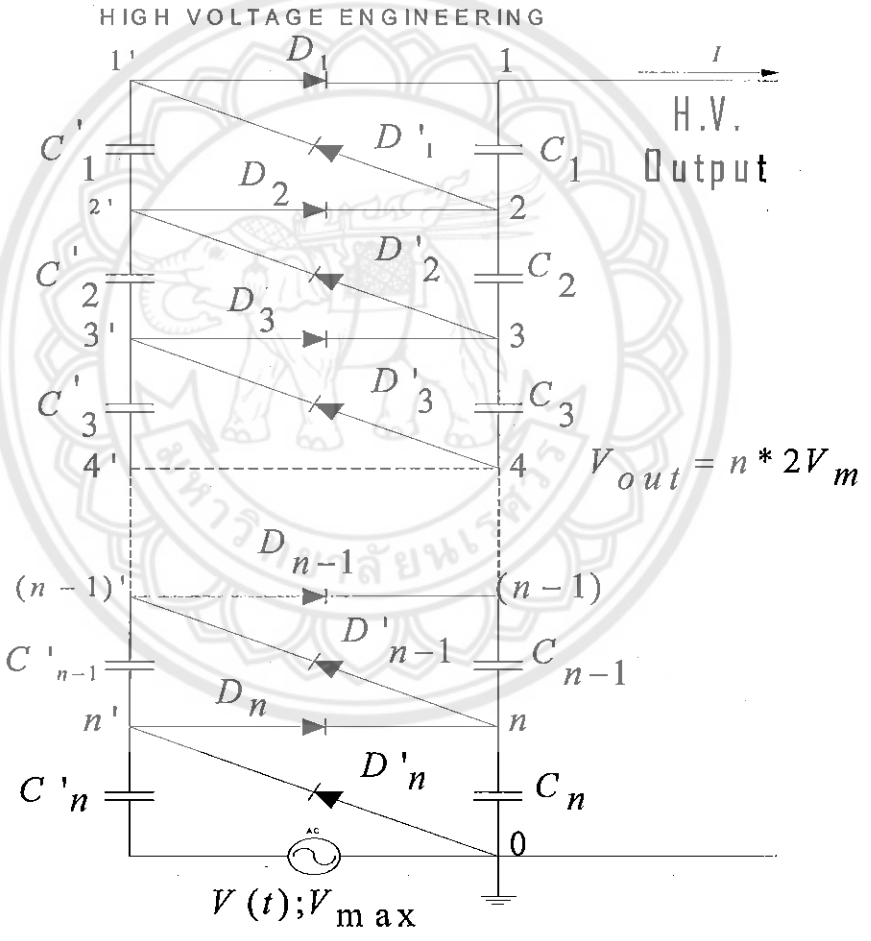
## 2.1 วงจรทวีแรงดัน

**วงจร rectifier แบบขั้นบันได(Cascade circuit for dc. High Voltage)**

ในกรณีที่ต้องการศักดาไฟฟ้ากระแสตรงสูงมากๆ เราจะสร้างโดยใช้วงจรพื้นฐานของวงจรแรงดัน rectifier แบบสองเท่า นำมาต่อกันเป็นแบบขั้นบันได ซึ่งนิยมใช้อยู่ 2 ชนิด คือ

**2.1.1 แบบ Cockcroft Walton**

ใช้หลักการของ n – stage single phase cascade



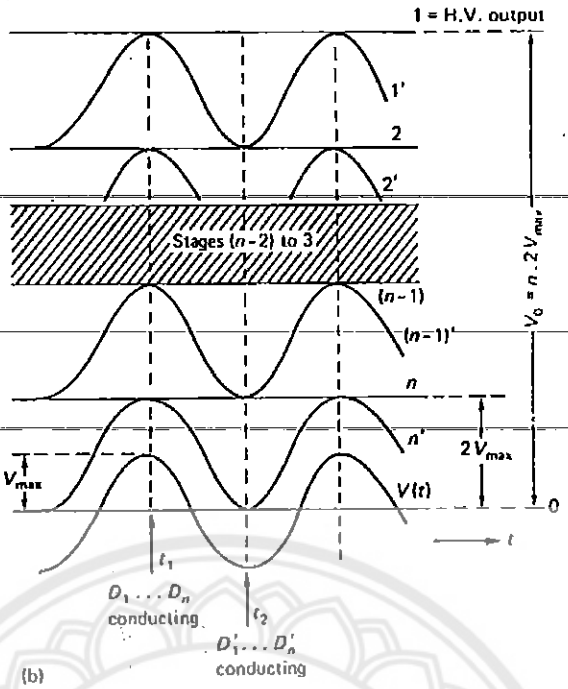

**รูปที่ 2.1** วงจรแบบCockcroft Walton

การทำงาน ของ Cockcroft Walton ขณะ no load จะใช้วงจร rectifier แบบแรงดัน 2 เท่ามาต่อ อนุกรมกัน n ชั้น โดยแต่ละชั้นประกอบด้วย

- diode 2 ตัว
- capacitor 2 ตัว ตัวแรกเป็นตัวเก็บพักประจุ ตัวที่ 2 ทำหน้าที่เป็น filter
- capacitor ที่ทำหน้าที่พักประจุได้แก่ $C_1'$, $C_2'$, $C_3'$, $C_4'$,
- capacitor $C_1$, $C_2$, $C_3$, $C_4$, ทำหน้าที่ filter
- diode $D_1'$, $D_2'$, $D_3'$, $D_4'$ จะนำกระแสในช่วงคลื่นบวก
- diode $D_1$, $D_2$, $D_3$, $D_4$ จะนำกระแสในช่วงคลื่นลบ
- วงจรสร้างแรงดันแต่ละครั้งจะสร้างแรงดันเป็น 2 เท่าของค่าแรงดันสูงสุด คือ $2V_m$
- เมื่อเทียบกับ ground แรงดันคร่อมที่ จุด b = $2V_m$ จุด c = $4\ V_m$, จุด d = $6\ V_m$, จุด e = $8\ V_m$

ข้อสังเกต

Capacitor และ diode แต่ละตัวจะต้องทนแรงดันได้ 2 เท่าของค่าสูงสุด ยกเว้น capacitor $C_4'$ เท่านั้นที่ทนแรงดันสูงสุดได้เพียง $1V_m$ เมื่อต้องการแรงดันสูงๆ จะต้องนำมาต่อเป็นขั้น บันได หลายๆชั้น ซึ่งจะมีค่า = $2.n.V_{ma}$ เมื่อ n = จำนวนชั้นแรงดันที่จุดต่างๆ ของ Cockcroft Walton ขณะ no load

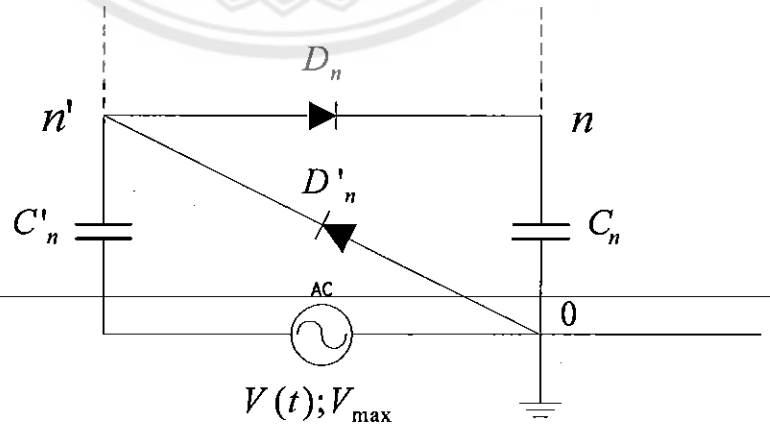



รูปที่ 2.2 จำนวนชั้นแรงดันที่จุดต่างๆขณะ no load

**2.1.2. การทำงานของวงจร Cockcroft Walton ขณะต่อ load**

ขณะ no load วงจรขั้นบันไดของ Cockcroft Walton จะมีแรงดัน output เป็น 2 เท่าของค่าแรงดันสูงสุดที่ใส่เข้ามา คูณด้วยจำนวนชั้น แต่เมื่อ load จะมีแรงดันตกคร่อม C และ D ทำให้แรงดัน output ที่จุด C น้อยกว่า $8V_{max}$

การคำนวณแรงดันตก $\Delta U$




**รูปที่ 2.3 วงจรขั้นบันไดของ Cockcroft Walton**

พิจารณาที่ Stage n ; คาปาซิเตอร์ $C'_n$ จะถูก Charge จนกระทั่งแรงดันมีค่าเท่ากับ $V_{max}$ ถ้าไม่มีการสูญหายของประจุ $C_n$ จะมีค่าแรงดันที่

$$(V_{cn})_{max} = 2V_{max} - \frac{nq}{C'_n}$$

$$= 2V_{max} - DV_n \qquad (2.1)$$

ถ้า คาปาซิเตอร์ทุกตัวในชุดของวงจร มีค่า

$$C_1 = C'_1 = C_2 = C'_2 = \ldots\ldots\ldots\ldots C_n = C'_n = C$$

ดังนั้น Voltage Drop ในแต่ละ Stage คือ

$$\Delta V_n = (\frac{q}{C})n$$

$$\Delta V_{n-1} = (\frac{q}{C})\left[2n+(n+1)\right]$$

$$\Delta V_1 = \left[\frac{q}{C}\right]\left[2n+2(n-1)+2(n-2)\ldots\ldots+2(n-(n-1))\right]$$

และ $$q = \frac{I}{f}$$

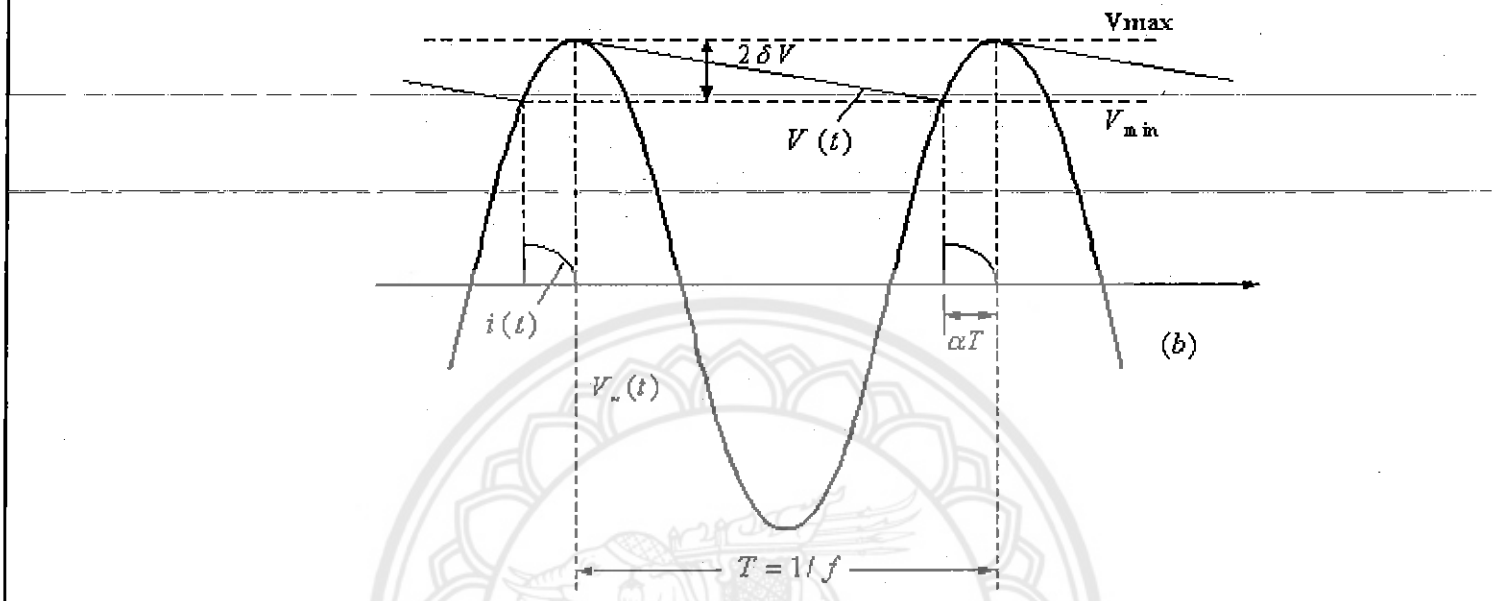
$$\Delta V_0 = \frac{I}{fC}\left[\frac{2n^3}{3}+\frac{n^2}{2}-\frac{n}{6}\right]$$

$$\Delta V_0 = \frac{I}{fC}\left[\frac{2n^3}{3}-\frac{n}{6}\right]$$

$$(V_0)_{max} \approx 2nV_{max} - \frac{I}{fC}\left[\frac{2n^3}{3}\right] \qquad (2.2)$$

**2.1.3 การคำนวณหาแรงดันระลอก (Ripple)**

แรงดันระลอกของวงจรขั้นบันไดก็อาจหาได้เช่นเดียวกับวงจรที่มีไดโอดและตัวเก็บประจุกรองกระแสอย่างละตัว




รูปที่ 2.4 แรงดันระลอกของวงจรขั้นบันได

ซึ่งมีความสัมพันธ์คือ

$$Q = 2\delta VC = IT$$

$$\delta V = \frac{IT}{2C} = \frac{I}{2fC}$$

จะได้

$$\delta V = \frac{I_{dc}}{2fC} \qquad (2.3)$$

เมื่อ $I_{dc}$ คือ กระแสตรงที่จ่ายให้โหลด

f คือ ความถี่ของแรงดันกระแสสลับที่จะแปลงเป็นกระแสตรง

C คือ ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุกรองกระแส

แรงดันระลอก(Ripple)ทั้งหมด

$$\delta V = \frac{I_{dc}}{2f}\left[\frac{1}{C_1} + \frac{2}{C_2} + \frac{3}{C_3} + \ldots + \frac{n}{C_n}\right]$$

ถ้า $C_1 = C_2 = C_3 = C$ แล้ว

$$\delta V = \frac{I_{dc}}{2fC}(1 + 2 + 3 + \ldots n)$$

$$= \frac{I_{dc}}{2fC} n\left[\frac{n+1}{2}\right]$$

ถ้าวงจรมี n ชั้น จะได้ TotalRipple

$$\delta V = \frac{n(n+1)}{4}\left[\frac{I_{dc}}{fC}\right] \qquad (2.4)$$

**2.1.4 จำนวนขั้นบันไดที่พอเหมาะ n – Optimum**

การสร้างแรงดันกระแสตรงด้วยวงจรขั้นบันได เราอาจสร้างแรงดันให้สูงขึ้นได้โดยการเพิ่มจำนวนขั้น ในทางปฏิบัติถ้าหากกำหนดค่ากระแสโหลด $I_d$ ให้จากค่าความจุไฟฟ้าที่มีความถี่ของตัวจ่ายที่กำหนด จะพบว่าถ้ายิ่งเพิ่มจำนวนขั้นสูงมากเกินไป จะทำให้แรงดันตกมาก แรงดันที่ได้ออกมาที่โหลดกลับต่ำลง แสดงว่าจำนวนขั้นของวงจรมีขีดจำกัด หรือ มีค่าพอเหมาะที่สามารถสร้างแรงดันได้สูงสุดคือ n ที่จะทำให้ $V_d$ สูงสุด

เมื่อ $V_d$ เป็นแรงดันกระแสตรงที่โหลด

จำนวนชั้นที่พอเหมาะ n – Optimum คือ

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{V_m fC}{I_d}} \qquad (2.5)$$

➢ แรงดันกระแสตรงที่สร้างได้จะมีค่าเพียง 67% ของค่าทางทฤษฎีเท่านั้น

## 2.2 การหาจำนวนชั้นที่พอเหมาะ n – Optimum ที่ได้จากการค้นพบใหม่

การหาจำนวนชั้นที่พอเหมาะ n – Optimum มาจากการนำสูตร

$$\frac{V}{o} = 2nVmax - \frac{I}{fc}\left(\frac{2n^2}{3} + \frac{n^2}{2} - \frac{n}{6}\right)$$

จากนั้น

$$\frac{dV_o}{dn} = 2Vmax - \frac{I}{fc}\left(2n^2 + n - \frac{1}{6}\right) = 0$$

$$n = \left(\frac{I}{2fc}n^2 + \frac{I}{fc}n - 2Vmax - \frac{I}{6fc}\right) = 0$$

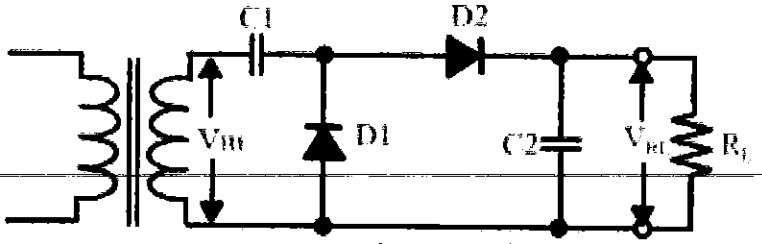
$$n = \frac{-\frac{I}{fc} \pm \sqrt{\left(\frac{I}{fc}\right)^2 + 8\frac{I}{fc}\left(2Vmax + \frac{I}{6fc}\right)}}{4\frac{I}{fc}} \qquad (2.6)$$

## 2.3 การไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรทวีแรงดัน

วงจรทวีแรงดัน (Voltage Multiplier Circuit) เป็นวงจรเร็กติไฟร์ที่สามารเพิ่มแรงดันด้วยตัวเอง โดยสามารถต่อวงจรที่มีแรงดันเป็นสองเท่าหรือสามเท่าของแรงดันที่ขดทุติยภูมิหรือมีค่ามากกว่านี้ การเพิ่มแรงดันสามารถต่อวงจรได้ทั้งแบบฮาล์ฟเวฟหรือฟูลเวฟ แต่วงจรทวีแรงดันสามารถจ่ายกระแสให้โหลดได้ต่ำ เพราะถ้าหากจ่ายกระแสโหลดมีค่ามากๆจะทำให้แรงดันของ วงจรมีค่าลดลง (เกิดค่าแรงดันริปเปิลสูง)

### 2.3.1.การไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรทวีแรงดัน 2 เท่าแบบฮาล์ฟเวฟ

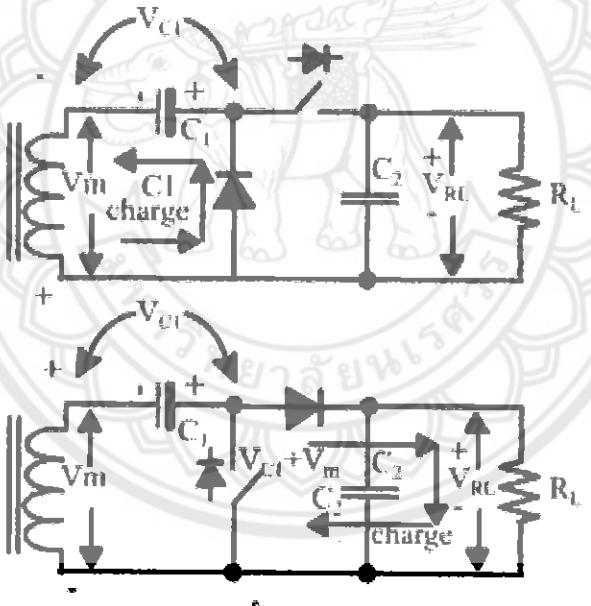
วงจรทวีแรงดัน 2 เท่าแบบฮาล์ฟเวฟ (Half Wave Voltage Double) แสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งประกอบด้วยไดโอด $D_1$ และ $D_2$ ทำหน้าที่เรียงกระแส และมี $C_1$ และ $C_2$ เป็นวงจรฟิลเตอร์ โดย $C_1$ จะทำการเก็บประจุเมื่อ $D_1$ นำกระแส และจะทำการคายประจุเมื่อ $D_2$ นำกระแส




วงจรทวีแรงดัน 2 เท่าแบบฮาล์ฟเวฟ

**รูปที่ 2.5** วงจรทวีแรงดัน2เท่าแบบฮาล์ฟเวฟ

เมื่อมีแรงดันไซเกิลลบที่ขดทุติยภูมิ ทำให้ด้านบนเป็นลบ และด้านล่างเป็นบวก ดังนั้น $D_1$ จะได้รับฟอร์เวิดไบแอส ขณะที่ $D_2$ ได้รับรีเวิสไบแอส ทำให้ $D_2$ ไม่นำกระแส ดังนั้นจะมีกระแสไหลผ่าน $D_1$, $D_2$ ทำให้ $C_1$ เก็บประจุ แรงดันตกคร่อม $C_1$ มีค่าเท่ากับ $V_m$ นั่นคือ $V_{C1} = V_m$




แสดงการทำงานของวงจร

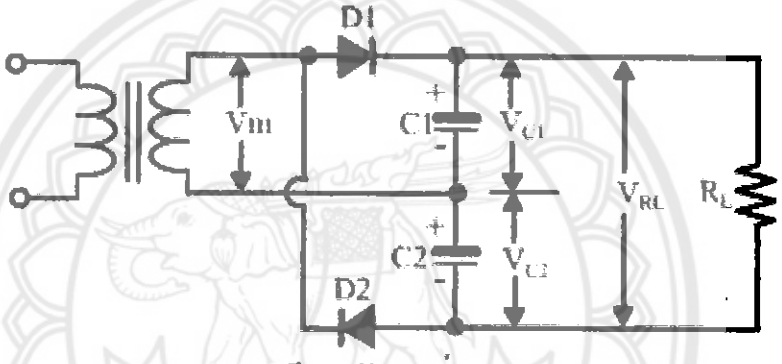
**รูปที่ 2.6** แสดงการทำงานของวงจร

และครึ่งไซเกิลบวกที่ขดทุติยภูมิ $D_2$ ได้รับฟอร์เวิดไบแอส และ $D_1$ ได้รับรีเวิสไบแอส จึงไม่นำกระแส ในขณะที่ $D_2$ จะนำกระแส ทำให้มีกระแสไหลผ่าน $D_2$, $C_2$ ทำให้ $C_2$ เก็บประจุมีแรงดันตกคร่อม $C_2$ มีค่าเท่ากับ $2V_m$ เนื่องจากแรงดันตกคร่อม $C_1$ มีค่าเท่ากับ $+V_m$ และแรงดันที่

ขดทุติยภูมิมีค่าเท่ากับ แรงดันที่ $C_1$ จะต่ออนุกรมกับ $V_m$ แรงดันที่ขดทุติยภูมิ นั่นคือ แรงดันที่ป้อนให้กับ $D_2$ จึงมีค่าเป็น 2 เท่าของอินพุต ( $V_{C1} + V_m$ ) $C_1$ ในวงจรจะต้องมีค่าทดแรงดันได้เท่ากับ $V_m$ และ $C_2$ จะต้องมีค่าทนแรงดันได้เท่ากับ 2 $V_m$ และไดโอดในวงจร คือ $D_1$ และ $D_2$ จะต้องมีค่า PIV เท่ากับ 2Vm เนื่องจาก $C_2$ จะเก็บประจุเฉพาะครึ่งไซเกิลบวกเท่านั้น ดังนั้น $C_2$ จึงสามารถจ่ายกระแสให้กับโหลดได้น้อย

**2.3.2. การไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรทวีแรงดัน 2 เท่า แบบฟูลเวฟ**

เป็นวงจรทวีแรงดัน 2 เท่าแบบฟูลเวฟ ซึ่งประกอบด้วย ไดโอด $D_1$ จะทำการเรียงกระแสในไซเกิบบวก และมี $C_1$ เป็นวงจรฟิลเตอร์ทำหน้าที่กรองแรงดัน ส่วน $D_4$ ทำหน้าที่เรียงกระแสในไซเกิลลบ และ มี $C_2$ ทำหน้าที่กรองแรงดัน



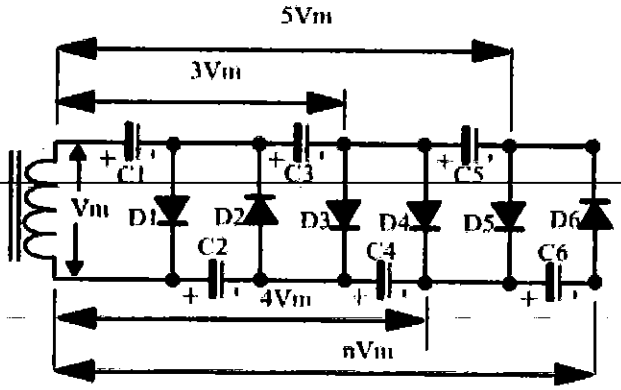

วงจรทวีแรงดัน 2 เท่าแบบฟูลเวฟ

รูปที่ 2.7 วงจรทวีแรงดัน 2 เท่าแบบฟูลเวฟ

เมื่อมีแรงดันไซเกิลบวกป้อนที่ขดทุติยภูมิ ทำให้ด้านบนเป็นบวกด้านล่างเป็นลบ ดังนั้น $D_1$ จะได้รับฟอร์เวิดไบแอส ส่วน $D_2$ ได้รับรีเวิสไบแอส ทำให้มีกระแสไหลผ่าน $D_1$ ผ่าน $C_1$ ทำให้เก็บประจุ มีแรงดันตกคร่อม $C_1$ เท่ากับ $V_m$

**2.3.3.การไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรทวีแรงดันแบบnเท่าแบบฮาล์ฟเวฟ**

ในบางครั้งแรงดันที่ได้จากวงจรทวีแรงดันแบบ 2 เท่าอาจจะไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้งาน ดังนั้น สามารถที่จะต่อวงจรทวีแรงดันมากกว่า 2 เท่า ดังรูปที่ 2.7 เป็นการนำเอาวงจรทวีแรงดัน 2 เท่า แบบฮาล์ฟเวฟมาต่อวงจรเพื่อให้สามารถเพิ่มแรงดันได้มากขึ้น นั่นคือ ถ้าเพิ่ม $D_3$ และ $C_3$ จะได้ แรง ดันที่เพิ่มขึ้นเป็น 3 เท่า(Trippler)หรือถ้าเพิ่มวงจรขึ้นอีก คือ $D_4$ และ $C_4$ จะเป็นวงจรทวีแรงดันสี่เท่า (Quadrupler) หรือเพิ่มไดโอดและตัวเก็บประจุจำนวน n วงจร ก็จะได้แรงดันเพิ่มขึ้นเป็นจำนาน n เท่า ดังรูปที่ 2.7




วงจรทวีแรงดันแบบ 3 เท่า

รูปที่ 2.8 วงจรทวีแรงดันแบบ n เท่า

เมื่อพิจารณาวงจรทวีแรงดันสี่เท่าในครึ่งไซเกิลบวก จะทำให้ $D_1$ นำกระแส ดังนั้น $C_1$ จะทำการเก็บประจุมีแรงดันตกคร่อมเท่ากับ Vm และขณะเดียวกัน $D_3$ จะนำกระแส ทำให้ $C_3$ เก็บประจุมีแรงดันตกคร่อม $C_1$ และ $C_3$ รวมเป็นสามเท่า ต่อมาเมื่อมีแรงดันในไซเกิลลบป้อน จะทำให้ $D_2$ นำกระแส $C_2$ ทำการเก็บประจุมีแรงดันตกคร่อม $C_2$ เท่ากับ $2V_m$ และขณะเดียวกัน $D_4$ นำกระแสทำให้ $C_4$ ทำการเก็บประจุได้แรงดันตกคร่อม $C_4$ มีค่าเป็นสี่เท่าของอินพุต

แรงดันที่ตกคร่อม $C_2$ จะมีค่าเท่ากับ $2V_m$ แรงดันที่ตกคร่อม $V_C = 3V_m$ จะมีค่าเท่ากับแรงดันที่ตกคร่อม $C_1$ รวมกับแรงดันที่ตกคร่อม $C_3$ ดังนั้นแรงดันที่จุด C จะมีค่าเท่ากับ

$$V_0 = 3V_m$$

$$V_C = 3V_m$$

แรงดันที่ตกคร่อม $C_4$ จะมีค่าเท่าแรงดันที่ตกคร่อม $C_2$ รวมกับแรงดันตกคร่อม $C_4$ ดังนั้นแรงดันที่จุด D จะมีค่าเท่ากับ

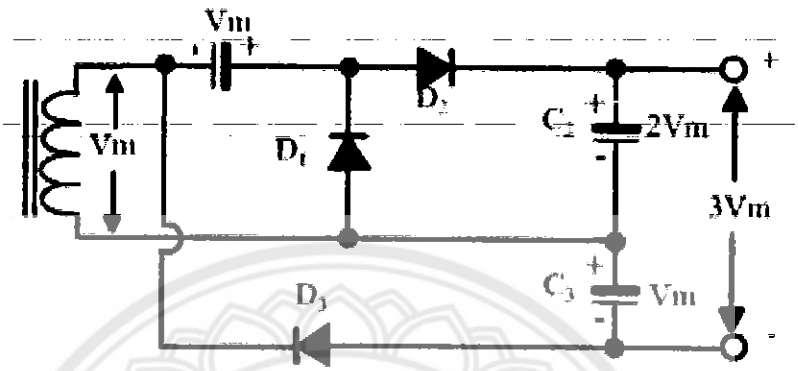
$$V_D = V_{C2} + V_{C4} = 2V_m + 2V_m$$

$$V_D = 4V_m$$

### 2.3.4. การไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรทวีแรงดันสามเท่าแบบฟูลเวฟ

วงจรทวีแรงดันสามเท่าแบบฟูลเวฟ แสดงดังรูปที่ 2.8 ประกอบด้วยไดโอดเร็กติไฟร์ จำนวน 3 ตัว และตัวเก็บประจุฟิลเตอร์จำวนวนเท่ากัน เมื่อมีแรงดันในไซเกิลลบ จะทำให้ $D_1$ และ

$D_3$ นำกระแส ในขณะที่ $D_1$ นำกระแส $C_1$ จะทำการเก็บประจุมีแรงดันตกคร่อม $C_1$ เท่ากับ $V_m$ และในขณะที่ $D_3$ นำกระแส $C_3$ จะทำการเก็บประจุทำให้มีแรงดันตกคร่อม $C_3$ เท่ากับ Vm ต่อมา เมื่อมีแรงดันไซเกิลบวกจะทำให้ $D_2$ นำกระแสและ $C_2$ ทำการเก็บประจุแรงดันตกคร่อม $C_2$ มีค่าเท่ากับ $V_{C1} + V_m = 2V_m$




วงจรทวีแรงดันฟลูเวฟสามเท่า

รูปที่ 2.9 วงจรทวีแรงดันฟูลเวฟสามเท่า

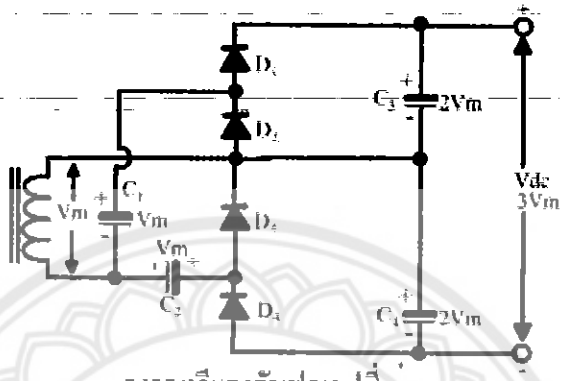
แรงดันเอาต์พุตที่นำไปใช้งาน จะนำเอาแรงดันที่ตกคร่อม $C_2$ และ $C_3$

$$V_0 = V_{C2} + V_{C3} = 2V_m + V_m$$

$$V_0 = 3V_m$$

**2.3.5. การไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจรทวีแรงดันสี่เท่าแบบฟูลเวฟ**

วงจรทวีแรงดันฟูลเวฟสี่เท่า แสดงดังรูปที่ 2.9 ประกอบด้วยไดโอดและตัวเก็บประจุฟิลเตอร์ 4 ตัว เมื่อมีแรงดันไซเกิลบวกป้อนเข้ามา จะทำให้ไดโอด $D_2$ และ $D_4$ นำกระแส ทำให้ $C_1$ ทำการเก็บประจุผ่านไดโอด $D_2$ จนมีแรงดันตกคร่อม $C_1$ เท่ากับ $V_m$ และแรงดันตกคร่อม $C_4$ มีค่าเท่ากับ $2V_m$




วงจรทวีแรงดันฟูลเวฟสี่เท่า

**รูปที่ 2.10** วงจรทวีแรงดันฟูลเวฟสี่เท่า

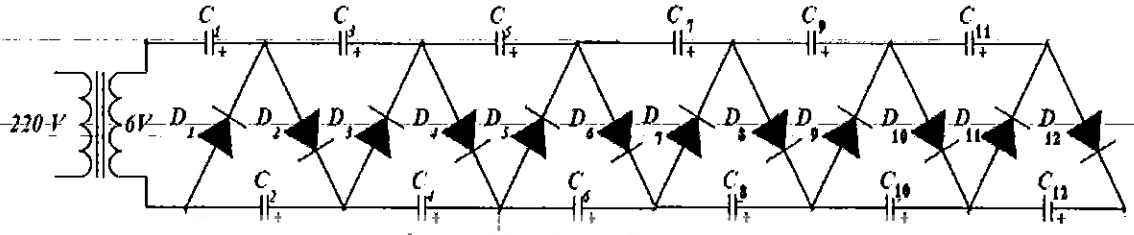
ในไซเกิลลบ ไดโอด $D_1$ และ $D_3$ จะนำกระแส ทำให้ $C_3$ เก็บประจุผ่าน $C_1$ ผ่านไดโอด $D_1$ มีแรงดันตกคร่อม $C_3$ เท่ากับ $2V_m$ และในขณะเดียวกัน $C_4$ จะทำการเก็บประจุผ่าน $C_2$ ผ่าน $D_3$ ทำให้แรงดันตกคร่อม $C_4$ มีค่าเท่ากับ 2V

# บทที่ 3

# วิธีดำเนินงาน

## 3.1 ออกแบบวงจรทวีแรงดัน

ทำการออกแบบวงจรทวีแรงดันแบบ CockCroft Walton ต่อโหลด




รูปที่ 3.1 วงจรทวีแรงดันที่ออกแบบ

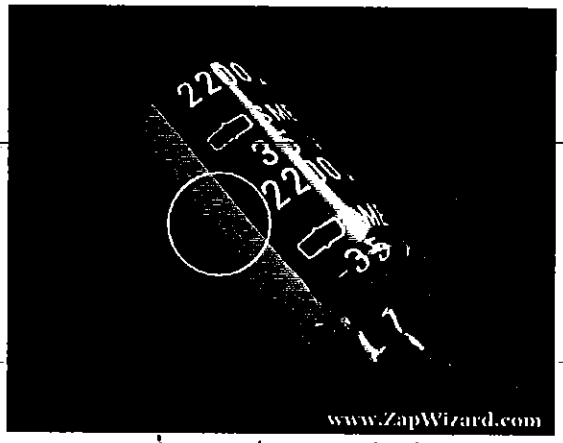
## 3.2 การเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมกับวงจร

เนื่องจากอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ต่อวงจรทวีแรงดันจำเป็นต้องทนต่อแรงดันสูงได้ไม่เช่นนั้นอุปกรณ์จะเกิดการเสียหายและเป็นอันตรายต่อผู้ทดลองได้

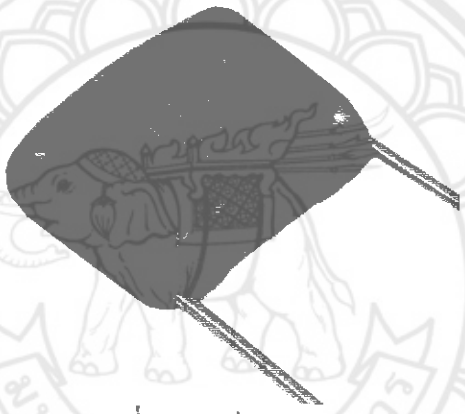
อุปกรณ์ที่ใช้ในวงจรมีดังนี้

### 3.2.1 ตัวเก็บประจุ

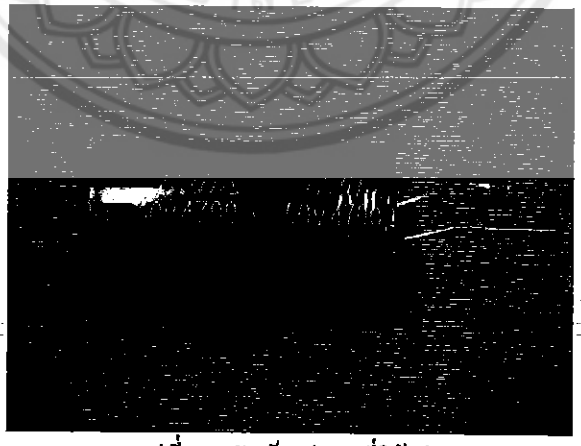
ในการทดลองส่วนใหญ่จะใช้ตัวเก็บประจุอิเล็กทรอไลท์จะมีค่าความจุอยู่ในช่วง 1 uF - 30,000 uFขึ้นไป และมีการใช้งานที่แรงดัน ตามที่อยู่บนตัวมันอยู่แล้วเช่น 10V , 16V , 25V, 50V 100V เรานิยมใช้ตัวเก็บประจุชนิดนี้ในวงจรทั่วไป ตัวเก็บประจุชนิดนี้มีใช้ทั้งแบบมีขั้ว และ ไม่มีขั้วค่าความจุ และแรงดันใช้งานจะพิมพ์ตัวเก็บประจุเลย และจะมีแถบสีขาวด้านข้างซึ่งจะแสดงตำแหน่งขาลบ(-) ของตัวเก็บประจุ แต่อาจทนแรงดันจากวงจรทวีแรงดันไม่ได้เราอาจจะต้องใช้ตัวเก็บประจุ เซรามิคแทนโดยมีคุณสมบัติดังนี้ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะมีขนาดเล็ก ไม่มีขั้ว ค่าความจุต่ำอยู่ในช่วง พิโก - นาโน (pF - nF ) การระบุค่าของตัว เก็บประจุจะเขียนเป็น code และไม่ค่อยระบุการใช้ แรงดัน แต่ปกติจะ ใช้แรงดันที่ 50V 100V 1000V ขึ้นอยู่กับขนาดปกติแล้ว ตัวเก็บประจุชนิดนี้จะใช้ในงานกรองความถี่ พบมากในพวกเครื่องรับ-ส่ง และวงจรทั่วไปเนื่องจากทนแรงดันได้สูงกว่า




รูปที่ 3.2 ตัวเก็บประจุอิเล็กทรอไลท์



รูปที่ 3.3 ตัวเก็บประจุเซรามิค



**รูปที่ 3.4 ตัวเก็บประจุที่ใช้จริง**

### 3.2.1. ไดโอด

**ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของไดโอด**

| Rating | 1N4001 | 1N4002 | 1N4003 | 1N4004 | 1N4005 | 1N4006 | 1N4007 | Unit |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| * Voltage Working Peak Reverse | 50 | 100 | 200 | 400 | 600 | 800 | 1000 | Volts |
| *Non–Repetitive Peak Reverse Voltage | 60 | 120 | 240 | 480 | 720 | 1000 | 1200 | Volts |
| *RMS Reverse Voltage | 35 | 70 | 140 | 280 | 420 | 560 | 700 | Volts |

ตารางคุณสมบัติข้างบนเป็นส่วนที่ช่วยในการหาไดโอดที่เหมาะสมกับวงจรทวีแรงดันคือไดโอดเบอร์ 1N 4007 เป็นเบอร์ที่ทนแรงดันได้มากที่สุดในเบอร์ต่างๆ

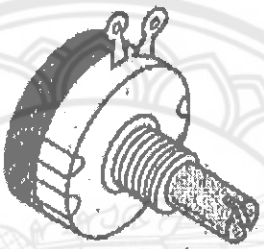
**รูปที่ 3.5** ไดโอด เบอร์ 1N4007

### 3.2.3. ตัวต้านทาน

ในการทดลองนี้เราใช้ตัวต้านทานเป็นโหลดเพื่อจะได้คุมกระแสไฟฟ้าได้โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้โดยตัวต้านทานปรับค่าได้มี 2 ชนิดคือ

โอสตัส(2ขั้ว:AและB)

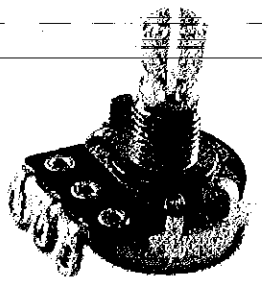
รูปลักษณะของรีโอสตัสแบบต่างๆ ดังรูป3.6 โครงสร้างภายในของรีโอสตัสแบบวงกลม ซึ่งจะเห็นว่าปลายอีกด้านหนึ่งของผิวสัมผัส เมื่อคันกรีดเคลื่อนที่ออกห่างไปจากบริเวณส่วนที่ขั้วต่ออยู่ จะทำให้ความต้านทานเพิ่มขึ้น ซึ่งคันกรีดจะเคลื่อนที่ต่ำลงโดยการหมุนแกนตามเข็มนาฬิกาด้วยเหตุนี้กระแสไฟฟ้าจึงไหลผ่านได้น้อยเนื่องจากค่าความต้านทานที่มีค่ามาก ในทางกลับกันถ้าคันกรีดเคลื่อนที่เข้าใกล้ส่วนปลายที่มีขั้วต่ออยู่จะทำให้ค่าความต้านทานลดลง ซึ่งคันกรีดจะเคลื่อนที่ขึ้นโดยการหมุนแกนทวนเข็มนาฬิกาและกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านรีโอสตัสในกรณีนี้จะมีค่ามากเนื่องจากค่าความต้านทานที่ลดลงนั่นเอง



**รูปที่ 3.6** รีโอสตัส

**-โพเทน**ชิโอมิเตอร์(3ขั้ว:A,BและC)

รูปแสดงลักษณะภายนอกของโพเทนชิโอมิเตอร์แบบต่างๆ ซึ่งบางครั้งนิยมเรียกอุปกรณ์ชนิดนี้ว่า พอต (Pot) ดังแสดงในรูป ข ความแตกต่างระหว่างโพเทนชิโอมิเตอร์และรีโอสตัส คือ จำนวนขั้วต่อใช้งาน ซึ่งขั้วต่อของโพเทนชิโอมิเตอร์จะมี 3 ขั้ว โดยการนำไปใช้งานสามารถต่อค่าความต้านทานได้ 3 แบบ ได้แก่ ระหว่าง A และ B (X) ระหว่าง B และ C (Y) และระหว่าง C และ A (Z) ส่วนที่เพิ่มเข้ามาที่ทำให้โพเทนชิโอมิเตอร์แตกต่างไปจากรีโอสตัส คือ ขั้วที่ 3 ที่ต่อเข้ากับปลายอีกด้านหนึ่งของแถบค่าความต้านทาน



**รูปที่ 3.7** โพเทนชิโอมิเตอร์

เราสามารถเลือกใช้ได้ทั้งสองชนิดทำให้ง่ายในการทำให้กระแสไฟฟ้าในแต่ละชั้นของวงจรทวีแรงดันคงที่

## 3.3 คำนวณวงจรที่ออกแบบมาโดยใช้สูตรหา n – optimize สูตรเดิมและสูตรใหม่ที่ได้จากการคำนวณ

### 3.3.1 สูตร คำนวณ n – optimize สูตรเดิม

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{V_m fC}{I_d}}$$

โดยค่าตัวแปรต่างๆมีดังนี้

f = 50 Hz

c = 4700 ไมโครฟารัด

I = 0.1 A

V = 6 v

วิธีคำนวณ

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{6\times\sqrt{2}\times 50\times 4700\times 10^{-6}}{0.1}}$$

ค่าที่ได้เท่ากับ

$$n_{opt} = 4.465$$

### 3.3.2 คำนวณ n – optimize จากสูตรใหม่จากสูตรเดิม

$$V_o = 2nVmax - \frac{I}{fc}\left(\frac{2n^2}{3} + \frac{n^2}{2} - \frac{n}{6}\right)$$

จากนั้น

$$\frac{dV_o}{dn} = 2Vmax - \frac{I}{fc}\left(2n^2 + n - \frac{1}{6}\right) = 0$$

$$n = \left(2\frac{I}{fc}n^2 + \frac{I}{fc}n - 2Vmax - \frac{I}{6fc}\right) = 0$$

$$n = \frac{-\frac{I}{fc} \pm \sqrt{\left(\frac{I}{fc}\right)^2 + 8\frac{I}{fc}\left(2Vmax + \frac{I}{6fc}\right)}}{4\frac{I}{fc}}$$

โดยค่าตัวแปรต่างๆมีดังนี้

f = 50 Hz

c = 4700 ไมโครฟารัด

I = 0.1 A

V = 6 v

วิธีคำนวณ

$$n = \frac{-\frac{0.1}{50 \times 4700 \times 10^{-6}} \pm \sqrt{\left(\frac{0.1}{50 \times 4700 \times 10^{-6}}\right)^2 + 8\frac{0.1}{50 \times 4700 \times 10^{-6}}\left(2 \times 6 \times \sqrt{2} + \frac{0.1}{6 \times 50 \times 4700 \times 10^{-6}}\right)}}{4\frac{0.1}{50 \times 4700 \times 10^{-6}}}$$

$$n = \frac{-0.425 \pm \sqrt{(0.425)^2 + 8 \times 0.425(16.968 + 0.07)}}{4 \times 0.425}$$

ค่าที่ได้เท่ากับ

$n_{opt}$ = 4.231,-4.731(เลือกใช้ค่าที่เป็นบวก)

### 3.4 การคำนวณแรงดันที่ออกมาแต่ละ stage

$$V_o = 2nVmax - \frac{I}{fc}\left(\frac{2n^2}{3} + \frac{n^2}{2} - \frac{n}{6}\right)$$

f = 50 Hz

c = 4700ไมโครฟารัด

I = 0.1 A

n = 1,2,3,4,5,6

วิธีทำ

Stage 1

$$V_o = 2 \times 6 \times \sqrt{2} - \frac{0.1}{50 \times 4700 \times 10^{-6}} \left( \frac{2^2}{3} + \frac{1^2}{2} - \frac{1}{6} \right)$$

แรงดันที่ Stage 1 = 16.54 V

ค่าที่ได้ในแต่ละ stage

แรงดันที่ Stage 1 = 16.54 V

แรงดันที่ Stage 2 = 30.95 V

แรงดันที่ Stage 3 = 41.54 V

แรงดันที่ Stage 4 = 46.59 V

แรงดันที่ Stage 5 = 44.41 V

แรงดันที่ Stage 6 = 33.29 V

**3.5 การคำนวณหาค่า ripple ของวงจรทวีแรงดัน**

$$\delta V = \frac{1(1+1)}{4} \left[ \frac{0.1}{50 \times 4700 \times 10^{-6}} \right]$$

f = 50 Hz

c = 4700 $\mu$F

I = 0.1 A

n = 1,2,3,4,5,6

วิธีคำนวณ

$$\delta V = \frac{1(1+1)}{4} \left[ \frac{0.1}{50 \times 4700 \times 10^{-6}} \right]$$

ripple Stage 1 = 0.21 V

ค่าที่ได้ในแต่ละ stage

ripple Stage 1 = 0.21 V

ripple Stage 2 = 0.62 V

ripple Stage 3 = 1.27 V

ripple Stage 4 = 2.12 V

ripple Stage 5 = 3.19 V

ripple Stage 6 = 4.46 V

### 3.6 การนำวงจรทวีแรงดันที่ได้ออกแบบมาต่อเป็นวงจรจริง

รูปที่ 3.8 การต่อวงจรทวีแรงดันที่ได้ออกแบบ

### 3.7 การปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจร

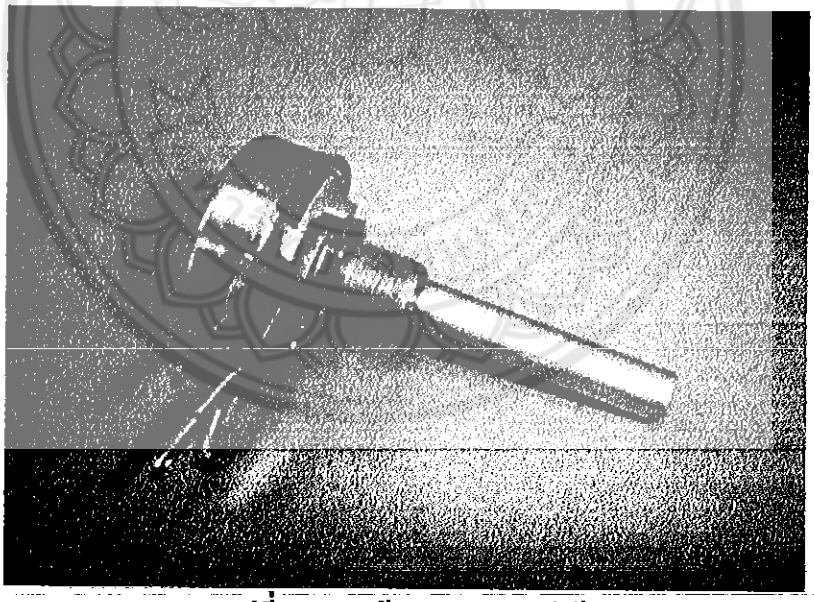
การปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านวงจรเราต้องคุมกระแสในแต่ละ Stage เนื่องจากถ้ากระแสในแต่ละ Stage ไม่เท่ากันจะทำให้คำนวณหาค่า n = optimize ไม่ได้ การคุมกระแสนั้นทำได้โดยการต่อโหลดซึ่งเป็นตัวต้านทานแบบปรับค่าได้เข้าไป

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์



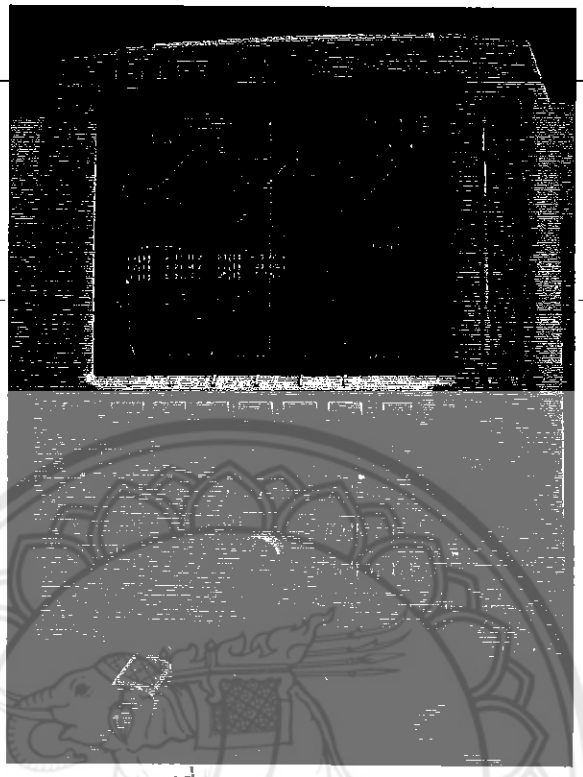
5000114
ว 508153 ล.
วล
ธ298ก
2549
e.2

**รูปที่ 3.9 การทำการทดลอง**

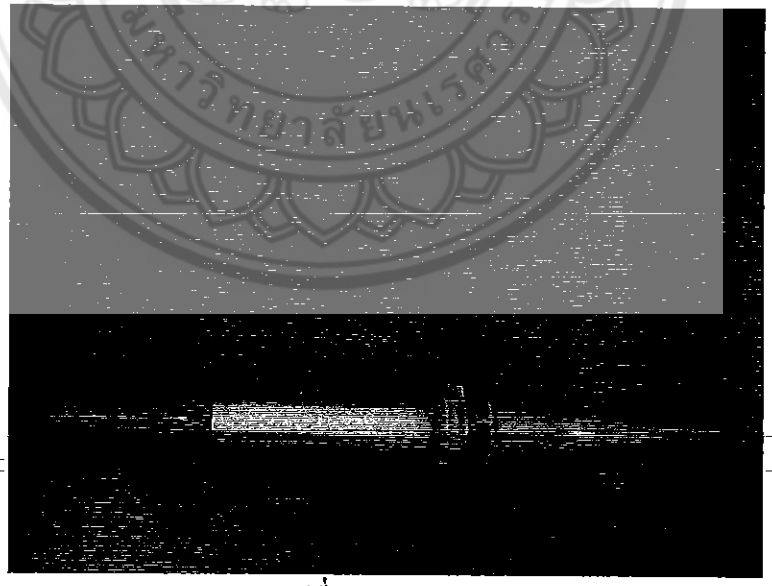


**รูปที่ 3.10 ตัวต้านทานปรับค่าได้**

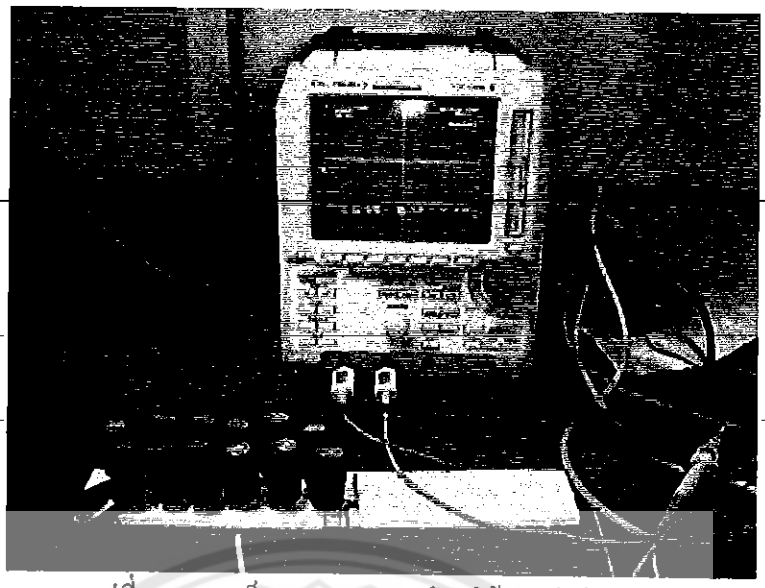
## 3.8 การเก็บค่าต่างๆ และกราฟโดยใช้ออสซิลโลสโคป



รูปที่ 3.11 ออสซิลโลสโคป



รูปที่ 3.12 สายสโคป



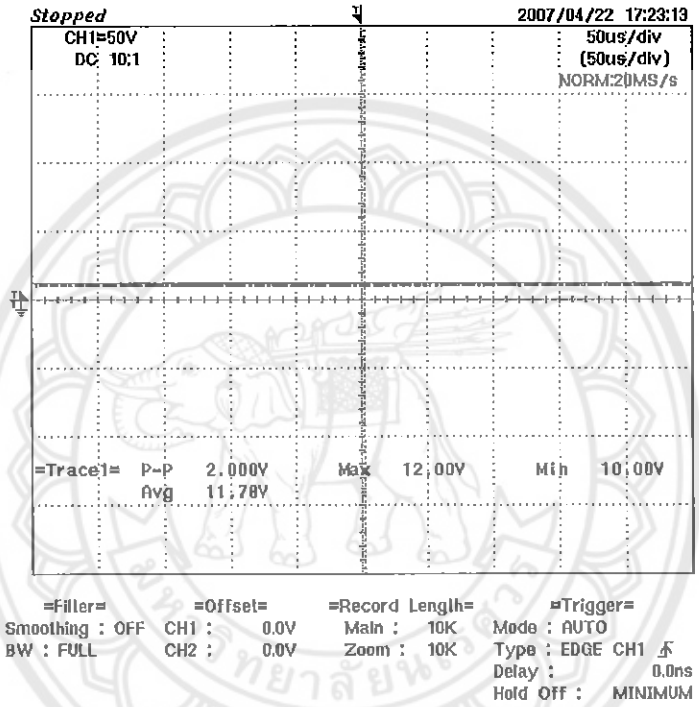
รูปที่ 3.13 การเก็บผลการทดลองโดยใช้ออสซิลโลสโคป

# บทที่4

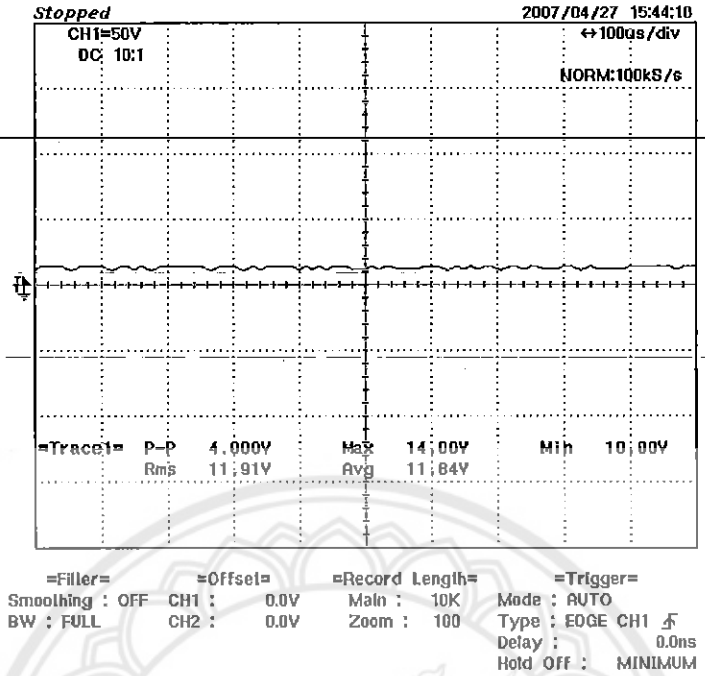
# ผลการดำเนินการ

## 4.1 ผลการทดลองที่ได้จากวงจรทวีแรงดันที่ได้ออกแบบไว้

### 4.1.1 วงจรทวีแรงดัน 1 Stage

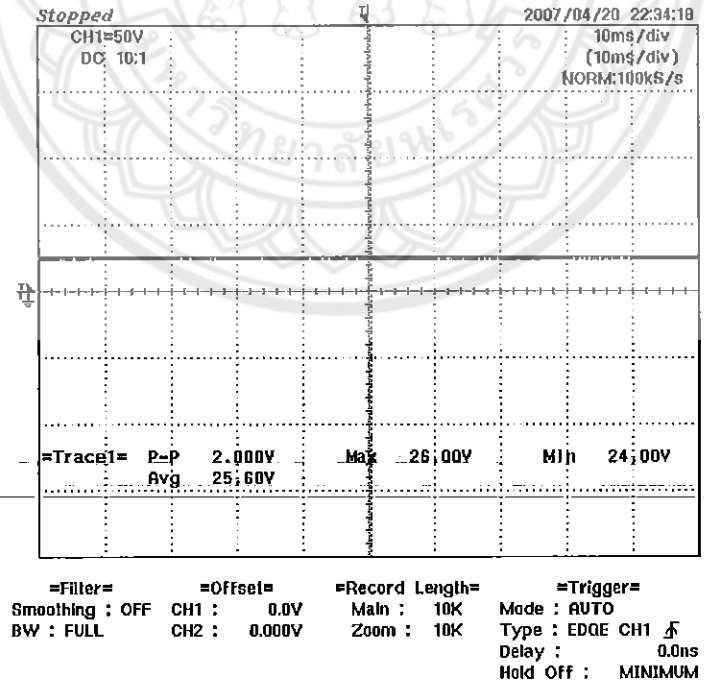



รูปที่ 4.1 แรงดัน 1 Stage

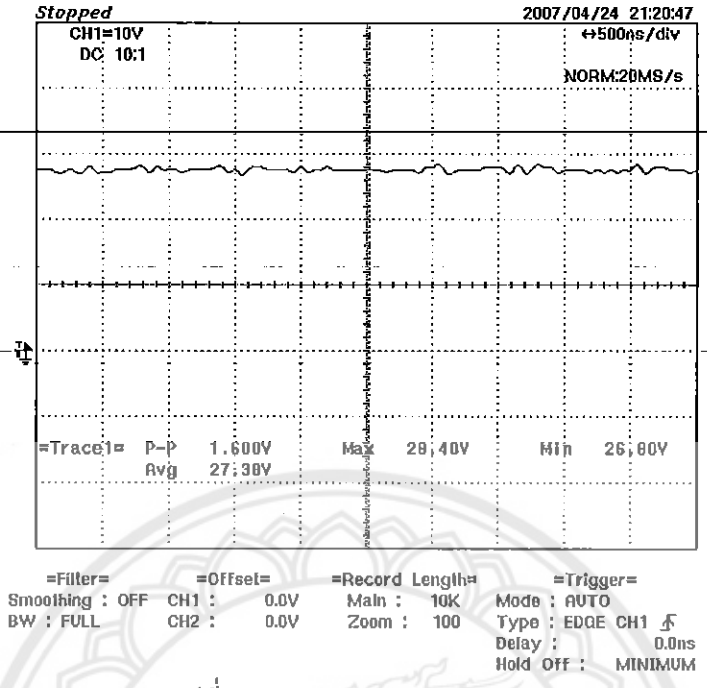



รูปที่ 4.2 ripple voltage ของ 1 Stage

### 4.1.2 วงจรทวีแรงดัน 2 Stage

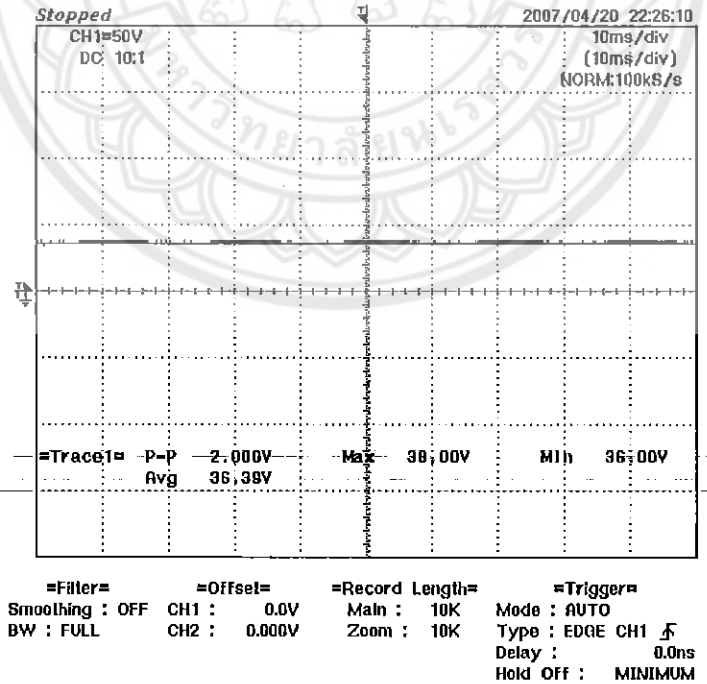



รูปที่ 4.3 แรงดัน 2 Stage

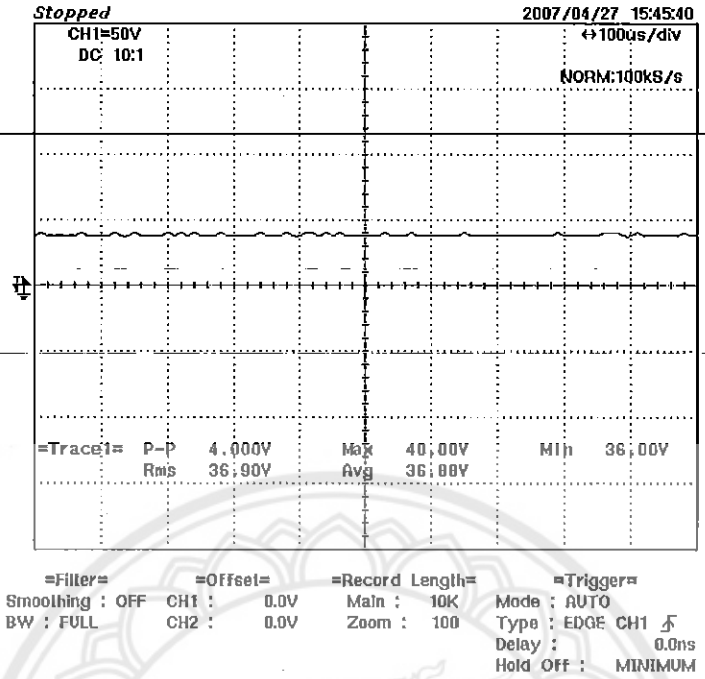



รูปที่ 4.4 ripple voltage ของ 2 Stage

### 4.1.3 วงจรทวีแรงดัน 3 Stage

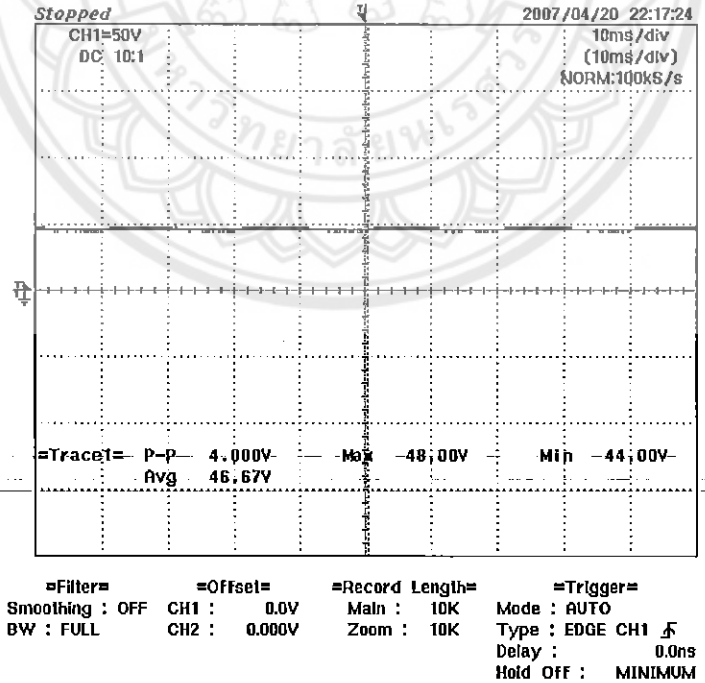



รูปที่ 4.5 แรงดัน 3 Stage

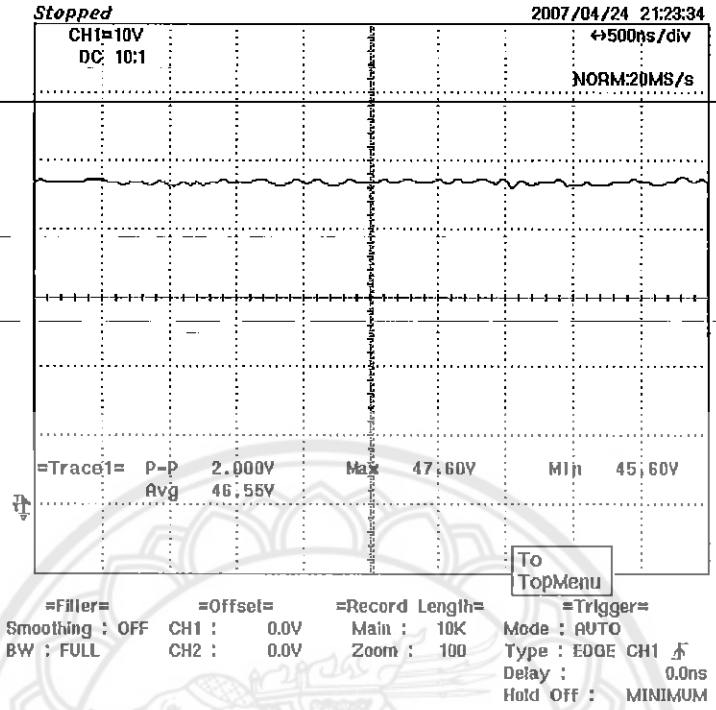



รูปที่ 4.6 ripple Voltage ของ 3 Stage

### 4.1.4 วงจรทวีแรงดัน 4 Stage

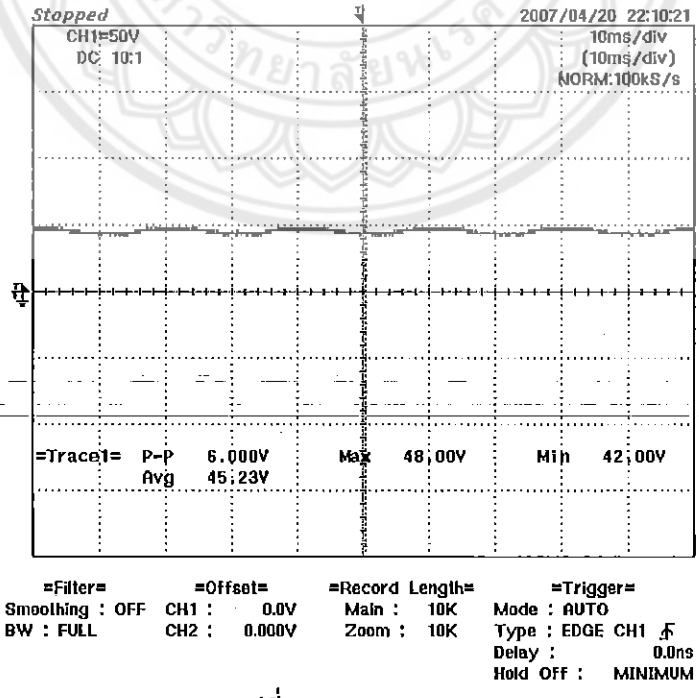



**รูปที่ 4.7** แรงดัน 4 Stage

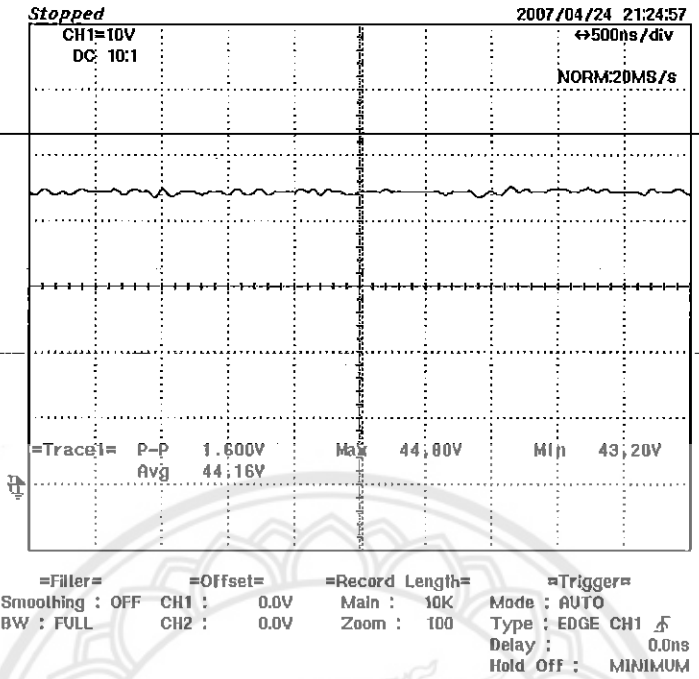



รูปที่ 4.8 ripple voltage ของ 4 Stage

### 4.1.5 วงจรทวีแรงดัน 5 Stage

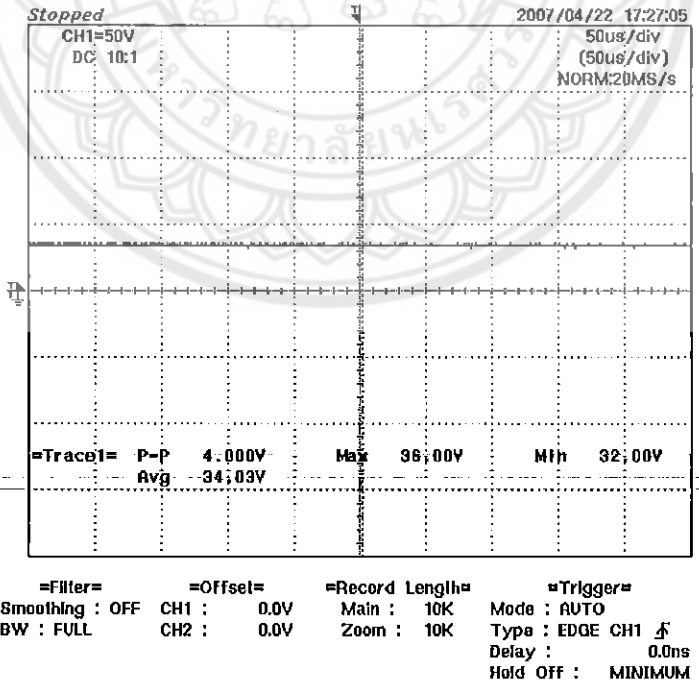



รูปที่ 4.9 แรงดัน 5 Stage

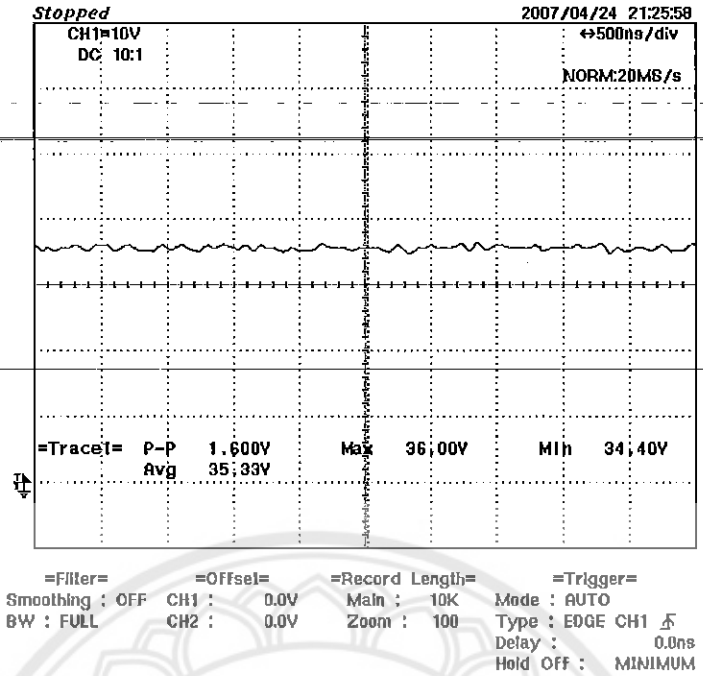



รูปที่ 4.10 ripple voltage ของ 5 Stage

### 4.1.6 วงจรทวีแรงดัน 6Stage




รูปที่ 4.11 แรงดัน 6 Stage




รูปที่ 4.12 ripple voltage ของ 6 Stage

## 4.2 ผลการคำนวณโดยใช้สูตรทั้ง 2 สูตร

### 4.2.1 คำนวณ n – optimize โดยใช้สูตรเดิม

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{V_m f C}{I_d}}$$

โดยค่าตัวแปรต่างๆมีดังนี้

f = 50 Hz

c = 4700 ไมโครฟารัด

I = 0.1 A

V = 6 v

วิธีคำนวณ

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{6\times\sqrt{2}\times 50\times 4700\times 10^{-6}}{0.1}}$$

ค่าที่ได้เท่ากับ

$$n_{opt} = 4.465$$

**4.2.1 คำนวณ n – optimize โดยใช้สูตรใหม่**

$$V_o = 2nVmax - \frac{I}{fc}\left(\frac{2n^2}{3} + \frac{n^2}{2} - \frac{n}{6}\right)$$

จากนั้น

$$\frac{dV_o}{dn} = 2Vmax - \frac{I}{fc}\left(2n^2 + n - \frac{1}{6}\right) = 0$$

$$\left(2\frac{I}{fc}n^2 + \frac{I}{fc}n - 2Vmax - \frac{I}{6fc}\right) = 0$$

$$n = \frac{-\frac{I}{fc} \pm \sqrt{\left(\frac{I}{fc}\right)^2 + 8\frac{I}{fc}\left(2Vmax + \frac{I}{6fc}\right)}}{4\frac{I}{fc}}$$

โดยค่าตัวแปรต่างๆมีดังนี้

f = 50 Hz

c = 4700 ไมโครฟารัด

I = 0.1 A

V = 6 v

วิธีคำนวณ

$$n = \frac{-\frac{0.1}{50 \times 4700 \times 10^{-6}} \pm \sqrt{\left(\frac{0.1}{50 \times 4700 \times 10^{-6}}\right)^2 + 8\frac{0.1}{50 \times 4700 \times 10^{-6}}\left(2 \times 6 \times \sqrt{2} + \frac{0.1}{6 \times 50 \times 4700 \times 10^{-6}}\right)}}{4\frac{0.1}{50 \times 4700 \times 10^{-6}}}$$

$$n = \frac{-0.425 \pm \sqrt{(0.425)^2 + 8 \times 0.425(16.968 + 0.07)}}{4 \times 0.425}$$

ค่าที่ได้เท่ากับ

$$n_{opt} = 4.231, -4.731$$

***เลือกใช้เฉพาะค่าบวก

## 4.3 การนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบการคำนวณ

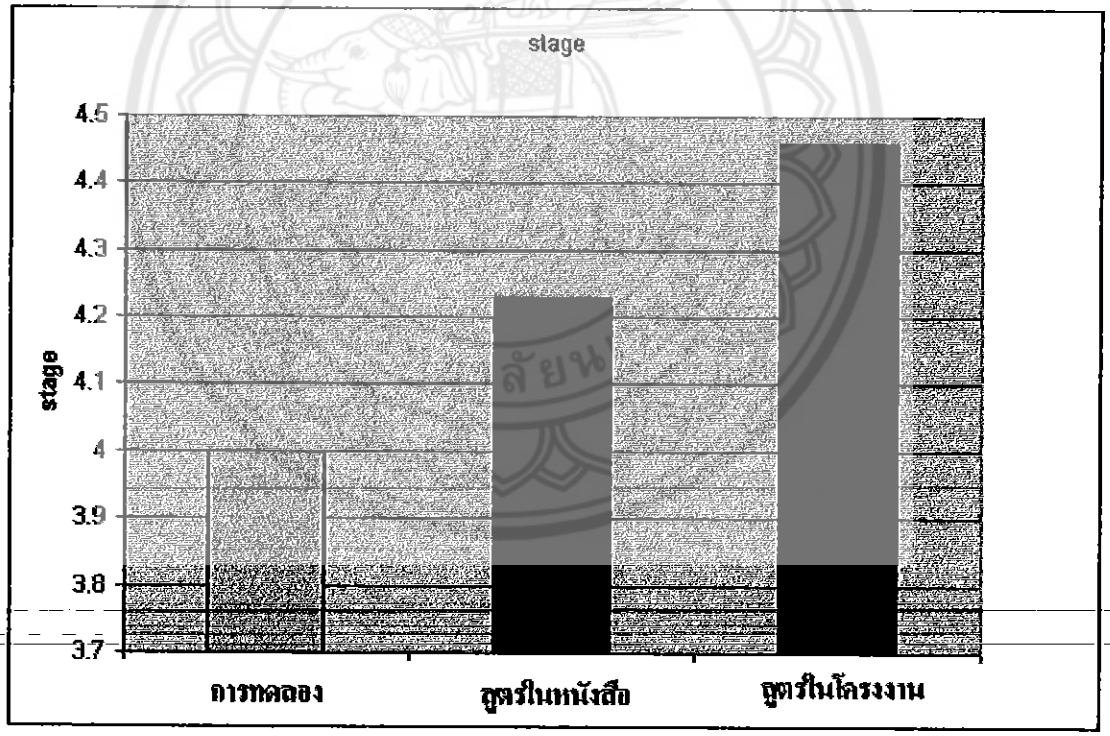
**ตารางที่4.1 เปรียบเทียบ n – optimize จากสูตรทั้งสอง**

| การทดลอง | สูตรในหนังสือ | สูตรในโครงงาน |
|---|---|---|
| 4 | 4.46 | 4.23 |

ผลการทดลองได้ Stage ที่ เหมาะสมที่สุด คือ Stage ที่ 4

คำนวณ n – optimize จากสูตรเดิม $n_{opt} = 4.465$ คลาดเคลื่อน 11.625%

คำนวณ n – optimize จากสูตรใหม่ $n_{opt} = 4.231$ คลาดเคลื่อน 5.775%

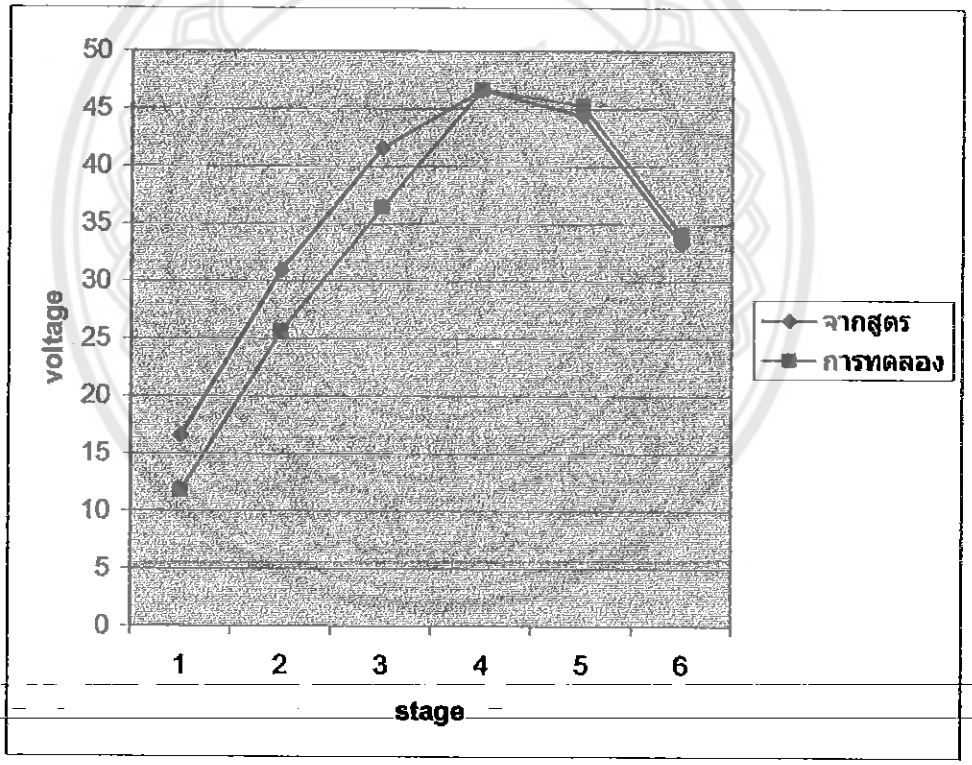



**รูปที่ 4.13** กราฟระหว่าง Stage กับ สูตรคำนวณ

## 4.4 นำผลที่ได้จากการทดลองจริงมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณ

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองแรงดันที่ออกมาจากวงจรทวีแรงดัน

| Stage | จากสูตร | จากการทดลอง |
|---|---|---|
| | | |
| 1 | 16.54 V | 11.78 V |
| 2 | 30.95 V | 25.60 V |
| 3 | 41.54 V | 36.39 V |
| 4 | 46.59 V | 46.67 V |
| 5 | 44.41 V | 45.29 V |
| 6 | 33.29 V | 34.03 V |




รูปที่ 4.14 กราฟระหว่างแรงดันกับจำนวน Stage

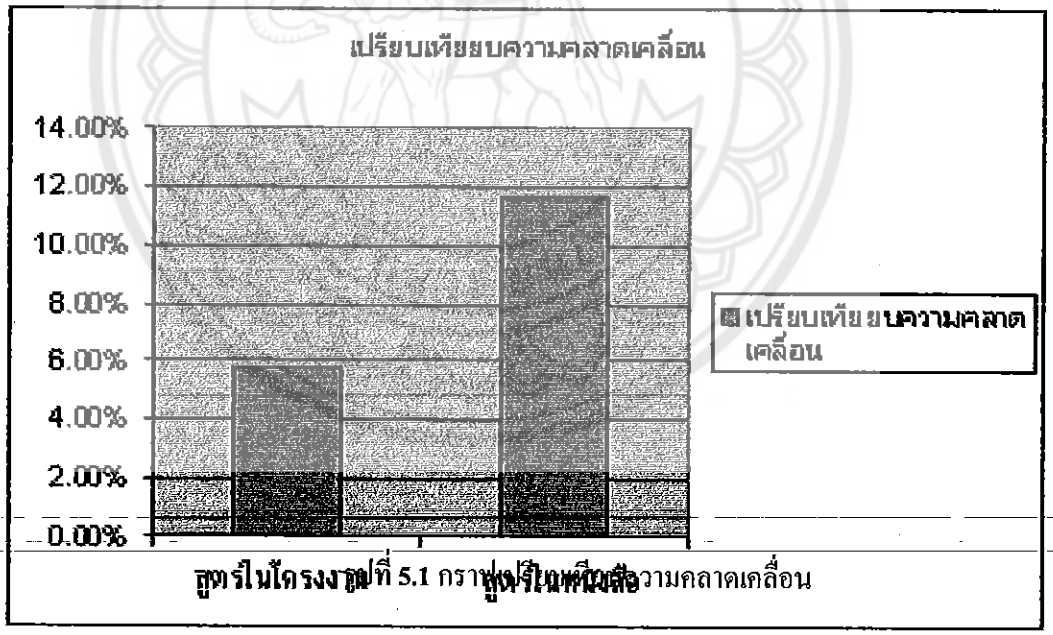
# บทที่ 5

# สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

## 5.1. สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดลองจ่ายไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดัน 6 V เข้าวงจรทวีแรงดันที่ออกแบบจะได้แรงดันเอาท์พุตจะออกมา จากผลการทดลอง(รูปที่ 4.1 – รูปที่ 4.12)สังเกตว่าจำนวนชั้น (N-Stage) ที่เหมาะสมที่สุดคือชั้นที่ 4 โดยดูจากแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากวงจรทวีแรงดันหลังจากการต่อวงจรทวีแรงดัน 4 ชั้นนั้นจะตกลงคือในชั้นที่ 4 นั้น แรงดัน Output เท่ากับ 46.67 V แต่ในชั้นที่ 5 แรงดัน Outputเท่ากับ 45.00 V จากนั้นนำผลการคำนวณที่ได้จากสูตรหา N-Optimizeทั้ง 2 สูตรมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ซึ่งผลการคำนวณจากสูตรเดิมเท่ากับ 4.465 ผลการคำนวณจากสูตรใหม่กับ 4.231

สรุปการเปรียบเทียบสูตรการคำนวณหา n-Optimize ทั้งสองสูตรได้ว่าสูตรที่ได้ใหม่คลาดเคลื่อน5.775% และสูตรเดิมคลาดเคลื่อน11.625% ดังนั้นสูตรใหม่จึงคำนวณ n – optimizeได้แม่นยำใกล้เคียงกับค่าจริงมากกว่าสูตรเดิม




รูปที่ 5.1 กราฟเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อน

## 5.2. ปัญหาและอุปสรรค

1. การเลือกขนาดของตัวเก็บประจุในการคำนวณหาค่าแรงดันขาออกในวงจรทวีแรงดันให้เหมาะสมทำได้ยากและใช้เวลานาน

2. เกิดจากการทดลองคือการที่อุปกรณ์ไม่สามารถทดแรงดันสูงๆได้แต่แก้ปัญหาโดยการต่ออนุกรมและขนานทำให้ปัญหาเรื่องทนแรงดันสูงแก้ได้แต่ก็จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ตัวอุปกณ์ ดังนั้นผลที่ได้จากการทดลองจึงมีความคลาดเคลื่อน เกี่ยวกับอุปกรณ์ควรเลือกซื้ออุปกรณ์ที่ทนแรงดันสูงๆได้ดีแต่ราคาแพงและหาซื้อยาก

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

อาจนำสูตร ได้มาใหม่นี้ไปพัฒนาเพื่อหาสูตรที่แม่นยำกว่านี้ได้อีก และสามารถนำสูตรนี้ ไปใช้ในการศึกษาค้นคว้าในการเรียนการสอนต่อไป

มหาวิทยาลัยนเรศวร

# เอกสารอ้างอิง

[1] "**วงจรทวีแรงดัน**" [Online]. Available http://www.geocities.com/surin_pra/data1.8.htm

[2] Jochen's. "**Basic multiplier circuits**" [Online]. Available http://www.kronjaeger.com/hv/hv/src/mul/

# ประวัติผู้เขียนโครงงาน

ชื่อ นายชลัท ไทยสิทธิเวช

ภูมิลำเนา 254 หมู่ 16 ต.หนองไผ่ อ.หนองไผ่ จ.เพชรบูรณ์ 67140


ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมจากโรงเรียนเซนโยเซฟศรีเพชรบูรณ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คระวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยนเรศวร


E-mail : ee-1598@hotmail.com

ชื่อ นายณปกรณ์ อรรคโชติ

ภูมิลำเนา 275/3 หมู่ที่ 2 ต.โพทะเล อ.โพทะเล จ. พิจิตร 66130


ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมจากโรงเรียนนครสวรรค์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คระวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยนเรศวร


E-mail : toy_ee@hotmail.com