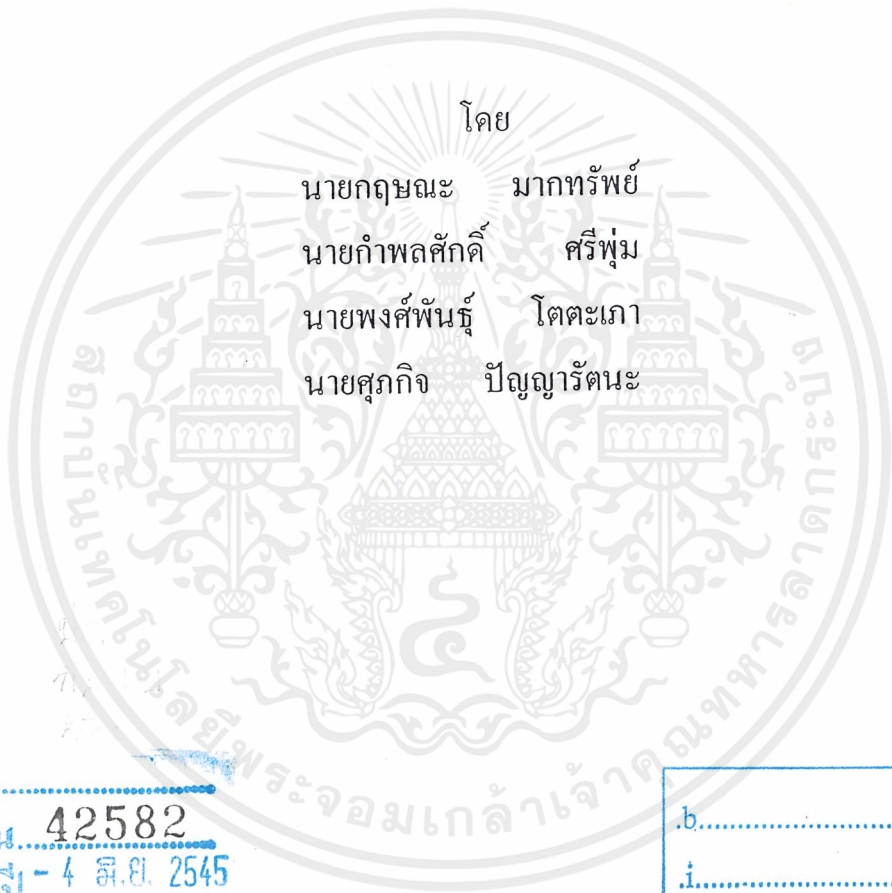


แบบจำลองการสร้างแรงดันสูงกระแสตรง
DC HIGH VOLTAGE GENNERATION MODEL



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 42582
วันที่, เดือน, ปี..... 4 ส.ย. 2545

b.....
i.....

ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

ปีการศึกษา 2543

แบบจำลองการสร้างแรงดันสูงกระแสตรง
DC HIGH VOLTAGE GENERATION MODEL



อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2543


ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แบบจำลองการสร้างแรงดันสูงกระแสตรง

ผู้จัดทำ

- | | |
|------------------|------------|
| 1. นายกฤษณะ | มากทรัพย์ |
| 2. นายกำพลศักดิ์ | ศรีพุ่ม |
| 3. นายพงศ์พันธุ์ | โตตะเกา |
| 4. นายศุภกิจ | ปัญญารัตน์ |


(รศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองการสร้างแรงดันสูงกระแสดตรง

นายกฤษณะ มากทรัพย์

นายกำพลศักดิ์ ศรีพุ่ม

นายพงษ์พันธุ์ โตตะเภา

นายศุภกิจ ปัญญารัตนะ

รศ.ศิริวัฒน์ โพธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นกรออกแบบและสร้างแบบจำลองการสร้างวงจรสร้างแรงดันสูงกระแสดตรง 3 ชนิดโดยอาศัยหลักการของวงจรทวิแรงดันเป็นพื้นฐานเพื่อทำการศึกษาคคุณลักษณะพื้นฐานของวงจรทั้ง 3 ชนิดเช่นแรงดันตก ,แรงดันกระแสตรงเฉลี่ย ,แรงดันกระแสตรงสูงสุด ,แรงดันระลอก , และเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของทั้ง 3 วงจร วงจรทั้ง 3 แบบที่สร้างคือ วงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น , วงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น และวงจรทวิแรงดันโดยใช้การต่อกันแบบขั้นบันไดของหม้อแปลง โครงการนี้จะช่วยให้ผู้สนใจสามารถใช้ศึกษาเพื่อให้เข้าใจหลักการทำงานพื้นฐานของวงจรสร้างแรงดันสูงกระแสดตรงได้เป็นอย่างดี เพื่อสามารถเลือกสร้างวงจรที่ต้องการใช้ได้เหมาะสม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อความเข้าใจที่ดีขึ้นของนักศึกษาได้

DC HIGH VOLTAGE GENERATION MODELS

Kritsana Marksap

Kamponsak Sripum

Pongpan Totapao

Supakid Panyaratana

Assc. Prof. Siriwat Potivejakul Advisor

2000

ABSTRACT

This project is a study about the characteristics of 3 dc high voltage generation models. By using the basics of voltage doubler circuit to construction 3 dc high voltage generation models. The characteristics that is studied are voltage drop , ripple voltage and average dc voltage. Then compare all of 3 circuits. The 3 circuits that is constructed are voltage doubler with half wave cascaded rectifier circuit , voltage doubler with full wave cascaded rectifier circuit and voltage multiplier with cascaded transformer circuit. This project will help the interested person to understand the basic theory of dc high voltage generation and can be applied in the labortory for the better understanding of the students.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	V
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 หลักการสร้างแรงดันสูงกระแสตรง	4
2.1 การสร้างแรงดันสูงกระแสตรง	4
2.1.1 วงจรแรงดันสองเท่า	4
2.1.2 วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น	6
2.1.3 วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น	10
2.1.4 วงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันได	13
บทที่ 3 การออกแบบและการจำลอง	15
3.1 การออกแบบวงจรสร้างแรงดันสูงกระแสตรง	15
3.1.1 ข้อกำหนดในการออกแบบ	15
3.1.2 การคำนวณหาองค์ประกอบต่าง ๆ ในวงจร	15
3.1.3 การออกแบบหม้อแปลงที่ใช้ในวงจร	18
3.2 การจำลองและวิเคราะห์วงจรด้วยโปรแกรมพีเอสไปซ์	19
3.2.1 วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น	19
3.2.2 วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น	21
3.2.3 วงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันได	23
3.2.4 วิธีคำนวณค่าต่าง ๆ ในตาราง	25
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	27
4.1 การทดลอง	27
4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	27
4.1.2 ขั้นตอนการทดลอง	27
4.2 ผลการทดลอง	29
4.2.1 วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2.2 วงจรทวีแรงดันต่อขึ้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น	33
4.2.3 วงจรพหุคูณแรงดัน โดยใช้หม้อแปลงต่อขึ้นบันได	35
4.3 การคำนวณค่าต่าง ๆ ในตารางจากผลการทดลอง	38
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง	41
5.1 การเปรียบเทียบของคัพประกอบแรงดันระลอกขณะจ่ายโหลดค่าต่าง ๆ	41
5.2 การเปรียบเทียบแรงดันตกเมื่อจ่ายโหลดค่าต่าง ๆ	42
5.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อจ่ายโหลดค่าต่าง ๆ	43
5.4 การศึกษาสมบัติรวมทั้งข้อดีข้อเสียของวงจร	44
5.4.1 วงจรทวีแรงดันต่อขึ้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น	44
5.4.2 วงจรทวีแรงดันต่อขึ้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น	44
5.4.3 วงจรพหุคูณแรงดัน โดยใช้หม้อแปลงต่อขึ้นบันได	44
บทที่ 6 บทสรุป	
6.1 การสร้างแรงดันสูงกระแสตรง	45
6.2 ข้อเสนอแนะในการสร้าง	
6.2.1 วงจรทวีแรงดันต่อขึ้นบันไดทั้งสองแบบ	45
6.2.2 วงจรพหุคูณแรงดัน โดยใช้หม้อแปลงต่อขึ้นบันได	46
6.3 การเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละวงจร	46
6.4 ปัญหาและแนวทางแก้ไขและพัฒนา	47
6.4.1 ปัญหา	47
6.4.2 แนวทางแก้ไขและพัฒนา	47
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	

สารบัญรูป

	หน้า
รูป 2.1 วงจรสร้างแรงดันสองเท่า	4
รูป 2.2 วงจรสร้างแรงดันกระแสตรงแบบแรงดันสองเท่า	5
รูป 2.3 วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น 4 ชั้น	6
รูป 2.4 รูปคลื่นแรงดันกระแสตรงที่ได้จากวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น ขณะจ่ายโหลด	7
รูป 2.5 วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบใช้หม้อแปลงแท่งปกลาง	11
รูป 2.6 รูปคลื่นแรงดันกระแสตรงที่ได้จากวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งเต็ม ขณะจ่ายโหลด	12
รูป 2.7 วงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันได	14
รูป 3.1 วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นที่เขียนลงในโปรแกรมพีสไปซ์	20
รูป 3.2 รูปกราฟจากการจำลองวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นขณะไม่ต่อ โหลด	20
รูป 3.3 รูปกราฟจากการจำลองวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นขณะต่อ โหลดความต้านทาน 50 k Ω	21
รูป 3.4 วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นที่เขียนลงในโปรแกรมพีสไปซ์	22
รูป 3.5 รูปกราฟจากการจำลองวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นขณะไม่ต่อ โหลด	22
รูป 3.6 รูปกราฟจากการจำลองวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นขณะต่อ โหลดความต้านทาน 50 k Ω	23
รูป 3.7 รูปวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดที่เขียนลงในโปรแกรมพีสไปซ์	24
รูป 3.8 รูปกราฟจากการจำลองวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดขณะไม่ต่อ โหลด	24
รูป 3.9 รูปกราฟจากการจำลองวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดขณะต่อ โหลดความต้านทาน 50 k Ω	25
รูป 4.1 การต่อวงจรเพื่อทำการทดลองหาคุณสมบัติพื้นฐานของวงจรการสร้างแรงดันสูง กระแสตรงทั้ง 3 วงจร	27

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูป 4.2 แรงดันเอาต์พุตของวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นที่ทำการทดลอง ขณะไม่ต่อโหลด	30
รูป 4.3 แรงดันเอาต์พุตของวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นที่ทำการทดลอง ขณะต่อโหลดความต้านทาน 50 k Ω	30
รูป 4.4 แรงดันเอาต์พุตของวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นที่ทำการทดลอง ขณะต่อโหลดความต้านทาน 100 k Ω	31
รูป 4.5 แรงดันเอาต์พุตของวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นที่ทำการทดลอง ขณะต่อโหลดความต้านทาน 150 k Ω	31
รูป 4.6 แรงดันเอาต์พุตของวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ทำการทดลอง ขณะไม่ต่อโหลด	33
รูป 4.7 แรงดันเอาต์พุตของวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ทำการทดลอง ขณะต่อโหลดความต้านทาน 50 k Ω	33
รูป 4.8 แรงดันเอาต์พุตของวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ทำการทดลอง ขณะต่อโหลดความต้านทาน 100 k Ω	34
รูป 4.9 แรงดันเอาต์พุตของวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ทำการทดลอง ขณะต่อโหลดความต้านทาน 150 k Ω	34
รูป 4.10 แรงดันเอาต์พุตของวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดที่ทำการทดลอง ขณะไม่ต่อโหลด	36
รูป 4.11 แรงดันเอาต์พุตของวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดที่ทำการทดลอง ขณะต่อโหลดความต้านทาน 50 k Ω	36
รูป 4.12 แรงดันเอาต์พุตของวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดที่ทำการทดลอง ขณะต่อโหลดความต้านทาน 100 k Ω	37
รูป 4.13 แรงดันเอาต์พุตของวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดที่ทำการทดลอง ขณะต่อโหลดความต้านทาน 150 k Ω	37
รูป 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไหลกลับกับตัวประกอบแรงดันระลอก	41
รูป 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไหลกลับกับเปอร์เซ็นต์โวลเตจเร็กกูเลชัน	42
รูป 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไหลกลับกับประสิทธิภาพ	43

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 3.1 ผลการจำลองวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น	21
ตาราง 3.2 ผลการจำลองวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น	23
ตาราง 3.3 ผลการจำลองวงจรพหุคูณแรงดัน โดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันได	25
ตาราง 4.1 ผลการทดลองวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น	32
ตาราง 4.2 ผลการทดลองวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น	35
ตาราง 4.3 ผลการทดลองวงจรพหุคูณแรงดัน โดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันได	38
ตาราง 6.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะสมบัติรวมทั้งข้อดีข้อเสียของวงจรสร้างแรงดันสูงกระแสตรงทั้ง 3 วงจร	47

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

แรงดันสูงกระแสตรงอาจเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ในขณะเกิดพายุฝนฟ้าคะนองมีการเก็บสะสมประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆ ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน ในทางภาคปฏิบัติเราสร้างแรงดันสูงกระแสตรงขึ้นเพื่อใช้ประโยชน์ได้โดย

- 1) เครื่องกำเนิดแรงดันกระแสตรงสถิต (Electrostatic generation)
- 2) เปลี่ยนแรงดันสลับให้เป็นแรงดันกระแสตรงด้วยการเรียงกระแส (rectifier)

เครื่องกำเนิดแรงดันกระแสตรงสถิตสร้างแรงดันกระแสตรง โดยวิธีเปลี่ยนพลังงานกลให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเคลื่อนประจุไฟฟ้าจำนวนมากเข้ามาสู่เครื่องกำเนิด โดยการใช้แรงดูดของสนามไฟฟ้า

การสร้างแรงดันกระแสตรงโดยการเรียงกระแสของแรงดันกระแสสลับเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก ในปัจจุบันการสร้างแรงดันกระแสตรงวิธีนี้มีความสะดวกและง่ายขึ้น เนื่องจากอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ใช้ในการเรียงกระแสมีการพัฒนาไปอย่างมาก สามารถทนแรงดันย้อนกลับ (peak reverse voltage) ได้สูงและมีราคาถูกลง ถ้าต้องการไดโอดเรียงกระแสที่ทนแรงดันย้อนกลับได้สูงกว่าที่ไดโอดจะทนได้ก็ยังสามารถนำมาต่ออนุกรมกันเพื่อให้ทนแรงดันย้อนกลับได้ตามต้องการ

1.2 ประโยชน์ของแรงดันสูงกระแสตรง

แรงดันสูงกระแสตรงนั้นใช้อย่างกว้างในงานแขนงต่าง ๆ

- 1) ใช้ในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้า
- 2) ในทางฟิสิกส์ เช่น สร้างเครื่องเร่งอนุภาค , กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ฯลฯ
- 3) ในทางการแพทย์ ใช้สร้างอุปกรณ์ทางการแพทย์ เช่น เครื่องเอ็กซเรย์ ฯลฯ
- 4) ในทางอุตสาหกรรม ใช้เร่งการตกตะกอนและกรองก๊าซพิษในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนและอุตสาหกรรมซีเมนต์ , ใช้ในการเคลือบและพ่นสีแบบไฟฟ้าสถิต ฯลฯ
- 5) ในการคมนาคมสื่อสาร ใช้ในการสร้างโทรทัศน์ , ใช้ในสถานีส่งสัญญาณ ฯลฯ

จะเห็นได้ว่ามีการนำแรงดันสูงกระแสตรงไปใช้งานอย่างกว้างขวางในหลายแขนง ดังนั้น การต้องการลักษณะต่าง ๆ ของแรงดันสูงกระแสตรง เช่น รูปคลื่น , ระดับแรงดัน , พิกัดกระแส

ในงานแต่ละชนิดจึงไม่เหมือนกัน โครงการนี้จึงนำเสนอวงจรการสร้างแรงดันสูงกระแสตรงแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่าง ๆ และทำการศึกษาคูณลักษณะของแต่ละวงจรพร้อมทั้งเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละวงจร เพื่อที่จะสามารถเลือกใช้งานที่เหมาะสมในงานต่าง ๆ

1.3 ข้อกำหนดของแรงดันกระแสตรง

แรงดันกระแสตรงสามารถกำหนดและอธิบายได้ดังนี้

- ขั้ว คือ เป็นแรงดันบวก หรือแรงดันลบ
- ค่าเฉลี่ย โดยมาตรฐาน IEC 60-2 หรือ มาตรฐาน IEEE 4-1978 นิยามว่า

$$\bar{V} = \frac{1}{T} \int_0^T V(t) \cdot dt$$

โดย T คือ คาบของแรงดันในกรณีที่แรงดันไม่คงที่แต่มีการแกว่งเป็นคาบ

- ค่าแรงดันคลื่นระลอก (ripple voltage, δV)

$$\delta V = \frac{1}{2} (V_{\max} - V_{\min})$$

- ค่าตัวประกอบแรงดันระลอก (ripple factor)

$$\text{ripple factor} = \frac{\delta V_{rms}}{V}$$

ในการทดสอบแรงดันกระแสตรง ค่าตัวประกอบแรงดันระลอกไม่ควรเกิน 5 % ตามมาตรฐานของ IEC หรือ IEEE เว้นแต่จะมีการระบุมาในมาตรฐานของอุปกรณ์นั้น โดยเฉพาะ

1.4 จุดประสงค์ของโครงการ

โครงการนี้มีจุดประสงค์ดังนี้

1. ศึกษาหลักการทำงานของวงจรการสร้างแรงดันสูงกระแสตรง 3 วงจร
2. ศึกษาคุณสมบัติและคุณลักษณะพื้นฐานของวงจรสร้างแรงดันสูงกระแสตรงทั้ง 3 วงจร
3. ออกแบบและทำการสร้างแบบจำลองของวงจรการสร้างแรงดันสูงกระแสตรงทั้ง 3 วงจร
4. ศึกษาและเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวงจรการสร้างแรงดันสูงกระแสตรงทั้ง 3 วงจร

1.5 การออกแบบและการสร้าง

ออกแบบแบบจำลองสร้างแรงดันสูงกระแสตรงให้สามารถสร้างแรงดันกระแสตรงได้ไม่ต่ำกว่า 1 kV และมีค่าตัวประกอบแรงดันระลอกไม่เกิน 5 % ในขณะจ่ายโหลดที่พิกัด ตามมาตรฐาน IEC60-1(1989)

ทำการออกแบบวงจรโดยการคำนวณจากสูตรการคำนวณและทำการจำลองวงจรด้วยโปรแกรมพีเอสไปซ์(PSPICE) เพื่อทำการศึกษาคุณลักษณะพื้นฐานต่าง ๆ ของวงจร และทำการตรวจสอบการออกแบบจากการคำนวณว่าถูกต้องสามารถสร้างได้จริงหรือไม่

1.6 ประโยชน์ของโครงการ

โครงการชิ้นนี้มีประโยชน์ต่าง ๆ ดังนี้

1. ผู้สนใจสามารถใช้ศึกษาทำความเข้าใจวงจรการสร้างแรงดันสูงกระแสตรงได้โดยไม่มีอันตรายเนื่องจากแบบจำลองนี้ทำการสร้างแรงดันสูงกระแสตรงต่ำกว่าจริงมาก
2. สามารถใช้ศึกษาเพื่อเลือกใช้วงจรสร้างแรงดันสูงกระแสตรงชนิดที่เหมาะสมกับงานที่ต้องการและงบประมาณได้

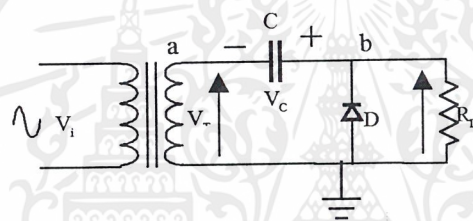
บทที่ 2

หลักการสร้างแรงดันสูงกระแสตรง

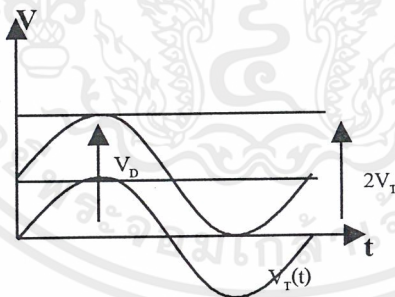
2.1 การสร้างแรงดันสูงกระแสตรง

2.1.1 วงจรแรงดันสองเท่า (Voltage double circuit)

ตามวงจรของวิลลาร์ด(Villard) ดังแสดงในรูป 2.1 a ซึ่งประกอบด้วยไดโอดและตัวเก็บประจุอย่างละตัว จะช่วยให้สามารถสร้างแรงดันเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าของค่ายอดแรงดันด้านทุติยภูมิของหม้อแปลงได้ ดังในรูป 2.1 b



(a)



(b)

รูปที่ 2.1 วงจรสร้างแรงดันสองเท่า

(a) วงจรทวิแรงดัน

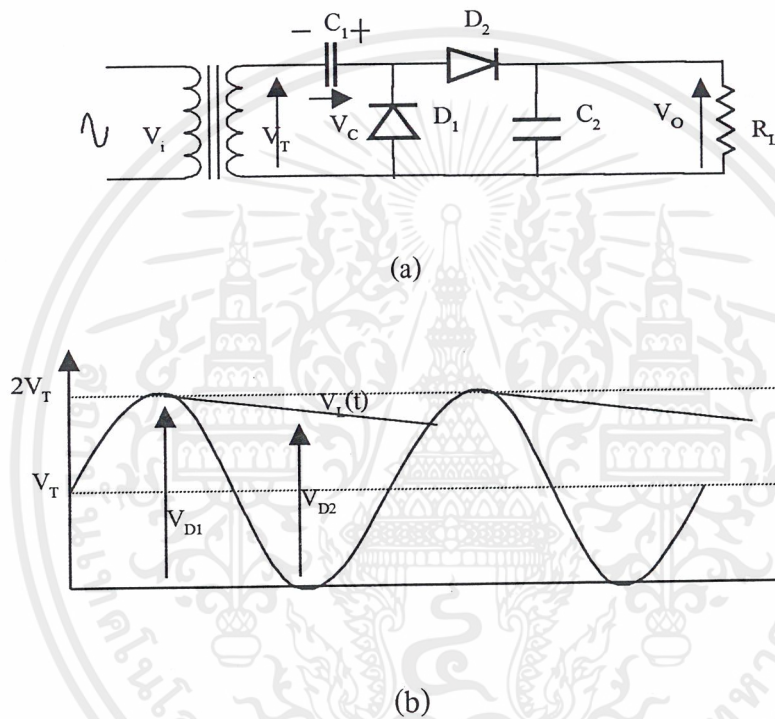
(b) รูปคลื่นของวงจรทวิแรงดัน

ที่จุด a ในขณะที่ครึ่งไซเคิลลบ ไดโอด D นำกระแส ทำให้ตัวเก็บประจุ C ถูกชาร์จ

$$V_C = V_T$$

ที่จุด a ในขณะที่ครึ่งไซเคิลบวก ไดโอด D ไม่นำกระแส ที่จุด b $V_L = V_T + V_C = 2V_T$

เมื่อนำวงจรที่แรงดันนี้ไปต่อร่วมกับวงจรเรียงกระแสก็จะได้แรงดันกระแสตรงเอาต์พุทที่มีค่าเป็นสองเท่าของแรงดันอินพุทด้านทุติยภูมิ



รูปที่ 2.2 วงจรสร้างแรงดันกระแสตรงแบบแรงดันสองเท่า

- (a) รูปวงจรที่แรงดันต่อร่วมกับวงจรเรียงกระแส
(b) รูปคลื่นแรงดันเอาต์พุท

ในขณะที่ไม่มีโหลด จะได้แรงดันกระแสตรงคร่อมตัวเก็บประจุ C_2 ซึ่งมีโอกาสเพิ่มขึ้นถึง $2V_T$ ฉะนั้นไดโอด D_1 และ D_2 จะต้องรับแรงดันสูงถึงสองเท่าเช่นเดียวกัน คือ

$$V_{D1} = V_{D2} = 2V_T \quad (2.1)$$

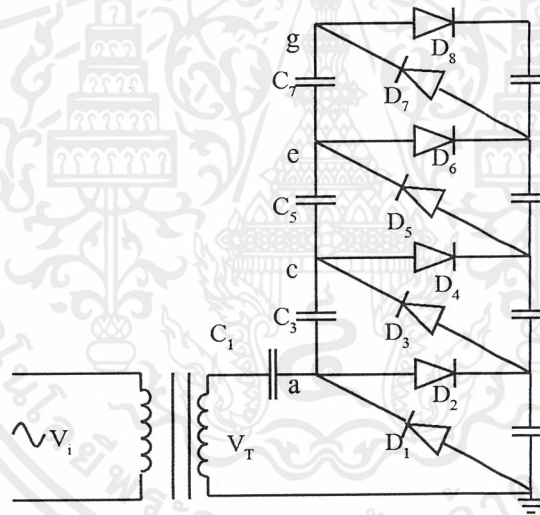
การอัดประจุ C_2 เป็นดังนี้ คือ เมื่อตัวเก็บประจุ C_1 ได้รับแรงดันอัดประจุเนื่องจากแรงดันของหม้อแปลงผ่านไดโอด D_1 ($Q_1 = V_{C1}$) แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุ C_1 จะรวมเข้ากับแรงดันของหม้อแปลงทางไซเคลิบวกได้แรงดันเอาท์พุทเป็น

$$V_{C2} = 2V_T \quad (2.2)$$

และแรงดันที่ตกคร่อมโหลด R

$$V_o = V_T(1 + \cos \omega t) \quad (2.3)$$

2.1.2 วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น (Voltage Doubler with Half Wave Rectifier Circuit)

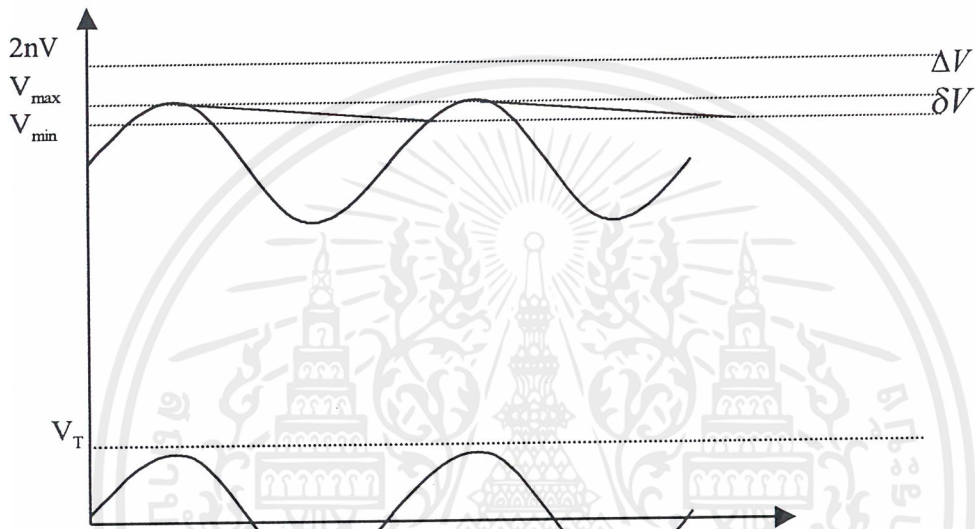


รูปที่ 2.3 รูปวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น 4 ขั้น

C_1, C_3, C_5, C_7 เป็นตัวพักประจุ ; C_2, C_4, C_6, C_8 เป็นตัวกรองกระแส
 D_1, D_3, D_5, D_7 นำกระแสครึ่งไซเคลลบ ; D_2, D_4, D_6, D_8 นำกระแสครึ่งไซเคลิบวก
 ไซเคลลบ (-) C_1 จะถูกอัดประจุผ่าน D_1 ด้วยแรงดัน V_T
 ไซเคลิบวก (+) C_1 คายประจุออกมาเมื่อรวมกับแหล่งจ่ายแล้ว ที่จุด a จะมีศักย์ไฟฟ้า $0-2V_T$ เทียบกับ กราวด์ และ C_2 จะได้รับแรงดันอัดประจุเป็น $2V_T$ ผ่านไดโอด D_2 ศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อม C_2 จะมีค่าคงตัว $2V_T$

ไซเคิล (-) C_3 จะได้รับการอัดประจุผ่าน D_3 ทำให้จุด a และ c มีศักย์ไฟฟ้า $2V_T - 4V_T$ เทียบกับ กราวด์

ไซเคิล (+) C_4 จะได้รับการอัดประจุผ่าน D_4 เป็น $2V_T$ ที่จุด d จะมีศักย์ไฟฟ้า คงตัว $4V_T$ เทียบกับ กราวด์



รูปที่ 2.4 รูปคลื่นแรงดันกระแสตรงที่ได้จากวงจรทวีแรงดันต่อเนื่องบันไดเรียง
กระแสรีจกคลื่นขณะจ่ายโหลด

ส่วนในวงจรขั้นที่ 3, 4 ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจะได้รับแรงดันอัดประจุถึง $2V_T$ เช่นกัน นั่นคือที่จุด f และ h จะมีศักย์ไฟฟ้าคงตัว $6V_T$ และ $8V_T$ เทียบกับ กราวด์ตามลำดับ C ทุกตัวจะได้รับแรงดันอัดประจุ $2V_T$ ยกเว้น C_1 ได้รับ V_T จะได้

$$V_{o/p} = 2nV_T \quad (2.4)$$

เมื่อ n เป็นจำนวนขั้น
 V_T เป็นค่า V_p ของหม้อแปลง
 และ $C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_n = C$

คำอธิบายของตัวย่อที่จะใช้ต่อไปนี้

δV	คือ	ค่าของแรงดันระลอก
ΔV	คือ	ค่าของแรงดันตก
I_d	คือ	ค่าของกระแสตรงที่จ่ายให้กับโหลด
n	คือ	จำนวนชั้นของวงจร
f	คือ	ค่าความถี่ของแรงดันกระแสสลับที่แปลงเป็นกระแสตรง
C	คือ	ค่าของตัวเก็บประจุของวงจรทวีแรงดัน

- การหาค่าแรงดันระลอก (Ripple Voltage)

การคำนวณหาแรงดันระลอก (δV) ของวงจร Half Wave

วงจร Half Wave จะมีตัวประจูกองกระแสจ่าย $Q = 2\delta VC = \frac{I_d}{T} = \frac{I_d}{f}$

ถ้าให้ C ที่ใช้ในวงจรมีค่าเท่ากัน

$$\delta V = \frac{I_d}{2fC} \quad (2.5)$$

ที่ C_8 ; C_8 จะจ่ายประจุออกไปให้โหลด Q ในช่วง 1 คาบ

$$\delta V_1 = \frac{I_d}{2fC_8} \quad (2.6)$$

ที่ C_6 ; C_6 จะจ่ายประจุให้โหลด Q และถ่ายประจุให้ C_7 เท่ากับ Q
จะเห็นได้ว่า C_6 จ่ายประจุทั้งหมด $2Q$

$$\delta V_2 = \frac{2I_d}{2fC_6} \quad (2.7)$$

ที่ C_4 ; C_4 จะจ่ายโหลดด้วยประจุ Q และถ่ายประจุให้ C_5 เท่ากับ Q
จ่ายให้ C_6 เท่ากับ Q รวมทั้งสิ้น $3Q$

$$\delta V_3 = \frac{3I_d}{2fC_4} \quad (2.8)$$

ที่ C_2 ; C_2 จะจ่ายประจุทั้งหมด $4Q$

$$\delta V_4 = \frac{4I_d}{2fC_2} \quad (2.9)$$

$$\therefore \text{Total Ripple } \delta V = \delta V_1 + \delta V_2 + \delta V_3 + \delta V_4 \quad (2.10)$$

$$\delta V = (1 + 2 + 3 + 4 + \dots + n) \frac{I_d}{2fC} \quad (2.11)$$

$$\delta V = \frac{I_d}{4fC} n(n+1) \quad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การคำนวณหาแรงดันตก (Voltage Drop)

ผลจาก Ripple Voltage ทำให้มี Voltage Drop (ΔV) ขณะต่อโหลด C พักประจุทุกตัว จะได้รับแรงดันอัดประจุน้อยกว่าที่คิด ในแต่ละ Cycle จากการพิจารณาการจ่ายโหลดกระแสตรง I_d ออกไปด้วยประจุ Q ($Q = \frac{I_d}{fC}$)

C_1, C_3, C_5, C_7 จะจ่ายประจุให้กับ C_2, C_4, C_6, C_8 ในช่วงคายประจุ

C_2, C_4, C_6, C_8 จะจ่ายประจุให้กับ C_3, C_5, C_7 ในช่วงชาร์จประจุ

ในช่วงไซเคิลบวก ไดโอด D_2, D_4, D_6, D_8 จะนำกระแส ดังนั้น

$$(+) \quad \text{ที่ } C_1 \text{ จะต้องจ่ายประจุออกไปทั้งหมด } 4Q \rightarrow \frac{4I_d}{f}$$

$$\text{แรงดันตกใน } C_1 = \Delta V_1 = \frac{4I_d}{fC_1} \quad (2.13)$$

$\therefore C_2$ จะได้รับแรงดันอัดประจุจาก C_1

$$V_{C2 \max} = 2V_T - \frac{4I_d}{fC} \quad (2.14)$$

(-) ที่ C_3 จะได้รับแรงดันอัดประจุจาก C_2

C_2 ประจุให้ $C_3 = \frac{3I_d}{f}$ และจ่ายโหลด $\frac{I_d}{fC}$ ด้วย จะเป็นผลทำให้แรงดันอัดประจุจาก C_2 ต่ำลงไปอีก

$\therefore C_3$ จะได้รับแรงดันอัดประจุจาก C_2

$$V_{C3 \max} = 2V_T - \frac{4I_d}{fC} - \frac{4I_d}{fC} \quad (2.15)$$

(+) ครึ่งไซเคิลต่อมา C_3 ต้องถ่ายทอดประจุไปที่ C_4 ทำให้แรงดันอัดประจุที่ C_3

ตกลงไปอีก $\frac{3I_d}{fC}$ ผ่าน D_4, D_6, D_8

$$V_{C3 \min} = 2V_T - \frac{8I_d}{fC} - \frac{3I_d}{fC} \quad (2.16)$$

ที่ C_4 ทำนองเดียวกัน จะได้รับแรงดันอัดประจุที่ C_4 เป็น

$$V_{C4 \max} = 2V_T - \frac{8I_d}{fC} - \frac{3I_d}{fC} \quad (2.17)$$

(-) เมื่อ C_4 จ่ายประจุ

$$V_{C4 \min} = V_{C4 \max} - \frac{3I_d}{fC} = V_{C5 \max} \quad (2.18)$$

\therefore แรงดันตกทั้งหมดจะเท่ากับผลรวมของแรงดันตกใน C แต่ละตัว

ถ้ามี n - stage

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{แรงดันตกชั้นที่ } n \quad \Delta V_n &= \left(\frac{Q}{C}\right)n ; \\
 \text{,, } n-1 \quad \Delta V_{n-1} &= \left(\frac{Q}{C}\right)[2n+(n-1)] ; \\
 \text{,, } & \cdot \quad \cdot \\
 \text{,, } & \cdot \quad \cdot \\
 \text{,, } 1 \quad \Delta V_1 &= \left(\frac{Q}{C}\right)[2n+2(n-1)+2(n-2)+\dots+2\cdot 2+2\cdot 1]
 \end{aligned}$$

$$\Delta V = \frac{I_d}{f \cdot c} \left(\frac{2}{3} n^3 + \frac{1}{2} n^2 - \frac{1}{6} n \right) \quad (2.19)$$

- การคำนวณหาจำนวนชั้นที่เหมาะสม(Optimum Value of n stage)
 เมื่อจำนวนชั้นมีค่ามากขึ้น ค่า V_{op} จะมีค่ามากขึ้น แต่ค่า ΔV ก็มีค่าเพิ่มขึ้นมากด้วย ทำให้เอาท์พุทที่ได้ไม่เพิ่มขึ้นเท่าที่ควร Optimum stage เป็นจำนวนชั้นที่เหมาะสมที่ให้ค่าแรงดันเอาท์พุทสูงสุด หาได้จาก

$$V_{d \max} = 2nV_T - \Delta V \quad (2.20)$$

$$\frac{dV_{d \max}}{dn} = 0 \quad (2.21)$$

จากสูตรแรงดันตก $\Delta V = \frac{I_d}{f \cdot c} \left(\frac{2}{3} n^3 + \frac{1}{2} n^2 - \frac{1}{6} n \right)$ ถ้า $n \geq 4$ ชั้นสมการนี้
 สามารถลดรูปลงเหลือ $\Delta V = \frac{I_d}{f \cdot c} \left(\frac{2}{3} n^3 \right)$ เนื่องจาก $n^3 \gg n^2$

$$V_{d \max} = 2nV_T - \frac{2}{3} \frac{I_d}{fC} \quad (2.22)$$

$$\frac{dV_{d \max}}{dn} = 2V_T - 2 \frac{I_d}{fC} n^2 = 0 \quad (2.23)$$

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{V_T f C}{I_d}} \quad (2.24)$$

$$\text{ได้ } V_{dopt} = \frac{4}{3} n_{opt} V_T = \frac{2}{3} (2n_{opt} V_T)$$

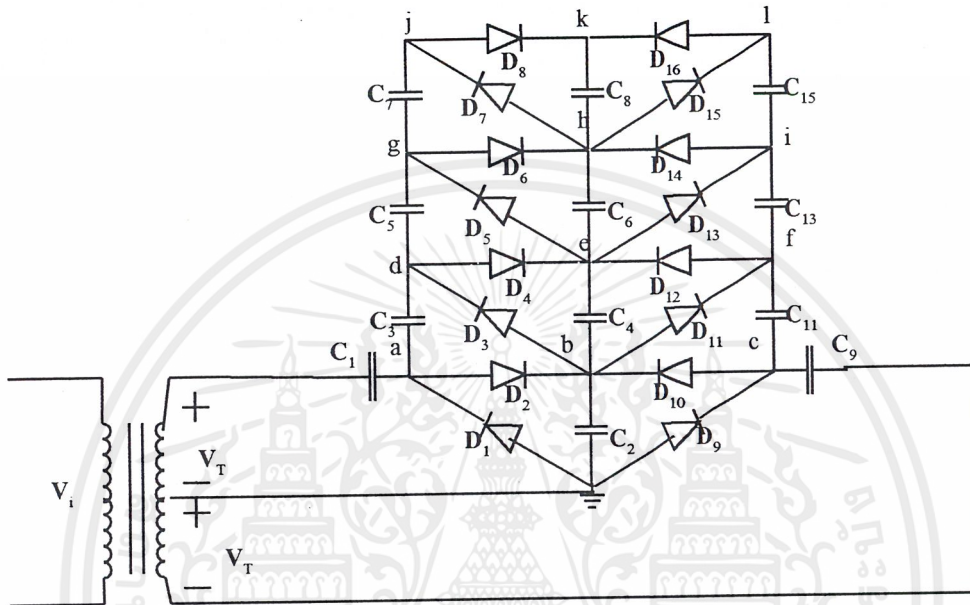
แรงดันที่ออกมาจะได้ 67% ของค่าทฤษฎี $2nV_T$

2.1.3 วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น(Voltage Doubler with Full Wave Rectifier Circuit)

หลักการการทำงานของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างแรงดันสูงกระแสตรงแบบวงจรทวีแรงดันต่อร่วมกับวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบหม้อแปลงแทปกกลาง เป็นการนำวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบหม้อแปลงแทปกกลางและวงจรแรงดันสองเท่า (Voltage double circuit) มาต่อซ้อนกันเป็นวงจรขั้นบันได (Cascade circuit)



รูปที่ 2.5 วงจรแรงดันสองเท่าและวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบหม้อแปลงแทปกกลาง

จากรูปที่ 2.5 แสดงถึงวงจรขั้นบันไดที่ได้จากการนำวงจรแรงดันสองเท่าและวงจรเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบหม้อแปลงแทปกกลางมาต่อซ้อนกัน 4 ชั้น คือ แต่ละชั้นจะประกอบด้วยตัวเก็บประจุ 3 ตัว และไดโอด 4 ตัว โดยตัวเก็บประจุ $C_1, C_3, C_5, C_7, C_9, C_{11}, C_{13}, C_{15}$ และ C_2, C_4, C_6, C_8 เป็นตัวพักประจุและตัวกรองกระแสตามลำดับ เมื่อพิจารณาแรงดันที่ขั้ว AC และ BC จะเห็นว่าแรงดันทั้งสองต่างเฟสกันอยู่ 180° จึงทำให้เกิดการนำกระแสของไดโอดทีละตัว ในวงจร $D_1, D_3, D_5, D_7, D_{10}, D_{12}, D_{14}, D_{16}$ จะนำกระแสในช่วงคลื่นครึ่งลบและ $D_2, D_4, D_6, D_8, D_9, D_{11}, D_{13}, D_{15}$ จะนำกระแสในคลื่นครึ่งบวก

ในช่วงไซเคิลลบศักย์ไฟฟ้าที่ a จะมีค่าเป็นลบเมื่อเทียบกับจุด c และศักย์ไฟฟ้าที่ b จะมีค่าเป็นบวก ทำให้ C_1 เก็บประจุแรงดันค่ายพิด V_T โดยผ่าน D_1 ในขณะเดียวกัน D_9 ยังไม่ทำงาน

ในช่วงไซเคิลบวกศักย์ไฟฟ้าที่ a จะมีค่าเป็นบวกเมื่อเทียบกับจุด c และศักย์ไฟฟ้าที่ b จะมีค่าเป็นลบ ทำให้แรงดันจากแหล่งจ่ายรวมกับแรงดันที่ตกคร่อม C_1 เป็น $2V_T$ ฉะนั้นที่จุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

a จึงมีค่า $0 - 2V_T$ เทียบกราวด์และ C_2 จะถูกอัดประจุจากแรงดันที่จุด a ในขณะที่เดียวกัน C_3 ก็จะเก็บประจุจากแรงดันของแหล่งจ่าย ที่จุด b จะมีแรงดันคงตัว $2V_T$ เทียบกราวด์

ช่วงไซเคลถัดไป แรงดันที่จุด b จะไปอัดประจุ C_3 ทำให้แรงดันที่ตกคร่อม C_3 มีค่าระหว่าง $2V_T - 4V_T$ เทียบกราวด์และแรงดันจากแหล่งจ่าย BC จะรวมกับแรงดันที่ตกคร่อม C_3 เป็น $2V_T$ เพื่อไปอัดประจุให้กับ C_2

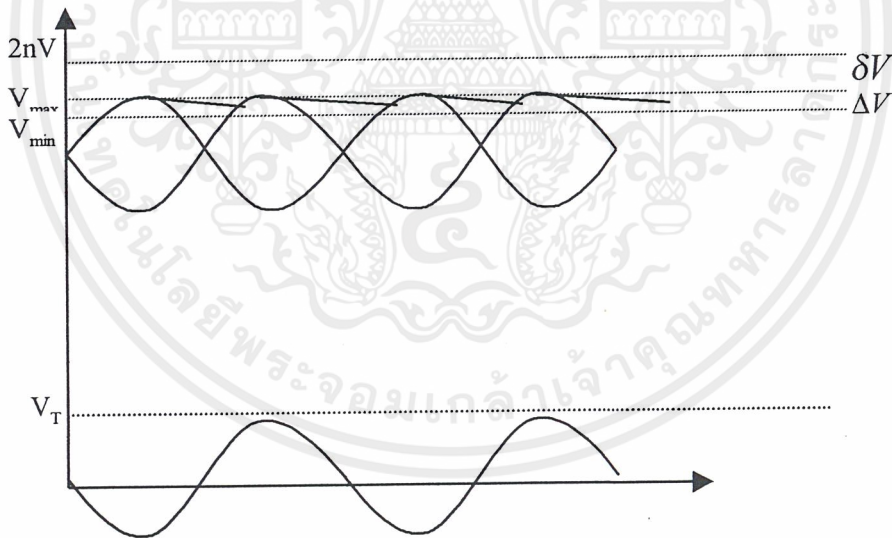
ช่วงไซเคลถัดไป แรงดันที่จุด d จะไปอัดประจุ C_4 ทำให้แรงดันที่จุด e มีค่าคงตัวเป็น $4V_T$ เทียบกราวด์ ในขณะที่เดียวกัน C_2 จะคายประจุให้กับ C_{11} ทำให้ที่จุด f มีค่าแรงดันระหว่าง $2V_T - 4V_T$ เทียบกราวด์

ขั้นที่ 3 และ 4 จะมีลักษณะคล้าย 2 ขั้นที่ผ่านมาเพราะฉะนั้นที่จุด h และ k จึงมีค่าแรงดันคงตัว $6V_T$ และ $8V_T$ ตามลำดับ

C ทุกตัวจะได้รับแรงดันอัดประจุ $2V_T$ ยกเว้น C_1 และ C_3 ได้รับ V_T จะได้

$$V_{o/p} = 2nV_T \quad (2.24)$$

เมื่อ n เป็นจำนวนขั้น



รูปที่ 2.6 รูปคลื่นแรงดันกระแสตรงที่ได้จากวงจรที่แรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นขณะจ่ายโหลด

แรงดันระลอก (δV)

โดย $Q = \frac{I_d}{2f}$ ที่เป็นเช่นนี้ เพราะความถี่เพิ่มเป็น 2 เท่าเนื่องจากเป็นการเรียงกระแส

แบบเต็มคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\delta V = \frac{I_d}{4fc} \quad (2.25)$$

ช่วงซาร์จ C_1, C_3, C_5, C_7 จะเก็บประจุ และ C_2, C_4, C_6, C_8 จะถูกอัดประจุจาก $C_9, C_{11}, C_{13}, C_{15}$ จากนั้น C_8 ก็จะจ่ายโหลด Q

$$\delta V = \frac{I_d}{4fC}$$

ช่วงดิสชาร์จ $C_9, C_{11}, C_{13}, C_{15}$ จะเก็บประจุ จาก C_2, C_4, C_6 และ แหล่งจ่ายไฟฟ้า C_1, C_3, C_5, C_7 จะคายประจุให้ C_2, C_4, C_6, C_8 แล้วประจุที่ C_8 เดิมจะจ่ายโหลด Q

แสดงว่า C_6 จะอัดประจุให้ C_{15} เท่ากับ Q ไชเกิด ต่อไป C_4 ที่อยู่ชั้นสองจะอัดประจุให้กับ C_5 เท่ากับ Q เหมือนกัน

จะสังเกตเห็นได้ว่า จะที่รอบก็ตามแต่ละชั้นจะจ่ายประจุแก่ Q เดียว

ถ้ามี n - stage

$$\delta V = \frac{I_d}{4f.c} (1+1+1+1+...+n) \quad (2.26)$$

$$\delta V = \frac{I_d}{4f.c} n \quad (2.27)$$

ส่วนสมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าแรงดันตกในวงจร คือ

$$\Delta V = \frac{I_d}{3f.c} n \left(\frac{n^2}{2} + 1 \right) \quad (2.28)$$

2.1.4 วงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันได (Voltage Multiplier With Cascade Transformer Circuit)

วงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันได ดังรูปประกอบด้วยการต่อแบบขั้นบันไดกันของหม้อแปลงด้านอินพุต 2 ชั้น โดยในหม้อแปลงแต่ละชั้นจะมีขดด้านทุติยภูมิ 2 ขด ซึ่งจะจ่ายไฟให้แก่วงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นที่ต่ออนุกรมกันอยู่ ดังนั้นวงจรในรูปจึงสร้างแรงดันได้ถึง 8 เท่าของแรงดันพีคหม้อแปลงด้านทุติยภูมิ การต่อขั้นบันไดทำโดยการผ่านหม้อแปลง 1:1 ในวงจรนี้มีแรงดัน

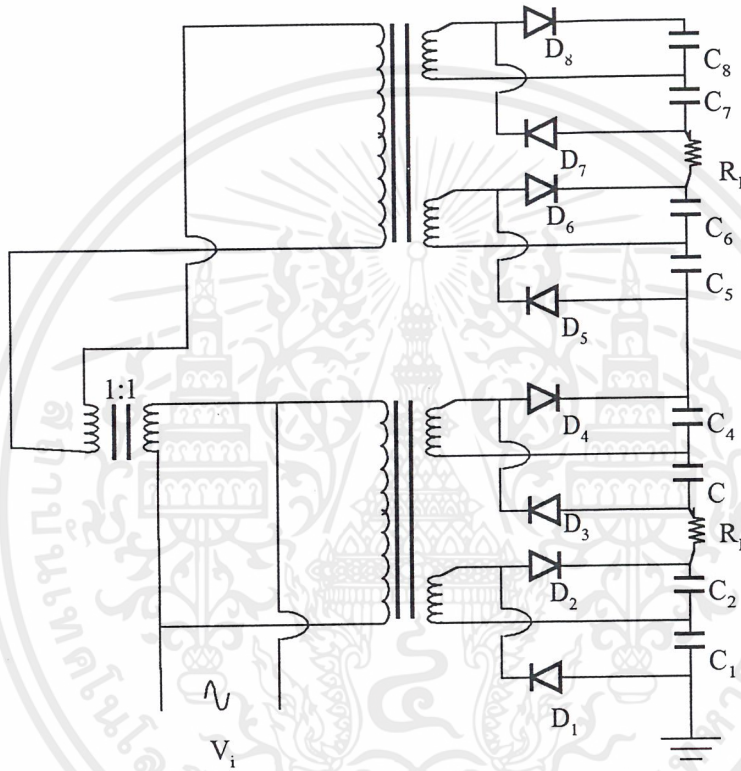
$$V_{\max} = 4nV_T \quad (2.29)$$

แรงดันระลอก

$$\delta V = \frac{I_d}{f.C} n \quad (2.30)$$

แรงดันตกคร่อม (Voltage Drop)

$$\Delta V = \frac{2I_a}{fC} n \quad (2.31)$$



รูปที่ 2.7 รูปวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันได

บทที่ 3

การออกแบบและการจำลอง

3.1 การออกแบบวงจรสร้างแรงดันสูงกระแสตรง

3.1.1 ข้อกำหนดในการออกแบบ

ข้อกำหนดในการออกแบบแบบจำลองการสร้างแรงดันสูงกระแสตรงเพื่อใช้ในการทดลอง หากคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ของวงจรการสร้างแรงดันสูงกระแสตรงแต่ละชนิดนั้น ได้มีการกำหนดข้อกำหนดดังนี้

- ขั้ว เป็นการสร้างแรงดันกระแสตรงขั้วบวก
- ค่าแรงดันกระแสตรงมีค่า 1 kV ขึ้นไป
- ค่าตัวประกอบแรงดันคลื่นระลอกไม่เกิน 5 % ตามกำหนดมาตรฐานของ IEC60-1 (1989)
- ค่าโหลดสูงสุดที่จ่ายเท่ากับ 20 mA
- ค่าแรงดันขดทุติยภูมิของหม้อแปลงเท่ากับ $85 V_{rms}$ หรือ $120 V_{peak}$
- จำนวนชั้นที่ออกแบบเท่ากับ 6 ชั้น
- ความถี่ไฟฟ้าเท่ากับ 50 Hz

3.1.2 การคำนวณหาค่าองค์ประกอบต่าง ๆ ในวงจร

วงจรทวีแรงดันเรียงกระแสครึ่งคลื่น

จากข้อกำหนดในการออกแบบเราสามารถคำนวณหาค่าองค์ประกอบต่าง ๆ ของวงจรได้ดังนี้

แรงดันกระแสตรงสูงสุด ($V_{dc \max}$)

$$\text{จาก } V_{dc \max} = 2nV_T$$

$$V_{dc \max} = 2 \cdot 6 \cdot 120$$

$$V_{dc \max} = 1440 \text{ V}$$

คำนวณหาค่า C ที่เหมาะสม

$$\text{จาก } n_{opt} = \sqrt{\frac{V_T f C}{I_d}}$$

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{120 \cdot 50 \cdot C}{20 \cdot 10^{-3}}}$$

$$C = 120 \text{ } \mu\text{F}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เนื่องจากข้อจำกัดในการหาซื้อในท้องตลาดซึ่งมีค่าตัวเก็บประจุและชนิดให้เลือกไม่มากนักจึงใช้ ค่าตัวเก็บประจุเท่ากับ 150 μF และจะใช้ค่านี้ในทุก ๆ วงจรเพื่อจะได้ทำการเปรียบเทียบกันได้อย่างสะดวก

คำนวณค่าแรงดันคลื่นระลอก

$$\text{จาก } \delta V = \frac{I_d}{4fC} n(n+1)$$

$$\delta V = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 50 \cdot 150 \cdot 10^{-6}} 6(6+1)$$

$$\delta V = 28 \text{ V}$$

คำนวณค่าแรงดันตก

$$\text{จาก } \Delta V = \frac{I_d}{fC} \left(\frac{2}{3} n^3 + \frac{1}{2} n^2 - \frac{1}{6} n \right)$$

$$\Delta V = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 150 \cdot 10^{-6}} \left(\frac{2}{3} \cdot 6^3 + \frac{1}{2} \cdot 6^2 - \frac{1}{6} \cdot 6 \right)$$

$$\Delta V = 429.33 \text{ V}$$

คำนวณค่าแรงดันกระแสตรงเฉลี่ย

$$\text{จาก } V_{dc} = 2nV_T - \Delta V - \delta V$$

$$V_{dc} = 1440 - 429.33 - 28$$

$$V_{dc} = 982.67$$

คำนวณค่าองค์ประกอบแรงดันระลอก

$$\text{จาก } ripple\ factor = \frac{\delta V_{rms}}{V_{dc}} \times 100$$

$$ripple\ factor = \frac{28/\sqrt{2}}{982.67} \times 100$$

$$ripple\ factor = 2.01 \%$$

วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น

ในวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นแบบหม้อแปลงเทปกลางเราจะใช้ตัวเก็บประจุค่าเดียวกับวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น สามารถคำนวณค่าองค์ประกอบต่าง ๆ ของวงจรได้ดังนี้

แรงดันกระแสตรงสูงสุด

$$\text{จาก } V_{dc\ max} = 2nV_T$$

$$V_{dc\ max} = 2 \cdot 6 \cdot 120$$

$$V_{dc\ max} = 1440 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณค่าแรงดันคลื่นระลอก

$$\begin{aligned} \text{จาก } \delta V &= \frac{I_d}{4fC} n \\ \delta V &= \frac{20 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 50 \cdot 150 \cdot 10^{-6}} \cdot 6 \\ \delta V &= 4 \text{ V} \end{aligned}$$

คำนวณค่าแรงดันตก

$$\begin{aligned} \text{จาก } \Delta V &= \frac{I_d}{3fC} n \left(\frac{n^2}{2} + 1 \right) \\ \Delta V &= \frac{20 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 50 \cdot 150 \cdot 10^{-6}} \cdot 6 \cdot \left(\frac{6^2}{2} + 1 \right) \\ \Delta V &= 101.33 \text{ V} \end{aligned}$$

คำนวณค่าแรงดันกระแสตรงเฉลี่ย

$$\begin{aligned} \text{จาก } V_{dc} &= 2nV_T - \Delta V - \delta V \\ V_{dc} &= 1440 - 101.33 - 4 \\ V_{dc} &= 1334.67 \text{ V} \end{aligned}$$

คำนวณค่าองค์ประกอบแรงดันระลอก

$$\begin{aligned} \text{จาก } \text{ripple factor} &= \frac{\delta V_{rms}}{V_{dc}} \times 100 \\ \text{ripple factor} &= \frac{4/\sqrt{2}}{1334.67} \times 100 \\ \text{ripple factor} &= 0.21 \% \end{aligned}$$

วงจรพหุคูณแรงดัน โดยใช้หม้อแปลงต่อชั้นบันได

วงจรพหุคูณแรงดัน โดยใช้หม้อแปลงต่อชั้นบันไดจะใช้ตัวเก็บประจุค่าเดียวกับ
วงจรอื่นเช่นเดียวกัน สามารถคำนวณค่าองค์ประกอบต่างๆ ของวงจรได้ดังนี้

แรงดันกระแสตรงสูงสุด

$$\begin{aligned} \text{จาก } V_{dc \text{ max}} &= 4nV_T \\ V_{dc \text{ max}} &= 4 \cdot 3 \cdot 120 \\ V_{dc \text{ max}} &= 1440 \text{ V} \end{aligned}$$

คำนวณค่าแรงดันคลื่นระลอก

$$\text{จาก } \delta V = \frac{I_d}{fC} n$$

$$\delta V = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 150 \cdot 10^{-6}} \cdot 6$$

$$\delta V = 16 \text{ V}$$

คำนวณค่าแรงดันตก

$$\text{จาก } \Delta V = \frac{2I_d}{fC} n$$

$$\Delta V = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 150 \cdot 10^{-6}}$$

$$\Delta V = 32 \text{ V}$$

คำนวณค่าแรงดันกระแสตรงเฉลี่ย

$$\text{จาก } V_{dc} = 2nV_T - \Delta V - \delta V$$

$$V_{dc} = 1440 - 32 - 16$$

$$V_{dc} = 1392 \text{ V}$$

คำนวณค่าองค์ประกอบแรงดันระลอก

$$\text{จาก } ripple\ factor = \frac{\delta V_{rms}}{V_{dc}} \times 100$$

$$ripple\ factor = \frac{16/\sqrt{2}}{1392} \times 100$$

$$ripple\ factor = 0.81 \%$$

3.1.3 การออกแบบหม้อแปลงที่ใช้ในวงจร

จากวงจรทั้ง 3 วงจรทำการออกแบบหม้อแปลงทั้งหมด 6 ตัว

วงจรทีวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น และวงจรทีวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นใช้หม้อแปลงร่วมกันได้ โดยเป็นหม้อแปลงชนิดเซ็นเตอร์แท็ปมีคุณสมบัติดังนี้

หม้อแปลงเซ็นเตอร์แท็ป 40/85/85

พิกัดกำลังสูงสุด 100 VA

พิกัดแรงดันปฐมภูมิ 40 V_{rms}

พิกัดแรงดันทุติยภูมิ 85 V_{rms}

ความถี่ไฟฟ้า 50 Hz

วงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดใช้หม้อแปลงทั้งหมด 5 ตัว

แบ่งเป็น 2 แบบคือหม้อแปลงแบบ 1 ขดปฐมภูมิกับ 2 ขดทุติยภูมิ และหม้อแปลง 1:1

หม้อแปลงแบบ 1 ขดปฐมภูมิกับ 2 ขดทุติยภูมิมีคุณสมบัติดังนี้

หม้อแปลง 40/85/85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิกัดกำลังสูงสุด	100	VA
พิกัดแรงดันปฐมภูมิ	40	V _{rms}
พิกัดแรงดันทุติยภูมิ	85	V _{rms}
ความถี่ไฟฟ้า	50	Hz
หม้อแปลง 1:1 มีคุณสมบัติดังนี้		
หม้อแปลง 1:1	40/40	
พิกัดกำลังสูงสุด	100	VA
พิกัดแรงดันปฐมภูมิ	40	V _{rms}
พิกัดแรงดันทุติยภูมิ	40	V _{rms}
ความถี่ไฟฟ้า	50	Hz

3.2 การจำลองและวิเคราะห์วงจรด้วยโปรแกรมพีเอสไปซ์(PSPICE)

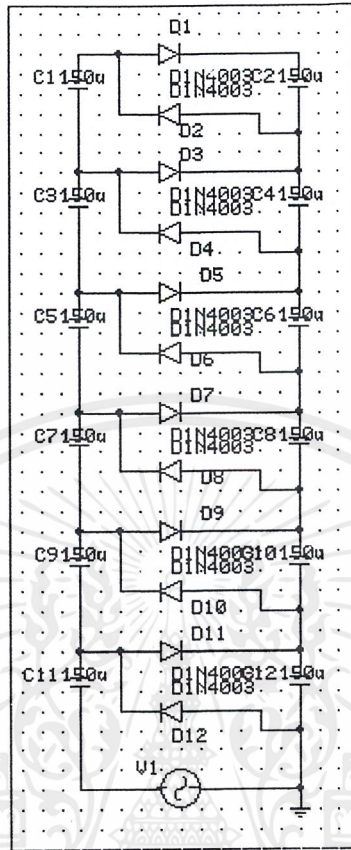
การวิเคราะห์วงจรทั้ง 3 ด้วยโปรแกรมพีเอสไปซ์ จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์และศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวงจรได้อย่างดี รวมทั้งยังสามารถทดสอบวงจรที่ออกแบบก่อนทำการลงมือสร้างจริงได้ โดยการวิเคราะห์กราฟที่ได้จากโปรแกรมตามข้อกำหนดดังนี้

แรงดันหม้อแปลง (V _T)	120	V _{peak}
กระแสสูงสุด (I _d)	30	mA
จำนวนชั้น (n)	6	ชั้น
ความถี่ไฟฟ้า (f)	50	Hz

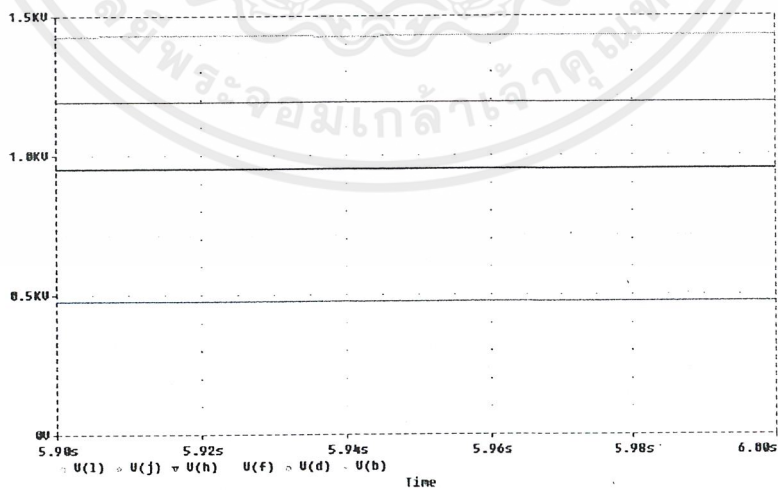
3.2.1 วงจรทวิแรงดันต่อชั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น

เขียนรูปวงจรทวิแรงดันต่อชั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นลงในโปรแกรมพีเอสไปซ์ ดังรูปที่ 3.1 ป้อนแรงดัน V1 เป็นสัญญาณกระแสสลับรูปคลื่นไซน์ที่มีค่าแอมพลิจูดเท่ากับ 100 V แล้วทำการจำลองวงจรด้วยโปรแกรมพีเอสไปซ์ จะได้กราฟออกมาขณะไม่ต่อโหลดดังรูปที่ 3.2 และขณะที่ต่อโหลดดังรูปที่ 3.3

ทำการจำลองวงจร โดยต่อโหลดค่าต่าง ๆ เพื่อสังเกตคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ของวงจรแล้วนำมาบันทึกผลที่ได้ดังตารางที่ 3.1

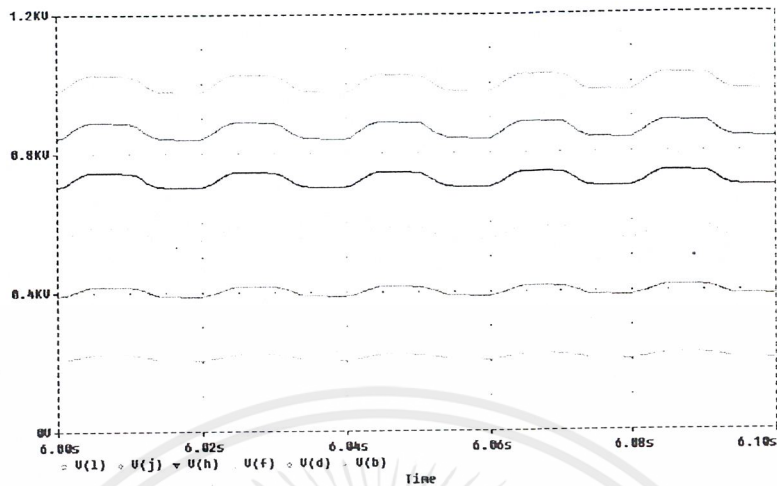


รูปที่ 3.1 รูปวงจรทวิแรงดันต่อขั้วบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นที่เขียนลงในโปรแกรม ฟิสไปซ์



รูปที่ 3.2 รูปกราฟจากการจำลองวงจรทวิแรงดันต่อขั้วบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นขณะไม่ต่อโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 รูปกราฟจากการจำลองวงจรทวิแรงดันต่อขั้วบับไดเรียมกระแสครึ่งคลื่นขณะต่อ โหลดความต้านทาน 50 k Ω

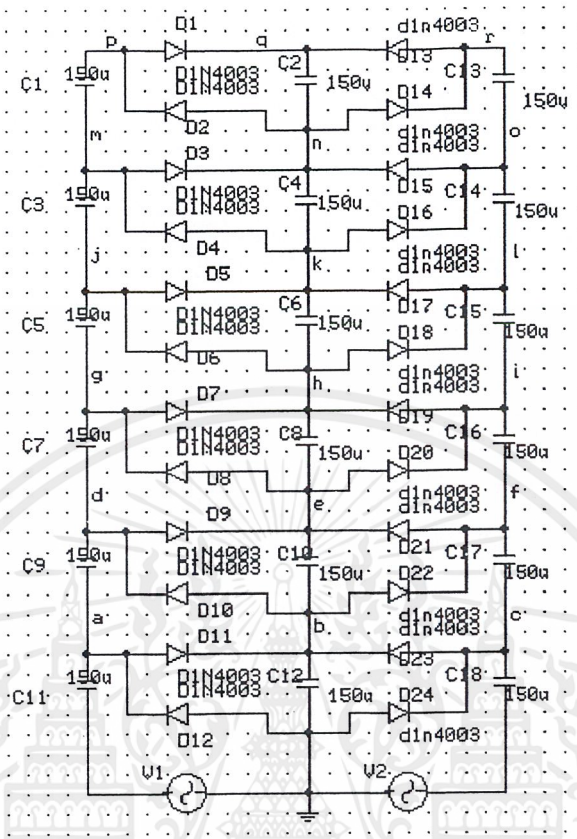
ตารางที่ 3.1 ผลการจำลองวงจรทวิแรงดันต่อขั้วบับไดเรียมกระแสครึ่งคลื่น

R Load (Ω)	V_{dc} (V)	I_d (mA)	δV (V)	Ripple Factor (%)	ΔV (V)	$\% \Delta V$ (%)
No Load	1430.00	0	0	0	0	0
150k	1251.60	8.34	11.5	0.65	178.40	12.48
100k	1178.25	11.78	15.85	0.95	251.75	17.60
50k	1001.95	20.04	25.943	1.83	428.04	29.93

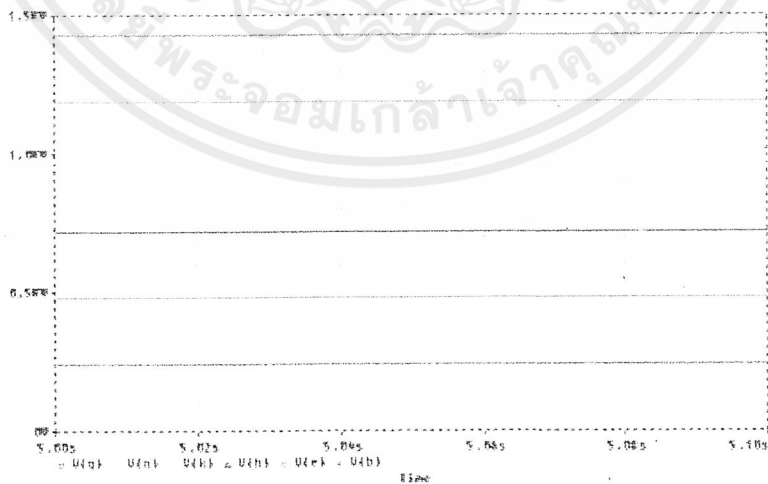
3.2.2 วงจรทวิแรงดันต่อขั้วบับไดเรียมกระแสเต็มคลื่น

เขียนรูปวงจรทวิแรงดันต่อขั้วบับไดเรียมกระแสเต็มคลื่นลงในโปรแกรมฟีสไปซ์ ดังรูปที่ 3.4 แทนหม้อแปลงเซินเตอร์แท็ปด้วยแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสองแหล่งจ่าย มีค่าแอมป์ลิจูดเท่ากับ 120 V ทำการจำลองวงจรด้วยโปรแกรมฟีสไปซ์ จะได้กราฟออกมาขณะไม่ต่อโหลดดังรูปที่ 3.5 และขณะต่อโหลดดังรูปที่ 3.6

ทำการจำลองวงจรโดยต่อโหลดค่าต่าง ๆ เพื่อสังเกตคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ของวงจรแล้วนำมาบันทึกผลที่ได้ดังตารางที่ 3.2

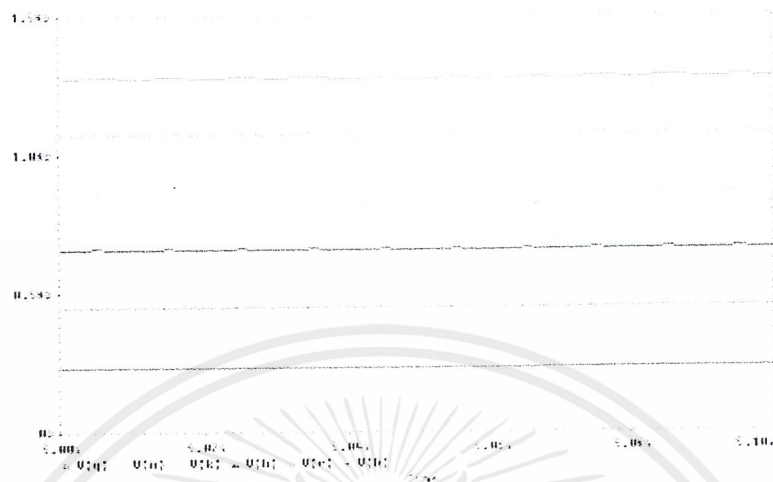


รูปที่ 3.4 รูปวงจรทวิแรงดันต่อขั้วบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นที่เขียนลงในโปรแกรม ฟีสไปซ์



รูปที่ 3.5 รูปกราฟจากการจำลองวงจรทวิแรงดันต่อขั้วบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นขณะไม่ต่อโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 รูปกราฟจากการจำลองวงจรทวีแรงดันต่อขึ้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นขณะต่อ โหลดความต้านทาน 50 k Ω

ตารางที่ 3.2 ผลการจำลองวงจรทวีแรงดันต่อขึ้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น

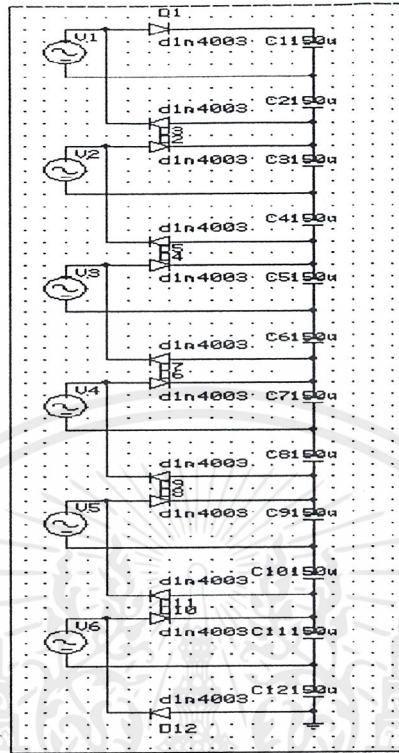
R Load (Ω)	V_{dc} (V)	I_d (mA)	ΔV (V)	Ripple Factor (%)	ΔV (V)	$\% \Delta V$ (%)
No Load	1433.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150k	1378.60	9.19	1.80	0.09	54.40	3.80
100k	1357.45	13.57	2.85	0.15	75.55	5.27
50k	1276.35	25.53	3.65	0.20	156.65	10.93

3.2.3 วงจรพหุคูณแรงดันโดยการใช้หม้อแปลงต่อขึ้นบันได

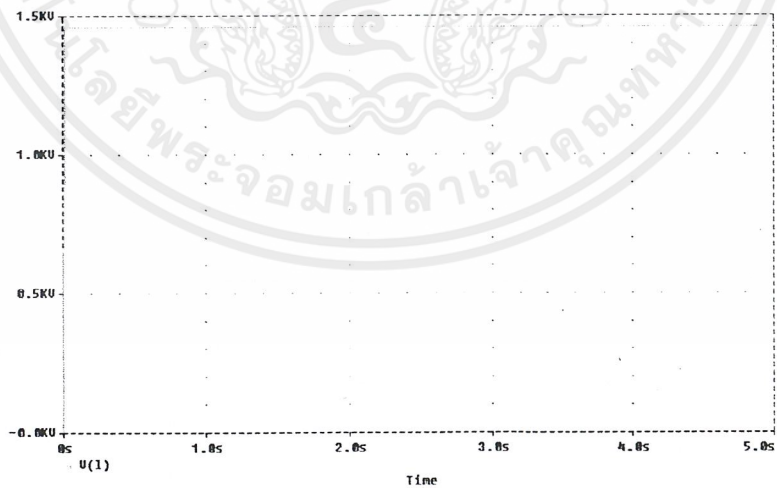
เขียนรูปวงจรพหุคูณแรงดันโดยการใช้หม้อแปลงต่อขึ้นบันไดลงในโปรแกรมพีเอสไปซ์ ดังรูปที่ 3.7 โดยแทนขดทุติยภูมิของหม้อแปลงแต่ละตัวด้วยแหล่งจ่ายแรงดันกระแสสลับที่มีค่าแอมป์ลิจูดเท่ากับ 120 V ทำการจำลองวงจรด้วยโปรแกรมพีเอสไปซ์ จะได้กราฟออกมาขณะไม่ต่อโหลดดังรูปที่ 3.8 และขณะต่อโหลดดังรูปที่ 3.9

ทำการจำลองวงจรโดยต่อโหลดค่าต่าง ๆ เพื่อสังเกตคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ของวงจรแล้วนำมาบันทึกผลที่ได้ดังตารางที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

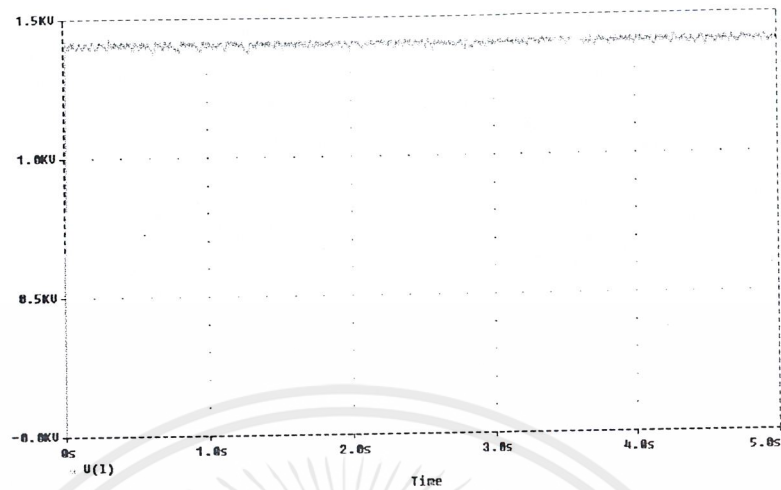


รูปที่ 3.7 รูปวงจรพหุคูณแรงดัน โดยใช้หม้อแปลงต่อขึ้นบันไดที่เขียนลงในโปรแกรม ฟิตไปซ์



รูปที่ 3.8 รูปกราฟจากการจำลองวงจรพหุคูณแรงดัน โดยใช้หม้อแปลงต่อขึ้นบันไดขณะ ไม่ต่อโหลด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 รูปกราฟจากการจำลองวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขึ้นบันได
ขณะต่อโหลดความต้านทาน 50 k Ω

ตารางที่ 3.3 ผลการจำลองวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขึ้นบันได

R Load (Ω)	V_{dc} (V)	I_d (mA)	δV (V)	Ripple Factor (%)	ΔV (V)	$\% \Delta V$ (%)
No Load	1440.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
150k	1427.13	9.51	6.34	0.31	12.87	0.89
100k	1423.14	14.23	11.94	0.59	16.86	1.20
50k	1402.76	28.06	18.86	0.95	37.24	2.59

จากผลการจำลองวงจรทั้ง 3 วงจรจะเห็นว่าทั้ง 3 วงจรเป็นไปตามข้อกำหนดการออกแบบข้างต้น ไม่ว่าจะเป็นแรงดันกระแสตรงที่มีค่าไม่ต่ำกว่า 1 kV , ค่าโวลต์ที่จ่ายสูงสุดไม่ต่ำกว่า 20 mA , ค่าตัวประกอบแรงดันระลอกที่ไม่เกิน 5 % จึงใช้การออกแบบนี้ไปสร้างวงจรจริง

3.2.4 วิธีการคำนวณค่าต่างๆในตาราง

การคำนวณค่าต่างๆในตารางนั้นคำนวณจากกราฟที่ได้จากการจำลองวงจรโดยใช้โปรแกรมพีสไปซ์ โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{แรงดันระลอก} \quad \delta V = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2} \quad (3.1)$$

$$\text{แรงดันกระแสตรงเฉลี่ย} \quad V_{dc} = V_{\max} - \delta V \quad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสตรงเฉลี่ย

$$I_d = \frac{V_{dc}}{R_L} \quad (3.3)$$

องค์ประกอบแรงดันระลอก

$$\text{ripple factor} = \frac{\delta V / \sqrt{2}}{V_{dc}} \times 100 \quad (3.4)$$

แรงดันตก

$$\Delta V = V_{no\ load} - V_{dc} \quad (3.5)$$

เปอร์เซ็นต์แรงดันตก

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{no\ load}} \times 100 \quad (3.6)$$



บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

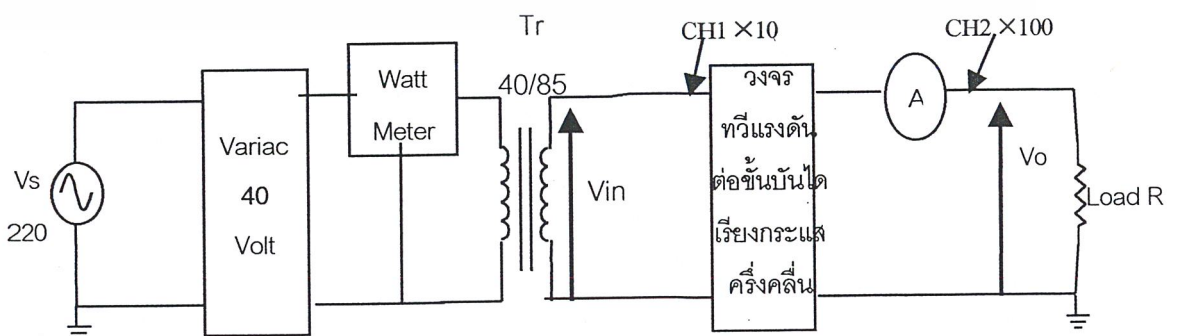
ทำการทดลองเพื่อหาคุณสมบัติพื้นฐานของวงจรสร้างแรงดันสูงกระแสตรงทั้ง 3 วงจรที่ทำการสร้างเสร็จแล้ว เพื่อศึกษาว่าเป็นไปตามทฤษฎีหรือไม่ และนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลอง และทำการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของแต่ละวงจร

การทดลองแบ่งเป็น 3 ตอนตามวงจรสร้างแรงดันสูงกระแสตรงทั้ง 3 วงจร

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

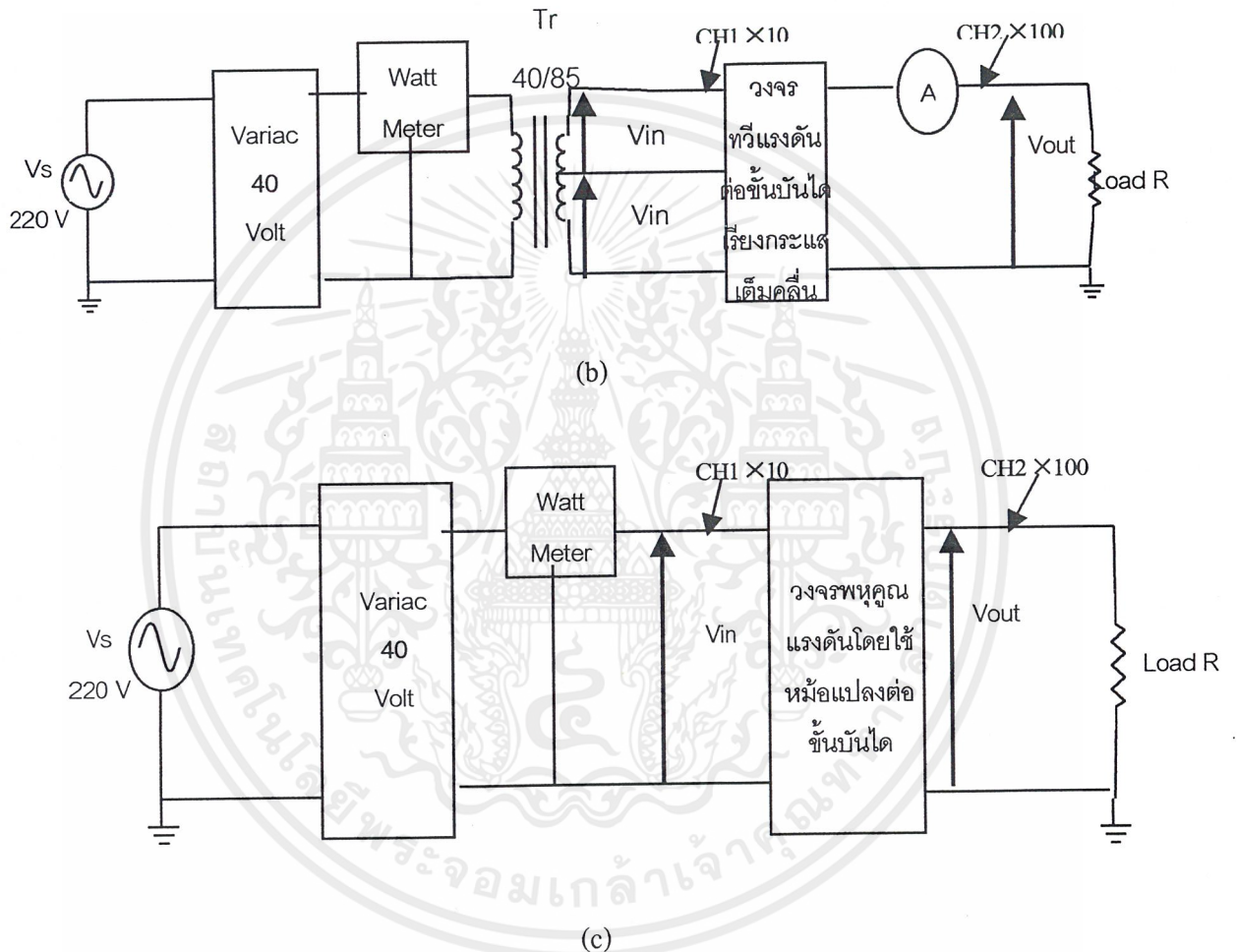
1. แบบจำลองการสร้างแรงดันสูงกระแสตรง	1	ชุด
2. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 1 เฟส (Variac)	1	เครื่อง
3. วัดคีมเตอร์	1	เครื่อง
4. แอมป์มิเตอร์	1	เครื่อง
5. สายโพรบ $\times 100$	1	เส้น
6. สายโพรบ $\times 10$	1	เส้น
7. ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope)	1	เครื่อง
8. สายไฟ	25	เส้น
9. มัลติมิเตอร์ (Multimeter)	1	เครื่อง
10. จังก์ชันบ็อกซ์ (Junction Box)	1	กล่อง

4.1.2 ขั้นตอนการทดลอง



(a)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 การต่อวงจรเพื่อทำการทดลองหาค่าคุณสมบัติพื้นฐานของวงจรการสร้างแรงดัน
สูงกระแสตรงทั้ง 3 วงจร

- วงจรทวิแรงดันต่อขึ้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น
- วงจรทวิแรงดันต่อขึ้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น
- วงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขึ้นบันได

4.1.2.1 วงจรทวิแรงดันต่อขึ้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ต่อดวงจรการทดลองตามรูปที่ 4.1 (a)
2. ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้ได้ค่า $40 V_{\text{rms}}$ จ่ายให้กับขดปฐมภูมิของหม้อแปลง
3. ทำการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตขณะไม่จ่ายโหลด
4. ทำการบันทึกรูปคลื่นที่ได้และบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.1
5. ทำการต่อโหลดความต้านทาน $50 \text{ k}\Omega$, $100 \text{ k}\Omega$ และ $150 \text{ k}\Omega$ ตามลำดับ
6. ทำซ้ำข้อ 3 และข้อ 4

4.1.2.2 วงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น

1. ต่อดวงจรการทดลองตามรูปที่ 4.1 (b)
2. ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้ได้ค่า $40 V_{\text{rms}}$ จ่ายให้กับขดปฐมภูมิของหม้อแปลงแท่งกลาง
3. ทำการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตขณะไม่จ่ายโหลด
4. ทำการบันทึกรูปคลื่นที่ได้และบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.2
5. ทำการต่อโหลดความต้านทาน $50 \text{ k}\Omega$, $100 \text{ k}\Omega$ และ $150 \text{ k}\Omega$ ตามลำดับ
6. ทำซ้ำข้อ 3 และข้อ 4

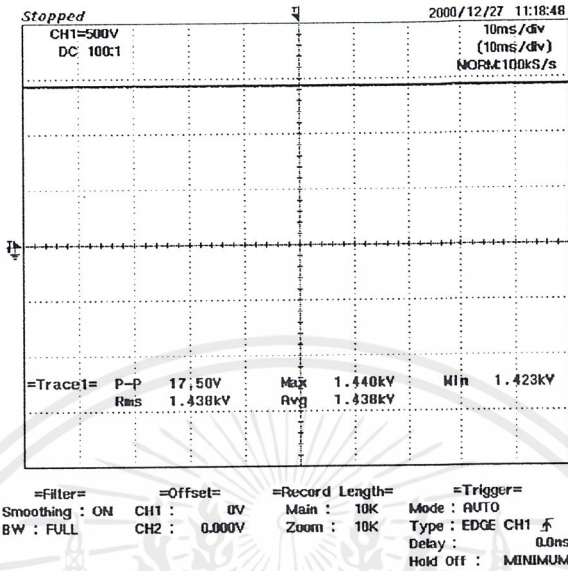
4.1.2.2 วงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันได

1. ต่อดวงจรการทดลองตามรูปที่ 4.1 (c)
2. ปรับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้ได้ค่า $40 V_{\text{rms}}$ จ่ายให้กับวงจรพหุคูณแรงดัน โดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันได
3. ทำการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตขณะไม่จ่ายโหลด
4. ทำการบันทึกรูปคลื่นที่ได้และบันทึกค่าลงในตารางที่ 4.3
5. ทำการต่อโหลดความต้านทาน $50 \text{ k}\Omega$, $100 \text{ k}\Omega$ และ $150 \text{ k}\Omega$ ตามลำดับ
6. ทำซ้ำข้อ 3 และข้อ 4

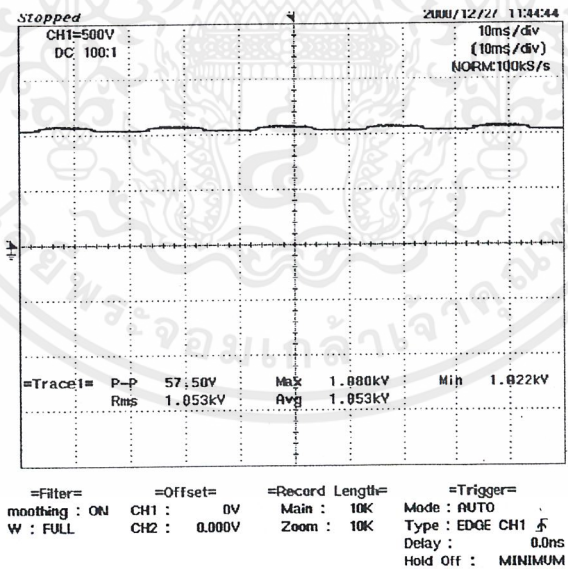
4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 วงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น

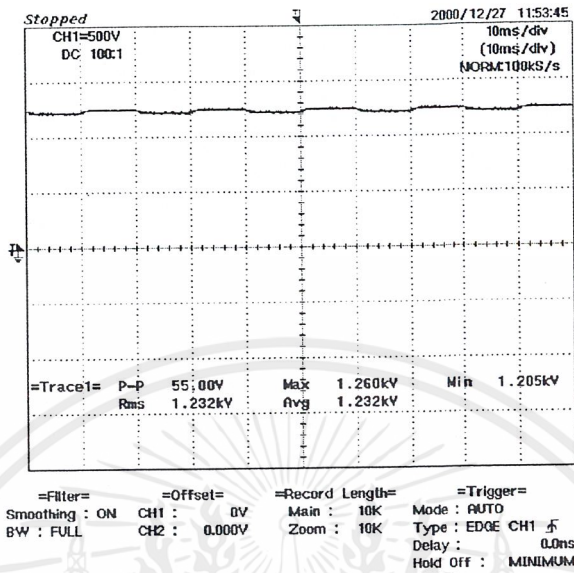
การทดลองหาคณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ของวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น ได้ผลการทดลองดังนี้



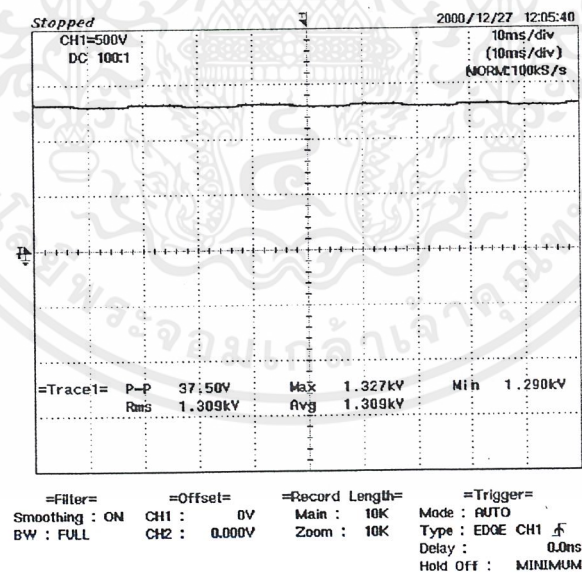
รูปที่ 4.2 แรงดันเอาต์พุตของวงจรทวิแรงดันต่อขึ้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นที่ทำการทดลองขณะไม่ต่อโหลด



รูปที่ 4.3 แรงดันเอาต์พุตของวงจรทวิแรงดันต่อขึ้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นที่ทำการทดลองขณะต่อโหลดความต้านทาน 50 kΩ



รูปที่ 4.4 แรงดันเอาต์พุตของวงจรที่แรงดันต่อชั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นที่ทำการทดลองขณะต่อโหลดความต้านทาน 100 k Ω



รูปที่ 4.5 แรงดันเอาต์พุตของวงจรที่แรงดันต่อชั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นที่ทำการทดลองขณะต่อโหลดความต้านทาน 150 k Ω

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น

R Load (Ω)	V_{dc} (V)	I_d (mA)	δV (V)	Ripple factor (%)	ΔV (V)	$\% \Delta V$ (%)	$\% \eta$ (%)
No Load	1438	0	0	0	0	0	0
150k	1309	8.5	18.75	1.01	129	8.97	60.1
100k	1232	12.5	27.50	1.58	206	14.33	70.0
50k	1053	21.2	28.75	1.93	385	26.77	74.4

V_{dc} คือ แรงดันกระแสตรงเอาท์พุทเฉลี่ย

I_d คือ กระแสตรงเฉลี่ย

δV คือ แรงดันระลอก

ripple factor คือ ตัวประกอบแรงดันระลอก

ΔV คือ แรงดันตก

$\% \Delta V$ คือ เปอร์เซนต์แรงดันตกหรือเปอร์เซนต์โวลเตจเร็กกูเลชัน

พิจารณารูปที่ 4.2 เป็นรูปคลื่นจากการทดลองวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นขณะไม่ต่อโหลด จะสังเกตเห็นได้ว่าแรงดันกระแสตรงเอาท์พุทขณะไม่ต่อโหลดนั้นจะเรียบและไม่มีแรงดันระลอกเลย เป็นไปตามทฤษฎีเนื่องจากแรงดันระลอกนั้นจะเกิดเนื่องจากการจ่ายโหลดของตัวเก็บประจุ

พิจารณารูปที่ 4.3 , 4.4 และ 4.5 เป็นรูปคลื่นจากการทดลองวงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นขณะต่อโหลด 50 k Ω , 100 k Ω และ 150 k Ω ตามลำดับ จะสังเกตเห็นได้ว่าแรงดันกระแสตรงเอาท์พุทขณะต่อโหลดจะเกิดแรงดันระลอกขึ้น โดยขณะต่อโหลดที่ 50 k Ω ซึ่งเป็นการจ่ายโหลดทำให้สูงสุดเกิดแรงดันระลอกสูงสุด และลดลงตามลำดับเมื่อจ่ายโหลดลดลง เนื่องมาจากการถ่ายเทประจุของตัวเก็บประจุน้อยลง

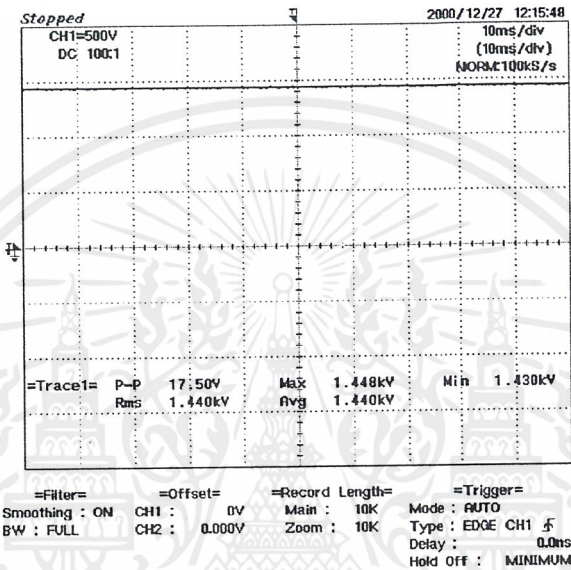
พิจารณาค่าต่าง ๆ ในตารางที่ 4.1 เมื่อเทียบกับการคำนวณและการจำลองวงจรด้วยโปรแกรมพีเอสไปซ์ค่าต่าง ๆ มีค่าใกล้เคียงกัน เช่น ค่าแรงดันกระแสตรงขณะไม่ต่อโหลดและต่อโหลดค่าต่าง ๆ ค่าตัวประกอบแรงดันระลอกจากการทดลองจริงมีค่าสูงกว่าจากการจำลองด้วยโปรแกรมพีเอสไปซ์ และค่าแรงดันตกจากการทดลองจริงมีค่าน้อยกว่าจากการจำลองด้วยโปรแกรมพีเอสไปซ์ แต่ค่าทั้งหมดถือว่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

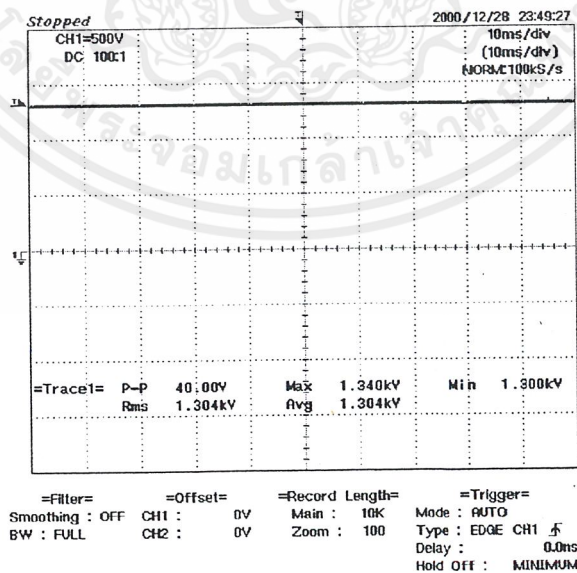
ค่าตัวประกอบแรงดันระลอกของวงจรเมื่อจ่ายโหลดแล้วมีค่าไม่เกิน 5% ตามข้อกำหนด และแรงดันกระแสตรงเฉลี่ยเมื่อจ่ายโหลดสูงสุดแล้วมีค่าไม่ต่ำกว่า 1 kV ตามที่ออกแบบไว้

4.2.2 วงจรทีวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น

การทดลองหาคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ของวงจรทีวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นนี้ได้ผลการทดลองดังนี้

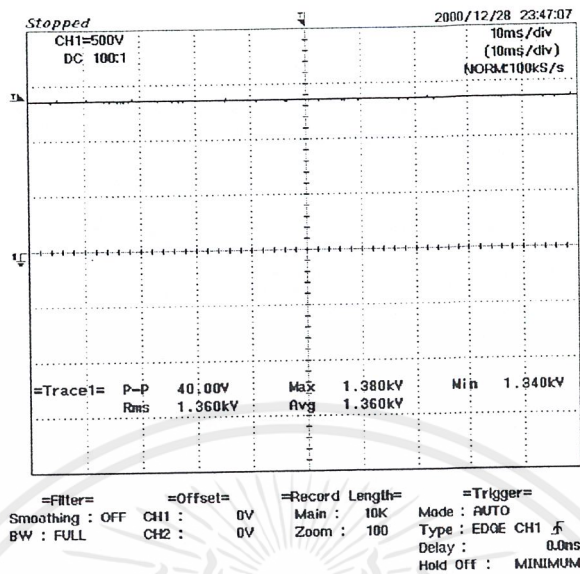


รูปที่ 4.6 แรงดันเอาต์พุตของวงจรทีวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ทำการทดลองขณะไม่ต่อโหลด

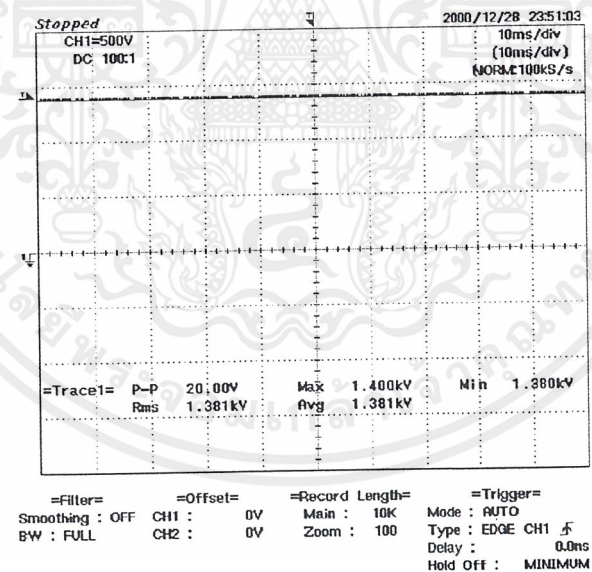


รูปที่ 4.7 แรงดันเอาต์พุตของวงจรทีวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ทำการทดลองขณะต่อโหลดความต้านทาน 50 kΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แรงดันเอาต์พุตของวงจรทวิแรงดันต่อขึ้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ทำการทดลองขณะต่อโหลดความต้านทาน 100 k Ω



รูปที่ 4.9 แรงดันเอาต์พุตของวงจรทวิแรงดันต่อขึ้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นที่ทำการทดลองขณะต่อโหลดความต้านทาน 150 k Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น

R Load (Ω)	V_{dc} (V)	I_d (mA)	δV (V)	Ripple factor (%)	ΔV (V)	$\% \Delta V$ (%)	$\% \eta$ (%)
No Load	1440	0	0	0	0	0	0
150k	1381	9.1	10.00	0.51	59	4.10	64.4
100k	1360	13.50	20.00	1.04	80	5.55	73.44
50k	1304	25.3	20.00	1.08	136	9.44	84.6

พิจารณารูปที่ 4.6 เป็นรูปผลการทดลองวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น ขณะไม่ต่อโหลด รูปคลื่นที่ได้เป็นรูปคลื่นเรียบเนื่องจากยังไม่ได้ต่อโหลด ค่าแรงดันกระแสตรง ขณะไม่ต่อโหลดสูงกว่าวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นเล็กน้อย เนื่องจากมีตัวเก็บประจุทำการเก็บพลังงานมากกว่า

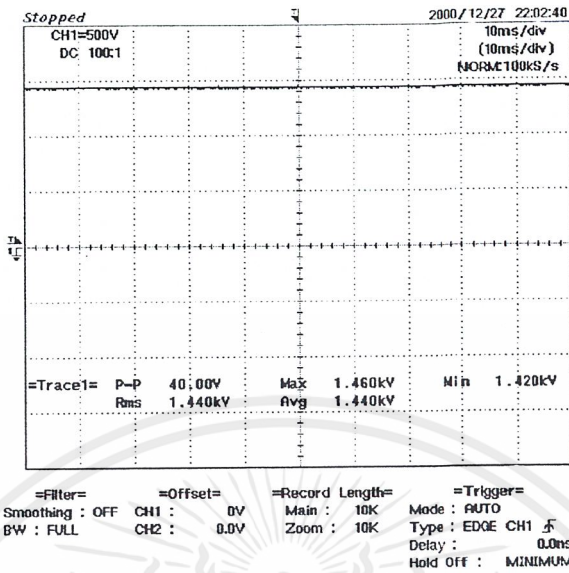
พิจารณารูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 เป็นรูปผลการทดลองวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นขณะต่อโหลด 50 k Ω , 100 k Ω และ 150 k Ω ตามลำดับ จะเห็นว่าเกิดแรงดันระลอกและแรงดันตกขึ้นเนื่องจากการจ่ายโหลด แต่เมื่อเทียบกับวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นแล้วจะพบว่าแรงดันระลอกมีค่าน้อยกว่ามาก เนื่องจากวงจรนี้ตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่พักประจุจะช่วยกันจ่ายโหลดและอัดประจุให้ตัวเก็บประจุรองกระแส สลับกันทุก ๆ ครึ่งไซเคิล ซึ่งวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นตัวเก็บประจุทำการจ่ายโหลดทุก ๆ ไซเคิล

พิจารณาตารางที่ 4.2 ค่าต่าง ๆ ในตารางได้จากรูปกราฟการทดลอง เมื่อเทียบกับการจำลองด้วยโปรแกรมพีเอสไปซ์ค่าต่าง ๆ ถือว่าใกล้เคียงกันมาก

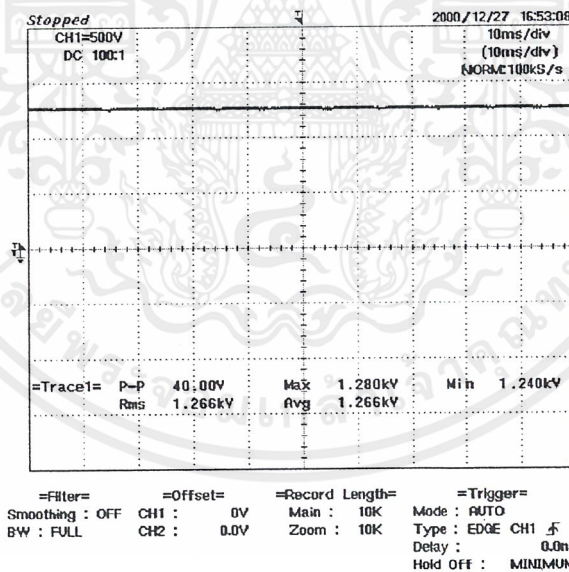
ค่าตัวประกอบแรงดันระลอกของวงจรเมื่อจ่ายโหลดแล้วมีค่าไม่เกิน 5 % ตามข้อกำหนด และแรงดันกระแสตรงเฉลี่ยเมื่อจ่ายโหลดสูงสุดแล้วมีค่าไม่ต่ำกว่า 1 kV ตามที่ออกแบบไว้

4.2.2 วงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันได

การทดลองหาคคุณสมบัติพื้นฐานต่าง ๆ ของวงจรพหุคูณแรงดัน โดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดได้ผลการทดลองดังนี้

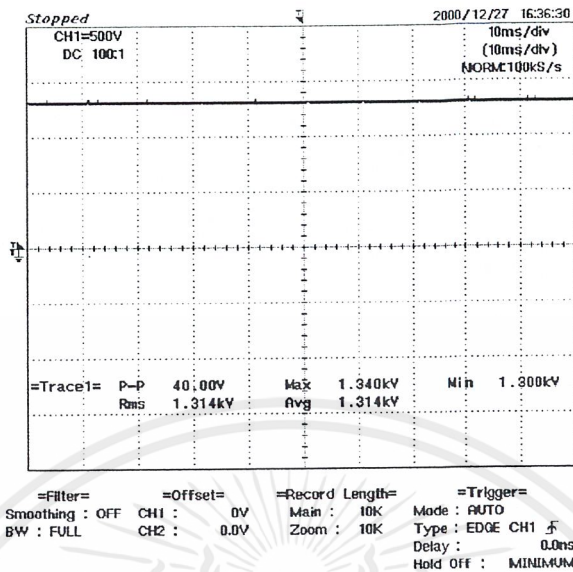


รูปที่ 4.10 แรงดันเอาต์พุตของวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดที่ทำการทดลองขณะไม่ต่อโหลด

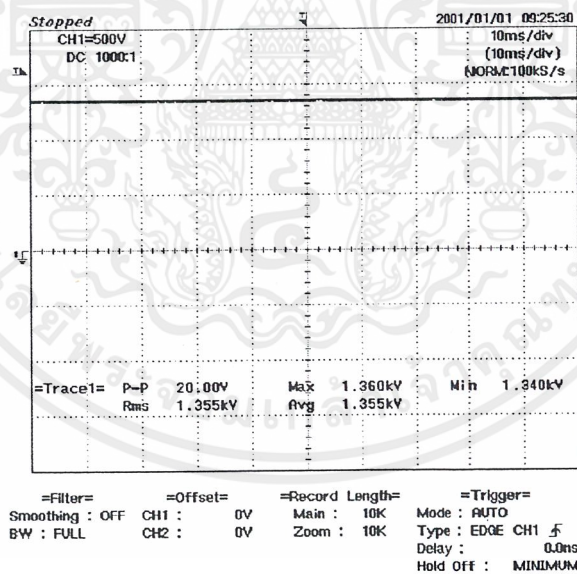


รูปที่ 4.11 แรงดันเอาต์พุตของวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดที่ทำการทดลองขณะต่อโหลดความต้านทาน 50 kΩ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แรงดันเอาต์พุตของวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขึ้นบันไดที่ทำการทดลองขณะต่อโหลดความต้านทาน $100\text{ k}\Omega$



รูปที่ 4.12 แรงดันเอาต์พุตของวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขึ้นบันไดที่ทำการทดลองขณะต่อโหลดความต้านทาน $150\text{ k}\Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อจันบันได

R Load (Ω)	V_{dc} (V)	I_d (mA)	δV (V)	Ripple factor (%)	ΔV (V)	$\% \Delta V$ (%)	$\% \eta$ (%)
No Load	1440	0	0	0	0	0	0
150k	1355	8.90	10	0.52	85	5.90	24.1
100k	1314	13.10	20	1.08	126	8.75	30.7
50k	1266	24.7	20	1.12	174	12.08	45.3

พิจารณารูปที่ 4.10 เป็นรูปผลการทดลองวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อจันบันไดขณะไม่ต่อโหลด รูปคลื่นที่ได้เป็นรูปคลื่นเรียบเนื่องจากยังไม่ได้ต่อโหลด ค่าแรงดันกระแสตรงขณะไม่ต่อโหลดสูงกว่าวงจรทวีแรงดันต่อจันบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นเล็กน้อย และเท่ากับวงจรทวีแรงดันต่อจันบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น แต่ที่ใช้ตัวเก็บประจุน้อยกว่าวงจรทวีแรงดันต่อจันบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น

พิจารณารูปที่ 4.11, 4.12 และ 4.13 เป็นรูปผลการทดลองวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อจันบันไดขณะต่อโหลด 50 k Ω , 100 k Ω และ 150 k Ω ตามลำดับ จะเห็นว่าเกิดแรงดันระลอกและแรงดันตกขึ้นเนื่องจากการจ่ายโหลด แรงดันระลอกมีค่าคงที่ไม่ว่าจะจ่ายโหลดเท่าไรเนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้าจะช่วยจ่ายโหลดและอัดประจุให้กับตัวเก็บประจุทุก ๆ ครึ่งไซเคิล แต่เมื่อเทียบกับวงจรทวีแรงดันต่อจันบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นแล้วจะพบว่าแรงดันระลอกมีค่าน้อยกว่ามาก แต่มีค่ามากกว่าวงจรทวีแรงดันต่อจันบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น

พิจารณาตารางที่ 4.3 ค่าต่าง ๆ ในตารางได้จากรูปกราฟการทดลอง เมื่อเทียบกับการจำลองด้วยโปรแกรมพีเอสไปซ์ค่าต่าง ๆ ถือว่าใกล้เคียงกันมาก

ค่าตัวประกอบแรงดันระลอกของวงจรเมื่อจ่ายโหลดแล้วมีค่าไม่เกิน 5 % ตามข้อกำหนด และแรงดันกระแสตรงเฉลี่ยเมื่อจ่ายโหลดสูงสุดแล้วมีค่าไม่ต่ำกว่า 1 kV ตามที่ออกแบบไว้

4.3 การคำนวณค่าต่าง ๆ ในตารางจากผลการทดลอง

การคำนวณหาค่าต่าง ๆ ในตารางใช้สูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{แรงดันระลอก} \quad \delta V = \frac{V_{p-p}}{2} \quad (4.1)$$

$$\text{แรงดันกระแสตรงเฉลี่ย} \quad V_{dc} = V_{avg} \quad (4.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบแรงดันระลอก

$$\text{ripple factor} = \frac{\delta V / \sqrt{2}}{V_{dc}} \times 100 \quad (4.3)$$

แรงดันตก

$$\Delta V = V_{no\ load} - V_{dc} \quad (4.4)$$

เปอร์เซ็นต์แรงดันตก

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{no\ load}} \times 100 \quad (4.5)$$

ตัวอย่างการคำนวณ

จะทำแสดงตัวอย่างการคำนวณของตารางที่ 4.1 ของวงจรทรีแรงดันต่อขั้วบันไดเรียง กระแสรีกิ้นต่อโหลดความต้าน 50 k Ω ดังรูปที่ 4.3 ค่าต่าง ๆ ในตารางทำการคำนวณหรือหาได้ดังนี้

$$V_{dc} = V_{avg}$$

$$V_{dc} = 1053 \text{ V}$$

อ่านค่า V_{avg} จากกราฟ

$$\delta V = \frac{V_{p-p}}{2}$$

$$\delta V = \frac{57.5}{2}$$

$$\delta V = 28.75 \text{ V}$$

อ่านค่า V_{p-p} จากกราฟ

$$\text{ripple factor} = \frac{\delta V / \sqrt{2}}{V_{dc}} \times 100$$

$$\text{ripple factor} = \frac{28.75 / \sqrt{2}}{1053} \times 100$$

$$\text{ripple factor} = 1.93 \%$$

$$\Delta V = V_{no\ load} - V_{dc}$$

$$\Delta V = 1438 - 1053$$

$$\Delta V = 385 \text{ V}$$

$$\% \Delta V = \frac{\Delta V}{V_{no\ load}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\% \Delta V = \frac{385}{1438} \times 100$$

$$\% \Delta V = 26.77 \%$$

และใช้วิธีการคำนวณหาค่าต่าง ๆ เหล่านี้กับทุก ๆ วงจรที่เหลือแล้วนำค่าที่ได้ใส่ในตาราง

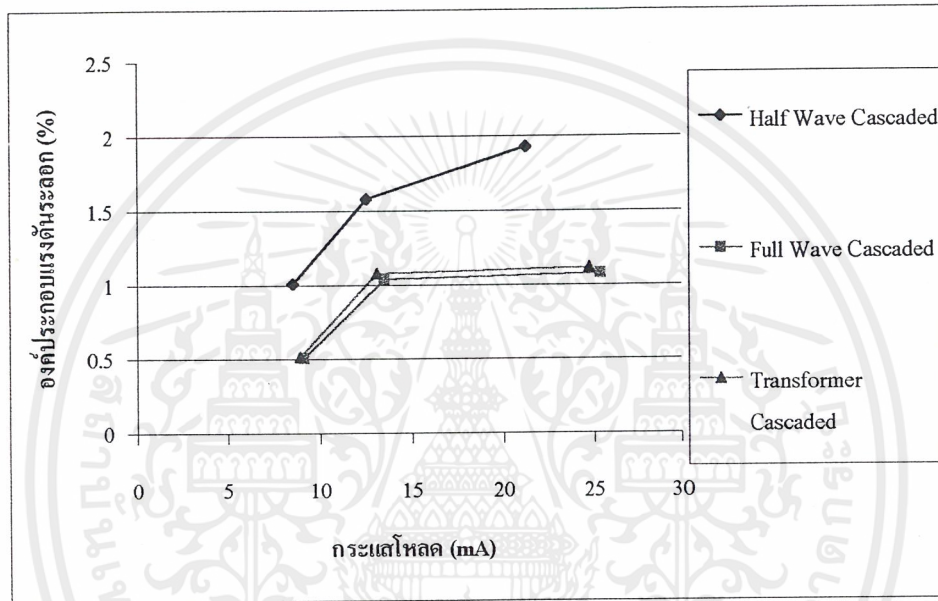


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

วิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 การเปรียบเทียบของค้ประกอบแรงดันระลอกขณะจ่ายโหลดค่าต่าง ๆ



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสโหลดกับตัวประกอบแรงดันระลอก

Half Wave Cascaded คือ วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น

Full Wave Cascaded คือ วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น

Transformer Cascaded คือ วงจรพหุคูณแรงดัน โดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันได

พิจารณาจากรูปที่ 5.1 เป็นผลการเปรียบเทียบค่าตัวประกอบแรงดันระลอกกับกระแส

โหลดของวงจรสร้างแรงดันสูงกระแสตรงทั้ง 3 แบบ โดยจะเห็นว่าตัวประกอบแรงดันระลอก

ของวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นจะมีค่าแปรตามกระแสโหลดอย่างมากสังเกต

ได้จากเส้นกราฟที่ชันที่สุด เนื่องจากวงจรนี้ตัวเก็บประจุจ่ายประจุให้โหลดนานถึง 1 ไซเคิลก่อน

ที่จะอัดประจุใหม่ ทำให้แรงดันอัดประจุของตัวเก็บประจุลดลงอย่างมากก่อนที่จะได้รับการอัด

ประจุอีกครั้งหนึ่ง ผิดกับอีกสองวงจรที่เหลือคือวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นค่า

ตัวประกอบแรงดันระลอกจะแปรผันตามกระแสโหลดน้อยกว่าวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียง

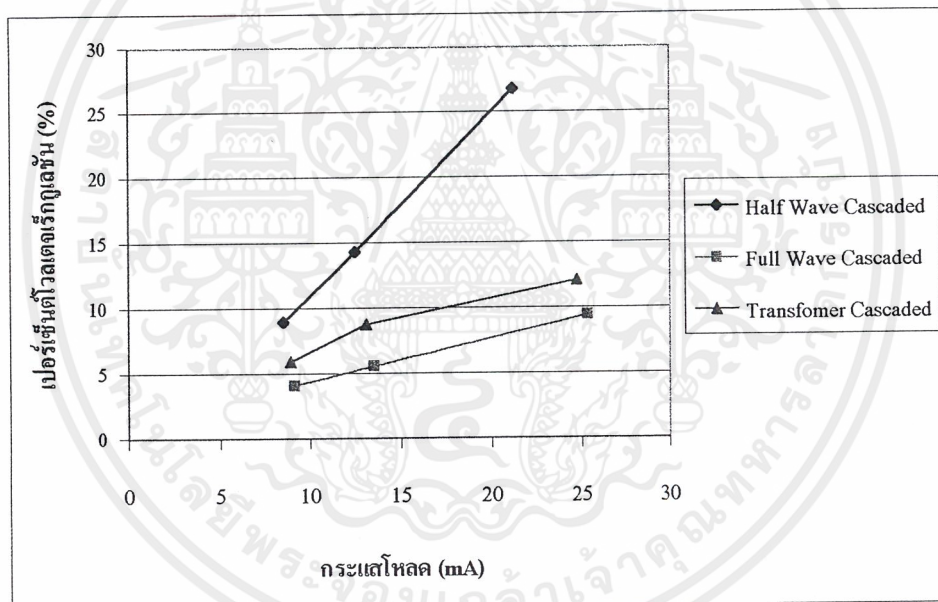
กระแสครึ่งคลื่นมากสังเกตจากเส้นกราฟที่ชันน้อยกว่ามาก และแทบไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง เพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวเก็บประจุจะจ่ายประจุให้โหลดนานเพียงหนึ่งไซเคิลเท่านั้น เนื่องจากจะมีตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่พักประจุทั้งสองด้านคอยสลับกันอัดประจุให้ทุก ๆ ครึ่งไซเคิล ส่วนวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขึ้นบันไดนั้นค่าตัวประกอบแรงดันระลอกแทบไม่เปลี่ยนแปลงเลยเมื่อเทียบกับกระแสโหลดที่จ่ายเนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้าที่ทำการต่อขึ้นบันไดกันนั้นทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้กับตัวเก็บประจุทำให้ไม่ต้องมีการสะสมประจุทีละชั้นเพื่อทำการยกระดับแรงดันขึ้น แต่เสมือนมีแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอัดประจุให้ตัวเก็บประจุในแต่ละชั้นเลย จึงทำให้ค่าตัวประกอบแรงดันระลอกมีค่าแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงเลยเมื่อเทียบกับกระแสโหลด

5.2 การเปรียบเทียบแรงดันตกเมื่อจ่ายโหลดค่าต่าง ๆ



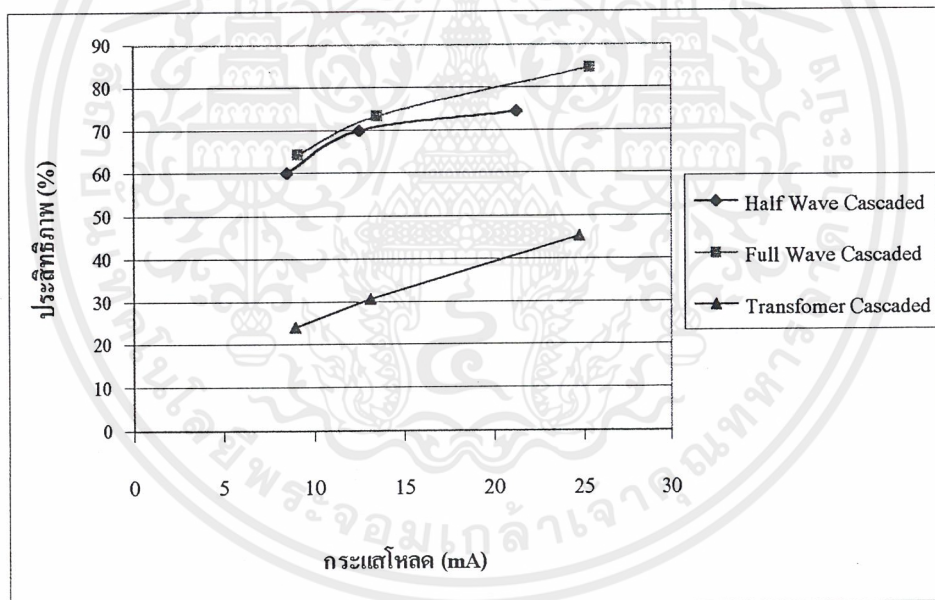
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสโหลดกับเปอร์เซ็นต์โวลเตจเรีกูเลชัน

พิจารณารูปที่ 5.2 สังเกตเห็นว่าขณะจ่ายโหลดวงจรทั้งสามจะเกิดแรงดันตกแปรผันตามขนาดของกระแสโหลดที่จ่าย วงจรทวีแรงดันต่อขึ้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นจะมีแรงดันตกแปรผันตามกระแสโหลดมากที่สุดสังเกตได้จากเส้นกราฟที่ชันที่สุด เนื่องจากเป็นวงจรที่มีแรงดันระลอกมากที่สุดขณะจ่ายโหลด ทำให้การอัดประจุขึ้นไปแต่ละชั้นนั้นมีการอัดประจุไม่เต็มความจุของตัวเก็บประจุยังมีจำนวนชั้นมากแรงดันตกก็จะมากตามไปด้วย วงจรทวีแรงดันต่อขึ้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นนั้นมีแรงดันตกน้อยกว่าวงจรทวีแรงดันต่อขึ้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเกตได้จากเส้นกราฟที่มีความชันน้อยกว่ามาก เนื่องมาจากการที่มีตัวเก็บประจุพักกระแสทั้งสองข้างคอยอัดประจุให้กับตัวเก็บประจุรองกระแสสลับกันทุกครั้ง ไซเคิลทำให้สามารถอัดประจุให้แต่ละชั้นได้มากกว่าวงจรแรกแรงดันตกจึงต่ำกว่ามาก สำหรับวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อชั้นบันไดมีแรงดันตกใกล้เคียงกับวงจรทวีแรงดันต่อชั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นมากและมีเส้นกราฟที่มีความชันในอัตราใกล้เคียงกัน วงจรนี้มีหม้อแปลงคอยจ่ายประจุอัดตัวอัดประจุสลับกันแต่ละตัวในแต่ละครั้ง ไซเคิลนอกจากนี้ยังช่วยจ่ายโหลดอีกด้วย ตัวเก็บประจุแต่ละตัวจึงรับภาระในการจ่ายโหลดแค่เพียงครั้ง ไซเคิลเท่านั้น นอกจากนี้แรงดันตกของวงจรนี้ยังขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและค่าเปอร์เซ็นต์โวลเตจเรกูเลชัน(%Voltage Regulation)ของหม้อแปลงอีกด้วย

5.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเมื่อจ่ายโหลดค่าต่าง ๆ



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสโหลดกับประสิทธิภาพ

พิจารณารูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าวงจรทวีแรงดันต่อชั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นมีประสิทธิภาพสูงสุด และค่าประสิทธิภาพจะสูงมากขึ้นเมื่อจ่ายโหลดสูงขึ้นใกล้เคียงกับค่าโหลดพิกัดที่ออกแบบไว้ วงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อชั้นบันไดมีประสิทธิภาพต่ำกว่าอีกสองวงจรมากเพราะพิกัดของวงจรนี้สามารถจ่ายโหลดได้มากกว่านี้ เนื่องจากเราใช้ตัวเก็บประจุขนาดเดียวกันกับอีกสองวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การศึกษาสมบัติรวมทั้งข้อดีข้อเสียของวงจรการสร้างแรงดันสูงกระแสตรง

วงจรพื้นฐานการสร้างแรงดันสูงกระแสตรงมักนิยมใช้เมื่อต้องการแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าแรงดันสูง ๆ โดยกระแสไหลคมีค่าต่ำ และค่านิ่งถึงค่าตัวประกอบแรงดันระลอกต้องมีค่าไม่มากเกินไปกว่า 5 % ตามมาตรฐาน IEC 60-1 (1989)

5.4.1 วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น

วงจรนี้ประกอบวงจรทวีแรงดันต่อกับวงจรเรียงกระแสครึ่งคลื่นนำมาต่อขั้นบันไดกัน วงจรนี้จะดึงพลังงานไปจ่ายให้โหลดเพียงครึ่งไซเคิลที่เป็นบวกเท่านั้น ส่วนครึ่งไซเคิลลบจะเป็นหน้าที่ของตัวเก็บประจุที่จะจ่ายพลังงานให้กับโหลด ทำให้แรงดันกระแสตรงเอาท์พุทที่ได้นั้นมีค่าองค์ประกอบแรงดันระลอกสูง ถ้าค่าตัวเก็บประจุไม่สูงพอจะทำให้ค่าองค์ประกอบแรงดันระลอกนั้นเกินค่ามาตรฐานที่กำหนดได้ วงจรนี้ส่วนใหญ่ใช้เป็นพื้นฐานในการสร้างแรงดันสูงกระแสตรงแบบต่าง ๆ

5.4.2 วงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น

วงจรนี้ประกอบด้วยวงจรทวีแรงดันต่อแบบเรียงกระแสเต็มคลื่นนำมาต่อขั้นบันไดกันร่วมกับหม้อแปลงแท็ปกลาง ซึ่งวงจรนี้ดึงพลังงานไปจ่ายให้แก่โหลดทั้งช่วงไซเคิลบวกและช่วงไซเคิลลบ ดังนั้นจึงจ่ายกระแสไปยังโหลดได้มากกว่าวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น วงจรนี้สามารถแก้ปัญหาของวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นได้ เช่นมีตัวเก็บประจุที่มีค่าไม่พอที่จะสร้างแรงดันสูงกระแสตรงให้มีค่าองค์ประกอบแรงดันระลอกไม่เกิน 5 % เราสามารถนำตัวเก็บประจุนั้นมาต่อแบบวงจรทวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่นได้ซึ่งจะใช้จำนวนตัวเก็บประจุมากกว่า วงจรนี้เหมาะสำหรับงานที่ต้องการแรงดันสูงกระแสตรงสูงๆ และจ่ายโหลดได้สูงโดยแรงดันตกและแรงดันระลอกน้อย

5.4.3 วงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันได

เนื่องจากปัญหาในการถ่ายเทประจุเพื่อสร้างแรงดันขึ้นแต่ละขั้นทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปในการถ่ายเทประจุแต่ละขั้นเนื่องจากความไม่เป็นอุดมคติของตัวเก็บประจุ จึงทำการแก้ปัญหาโดยสร้างแหล่งกำเนิดแรงดันจ่ายให้กับตัวเก็บประจุแต่ละขั้นเพื่อจะได้ไม่เกิดการสูญเสียเนื่องจากใช้ตัวเก็บประจุเป็นตัวส่งถ่ายพลังงาน โดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดกันเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแรงดันให้แต่ละขั้น ค่าองค์ประกอบแรงดันระลอกที่ได้จากวงจรแท็ปจะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อจ่ายโหลดค่าต่าง ๆ จากรูปที่ 5.1 เนื่องจากมีหม้อแปลงไฟฟ้าคอยช่วยจ่ายแรงดันอัดประจุให้กับตัวเก็บประจุและช่วยจ่ายโหลดไปในแต่ละครึ่งไซเคิล นอกจากนี้แรงดันตกยังมีค่าน้อยมากเนื่องจากเหตุผลเดียวกัน

บทที่ 6

บทสรุป

6.1 การสร้างแรงดันสูงกระแสตรง

การสร้างแรงดันสูงกระแสตรงโดยวิธีการเรียงกระแสในปัจจุบันเป็นวิธีที่สะดวกมาก เนื่องจากการพัฒนาไปอย่างมากของอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำต่าง ๆ ทำให้สามารถทนแรงดันย้อนกลับได้สูงมาก และถ้าอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำตัวเดียวไม่สามารถทนแรงดันย้อนกลับได้ เรายังสามารถนำอุปกรณ์นั้นมาต่ออนุกรมกันเพื่อให้สามารถทนแรงดันย้อนกลับได้มากขึ้นด้วย

วงจรวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น เป็นวงจรที่สร้างมาจากวงจรวีแรงดันนำมมาต่อขั้นบันไดกันและทำการเรียงกระแสด้วยวงจรวีเรียงกระแสทำให้ได้แรงดันกระแสตรงขึ้น วงจรนี้เป็นวงจรพื้นฐานที่สุดของวงจรวีสร้างแรงดันสูงกระแสตรง แรงดันกระแสตรงที่ได้จะมีค่าเป็นพหุคูณตามจำนวนขั้นที่ทำการต่อขั้นบันไดขึ้นไป แต่ว่าเมื่อนำวงจรนี้ไปจ่ายโหลดทำให้เกิดแรงดันระลอก และแรงดันตกขึ้นมาก ซึ่งเป็นข้อเสียอย่างมากของวงจรนี้

วงจรวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น เป็นวงจรที่พัฒนามาจากวงจรวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น โดยการนำมาเรียงกระแสเต็มคลื่น โดยใช้หม้อแปลงแทปกกลาง โดยที่ตัวเก็บประจุจะทำการจ่ายประจุให้แก่โหลดแค่ช่วงครึ่งไซเคิลเท่านั้นทำให้ค่าแรงดันระลอก และแรงดันตกของวงจรนี้น้อยกว่าวงจรวีแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่นมาก แต่ว่าต้องใช้อุปกรณ์และค่าใช้จ่ายสูงกว่าเดิมมาก

วงจรวีพหุคูณแรงดัน โดยการใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดเป็นวงจรวีสร้างแรงดันสูงกระแสตรงอีกแบบหนึ่งที่ออกแบบเพื่อแก้ปัญหาของวงจรวีสร้างแรงดันสูงกระแสตรง 2 แบบข้างต้น เนื่องจากการใช้วงจรวีแรงดันต่อขั้นบันไดกันนั้นจะใช้การถ่ายเทประจุของตัวเก็บประจุในแต่ละขั้นเพื่อสร้างแรงดันสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ วงจรวีพหุคูณแรงดัน โดยการใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดกันเพื่อเป็นแหล่งจ่ายแรงดันให้แก่ตัวเก็บประจุรองกระแสในแต่ละชั้น แทนการถ่ายเทประจุโดยใช้ตัวเก็บประจุ จึงแก้ปัญหาการลดลงของประจุในตัวเก็บประจุแต่ละตัว ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดแรงดันระลอกและแรงดันตกได้ แต่ปัญหาของวงจรนี้คือไม่สามารถสร้างให้มีชั้นได้สูงมากเนื่องจากข้อจำกัดของการฉนวนของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ต้องสูงขึ้น

6.2 ข้อเสนอแนะในการสร้าง

6.2.1 วงจรวีแรงดันต่อขั้นบันไดทั้งสองแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สำหรับวงจรทวิแรงดันต่อขั้วบันไดทั้งสองวงจรมัน ตัวเก็บประจุตัวล่างสุดสมควรจะมีค่าสูงที่สุด (ในกรณีที่ตัวเก็บประจุค่าต่าง ๆ ไม่เท่ากัน) เนื่องจากตัวเก็บประจุตัวล่างสุดจะทำการจ่ายประจุสูงสุดในแต่ละไซเคิล

2. ไดโอดในวงจรสามารถนำมาทำการอนุกรมกันเพื่อให้สามารถทนแรงดันย้อนกลับได้สูงตามต้องการ แต่จะเกิดแรงดันตกคร่อมไดโอดสูงตามไปด้วย

3. ตัวเก็บประจุในวงจรมันต้องเป็นตัวเก็บประจุชนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (ไม่มีขั้ว)

6.2.2 วงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้วบันได

1. วงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้วบันไดต้องระวังเรื่องเรีกูลชันของหม้อแปลง เพราะหม้อแปลงทำหน้าที่เสมือนแหล่งจ่ายแรงดันของแต่ละชั้น ดังนั้นถ้าเรีกูลชันไม่ดีทำให้หม้อแปลงเกิดแรงดันตกเนื่องจากการจ่ายโหลด ทำให้อัดประจุให้ตัวเก็บประจุแต่ละตัวไม่เต็มที่ทำให้แรงดันกระแสตรงเอาท์พุทที่ได้มีค่าไม่ตรงตามต้องการ

2. ถ้าทำการสร้างแรงดันสูงมาก ๆ ต้องระวังเรื่องการฉนวนของหม้อแปลง และชั้นที่มีแรงดันสูงขึ้นต้องยกระดับสูงกว่าชั้นแรกและสูงกว่าพื้น โดยกันด้วยฉนวนเนื่องจากป้องกันการที่แรงดันชั้นสูงกว่าจะรั่วลงดินทำให้แรงดันตกได้

3. ตัวต้านทาน R_1 ของวงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้วบันไดทำหน้าที่ในการจำกัดกระแสในกรณีที่เอาท์พุทเกิดการลัดวงจรลงดิน โดยจะทำหน้าที่ชะลอการถ่ายประจุของตัวเก็บประจุแต่ละตัวให้ช้าลงเพื่อให้เกิดการเสียหายน้อยลง ดังนั้น R_1 ทำหน้าที่เป็นโหลดเมื่อเกิดการลัดวงจรลงดินนั่นเอง

6.3 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของแต่ละวงจร

การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของแต่ละวงจรแสดงดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะสมบัติรวมทั้งข้อดีข้อเสียของวงจรการสร้างแรงดันสูงกระแสตรงทั้ง 3 วงจร

การเปรียบเทียบคุณลักษณะสมบัติของวงจร	วงจรที่ 1	วงจรที่ 2	วงจรที่ 3
แรงดันตกเมื่อจ่ายโหลด	สูง	ต่ำ	ต่ำ
ค่าองค์ประกอบแรงดันระลอก	สูง	ต่ำ	ต่ำ
จำนวนอุปกรณ์ที่ใช้	ต่ำ	สูง	ต่ำ
ราคา	ต่ำ	สูง	สูง
ประสิทธิภาพ	ปานกลาง	สูง	ต่ำ
ขนาดของวงจร	เล็ก	ปานกลาง	ใหญ่

วงจรที่ 1 คือ วงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสครึ่งคลื่น

วงจรที่ 2 คือ วงจรทวิแรงดันต่อขั้นบันไดเรียงกระแสเต็มคลื่น

วงจรที่ 3 คือ วงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันได

6.4 ปัญหาและแนวทางแก้ไขและพัฒนา

6.4.1 ปัญหา

ปัญหาที่พบในการทำโครงการนี้คืออุปกรณ์ไม่เพียงพอ ทำให้ต้องแบ่งเวลาการใช้ในแต่ละกลุ่มหรือขอยืมมาจากที่อื่นซึ่งทำให้เสียเวลาในการทดลองอย่างมาก

วงจรพหุคูณแรงดันโดยใช้หม้อแปลงต่อขั้นบันไดไม่เป็นไปตามทฤษฎีเนื่องจากมีเร็กกูเลชันจากหม้อแปลงและสายที่ทำการต่อวงจรสูง

6.4.2 แนวทางแก้ไขและพัฒนา

สามารถทำการเพิ่มความถี่ไฟฟ้าโดยอาจสร้างอินเวอร์เตอร์ที่ปรับความถี่ได้ เพื่อแสดงให้เห็นว่าค่าแรงดันระลอก และค่าแรงดันตกแปรผกผันกับความถี่

ภาคผนวก ก

การคำนวณออกแบบหม้อแปลง

หม้อแปลงแท่งกลางและหม้อแปลง 2 ขดทุติยภูมิ

พิกัดของหม้อแปลงต่าง ๆ คือ

กำลัง (VA)	100	VA
แรงดันปฐมภูมิ	40	V_{ms}
แรงดันทุติยภูมิ	85	V_{ms}
ความถี่ไฟฟ้า	50	Hz

ออกแบบหม้อแปลง โดยใช้แกนเหล็กธรรมดาตามท้องตลาดคำนวณดังนี้

- คำนวณพื้นที่หน้าตัดแกนเหล็ก

จาก
$$A = \frac{\sqrt{VA}}{5.58}$$

เมื่อ A คือพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

$$A = \frac{\sqrt{100}}{5.58}$$

$$A = 1.79 \text{ ตารางนิ้ว}$$

$$A = 1.33 \times 1.33 \text{ ตารางนิ้ว}$$

เลือกขนาดแกน 1.5×1.5 ตารางนิ้ว

- คำนวณจำนวนรอบดัดปฐมภูมิ

จาก
$$E = 4.44 f N B A$$

ใช้ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (B) = 1 Tesla

แทนค่า
$$40 = 4.44 \times 50 \times N_1 \times 1 \times 1.5 \times 1.5 \times 2.54^2 \times 10^{-4}$$

ได้
$$N_1 = 124 \text{ รอบ}$$

จาก
$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} \rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{40}{85}$$

ใช้ $N_1 = 120$, $N_2 = 213$ รอบ ที่ใช้ $N_1 = 120$ รอบ เพื่อให้จำนวนรอบของ
ขดทุติยภูมิเป็นจำนวนทศนิยม

- คำนวณขนาดของขดลวดทั้งสองด้าน

เลือกค่า $J = 2 \text{ A/mm}^2$

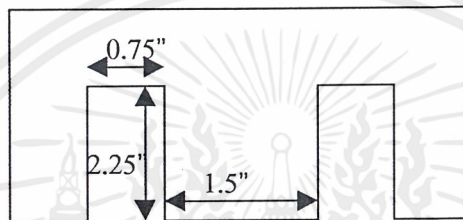
ขดปฐมภูมิในกระแส $\frac{100VA}{40V} = 2.5A$ ใช้ลวดขนาด $\frac{2.5}{2} = 1.25 \text{ mm}^2$

หลังจากนั้นนำตารางเลือกขดลวดมาเทียบ

เลือกลวดเบอร์ 17 S.W.G. เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.422 mm

ขดทุติยภูมิในกระแส $\frac{50VA}{85V} = 0.588 A$ ใช้ลวดขนาด $\frac{0.588}{2} = 0.294 \text{ mm}^2$

เลือกลวดเบอร์ 23 S.W.G. เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.61 mm



- คำนวณว่ามีเนื้อที่พันพอหรือไม่

หักบี๊อบบิ้นด้านละ 5 mm

1 นิ้ว = 25.4 มิลลิเมตร

แนวนอน = $(0.75 \times 25.4) - 5 = 14.05 \text{ mm}$

แนวตั้ง = $(2.25 \times 25.4) - 5 = 47.5 \text{ mm}$

ให้พันลวดเล็กไว้ด้านในก่อน(พันขดทุติยภูมิก่อน)

1 ชั้นพันได้ = $\frac{47.5}{0.61 \times 1.1} = 71$ รอบ

ด้านทุติยภูมิพันทั้งหมด 213 รอบ \therefore ต้องพัน = $\frac{213}{71} = 3$ ชั้น

3 ชั้น กินเนื้อที่แนวนอน = $0.61 \times 1.1 \times 3 = 2.013 \text{ mm}$

แต่ด้านทุติยภูมิมีสองขดใช้ $2.013 \times 2 = 4.026 \text{ mm}$

พันขดปฐมภูมิ

1 ชั้นพันได้ = $\frac{47.5}{1.422 \times 1.1} = 30$ รอบ

ด้านปฐมภูมิพันทั้งหมด 120 รอบ \therefore ต้องพัน = $\frac{120}{30} = 4$ ชั้น

4 ชั้น กินเนื้อที่แนวนอน = $1.422 \times 1.1 \times 4 = 6.26 \text{ mm}$

\therefore ใช้เนื้อที่แนวนอนทั้งหมด $6.26 + 4.026 = 10.286 \text{ mm}$ ใช้พอ

เลือกแกน 1.5" ขดปฐมภูมิใช้ลวดเบอร์ 17 S.W.G. ขดทุติยภูมิใช้เบอร์ 23 S.W.G.

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนไวสาหรัการเซ่งนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมืออนุญาตให้เนาไปเซบประโยชนดานการค้ำ
ไม่วากรณีใดๆ ทังสิ้น อีกรั้ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ที่มีการเนาไปใช้

หม้อแปลง 1:1

พิกัดของหม้อแปลงต่าง ๆ คือ

กำลัง (VA)	100	VA
แรงดันปฐมภูมิ	40	V_{rms}
แรงดันทุติยภูมิ	40	V_{rms}
ความถี่ไฟฟ้า	50	Hz

ออกแบบหม้อแปลง โดยใช้แกนเหล็กธรรมดาตามท้องตลาดจำนวนดังนี้

- จำนวนพื้นที่หน้าตัดแกนเหล็ก

จาก
$$A = \frac{\sqrt{VA}}{5.58}$$

เมื่อ A คือพื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก

$$A = \frac{\sqrt{100}}{5.58}$$

$$A = 1.79 \text{ ตารางนิ้ว}$$

$$A = 1.33 \times 1.33 \text{ ตารางนิ้ว}$$

เลือกขนาดแกน 1.5×1.5 ตารางนิ้ว

- จำนวนจำนวนรอบดัดปฐมภูมิ

จาก
$$E = 4.44 fNBA$$

ใช้ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (B) = 1 Tesla

แทนค่า
$$40 = 4.44 \times 50 \times N_1 \times 1 \times 1.5 \times 1.5 \times 2.54^2 \times 10^{-4}$$

ได้
$$N_1 = 124 \text{ รอบ}$$

จาก
$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{E_1}{E_2} \rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{40}{40}$$

ใช้ $N_1 = 120$, $N_2 = 120$ รอบ ที่ใช้ $N = 120$ รอบ เพื่อให้สอดคล้องกับ

หม้อแปลงแท้ปกลาง

- จำนวนขนาดของขดลวดทั้งสองด้าน

เลือกค่า $J = 2 \text{ A/mm}^2$

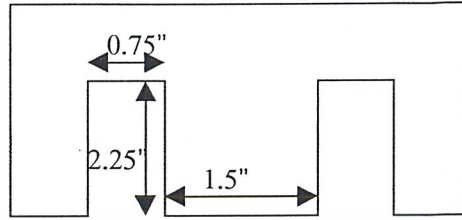
ขดปฐมภูมิกินกระแส $\frac{100VA}{40V} = 2.5A$ ใช้ลวดขนาด $\frac{2.5}{2} = 1.25 \text{ mm}^2$

หลังจากนั้นนำตารางเลือกขดลวดมาเทียบ

เลือกลวดเบอร์ 17 S.W.G. เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.422 mm

ขดทุติยภูมิก็เช่นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



- คำนวณว่ามีเนื้อที่พันพอหรือไม่

หักบ๊อบขึ้นด้านละ 5 mm

1 นิ้ว = 25.4 มิลลิเมตร

$$\text{แนวนอน} = (0.75 \times 25.4) - 5 = 14.05 \text{ mm}$$

$$\text{แนวตั้ง} = (2.25 \times 25.4) - 5 = 47.5 \text{ mm}$$

ให้พื้นด้านไหนก่อนก็ได้ (พื้นขดปฐุมภูมิก่อน)

$$1 \text{ ชั้นพันได้} = \frac{47.5}{1.422 \times 1.1} = 31 \text{ รอบ}$$

$$\text{ด้านปฐุมภูมิพันทั้งหมด 120 รอบ} \therefore \text{ต้องพัน} = \frac{120}{31} = 4 \text{ ชั้น}$$

$$4 \text{ ชั้น กินเนื้อที่แนวนอน} = 1.422 \times 1.1 \times 4 = 6.26 \text{ mm}$$

พื้นขดทุติยภูมิก็เช่นเดียวกัน

$$\therefore \text{ใช้เนื้อที่แนวนอนทั้งหมด} 6.26 + 6.26 = 12.52 \text{ mm ใช้พอ}$$

เลือกแกน 1.5" ขดทั้งสองใช้ลวดเบอร์ 17 S.W.G.

ภาคผนวก ข

ตัวเก็บประจุ

ตัวเก็บประจุไฟฟ้ามักถูกจำแนกตามชนิดของสารที่ใช้เป็นฉนวน ซึ่งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติและความเหมาะสมในการนำไปใช้งานต่าง ๆ กัน

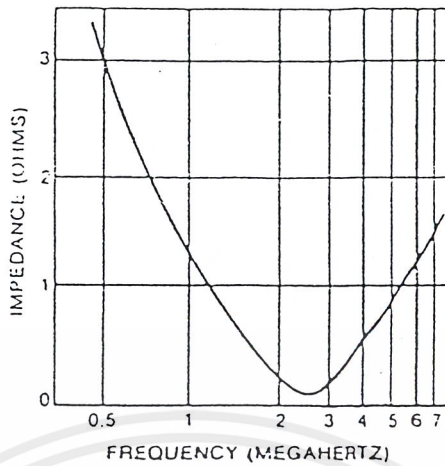
ตัวเก็บประจุในทางปฏิบัตินั้นจะมีความต้านทานและตัวเหนี่ยวนำร่วมด้วยอยู่เสมอ ตามรูป ข.1 อินดักแตนซ์ L เกิดจากโลหะตัวนำที่ขาของตัวเก็บประจุ R_2 เกิดจากการรั่วไหลแบบขนานและเป็นฟังก์ชันกับความต้านทานของฉนวน R_1 คือ เอฟเฟกต์พรีซีสแท็นซ์ (Effective Resistance) ของตัวเก็บประจุ และเป็นฟังก์ชันของแฟกเตอร์การสูญเสีย (Dissipation Factor) ของตัวเก็บประจุ



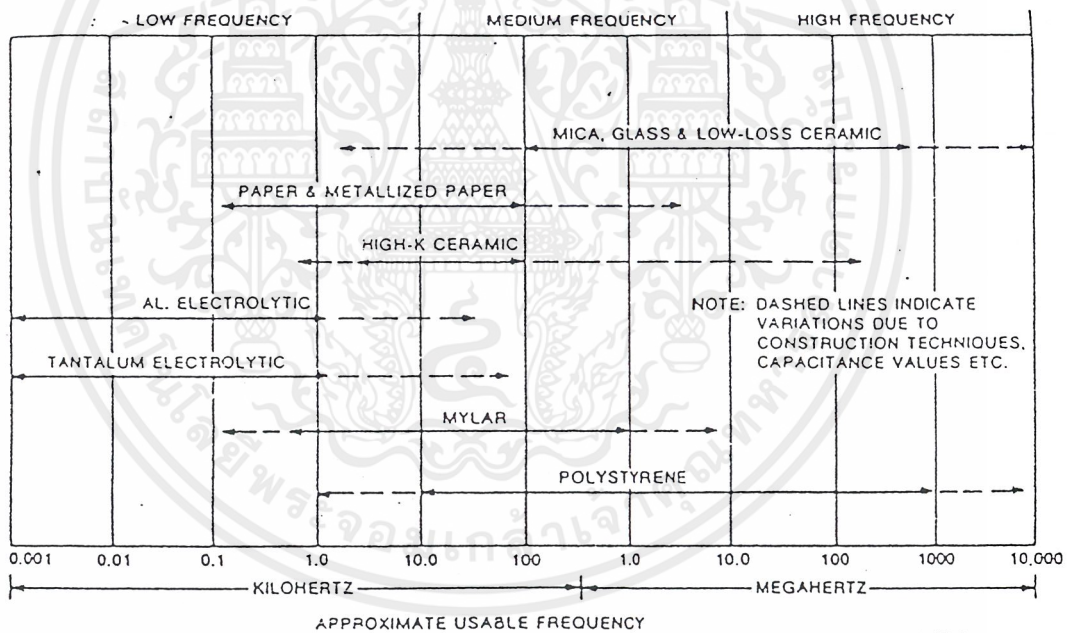
รูปที่ ข.1 วงจรสมมูลของตัวเก็บประจุในทางปฏิบัติ

ปกติเราจะถือความถี่ที่ใช้งานเป็นหลักในการเลือกชนิดของตัวเก็บประจุ โดยมากแล้วความถี่ที่ตัวเก็บประจุจะทำงานได้จะถูกจำกัดด้วยอินดักแตนซ์และความยาวของขาอุปกรณ์ ในบางความถี่ตัวเก็บประจุอาจเกิดเรโซแนนซ์ภายในกับอินดักแตนซ์ของตัวเอง และที่ความถี่สูงกว่าความถี่เรโซแนนซ์ อิมพีแดนซ์ของตัวเก็บประจุจะเพิ่มขึ้นตามความถี่ดังรูปที่ ข.2 แสดงอิมพีแดนซ์จริงของตัวเก็บประจุชนิดกระดาษ (Paper Capacitor) ขนาด 0.1 ไมโครฟารัด เทียบกับความถี่จะเห็นว่าความเรโซแนนซ์ภายใน (Self Resonance) จะมีค่าประมาณ 2.5 เมกกะเฮิรตซ์

รูปที่ ข.3 แสดงช่วงความถี่ที่ใช้งานของตัวเก็บประจุแต่ละชนิด ซึ่งความถี่ช่วงบน (ช่วงความถี่สูง) จะถูกจำกัดด้วยความถี่เรโซแนนซ์ภายในของตัวเก็บประจุ หรืออาจถูกจำกัดด้วยขนาดของแฟกเตอร์การสูญเสีย ซึ่งมีค่าสูงขึ้นตามความถี่ ส่วนขีดจำกัดล่างของความถี่ในการใช้งานจะถูกกำหนดค่าคาปาซิแตนซ์ C ขนาดสูงสุดที่สามารถผลิตได้



รูปที่ ข.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์กับความถี่ใช้งานของตัวเก็บประจุชนิดกระดาษ



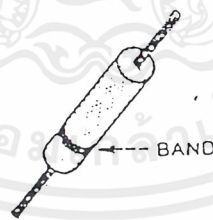
รูปที่ ข.3 แสดงช่วงความถี่ใช้งานของตัวเก็บประจุแต่ละชนิด

ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์ที่มีข้อดีที่ว่า สามารถนำคาปาซิแตนซ์ค่าสูงบรรจุภายในภาชนะเล็ก ๆ ได้ ทำให้อัตราส่วนของคาปาซิแตนซ์ต่อปริมาตรสำหรับตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลต์มีค่ามากกว่าตัวเก็บประจุชนิดอื่น ตัวเก็บประจุชนิดนี้มักถูกนำไปใช้งานในการฟิลเตอร์ บายพาส และคัปปลิงสัญญาณในวงจรที่มีความถี่ไม่เกิน 25 กิโลเฮิร์ต ข้อเสียหลักของตัวเก็บประจุชนิดนี้คือเป็นตัวเก็บประจุที่มีขั้ว และแรงดัน DC ที่ตกคร่อมขั้วทั้งสองนี้จะต้องไม่เกินค่าอัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทนแรงดัน (Rated Voltage) อย่างไรก็ตามเราสามารถสร้างตัวเก็บประจุแบบไม่มีขั้วจากตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลต์ได้ด้วยการต่อตัวเก็บประจุที่มีค่าเท่ากันแบบอนุกรม โดยให้ขั้วที่เหมือนกันอยู่ติดกัน ทำให้คาปาซิแตนซ์รวมลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของคาปาซิแตนซ์ในตัวเก็บประจุแต่ละตัว และมีแรงดันใช้งานเท่าเดิม ในการนำตัวเก็บประจุชนิดนี้ไปใช้กับงานวงจรไฟกระแสสลับ หรือวงจรไฟกระแสตรง ซึ่งมีการกระเพื่อมหรือแรงดันระลอก (Ripple Voltage) ไม่ควรให้แรงดันมีค่าสูงกว่าอัตราทนแรงดันกระเพื่อม (Rated Ripple Voltage) ซึ่งเราสามารถหาขนาดของแรงดันริปเปิลค่าสูงสุดได้ที่ความถี่ประมาณ 120 เฮิร์ต เมื่อตัวเก็บประจุนั้นทำงานเป็นฟิลเตอร์ในวงจรเร็คติไฟเออร์แบบเต็มคลื่น ส่วนตัวเก็บประจุแบบอิเล็กโทรไลต์ซึ่งทำจากแทนทาลัม จะมีความต้านทานน้อยกว่าแบบอลูมิเนียม และยังมีขนาดเล็กกว่าเมื่อวัดที่คาปาซิแตนซ์ค่าเดียวกัน ดังนั้นจึงทำงานได้ดีกว่า

ตัวเก็บประจุแบบกระดาษและแบบไมลาร์มีความต้านทานแบบอนุกรม R_1 น้อยกว่าชนิดอิเล็กโทรไลต์ แต่ทว่าอัตราส่วนของคาปาซิแตนซ์ต่อปริมาตรจะมีขนาดเล็กกว่า ตัวเก็บประจุชนิดนี้ถูกนำไปใช้ในการฟิลเตอร์ บายพาส คัปปลิง และกำจัดสัญญาณรบกวนในช่วงความถี่ไม่ถี่เมกกะเฮิร์ต ตัวเก็บประจุที่มีโครงสร้างลักษณะเป็นท่อ (Tubular) เช่นกระดาษ หรือไมลาร์นั้น มักจะมีแถบสีที่ปลายข้างหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ ข.4 ซึ่งปลายของขาคูรูปกรณี่ด้านนี้จะถูกต่อเข้ากับพอยต์ด้านนอกของตัวเก็บประจุ ขาของตัวเก็บประจูด้านนี้ควรถูกต่อลงกราวด์เพื่อลดการคัปปลิงของสนามไฟฟ้าผ่านตัวเก็บประจุนี้



รูปที่ ข.4 ตัวเก็บประจุที่มีโครงสร้างลักษณะเป็นท่อ

ตัวเก็บประจุชนิดไมก้าและชนิดเซรามิกมีความต้าน R_1 และอินดักแตนซ์ต่ำ จึงใช้ในช่วงความถี่สูงได้ถึง 500 เมกกะเฮิร์ต ยกเว้น ชนิดเซรามิกแบบ High K ซึ่งใช้ได้ในช่วงความถี่ปานกลาง แต่มีอัตราส่วนของคาปาซิแตนซ์ต่อปริมาตรสูงกว่าตัวเก็บประจุชนิดเซรามิกทั่วไป และมีข้อเสียตรงที่ไม่สามารถทนแรงดันทรานเซียนส์ได้ จึงไม่ควรนำมาใช้ในการบายพาส

ตัวเก็บประจุชนิดโพลีสไตรีน (Polystyrene) มีความต้านทานอนุกรมต่ำมาก และให้ค่าคาปาซิแตนซ์ค่อนข้างคงที่เทียบกับความถี่ที่เปลี่ยนไป ดังนั้นตัวเก็บประจุชนิดนี้จึงมีคุณสมบัติใกล้เคียงตัวเก็บประจุในอุดมคติมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามต้องระลึกไว้เสมอว่าไม่มีตัวเก็บประจุชนิดใดที่สามารถทำงานได้ในช่วงทุก ๆ ความถี่ ดังนั้น ในกรณีที่ต้องการกรองสัญญาณรบกวนที่มีความถี่กว้างมาก เราสามารถนำตัวเก็บประจุสองชนิดซึ่งคลุมช่วงเวลาความถี่ดังกล่าวมาต่อขนานกัน เช่นการต่อตัวเก็บประจุอิเล็กโทรไลต์ขนานกับชนิดไมก้าหรือเซรามิก เป็นต้น

ตาราง ข.1 แสดงผลของความยาวของขาตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก และคาปาซิแตนซ์ค่าต่าง ๆ ที่มีต่อความถี่เรโซแนนซ์ภายใน จะเห็นว่าที่ความถี่สูง ๆ ตัวเก็บประจุค่าน้อย ๆ จะใช้งานได้ดีกว่า เนื่องจากความถี่ที่จะเกิดเรโซแนนซ์ภายในขึ้นจะมีค่าสูง ความถี่เรโซแนนซ์ภายในนี้ยังสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการใช้ตัวเก็บประจุแบบฟิวดู

ตารางที่ ข.1 แสดงผลของความยาวของขาตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก และคาปาซิแตนซ์ค่าต่าง ๆ ที่มีต่อความถี่เรโซแนนซ์ภายใน

Capacitance Value (pf)	Self Resonance Frequency (MHz)	
	¼ inches Leads	½ inches Leads
10,000	12	-
1,000	35	32
500	70	65
100	150	120
50	220	200
10	500	350

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากหลายท่าน ขอบคุณ
อาจารย์ศิริวัฒน์ โปธิเวชกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการนี้ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็น
ประโยชน์ในการทำโครงการด้วยดีตลอด ขอบคุณเพื่อนในห้องทำโครงการทุก ๆ คนที่ช่วยเหลือ
ด้านอุปกรณ์และให้คำแนะนำ ขอบคุณรุ่นพี่ปริญญาโทสำหรับคำแนะนำที่ดีและอุปกรณ์เครื่องมือ
ที่ยืมมาให้ใช้

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดาที่ให้กำเนิด ให้กำลังใจ ให้เงินทุน จน
ทำให้ปริญญาบัตรนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คณะผู้จัดทำ



เอกสารอ้างอิง

- [1] ตำรวย สังกษ์สะอาด , “วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง” , คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , หน้าที่ 37-56 , พ.ศ. 2528
- [2] E.KUFFEL and M.ABDULLAH , High Voltage Engineering , Pergamon Press , INC. 1981
- [3] IEC Standard , Publication No. 60-1989 , High Voltage Test Technique



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้