



ชุดสร้างแรงดันสูงกระแสตรงด้วยวงจรทวีแรงดันแบบคอคครอฟท์ – วอลตัน

ชนิดเต็มคลื่น

DC HIGH VOLTAGE GENERATOR USING FULL – WAVE
COCKCROFT – WALTON VOLTAGE MULTIPLIER CIRCUIT



นายภราดร วิริยะสุนทร รหัส 55364169

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2560



ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงการ ชุดสร้างแรงดันสูงกระแสตรงด้วยวงจรถวีแรงดันแบบคอคครอฟท์ – วอลตัน
ชนิดเต็มคลื่น

ผู้ดำเนินโครงการ นายภราดร วีริยะสุนน รหัส 55364169

ที่ปรึกษาโครงการ ดร.สรารวุฒิ วัฒนวงค์พิทักษ์

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

ปีการศึกษา 2560

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ อนุมัติให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

.....ที่ปรึกษาโครงการ
(ดร.สรารวุฒิ วัฒนวงค์พิทักษ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มูจิตา สงฆ์จันทร์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยนัย ภาชนะพรรณณ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	ชุดสร้างแรงดันสูงกระแสตรงด้วยวงจรทบแรงดันแบบคอคครอฟท์ – วอลตัน ชนิดเต็มคลื่น
ผู้ดำเนินโครงการ	นายภราดร วิริยะสุนน รหัส 55364169
ที่ปรึกษาโครงการ	ดร.สรารุณี วัฒนวงศ์พิทักษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและจัดสร้างชุดทดลองวงจรทบแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น ซึ่งถูกพัฒนาจากวงจรทบแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดครึ่งคลื่น เพื่อใช้ในการเรียนรู้การสร้างแรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ภายในวงจรประกอบด้วยตัวเก็บประจุและไดโอดต่อร่วมกันเป็นวงจรแบบขั้นบันได โดยมีจำนวนขั้นที่เหมาะสมเพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 380 โวลต์ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยเท่ากับ 8.873 กิโลโวลต์ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับทฤษฎีและการจำลองเท่ากับ 1.14% และ 0.82% ส่วนแรงดันระลอกมีค่าเท่ากับ 160 โวลต์ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับทฤษฎีและการจำลองเท่ากับ 1.54% และ 1.56% นอกจากนี้ชุดทดลองยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูงกระแสตรงให้กับงานที่เกี่ยวข้อง

Project title DC High Voltage Generator Using Full - Wave Cockcroft – Walton
Voltage Multiplier Circuit

Name Mr. Paradorn Viriyasumon ID. 55364169

Project advisor Sarawut Wattanawongpitak, D.Eng.

Major Electrical Engineering

Department Electrical and Computer Engineering

Academic year 2017

Abstract

This project presents a design and construction of the full-wave voltage multiplier circuit which is developed from half-wave Cockcroft-Walton circuit for studying how to generate DC high voltage in high voltage laboratory. The circuit composes of capacitors and diodes with optimal number of stage which are combined as ladder network to generate DC high voltage from voltage $380 V_{AC}$ source. The results show that average output voltage is 8.873 kilovolt with error compared to principle and simulation 1.14% and 0.82%. The ripple voltage is 160 volt with error compared to principle and simulation 1.54% and 1.56%. Moreover, this project can be applied as DC high voltage source in related field.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินโครงการขอขอบคุณ ดร.สรารุณี วัฒนวงศ์พิทักษ์ อาจารย์ปรึกษาโครงการ ซึ่งเอาใจใส่ในรายละเอียดทุกขั้นตอนของการดำเนินโครงการ โดยให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งโครงการสำเร็จลุล่วง รวมถึงแนะนำหลักการเขียนปฏิญยานิพนธ์ และตรวจทานแก้ไขอย่างละเอียดจนได้ปฏิญยานิพนธ์เป็นรูปเล่มสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มุกิตา วงจันทร์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยนัย ภาชนะพรรณ ที่กรุณาให้เกียรติเป็นกรรมการสอบปฏิญยานิพนธ์ รวมถึงให้คำปรึกษาและตรวจสอบแก้ไขรายละเอียดปฏิญยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ ว่าที่ ร.ต. ธานี โกสุม (ครูช่างสาขาวิชาไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์) ที่อนุเคราะห์ให้ใช้สถานที่และอุปกรณ์ในการทำโครงการ ทำให้โครงการดำเนินไปได้จนสำเร็จ

ในท้ายที่สุดนี้ เหนือสิ่งอื่นใด ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา ซึ่งท่านได้ให้การสนับสนุนในทุกด้านเกี่ยวกับการศึกษาของผู้ดำเนินโครงการ รวมทั้งมอบความรัก ความเมตตา และคอยเป็นกำลังใจให้จนประสบความสำเร็จในวันนี้

ผู้ดำเนินโครงการ
นายภราดร วิริยะสุน

พฤษภาคม 2561

สารบัญ

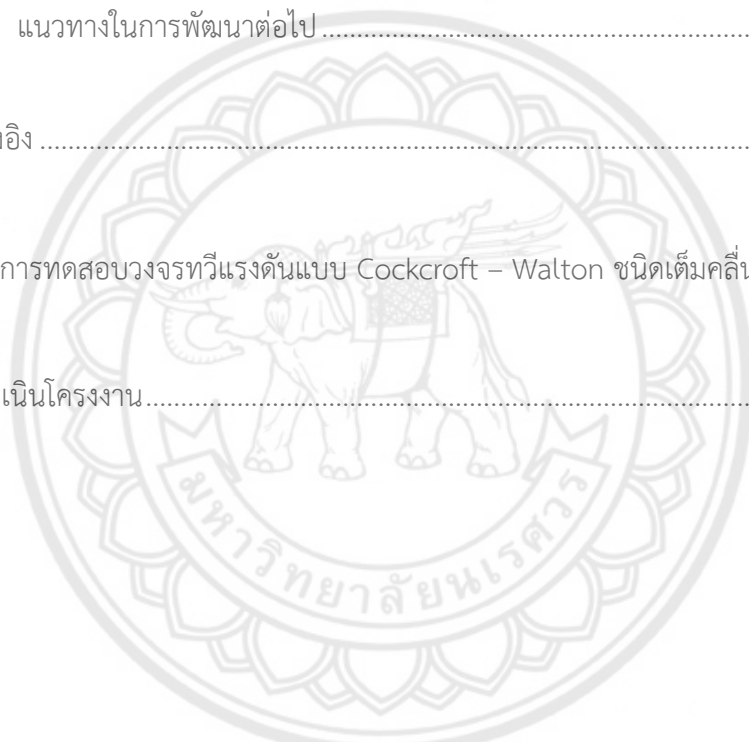
	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	2
1.6 งบประมาณของโครงการ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วงจรทวิแรงดันแบบ Cockcroft - Walton.....	4
2.1.1 วงจรทวิแรงดันชนิดครึ่งคลื่น.....	4
2.1.2 วงจรทวิแรงดันชนิดเต็มคลื่น.....	5
2.2 การคำนวณหาแรงดันตก.....	6
2.3 การคำนวณหาแรงดันระลอก.....	7
2.4 การหาจำนวนชั้นที่เหมาะสม.....	9
2.5 ตัวเก็บประจุ.....	10
2.5.1 ตัวเก็บประจุชนิดค่าคงที่.....	10
2.5.2 ตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้.....	11
2.6 ไดโอด.....	12
2.6.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด.....	12
2.6.2 รอยต่อ p-n.....	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.3 การไบอัส	13
2.6.4 คุณสมบัติ V-I ของรอยต่อ p-n.....	14
2.6.5 ไดโอดอุณหภูมิต่ำ	15
2.6.6 แบบจำลองไดโอดนทางปฏิบัติ	16
2.7 โพรบวัดแรงดันสูง.....	17
2.7.1 โพรบทางอุณหภูมิต่ำ.....	17
2.7.2 โพรบในการใช้งานจริง	17
2.7.3 โพรบแรงดันไฟฟ้าแรงสูง.....	18
2.8 การหาชั่วหม้อแปลงไฟฟ้า.....	19
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	21
3.1 การออกแบบวงจร.....	21
3.2 การเลือกตัวเก็บประจุ.....	26
3.3 การเลือกไดโอด	31
3.3.1 แรงดันย้อนกลับที่เกิดซ้ำ.....	31
3.3.2 ความถี่ของสัญญาณอินพุต	31
3.3.3 การไหลผ่านของกระแสไปข้างหน้าระยะเวลาสั้น	32
3.3.4 กระแสไหลไปข้างหน้า	32
3.3.5 แรงดันไฟฟ้าไปข้างหน้า.....	32
3.4 การออกแบบแรงดันเอาต์พุตกระแสตรง	33
3.5 การออกแบบจำนวนชั้นที่เหมาะสม	33
3.6 การออกแบบวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton จำนวน 10 ชั้น	36
3.7 การออกแบบโครงสร้างชุดวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton	37
3.8 การสร้างวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น	39
3.8.1 สร้างวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น	39
3.8.1 สร้างกล่องใส่วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น.....	39
บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล	41
4.1 ภาพรวมของวงจร.....	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 การทดสอบแรงดันเอาท์พุท.....	43
4.3 การทดสอบแรงดันระลอก	45
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	46
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	46
5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข.....	46
5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป	46
เอกสารอ้างอิง	47
ภาคผนวก การทดสอบวงจรทีวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น.....	48
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....	63



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 การเปรียบเทียบแรงดันเอาต์พุตสูงสุดและแรงดันระลอกของวงจรทวิแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ทั้ง 2 ชนิด	25
3.2 การเปรียบเทียบแรงดันเอาต์พุตสูงสุด และแรงดันระลอกของตัวเก็บประจุ 3 แบบ	31
3.3 การเปรียบเทียบกระแสที่ไหลผ่านโหลดของตัวเก็บประจุ 3 แบบ.....	35
4.1 แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตและร้อยละความคลาดเคลื่อนทางทฤษฎี การจำลอง และ การทดลองวัดจริง	44
4.2 แสดงค่าแรงดันระลอกและร้อยละความคลาดเคลื่อนทางทฤษฎี การจำลอง และ การทดลองวัดจริง	45



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การต่อวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดครึ่งคลื่น.....	4
2.2 วงจร Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น.....	5
2.3 วงจรทวีแรงดัน n เท่า.....	6
2.4 ตัวเก็บประจุชนิดฟิล์ม.....	11
2.5 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้.....	11
2.6 โครงสร้างอย่างง่ายและสัญลักษณ์ของไดโอด.....	12
2.7 ภาพแสดงการเกิดบริเวณปลอดพาหะ.....	13
2.8 การไบอัสตรงแก่รอยต่อ p-n.....	13
2.9 การไบอัสกลับแก่รอยต่อ p-n.....	14
2.10 กราฟคุณสมบัติแรงดัน กระแสของรอยต่อ p-n.....	14
2.11 (ก) วงจรไดโอดแบบไบอัสตรง (ข) วงจรไดโอดแบบไบอัสกลับ.....	15
2.12 (ก) การใช้สวิตช์ปิดวงจรแทนไดโอด (ข) การใช้สวิตช์เปิดวงจรแทนไดโอด.....	15
2.13 คุณสมบัติ V-I ของไดโอดอุดมคติ.....	16
2.14 แบบจำลองไดโอดในทางปฏิบัติอย่างง่าย.....	16
2.15 คุณสมบัติ V-I ของแบบจำลองอย่างง่ายของซิลิกอนไดโอด.....	16
2.16 วงจรภายในของโพรบซึ่งมีการกระจายตัวของค่าความต้านทาน ค่าความเหนี่ยวนำและ ค่าความจุ.....	18
2.17 โพรบแรงดันไฟฟ้าแรงสูง.....	18
2.18 การทดสอบหาชั่วหม้อแปลงไฟฟ้า.....	20
2.19 ทดสอบหาชั่วหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยไฟตรง.....	20
3.1 วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดครึ่งคลื่น.....	21
3.2 วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น.....	22
3.3 ออกแบบวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดครึ่งคลื่น.....	22
3.4 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดครึ่งคลื่น.....	23
3.5 ผลการวัดแรงดันระลอกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดครึ่งคลื่น.....	23
3.6 ออกแบบวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดเต็มคลื่น.....	24
3.7 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น.....	24
3.8 ผลการวัดแรงดันระลอกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น.....	25
3.9 วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดเต็มคลื่น (แบบที่ 1).....	26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น (แบบที่ 1).....	27
3.11 ผลการวัดแรงดันระลอกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น (แบบที่ 1).....	27
3.12 วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดเต็มคลื่น (แบบที่ 2).....	28
3.13 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น (แบบที่ 2).....	28
3.14 ผลการวัดแรงดันระลอกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น (แบบที่ 2).....	29
3.15 วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดเต็มคลื่น (แบบที่ 3).....	29
3.16 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น (แบบที่ 3).....	30
3.17 ผลการวัดแรงดันระลอกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น (แบบที่ 3).....	30
3.18 ผลการวัดกระแสที่ไหลผ่านโหลดของวงจรทวีแรงดัน (แบบที่ 1).....	33
3.19 ผลการวัดกระแสที่ไหลผ่านโหลดของวงจรทวีแรงดัน (แบบที่ 2).....	34
3.20 ผลการวัดกระแสที่ไหลผ่านโหลดของวงจรทวีแรงดัน (แบบที่ 3).....	34
3.21 วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft walton จำนวน 10 ชั้น.....	36
3.22 Top View 2D การออกแบบโครงสร้างวงจรทวีแรงดัน.....	37
3.23 TOP View 3D การออกแบบโครงสร้างวงจรทวีแรงดัน.....	37
3.24 Right View 3D การออกแบบโครงสร้างวงจรทวีแรงดัน.....	38
3.25 Left View 3D การออกแบบโครงสร้างวงจรทวีแรงดัน.....	38
3.26 วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น.....	39
3.27 กล้องใส่วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น.....	39
3.28 ชุดทดลองวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น.....	40
4.1 ภาพรวมการต่อวงจร.....	41
4.2 ไดอะแกรมการต่อวงจร.....	42
4.3 แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุด – ต่ำสุดค่าแรงดันเอาต์พุตเฉลี่ย และ แรงดันระลอกจากการทดลองวัดจริงในชั้นที่ 1.....	43

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากในปัจจุบันการเรียนการสอนจำเป็นต้องมีการเรียนภายในห้องเรียนและการทดลองจริง เพื่อให้เกิดความเข้าใจได้อย่างถูกต้อง ซึ่งภายในห้องปฏิบัติการคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขา วิศวกรรมไฟฟ้ายังขาดชุดทดลองทางด้านไฟฟ้าแรงสูง ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบวงจรและสร้างชุดทดลองวงจรทวิแรงดันไฟฟ้าแบบ Cockcroft - Walton ชนิดเต็มคลื่น โดยอาศัยวงจรพื้นฐานจาก วงจรทวิแรงดันไฟฟ้าแบบ Cockcroft – Walton ชนิดครึ่งคลื่น เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ดังนั้นโครงการนี้จึงได้สร้างชุดทดลองในการใช้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเพื่อศึกษาการสร้างแรงดันสูงกระแสตรงที่มีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าแรงสูง กระแสตรงให้กับงานที่เกี่ยวข้องได้ เช่น ระบบดักฝุ่นควัน ระบบคัดแยกเปลือกข้าว เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

สร้างวงจรทวิแรงดันแบบ Cockcroft-Walton จำนวน 10 ชั้น ที่สามารถทวิแรงดันได้ 9 กิโลโวลต์ เพื่อใช้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนภายในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 1) สร้างวงจรทวิแรงดัน Cockcroft-Walton จำนวน 10 ชั้น
- 2) สามารถทวิแรงดันได้ 9 กิโลโวลต์
- 3) ทำโครงสร้างให้สะดวกต่อการใช้งานและง่ายต่อการเคลื่อนย้าย

1.4 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงาน

รายละเอียด	พ.ศ. 2560						พ.ศ. 2561					
	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ย	ธ.ค	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	
1) ศึกษาหลักการทำงาน ของวงจรทรีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton และการทำงานของ โปรแกรม P spice												
2) สำรวจอุปกรณ์ในการ สร้างชุดทดลองที่มี จำหน่ายโดยทั่วไป												
3) สร้างชุดทดลอง วงจรทรีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดเต็มคลื่น												
4) ทดสอบและปรับปรุง ชิ้นงาน												
5) สรุปผลและจัดทำ รูปเล่ม ปริญญานิพนธ์												

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

ชุดทดลองวงจรทรีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่นสำหรับใช้ในการเรียนการสอนวิชาไฟฟ้าแรงสูงเพื่อเปรียบเทียบแรงดันตกและแรงดันระลอกของชุดทดลองในชั้นต่างๆ และสามารถนำไฟฟ้าแรงสูงที่ได้จากชุดทดลองไปประยุกต์ใช้ในงานไฟฟ้าแรงสูงที่เกี่ยวข้องได้

1.6 งบประมาณของโครงการ

1) บอร์ด PCB	540 บาท
2) สายไฟ และ ช่องเสียบสายไฟ	700 บาท
3) กล่องอะครีลิก	1700 บาท
4) ตัวเก็บประจุ และ ไดโอด	2300 บาท
5) ค่าถ่ายเอกสารและเข้าเล่มปริญญาบัตร	800 บาท
รวมเป็นเงินทั้งสิ้น (หกพันสี่สิบบาทถ้วน)	<u>6,040 บาท</u>

หมายเหตุ: ถัวเฉลี่ยทุกรายการ



บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

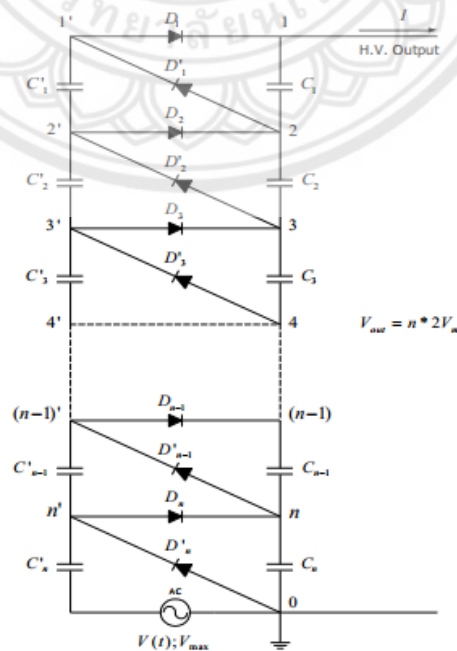
ในการศึกษาโครงการนี้เป็นารออกแบบวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ซึ่งได้ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton

ในปี พ.ศ.2475 นักฟิสิกส์ 2 ท่านคือ Cockcroft และ Walton ได้สร้างวงจรอีกแบบโดยอาศัยการต่อคาสเคดวงจรย่อยแบบทวีแรงดันโดยลักษณะของวงจรแสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งหม้อแปลงแรงสูงแทนด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน $V(t)$ วงจรนี้เรียกว่า n-stage Cockcroft-Walton ซึ่งให้แรงดันสูง $2n$ เท่าของขนาดสูงสุดของแรงดัน $V(t)$ โดยที่ n คือจำนวนชั้นของการต่อแบบคาสเคดของวงจรทวีแรงดัน ซึ่งวงจรทวีแรงดันกระแสดตรงแบบ Cockcroft Walton แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือวงจรทวีแรงดันชนิดครึ่งคลื่นและวงจรทวีแรงดันชนิดเต็มคลื่น

2.1.1 วงจรทวีแรงดันชนิดครึ่งคลื่น (Half - Wave Cockcroft - Walton)

ใช้หลักการของ n - stage Cockcroft-Walton แบ่งออกเป็น 2 สภาวะการทำงานคือการทำงานในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด



รูปที่ 2.1 การต่อวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดครึ่งคลื่น

1. การทำงานของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton สภาวะไม่มีโหลด

การทำงานของวงจรจะใช้วงจรเรียงกระแสแบบแรงดัน 2 เท่ามาต่ออนุกรมกัน n^{th} ชั้น โดยแต่ละชั้นประกอบด้วยไดโอด 2 ตัว ตัวเก็บประจุ 2 ตัว ตัวแรกทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพักประจุ ตัวที่ 2 ทำหน้าที่เป็นตัวกรองกระแส ส่วนตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่พักประจุได้แก่ C_1', C_2', C_3', C_4' และตัวเก็บประจุ C_1, C_2, C_3, C_4 ทำหน้าที่กรองกระแส ในส่วนของไดโอด D_1', D_2', D_3', D_4' จะนำกระแสในช่วงคลื่นบวก ส่วนไดโอด D_1, D_2, D_3, D_4 จะนำกระแสในช่วงคลื่นลบ วงจรจะสร้างแรงดันแต่ละครั้งจะสร้างแรงดันเอาท์พุทเป็น 2 เท่าของค่าแรงดันสูงสุด คือ $2V_{\text{max}}$

ข้อสังเกต

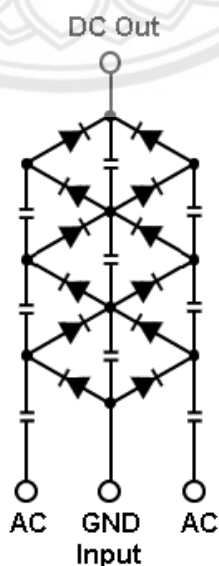
ตัวเก็บประจุและไดโอดแต่ละตัวจะต้องทนแรงดันได้ 2 เท่าของค่าแรงดันสูงสุด ยกเว้นตัวเก็บประจุตัวแรกเท่านั้นที่ทนแรงดันสูงสุดได้เพียง $1V_{\text{max}}$ เมื่อต้องการแรงดันสูงๆ จะต้องนำมาต่อเป็นขั้นบันไดหลายๆชั้น ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $2nV_{\text{max}}$ เมื่อ n คือจำนวนชั้น

2. การทำงานของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton สภาวะมีโหลด

ในสภาวะไม่มีโหลดวงจรขั้นบันไดของ Cockcroft Walton จะมีแรงดันเอาท์พุทเป็น 2 เท่าของค่าแรงดันสูงสุดที่ใส่เข้ามา คูณด้วยจำนวนชั้น แต่เมื่อมีโหลด จะมีแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุและไดโอด ทำให้แรงดันเอาท์พุทมีค่าน้อยกว่าตอนไม่ต่อโหลด

2.1.2 วงจรทวีแรงดันชนิดเต็มคลื่น (Full - Wave Cockcroft - Walton)

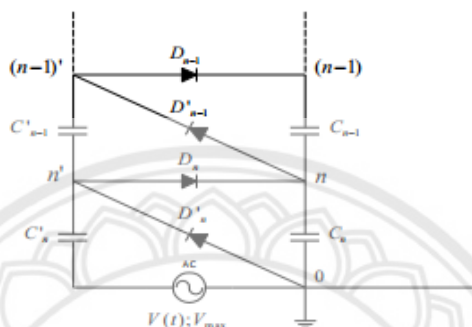
ในการประยุกต์ใช้งานวงจรทวีแรงดัน แบบ Cockcroft - Walton นั้นสามารถทำได้โดยเพิ่มการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้วงจรเป็น 2 ทาง ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจร Cockcroft Walton แบบเต็มคลื่น

วงจรทวีแรงดันชนิดเต็มคลื่นมีหลักการทำงานเหมือนวงจรทวีแรงดันชนิดครึ่งคลื่น โดยวิธีนี้จะทำให้ตัวเก็บประจุเกิดการชาร์จเป็น 2 เท่าในหนึ่งรอบ ส่งผลให้แรงดันระลอกมีการกระเพื่อมลดลง และแรงดันตกลดลงด้วยเช่นกัน

2.2 การคำนวณหาแรงดันตก (Voltage Drop ; ΔV)



รูปที่ 2.3 วงจรทวีแรงดัน n เท่า

จากรูปที่ 2.3 การคำนวณหาแรงดันตกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดครึ่งคลื่นสามารถคำนวณหาได้จาก

C_n จะถูกชาร์จจาก C_n' ด้วยแรงดันสูงสุด

$$\begin{aligned} (V_{cn})_{\max} &= 2V_{\max} - \frac{nQ}{C_n} \\ &= 2V_{\max} - \Delta V_n \end{aligned} \quad (2.1)$$

C_n จะชาร์จจาก C_{n-1}' ด้วยแรงดันสูงสุด

$$(V'_{cn-1})_{\max} = \left(2V_{\max} - \frac{nq}{C_n'} \right) - \frac{nQ}{C_n}$$

C_{n-1}' จะชาร์จให้ C_{n-1} ด้วยแรงดันสูงสุด

$$(V_{cn-1})_{\max} = (V'_{cn-1})_{\max} - \frac{(n-1)Q}{C_{n-1}'}$$

$$\Delta V = \frac{I_{dc}}{fC} \left(\frac{2n^3}{3} + \frac{n^2}{2} - \frac{n}{6} \right) \quad (2.2)$$

การคำนวณหาแรงดันตกวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น
สามารถคำนวณหาได้จาก

$$\Delta V = \frac{I_{dc}}{fC} \left(\frac{n^3}{6} + \frac{n^2}{4} + \frac{n}{3} \right) \quad (2.3)$$

โดย ΔV คือ แรงดันตก

I_{dc} คือ กระแสที่ไหลผ่านโหลด (A)

f คือ ความถี่ (Hz)

C คือ ตัวเก็บประจุ (F)

n คือ จำนวนชั้น

2.3 การคำนวณหาแรงดันระลอก (Voltage Ripple ; δV)

การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้วงจรเรียงกระแสไฟฟ้า และ วงจรกรองสัญญาณไฟฟ้าในการกรองกระแสไฟฟ้า และกรองแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่เรียบ แต่ เนื่องจากคุณสมบัติของ capacitor ซึ่งมีการเก็บประจุเมื่อมีแรงดันไฟฟ้าจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้า และคายประจุให้กับโหลด (R) เมื่อแรงดันไฟฟ้าจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้ามามีค่าลดลง จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าขึ้น เรียกว่าแรงดันระลอก (Ripple Voltage)

การคำนวณหาแรงดันระลอกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดครึ่งคลื่น สามารถคำนวณหาได้จาก

$$Q = 2\delta VC = I_{dc}T$$

$$\delta V = \frac{I_{dc}T}{2C} = \frac{I_{dc}}{2fC}$$

จะได้

$$\delta V = \frac{I_{dc}}{2fC} \quad (2.4)$$

C_1 จ่ายประจุออกไป Q ทำให้เกิดแรงดันตก

$$\delta V_1 = \frac{I_{dc}}{2fC_1}$$

C_2 จ่ายประจุออกไป $2Q$ ทำให้เกิดแรงดันตก

$$\delta V_2 = \frac{2I_{dc}}{2fC_2}$$

C_3 จ่ายประจุออกไป $3Q$ ทำให้เกิดแรงดันตก

$$\delta V_3 = \frac{3I_{dc}}{2fC_3}$$

$$\delta V_n = \frac{nI_{dc}}{2fC_n}$$

$$\delta V_n = \delta V_1 + \delta V_2 + \delta V_3 + \dots + \delta V_n$$

$$\delta V_n = \left(\frac{I_{dc}}{fC} \right) \frac{n(n+1)}{2} \quad (2.5)$$

การคำนวณหาแรงดันระลอกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น สามารถคำนวณหาได้จาก

$$\delta V_n = \left(\frac{I_{dc}}{fC} \right) \frac{n(n+1)}{4} \quad (2.6)$$

โดย δV คือ แรงดันระลอก

I_{dc} คือ กระแสที่ไหลผ่านโหลด (A)

f คือ ความถี่ (Hz)

C คือ ตัวเก็บประจุ (F)

n คือ จำนวนชั้น

หรือสามารถคำนวณแรงดันระลอกจากสัญญาณรูปไซน์ได้จาก

$$2\delta V = V_{\max} - V_{\min}$$

$$\delta V = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{2} \quad (2.7)$$

โดย V_{\max} คือ แรงดันเอาต์พุตสูงสุด (V)

V_{\min} คือ แรงดันเอาต์พุตต่ำสุด (V)

2.4 การหาจำนวนขั้นที่เหมาะสม ; n

ในการหาจำนวนขั้นที่เหมาะสมกับวงจรทรีแรงดันแบบ Cockcroft-Walton สามารถคำนวณหาได้จาก

$$\frac{dV_{dc}}{dn} = 0$$

$$(V_{dc})_{opt} = (2n_{opt} V_{\max}) \quad (2.8)$$

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{V_{\max} f C}{I_{dc}}} \quad (2.9)$$

โดย n_{opt} คือ จำนวนขั้นสูงสุด

V_{\max} คือ แรงดันเอาต์พุตสูงสุด (V)

I_{dc} คือ กระแสที่ไหลผ่านโหลด (A)

f คือ ความถี่ (Hz)

C คือ ตัวเก็บประจุ (F)

สรุปได้ว่า ในการออกแบบจำนวนชั้นที่เหมาะสมควรเลือกตัวเก็บประจุให้เหมาะสมกับวงจร โดยการสร้างวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นทำให้แรงดันตก และแรงดันระลอกลดลงอาจกระทำได้โดยการเพิ่มความถี่ หรือลดกระแสด้วยการเพิ่มโหลด

2.5 ตัวเก็บประจุ (Capacitor)

ตัวเก็บประจุ หรือ คอนเดนเซอร์ (condenser) เรียกว่า C เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าได้ สามารถนำไปใช้ในวงจรกรองแรงดันไฟฟ้า วงจรกรองความถี่ เป็นต้น โครงสร้างภายในตัวเก็บประจุจะประกอบด้วยแผ่นโลหะตัวนำ 2 แผ่น วางห่างกันโดยมีสารที่เป็นฉนวนที่เรียกว่าไดอิเล็กตริกกั้นอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองชนิดของตัวเก็บประจุจะขึ้นอยู่กับสารไดอิเล็กตริกที่ใช้ เช่น เซรามิก ไมลาร์ อิเล็กโทรไลต์โพลีเอสเตอร์ แทนทาลัม แก้ว เป็นต้น ตัวเก็บประจุมีหลายชนิด ซึ่งมีชื่อเรียกแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของโครงสร้างและ ชนิดของสารที่นำมาทำเป็นไดอิเล็กตริกสามารถแบ่งลักษณะการใช้งานได้ 2 ลักษณะคือตัวเก็บประจุชนิดค่าคงที่ และ ตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้

2.5.1 ตัวเก็บประจุชนิดค่าคงที่ (Fixed Capacitor)

ตัวเก็บประจุชนิดค่าคงที่ไม่สามารถเปลี่ยนค่าความจุได้ ตัวเก็บประจุประเภทนี้จะบอกค่าความจุ และอัตราทานไฟเป็นค่าตัวเลข หรืออาจจะใช้แบบชนิดรหัสแถบสีเหมือนกับตัวต้านทานได้ โดยทั่วไปจะมีการเรียกชื่อตามชนิดของไดอิเล็กตริกที่ใช้ในการสร้างตัวเก็บประจุนี้ โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 ชนิดได้แก่

1. ตัวเก็บประจุชนิดกระดาษ (paper capacitor)
2. ตัวเก็บประจุชนิดเซรามิก (Ceramic Capacitor)
3. ตัวเก็บประจุชนิดฟิล์ม (Film Capacitor)

ตัวเก็บประจุชนิดฟิล์มมีลักษณะโครงสร้างคล้ายกับตัวเก็บประจุชนิดกระดาษมาก แต่จะใช้ไดอิเล็กตริกที่เป็นแผ่นฟิล์มที่ทำมาจากโพลีเอสเตอร์หรือไมลาร์ โพลีโพรไพลีน โพลีสไตรีน โพลีคาร์บอนเนต และอื่นๆ โดยนำมาคั่นระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองแผ่นแล้วพับให้มีลักษณะเป็นรูปทรงกระบอก ซึ่งจะมีชื่อเรียกต่างกันตามชนิดของสารไดอิเล็กตริก

- ตัวเก็บประจุชนิดไมลาร์หรือรู้จักกันในชื่อ MKT เป็นตัวเก็บประจุที่นิยมใช้มากเพราะมีเสถียรภาพสูง กระแสรั่วต่ำ มีค่าความจุอยู่ระหว่าง 0.001 ถึง 100 ไมโครฟารัด

- ตัวเก็บประจุโพลีคาร์บอนเนตหรือรู้จักกันในชื่อ MKC เป็นตัวเก็บประจุที่ใช้ไดอิเล็กตริกชนิดฟิล์มแบบโลหะ มีเสถียรภาพสูง มีค่าความจุอยู่ระหว่าง 0.01 ถึง 10 ไมโครฟารัด

- ตัวเก็บประจุโพลีโพรไพลีนหรือรู้จักกันในชื่อ MKP เป็นตัวเก็บประจุที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าชนิดโพลีเอสเตอร์และ เมื่อนำไปใช้กับไฟกระแสไฟฟ้าสลับ จะมีคุณสมบัติคล้ายกับชนิดโพลีไสตรีน ชนิดฟิล์มพอยล์ จะมีค่าความจุอยู่ระหว่าง 47 พิโคฟารัด ถึง 0.022 ไมโครฟารัด

- ตัวเก็บประจุโพลีสไตรลีนหรือรู้จักกันในชื่อ MKS เป็นตัวเก็บประจุที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับชนิดโพลีโพรไพลีน แต่จะมีประสิทธิภาพทางปริมาตรต่ำกว่า มีค่าความจุอยู่ระหว่าง 47 พิโคฟารัด ถึง 0.039 ไมโครฟารัด

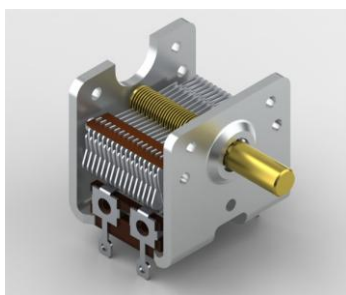


รูปที่ 2.4 ตัวเก็บประจุชนิดฟิล์ม

4. ฟีดทรูคาปาซิเตอร์ (Feedthrough Capacitor)
5. ตัวเก็บประจุชนิดอิเล็กโทรไลติก (Electrolytic Capacitor)
6. ตัวเก็บประจุชนิดแทนทาลัม (Tantalum Capacitor)
7. ตัวเก็บประจุแบบไมกา (Mica Capacitor)

2.5.2 ตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้ (Variable Capacitor)

ตัวเก็บประจุชนิดปรับค่าได้เป็นตัวเก็บประจุชนิดที่ไม่ค่าคงที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ซึ่งโครงสร้างภายในประกอบด้วยแผ่นโลหะ 2 แผ่นหรือมากกว่าวางใกล้กัน แผ่นหนึ่งจะอยู่กับที่ ส่วนอีกแผ่นหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ได้ โดยมีไดอิเล็กทริกหลายชนิดด้วยกัน คือ อากาศ ไมก้า เซรามิก และพลาสติก เป็นต้น ค่าการเก็บประจุจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเคลื่อนที่ของแกนหมุน โดยทั่วไปจะมีความจุไม่มากนัก ไม่เกิน 1 ไมโครฟารัด



รูปที่ 2.5 ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้

2.6 ไดโอด

ไดโอด เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มี 2 ขา ซึ่งมีลักษณะพิเศษคือ กระแสไหลผ่านได้ในทิศทางเดียว ซึ่งจากคุณสมบัติพิเศษนี้ จึงสามารถนำไดโอดมาใช้เป็นตัวแปลงไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง วงจรในภาครับของวิทยุ เป็นต้น

2.6.1 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของไดโอด

ไดโอดสามารถได้จากรอยต่อ p-n โดยการตั้งขาที่ p-type เป็นขาแอโนด (Anode; A) และ n-type เป็นขาแคโทด (Cathode; K) สัญลักษณ์จะใช้ลูกศรแทนขาแอโนด โดยทิศทางของลูกศรเป็นทิศทางการไหลของกระแสสมมุติ (ตรงข้ามกับทิศทางการไหลของอิเล็กตรอน) และใช้ขีดแทนขาแคโทด

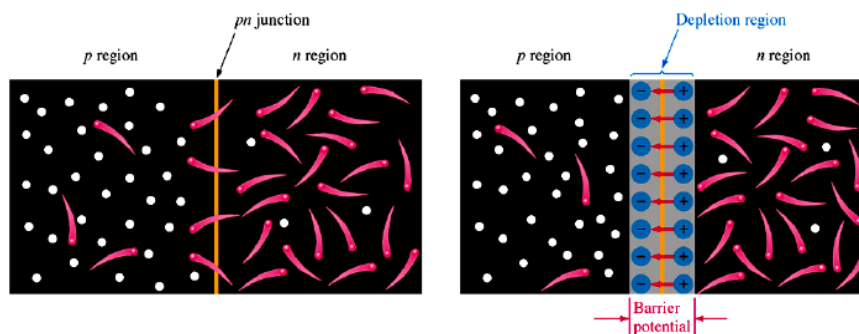


รูปที่ 2.6 โครงสร้างอย่างง่ายและสัญลักษณ์ของไดโอด

2.6.2 รอยต่อ p-n (p-n Junction)

สารกึ่งตัวนำ p-type หรือ n-type เพียงอย่างหนึ่งอย่างใด จะมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าเป็นความต้านทานไฟฟ้า แต่หากเราสามารถสร้างรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิด p และ n ได้ อิเล็กตรอนใน สารกึ่งตัวนำ n-type จะแพร่ข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮลใน p-type จับเป็นพันธะที่ไม่มีพาหะนำไฟฟ้า

หากพิจารณาราวๆ ที่ความเข้มข้นของสารเจือที่เท่ากันก็อาจจะคิดว่า อิเล็กตรอนจะรวมกับโฮลจนหมดสิ้น และทำให้ไม่พาหะนำไฟฟ้าตลอดทั้งเนื้อสาร ในความเป็นจริง จะพบว่าไม่เป็นเช่นนั้น เนื่องจากอะตอมสารเจือ หมู่ 5 ในสารกึ่งตัวนำ n-type เมื่อไม่มีอิเล็กตรอนใกล้ๆ ก็แสดงอำนาจประจุไฟฟ้า บวก และอะตอมสารเจือ หมู่ 3 ในสารกึ่งตัวนำ p-type เมื่อไม่มีโฮลก็จะแสดงอำนาจประจุไฟฟ้าเป็นลบ จะสังเกตได้ว่าเกิดกำแพงสนามไฟฟ้า ขัดขวางไม่ให้อิเล็กตรอนข้ามรอยต่อไปรวมกับโฮล

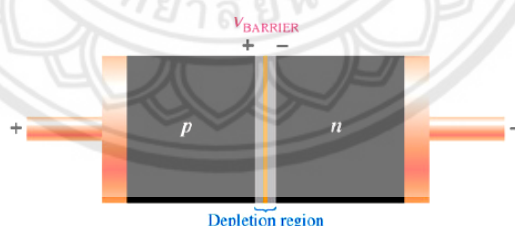


รูปที่ 2.7 ภาพแสดงการเกิดบริเวณปลอดพาหะ

การรวมตัวของอิเล็กตรอนกับโฮลจนไม่มีพาหะนำไฟฟ้า (จึงไม่นำไฟฟ้า) จะเกิดเฉพาะตรงบริเวณใกล้ๆรอยต่อเท่านั้น บริเวณที่เกิดการรวมตัวนี้เรียกว่า บริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) ดังในรูปที่ 2.16 โดยความกว้างของบริเวณปลอดพาหะในสภาพไร้สนามไฟฟ้าจากภายนอก จะขึ้นกับความเข้มข้นของสารเจือ และอุณหภูมิ

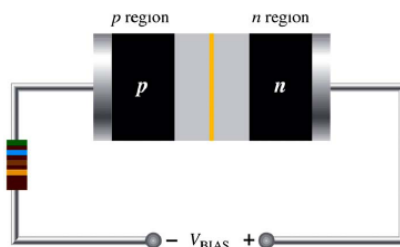
2.6.3 การไบอัส

การไบอัสเป็นการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์เพื่อให้ทำงานตามที่ผู้ออกแบบต้องการ โดยการไบอัสรอยต่อ p-n เป็นการป้อนสนามไฟฟ้าภายนอกให้แก่รอยต่อ ซึ่งมีผลต่อบริเวณปลอดพาหะ ซึ่งสามารถทำได้สองแบบ คือ การไบอัสตรง (Forward Bias) และการไบอัสกลับ (Reverse Bias)



รูปที่ 2.8 การไบอัสตรงแก่รอยต่อ p-n

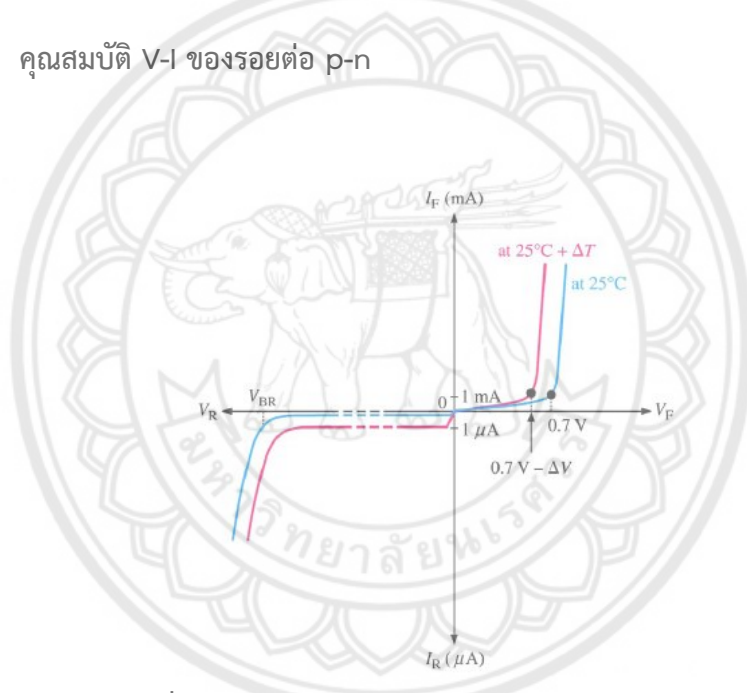
การไบอัสตรงแก่รอยต่อ p-n โดยการป้อนศักย์ไฟฟ้าบวกแก่สารกึ่งตัวนำ p-type และการป้อนศักย์ลบให้แก่สารกึ่งตัวนำ n-type ซึ่งจะผลักให้พาหะข้างมากเข้าหารอยต่อ ทำให้บริเวณปลอดพาหะแคบลง หากศักย์ไฟฟ้าที่ป้อนนี้มีค่าสูงกว่ากำแพงศักย์ไฟฟ้าภายในรอยต่อ ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลผ่านรอยต่อได้ ซึ่งศักย์ไฟฟ้าที่รอยต่อของรอยต่อ p-n ที่สร้างจาก Ge มีค่าประมาณ 0.3 โวลต์ และ Si จะมีค่าประมาณ 0.7 โวลต์ ที่ 25 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.9 การไบอัสกลับแก่รอยต่อ p-n

การไบอัสกลับแก่รอยต่อ p-n โดยป้อนศักย์บวกแก่สารกึ่งตัวนำ n-type และศักย์ลบให้กับสารกึ่งตัวนำ p-type ซึ่งจะดึงดูดให้พาหะข้างมากเข้าหาศักย์ไฟฟ้าที่ป้อน จึงทำให้บริเวณปลอดพาหะกว้างยิ่งขึ้น อนึ่งการไบอัสกลับนี้ไม่ขัดขวางการเคลื่อนที่ของพาหะข้างน้อย

2.6.4 คุณสมบัติ V-I ของรอยต่อ p-n

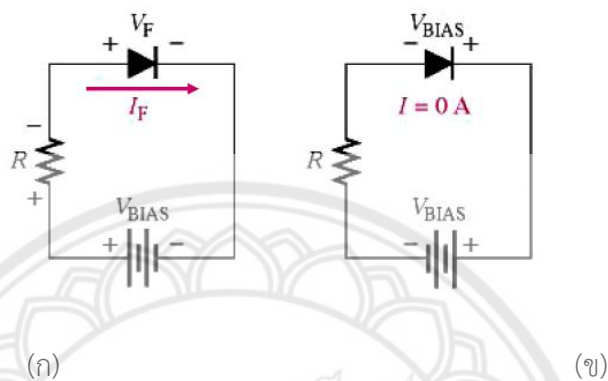


รูปที่ 2.10 กราฟคุณสมบัติแรงดัน กระแสของรอยต่อ p-n

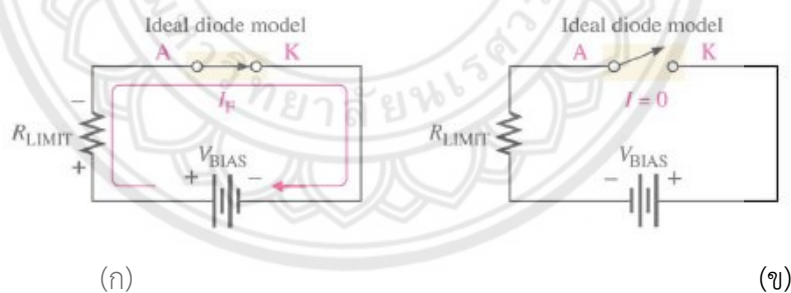
เป็นกราฟ V-I ของรอยต่อ p-n ที่สร้างจาก Si จะสังเกตได้ว่าเมื่อแรงดันไบอัสตรง V_F มีค่าเป็นบวกประมาณ 0.7 โวลต์กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านไดโอดได้อย่างสะดวก เมื่อพิจารณาความชันของเส้นกราฟจะพบว่ามีความต้านทานต่ำ แต่เมื่อแรงดันไบอัสตรงต่ำกว่า 0.7 โวลต์กระแสจะไหลผ่านรอยต่อน้อยมาก หากแรงดันตกคร่อมรอยต่อมีค่าน้อยกว่าศูนย์จะเป็นการให้ไบอัสกลับ กระแสที่ไหลผ่านจะเกิดจากพาหะข้างน้อย เมื่อพิจารณาความชันจะพบว่ามีความต้านทานสูงมาก แต่เมื่อให้แรงดันไบอัสกลับมีค่าต่ำมากจนถึงจุดหนึ่งจะพบว่าจะมีกระแสไฟฟ้าผ่านรอยต่อเป็นจำนวนมาก เราเรียกแรงดันที่จุดนี้ว่าแรงดันพังทลาย (Break down Voltage; V_{BR}) ผลของอุณหภูมิมิมีผลต่อรอยตอดังนี้ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แรงดันตกคร่อมรอยต่อขณะไบอัสตรง และแรงดันพังทลาย V_{BR} ขณะไบอัสกลับมีค่าลดลง กระแสรั่วในกรณีที่ $V_{BR} < V < V_F$ จะเพิ่มสูงขึ้น

2.6.5 ไดโอดอุดมคติ

เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์การทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สามารถใช้แบบจำลอง ซึ่งเป็นวงจรไฟฟ้าแบบพื้นฐานมาแทนการทำงานของอุปกรณ์ที่เราพิจารณาอยู่ รูปที่ 2.20 เป็นภาพ แสดงการไบอัสไดโอดทั้งแบบไบอัสตรงและไบอัสกลับ รูปที่ 2.21(ก) แสดงการสวิตช์ปิดวงจรแทน ไดโอดเมื่อได้รับไบอัสตรงและ รูปที่ 2.21(ข) ใช้สวิตช์เปิดวงจรแทนไดโอดเมื่อได้รับไบอัสกลับ

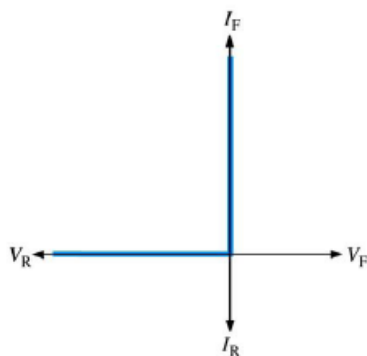


รูปที่ 2.11 (ก) วงจรไดโอดแบบไบอัสตรง (ข) วงจรไดโอดแบบไบอัสกลับ



รูปที่ 2.12 (ก) การใช้สวิตช์ปิดวงจรแทนไดโอด (ข) การใช้สวิตช์เปิดวงจรแทนไดโอด

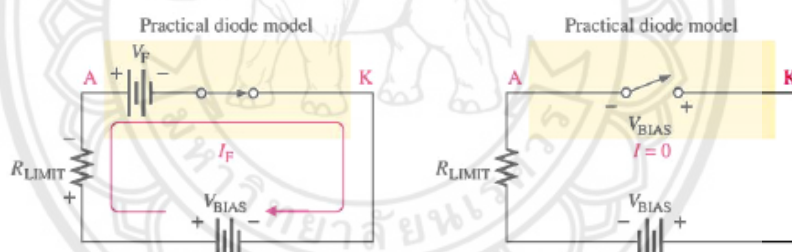
กราฟ V-I ของไดโอดอุดมคติ ซึ่งจะเห็นได้ว่าไดโอดอุดมคติไม่มีแรงดันตกคร่อมและความต้านทานเป็นศูนย์เมื่อไบอัสตรงและ ไดโอดอุดมคติมีกระแสรั่วไหลเป็นศูนย์และความต้านทานเป็นอนันต์เมื่อได้รับไบอัสกลับ ดังแสดงใน รูปที่ 2.13



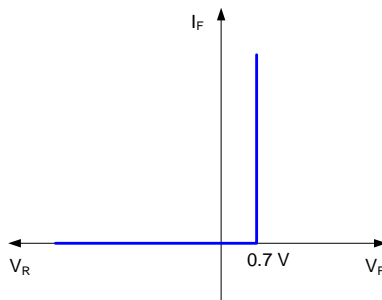
รูปที่ 2.13 คุณสมบัติ V-I ของไดโอดอุดมคติ

2.6.6 แบบจำลองไดโอดในทางปฏิบัติ

ในทางปฏิบัติสามารถพิจารณาไดโอดให้ใกล้เคียงยิ่งขึ้นด้วยการคำนึงถึงแรงดันตกคร่อมไดโอดขณะไบอัสตรง โดยการแทนแรงดันตรงคร่อมด้วยสัญลักษณ์แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง V_F ดังรูปที่ 2.23 ซึ่งจะใช้ค่าแรงดัน 0.3 โวลต์สำหรับไดโอดที่ทำจาก Ge และ 0.7 โวลต์สำหรับไดโอดที่ทำจาก Si



รูปที่ 2.14 แบบจำลองไดโอดในทางปฏิบัติอย่างง่าย



รูปที่ 2.15 คุณสมบัติ V-I ของแบบจำลองอย่างง่ายของซิลิกอนไดโอด

2.7 โพรบวัดแรงดันสูง

โพรบจะเชื่อมต่อทั้งทางกายภาพและทางไฟฟ้าระหว่างจุดทดสอบหรือแหล่งจ่ายสัญญาณและออสซิลโลสโคปขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานว่าต้องการวัดอะไร อาจจะกล่าวได้ว่าโพรบเป็นอุปกรณ์หรือเครือข่ายที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างแหล่งจ่ายสัญญาณไปยังอินพุตของออสซิลโลสโคป ซึ่งโพรบจะมีลักษณะเป็นกล่องที่ใช้เป็นสัญลักษณ์แทนการวัดสัญญาณอย่างไรก็ตามในการใช้งานจริงนั้นโพรบจะต้องสามารถใช้งานได้สะดวกและมีประสิทธิภาพในการต่อระหว่างออสซิลโลสโคปกับแหล่งกำเนิดสัญญาณได้ดี

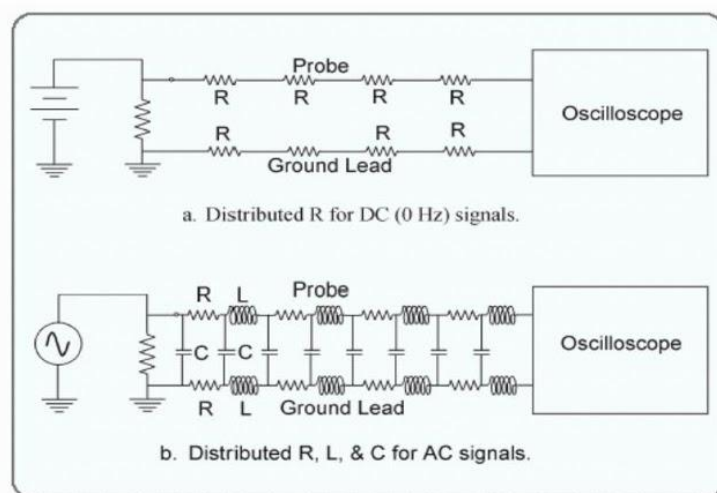
2.7.1 โพรบในทางอุดมคติ

โพรบในทางอุดมคติจะต้องมีลักษณะดังนี้

1. สามารถต่อใช้งานได้ง่ายและสะดวก
2. สามารถวัดสัญญาณได้ไม่ผิดเพี้ยน
3. ไม่มีปัญหาเรื่อง loading กับแหล่งจ่ายสัญญาณ
4. ปราศจากสัญญาณรบกวน

2.7.2 โพรบในการใช้งานจริง

สิ่งที่สำคัญสำหรับโพรบก็คือ ภายในสายเคเบิลของโพรบจะประกอบไปด้วยวงจรที่มีความซับซ้อน สำหรับสัญญาณไฟตรง (DC ความถี่ 0 Hz) สายโพรบจะมีลักษณะเหมือนเป็นค่าความต้านทานที่ต่ออนุกรมกับค่าความต้านทานที่ขั้วต่อของออสซิลโลสโคป ดังรูปที่ 2.25a อย่างไรก็ตามในสัญญาณไฟสลับลักษณะภายในของสายโพรบจะเปลี่ยนรูปไปเมื่อค่าความถี่เพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.25b เนื่องมาจากการที่มีค่าความเหนี่ยวนำ (L) และค่าความจุ (C) กระจายอยู่ทั่วไปภายในของสายโดยที่ค่าอิมพีแดนซ์ของความเหนี่ยวนำจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่ของสัญญาณมีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าอิมพีแดนซ์ของค่าความจุจะลดลงและจากปฏิกิริยาของทั้ง 2 ตัว (L และ C) รวมทั้งค่าความต้านทาน (R) จะทำให้ค่าอิมพีแดนซ์รวมของโพรบเปลี่ยนแปลงไปตามค่าความถี่และก็คือเป็นข้อดีของโพรบอีกเช่นกันที่มีส่วนประกอบ R,L,C อยู่ด้วย เพราะทำให้สามารถควบคุมลักษณะของสัญญาณที่จะวัดได้ตามต้องการ เช่น การลดทอนสัญญาณ และปัญหาในเรื่อง loading ของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ซึ่งเป็นสิ่งที่ดีในการออกแบบเพราะเป็นข้อจำกัดตามธรรมชาติ ของวงจรภายในโพรบเอง และเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องทราบในการเลือกและใช้งานโพรบ



รูปที่ 2.16 วงจรภายในของโพรบซึ่งมีการกระจายตัวของค่าความต้านทาน ค่าความเหนี่ยวนำและค่าความจุ

2.7.3 โพรบแรงดันไฟฟ้าแรงสูง

ค่าแรงดันสูงสุดที่สามารถทำให้โพรบแบบ passive 10X ทั่วไปทำงานได้ซึ่งโดยปกติจะมีค่าประมาณ 400 ถึง 500 โวลต์ (DC + peak AC) แต่โพรบแรงดันไฟฟ้าแรงสูงจะสามารถวัดแรงดันได้สูงถึง 40,000 โวลต์ มีอัตราส่วนของแรงดันอินพุตและเอาต์พุตอยู่ที่ 1 ต่อ 1000 โวลต์ ตัวอย่างของโพรบชนิดนี้จะแสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 โพรบแรงดันไฟฟ้าแรงสูง

ซึ่งในการวัดและใช้งานโพรบแรงดันไฟฟ้าแรงสูงนี้จะต้องคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นสิ่งสำคัญ โดยที่สายเคเบิลของโพรบชนิดนี้จะค่อนข้างยาวกว่าปกติ คือประมาณ 10 ฟุต เพื่อให้ตัวเครื่องของออสซิลโลสโคปอยู่ห่างจากแหล่งจ่ายไฟแรงดันสูงนั่นเอง และสามารถที่จะเพิ่มความยาวเป็น 25 ฟุตได้

ในการใช้โพรบแรงดันไฟฟ้าแรงสูงต่อร่วมกับอุปกรณ์วัดแรงดันไฟฟ้าอื่นๆ จำเป็นต้องชดเชยค่าความผิดพลาดด้วยการคูณค่าตัวประกอบการปรับแก้ (Correction Factor) ซึ่งสามารถหาค่าตัวประกอบการปรับแก้ของโพรบได้จากสมการ

$$Cf = \frac{1.11 + Rm}{1.11 \times Rm} \quad (2.10)$$

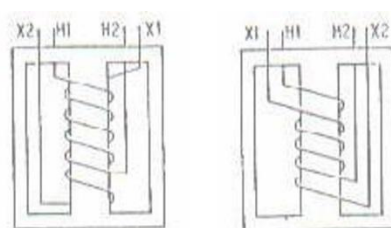
โดย Cf คือ ตัวประกอบการปรับแก้

Rm คือ อินพุทอิมพีแดนซ์ ($M\Omega$)

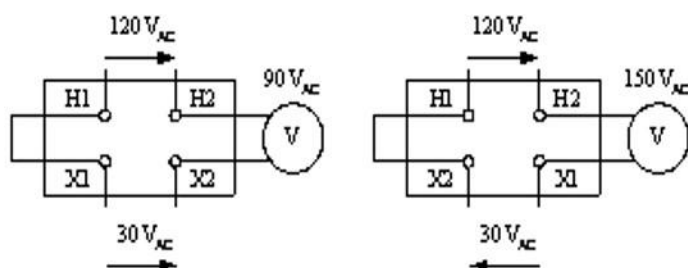
2.8 การหาขั้วหม้อแปลงไฟฟ้า

การหาขั้วของหม้อแปลง มีความสำคัญเนื่องจากทำให้สามารถนำหม้อแปลงไฟฟ้ามาต่อใช้งานได้อย่างถูกต้อง โดยการหาขั้วหม้อแปลงนั้นมีหลักการทดสอบคือการต่อขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิอนุกรมกัน ซึ่งจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขั้วเสริมกัน (Additive Polarity) หรือขั้วหักล้างกัน (Subtractive Polarity) ดังรูปที่ 2.26 ถ้าขั้วเสริมกันเครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะอ่านค่าได้มากกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลง แต่ถ้าขั้วหักล้างกันเครื่องวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะอ่านค่าได้น้อยกว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหม้อแปลง

การหาขั้วหม้อแปลงมีความสัมพันธ์ระหว่างขั้วแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านสูงและขั้วแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านต่ำ เมื่อเราจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้กับขั้ว H1 และ H2 ส่วนขดลวดที่เหลือคือขั้ว X1 และ X2 และสิ่งสำคัญที่ควรรู้ในการทดสอบคือ อัตราส่วนของแรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างขั้วปฐมภูมิกับขั้วทุติยภูมิ เนื่องจากไม่ควรจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าทดสอบเกินกว่าขนาดของขดลวดแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำ ตัวอย่างเช่น หม้อแปลง 480 / 120 จะมีอัตราส่วนของแรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างปฐมภูมิกับทุติยภูมิเท่ากับ 4 ดังนั้นหากจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้า 120V ให้กับขดลวดปฐมภูมิจะทำให้มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าด้านทุติยภูมิ 120 / 4 เท่ากับ 30 V ซึ่งจะไม่ทำให้มีแรงเคลื่อนไฟสูงเกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบ



(ก) แบบเสริมกัน (Additive Polarity)



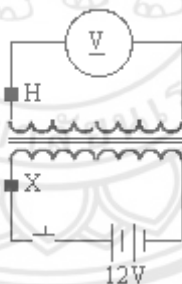
(ข) แบบหักล้างกัน (Subtractive Polarity)

รูปที่ 2.18 การทดสอบหาขั้วหม้อแปลงไฟฟ้า

อีกวิธีหนึ่งในการทดสอบหาขั้วหม้อแปลงก็คือการต่อไฟตรง ดังรูปที่ 2.27 โดยให้ต่อโวลต์มิเตอร์ทางด้านขดลวดด้านไฟสูงและต่อแบตเตอรี่ทางด้านขดลวดไฟต่ำ ขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากโวลต์มิเตอร์สามารถคำนวณได้จากโวลต์ของแบตเตอรี่คูณด้วยอัตราส่วนของแรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างปฐมภูมิกับ

ทุติยภูมิทันทีเมื่อสับสวิตช์ ถ้าเข็มเครื่องวัดเบนไปด้านบวกหมายถึงหม้อแปลงมีขั้วต่อแบบหักล้าง (Subtractive Polarity) แต่ถ้าเข็มเครื่องวัดเบนไปด้านลบหมายถึงหม้อแปลงมีขั้วต่อแบบขั้วเสริม (Additive Polarity)

$$12\text{ V} \times (480/120) = 48\text{ V}_{\text{DC}}$$



รูปที่ 2.19 ทดสอบหาขั้วหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยไฟตรง

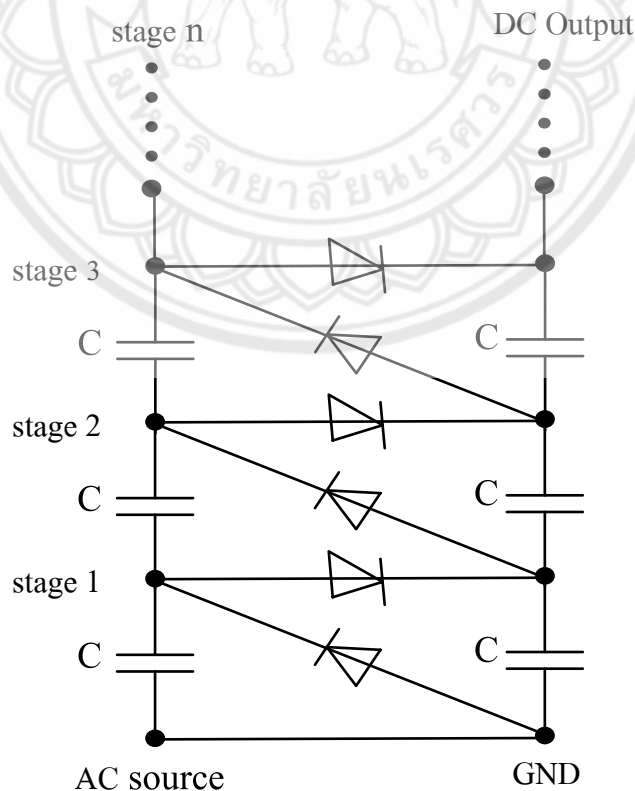
บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงาน

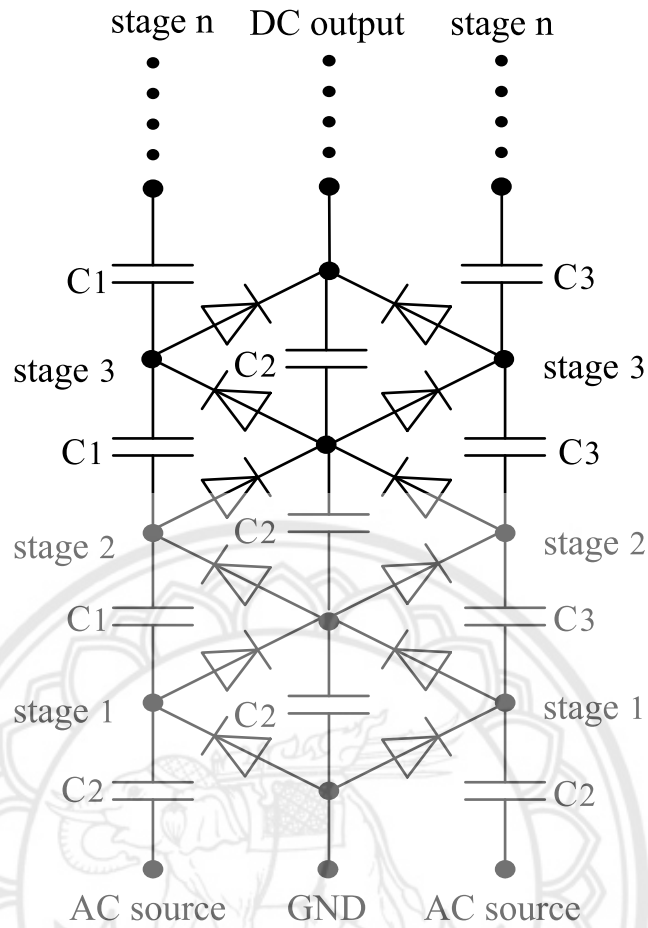
โครงการนี้ได้ศึกษาการออกแบบและจัดสร้างชุดการทดลองเพิ่มแรงดันไฟฟ้าโดยใช้วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ซึ่งใช้ตัวเก็บประจุและ ไดโอดต่อร่วมกันแบบขั้นบันได พร้อมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของวงจร โดยส่วนของการออกแบบวงจรโครงการนี้ได้พิจารณาในส่วนของการเลือกชนิดของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton การเลือกตัวเก็บประจุ การเลือกไดโอด และการออกแบบจำนวนขั้นที่เหมาะสมซึ่งโครงการนี้ได้สร้างวงจรทวีแรงดันจำนวน 10 ขั้น เพื่อเป็นแนวทางสำหรับนำไปประยุกต์ใช้กับงานอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

3.1 การออกแบบวงจร

ในส่วนของการออกแบบวงจร โครงการนี้ได้พิจารณาการออกแบบวงจรทวีแรงดันออกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดครึ่งคลื่น และ ชนิดเต็มคลื่นดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2

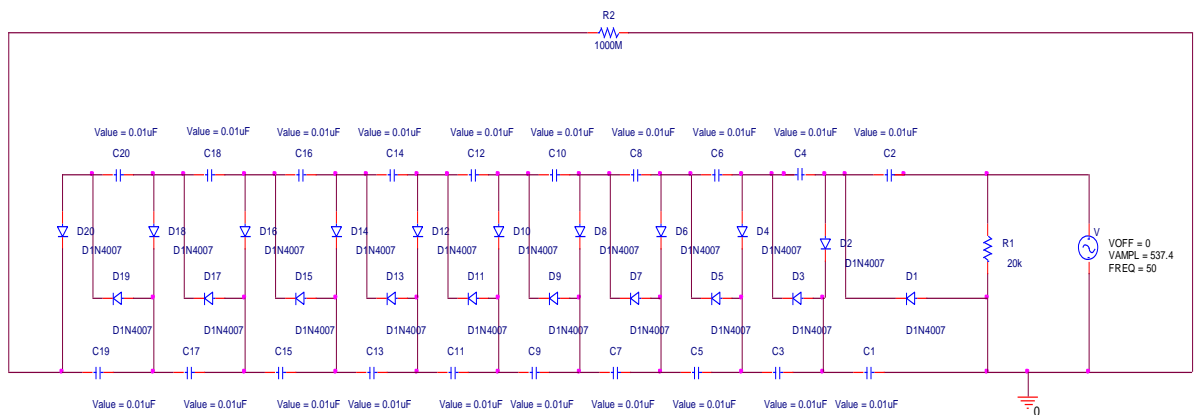


รูปที่ 3.1 วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดครึ่งคลื่น

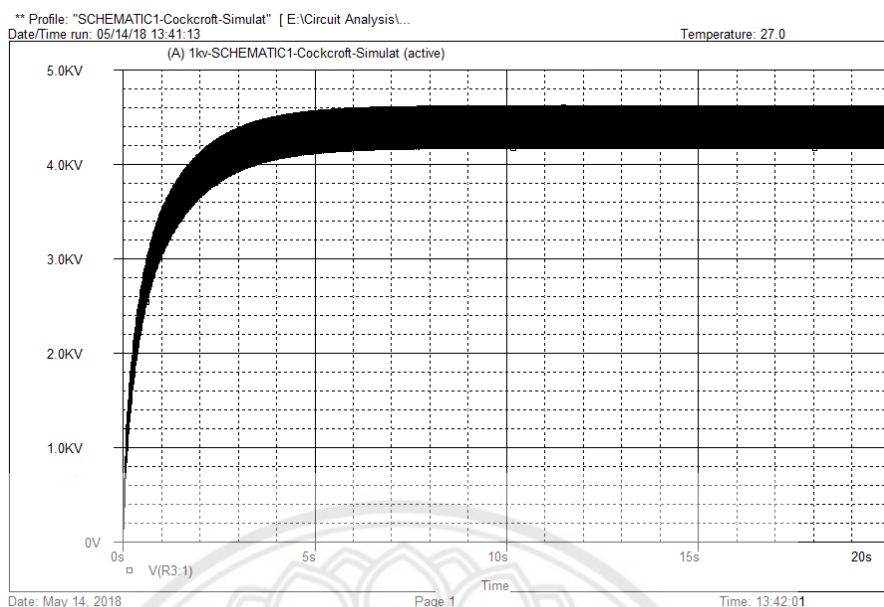


รูปที่ 3.2 วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น

จากรูปที่ 3.1 ให้ค่าตัวเก็บประจุ ($C = 0.01$ ไมโครฟารัด) ได้ผลการออกแบบและจำลองดังรูปที่ 3.3 รูปที่ 3.4 และ รูปที่ 3.5

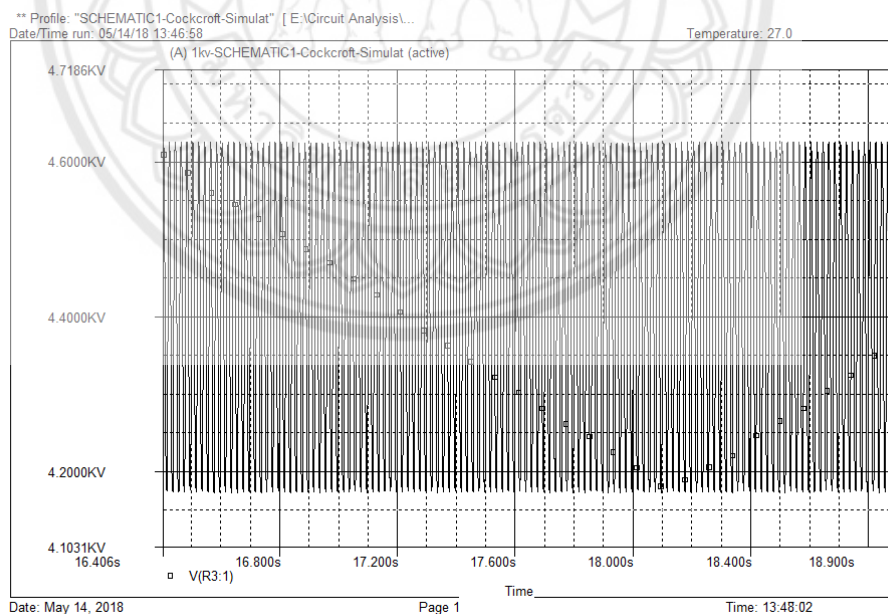


รูปที่ 3.3 ออกแบบวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดครึ่งคลื่น



รูปที่ 3.4 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุทของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดครึ่งคลื่น

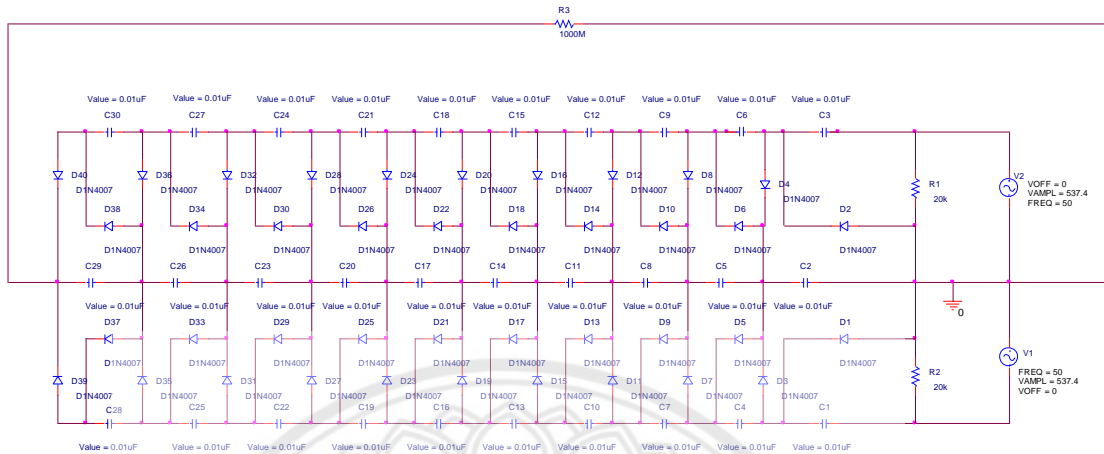
จากรูปที่ 3.4 แรงดันเอาต์พุทสูงสุดมีค่าเท่ากับ 4.625 กิโลโวลต์



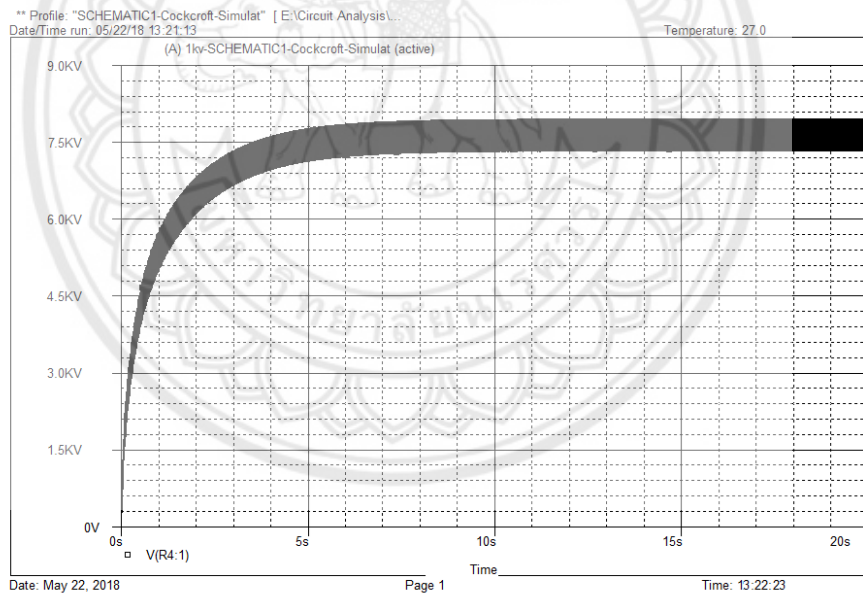
รูปที่ 3.5 ผลการวัดแรงดันระลอกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดครึ่งคลื่น

จากรูปที่ 3.5 แรงดันเอาต์พุทสูงสุดมีค่าเท่ากับ 4.625 กิโลโวลต์ และ แรงดันเอาต์พุทต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 4.175 กิโลโวลต์ เมื่อนำมาคำนวณในสมการที่ (2.7) จะได้แรงดันระลอกเท่ากับ 225 โวลต์

จากรูปที่ 3.2 ให้ค่าตัวเก็บประจุ ($C1 = C2 = C3 = 0.01$ ไมโครฟารัด) ได้ผลการออกแบบและจำลองดังรูปที่ 3.6 รูปที่ 3.7 และ รูปที่ 3.8

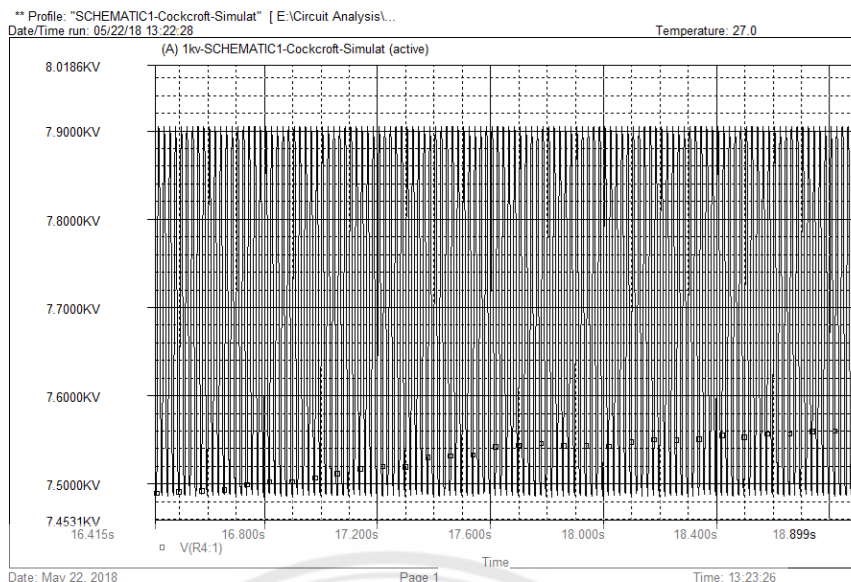


รูปที่ 3.6 ออกแบบวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดเต็มคลื่น



รูปที่ 3.7 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุทของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น

จากรูปที่ 3.7 แรงดันเอาต์พุทสูงสุดมีค่าเท่ากับ 7.9 กิโลโวลต์



รูปที่ 3.8 ผลการวัดแรงดันระลอกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น
 จากรูปที่ 3.8 แรงดันเอาต์พุตสูงสุดมีค่าเท่ากับ 7.9 กิโลโวลต์ และ แรงดันเอาต์พุตต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 7.49 กิโลโวลต์ เมื่อนำมาคำนวณในสมการที่ (2.7) จะได้แรงดันระลอกเท่ากับ 200 โวลต์

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบแรงดันเอาต์พุตสูงสุด และแรงดันระลอกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ทั้ง 2 ชนิด

ชนิดของวงจรทวีแรงดัน	แรงดันเอาต์พุตสูงสุด (kV)	แรงดันเอาต์พุตต่ำสุด (kV)	แรงดันระลอก (V)
ครึ่งคลื่น	4.625	4.175	225
เต็มคลื่น	7.9	7.49	205

จากตารางที่ 3.1 วัดค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุดและต่ำสุดของแบบครึ่งคลื่นได้เท่ากับ 4.625 กิโลโวลต์ และ 4.175 กิโลโวลต์ วัดค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุดและต่ำสุดของแบบเต็มคลื่นได้เท่ากับ 7.9 กิโลโวลต์ และ 7.49 กิโลโวลต์ เมื่อนำค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุดและแรงดันเอาต์พุตต่ำสุดทั้ง 2 แบบไปแทนในสมการที่ (2.7) ทำให้ได้ค่าแรงดันระลอกเท่ากับ 225 โวลต์ และ 205 โวลต์ สรุปได้ว่าวงจรทวีแรงดันชนิดเต็มคลื่นมีค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุดมากกว่าและมีค่าแรงดันระลอกต่ำกว่าชนิดครึ่งคลื่น ดังนั้น โครงการนี้จึงเลือกออกแบบวงจรทวีแรงดันชนิดเต็มคลื่น

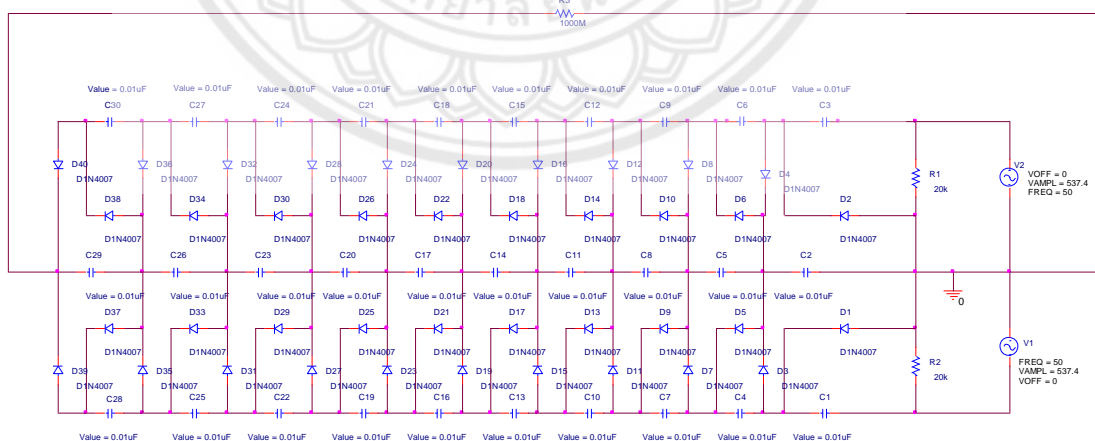
3.2 การเลือกตัวเก็บประจุ

ขนาดของตัวเก็บประจุที่ถูกใช้ในวงจรทวีแรงดันคือสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของสัญญาณเอาท์พุท ซึ่งการประยุกต์ใช้ความถี่สูง 10 กิโลเฮิร์ตซ์ เหมาะสำหรับใช้ตัวเก็บประจุในช่วง 1 ถึง 200 ไมโครฟารัด ในขณะที่ช่วงความถี่ต่ำเช่น ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ จะใช้ตัวเก็บประจุในช่วง 0.01 ถึง 0.06 ไมโครฟารัด และการแบ่งระดับแรงดันของตัวเก็บประจุในวงจรทวีแรงดัน ตัวเก็บประจุต้องสามารถทนต่อระดับแรงดันสูงสุดซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นที่ใช้ นั่นก็คือการเลือกตัวเก็บประจุที่มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมประมาณ 2 เท่าของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้จริง ตัวอย่างเช่น ตัวเก็บประจุที่จะให้แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 200 โวลต์ ควรทนแรงดันไฟฟ้าได้ประมาณ 400 โวลต์ เป็นต้น

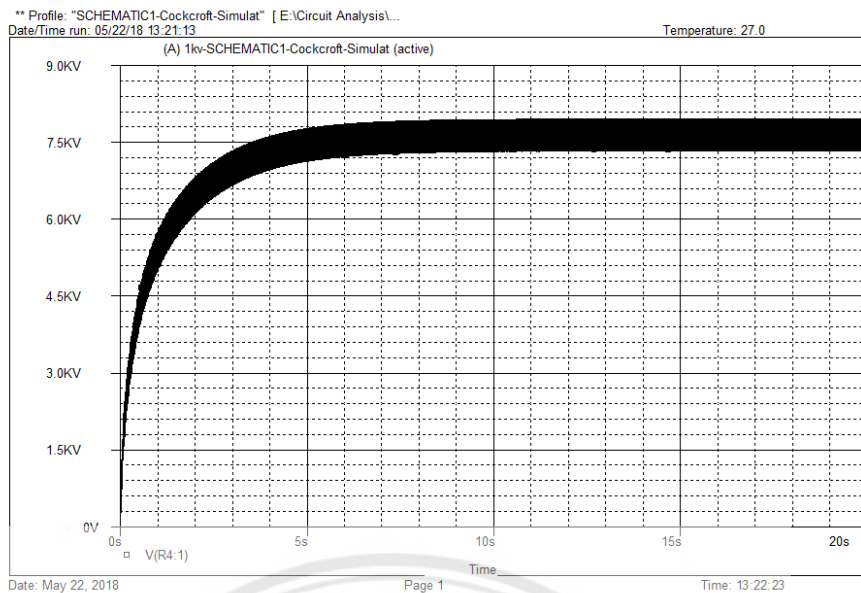
ดังนั้น ในการเลือกตัวเก็บประจุที่เหมาะสมกับวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ควรมีอัตราการทนแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 2 เท่าของแรงดันไฟฟ้าที่ใช้จริงในวงจร ซึ่งในโครงการนี้เลือกใช้ตัวเก็บประจุชนิดฟิล์ม เมทัลไลซ์โพลีโพรไฟลีน เนื่องจากคุณสมบัติของตัวเก็บสามารถเข้ากับโครงการนี้ได้ เพราะว่ามีช่วงการทนแรงดันได้สูงถึง 1000 โวลต์ และค่าอยู่ในช่วง 0.01 ถึง 10 ไมโครฟารัด ซึ่งตรงกับที่ต้องใช้ ในโครงการและยังสามารถหาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด

โดยโครงการนี้ได้ทำการออกแบบและจำลองวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดเต็มคลื่นแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

แบบที่ 1 จากรูปที่ 3.2 ให้ค่าตัวเก็บประจุ ($C1 = C2 = C3 = 0.01$ ไมโครฟารัด) ได้ผลการออกแบบและจำลองดังรูปที่ 3.9 รูปที่ 3.10 และ รูปที่ 3.11

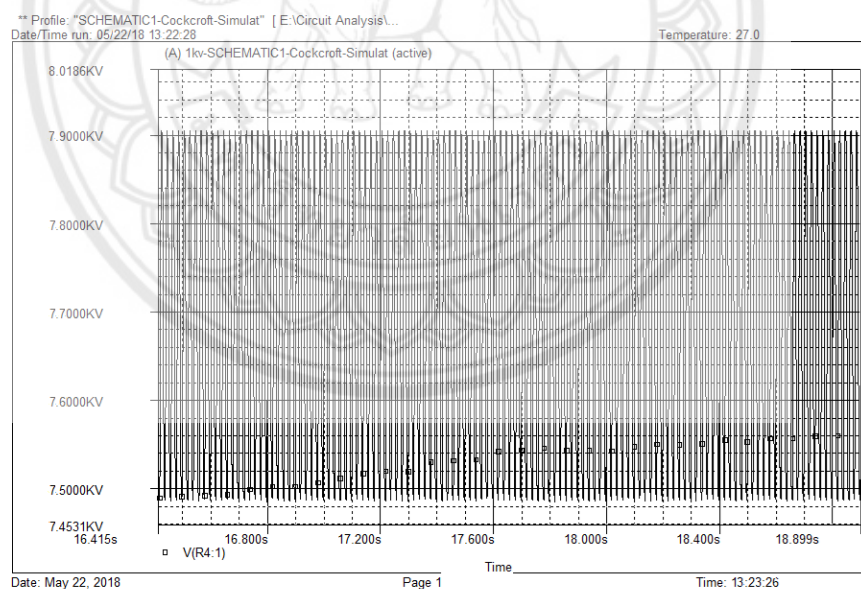


รูปที่ 3.9 วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดเต็มคลื่น (แบบที่ 1)



รูปที่ 3.10 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น
(แบบที่ 1)

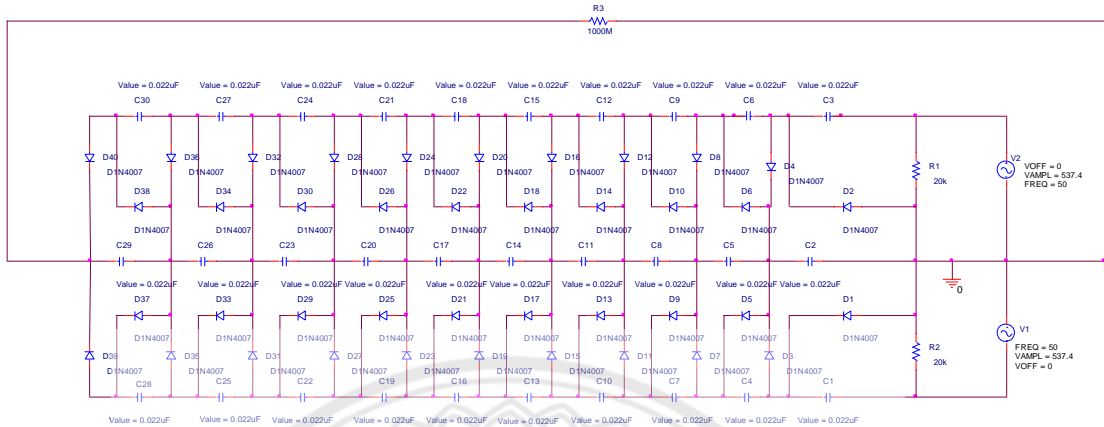
จากรูปที่ 3.10 แรงดันเอาต์พุตสูงสุดมีค่าเท่ากับ 7.9 กิโลโวลต์



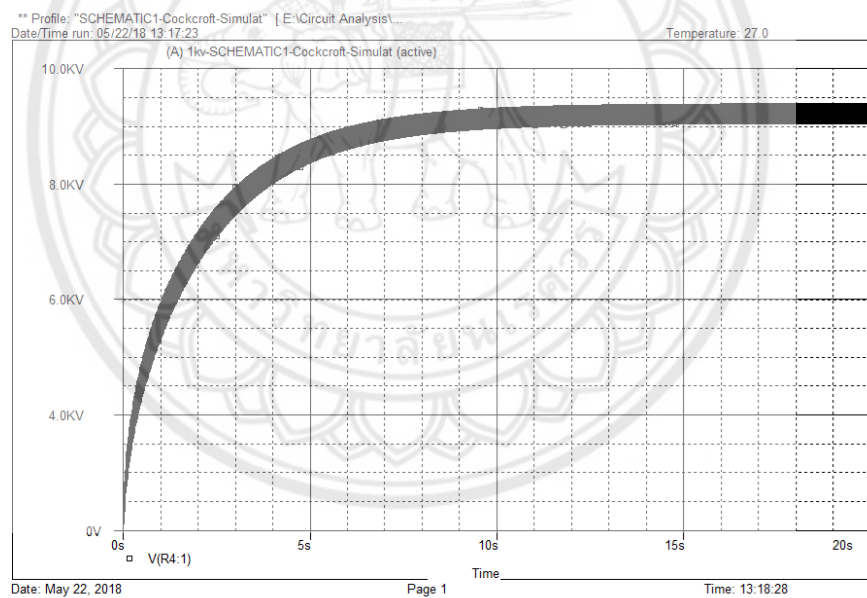
รูปที่ 3.11 ผลการวัดแรงดันระลอกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น
(แบบที่ 1)

จากรูปที่ 3.11 แรงดันเอาต์พุตสูงสุดมีค่าเท่ากับ 7.9 กิโลโวลต์ และ แรงดันเอาต์พุตต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 7.49 กิโลโวลต์ เมื่อนำมาคำนวณในสมการที่ (2.7) จะได้แรงดันระลอกเท่ากับ 205 โวลต์

แบบที่ 2 จากรูปที่ 3.2 ให้ค่าตัวเก็บประจุ ($C1 = C2 = C3 = 0.022$ ไมโครฟารัด) ได้ผลการ
 ออกแบบและจำลองดังรูปที่ 3.12 รูปที่ 3.13 และรูปที่ 3.14

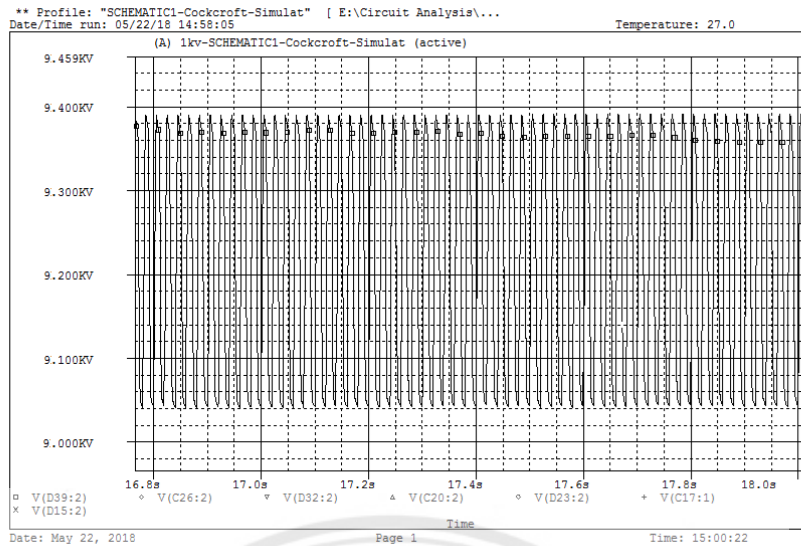


รูปที่ 3.12 วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดเต็มคลื่น (แบบที่ 2)



รูปที่ 3.13 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุทของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น
 (แบบที่ 2)

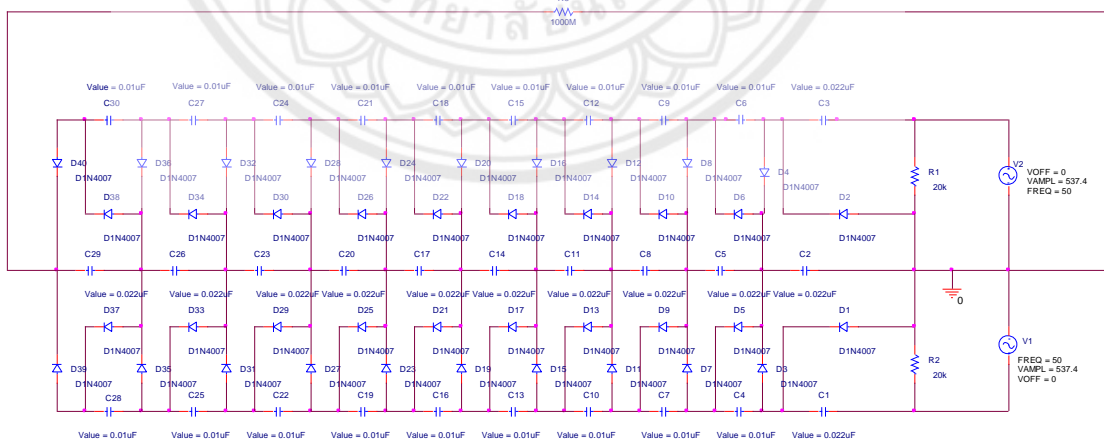
จากรูปที่ 3.13 แรงดันเอาต์พุทสูงสุดมีค่าเท่ากับ 9.39 กิโลโวลต์



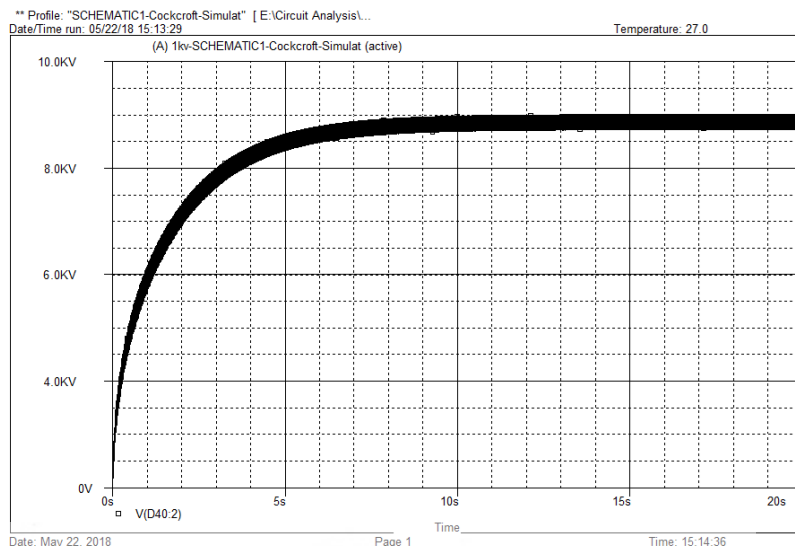
รูปที่ 3.14 ผลการวัดแรงดันระลอกของวงจรตีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น (แบบที่ 2)

จากรูปที่ 3.14 แรงดันเอาต์พุตสูงสุดมีค่าเท่ากับ 9.39 กิโลโวลต์ และ แรงดันเอาต์พุตต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 9.04 กิโลโวลต์ เมื่อนำมาคำนวณในสมการที่ (2.7) จะได้แรงดันระลอกเท่ากับ 175 โวลต์

แบบที่ 3 จากรูปที่ 3.2 ให้ค่าตัวเก็บประจุ ($C1 = C3 = 0.01$ ไมโครฟารัด , $C2 = 0.022$ ไมโครฟารัด) ได้ผลการออกแบบและจำลองดังรูปที่ 3.15 รูปที่ 3.16 และ รูปที่ 3.17

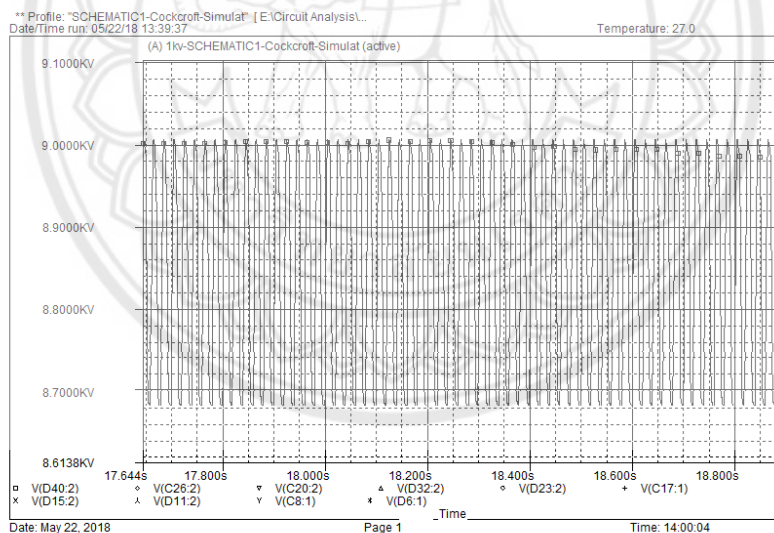


รูปที่ 3.15 วงจรตีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดเต็มคลื่น (แบบที่ 3)



รูปที่ 3.16 ผลการวัดแรงดันเอาต์พุตของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น
(แบบที่ 3)

จากรูปที่ 3.16 แรงดันเอาต์พุตสูงสุดมีค่าเท่ากับ 9 กิโลโวลต์



รูปที่ 3.17 ผลการวัดแรงดันระลอกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ชนิดเต็มคลื่น
(แบบที่ 3)

จากรูปที่ 3.17 แรงดันเอาต์พุตสูงสุดมีค่าเท่ากับ 9 กิโลโวลต์ และ แรงดันเอาต์พุตต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 8.685 กิโลโวลต์ เมื่อนำมาคำนวณในสมการที่ (2.7) จะได้แรงดันระลอกเท่ากับ 157.5 โวลต์

ตารางที่ 3.2 การเปรียบเทียบแรงดันเอาต์พุตสูงสุด และแรงดันระลอกของตัวเก็บประจุ 3 แบบ

ลักษณะวงจรทีวี แรงดันชนิดเต็มคลื่น	แรงดันเอาต์พุตสูงสุด (kV)	แรงดันเอาต์พุตต่ำสุด (kV)	แรงดันระลอก (V)
แบบที่ 1	7.90	7.49	205
แบบที่ 2	9.39	9.04	175
แบบที่ 3	9.00	8.72	157.5

จากตารางที่ 3.2 วัดค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุดทั้ง 3 แบบได้เท่ากับ 7.90 กิโลโวลต์ 9.39 กิโลโวลต์ และ 9 กิโลโวลต์ ตามลำดับ และ วัดค่าแรงดันเอาต์พุตต่ำสุดได้เท่ากับ 7.49 กิโลโวลต์ 9.04 กิโลโวลต์ และ 8.72 กิโลโวลต์ ตามลำดับ เมื่อนำค่าแรงดันเอาต์พุตสูงสุดและแรงดันเอาต์พุตต่ำสุดทั้ง 3 แบบไปแทนในสมการที่ (2.7) ทำให้ได้ค่าแรงดันระลอกเท่ากับ 205 โวลต์ 175 โวลต์ และ 157.5 โวลต์ ตามลำดับ ดังนั้น โครงการนี้จึงเลือกแรงดันเอาต์พุตของวงจรทีวีแรงดันแบบที่ 3 เนื่องจากทำให้เกิดแรงดันระลอกน้อยที่สุด

3.3 การเลือกไดโอด

ในการเลือกไดโอดจะพิจารณาตัวแปรดังต่อไปนี้

3.2.1 แรงดันย้อนกลับที่เกิดซ้ำ (Repetitive Peak Reverse Voltage)

แรงดันผกผันสูงสุดเป็นค่าที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วของแรงดันย้อนกลับเมื่อผ่านไดโอด และเมื่อนำค่าแรงดันย้อนกลับสูงสุดมาประมาณใช้ จะส่งผลให้กระแสไฟฟ้าไหลออกจากอุปกรณ์เพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่มีค่ามากกว่าค่าสูงสุด จะส่งผลให้วงจรทำงานผิดปกติหรือเกิดความเสียหายได้ เนื่องจากกระแสไฟรั่วไหลผ่านอุปกรณ์ ในกรณีของแรงดันย้อนกลับวงจรทีวีแรงดันของไดโอดแต่ละตัวจะเป็น 2Em ดังนั้นต้องเลือกอุปกรณ์แบบแรงดันย้อนกลับ (VRRM) และตั้งค่าน้อยกว่า 2Em

3.2.2 ความถี่ของสัญญาณอินพุต (Frequency of input signal)

การเลือกไดโอดแบบเรียงกระแสต้องคำนึงถึงความถี่ของสัญญาณอินพุตไปยังวงจรทีวีแรงดัน ในส่วนของสัญญาณอินพุตแบบสมมาตร ควรเลือกอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนความเร็วได้เมื่อเวลาของสัญญาณอินพุตเพิ่มขึ้นและลดลง แต่ถ้าเวลาคลื่นค่ามากเกินไปจะส่งผลให้ประสิทธิภาพและการควบคุมของอุปกรณ์ได้รับผลกระทบ ในกรณีที่ความเร็วในการคืนค่าไม่เพียงพอจะส่งผลให้อุปกรณ์เกิดความร้อน และทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายอย่างถาวร เวลาการกู้คืนแบบย้อนกลับขึ้นอยู่กับ

วงจรและสภาวะที่ใช้ในการวัด การคืนค่าการกู้คืนข้อมูลเวลาควรใช้สำหรับในเชิงคุณภาพ เนื่องจากเงื่อนไขสำหรับการวัดเป็นการวัดแบบอุดมคติ เมื่อต้องการลดการไหลของกระแสในวงจรตัวคุณ สามารถทำได้โดยใช้ความถี่อินพุตที่สูงขึ้น และเมื่อเพิ่มโหนดในวงจรทวิแรงดันจะไม่มีผลต่อค่ากระแสไฟฟ้า

3.2.3 การไหลผ่านของกระแสไปข้างหน้าระยะเวลาสั้น (Peak Forward Surge Current ; I_{fsm})

ไดโอดแบบเรียงกระแส ส่วนมากจะขึ้นอยู่กับค่าสูงสุดของสัญญาณคลื่นรูปไซน์ เมื่อเกิดการซ้อนทับบนอุปกรณ์กระแสไฟฟ้าสามารถไหลได้โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีความสำคัญมากเมื่อพิจารณาถึงค่าความจุที่มีขนาดใหญ่มาเกี่ยวข้องกับวงจรคุณ

3.2.4 กระแสไหลไปข้างหน้า (Forward Current ; I_o)

ในหัวข้อที่ได้กล่าวมาข้างต้นวงจรทวิแรงดันในอุดมคติ โหนดจะไม่มีกระแสไฟฟ้า โดยการไหลของกระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นระหว่างการเก็บประจุของตัวเก็บประจุ ดังนั้นอุปกรณ์ที่มีกระแสไฟต่ำ (100 mA) และในกรณีของ สายเคเบิล HT / MV มีกระแสไฟฟ้าต่ำ (ไมโครแอมแปร์) ที่สามารถนำมาใช้ได้

3.2.5 แรงดันไฟฟ้าไปข้างหน้า (Forward voltage ; V_f)

แรงดันไฟฟ้าตก ของวงจรเรียงกระแสไม่มีผลต่อประสิทธิภาพวงจรทวิแรงดัน ตัวอย่างเช่นถ้าไดโอดเรียงกระแส มีแรงดันตก 2 โวลต์ เมื่อวัดที่กระแส 100 mA และครั้งคลื่นของวงจรทวิแรงดัน 8 kV เอาร์ทพุต จะมีค่า 0.05% ($2 \times 2/8$ kV) เนื่องจากการลดประสิทธิภาพของแรงดันไฟฟ้าไปข้างหน้า

เนื่องจากวงจรทวิแรงดันแบบ Cockcroft Walton เป็นวงจรที่มีแรงดันสูง ฉะนั้นอุปกรณ์จำพวก Passive จึงต้องสามารถทนแรงดันได้สูงเป็นอย่างต่ำ 1000 โวลต์ ซึ่งการเลือกใช้ไดโอดจำเป็นต้องทนแรงดันกลับทางเดียว (Reverse Bias) ได้อย่างน้อย 1000 โวลต์ และกระแส 1 แอมแปร์ โดยโครงการนี้ได้เลือกใช้ไดโอด 1N4007

3.4 การออกแบบแรงดันเอาต์พุทกระแสตรง

ในโครงการนี้จะป้อนแรงดันสูงสุด 380 โวลต์ ให้วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton ดังนั้น ในการออกแบบแรงดันเอาต์พุทสูงสุด ควรพิจารณาจากสมการที่ (2.8)

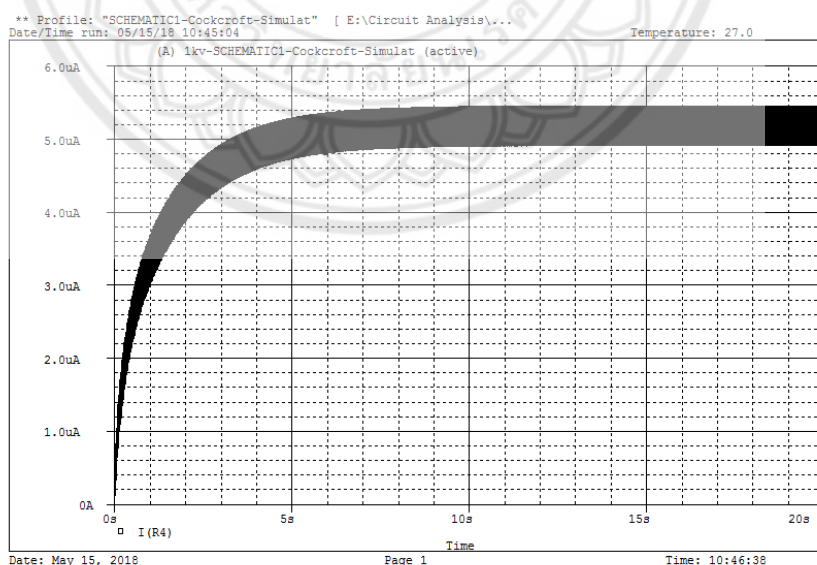
$$\text{จาก } (V_{dc})_{opt} = (2n_{opt} V_{max}) = (2 \times 10 \times 380 \sqrt{2}) = 10748.02 \text{ V}$$

ดังนั้น แรงดันเอาต์พุทสูงสุดโดยไม่คิดแรงดันตก ควรมีค่าประมาณ 10748 โวลต์

3.5 การออกแบบจำนวนชั้นที่เหมาะสม

ในการหาจำนวนชั้นที่เหมาะสมสำหรับวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น จำเป็นต้องทราบค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลด ซึ่งสามารถคำนวณแรงดันตกได้จากสมการที่ (2.3) โดยค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลดที่ได้จากการจำลองวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่นแบ่งออกเป็น 3 แบบ ดังนี้

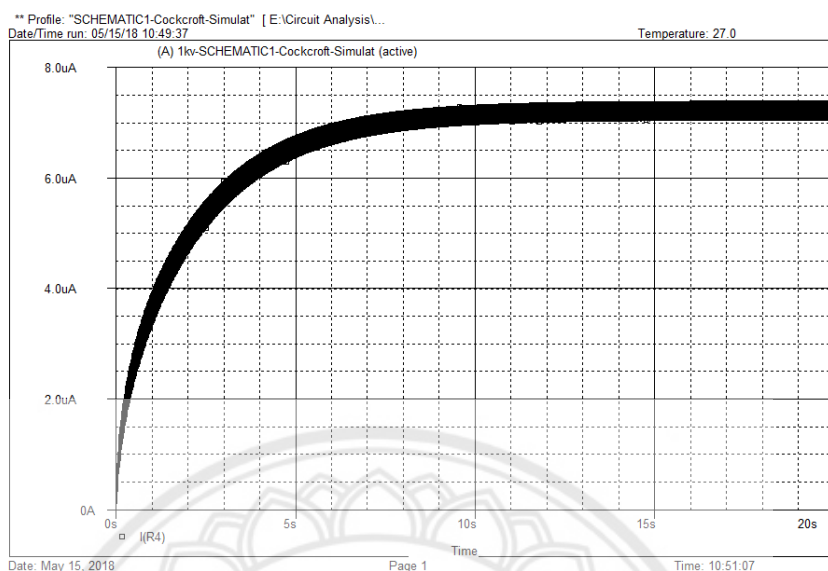
แบบที่ 1 จากรูปที่ 3.2 ให้ค่าตัวเก็บประจุ ($C_1 = C_2 = C_3 = 0.01$ ไมโครฟารัด) ได้ผลการจำลองดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 ผลการวัดกระแสที่ไหลผ่านโหลดของวงจรทวีแรงดัน (แบบที่ 1)

จากรูปที่ 3.8 กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลดมีค่าเท่ากับ 5.3 ไมโครแอมแปร์

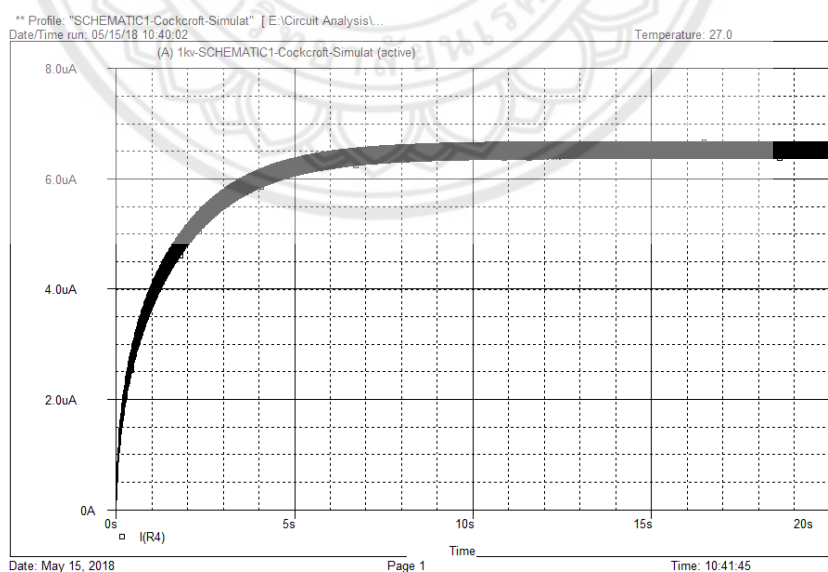
แบบที่ 2 จากรูปที่ 3.2 ให้ค่าตัวเก็บประจุ ($C_1 = C_2 = C_3 = 0.022$ ไมโครฟารัด) ได้ผลการจำลองดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ผลการวัดกระแสที่ไหลผ่านโหลดของวงจรทวิแรงดัน (แบบที่ 2)

จากรูปที่ 3.19 กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลดมีค่าเท่ากับ 7.4 ไมโครแอมแปร์

แบบที่ 3 จากรูปที่ 3.2 ให้ค่าตัวเก็บประจุ ($C_1 = C_3 = 0.01$ ไมโครฟารัด , $C_2 = 0.022$ ไมโครฟารัด) ได้ผลการจำลองดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ผลการวัดกระแสที่ไหลผ่านโหลดของวงจรทวิแรงดัน (แบบที่ 3)

จากรูปที่ 3.20 กระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลดมีค่าเท่ากับ 6.3 ไมโครแอมแปร์

ตารางที่ 3.3 การเปรียบเทียบกระแสที่ไหลผ่านโหลดของตัวเก็บประจุ 3 แบบ

ลักษณะวงจรทวิแรงดันชนิดเต็มคลื่น	กระแสที่ไหลผ่านโหลด (μA)	แรงดันตก (V)
แบบที่ 1	5.30	2067.00
แบบที่ 2	7.40	1311.82
แบบที่ 3	6.30	1116.82

จากตารางที่ 3.3 วัดค่ากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลดทั้ง 3 แบบได้เท่ากับ 5.3 ไมโครแอมแปร์ 7.4 ไมโครแอมแปร์ และ 6.3 ไมโครแอมแปร์ ตามลำดับ เมื่อนำค่ากระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลดทั้ง 3 แบบไปแทนในสมการที่ (2.3) ทำให้ได้ค่าแรงดันตกเท่ากับ 2067 โวลต์ 1311.82 โวลต์ และ 1116.82 โวลต์ ตามลำดับ ดังนั้นโครงการนี้จึงเลือกกระแสเฉลี่ยที่ไหลผ่านโหลดของวงจรทวิแรงดันแบบที่ 3 เนื่องจากทำให้เกิดแรงดันตกน้อยที่สุด

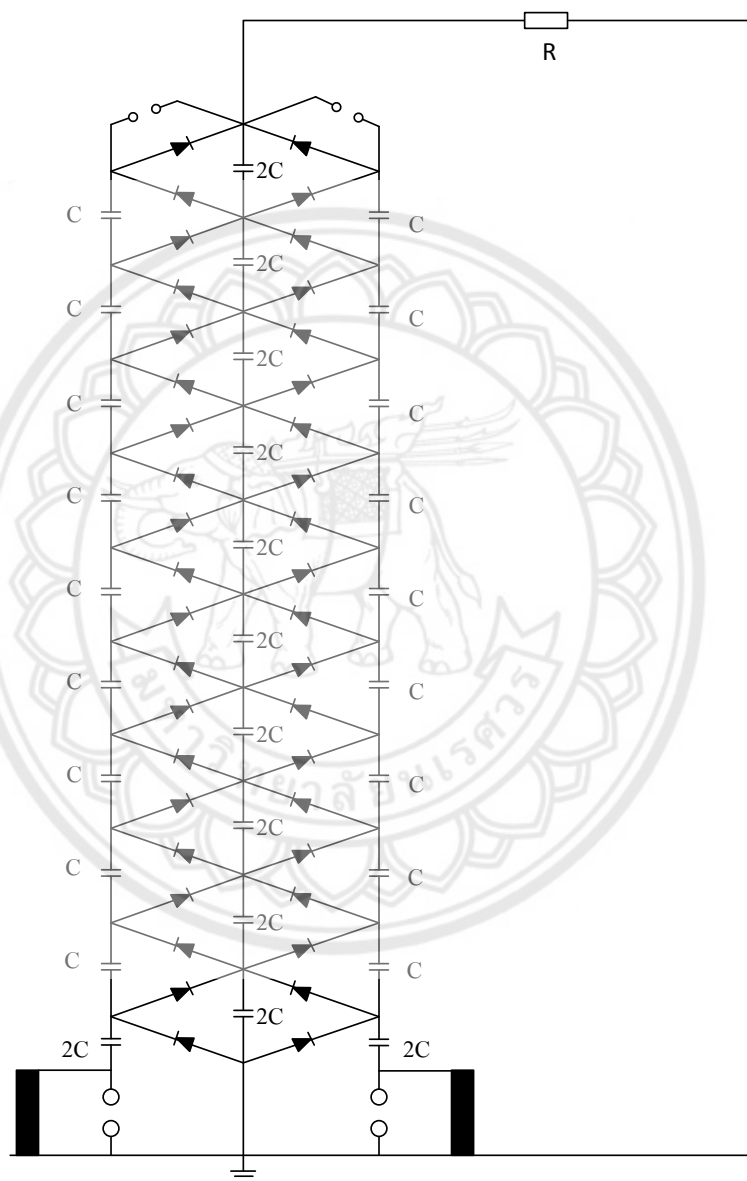
หลังจากทราบค่ากระแสที่ไหลผ่านโหลดที่เหมาะสมสำหรับวงจรทวิแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น สามารถคำนวณหาจำนวนชั้นที่เหมาะสมได้ดังสมการที่ (2.10) ดังนี้

$$n_{opt} = \sqrt{\frac{V_{max} f C}{I_{dc}}} = \sqrt{\frac{380\sqrt{2} \times 50 \times 0.022 \times 10^{-6}}{6.3 \times 10^{-6}}} = 9.68 \approx 10$$

ดังนั้น จำนวนชั้นที่เหมาะสมสำหรับวงจรทวิแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น มีค่าเท่ากับ 9.68 หรือประมาณ 10 ชั้น

3.6 การออกแบบวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft Walton จำนวน 10 ชั้น

ในการออกแบบชุดวงจรเพิ่มแรงดันแบบ Cockcroft Walton จะเลือกออกแบบวงจรทวีแรงดันแบบเต็มคลื่นดังแสดงในรูปที่ 3.21 เนื่องจากวิธีการนี้จะทำให้ตัวเก็บประจุเกิดการชาร์จเป็น 2 เท่าในหนึ่งรอบ ส่งผลให้แรงดันระลอกมีการกระเพื่อมลดลง และแรงดันตกลดลงด้วยเช่นกัน



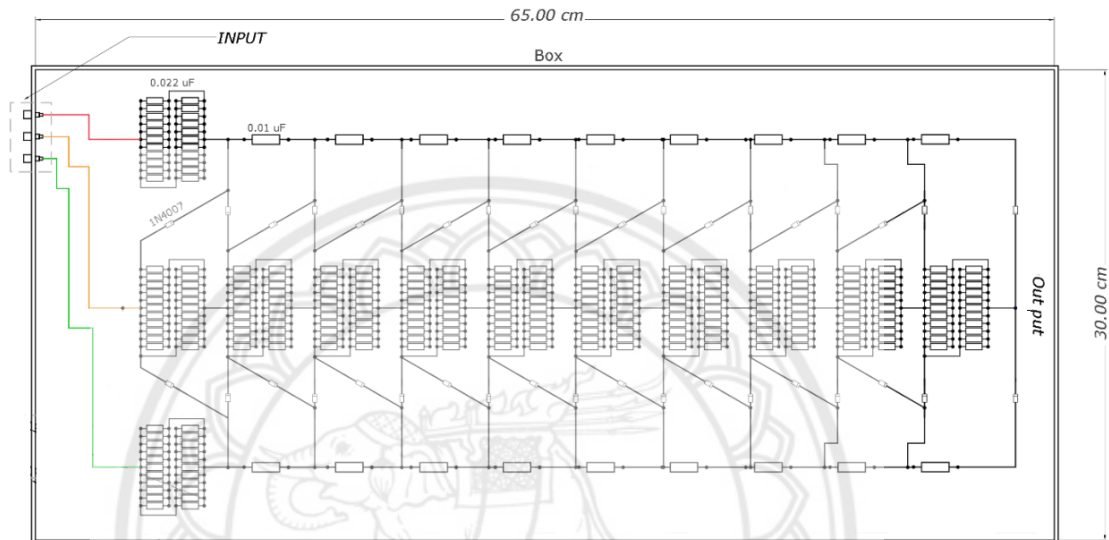
รูปที่ 3.21 วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft walton จำนวน 10 ชั้น

โดย R คือ ค่าความต้านทานของโพรบแรงดันไฟฟ้าแรงสูง (Ω)

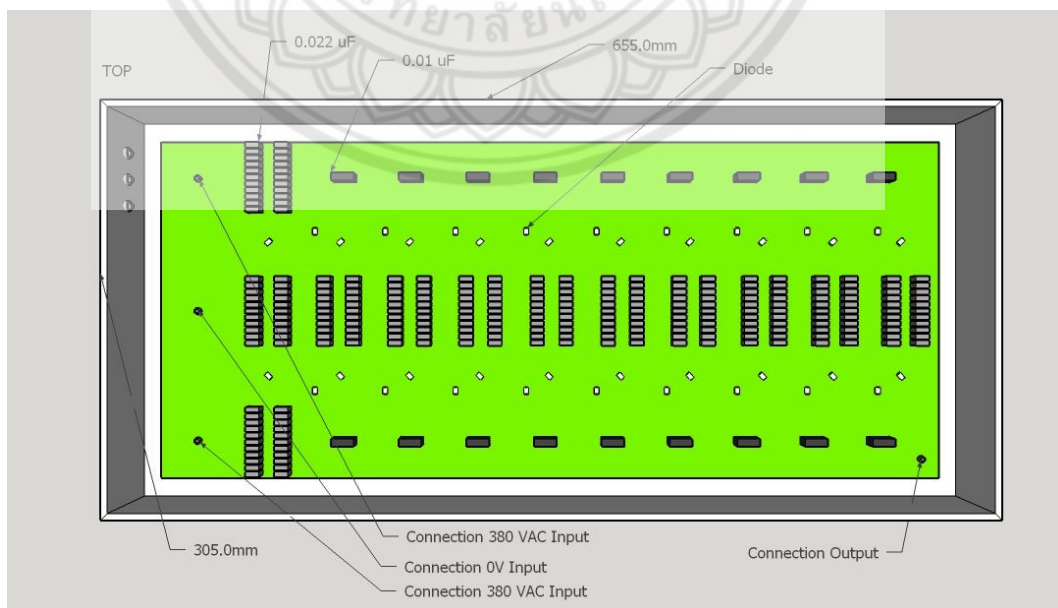
C คือ ตัวเก็บประจุ (F)

3.7 การออกแบบโครงสร้างชุดวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton

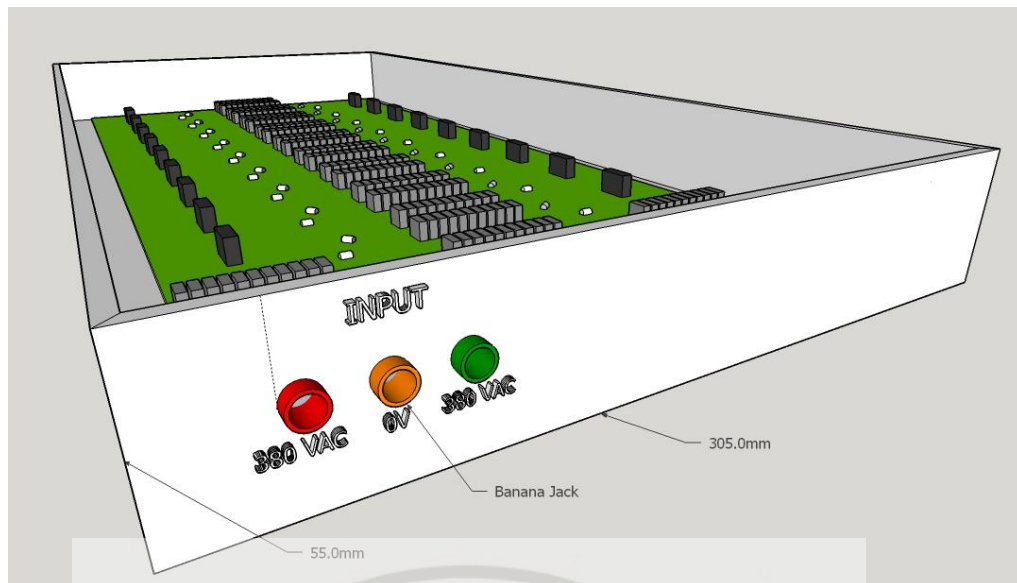
การออกแบบโครงสร้างที่ใช้ยัดวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดเต็มคลื่น
 โครงการนี้ได้ออกแบบโดยนำกล่องอะครีลิกขนาด 30 x 65 cm ใช้ยัดแผ่นวงจร และใช้แผ่น PCB ยึด
 ตัวเก็บประจุและไดโอด



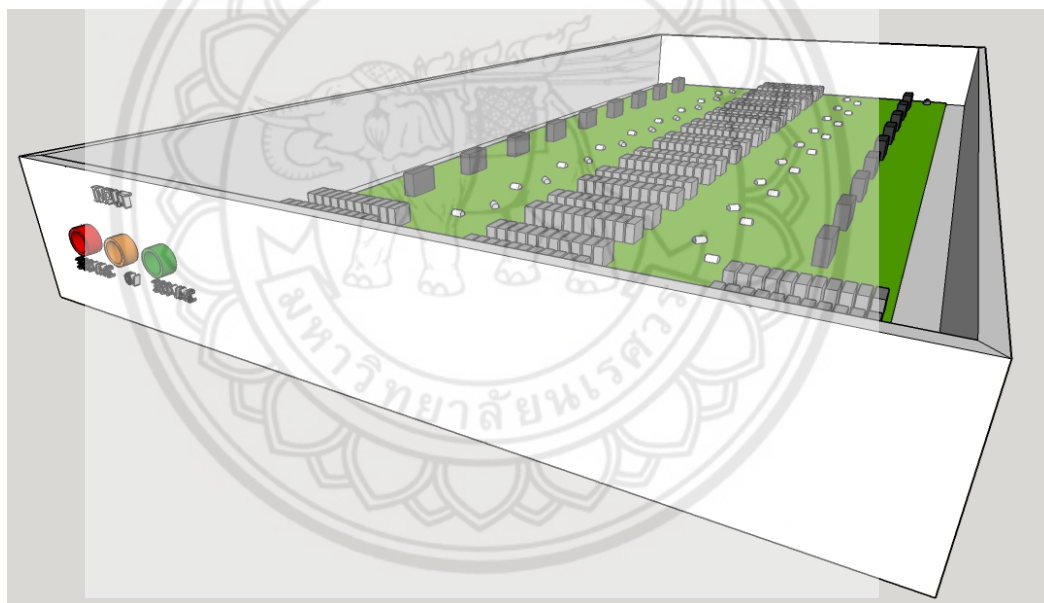
รูปที่ 3.22 Top View 2D การออกแบบโครงสร้างวงจรทวีแรงดัน



รูปที่ 3.23 TOP View 3D การออกแบบโครงสร้างวงจรทวีแรงดัน



รูปที่ 3.24 Right View 3D การออกแบบโครงสร้างวงจรถวีแรงดัน

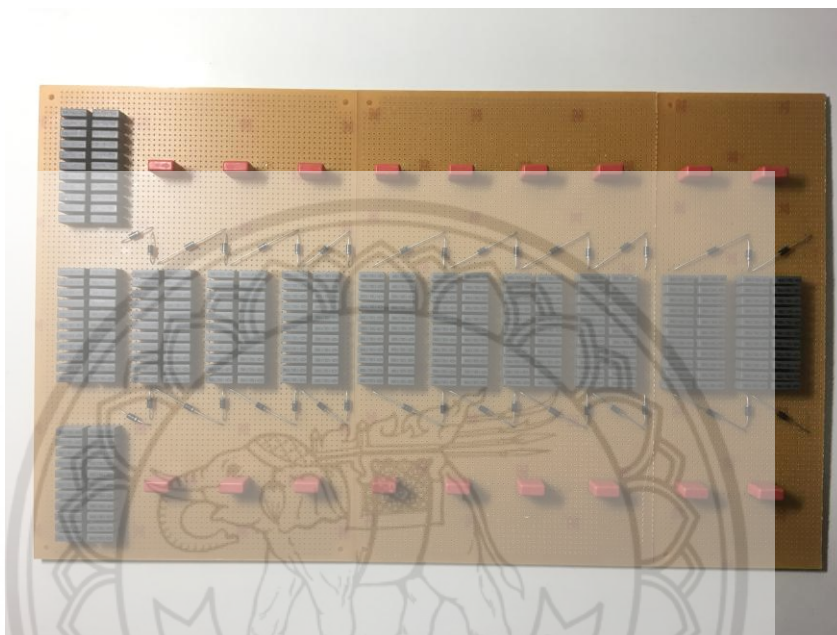


รูปที่ 3.25 Left View 3D การออกแบบโครงสร้างวงจรถวีแรงดัน

3.8 การสร้างวงจรทีวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น

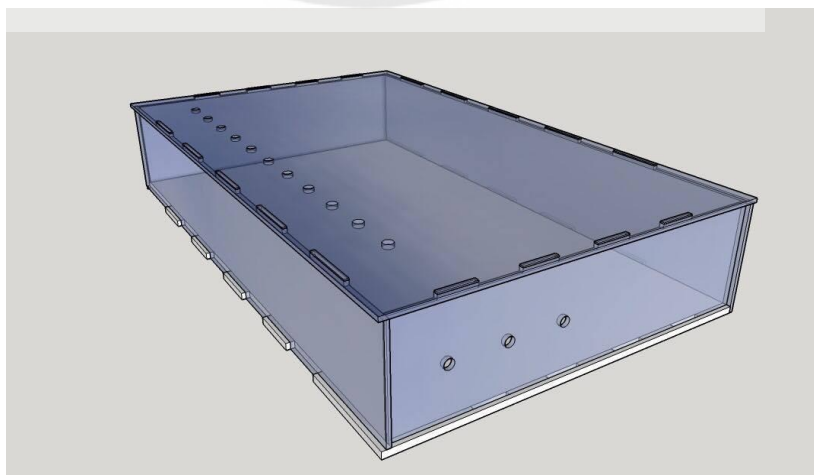
หลังจากที่ได้ออกแบบวงจรและโครงสร้างของวงจรแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการจัดสร้างวงจรทีวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดเต็มคลื่น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.8.1 สร้างวงจรทีวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น



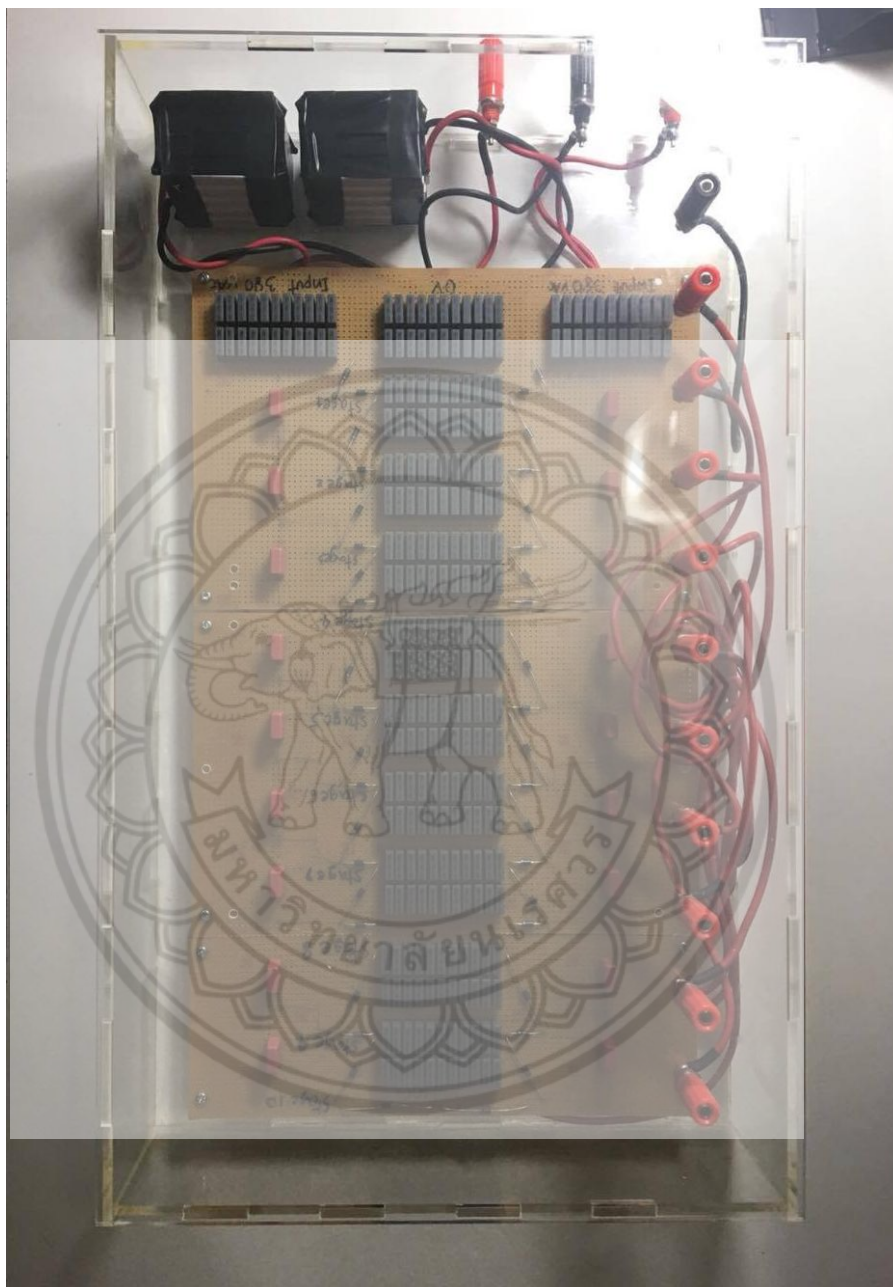
รูปที่ 3.26 วงจรทีวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น

3.8.2 สร้างกล่องใส่วงจรทีวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น



รูปที่ 3.27 กล่องใส่วงจรทีวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น

หลังจากที่สร้างวงจรและกล่องใส่วงจรทีวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น
เสร็จแล้ว เมื่อประกอบวงจรใส่ในกล่องจะได้ชุดทดลองดังแสดงในรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 ชุดทดลองวงจรทีวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น

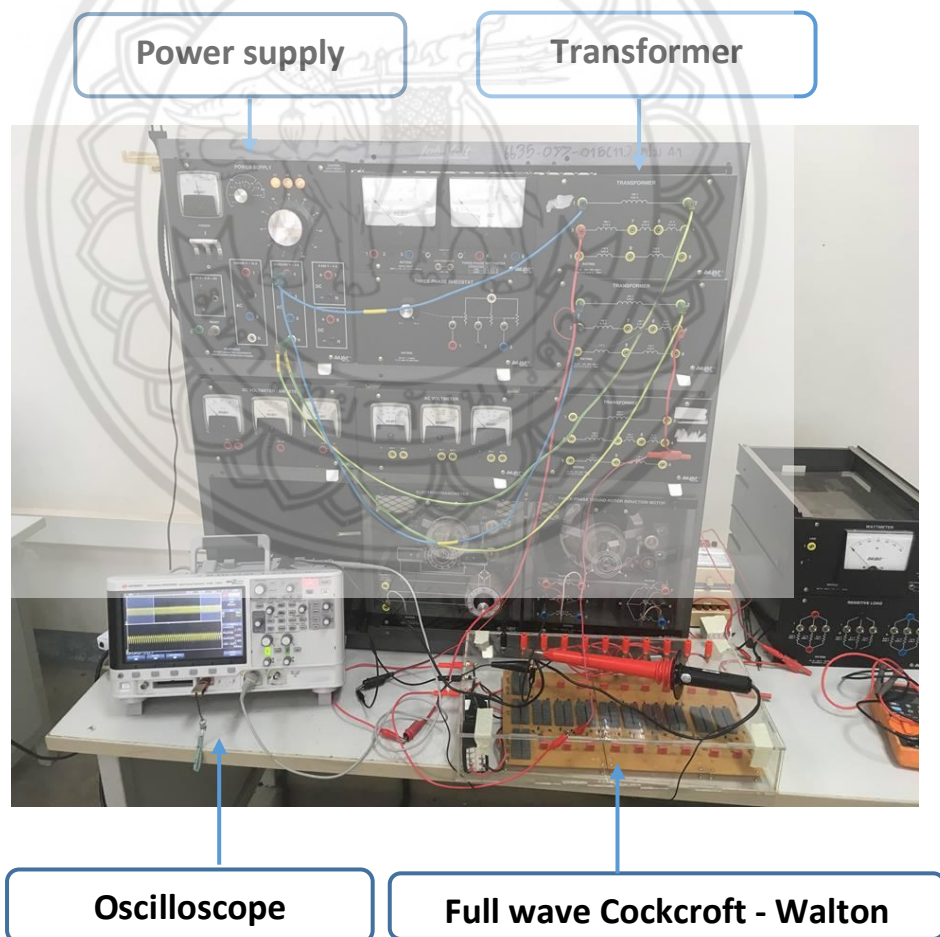
บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

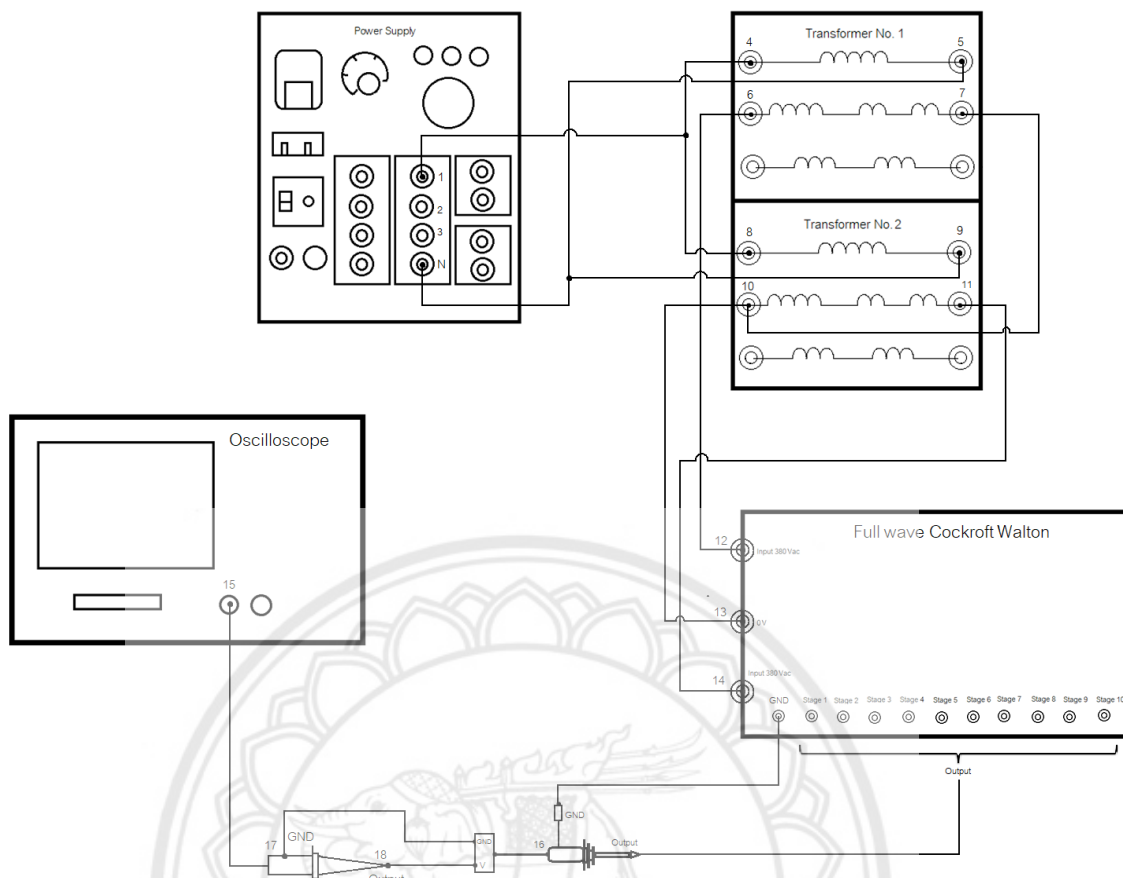
หลังจากออกแบบและสร้างวงจรทวิแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น ขึ้น
ต่อไปเป็นการทดสอบการทำงาน ความสามารถ และขีดจำกัดในการทำงานของวงจร

4.1 ภาพรวมการต่อวงจร

หลังจากออกแบบ จำลอง และจัดสร้างวงจรทวิแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็ม
คลื่นเรียบร้อยแล้ว เมื่อนำวงจรทวิแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่นไปทดสอบ มี
ภาพรวมการต่อวงจรดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ภาพรวมการต่อวงจร

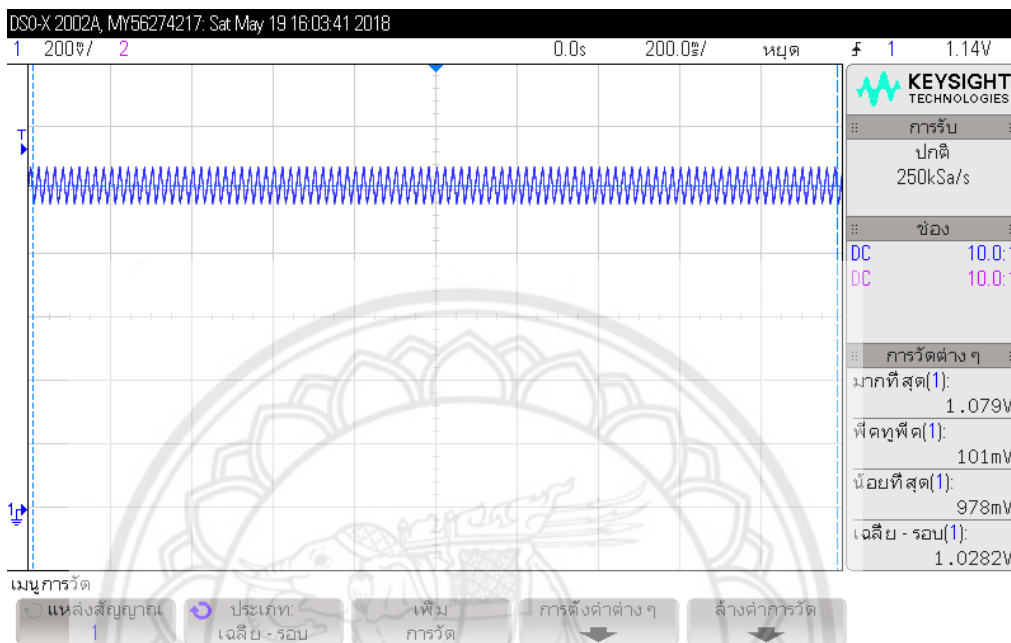


รูปที่ 4.2 ไดอะแกรมการต่อวงจร

จากรูปที่ 4.2 ในการทดลองจริงแหล่งจ่ายไฟฟ้าจะจ่ายแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ไปยังหม้อแปลงไฟฟ้า 2 ตัว ในการทดลองนี้ต้องการแรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์ ดังนั้นการหาขั้วของหม้อแปลงนั้นจะต้องต่อขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิอนุกรมกัน ซึ่งจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าขั้วเสริมกัน หรือ ขั้วหักล้างกัน ในที่นี้ต่อขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าให้เสริมกันทำให้ได้แรงดันไฟฟ้า 380 โวลต์จ่ายให้กับวงจรทวีแรงดันแบบ Cockroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น หลังจากนั้นใช้โพรบวัดแรงดันเอาท์พุท และแรงดันระลอกของวงจร เพื่อดูผลผ่านหน้าจอของออสซิลโลสโคป

ในการทดสอบการทำงาน ความสามารถ และขีดจำกัดในการทำงานของวงจร แบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน ดังนี้

- 1) การทดสอบแรงดันเอ๊าท์พุท
- 2) การทดสอบแรงดันระลอก



รูปที่ 4.3 แสดงค่าแรงดันเอ๊าท์พุทสูงสุด – ต่ำสุดค่าเฉลี่ยแรงดันเอ๊าท์พุท และ แรงดันระลอก จากการทดลองวัดจริงในชั้นที่ 1

4.2 การทดสอบแรงดันเอ๊าท์พุท

จากการคำนวณทางทฤษฎี การจำลอง และ การทดลองวัดจริงของวงจรทวิแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น ได้ค่าแรงดันเอ๊าท์พุทแสดงดัง ตารางที่ 4.1 ซึ่งแรงดันเอ๊าท์พุทเฉลี่ยจากทฤษฎีเมื่อคิดแรงดันตกสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.3) และแรงดันเอ๊าท์พุทเฉลี่ยที่ได้จากการวัดจริงมีการชดเชยค่าความผิดพลาดด้วยการคูณค่าตัวประกอบการปรับแก้ (correction factor) ที่ได้จากสมการที่ (2.10) เนื่องจากค่า อินพุทอิมพีแดนซ์ของออสซิลโคปที่ใช้วัดในวงจรมีค่าเท่ากับ 1 เมกะโอห์ม ดังนั้นจะได้ค่าตัวประกอบการปรับแก้เท่ากับ 1.9

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันเอาร์ทพุทและร้อยละความคลาดเคลื่อนทางทฤษฎี การจำลอง และการทดลองวัดจริง

ลำดับ ชั้น	แรงดัน อินพุท	แรงดันเอาร์ทพุท เฉลี่ยจากทฤษฎี (V) เมื่อคิด แรงดันตก	แรงดัน เอาร์ทพุทเฉลี่ย จากการจำลอง (V)	แรงดันเอาร์ทพุท เฉลี่ยจากการ ทดลองวัดจริง (V)	ความคลาดเคลื่อน (%) ระหว่างทฤษฎี เมื่อคิดแรงดันตกกับ การทดลองวัดจริง	ความคลาดเคลื่อน (%) ระหว่างการ จำลองกับการ ทดลองวัดจริง
1	380	1067.98	1050.00	1953.58	45.33	46.25
2	380	2122.33	2075.00	3632.23	41.57	42.87
3	380	3153.96	3025.00	5054.00	37.59	40.15
4	380	4153.76	3925.00	6222.50	33.25	36.92
5	380	5112.65	4800.00	7220.00	29.19	33.52
6	380	6021.54	5650.00	7951.50	24.27	28.94
7	380	6871.35	6450.00	8417.00	18.36	23.37
8	380	7652.97	7250.00	8721.00	12.25	16.87
9	380	8357.31	8050.00	8797.00	5.00	8.49
10	380	8975.29	8800.00	8873.00	1.14	0.82

จากตารางที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงดันเอาร์ทพุทเฉลี่ยจากการการทดลองวัดจริง กับ ทางทฤษฎีเมื่อคิดค่าแรงดันตก และการจำลอง พบว่า แรงดันเอาร์ทพุทเฉลี่ย ณ ลำดับชั้นที่ 10 มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่ากับ 1.14% เมื่อเทียบกับทฤษฎี และเท่ากับ 0.82% เมื่อเทียบกับการจำลอง ดังนั้น ลำดับชั้นที่ 10 จึงมีความเหมาะสมสำหรับการออกแบบวงจรทีวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่นมากที่สุด

4.3 การทดสอบแรงดันระลอก

จากการคำนวณทางทฤษฎี การจำลอง และ การทดลองวัดจริงของวงจรทีวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น ได้ค่าแรงดันระลอกแสดงดัง ตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันระลอกและร้อยละความคลาดเคลื่อนทางทฤษฎี การจำลอง และ การทดลองวัดจริง

ลำดับ ชั้น	แรงดัน อินพุท	แรงดัน ระลอก จากทฤษฎี (V)	แรงดัน ระลอก จากการ จำลอง (V)	แรงดัน ระลอกจาก การทดลอง วัดจริง (V)	ความคลาดเคลื่อน (%) ระหว่างทฤษฎี เมื่อคิดแรงดันตกกับ การทดลองวัดจริง	ความคลาดเคลื่อน (%) ระหว่างการ จำลองกับการ ทดลองวัดจริง
1	380	2.95	50	101	97.08	50.50
2	380	8.86	70	110	91.95	36.36
3	380	17.72	80	120	85.23	33.33
4	380	29.55	100	130	77.27	23.08
5	380	44.32	110	140	68.34	21.43
6	380	62	130	150	58.67	13.33
7	380	82.73	140	160	48.29	12.50
8	380	106.36	150	160	33.53	6.25
9	380	133	155	160	16.86	3.13
10	380	162.50	157.50	160	1.54	1.56

จากตารางที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของแรงดันระลอกจากทฤษฎี จากการจำลองและ จากการทดลองวัดจริงจะเพิ่มมากขึ้น ก็ต่อเมื่อชั้นที่วัดสูงขึ้น สรุปได้ว่า จากการทดลองวัดจริงแรงดันระลอกสูงสุดที่มีความเหมาะสมกับทฤษฎี และ การจำลอง คือแรงดันระลอก ณ ลำดับชั้นที่ 10 ซึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดเท่ากับ 1.54% และ 1.56% ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการนี้ได้ทำการสร้างวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น เพื่อใช้เป็นชุดทดลองในการเรียนการสอนร่วมกับการคำนวณตามทฤษฎีที่มีการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าภายในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงดันสูง โดยได้ออกแบบและจัดสร้างชุดทดลองด้วยการพิจารณาการเลือกตัวเก็บประจุขนาด 0.01 ไมโครฟารัด และ 0.022 ไมโครฟารัด ซึ่งทนแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมได้ 1000 โวลต์ และ 1600 โวลต์ เลือกไดโอด 1N4007 ซึ่งทนแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมได้ 1000 โวลต์ และ ออกแบบจำนวนชั้นที่เหมาะสม 10 ชั้นสำหรับวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น จากการทดสอบประสิทธิภาพของวงจรพบว่า แรงดันเอาต์พุตเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 8.873 กิโลโวลต์ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับทฤษฎีและการจำลองเท่ากับ 1.14% และ 0.82% ตามลำดับ ส่วนแรงดันระลอกมีค่าเท่ากับ 160 โวลต์ โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบกับทฤษฎีและการจำลองเท่ากับ 1.54% และ 1.56% ตามลำดับ

5.2 ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

- 1) อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำฮาร์ดแวร์ ค่อนข้างหายาก ต้องใช้เวลาในการหาพอสมควร
- 2) อุปกรณ์บางชนิดต้องสั่งจากต่างประเทศ จำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการขนส่งพอสมควร
- 3) ในการทดลอง ขาดอุปกรณ์เสริมที่ช่วยในการวัดค่าจริงของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น เนื่องจากต้องใช้โพรบแรงดันไฟฟ้าแรงสูงต่อเข้ากับโพรบของออสซิลโลสโคปทำให้ต้องคุณตัวประกอบการปรับแก้เพื่อให้ได้ค่าจริงของวงจร
- 4) ในการทดลอง จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงแบบ center tap แต่ในห้องทดลองไม่มีหม้อแปลงชนิดนี้ จึงต้องประยุกต์ใช้หม้อแปลงขนาด 220 โวลต์ 2 ตัว ต่อขั้วแบบเสริมกันแทน

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อไป

- 1) ในการต่อวงจรไฟฟ้า สามารถทำการการออกแบบลายทองแดง แทนการต่อสายไฟแบบธรรมดา
- 2) ทำการทดสอบวงจรในสภาวะโหลดที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

เอกสารอ้างอิง

วงจรถีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม 2560, จาก

<http://hrd.rmutl.ac.th/qa/docUpload/pj/3509900890337/150728113426fullpp.pdf>

J. D. Cockcroft and E. Walton, “Experiments with high velocity positive ions.(i)further developments in the method of obtaining high velocity positive ions,” *A Series of Reference Books and Textbooks*, vol. 63, 1990.

M. M.Weiner, “Analysis of cockcroft-walton voltage multipliers with an arbitrary number of stages,” *Reviess of Scientific Instruments*, vol. 2, pp. 330–333, 1969.

ตัวเก็บประจุ สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม 2560, จาก

https://www.mwit.ac.th/~ponchai/webCapacitor/WBTPI_Model/Capacitor/capacitor3.html

การทำงานของตัวเก็บประจุ สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม 2560, จาก

<http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews//hydraulic-pump/hydraulic-pump11.htm>

ไดโอด สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม 2560, จาก

<http://webstaff.kmutt.ac.th/~ekapon.siw/ENE103/Kamon/ElectroElecCH3.doc>

โพรบ สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม 2560, จาก

<http://vetgetarians.blogspot.com/2013/11/probe-for-oscilloscope.html>

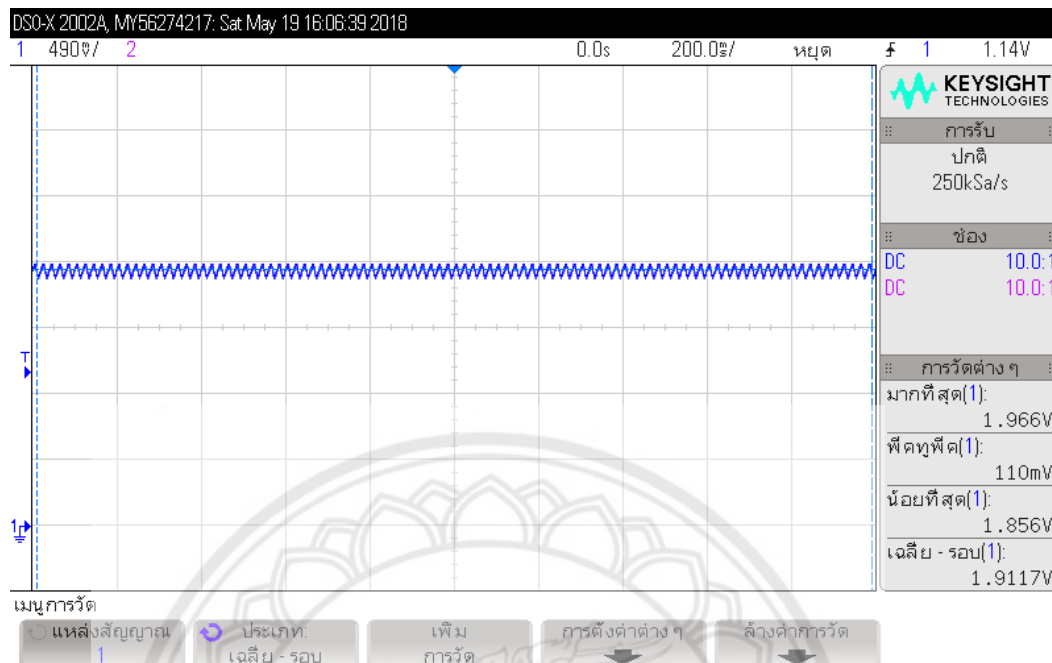
การเลือกตัวเก็บประจุ และ การเลือกไดโอด สืบค้นเมื่อ กรกฎาคม 2560, จาก

https://www.researchgate.net/publication/224213981_Multi

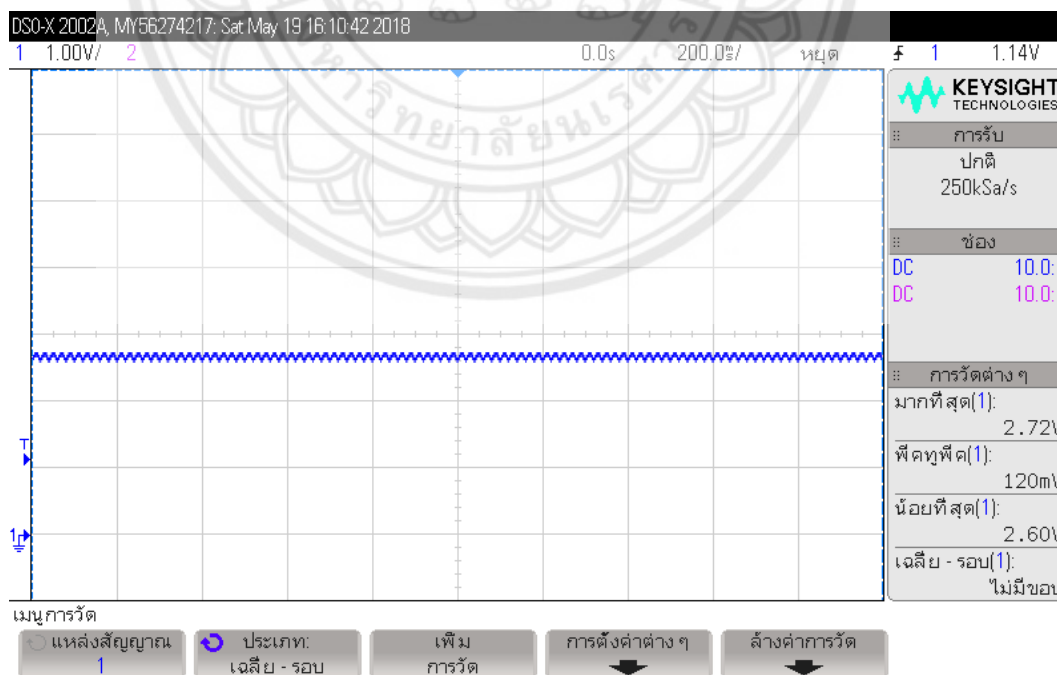
purpose_Low_Cost_DC_High_Voltage_Generator_60kV_Output_Using_CockcroftWalton_Voltage_Multiplier_Circuit



การทดสอบวงจรทวิทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดเต็มคลื่น



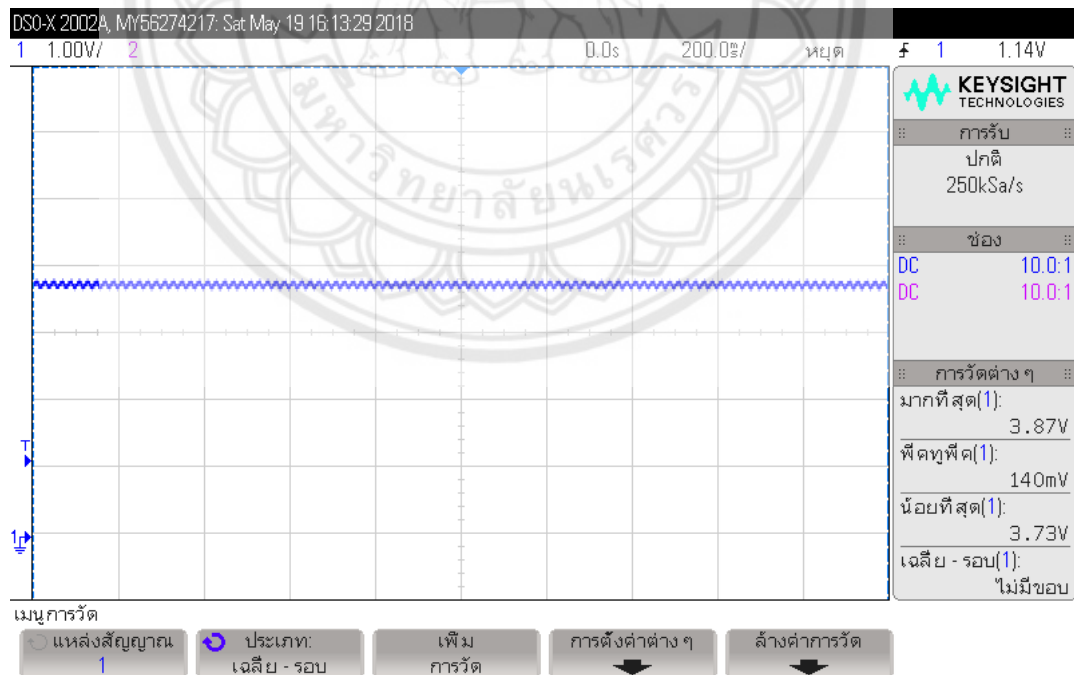
รูปที่ 1 แสดงแรงดันเอาต์พุตสูงสุด - ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองวัดจริงใน
ชั้นที่ 2



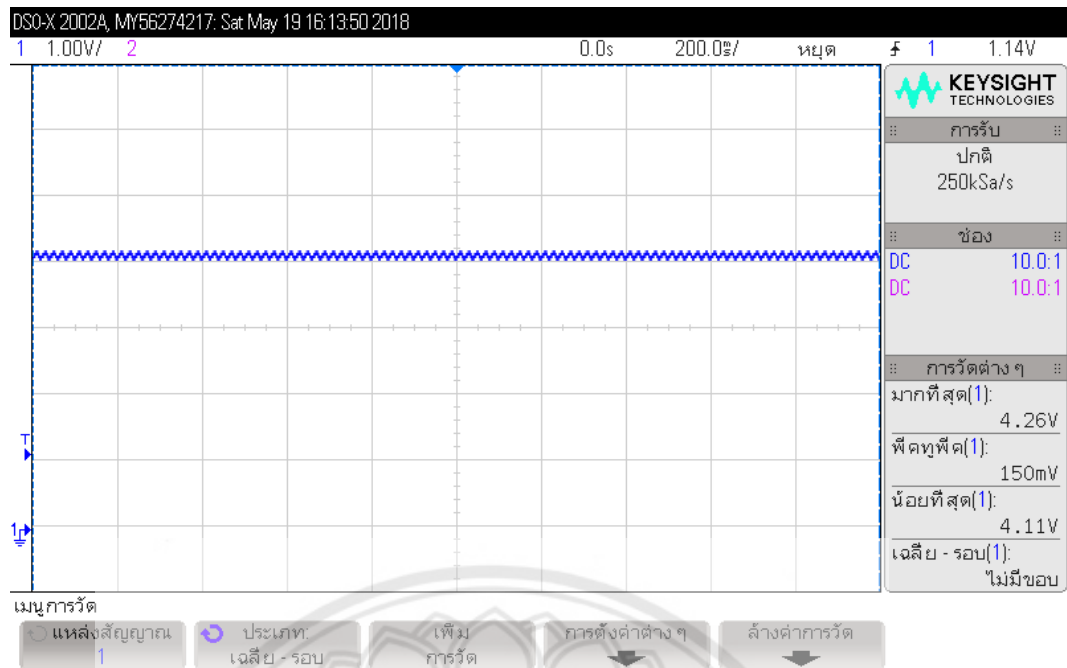
รูปที่ 2 แสดงแรงดันเอาต์พุตสูงสุด - ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองวัดจริงใน
ชั้นที่ 3



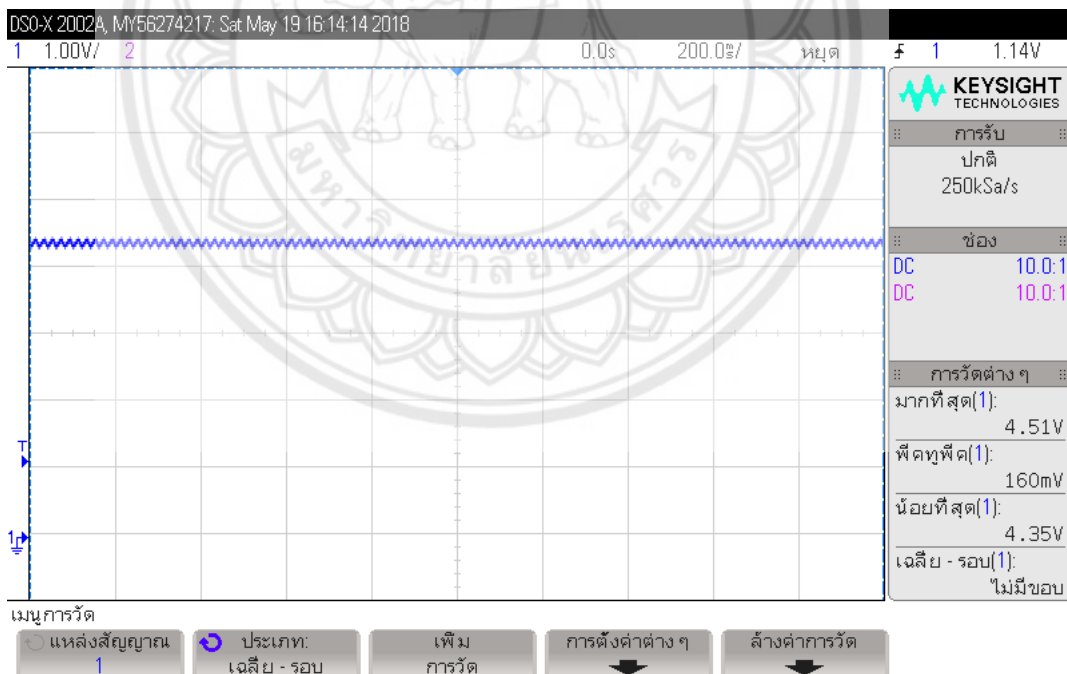
รูปที่ 3 แสดงแรงดันเอาต์พุตสูงสุด – ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองวัดจริงใน
ชั้นที่ 4



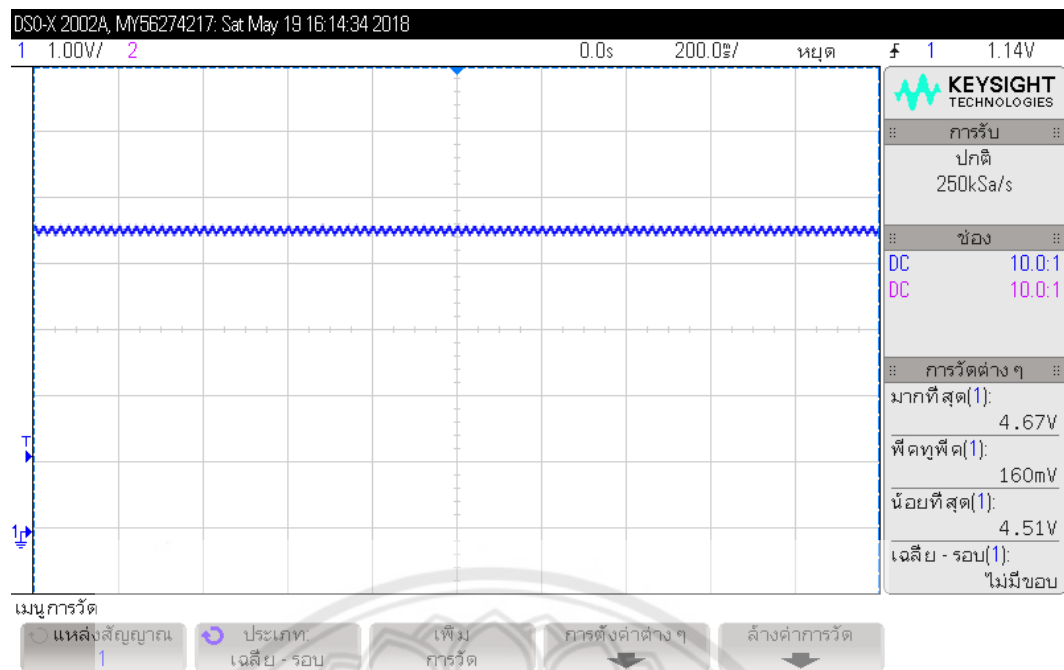
รูปที่ 4 แสดงแรงดันเอาต์พุตสูงสุด – ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองวัดจริงใน
ชั้นที่ 5



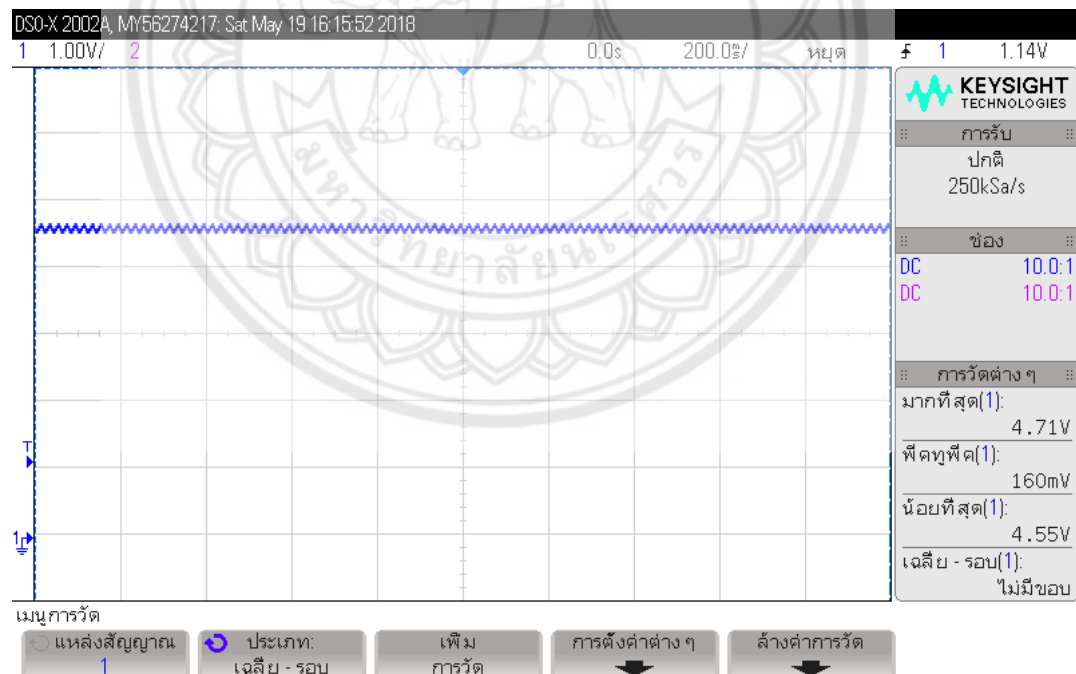
รูปที่ 5 แสดงแรงดันเอาต์พุตสูงสุด – ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองวัดจริงใน
ชั้นที่ 6



รูปที่ 6 แสดงแรงดันเอาต์พุตสูงสุด – ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองวัดจริงใน
ชั้นที่ 7



รูปที่ 7 แสดงแรงดันเอาต์พุตสูงสุด – ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองวัดจริงใน
ชั้นที่ 8



รูปที่ 8 แสดงแรงดันเอาต์พุตสูงสุด – ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองวัดจริงใน
ชั้นที่ 9



รูปที่ 9 แสดงแรงดันเอาต์พุตสูงสุด – ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยแรงดันเอาต์พุตจากการทดลองวัดจริงใน
ชั้นที่ 10



ปฏิบัติการเรื่อง วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น

วัตถุประสงค์

เพื่อทดลองวัดค่าแรงดันเอาต์พุตและแรงดันระลอกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น

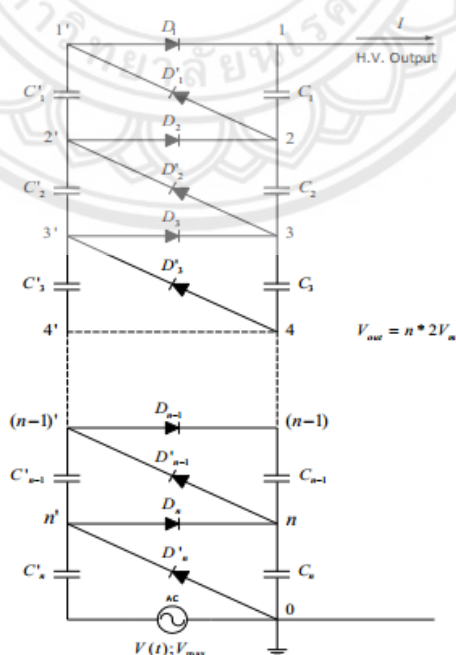
ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton

ในปี พ.ศ.2475 นักฟิสิกส์ 2 ท่านคือ Cockcroft และ Walton ได้สร้างวงจรอีกแบบโดยอาศัยการต่อคาสเคดวงจรย่อยแบบทวีแรงดันโดยลักษณะของวงจรแสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งหม้อแปลงแรงสูงแทนด้วยแหล่งจ่ายแรงดัน $V(t)$ วงจรนี้เรียกว่า n-stage Cockcroft-Walton ซึ่งให้แรงดันสูง $2n$ เท่า ของขนาดสูงสุดของแรงดัน $V(t)$ โดยที่ n คือจำนวนชั้นของการต่อแบบคาสเคดของวงจรทวีแรงดัน ซึ่งวงจรทวีแรงดันกระแสตรงแบบ Cockcroft Walton แบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือวงจรทวีแรงดันชนิดครึ่งคลื่นและวงจรทวีแรงดันชนิดเต็มคลื่น

1) วงจรทวีแรงดันชนิดครึ่งคลื่น (Half - Wave Cockcroft - Walton)

ใช้หลักการของ n – stage Cockcroft-Walton แบ่งออกเป็น 2 สถานะการทำงานคือ การทำงานในสภาวะไม่มีโหลดและมีโหลด



รูปที่ 1 การต่อวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดครึ่งคลื่น

1. การทำงานของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton สภาวะไม่มีโหลด

การทำงานของวงจรจะใช้วงจรเรียงกระแสแบบแรงดัน 2 เท่ามาต่ออนุกรมกัน n^{th} ชั้น โดยแต่ละชั้นประกอบด้วยไดโอด 2 ตัว ตัวเก็บประจุ 2 ตัว ตัวแรกทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพักประจุ ตัวที่ 2 ทำหน้าที่เป็นตัวกรองกระแส ส่วนตัวเก็บประจุที่ทำหน้าที่พักประจุได้แก่ C_1', C_2', C_3', C_4' และตัวเก็บประจุ C_1, C_2, C_3, C_4 ทำหน้าที่กรองกระแส ในส่วนของไดโอด D_1', D_2', D_3', D_4' จะนำกระแสในช่วงคลื่นบวก ส่วนไดโอด D_1, D_2, D_3, D_4 จะนำกระแสในช่วงคลื่นลบ วงจรจะสร้างแรงดันแต่ละครั้งจะสร้างแรงดันเอาท์พุทเป็น 2 เท่าของค่าแรงดันสูงสุด คือ $2V_{\text{max}}$

ข้อสังเกต

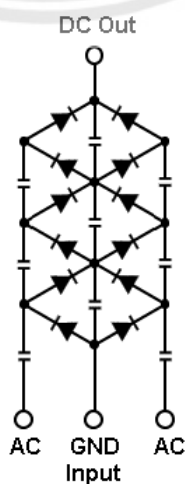
ตัวเก็บประจุและไดโอดแต่ละตัวจะต้องทนแรงดันได้ 2 เท่าของค่าแรงดันสูงสุด ยกเว้นตัวเก็บประจุตัวแรกเท่านั้นที่ทนแรงดันสูงสุดได้เพียง $1V_{\text{max}}$ เมื่อต้องการแรงดันสูงๆ จะต้องนำมาต่อเป็นขั้นบันไดหลายๆชั้น ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ $2nV_{\text{max}}$ เมื่อ n คือจำนวนชั้น

2. การทำงานของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton สภาวะมีโหลด

ในสภาวะไม่มีโหลดวงจรขั้นบันไดของ Cockcroft Walton จะมีแรงดันเอาท์พุทเป็น 2 เท่าของค่าแรงดันสูงสุดที่ใส่เข้ามา คูณด้วยจำนวนชั้น แต่เมื่อมีโหลด จะมีแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุและไดโอด ทำให้แรงดันเอาท์พุทมีค่าน้อยกว่าตอนไม่ต่อโหลด

2) วงจรทวีแรงดันชนิดเต็มคลื่น (Full - Wave Cockcroft - Walton)

ในการประยุกต์ใช้งานวงจรทวีแรงดัน แบบ Cockcroft - Walton นั้นสามารถทำได้โดยเพิ่มการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้วงจรเป็น 2 ทาง ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 วงจร Cockcroft Walton แบบเต็มคลื่น

วงจรทวีแรงดันชนิดเต็มคลื่นมีหลักการทำงานเหมือนวงจรทวีแรงดันชนิดครึ่งคลื่น โดยวิธีนี้จะทำให้ตัวเก็บประจุเกิดการชาร์จเป็น 2 เท่าในหนึ่งรอบ ส่งผลให้แรงดันระลอกมีการกระเพื่อมลดลง และแรงดันตกลดลงด้วยเช่นกัน

3) การคำนวณหาแรงดันตก (Voltage Drop ; ΔV)

การคำนวณหาแรงดันตกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่นสามารถคำนวณหาได้จาก

$$\Delta V = \frac{I_{dc}}{fC} \left(\frac{n^3}{6} + \frac{n^2}{4} + \frac{n}{3} \right) \quad (1)$$

โดย ΔV คือ แรงดันตก

I_{dc} คือ กระแสที่ไหลผ่านโหลด (A)

f คือ ความถี่ (Hz)

C คือ ตัวเก็บประจุ (F)

n คือ จำนวนชั้น

4) การคำนวณหาแรงดันระลอก (Voltage Ripple ; δV)

การคำนวณหาแรงดันระลอกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่นสามารถคำนวณหาได้จาก

$$\delta V_n = \left(\frac{I_{dc}}{fC} \right) \frac{n(n+1)}{4} \quad (2)$$

โดย δV คือ แรงดันระลอก

I_{dc} คือ กระแสที่ไหลผ่านโหลด (A)

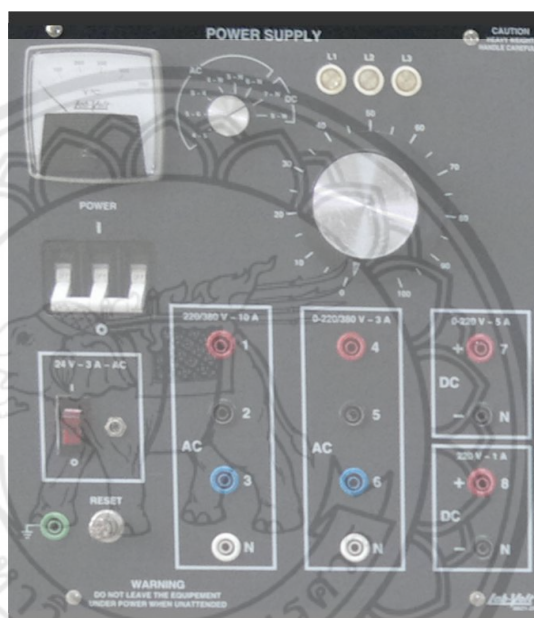
f คือ ความถี่ (Hz)

C คือ ตัวเก็บประจุ (F)

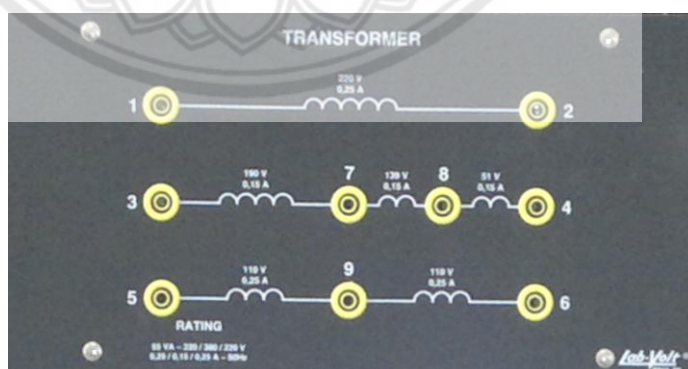
n คือ จำนวนชั้น

อุปกรณ์การทดลอง

- | | |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| 1) แหล่งจ่ายไฟ 220 / 380 V | 1 ชุด |
| 2) หม้อแปลง โมเดล 8341 | 2 ตัว |
| 3) ชุดทดลองวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น | 1 ชุด |
| 4) โพรบวัดแรงดันไฟฟ้าแรงสูง | 1 ตัว |
| 5) ออสซิลโลสโคป | 1 เครื่อง |
| 6) มัลติมิเตอร์แบบดิจิตอล | 1 เครื่อง |
| 7) สายไฟเส้นใหญ่ | 10 เส้น |

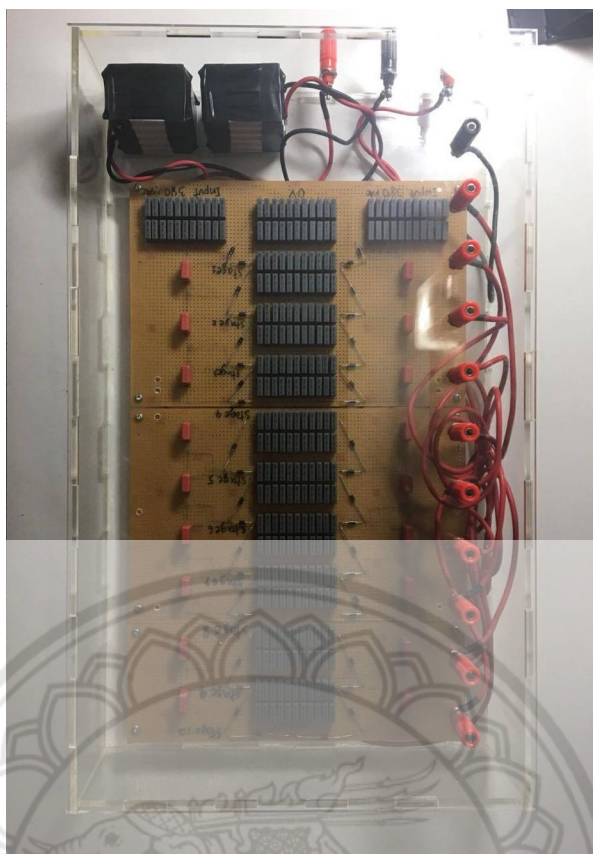


รูปที่ 3 ลักษณะแหล่งจ่ายไฟที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4 ลักษณะหม้อแปลงที่ใช้ในการทดลอง

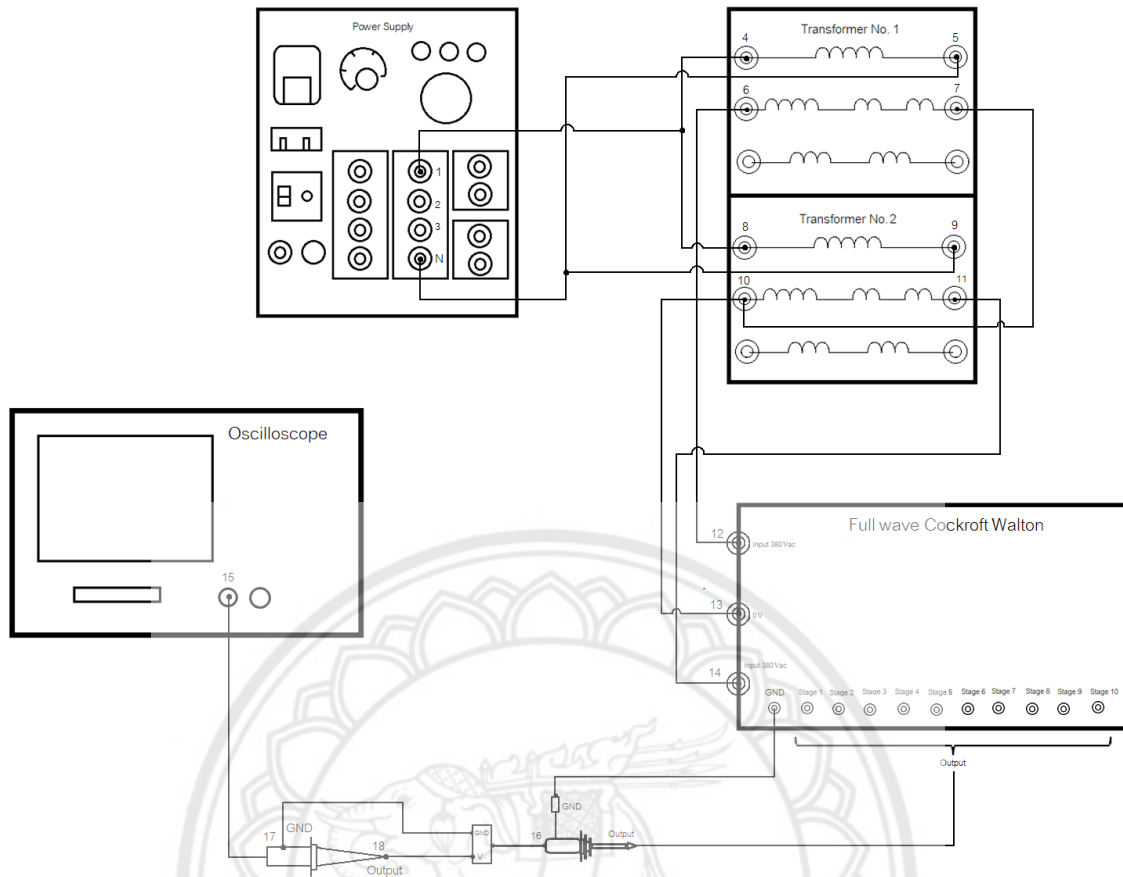
ข้อระวัง: แรงดันที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นระบบไฟฟ้าแรงดันสูง ห้ามทำการต่อวงจรใด ๆ ในขณะที่ระบบจ่ายไฟอยู่ และ ควรจะตัดไฟออกจากระบบ หลังจากที่ทำกราวด์เสร็จสิ้น ในแต่ละครั้ง



รูปที่ 5 ลักษณะชุดทดลองวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเติมคลื่น
ที่ใช้ในการทดลอง

โดยภายในวงจรประกอบไปด้วย

- แร่งดันอินพุทในวงจร 380 โวลต์ 2 ข้าง
- แร่งดันเอาท์พุทในวงจรจำนวน 10 ชั้น
- ตัวเก็บประจุในวงจรที่ใช้ในวงจรมีค่าเท่ากับ 0.022 ไมโครฟารัด
- ตัวต้านทานที่ใช้ในวงจรมีค่าเท่ากับ 1000 เมกกะโอห์ม
- ความถี่ที่ใช้ในวงจรมีค่าเท่ากับ 50 เฮิร์ตซ์



รูปที่ 6 ไดอะแกรมการต่อวงจร

วิธีการทำการทดลอง

ตอนที่ 1 การวัดแรงดันเอาต์พุตและแรงดันระลอกที่แรงดันอินพุต 180 โวลต์

- 1) ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ไปยังหม้อแปลงทั้ง 2 ตัว
- 2) ต่อขั้วหม้อแปลง 2 ตัวแบบขั้วหักล้างกัน โดยต่อขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิอนุกรมกัน
- 3) จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 180 โวลต์จากเอาต์พุตของหม้อแปลง 2 ตัว ให้วงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton ชนิดเต็มคลื่น
- 4) ต่อโพรบของออสซิลโลสโคปเข้ากับโพรบแรงดันไฟฟ้าแรงสูง
- 5) ใช้โพรบแรงดันไฟฟ้าแรงสูงวัดค่าแรงดันเอาต์พุตและแรงดันระลอกของวงจรทวีแรงดันแบบ Cockcroft - Walton จำนวน 10 ชั้น
- 6) บันทึกค่าที่วัดได้ลงในตารางที่ 1

ตอนที่ 2 การวัดแรงดันเอาร์ทพุทและแรงดันระลอกที่แรงดันอินพุท 380 โวลต์

- 1) ต่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ไปยังหม้อแปลงทั้ง 2 ตัว
- 2) ต่อขั้วหม้อแปลง 2 ตัวแบบขั้วเสริมกัน โดยต่อขดลวดปฐมภูมิและทุติยภูมิอนุกรมกัน
- 3) จ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 380 โวลต์จากเอาร์ทพุทของหม้อแปลง 2 ตัว ให้วงจรทีวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton ชนิดเต็มคลื่น
- 4) ต่อโพรบของออสซิลโลสโคปเข้ากับโพรบแรงดันไฟฟ้าแรงสูง
- 5) ใช้โพรบแรงดันไฟฟ้าแรงสูงวัดค่าแรงดันเอาร์ทพุทและแรงดันระลอกของวงจรทีวีแรงดันแบบ Cockcroft – Walton จำนวน 10 ชั้น
- 6) บันทึกค่าที่วัดได้ลงในตารางที่ 2

ผลการทดลอง

ตอนที่ 1

ตารางที่ 1 การวัดแรงดันเอาร์ทพุทและแรงดันระลอกที่แรงดันอินพุท 180 โวลต์

ลำดับ ชั้น	แรงดัน อินพุท	แรงดันเอาร์ทพุทเฉลี่ย จากทฤษฎี (V) เมื่อ คิดแรงดันตก	แรงดันเอาร์ทพุท เฉลี่ยจากการ ทดลองวัดจริง (V)	แรงดัน ระลอกจาก ทฤษฎี (V)	แรงดันระลอก จากการทดลอง วัดจริง (V)
1	180				
2	180				
3	180				
4	180				
5	180				
6	180				
7	180				
8	180				
9	180				
10	180				

สรุปและการวิจารณ์ผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ตอนที่ 2

ตารางที่ 2 การวัดแรงดันเอาต์พุทและแรงดันระลอกที่แรงดันอินพุท 380 โวลต์

ลำดับ ชั้น	แรงดัน อินพุท	แรงดันเอาต์พุทเฉลี่ย จากทฤษฎี (V) เมื่อ คิดแรงดันตก	แรงดันเอาต์พุท เฉลี่ยจากการ ทดลองวัดจริง (V)	แรงดัน ระลอกจาก ทฤษฎี (V)	แรงดันระลอก จากการทดลอง วัดจริง (V)
1	380				
2	380				
3	380				
4	380				
5	380				
6	380				
7	380				
8	380				
9	380				
10	380				

