

การออกแบบและสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์



นายชาญณรงค์ น้อยบางยาง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0587-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN IMPULSE TRIGGERING UNIT

Mr. Channarong Noybangyang



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-0587-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์                      การออกแบบและสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์  
โดย    นายชาญณรงค์ น้อยบางยาง  
สาขาวิชา                                    วิศวกรรมไฟฟ้า  
อาจารย์ที่ปรึกษา                          อาจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรัักษ์

---

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรัักษ์)

.....กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. ชาญณรงค์ บาลมงคล)

สถาบันนวัตกรรมการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นาย ชาญณรงค์ น้อยบางยาง : การออกแบบและสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์  
 ดัน อิมพัลส์ (DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN IMPULSE TRIGGERING  
 UNIT) อ. ที่ปรึกษา : ดร. คมสัน เพ็ชรรัชช์, 45 หน้า. ISBN 974-03-0587-3

วิทยานิพนธ์นี้ เสนอการออกแบบและสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์  
 โดยใช้สายไฟเบอร์ออปติกเป็นสายส่งสัญญาณควบคุม ไกสวิตช์จะเป็นตัวเริ่มให้เกิดการสปาร์กใน  
 แกปช่วยเพื่อให้ค่าแรงดันที่ป้อนเข้าไปที่วัสดุทดสอบนั้นมีค่าเกือบคงที่ ทำให้การกระจาย  
 ของแรงดันที่จ่ายออกน้อยลง ตัวทริกเกอร์ที่ประกอบสร้างนี้จะอยู่ในสเฟียร์ของแกปช่วย และ  
 ทำงานด้วยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ 9 โวลท์ ทำให้เกิดการสปาร์กระหว่างหัวเทียนกับผิวของ  
 สเฟียร์ด้วยแรงดันประมาณ 15 กิโลโวลท์ การประกอบสร้างนี้จะใช้เงินลงทุนน้อยแต่สามารถทำ  
 ให้เกิดการสปาร์กได้เช่นเดียวกับของที่ซื้อมาจากต่างประเทศ



สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา \_\_\_\_\_ วิศวกรรมไฟฟ้า \_\_\_\_\_ . ลายมือชื่อนิสิต \_\_\_\_\_ .  
 สาขาวิชา \_\_\_\_\_ วิศวกรรมไฟฟ้า \_\_\_\_\_ . ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา \_\_\_\_\_ .  
 ปีการศึกษา \_\_\_\_\_ 2544 \_\_\_\_\_ . ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม \_\_\_\_\_ .

4070543021 : ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : IMPULSE TRIGGERING UNIT / IMPULSE GENERATOR TRIGGER

CHANNARONG NOYBANGYANG : DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN  
IMPULSE TRIGGERING UNIT.

THESIS ADVISOR: KOMSON PETCHARAKS, Dr. Sc. Techn. 45 pp.

ISBN 974-03-0587-3

This thesis presents the design and construction of a triggering unit of an impulse voltage generator. It's operation is controlled by using fiber optic wire. The trigger initiates a spark in the auxiliary gap which lead to a nearly constant voltage output at the test object. Thus, the dispersion of output voltage is less. This Trigger is constructed within the sphere of auxiliary gap and operated by using 9 volt battery. It's make a small sparking between sparkplug and sphere surface at a voltage of about 15 kV. This construction has low cost but can be operated like an imported trigger instrument.



Department Electrical Engineering

Field of study Electrical Engineering

Academic year 2001.

Student's signature \_\_\_\_\_.

Advisor's signature \_\_\_\_\_.

Co-advisor's signature \_\_\_\_\_.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ ดร. คมสัน เพ็ชรรัักษ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา โดยได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการทำวิทยานิพนธ์มาด้วยดีตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขจนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนั้น ผู้วิจัยต้องขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย รศ. ดร. สุขุมวิทย์ ภูมิวุฒิสาร และ ดร. ชาญณรงค์ บาลมงคล ที่ได้กรุณาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอขอบคุณ ผศ. ดร. ธารา ชลปราณี ที่อนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐาน และครูปฏิบัติการ ถาวร สุวรรณกิจ ที่ช่วยให้คำแนะนำด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นอย่างดี ตลอดจนเจ้าหน้าที่ตีพิมพ์วิทยานิพนธ์ไฟฟ้าแรงสูง รวมทั้งบุคคลอีกหลายท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัย พ่อแม่ น้องสาวทั้งสองคน ที่คอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา และต้องขอขอบคุณทุกท่านที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จของวิทยานิพนธ์นี้

ชาญณรงค์ น้อยบางยาง

กันยายน 2544

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉุ
<b>บทที่</b>	
1. บทนำ.....	1
1.1 บทนำทั่วไป.....	1
1.2 ที่มาของปัญหา.....	1
1.3 ขอบข่ายของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ผลงานการศึกษาที่เกี่ยวข้อง.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	3
2. ทฤษฎีการเกิดแรงดันอิมพัลส์และหลักการสร้างแรงดันอิมพัลส์.....	4
2.1 ลักษณะสำคัญของแรงดันอิมพัลส์.....	4
2.2 หลักการสร้างแรงดันอิมพัลส์.....	7
2.2.1 วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์พื้นฐาน.....	7
2.2.2 วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์แบบหลายขั้น.....	8
2.2.3 การทำให้เกิดสปาร์คเริ่มต้นและการควบคุม.....	10
2.2.4 วงจรการทริกแกปของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์.....	11
3. หลักการออกแบบและประกอบสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์.....	12
3.1 การออกแบบวงจรเบื้องต้น.....	12
3.2 ภาคส่งสัญญาณ.....	13
3.3 ภาครับสัญญาณ.....	14
3.4 ภาคตัดต่อสัญญาณ.....	15
3.5 ภาคกำเนิดสัญญาณ.....	16

## สารบัญ ( ต่อ )

บทที่	หน้า
3.6	ภาคขยายสัญญาณ..... 18
3.7	หม้อแปลงความถี่สูง..... 22
3.8	วงจรทวิแรงดัน..... 26
4.	การทดสอบและวิเคราะห์ผล..... 28
4.1	ทดสอบหาแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ ของ HAEFELY ..... 29
4.2	ทดสอบหาแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ เมื่อยังด้วยขั้วบวก..... 31
4.3	ทดสอบหาแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ เมื่อยังด้วยขั้วลบ..... 33
4.4	ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องต่อแรงดัน Chopped Wave..... 35
5.	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 40
5.1	สรุปผลการวิจัย..... 40
5.2	ปัญหาที่เกิดขึ้น..... 42
5.3	ข้อเสนอแนะ..... 43
	รายการอ้างอิง..... 44
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 45

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ ของ HAEFELY.....	29
4.2 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้นเมื่ออิงด้วยขั้วบวก.....	31
4.3 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้นเมื่ออิงด้วยขั้วลบ.....	33
4.4 แสดงแรงดันของ CWV กับระยะ Rod-Gap.....	35
4.5 แสดงแรงดันเอาท์พุท CWV ที่ระยะของ Gap 8 mm.....	36
4.6 แสดงแรงดันเอาท์พุท CWV ที่ระยะของ Gap 9 mm.....	37
4.7 แสดงแรงดันเอาท์พุท CWV ที่ระยะของ Gap 10 mm.....	38
4.8 แสดงแรงดันเอาท์พุท CWV ที่ระยะของ Gap 11 mm.....	39

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
1 ลักษณะของคลื่นเต็ม.....	5
2 ลักษณะคลื่นตัดที่ส่วนหางคลื่น.....	5
3 ลักษณะรูปคลื่นตัดที่ส่วนหน้าคลื่น.....	5
4 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์สวิตซ์ซิ่ง.....	6
5 วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์พื้นฐาน.....	7
6 วงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์หลายชั้น.....	8
7 แกปเริ่มต้น.....	10
8 วงจรทริกเกอร์.....	11
9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจร.....	12
10 วงจรภาคส่งสัญญาณ.....	13
11 วงจรภาครับสัญญาณ.....	14
12 วงจรภาคตัดต่อสัญญาณ.....	15
13 วงจรภาคกำเนิดสัญญาณ.....	16
14 วงจรภาคขยายสัญญาณ.....	18
15 หม้อแปลงความถี่สูง.....	22
16 วงจรทวิแรงดัน.....	26
17 วงจรตัวทริกเกอร์เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ภาครับและภาคส่ง.....	27
18 กราฟแสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ ของตัวทริกเกอร์ HEAFELY.....	30
19 กราฟแสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้นเมื่อยิงด้วยข้าวบวก.....	32
20 กราฟแสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้นเมื่อยิงด้วยข้าวลบ.....	34

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำทั่วไป

จากที่ทราบกันดีว่าแรงดันอิมพัลส์เป็นแรงดันที่มีรูปคลื่นเลียนแบบมาจากแรงดันเกินที่เกิดจากเหตุภายนอก คือ เกี่ยวข้องกับฟ้าผ่า เรียกว่าแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า และแรงดันเกินที่เกิดขึ้นจากสาเหตุภายในระบบส่งจ่ายเอง คือ เกิดจากการทำงานของสวิตช์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์เมื่อมีความผิดปกติเกิดขึ้นในระบบ เรียกว่า แรงดันอิมพัลส์แบบสวิตช์ซึ่ง ความมุ่งหมายของการสร้างแรงดันอิมพัลส์ขึ้นในห้องทดลองก็เพื่อที่จะนำไปทดสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ก่อนที่จะนำไปใช้งานเพื่อจะดูว่าทนต่อแรงดันเกินเหล่านี้ได้ ความคงทนต่อแรงดันหรือความเครียดสนามไฟฟ้าอิมพัลส์ของฉนวน มิใช่ขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันสูงสุดเท่านั้น หากแต่ยังขึ้นอยู่กับการแปรเปลี่ยนของแรงดันไปตามเวลาอีกด้วย ฉะนั้น เพื่อสะดวกต่อการเปรียบเทียบผลการทดสอบ จึงมีการกำหนดรูปคลื่นอิมพัลส์ให้เป็นไปตามมาตรฐานขึ้น โดยยึดถือเอารูปคลื่นที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติเป็นเกณฑ์

### 1.2 ที่มาของปัญหา

เนื่องจากในเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่สร้างแรงดันอิมพัลส์ที่ใช้ในห้องทดสอบไฟฟ้าแรงสูงนั้นควรจะต้องกำหนดหรือควบคุมได้ ทั้งนี้เพื่อให้ค่าแรงดันที่ป้อนเข้าไปที่ วัสดุ หรือ อุปกรณ์ทดสอบหลาย ๆ ครั้งมีค่าคงที่การควบคุมจะใช้แกปจุดชนวน (trigger gap) ช่วยเป็นตัวเริ่มให้เกิด การดีสชาร์จที่ใช้สปาร์กแกปของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยการบังคับในระยะไกล ซึ่งการใช้แกปจุดชนวน (trigger gap) ซึ่งทำให้เกิดการสปาร์กตามที่กำหนดนี้จะช่วยให้การกระจายของแรงดันที่จ่ายออกน้อยลง นั่นคือจะได้ค่าแรงดันทดสอบมีค่าคงที่ดังต้องการ และยังสามารถช่วยบังคับให้ออสซิลโลสโคปเริ่มบันทึกรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ได้ด้วย

การศึกษาวิจัยจะทำการออกแบบและสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันที่สร้างอิมพัลส์ไก (trigger pulse) ที่มีขนาดมากกว่า 10 kV ในการทำให้เกิดการสปาร์กแก่ปรีเริ่มต้นให้กับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แทนการใช้งานตัวทริกเกอร์แก่ตัวเดิมที่สั่งซื้อมาจากต่างประเทศ ในราคาที่แพง งานวิจัยที่สร้างขึ้นอาจมีประสิทธิภาพไม่เทียบเท่าอุปกรณ์ที่มีใช้อยู่เดิม ซึ่งอาจจะมีฟังก์ชันการทำงานที่มากกว่า แต่จะมีจุดประสงค์ที่เหมือนกันคือทำให้เกิดการสปาร์กแก่ปรีเริ่มต้นให้กับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ งานวิจัยนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างตัวทริกเกอร์แก่ซึ่งจะต้องมีการพัฒนาอีกต่อไป เพื่อให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเทียบเท่าของที่มาจากต่างประเทศ

### 1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

การออกแบบและสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์นี้จะออกแบบตัว อิมพัลส์ไกที่ระดับแรงดันมากกว่า 10 กิโลโวลต์ โดยมีแรงดันป้อนเข้าประมาณ 9 โวลต์ให้กับวงจรทริกเกอร์ซึ่งการควบคุมจะใช้สายไฟเบอร์ออปติกในการส่งสัญญาณควบคุม

### 1.4 ผลงานการศึกษาที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาในการสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์นั้นส่วนมากแล้วจะไม่พบในบทความงานวิจัย จะมีกล่าวถึงบ้างจะเป็นเรื่องของงานวิจัยการเกิดการเบรกดาวน์ระหว่างแก่เป็นส่วนมาก หรือกล่าวถึงการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากตัวทริกเกอร์สปาร์กแก่ปรีนั้น ไม่ก็จะกล่าวถึงการเกิดการสปาร์กแก่ปรีที่สภาวะต่าง ๆ ซึ่งรายละเอียดของงานวิจัยส่วนมากจะอยู่ในหนังสือต่างประเทศ ซึ่งจะกล่าวถึงการทำงานของตัวทริกเกอร์แก่ปรีนั้นแต่จะไม่กล่าวถึงวงจรในการทำงาน

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ก) งานวิจัยที่จัดสร้างขึ้นสามารถที่จะจุดชนวนแล้วทำให้เกิดการสปาร์กแกปได้เช่นเดียวกับของที่ซื้อมาจากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง
- ข) เพื่อเป็นเครื่องต้นแบบของการพัฒนาออกแบบและสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ซึ่งจะนำไปใช้ในห้องทดสอบต่อไป
- ค) ใช้ตัวทริกเกอร์เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ได้ออกแบบสร้างขึ้นนี้ เป็นประโยชน์สำหรับการศึกษาวิจัยและการทดสอบด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงของลูกถ้วยฉนวนได้

## 1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วยเนื้อหาส่วนหลักๆ 5 บท คือ

- บทที่ 1 (บทนำ)
- บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีการเกิดแรงดันอิมพัลส์ รวมถึงหลักการและทฤษฎีการสร้างแรงดันอิมพัลส์
- บทที่ 3 กล่าวถึง การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ องค์ประกอบต่างๆ และการประกอบสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
- บทที่ 4 กล่าวถึง การทดลองใช้งานตัวทริกเกอร์เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ว่าสามารถทนต่อแรงดันอิมพัลส์ที่ป้อนเข้ามาได้หรือไม่ เพื่อทำการวิเคราะห์และประเมินผล
- บทที่ 5 กล่าวถึง สรุปผลการออกแบบและประกอบสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ และข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2

### ทฤษฎีการเกิดแรงดันอิมพัลส์และหลักการสร้างแรงดันอิมพัลส์

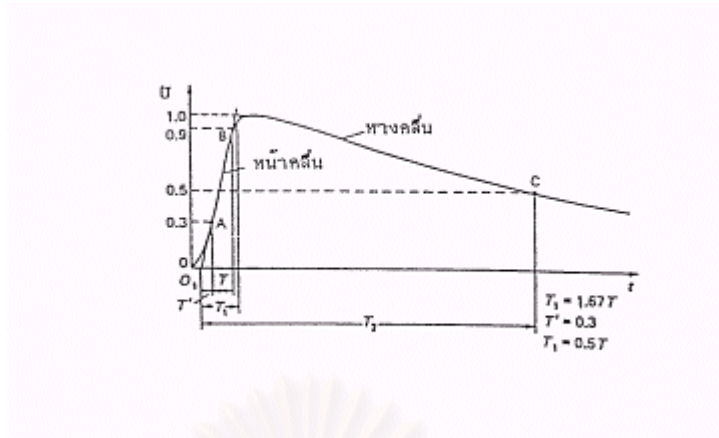
ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีการเกิดแรงดันอิมพัลส์ เช่น การเกิดแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า และ รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์สวิตซ์ซิ่ง นอกจากนี้จะได้กล่าวถึงหลักการสร้างแรงดันอิมพัลส์ซึ่งใช้เป็นทฤษฎีพื้นฐานของการออกแบบสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่จะได้กล่าวถึงในบทต่อไป

#### 2.1 ลักษณะสำคัญของแรงดันอิมพัลส์

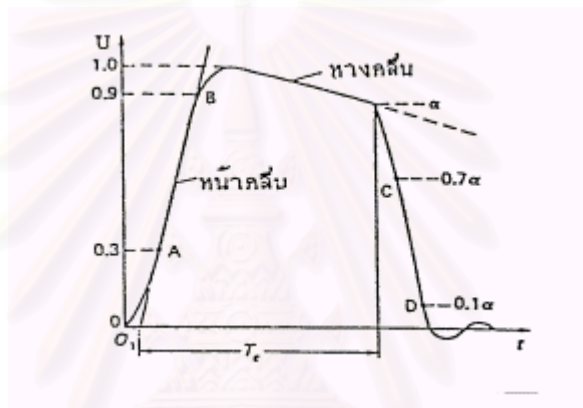
ลักษณะสำคัญของแรงดันอิมพัลส์รูปลักษณะของคลื่นอิมพัลส์อาจกำหนดด้วย

- 1) ขนาดของแรงดัน โดยปกติจะหมายถึงค่ายอดของรูปคลื่นแรงดันในกรณีที่มีคลื่นระลอกซ้อน ซึ่งเกิดจากออสซิลเลชันใกล้เคียง ๆ ยอดรูปคลื่นให้ถือเอาค่าเฉลี่ยจากค่ายอดรูปคลื่นระลอก
- 2) ขั้วของแรงดันอาจจะเป็นบวกหรือลบก็ได้เมื่อเทียบกับดิน
- 3) เวลาช่วงหน้าคลื่น T1 หมายถึงช่วงเวลาที่แรงดันเพิ่มขึ้นจากศูนย์จนถึงค่ายอด
- 4) เวลาช่วงหางคลื่น T2 หมายถึงช่วงเวลาที่แรงดันเริ่มเพิ่มขึ้นจากศูนย์ผ่านค่ายอดจนกระทั่งขนาดลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของค่ายอด

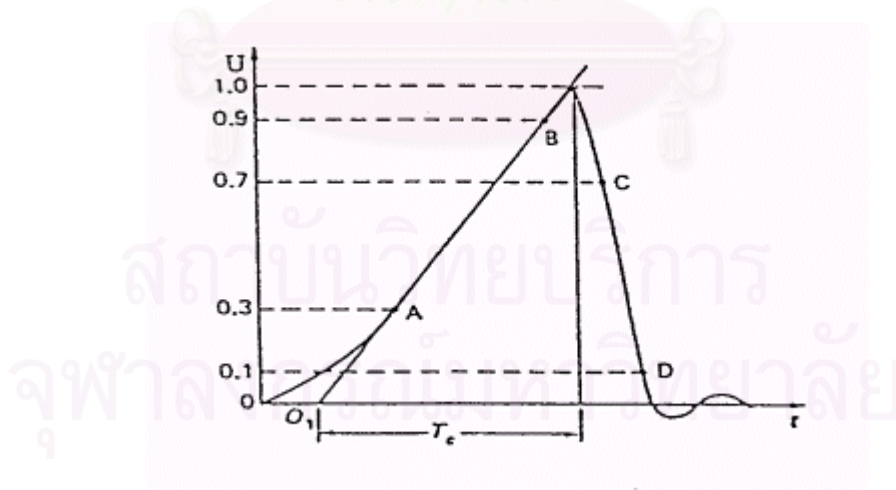
ข้อกำหนดหรือคำอธิบายลักษณะของรูปคลื่นตั้งแต่ข้อ 1 ถึงข้อ 4 นั้นเป็นลักษณะของคลื่นเต็ม (full wave) ดังรูปที่ 1 ซึ่งหมายถึงรูปคลื่นที่ขนาดเพิ่มขึ้นถึงค่ายอดแล้วค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเป็นศูนย์ แรงดันรูปคลื่นเต็มนี้อาจเกิดเป็นรูปคลื่นตัด (chopped wave) ซึ่งเกิดจากการป้อนแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มเข้าไปที่วัสดุทดสอบและการฉนวนของวัสดุทดสอบนั้นทนต่อแรงดันที่ป้อนเข้าไปไม่ได้จึงเกิดการสปาร์กผ่าน เกิดวาบไฟตามผิว หรือเกิดเบรกดาวนัผ่าทะเลทำให้เกิดลัด วงจร ณ จุดนั้น การเกิดคลื่นตัดนี้อาจจะเกิดขึ้นที่ส่วนหางคลื่นหรือส่วนหน้าคลื่นก็ได้ ตามรูปที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ลักษณะของรูปคลื่นตัดจะมีส่วนกำหนดที่สำคัญคือ เวลาที่ช่วงคลื่นตัด (chopped time)  $T_c$  โดยทั่วไปจะเรียกรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าอย่างสั้น ๆ ว่า รูปคลื่น 1.2/50  $\mu\text{sec}$



รูปที่ 1 ลักษณะของคลื่นเต็ม



รูปที่ 2 ลักษณะคลื่นตัดที่ส่วนหางคลื่น



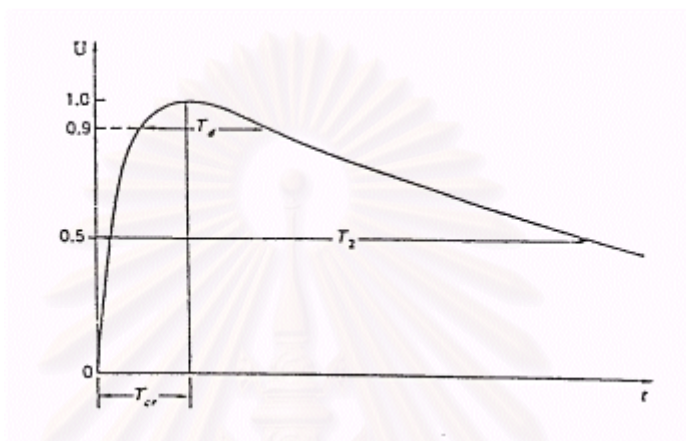
รูปที่ 3 ลักษณะรูปคลื่นตัดที่ส่วนหน้าคลื่น

ถ้าต้องการทราบว่าแรงดันอิมพัลส์ที่สร้างขึ้นมานั้นเป็นไปตามมาตรฐานกำหนดหรือไม่ ให้หาค่า  $T_1$ ,  $T_2$  หรือ  $T_c$  โดยวิธีที่แสดงในรูป 1-3 ว่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดต่อไปนี้หรือไม่ คือ

เวลาช่วงหน้าคลื่น  $T_1 = 1.2 \mu\text{s} \pm 30\%$

เวลาช่วงหางคลื่น  $T_2 = 50 \mu\text{s} \pm 20\%$

ค่ายอดแรงดัน  $U_m \pm 3\%$



รูปที่ 4 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์สวิตซ์ซิ่ง

ในรูปที่ 4 แสดงถึงรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตซ์ซิ่งซึ่งแตกต่างไปจากแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าก็คือ ช่วงหน้าคลื่นจะยาวกว่า ความหมายของเวลาช่วงหางคลื่น  $T_2$  จะมีนิยามเหมือน อิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ส่วนเวลาช่วงหน้าคลื่นจะกำหนดเป็น  $T_{cr}$  ซึ่งหมายถึงช่วงเวลาที่นับจากจุดที่แรงดันเริ่มจากศูนย์จริงไปจนถึงเวลาที่แรงดันเพิ่มขึ้นถึงค่ายอด รูปคลื่นแรงดัน อิมพัลส์แบบสวิตซ์ซิ่ง โดยทั่วไปจะมีรูปคลื่น 250/2500  $\mu\text{sec}$  และกำหนดให้มีความคลาดเคลื่อนได้อยู่ในเกณฑ์ดังนี้

$$T_{cr} = 250 \mu\text{sec} \pm 20\%$$

$$T_2 = 2500 \mu\text{sec} \pm 60\%$$

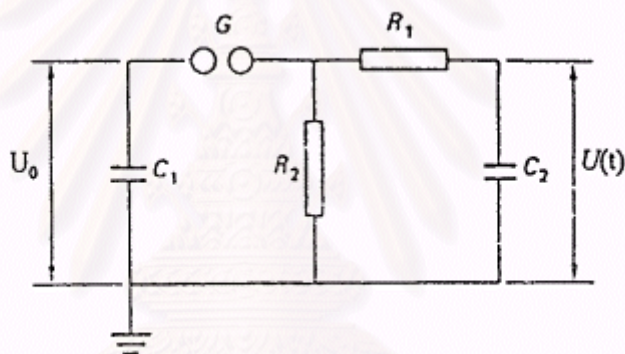


## 2.2 หลักการสร้างแรงดันอิมพัลส์

### 2.2.1 วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์พื้นฐาน

รูปคลื่นของแรงดันอิมพัลส์ เกิดจากการปลดปล่อยพลังงานของแหล่งสะสมพลังงาน ซึ่งเป็นแหล่งสะสมพลังงานแบบตัวเก็บประจุ เนื่องจากวัสดุทดสอบส่วนใหญ่เป็นโหลดแบบตัวเก็บประจุ

จากวงจรในรูปที่ 5 เราจะพบว่าเมื่อ  $C_1$  ได้รับการอัดประจุจากเครื่องกำเนิดแรงดัน กระแสตรง จนถึงค่า ๆ หนึ่งก็จะเกิดการเบรกคาวาน์ผ่านแกปทรงกลม ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์ จากนั้น  $C_1$  จะอัดประจุให้กับ  $C_2$  ซึ่งอาจจะเป็นวัสดุทดสอบ หรือ โวลเตจดีไวเดอร์ ผ่าน  $R_1$



รูปที่ 5 วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์พื้นฐาน

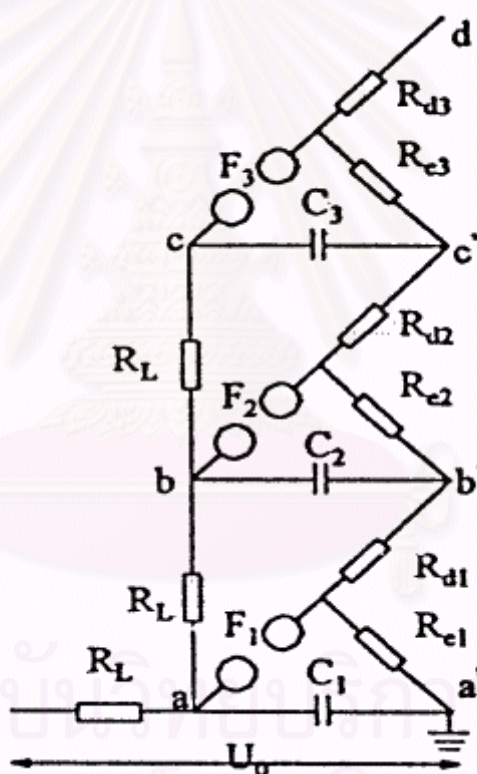
เมื่อแรงดันที่  $C_1$  ลดระดับลงจนมีค่าเท่ากับแรงดันที่ตกคร่อม  $C_2$  ทั้ง  $C_1$  และ  $C_2$  จะปล่อยประจุให้กับ  $R_2$  โดยตรง ส่วน  $C_2$  จะคายประจุให้  $R_2$  และ  $R_1$  ในช่วงเวลาดังกล่าวช่องว่างระหว่างแกปทรงกลมยังคงมีกระแสอยู่

ดังนั้นเราจะพบว่าค่า  $R_2$  และ  $C_2$  เป็นค่าที่สำคัญในการที่กำหนดเวลาหน้าคลื่น และค่า  $R_2$  และ  $C_1$  เป็นค่าที่กำหนดเวลาหลังคลื่น โดยจะแสดงให้เห็นในทางคณิตศาสตร์ต่อไป

## 2.2.2 วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์แบบหลายชั้น

จากวงจรแรงดันอิมพัลส์พื้นฐาน จะพบว่าการสร้างแรงดันอิมพัลส์ที่มีขนาดสูงมาก อาจมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ อาทิเช่นแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรงปกติจะมีค่าประมาณ 50-200 kV และที่สำคัญที่สุดคือสวิทช์หรือ แกปทรงกลม ซึ่งการเบรกดาวน์ของแกปทรงกลมจะขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมและระยะห่างระหว่างทรงกลม การที่จะสร้างแรงดันอิมพัลส์ที่บางครั้งมีขนาดเป็นล้านโวลต์ จะต้องใช้ทรงกลมขนาดใหญ่ซึ่งไม่เหมาะสม

วิธีการสร้างแรงดันอิมพัลส์ที่มีขนาดสูง จึงนิยมใช้วงจรแบบหลายชั้น ซึ่งพัฒนาโดย Mark ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 วงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์หลายชั้น

การทำงานของวงจร เริ่มจากการป้อนแรงดันกระแสตรงเพื่ออัดประจุให้กับ  $C_1 \dots C_3$  ทุกตัวผ่านทาง  $R_L$  เวลาที่จะใช้ในการอัดประจุนั้นอยู่กับพิกัดกระแสของแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงปกติจะใช้เวลาหลายสิบลวินาที หรือ เป็นนาทีก ในท้ายที่สุดศักย์ที่ a,b,c จะมีค่าเป็น  $U_0$  และศักย์ที่ a',b',c' จะมีค่าเป็นศูนย์

โดยปกติแกป  $F_2$  จะมีระยะห่างมากกว่าแกป  $F_1$  และแกป  $F_3$  ก็จะมีระยะห่างมากกว่าแกป  $F_2$  เมื่อเกิดการเบรคคาวน์ที่แกป  $F_1$  ประจุที่สะสมอยู่ใน  $C_1$  จะคายผ่านความต้านทาน  $Rd_1$  จึงจะทำให้แรงดันที่จุด  $b'$  มีค่าสูงขึ้น แรงดันนี้จะเสริมกับแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ  $C_2$  ทำให้แกป  $F_2$  เกิดเบรคคาวน์คล้ายประจุผ่าน  $Rd_2$  จะเป็นเช่นนี้ตามลำดับจนแรงดันไปปรากฏที่  $d'$  ซึ่งเป็นการอัดประจุให้กับโหลด

เมื่อแรงดันที่  $d'$  สูงถึงค่าที่ยอด  $C_1$  จะคายประจุผ่าน  $Re_1$ ,  $C_2$  จะคายประจุผ่าน  $Re_2$ ,  $C_3$  จะคายประจุผ่าน  $Re_3$  และโหลดจะคายประจุผ่าน  $Rd_1...Rd_3$  และ  $Re_1...Re_3$

ดังนั้นเมื่อพิจารณาวงจรดังกล่าวที่มี  $C_1 = C_2 = C_3 = C$ ,  $Rd_1 = Rd_2 = Rd_3 = Rd$  และ  $Re_1 = Re_2 = Re_3 = Re$  เป็นวงจรพื้นฐาน โดยสมมุติว่า  $R_c > Rd$  จะพบว่า

$$C_a = C/n$$

$$R_1 = nR_d$$

$$R_2 = nR_c$$

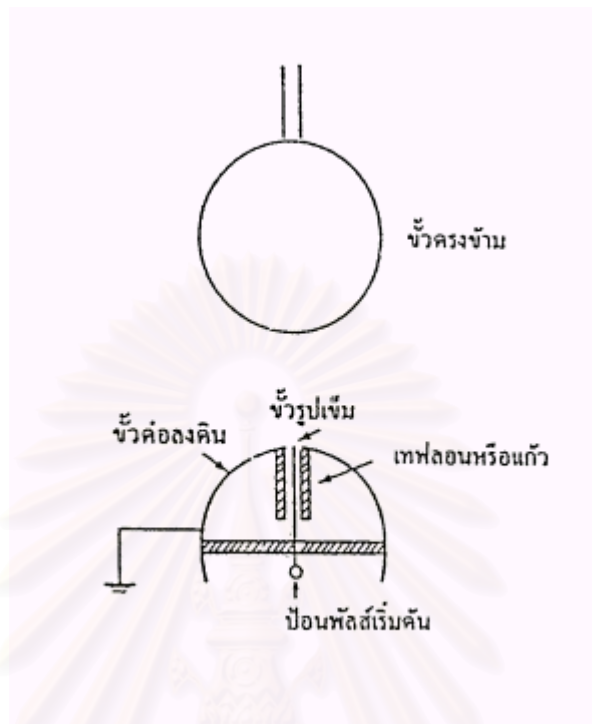
$$U_{out} = nU_0$$

ซึ่งพลังงานที่จ่ายได้จากเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบหลายชั้นจะมีค่าเป็น

$$W = C_s U_0^2 / 2$$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 2.2.3 การทำให้เกิดสปาร์กเริ่มต้นและการควบคุม



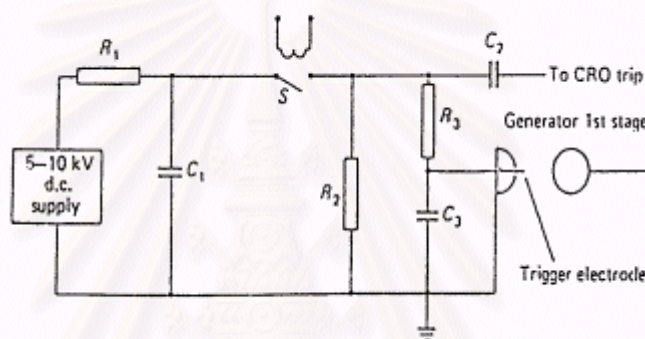
รูปที่ 7 แก๊ปเริ่มต้น

การทำให้เกิดสปาร์กเริ่มต้นขึ้นนั้น มีวิธีทำโดยให้แรงดันอิมพัลส์เริ่มต้นแก่แก๊ป ทำให้ขั้วของตัวเก็บประจุเกิดสปาร์กขึ้น จากนั้นขั้วอื่น ๆ จะสปาร์กตามอย่างต่อเนื่อง แก๊ปเริ่มต้นมีโครงสร้างดังรูปที่ 7 ทางด้านขั้วที่ต่อกับดินจะเจาะเป็นรูกว้างประมาณ 1-5 mm สอดไว้ด้วยหลอดแก้วหรือเทปρονที่มีความหนาขนาด 1 mm ในหลอดแก้วนี้จะสอดไว้ด้วยขั้วไฟฟ้าชนิดเข็มอีกทีหนึ่ง เมื่อกระทำต่อขั้วไฟฟ้าชนิดเข็มด้วยแรงดันอิมพัลส์เริ่มต้นที่มีศักย์ไฟฟ้าตรงข้ามกับประจุไฟฟ้าที่ต่อกับดินอยู่ หลังจากนั้นขั้วไฟฟ้าที่อยู่ตรงข้ามจะสปาร์กตาม

การเกิดการเบรคความดันของแก๊ปทรงกลาสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎี streamer เริ่มจากอิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ออกจากขั้วลบ โดยที่อิเล็กตรอนจะถูกสนามไฟฟ้าแรงให้มาอยู่ทางตอนหน้าของอิเล็กตรอนอะวาลันซ์ไอออนบวกที่เคลื่อนที่ช้ากว่าจะถูกทิ้งให้อยู่กับที่ทางตอนหลัง เมื่อตอนหน้าของอิเล็กตรอนอะวาลันซ์ถึงขั้วบวก กลุ่มอิเล็กตรอนจะถูกดูดเข้าไปในชั้นบวกเหลือแต่กลุ่มไอออนบวกถูกทิ้งเป็นแท่งรูปกรวยอยู่ทางตอนหลัง แท่งไอออนบวกที่ใกล้กับขั้วลบจะมีความหนาแน่นมาก ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่มีความเข้าสูงอันเนื่องมาจากกลุ่มไอออนบวกนี้ขึ้นอิเล็กตรอนที่เกิดจากแสงหรือกลไกอื่นๆ ซึ่งอยู่ในละแวกใกล้เคียงจะถูกเร่งให้วิ่งเข้ามายังแท่งไอออนบวก เกิดเป็นกลุ่มอิเล็กตรอนอะวาลันซ์เล็กๆ ขึ้น เมื่อกลุ่มอิเล็กตรอนทางตอนหน้าของกลุ่มอิเล็กตรอนอะวาลันซ์เล็กๆ เหล่านี้ถูกดูดเข้าไปในแท่งไอออนบวก จะเกิดการปะปนกับไอออนบวกเกิดเป็นพลาสมา

ซึ่งมีความนำไฟฟ้าสูงขึ้น เรียกสิ่งนี้ว่าสตรีมเมอร์ (streamer) สตรีมเมอร์นี้จะดูดเอากลุ่มอิเล็กตรอนอิสระเข้ามาแล้วงอกยาวออกไปทางด้านข้างเรื่อยๆ เมื่อปลายของสตรีมเมอร์ถึงขั้วลบจะเกิดเป็นทางนำไฟฟ้าขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ทำให้เกิดการเบรคดาวน์ขึ้น ถ้าแรงดันที่ป้อนให้กับแก๊สทรงกลมมีค่ามากพอ อิเล็กตรอนอิสระอาจเปลี่ยนเป็นสตรีมเมอร์ได้ก่อนที่ปลายของอิเล็กตรอนอิสระจะถึงขั้วลบ ซึ่งการทำให้เกิดการสปาร์กในแก๊สช่วย ซึ่งจะเป็นการเพิ่มจำนวนอิเล็กตรอนในอิเล็กตรอนอิสระซึ่งจะทำให้เกิดการเบรคดาวน์ขึ้นได้

## 2.2.4 วงจรการ-trigger-แก๊สของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์



รูปที่ 8 วงจร-trigger-แก๊ส

วงจร-trigger-แก๊สของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แสดงดังรูปที่ 8 จะประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ที่จะทำการอัดประจุให้กับตัวเก็บประจุ  $C_1$  โดยผ่านความต้านทานค่าสูง  $R_1$  จะมีรีโมตคอยควบคุมสวิตช์  $S$  โดยที่สัญญาณคลื่นพัลส์จะถูกจ่ายไปที่ออสซิลโลสโคปผ่านตัวเก็บประจุ  $C_2$  ที่เวลาเดียวกันตัวเก็บประจุ  $C_3$  จะถูกอัดประจุขึ้น และเมื่อถูกอัดประจุเต็มที่แล้วก็จะถูกจ่ายไปที่ trigger electrode โดยที่ความต่างศักย์ของการ-trigger-แก๊สที่ขั้วอิเล็กโตรดสามารถที่จะปรับได้ด้วย  $R_3$  หรือ  $C_3$  ซึ่งตัว  $R_3, C_3$  จะใช้ในการหนดช่วงเวลาการทำงานของการ-trigger-แก๊สสปาร์กขึ้น โดยที่ค่าต้านทาน  $R_2$  ที่มีค่าสูงจะใช้ในการคายประจุ เพื่ออัดประจุที่เหลืออยู่ให้กับ  $C_3$

### บทที่ 3

## หลักการออกแบบและประกอบสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบสร้างวงจรถริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยอาศัยแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงจากแบตเตอรี่ 9 โวลต์ ทำให้เกิดการสปาร์กของแรงดันที่แถบทรงกลม ซึ่งการทำงานจะสั่งงานผ่านทางสายไฟเบอร์ออปติก

### 3.1 การออกแบบวงจรเบื้องต้น

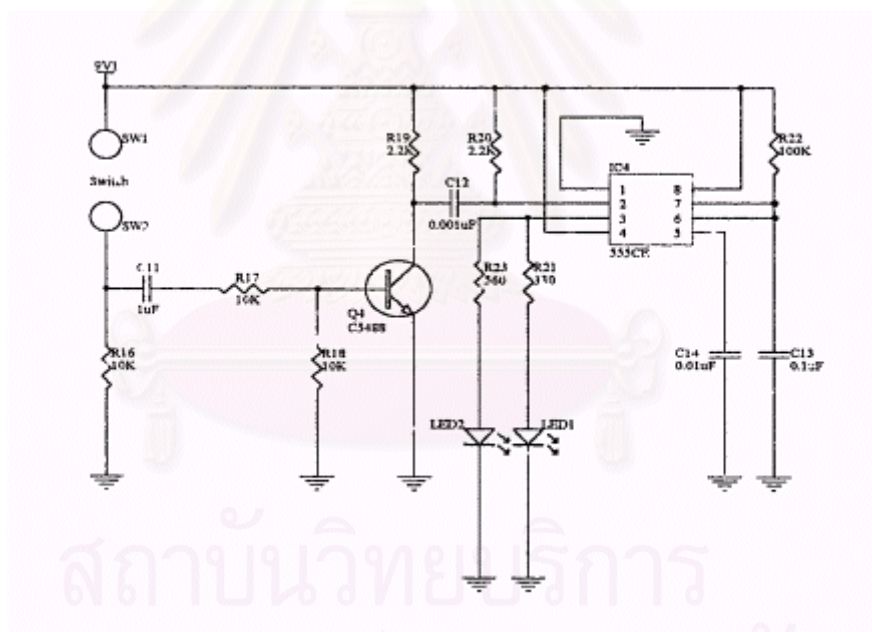


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 9 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจร

การทำงานของวงจรจะเริ่มจากวงจรภาคส่งสัญญาณ ซึ่งจะส่งงานผ่านสวิทช์แรงดัน จากนั้นจึงเปลี่ยนสัญญาณพัลส์ที่ได้จากสวิทช์เป็นสัญญาณแสง ส่งผ่านไปตามสายไฟเบอร์ออปติก เข้าสู่ วงจรภาครับสัญญาณ ซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณแสงที่ได้รับเป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นจึงนำสัญญาณพัลส์ที่ได้รับมาขยายก่อน แล้วจึงส่งให้กับวงจรตัดต่อสัญญาณทำการ On-Off หม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งรับสัญญาณแรงดันความถี่สูงมาจากวงจรภาคกำเนิดสัญญาณและวงจรภาคขยายสัญญาณเรียบร้อยแล้ว จากหม้อแปลงความถี่สูงจะทำการ Step Up แรงดันได้ประมาณ 3-4 kV จากนั้นจะเข้าสู่วงจรทวีแรงดัน ซึ่งจะทำได้แรงดันอีก 5 เท่า จะได้แรงดันประมาณ 15 kV แล้วจึงป้อนเข้าสู่หัวเทียนภายในแก๊ปทรงกลม ซึ่งจะทำให้เกิดการสปาร์กกระหว่างหัวเทียนกับผิวของแก๊ปทรงกลม

### 3.2 ภาคส่งสัญญาณ

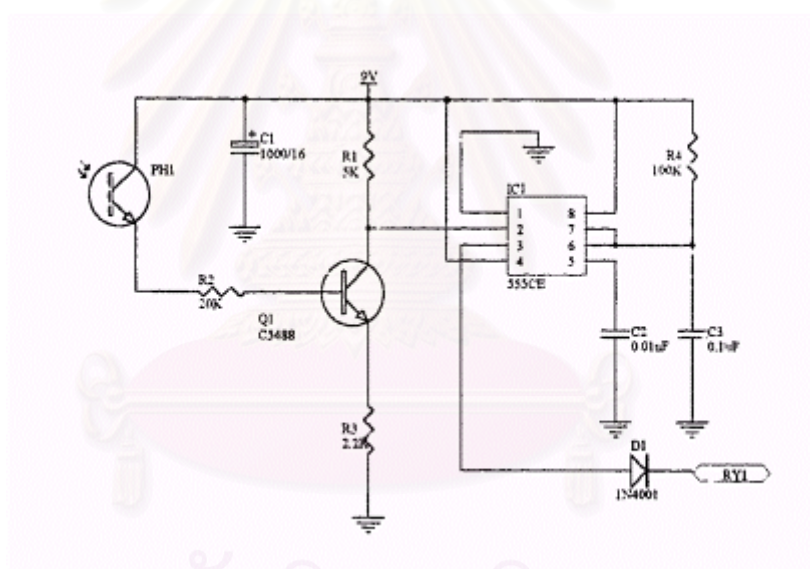


รูปที่ 10 วงจรภาคส่งสัญญาณ

ในวงจรภาคส่งสัญญาณจะใช้ไอซีเบอร์ 555 ในการส่งสัญญาณพัลส์ จากแหล่งจ่ายแรงดันที่ 9 โวลต์ โดยที่สัญญาณพัลส์จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณแสงส่งผ่านไปตามสายไฟเบอร์ออปติกด้วยตัวส่ง LED ซึ่งหลักการทำงานเป็นดังนี้คือ

สัญญาณทริกจากสวิทช์จะเข้าสู่ขา 2 ของไอซี 555 โดยผ่านตัวทรานซิสเตอร์ Q1 จะเปลี่ยนสัญญาณอินพุตรูปสี่เหลี่ยมจากสวิทช์ไปเป็นสัญญาณที่สวิทช์ระหว่างกราวด์และแรงดันไฟเลี้ยงบวก และสัญญาณที่ได้นี้ก็ถูกป้อนสู่ขา 2 ของไอซีโดยผ่านวงจรถิฟเฟอเรนทิเอต C12-R20 วงจรสามารถใช้ทำเป็นตัวกำเนิดพัลส์เสริมที่ใช้เชื่อมต่อกับตัวกำเนิดคลื่นสี่เหลี่ยมหรือพัลส์ที่มีอยู่แล้วของไอซี 555 สัญญาณพัลส์เอาต์พุตจะได้จากขา 3 ซึ่งจะต่อกับตัวส่ง LED ส่งเป็นสัญญาณแสงผ่านไฟเบอร์ออปติก โดยความกว้างพัลส์ของเอาต์พุตสามารถปรับได้โดย R4 และสามารถเปลี่ยนช่วงโดยการเปลี่ยนค่าของ C1 ส่วน C3 ใช้เพื่อแยกการต่อขา 5 แรงดันควบคุมของไอซีออก และเพิ่มเสถียรภาพของวงจร

### 3.2 ภาครับสัญญาณ

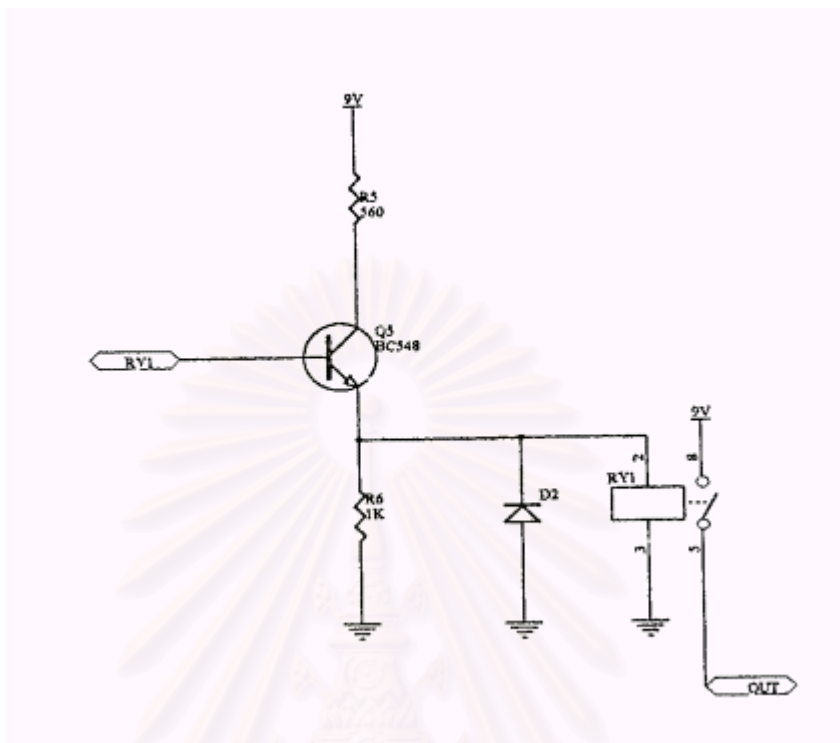


รูปที่ 11 วงจรภาครับสัญญาณ

ในส่วนของภาครับนั้นจะใช้โฟโตไดโอด ในการรับแสงที่ส่งมาตามสายไฟเบอร์ออปติก หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนสัญญาณแสงที่ได้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ป้อนเข้าสู่ตัวทรานซิสเตอร์เพื่อขยายสัญญาณ แล้วจึงป้อนให้กับวงจรถิฟเฟอเรนทิเอตของไอซี 555 สัญญาณพัลส์เอาต์พุตที่ได้จากขา 3 จะส่งต่อให้กับตัวไดโอด D1 เพื่อกรองสัญญาณให้ผ่านเฉพาะพัลส์บวกจากนั้นจึงส่งต่อให้กับวงจรถิฟเฟอเรนทิเอตสัญญาณต่อไป



### 3.4 ภาคตัดต่อสัญญาณ



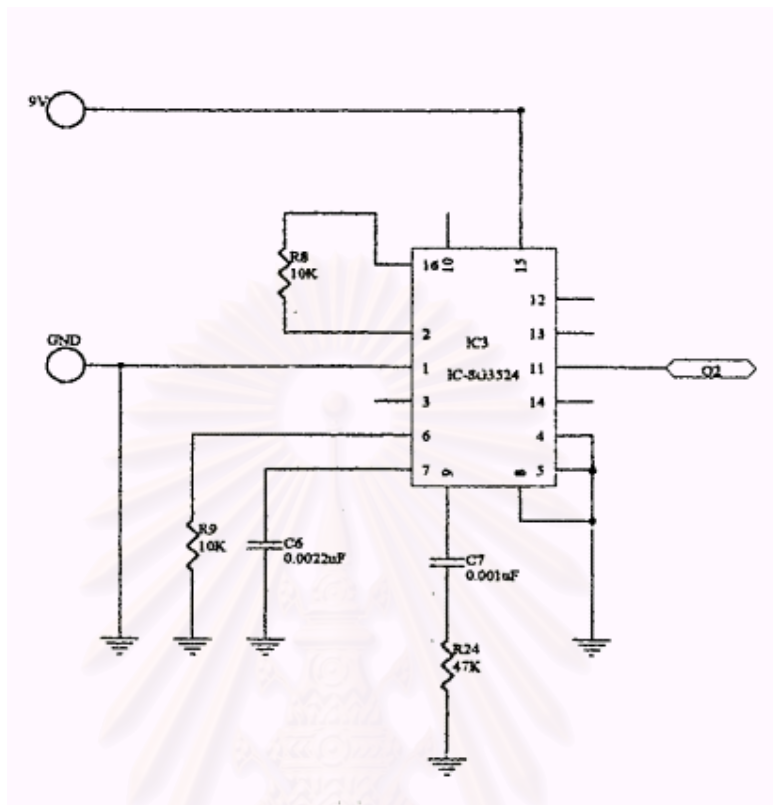
รูปที่ 12 วงจรภาคตัดต่อสัญญาณ

ในส่วนนี้จะใช้ไอซี Read Relay โดยจะใช้สัญญาณพัลส์จากไอซี 555 มา On-Off สวิตช์ในตัวรีเลย์ให้ทำงาน ตามที่ต้องการ

ซึ่งหลักการทำงานเป็นดังนี้ คือ สัญญาณพัลส์จากไอซี 555 ผ่านไดโอด D1 จะเข้าสู่ตัวทรานซิสเตอร์เพื่อทำการขยายสัญญาณ จากนั้นสัญญาณที่ได้จะเข้าสู่ไอซี Read Relay RY1 ซึ่งสัญญาณที่ได้จะไปเหนี่ยวนำขดลวดภายในตัวไอซีให้ On-Off สวิตช์ตามสัญญาณที่เข้ามา ซึ่งจะไปตัดต่อการทำงานของหม้อแปลงความถี่สูงให้ทำงานตามที่ต้องการได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.5 ภาคกำเนิดสัญญาณ



รูปที่ 13 วงจรภาคกำเนิดสัญญาณ

การทำงานของวงจรจะใช้ไอซีเบอร์ SG3524 ในการกำเนิดสัญญาณพัลส์จากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงเพียงแค่ 9 โวลท์ และใช้ทรานซิสเตอร์อีกสองตัวในการขยายสัญญาณ

SG 3524 ต้องการแรงดันไฟเลี้ยงระหว่าง 8 และ 40 V โดยต่อแรงดันไฟเลี้ยงบวกเข้าที่ขา 15 และต่อขา 8 ลงกราวด์ เพื่อที่จะให้ไอซีมีการทำงานที่แน่นอน ดังนั้นแรงดันไฟเลี้ยงควรจะต้องมีการเรกกูเลตให้เรียบร้อยเสียก่อน ที่ขา 12 และขา 13 จะมีทรานซิสเตอร์ขับเอาท์พุทอยู่ 2 ตัว ให้สามารถต่อออกไปใช้งานได้ ซึ่งลักษณะการสวิทช์ของทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวนั้นจะสวิทช์ตรงกันข้าม โดยแต่ละตัวสามารถจ่ายกระแสเอาท์พุทได้ 100 mA และถ้าต่อในลักษณะขนานกันก็จะจ่ายกระแสเอาท์พุทรวมได้ 200 mA แต่ถ้าต้องการใช้งานที่ต้องการกระแสเอาท์พุทสูงกว่านี้ก็ทำได้โดยง่ายเพียงต่อทรานซิสเตอร์ภายใน SG 3524 ให้ไปขับทรานซิสเตอร์สวิทช์ซึ่งภายนอกที่สามารถจ่ายกระแสได้สูงกว่าเท่านั้นเอง

สำหรับพัลส์ที่ใช้ในการสวิทช์ซึ่งนั้น ถูกสร้างจากความต้านทาน  $R_T$  และตัวเก็บประจุ  $C_T$  ที่ต่ออยู่กับขา 6 และ 7 ตามลำดับกับกราวด์ ความถี่ที่ใช้ของออสซิลเลเตอร์ที่ใช้สำหรับ SG 3524 อยู่ในย่านตั้งแต่ 10 ถึง 100 kHz โดยมีสูตรหาออสซิลเลเตอร์ดังนี้

$$f_{orc} = \frac{1}{R_T C_T}$$

ค่าของความต้านทาน  $R_T$  เลือกใช้ประมาณ  $10 \text{ k}\Omega$  และตัวเก็บประจุอยู่ในย่าน 0.001 ถึง 0.1 ที่ขา 3 จะเป็นเอาต์พุตของพัลส์ความถี่ออสซิลเลเตอร์ สำหรับทำงานร่วมกับเรกกูเลเตอร์ตัวอื่น

SG n3524 ยังมีการจำกัดกระแส (Current limiting) ตัวต้านทานตรวจจับ  $R_{sense}$  จะต่ออนุกรมกับเอาต์พุตของเรกกูเลเตอร์ แรงดันที่ตกคร่อมตัวต้านทานนี้จะถูกส่งเข้าไปยังวงจรจำกัดกระแส (Current limiting circuit) ที่อยู่ใน SG 3524 โดยผ่านที่ขา 4 และ ขา 5

ค่าของตัวต้านทาน  $R_{sense}$  หาได้จาก

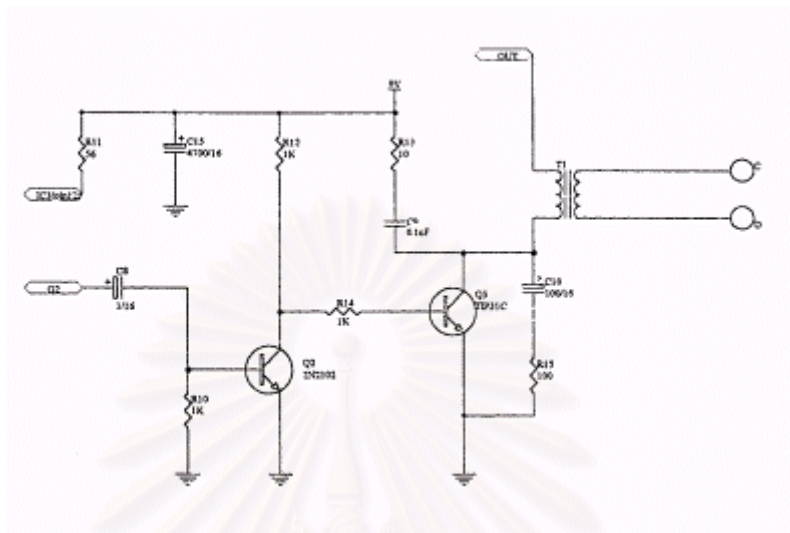
$$R_{sense} = \frac{\text{Sense Voltage}}{I_{out(max)}}$$

แรงดัน Sense Voltage ของ SG 3524 จะเท่ากับ 200 mV แต่ถ้าไม่มีการตรวจจับในเรื่องการจำกัดกระแสก็จะต่อขา 4 กับขา 5 ลงกราวนด์

ขา 9 ใช้สำหรับในการชดเชย (COMPENSATION) ในทางปฏิบัติจะต่อตัวต้านทาน ( $R_C$ )  $47 \text{ k}\Omega$  อนุกรมกับตัวเก็บประจุ ( $C_C$ )  $0.001 \mu\text{F}$  และลงกราวนด์

สำหรับขา 10 SHUT DOWN ถ้าขานี้ต่อลงกราวนด์จะทำให้เรกกูเลเตอร์หยุดทำงาน

### 3.6 ภาควิทยาสัญญาณ



รูปที่ 14 วงจรภาควิทยาสัญญาณ

ทรานซิสเตอร์ภายนอกที่ใช้เป็นทรานซิสเตอร์ชนิด NPN จำนวน 2 ตัว โดยทรานซิสเตอร์  $Q_2$  เป็นตัวกลับสัญญาณ โดยมีตัวต้านทาน  $R_{10}$  และ  $R_{11}$  เป็นตัวต้านทานไบแอส ซึ่งมีตัวเก็บประจุ  $C_8$  คั่นกลางอยู่ ทรานซิสเตอร์  $Q_3$  เป็นทรานซิสเตอร์สวิตซ์ซิ่ง โดยมีตัวต้านทาน  $R_{12}$  เป็นตัวต้านทานไบแอส ส่วนทรานซิสเตอร์ภายในจะต่อในลักษณะขนานกัน โดยขาคอลเลกเตอร์ทั้งสองต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟ DC supply โดยผ่านตัวต้านทาน  $R_{11}$  และขามิเตอร์ทั้งสองต่อลงกราวด์

ในการออกแบบตัวต้านทานเหล่านี้ ขั้นแรกจะพิจารณาที่ตัวต้านทาน  $R_{12}$  ก่อนซึ่งตัวต้านทานนี้ จะเป็นตัวจำกัดกระแสเบสของทรานซิสเตอร์  $Q_3$  ให้มีขนาดที่พอเพียงให้ทรานซิสเตอร์  $Q_3$  อิ่มตัว เมื่อเปิดวงจรกระแส

ถ้า  $I_{C3max}$  คือ กระแสคอลเลกเตอร์สูงสุดที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์  $Q_3$  และ  $\beta_{3min}$  คืออัตราขยายกระแสต่ำที่สุดของทรานซิสเตอร์  $Q_3$  ดังนั้นกระแสต่ำสุดที่ไหลผ่านตัวต้านทานไบแอส  $R_{12}$  สามารถหาได้จาก

$$I_{R12} = I_{B3min} = \frac{I_{C2max}}{\beta_{3min}}$$

กระแสจะทำให้ทรานซิสเตอร์  $Q_3$  อิ่มตัวอย่างแน่นอน เมื่อทรานซิสเตอร์  $Q_3$  ปิดวงจร แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน  $R_{12}$  เท่ากับแรงดันแหล่งจ่าย DC supply หักล้างกับแรงดันตกคร่อมระหว่างรอยต่อเบสกับอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์  $Q_3$  (ประมาณ 0.7 V)

$$V_{R12} = V_{DCSUPPLY} - V_{BE3}$$

คำนวณค่าตัวต้านทาน R จากกฎของโอห์ม

$$R_{12} = \frac{V_{DCSUPPLY} - V_{BE2} \times \beta_{min}}{I_{C2max}}$$

สมการนี้จะได้ค่าของตัวต้านทาน  $R_{12}$  สูงสุด แต่ในทางปฏิบัติควรเลือกค่าของตัวต้านทานนี้ต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้ เพื่อให้แน่ใจว่ามีกระแสเบสไหลผ่านเพียงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ อิ่มตัว

ขั้นต่อไปจะเป็นการพิจารณาที่ทรานซิสเตอร์  $Q_2$  ซึ่งทรานซิสเตอร์สวิตซ์ซึ่ง  $Q_3$  จะปิดวงจรได้ก็ต่อเมื่อ ทรานซิสเตอร์ภายใน SG3524 ปิดวงจร โดยที่ทรานซิสเตอร์  $Q_2$  จะทำให้การทำงานของทรานซิสเตอร์ภายใน กับทรานซิสเตอร์สวิตซ์ซึ่งภายนอก  $Q_3$  ทำงานตรงกันข้าม

ทรานซิสเตอร์กลับสัญญาณ  $Q_2$  ถูกไบแอสด้วยตัวต้านทาน  $R_{11}$  และ  $R_{10}$  โดยตัวต้านทาน  $R_{10}$  ต่อระหว่างขาเบสของทรานซิสเตอร์  $Q_2$  กับกราวด์ เพื่อเป็นทางผ่านของประจุสะสมให้ไหลลงกราวด์ เมื่อทรานซิสเตอร์  $Q_2$  ปิดวงจร

เลือกค่า  $R_{10}$  เท่ากับ

$$R_{10} = 1 \text{ k}\Omega$$

ตัวต้านทาน  $R_{11}$  ทำหน้าที่จำกัดกระแสเบสของทรานซิสเตอร์  $Q_2$  ให้มีขนาดเพียงพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์  $Q_2$  อิ่มตัว กระแสคอลเลกเตอร์ของ  $Q_2$  จะเท่ากับกระแสเบสของ  $Q_2$  ถ้า  $\beta_{2min}$  คืออัตราขยายกระแสต่ำสุดของทรานซิสเตอร์  $Q_2$  ดังนั้น

$$I_{B2min} = \frac{I_{Cmax}}{\beta_{2min}} = \frac{I_{C2max}}{\beta_{2min}\beta_{3min}}$$

กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน  $R_{11}$  คือ กระแสเบสของทรานซิสเตอร์  $I_{B2min}$  รวมกับกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน  $R_{11}$  โดย  $R_{11}$  ต่ออยู่ระหว่างขาเบสกับอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์  $Q_2$  ซึ่งมีแรงดัน  $V_{BE2}$  ประมาณ 0.7 V ตกคร่อมอยู่ ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน  $R_{10}$  หาได้จากกฎของโอห์ม

$$I_{B3} = \frac{V_{BE1}}{R_{10}}$$

และกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน  $R_{11}$  คือ

$$I_{B2} = I_{BQ2} + I_{B3}$$

$$I_{B2} = \frac{I_{C3max}}{\beta_{2min}\beta_{3min}} + \frac{V_{BE1}}{R_{10}}$$

แรงดันตกคร่อม  $R_{11}$  เท่ากับแรงดันแหล่งจ่าย DC SUPPLY หักล้างกับแรงดันตกคร่อมไดโอด และแรงดันระหว่างเบสกับอิมิตเตอร์ของ  $Q_2$

หาค่า  $R_{11}$  จากกฎของโอห์ม

$$V_{R11} = V_{DCSUPPLY} - V_D - V_{BE2}$$

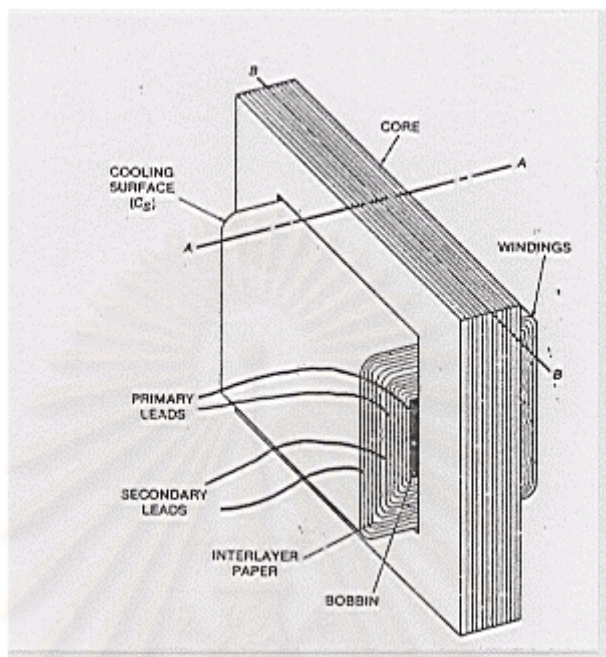
แทนสมการข้างบนจะได้

$$R_{11} = \frac{V_{DCSUPPLY} - V_D - V_{BE2}}{\frac{I_{C2max} + \frac{V_{BE2}}{R_{10}}}{\beta_{2min}\beta_{3min}}}$$

ค่า  $R_{11}$  เป็นค่าสูงสุด ในทางปฏิบัติแล้ว จะเลือกค่าที่ใช้งานต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้เล็กน้อย แต่อย่างไรก็ดีก็ต้องคำนึงถึงการจำกัดกระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ภายใน SG 3524 มิให้เกิน 100mA จึงจะถือว่าปลอดภัย

ทรานซิสเตอร์  $Q_3$  ควรจะเป็นทรานซิสเตอร์กำลัง เพราะต้องเป็นตัวขับกระแสโหลดอย่างเต็มที่ ส่วนทรานซิสเตอร์  $Q_2$  ให้ทรานซิสเตอร์ตัวเล็กกว่า เนื่องจากใช้ขับเพียงกระแสเบสของ ทรานซิสเตอร์  $Q_3$  เท่านั้น

### 3.7 หม้อแปลงความถี่สูง



รูปที่ 15 หม้อแปลงความถี่สูง

จากรูปด้านบนแสดงลักษณะการพันของหม้อแปลงความถี่สูง ซึ่งจะใช้แกนหม้อแปลงชนิด EER 40/45 รุ่น 40/45

เริ่มต้นทำการพันขดลวดเซกกันดารีก่อน ในขดเซกกันดารีนี้จะพันทั้งหมด 2000 รอบ โดยประมาณ โดยใช้ลวดทองแดงอบน้ำยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 มิลลิเมตร หรือ ขนาดเบอร์ 40 พันเรียงเส้นชิดติดกันเป็นชั้นๆ ในแต่ละชั้นนั้นเมื่อพันเต็มแล้วให้รองด้วยฉนวนบางๆ กันขอร์ดทุกชั้น ในแต่ละชั้นที่พันขดลวดนั้นจะมีน้ำยวานิส ทาช่วยให้ลวดเกาะตัวกันดียิ่งขึ้น

ด้านเซกกันดารีจะพันทับขดไพรมารี โดยขดด้านไพรมารีจะพันทั้งหมด 20 รอบ ซึ่งจะใช้ขดลวดทองแดงอบน้ำยาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 มิลลิเมตร หรือขนาดเบอร์ 35 โดยพันเรียงเส้นชิดติดกันและทาด้วยน้ำยวานิสและพันด้วยเทปฉนวนให้แน่นเพื่อป้องกันการสั้น ขณะใช้งาน



### การออกแบบหม้อแปลงความถี่สูงเป็นดังนี้คือ

ขั้นตอนที่1 เลือกแกนหม้อแปลงชนิด EER รุ่น EER 40/45 เนื่องจากความถี่แกนเหมาะสม

ขั้นตอนที่2 เลือกค่า Bmax จากแผ่นข้อมูลของรุ่น EER 40/45 มี Bsat = 3300 G ที่อุณหภูมิ 100 C ต้องการ CONVERTER ทำงานที่ Vin , min = 9 V เลือกใช้ Bmax = 1500 G

ขั้นตอนที่3 หาค่ากระแสสูงสุด ที่ขดลวดปฐมภูมิขณะทำงาน

$$\begin{aligned}
 I_c &= \frac{6.2 P_{out}}{V_{in}} \\
 &= \frac{6.2 * 0.1138}{9} \\
 &= \frac{0.7056}{9} \\
 &= 0.0784 \text{ A}
 \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่4 หาขนาดของแกนและบอบบิ้น เลือกความหนาแน่นกระแสขณะทำงานเท่ากับ 400 cm/A

$$A_e A_c = \frac{(0.68 * P_{out} * D) * 10^3}{f * B_{max}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0.68 * 3400 * 10^3}{(80 * 10^3) * 1500}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{816 \cdot 10^3}{135000 \cdot 10^3}$$

$$= 0.006 \text{ cm}^4$$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาขนาดของเส้นลวด และจำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ จากการเลือกความหนาแน่นกระแสเท่ากับ 400 cm/A ดังนั้นขนาดของขดลวดปฐมภูมิจะได้

$$0.0784 \text{ A} \cdot 400 \text{ cm/A} = 31.36 \text{ cm}$$

ตรงกับลวดเบอร์ 35 AWG

จำนวนรอบของขดลวดปฐมภูมิ

$$N_p = \frac{V_p \cdot 10^8}{4 \cdot f \cdot B_{\max} \cdot A_e}$$

$$= \frac{9 \cdot 10^8}{4 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 1500 \cdot 1.53}$$

$$= \frac{9 \cdot 10^8}{4.59 \cdot 10^8}$$

$$= 20 \text{ รอบ}$$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนที่6 กำหนดหาจำนวนรอบขดลวดทุติยภูมิ

$$\begin{aligned}
 N_s &= \frac{N_p V_s}{V_p} \\
 &= \frac{20 \cdot 1200}{9} \\
 &= \frac{24000}{9} \\
 &= 2667 \text{ รอบ}
 \end{aligned}$$

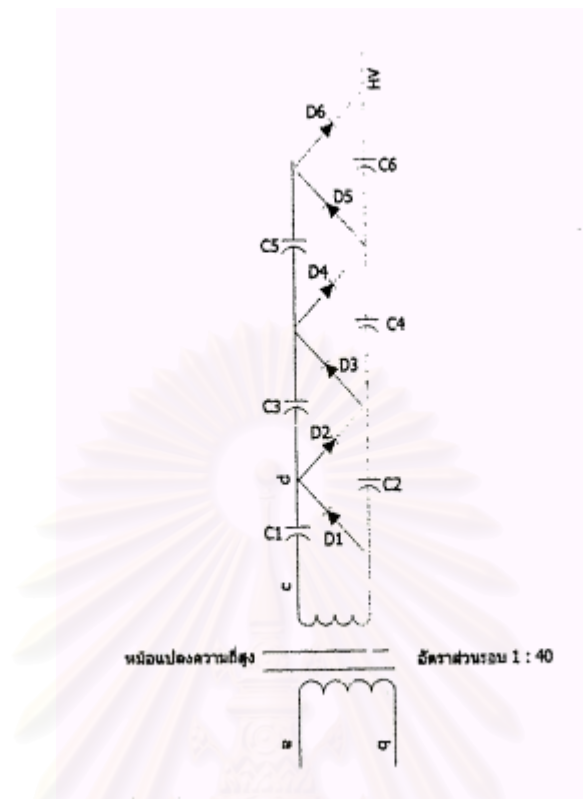
ขั้นตอนที่7 กำหนดหาขนาดขดลวดทุติยภูมิ

$$\begin{aligned}
 \text{ขนาดของขดลวดทุติยภูมิเท่ากับ} &= 400 \text{ cm/A} \cdot 0.032 \text{ A} \\
 &= 12.8 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

ตรงกับลวดเบอร์ 40 AWG

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

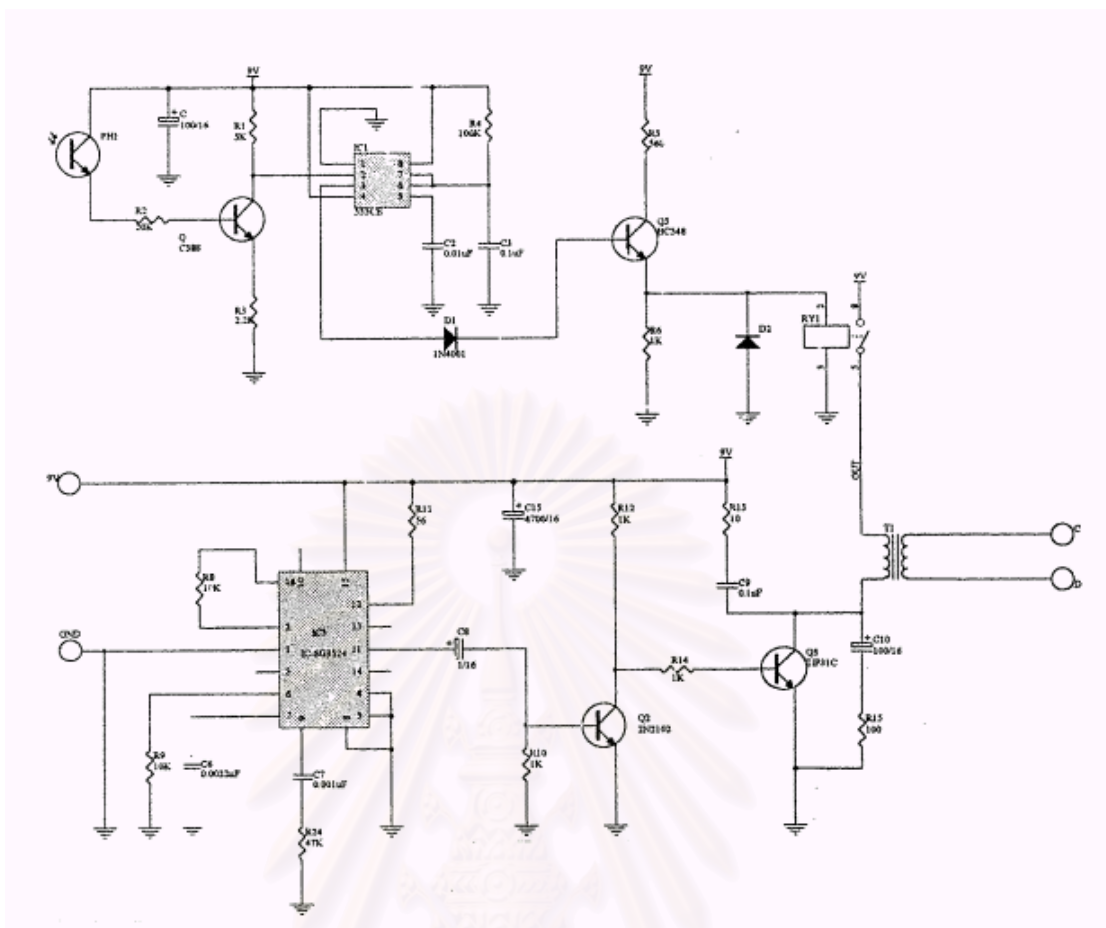
### 3.8 วงจรทวีแรงดัน



รูปที่ 16 วงจรทวีแรงดัน

จากหม้อแปลงจะผ่านเข้าสู่วงจรทวีแรงดันซึ่งเรียกว่า วงจร Walton-Cockcroft สามารถกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรงเป็นจำนวน  $n$  เท่าของแรงดันหม้อแปลงทดสอบ โดยการต่อตัวเรียงกระแสและตัวเก็บประจุคั้งรูป ที่ปลายด้าน  $c$  ของตัวเก็บประจุ  $C1$  ศักย์ไฟฟ้าจะเปลี่ยนตามแรงดันที่เข้ามาเมื่อศักย์ไฟฟ้าที่  $c$  ลดลงจนถึง  $0V$  ตัวเก็บประจุ  $C1$  จะถูกอัดประจุโดยผ่านตัวเรียงกระแส  $D1$  จนมีศักย์ไฟฟ้าเป็น  $V$  สำหรับตัวเก็บประจุ  $C2$  นั้น เมื่อ  $c$  มีศักย์ไฟฟ้าเป็น  $+V$  ที่จุด  $d$  จะมีศักย์ไฟฟ้าเป็น  $+2V$  ตัวเก็บประจุ  $C2$  จะถูกอัดประจุโดยผ่าน  $D2$  จนมีศักย์ไฟฟ้า  $2V$  ในทำนองเดียวกัน ตัวเก็บประจุอื่นๆ ทางด้านขวามือก็จะถูกอัดประจุจนมีศักย์ไฟฟ้าเป็น  $2V$  แรงดันที่เอาต์พุตของวงจรจะมีค่าเป็น  $5V$  ตัวเรียงกระแสแต่ละตัวจะต้องสามารถทนแรงดันย้อนกลับได้มากกว่า  $2V$  ด้วย

จากหลักการข้างต้นเมื่อมาประกอบสร้าง แรงดันเอาต์พุตจากหม้อแปลงจะได้ประมาณ  $3 kV$  จากนั้นจึงเข้าสู่วงจร Walton-Cockcroft ทำการทวีแรงดันอีก  $5$  เท่า จึงจะได้แรงดันเอาต์พุตที่  $15 kV$  จากแรงดันเอาต์พุตที่ได้ป้อนเข้าสู่หัวเทียนของแก๊ปทรงกลมจึงทำให้เกิดการสปาร์กที่มีประสิทธิภาพ



รูปที่ 17 วงจรตัวทริกเกอร์เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ภาครับและภาคส่ง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### การทดสอบและวิเคราะห์ผล

เป้าหมายหลักของการออกแบบสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ คือ นำมาใช้ทริกให้เกิดการสปาร์กในแกปทรงกลมแรกของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ได้ และงานวิจัยที่ทำจะเป็นเครื่องต้นแบบในการพัฒนาให้สูงขึ้นต่อไป ให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับของ HAEFELY ที่มาจากประเทศ

จากงานวิจัยที่สามารถใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เพียง 9 โวลต์ ก็สามารถทำให้เกิดการสปาร์กที่แกปทรงกลมที่มีค่าแรงดันสปาร์กระหว่างหัวเทียนกับผิวของแกปทรงกลมประมาณ 15 kV ซึ่งส่งงานผ่านสายไฟเบอร์ออปติกที่มีการลดทอนของสัญญาณต่ำมาก

การทดสอบและวิเคราะห์ผลแบ่งเป็นดังนี้ คือ

1. ทดสอบหาแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ เมื่อยิงด้วยขั้วบวก
2. ทดสอบหาแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ เมื่อยิงด้วยขั้วลบ
3. ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องต่อแรงดัน Chopped wav

#### 4.1 ทดสอบหาแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ ของ HAEFELY IMPULSE GENERATOR

รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์มาตรฐานกำหนดด้วยเวลาช่วงหน้าคลื่น  $T_1$  และเวลาช่วงหางคลื่น  $T_2$  ไว้ดังนี้ คือ

$$\text{เวลาช่วงหน้าคลื่น } T_1 = 1.2 \mu\text{sec} \pm 30 \%$$

$$\text{เวลาช่วงหลังคลื่น } T_2 = 50 \mu\text{sec} \pm 20 \%$$

$$\text{ค่ายอดแรงดัน } U_m \pm 3 \%$$

จากตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ของ HAEFELY สามารถหาแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆเป็นดังนี้ คือ

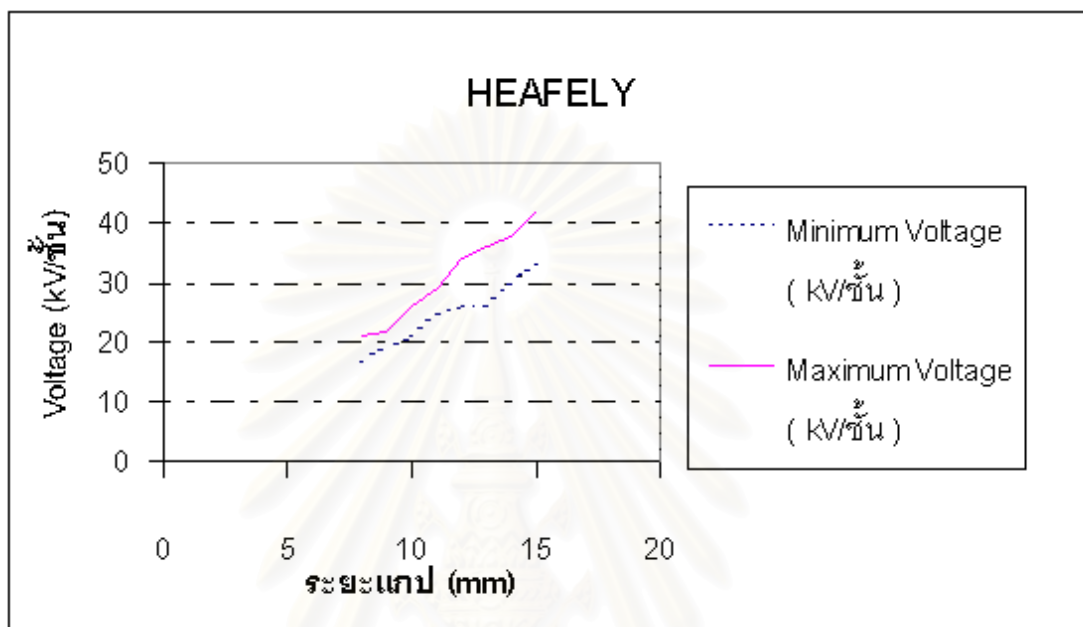
**ความสัมพันธ์ระหว่างระยะ Gap กับแรงดันที่สามารถ Trig ได้**

ระยะ Gap ( mm )	Minimum Voltage ( kV / ชั้น )	Maximum Voltage ( kV / ชั้น )
8	17	21
9	19	22
10	21	26
11	25	29
12	26	34
13	26	36
14	30	38
15	33	42

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ ของ HAEFELY IMPULSE GENERATOR

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากข้อมูลข้างต้นสามารถพล็อตกราฟได้ดังนี้ คือ



รูปที่ 18 กราฟแสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ ของตัวทริกเกอร์ HEAFELY

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## 4.2 ทดสอบหาแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ เมื่อยิงด้วยข้าวบวก

จากตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่สร้างขึ้น เมื่อยิงด้วยข้าวบวกของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ขนาด 4 ชั้น ได้ข้อมูลเป็นดังนี้ คือ

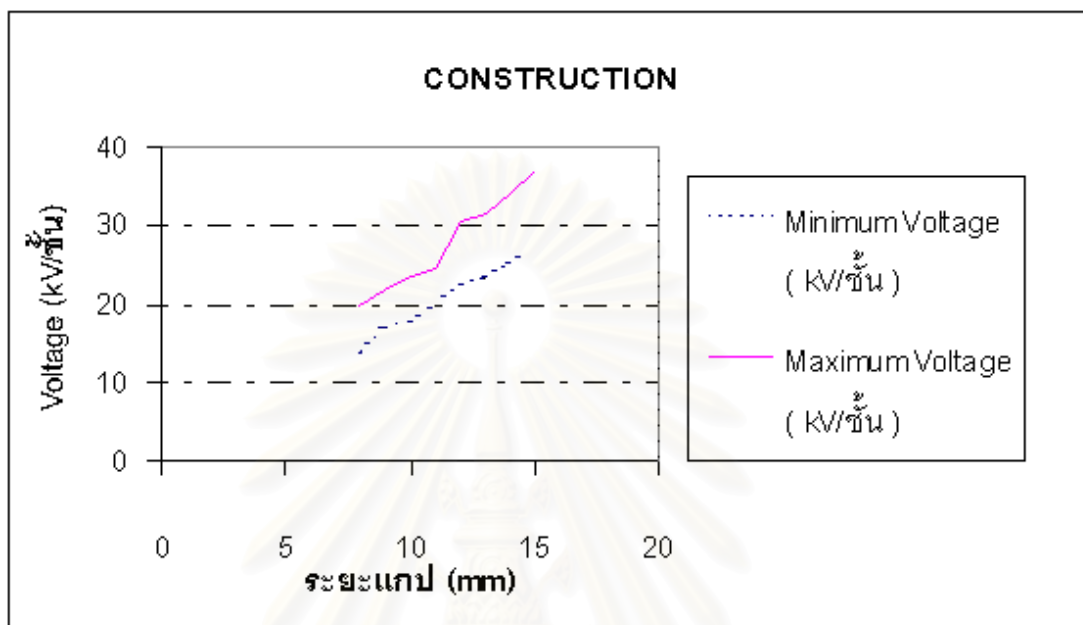
ความสัมพันธ์ระหว่างระยะ Gap กับแรงดันที่สามารถ Trig ได้

ระยะ Gap ( mm )	Minimum Voltage ( kV / ชั้น )	Maximum Voltage ( kV / ชั้น )
8	13.68	19.78
9	16.85	21.60
10	17.78	23.53
11	19.78	24.58
12	22.60	30.58
13	23.55	31.40
14	25.35	34.20
15	27.38	37.03

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่าง ๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้นเมื่อยิงด้วยข้าวบวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากข้อมูลข้างต้นสามารถพล็อตกราฟได้ดังนี้ คือ



รูปที่ 19 กราฟแสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้นเมื่อยังด้วยข้าวบวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 4.3 ทดสอบหาแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ เมื่อยิงด้วยขั้วลบ

จากตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่สร้างขึ้น เมื่อยิงด้วยประจุลบของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ขนาด 4 ชั้น ได้ข้อมูลเป็นดังนี้ คือ

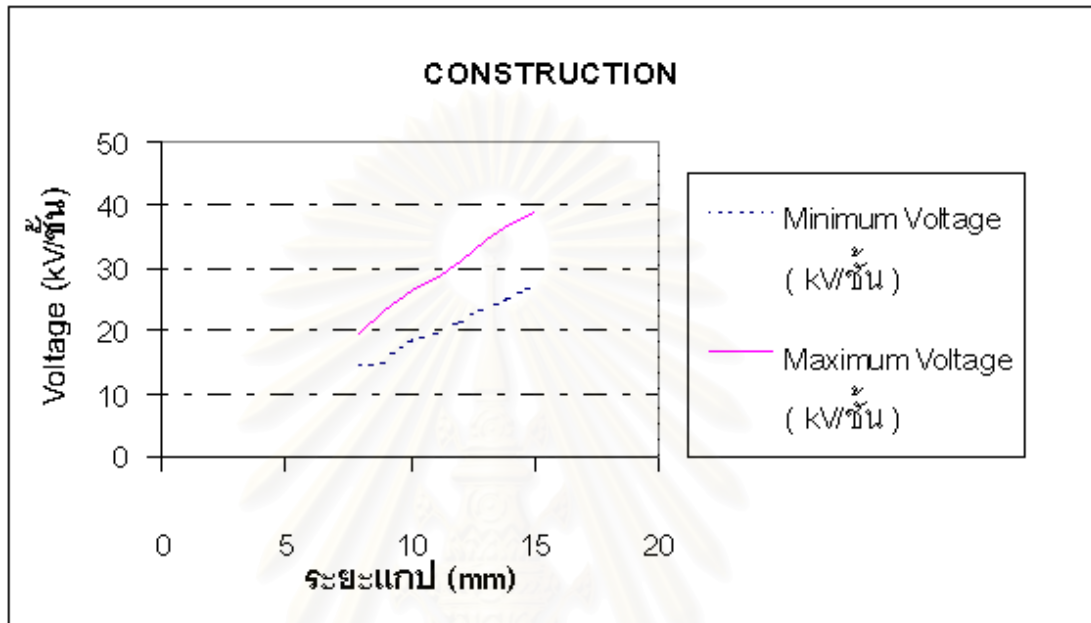
ความสัมพันธ์ระหว่างระยะ Gap กับแรงดันที่สามารถ Trig ได้

ระยะ Gap ( mm )	Minimum Voltage ( Kv / ชั้น )	Maximum Voltage ( kV / ชั้น )
8	14.55	19.53
9	14.98	23.45
10	18.60	26.45
11	19.48	28.35
12	21.48	31.20
13	23.43	34.48
14	25.28	36.88
15	27.30	38.85

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้นเมื่อยิงด้วยขั้วลบ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากข้อมูลข้างต้นสามารถพล็อตกราฟได้ดังนี้ คือ



รูปที่ 20 กราฟแสดงค่าแรงดันสูงสุดและต่ำสุดที่ระยะต่างๆ ของเครื่องที่สร้างขึ้นเมื่อยิงด้วยขั้วลบ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.4 ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องต่อแรงดัน Chopped wave

ขั้นตอนนี้จะทดสอบว่าเครื่องที่สร้างขึ้นสามารถทนต่อแรงดัน Chopped wave ที่เกิดขึ้นได้มากน้อยเท่าไร เมื่อเกิดการ Chop ขึ้นที่ส่วนหน้าคลื่นและส่วนหลังคลื่น ซึ่งระยะของ Rod-Gap ที่ทำให้เกิดการ Chop เป็นไปตามตารางดังนี้คือ

**Gap Distance of Rod-Gap for test BIL of transformer ( CWV )**

Output Voltage ( kVp)	ระยะของ Rod – Gap (cm)
18	0.6
30	1.5-1.7
36	1.7-1.8
45	2.7-2.8
54	3.5-3.6
75	6.0-6.8
102	9.0-9.5
110	9.8-10.2
125	11.0-11.2
130	11.3-11.5
170	15.0-15.2
175	15.5-15.8
230	20-21

ตารางที่ 4.4 แสดงแรงดันของ CWV กับระยะ Rod-Gap

จากการทดลองเมื่อทำให้เกิดแรงดัน Chopped Wave และยิงด้วยขั้วลบ ให้ผลการทดลองเป็นดังนี้ คือ

ทดสอบที่ Rod-Gap ระยะ 6.4 mm เมื่อแรงดันเอาต์พุตอยู่ในช่วง (58.2-78.1) ระยะ Gap 8 mm

ครั้งที่ 1	แรงดัน Charging ( kV )	แรงดัน Output ( kV )
1	14	61.2
2	15	62.9
3	16	65.6
4	17	70.1
5	18	73.6
6	19	77.9

ตารางที่ 4.5 แสดงแรงดันเอาต์พุต CWV ที่ระยะของ Gap 8 mm

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทดสอบที่ Rod-Gap ระยะ 6.4 mm เมื่อแรงดันเอาต์พุตอยู่ในช่วง (59.9-93.8) ระยะ Gap 9 mm

ครั้งที่ 1	แรงดัน Charging ( kV )	แรงดัน Output ( kV )
1	15	-
2	16	-
3	17	70.1
4	18	74.0
5	19	77.9
6	20	80.8
7	21	85.3
8	22	89.0
9	23	93.3

ตารางที่ 4.6 แสดงแรงดันเอาต์พุต CWV ที่ระยะของ Gap 9 mm

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทดสอบที่ Rod-Gap ระยะ 9.0 mm เมื่อแรงดันเอาต์พุตอยู่ในช่วง (74.4-105.8) ระยะ Gap 10 mm

ครั้งที่ 1	แรงดัน Charging ( kV )	แรงดัน Output ( kV )
1	18	-
2	19	77.8
3	20	-
4	21	-
5	22	89.7
6	23	93.5
7	24	97.3
8	25	101.7
9	26	104.9

ตารางที่ 4.7 แสดงแรงดันเอาต์พุต CWV ที่ระยะของ Gap 10 mm

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ทดสอบที่ Rod-Gap ระยะ 9.0 mm เมื่อแรงดันเอาต์พุตอยู่ในช่วง (77.9-113.4) ระยะ Gap 11 mm

ครั้งที่ 1	แรงดัน Charging (kV)	แรงดัน Output (kV)
1	19	-
2	20	-
3	21	-
4	22	89.7
5	23	93.2
6	24	95.7
7	25	100.9

ตารางที่ 4.8 แสดงแรงดันเอาต์พุต CWV ที่ระยะของ Gap 11 mm

จากการทดสอบตัวทริกเกอร์ที่สร้างขึ้นว่าสามารถทนต่อแรงดัน Chopped wave ที่เกิดขึ้นได้มาดเท่าไร

ผลการทดลองเมื่อทดสอบที่ Rod-Gap ระยะ 9.0 mm เมื่อแรงดันเอาต์พุตอยู่ในช่วง (77.9-113.4) ระยะ Gap 11 mm ปรากฏว่าทำให้วงจรได้รับความเสียหาย ตัวเก็บประจุในส่วนของวงจรทีวีแรงดันเกิดการระเบิดขึ้น ขณะที่วัดแรงดันเอาต์พุตรวมของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ทั้ง 4 ชั้นได้ 100.9 kV

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ออกแบบสร้างขึ้นนี้ ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ที่สามารถจัดซื้อได้จากบริษัทที่จัดจำหน่ายภายในประเทศทั้งหมด แต่จะหาซื้อได้ยากต้องซื้อกับบริษัทที่จำหน่ายโดยตรง ไม่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป งานวิจัยออกแบบสร้างจะใช้เทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า ในแขนงวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง และทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การออกแบบสร้างจะออกแบบในลักษณะการประยุกต์ใช้ตัวอุปกรณ์ให้น้อย วงจรจะต้องมีขนาดเล็กที่สุด จะใช้เทคโนโลยีใหม่ของตัวไอซีที่ผลิตขึ้นมา จึงจะสามารถออกแบบวงจรให้เล็กได้และสามารถใส่วงจร ทั้งหมดให้เข้าไปอยู่ในแคปซูลทรงกลมได้

จุดเด่นของการออกแบบสร้างวงจรมองนอกจากจะเป็นการประยุกต์แล้ว ประสิทธิภาพจะดีด้วยสามารถทำงานได้เช่นเดียวกับของ HAEFELY ที่ซื้อมาจากต่างประเทศ แต่ฟังก์ชันการทำงานอาจจะน้อยกว่า ซึ่งจะต้องอาศัยเวลาในการวิจัยพัฒนาต่อไป

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

#### 1) ราคา

ตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ออกแบบสร้างขึ้นนี้ ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ แยกออกเป็น 3 ส่วน คือ

ก. ส่วนของวงจรภาคส่ง

ราคาของกล่องและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รวม ราคา 1000 บาท

ข. ส่วนของสายส่งสัญญาณ

ราคาของไฟเบอร์ออปติก ราคา 1000 บาท

ค. ส่วนของวงจรภาครับ

ราคาของหม้อแปลงและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ราคา 3000 บาท

รวมราคาทั้งหมด 5000 บาท

## 2) โครงสร้าง

งานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

### 1. ส่วนของอุปกรณ์ภาคส่งสัญญาณ

ในส่วนของภาคส่งสัญญาณจะประกอบอยู่ภายในกล่องขนาดเล็ก เบา สามารถเคลื่อนย้ายได้โดยสะดวก แบ่งออกเป็นสามย่อย คือ

- มีสวิตช์กดสำหรับส่งสัญญาณผ่านสายไฟเบอร์ออปติก
- มี LED แสดงสถานะการส่งซึ่งจะสว่างเมื่อกดที่สวิตช์
- มีสวิตช์ เปิดปิด แบตเตอรี่ อยู่ด้านข้างกล่อง
- มีรูแจ็กเสียบ สำหรับรับสัญญาณทริกเกอร์จากภายนอก

### 2. ส่วนของสายส่งไฟเบอร์ออปติก

ในส่วนของสายส่งไฟเบอร์ออปติก ขนาดของสายมีความยาว 20 เมตร

### 3. ส่วนของอุปกรณ์ภาครับสัญญาณ

ในส่วนของภาครับสัญญาณจะอยู่ภายในแกปทรงกลมทั้งหมด แบ่งย่อยออกเป็น ส่วนต่างๆ ดังนี้ คือ

- ส่วนของวงจรภาครับออกแบบให้มีขนาดเล็ก
- ส่วนของวงจรทวีแรงดัน ออกแบบบนแผ่นทองแดงที่สามารถโค้งงอได้ตามแกปทรงกลม
- ส่วนของวงจรตรวจเช็คแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่ไม่เพียงพอให้วงจรภาครับทำงานจะมีวงจรคอยตรวจเช็คทำให้ LED ที่ติดตั้งไว้สว่าง และเมื่อชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มแล้ว วงจรตรวจเช็คก็จะสั่งให้ LED สว่างอีกเพื่อคุณภาพและความปลอดภัยของแบตเตอรี่
- ส่วนของแบตเตอรี่ได้ออกแบบให้มีสวิตช์สามารถ On-Off แบตเตอรี่ได้ ทำให้ประหยัดพลังงานจากแบตเตอรี่ได้เวลาไม่ได้ใช้งาน

## 5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้น

ในการวิจัยและออกแบบสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ได้มีปัญหาต่างๆเกิดขึ้นและได้ทำการแก้ไขดังนี้ คือ

ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการนำไปทดสอบกับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์และยิงด้วยขั้วบวกและลบ แล้วทดสอบด้วยแรงดัน Chopped Wave ปรากฏผลเป็นดังนี้ คือ

1. วงจรได้รับความเสียหายในส่วนของภาครับ คือ ไดโอด  $D_1$  ซึ่งเป็นไดโอดตัวเดียวในวงจรได้รับความเสียหาย จากแรงดันย้อนกลับที่เข้ามาในวงจร จากการทดลองยิงด้วยแรงดันค่าต่างๆ

### การแก้ไข

แก้ไขการพังของไดโอดด้วย การใส่วงจรสแน็บเบอร์ ซึ่งป้องกันแรงดันเกินที่เกิดขึ้นได้

2. เมื่อนำมาทดสอบกับแรงดัน Chopped Wave ปรากฏว่าเมื่อยิงถึงแรงดันที่เอาท์พุท 100 kV ทำให้ตัวเก็บประจุ  $C_1$  ในวงจรทวิแรงดัน Walton-Cockroft ได้รับความเสียหายเกิดการระเบิดขึ้น ในขณะที่ตัวเก็บประจุ  $C_1$  สามารถรับแรงดันได้ถึง 2000 V ก็ไม่สามารถทนได้

### การแก้ไข

การแก้ไขความเสียหายของตัวเก็บประจุ  $C_1$  อาจต้องหาค่าตัวเก็บประจุที่ทนแรงดันได้มากกว่านี้ หรือจะด้วยวิธีอื่น

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

จากการวิจัยและออกแบบสร้างตัวทรiggerของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ มีข้อเสนอแนะดังนี้ คือ

1. การส่งสัญญาณด้วยสายไฟเบอร์อปติก จากการออกแบบสร้างคิดว่าน่าจะส่งสัญญาณควบคุมได้ไกลกว่าที่ทดลองอยู่ขณะนี้ที่ 20 เมตร เนื่องจากการสปาร์กของตัวทรiggerที่ใช้ยังแรงมาก และตัวส่งสามารถปรับให้ส่งสัญญาณได้ไกลขึ้น

2. การสั่งงานให้ตัวทรiggerทำงานต้องสั่งด้วยการกดสวิทช์ที่ตัวส่ง (Manual) สามารถพัฒนาให้ทรiggerแบบอัตโนมัติ ( Automatic ) ได้

3. การส่งด้วยสายไฟเบอร์ ซึ่งทำจากแก้วบริสุทธิ์ สารประกอบประเภทซิลิคอนไดออกไซด์ ( SiO<sub>2</sub> ) อาจเกิดการเสียหายแตกได้ในการใช้งาน สามารถที่จะพัฒนาออกแบบสั่งให้ทำงานแบบ รีโมตโทรทัคน์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

สำราญ สังข์สะอาด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์,  
2528.

วิเชียร เบญจวัฒน์ผด. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี  
(ไทย-ญี่ปุ่น), 2538.

สุวัฒน์ คั่น. เทคนิคและการออกแบบสวิตซ์เพาเวอร์ซัพพลาย. ฝ่ายวิจัยและพัฒนา บริษัท เอน  
เทลไทย จำกัด, 2537.

### ภาษาอังกฤษ

A.J. McPhee, I.C. Somerville, S.J. MacGregor.,” The Design and Testing of an Extended  
Lifetime, High Voltage, Low Jitter Trigratron For Repetitive Operation”, Bristol, BS 12  
7QW, UK, 1995.

Eric Lowdon. Practical Transformer Design Handbook . 2<sup>nd</sup> Printing. Howard W. Sams  
& Co., Inc., 1981.

IEC Publ No. 60-1 1989, High Voltage Test Techniques Part. 1 1991.

MacGregor, S.J., Somerville, I.C., Bickers, D. and Farish, O., “Temporal Development of  
Nanosecond Electrical Discharges in Highly Divergent Gaps”, 6<sup>th</sup> IEEE Pulsed Power  
Conference, Arlington, Virginia, 1987.

M A Uman, The Lightning Discharge, Academic Press, 1987.

McPhee, A.J., MacGregor, S.J. and Turnbull, S.M. “Electrostatic Modelling of a Trigratron  
Spark Spark Gap”, 10<sup>th</sup> IEEE Pulsed power conference, Albuquerque, New Mexico,  
1995.

McPhee, A.J., “Design and testing of a 500kV trigratron with sub-ns jitter”, SPIE Int.  
Symp. On Photonics for Industrial Applications, 1994.

MicroSim Pspice. Evaluation version 7.1. MicroSim Corporation. 1995.

Motorola. Linear/Switchmode Voltage Regulator Handbook .4<sup>th</sup> Edition, 1989.

M S Naidu, V kamaraju. High Voltage Engineering. Second Edition.

## ประวัติผู้เขียน

นาย ชาญณรงค์ น้อยบางยาง เกิดเมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม พ.ศ. 2515 ที่ อำเภอกระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต เมื่อปี พ.ศ. 2539 และได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปี พ.ศ. 2540 โดยในระหว่างการศึกษาในระดับปริญญามหาบัณฑิตได้รับทุนการศึกษาจากศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย