สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การปรับปรุงและพัฒนาชุดจุดชนวนและชุดควบคุมแรงดันสำหรับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

Improvement and Development of a Trigger and a Control Unit of an Impulse Voltage Generator

T117499

โดย

นาย ชเยศ กองจันทร์ดี
นาย บรรหาร มูลศิลป์
นาย บุญฤทธิ์ ยุวพรพาณิชย์
นาย ปองพล ไพสิฐตระกูล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 117499
วัน,เดือน,ปี 5 ส.ค. 2554

b 4232951g
i

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2553

การปรับปรุงและพัฒนาชุดจุดชนวนและชุดควบคุมแรงดันสำหรับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

Improvement and Development of a Trigger and a Control Unit of an Impulse Voltage Generator

โดย

นาย ชเยศ	กองจันทร์ดี
นาย บรรหาร	มูลศิลป
นาย บุญฤทธิ์	ยุวพรพาณิชย์
นาย ปองพล	ไพสิฐตระกูล

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อานันทวัฒน์	คุณากร
อ. พีรวุฒิ	ยุทธโกวิท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2553

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การปรับปรุงและพัฒนาชุดจุดชนวนและชุดควบคุมแรงดันสำหรับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

ผู้จัดทำ

1. นาย ชเยศ กองจันทร์ดี
2. นาย บรรหาร มูลศิลป
3. นาย บุญฤทธิ์ ยุวพรพาณิชย์
4. นาย ปองพล ไพสิฐตระกูล

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ.ดร.อานันทวัฒน์ คุณากร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร.พีรวุฒิ ยุทธโกวิท)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปรับปรุงและพัฒนาชุดจุดชนวนและชุดควบคุมแรงดัน สำหรับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

นาย ชเยศ กองจันทร์ดี
นาย บรรหาร มูลศิลป
นาย บุญฤทธิ์ ยุวพรพาณิชย์
นาย ปองพล ไพสิฐตระกูล
รศ.ดร. อานันทวัฒน์ คุณากร อาจารย์ที่ปรึกษา
ดร. พีรวุฒิ ยุทธโกวิท อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2553

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการปรับปรุงและพัฒนาชุดจุดชนวน ตู้ควบคุมแรงดันรวมไปถึงโครงสร้างของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ พิกัด 1200 kV จากการปรับปรุงและพัฒนาทำให้เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์สามารถทำงานได้ตามปกติ จากผลการจำลองด้วยโปรแกรมและการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่าค่าแรงดันสูงที่จ่ายออกจากชุดจุดชนวนมีค่าใกล้เคียงกันที่ 16 kV เมื่อนำไปใช้งานจริงได้ทำการติดตั้งตัวเก็บประจุช่วยจุดชนวนที่ชั้นที่ 2 ทำให้การจุดชนวนดีขึ้นก่อนการติดตั้ง 66 % ในส่วนของตู้ควบคุมแรงดันและโครงสร้างของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์จากการออกแบบและสร้างจริงสามารถนำไปใช้งานได้จริงตามที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Improvement and Development of a Trigger and a Control Unit of an Impulse Voltage Generator

Chayes Kongchandee
Banhan Moolsilp
Bunyarit Yuwaponpanit
Pongpol Pisittakoon
Assoc.Prof.Dr.Anantawat Kunakorn Supervisor
Dr. Peerawut Yutthakowit Supervisor
Year 2010

ABSTRACT

This paper presents improvement and development of a trigger and a controller of an impulse generator , as well as the structure of the generator rated 1200 kV. Form the improvement and development , the generator can work normally. The results simulation software and experiments in the laboratory. Found that the high voltage of a set trigger is similar to 16 kV when applied to real-installed capacitors help ignite the 2nd floor to the trigger well before installation. 66% in the control box and structure of the generator voltage pulse from the design and construction can actually be used actually works as designed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยการช่วยเหลือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อานันทวัฒน์ คุณากร และ ดร.พีรวุฒิ ยุทธโกวิท อาจารย์ที่ปรึกษา ตลอดจน ผู้ช่วยศาสตราจารย์นรเศรษฐ พัฒนเดช ที่ได้กรุณาให้ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงงานมาด้วยดีตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไข ปริญญานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคุณนครศักดิ์ แสงศรี และคุณณัฐพันธ์ บุญเสนอ เจ้าหน้าที่ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือวัด และอุปกรณ์ประกอบโครงงานต่างๆ

ขอขอบคุณคุณปุณยวีร์ ทองเขียว และคุณปิยะพล ถือทอง ที่ช่วยเป็นกำลังใจสำคัญในการปรับปรุง และพัฒนาเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ด้วยดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณคุณสรรชัย อานอาชา และคุณบัญญัติ ลีลาจริยกุล พี่ๆ ปริญญาโท ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบมาโดยตลอด

ขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงทุกคน ที่ช่วยออกแรงในการทำโครงงานครั้งนี้

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจอีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาอุปกรณ์ต่างๆ ในการทำโครงงานครั้งนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	XI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงงาน	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 บทนำ	5
2.2 หลักการสร้างแรงดันอิมพัลส์	5
2.2.1 วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์พื้นฐาน	5
2.2.2 วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์แบบหลายชั้น	6
2.2.3 สปาร์กแกปและไกสวิตช์	8
2.2.4 การทำให้เกิดสปาร์กเริ่มต้นและการควบคุม	10
2.2.5 วงจรการจุดชนวนของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์	11
2.2.6 ตัวเก็บประจุช่วยการจุดชนวน	11
2.3 หลักการสร้างชุดควบคุม	12
2.3.1 หลักการออกแบบชุดควบคุม	12
2.3.2 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในชุดควบคุม	13
บทที่ 3 การออกแบบและประกอบสร้าง	20
3.1 ชุดจุดชนวน	20
3.1.1 วงจรกำเนิดแรงดันสูง	21
3.1.2 วงจรสวิตช์จุดชนวน	21
3.1.3 วงจรทวีแรงดัน	23
3.1.4 โครงสร้างภายนอก	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 ตู้ควบคุม	28
3.2.1 การกำหนดคุณสมบัติของตู้ควบคุม	28
3.2.2 การออกแบบวงจรควบคุมสำหรับตู้ควบคุม	29
3.2.3 ประกอบสร้างตู้ควบคุม	32
3.2.4 ขั้นตอนการทำงานของตู้ควบคุม	36
3.3 ชุดควบคุมมอเตอร์ปรับระยะแกป	38
3.4 การออกแบบวงจรควบคุมวัดระยะแกป	40
3.5 การออกแบบวงจรควบคุมปรับ Variac ขึ้นแรงดัน	41
3.6 การออกแบบระบบกราวด์หม้อแปลงอัดประจุ	42
3.7 การออกแบบโครงสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์	43
บทที่ 4 การทดสอบและการประเมินผล	45
4.1การทดสอบชุดจุดชนวน	45
4.1.1 การทดสอบชุดจุดชนวนเพื่อทำการวัดรูปคลื่นแรงดัน	45
4.1.2 การทดสอบเพื่อหาขอบเขตการทำงานของชุดจุดชนวน	46
4.2 การทดสอบการทำงานของระบบควบคุม	50
4.2.1 การทดสอบการทำงานของวงจรควบคุมหลัก	50
4.2.2 การทดสอบการทำงานของระบบควบคุมแรงดัน	51
4.2.3 การทดสอบการทำงานของระบบปรับระยะแกปเล็ก	52
4.2.4 การทดสอบการทำงานของระบบปรับระยะแกปใหญ่	53
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	54
5.1 สรุปผลการทดลอง	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	
ประวัติผู้เขียน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

ภาพที่		หน้า
2.1	วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์พื้นฐาน	6
2.2	วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์แบบหลายชั้น	7
2.3	อิเล็กโทรดสปาร์กแกป	8
2.4	สปาร์กแกปมีไกสวิตช์	9
2.5	ช่วงการกระตุ้นสปาร์กได้ของไกสวิตช์ในเทอมของระยะแกป	9
2.6	โครงสร้างแกปเริ่มต้น	10
2.7	วงจรการจุดชนวนของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์	11
2.8	แมกเนติกคอนแทคเตอร์ (Magnetic Contactor)	13
2.9	รีเลย์ (Relay)	14
2.10	รีเลย์ตั้งเวลา (Timing Relay)	15
2.11	Molded Case Circuit Breaker (MCCB)	16
2.12	Current Transformer (CT)	16
2.13	ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch)	17
2.14	สวิตช์ปุ่มกด (Push Button Switch)	18
2.15	หลอดสัญญาณ (Signal Lamp, Pilot Lamp)	18
2.16	หม้อแปลงแบบปรับเลื่อนค่าได้	19
2.17	Over Current Relay	19
3.1	วงจรจุดชนวน	20
3.2	ไดโอดแรงดันสูงพิกัด 5000 V	21
3.3	หม้อแปลงพิกัด 220V/3300V 30VA	21
3.4	Solid state relay พิกัด 100 to 220 VAC	22
3.5	ตัวต้านทานคาร์บอนแบบไร้ความเหนี่ยวนำ	22
3.6	ตัวต้านทานคาร์บอนแบบไวร์วาล์ว	22
3.7	ตัวเก็บประจุ พิกัด 0.5 μF/4000V	23
3.8	หม้อแปลงความถี่สูง พิกัด 4400V/16000V	23
3.9	วงจรจำลองชุดจุดชนวนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	24
3.10	ผลการจำลองชุดจุดชนวนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	24
3.11	โครงสร้างของกล่องบรรจุวงจรชุดจุดชนวนที่ได้ออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	25
3.12	กล่องบรรจุวงจรชุดจุดชนวน	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.13	วงจรชุดจุดชนวนที่ได้ประกอบสร้างจริง	26
3.14	ชุดจุดชนวนที่ได้ประกอบสร้างจริง	27
3.15	ฟังก์ชันการทำงานของชุดจุดชนวน	28
3.16	อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการประกอบตู้ควบคุม	34
3.17	ตู้ควบคุมที่ทำการประกอบสร้างจริง	34
3.18	แผงหน้าปัดฟังก์ชันการทำงานของตู้ควบคุม	36
3.19	วงจรควบคุมมอเตอร์ปรับระยะแกป	39
3.20	ชุดควบคุมมอเตอร์ปรับระยะแกปที่ได้ทำการประกอบสร้าง	39
3.21	วงจรควบคุมการวัดระยะแกป	40
3.22	ชุดวัดระยะแกปที่ได้ทำการประกอบสร้างจริง	40
3.23	วงจรควบคุมปรับ Variac ขึ้นแรงดัน	41
3.24	วงจรกำลังปรับ Variac ขึ้นแรงดัน	41
3.25	ชุดควบคุมปรับ Variac ขึ้นแรงดันที่ได้ทำการประกอบสร้างจริง	42
3.26	ระบบกราวด์หม้อแปลงอัดประจุที่ได้ทำการประกอบสร้างจริง	42
3.27	ฐานรองตัวเก็บประจุที่ได้ทำการปรับปรุง	43
3.28	ฉนวนระหว่างชั้นที่ได้ทำการปรับปรุง	44
3.29	โครงสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ได้ทำการปรับปรุง	44
4.1	วงจรทดสอบชุดจุดชนวน	45
4.2	รูปคลื่นแรงดันขาออกของวงจรชุดจุดชนวน	46
4.3	กราฟผลการทดสอบเพื่อหาขอบเขตการทำงานของชุดจุดชนวน (ขั้วบวก)	48
4.4	กราฟผลการทดสอบเพื่อหาขอบเขตการทำงานของชุดจุดชนวน (ขั้วลบ)	49
4.5	การปรับเทียบระบบปรับระยะแกปเล็ก	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงานและการดำเนินงานจริง	3
4.1	ผลการทดสอบเพื่อหาขอบเขตการทำงานของชุดจุดชนวน	47
4.2	ตารางการทดสอบการทำงานของระบบควบคุม	50
4.3	ผลการทดสอบและปรับเทียบระบบปรับระยะแกปเล็ก	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ในห้องปฏิบัติไฟฟ้าแรงสูงสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์นั้นได้รับความเสียหายและชำรุดอันเนื่องมาจากการถล่มของฝ้าเพดานภายในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง เมื่อประมาณ 3 ปีที่ผ่านมา ประกอบกับโครงสร้างเดิมมีอายุการใช้งานนานแล้ว และชุดจุดชนวนสำหรับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ได้รับความเสียหาย อีกทั้งตู้ควบคุมแรงดันเดิมที่มีอยู่นั้นไม่สามารถใช้งานได้ และมีระบบการควบคุมป้องกันที่ล้าสมัย จากปัญหาดังกล่าว จึงทำให้ทางภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ามีความจำเป็นต้องพัฒนาและปรับปรุงชุดจุดชนวนสำหรับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์และโครงสร้างดังกล่าวขึ้นมาใหม่เพื่อให้สามารถใช้งานได้ ดังนั้นชุดจุดชนวนที่จะทำการปรับปรุงขึ้นมาใหม่จะต้องควบคุมแรงดันได้ ทั้งนี้เพื่อให้ค่าแรงดันที่ป้อนเข้าไปที่วัสดุ หรืออุปกรณ์ทดสอบหลายๆ ครั้งมีค่าคงที่

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1. ปรับปรุงและพัฒนาชุดจุดชนวนที่สร้างสัญญาณพัลส์ 10-15 kV สำหรับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
2. ปรังปรุงและพัฒนาตู้ควบคุมให้สามารถใช้งานร่วมกับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ได้
3. ปรับปรุงและพัฒนาโครงสร้างของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
4. เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
5. เพื่องรองรับงานทดสอบทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
6. เพื่อลดการนำเข้าเครื่องมือและอุปกรณ์จากต่างประเทศส่งเสริมให้ใช้วัสดุที่หาได้ภายในประเทศเป็นหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงงาน

1. ศึกษามาตรฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
2. พัฒนาและปรับปรุงตู้ควบคุมสำหรับของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
3. พัฒนาและปรับปรุงชุดจุดชนวนสำหรับเครื่องกำเนิดอิมพัลส์
4. พัฒนาและปรับปรุงโครงสร้างเครื่องกำเนิดอิมพัลส์
5. ทำการทดสอบตู้ควบคุมสำหรับของเครื่องกำเนิดแรงดันอิม
6. สรุปผลการทดสอบ
7. จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎี และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและการวัดแรงดันอิมพัลส์
2. ศึกษามาตรฐาน และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวงจรชุดจุดชนวน
3. จำลองการทำงานของวงจรต่างๆ โดยใช้โปรแกรมดังนี้
   - จำลองวงจรทางไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม Pspice
   - จำลองรูปแบบของตู้ควบคุมแรงดันโดยใช้โปรแกรม Solid Work , Auto Cad
   - ออกแบบวงจรการทำงานตู้ควบคุมแรงดันโดยใช้โปรแกรม Visio
4. ปรับปรุงและพัฒนาวงจรชุดจุดชนวนตู้ควบคุมแรงดันและโครงสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
5. ทำการทดสอบวงจรชุดจุดชนวนตู้ควบคุมแรงดันและโครงสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
6. วิเคราะห์ปรับปรุงผลการทดสอบ
7. จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานและการดำเนินงานจริง

แผนการทำงาน	ปีการศึกษา 2553									
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษาทฤษฎี และมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการสร้างและการวัดแรงดันอิมพัลส์	←——→	←——→								
	←- - -→	←- - -→								
2.ศึกษามาตรฐาน และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวงจรชุดจุดชนวน			←——→							
			←- - -→							
3.จำลองการทำงานของวงจรต่างๆ โดยใช้โปรแกรมดังนี้				←——→	←——→					
			←- - -→	←- - -→	←- - -→					
4.ปรับปรุงและพัฒนาวงจรชุดจุดชนวนตู้ควบคุมแรงดันและโครงสร้าง				←——→	←——→	←——→				
				←- - -→	←- - -→	←- - -→	←- - -→			
5.ทำการทดสอบวงจรชุดจุดชนวนตู้ควบคุมแรงดันและโครงสร้าง							←——→	←——→		
								←- - -→		
6.วิเคราะห์ ปรับปรุง และสรุปผลการทดสอบ									←——→	
									←- - -→	
8.จัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์									←——→	←——→
									←- - -→	←- - -→

หมายเหตุ ←——→ คือ ระยะเวลาปฏิบัติงานที่วางไว้

←- - -→ คือ ระยะเวลาปฏิบัติงานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานโครงงาน

1. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

2. มีความรู้ความเข้าใจในหลักการทำงานและการออกแบบสร้างชุดจุดชนวน

3. มีความรู้ในการออกแบบและสร้างตู้ควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

4. ชุดจุดชนวนที่พัฒนาและปรับปรุงขึ้นสามารถที่จะจุดชนวนแล้วทำให้เกิดการสปาร์กได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ [2]

แรงดันอิมพัลส์เป็นแรงดันที่มีรูปคลื่นเลียนแบบมาจากแรงดันเกินเสิร์จทรานเซี้ยนต์ ที่เกิดจากเหตุภายนอก ที่เกี่ยวข้องกับปรากฏการณ์ฟ้าผ่า เรียกว่า แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า และที่เกิดขึ้นจากสาเหตุภายในระบบส่งจ่ายเอง คือ เกิดจากการทำงานของสวิตช์หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ เมื่อมีความผิดพร่องในเกิดขึ้นระบบ เรียกว่าแรงดันอิมพัลส์แบบสวิตชิ่ง ความมุ่งหมายของการสร้างแรงดันอิมพัลส์ขึ้นในห้องทดลอง ก็เพื่อที่จะนำไปศึกษาวิจัย หรือทดสอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ก่อนที่จะนำไปใช้งาน เพื่อจะดูว่าทนต่อแรงดันเกินเหล่านี้ได้หรือไม่ ความคงทนของฉนวนต่อแรงดันหรือความเครียดสนามไฟฟ้าอิมพัลส์ มิใช่ขึ้นอยู่กับขนาดแรงดันสูงสุดเท่านั้น หากแต่ยังขึ้นอยู่กับการแปรของแรงดันไปตามเวลาอีกด้วย ฉะนั้นเพื่อความสะดวกต่อการเปรียบเทียบผลการทดสอบ จึงมีการกำหนดรูปคลื่นอิมพัลส์ให้เป็นมาตรฐานขึ้น โดยยึดถือเอารูปคลื่นจริงที่เกิดตามธรรมชาติเป็นเกณฑ์

แรงดันอิมพัลส์ที่ใช้ทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงนั้น ควรจะกำหนดหรือควบคุมได้ ทั้งนี้เพื่อให้ค่าแรงดันที่ป้อนไปที่วัสดุ หรืออุปกรณ์ทดสอบหลาย ๆ ครั้งนั้นมีค่าคงที่ การควบคุมทำได้โดยใช้ไกสวิตช์เป็นตัวเริ่มให้เกิดดิสชาร์จในสปาร์กแกปช่วยที่อยู่ในสปาร์กแกปหลักของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ด้วยสัญญาณอิมพัลส์ไกสวิตช์ โดยการบังคับจากระยะไกล ใช้ไกสวิตช์บังคับให้เกิดสปาร์ก ตามที่กำหนดนี้ จะช่วยให้การกระจัดกระจายของแรงดันที่จ่ายออกน้อยลง นั่นคือจะได้ค่าแรงดันทดสอบมีค่าคงที่ตามต้องการ และยังช่วยให้สามารถบังคับออสซิลโลสโคป หรือเครื่องบันทึกเริ่มต้นบันทึกภาพรูปคลื่นอิมพัลส์ U(t) ได้ด้วย

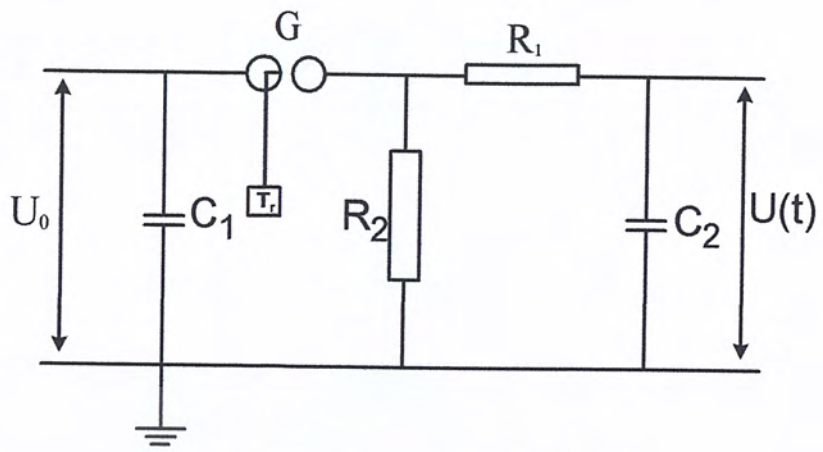
2.2 หลักการสร้างแรงดันอิมพัลส์ [1]

2.2.1 วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์พื้นฐาน

รูปคลื่นของแรงดันอิมพัลส์ เกิดจากการปลดปล่อยพลังงานของแหล่งสะสมพลังงาน ซึ่งจะเป็นแหล่งสะสมพลังงานแบบตัวเก็บประจุ เนื่องจากวัสดุทดสอบส่วนใหญ่เป็นโหลดแบบตัวเก็บประจุ

จากวงจรการสร้างแรงดันอิมพัลส์พื้นฐาน ดังภาพที่ 2.1 เราจะพบว่าเมื่อ C_1 ได้รับการอัดประจุจากเครื่องกำเนิดแรงดันกระแสตรงจนถึงค่าค่าหนึ่งก็จะเกิดการเบรกดาวน์ผ่านแกปทรงกลม ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์ จากนั้น C_1 จะอัดประจุให้กับ C_2 ซึ่งอาจจะเป็นวัสดุทดสอบหรือโวลเตจดิไวเดอร์ ผ่าน R_1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์พื้นฐาน

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

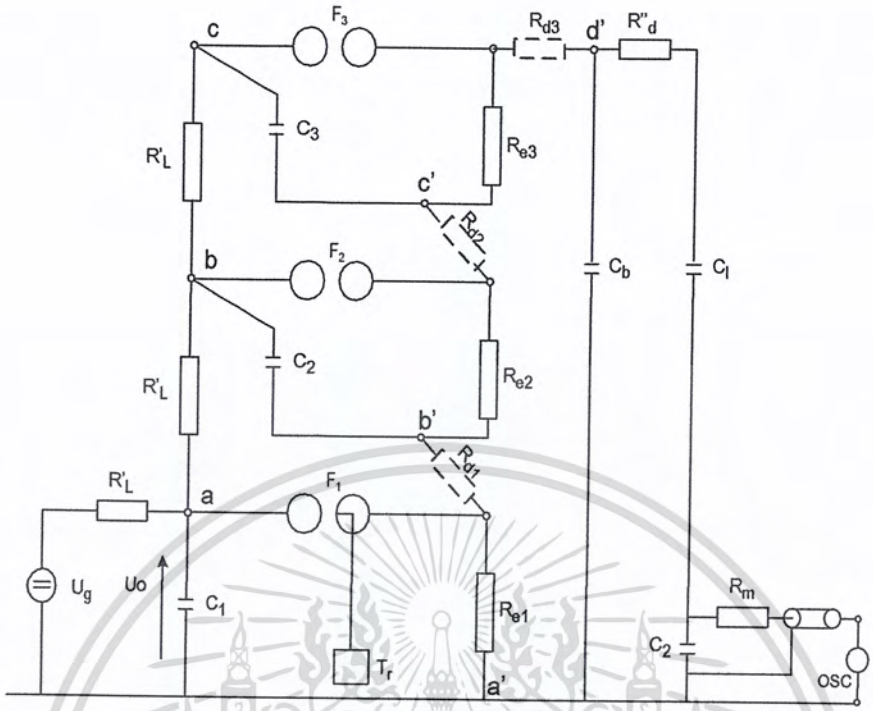
ดังนั้นเราจะพบว่าค่า R_1 เป็นค่าที่สำคัญในการที่กำหนดเวลาหน้าคลื่น และค่า R_1 และ R_2 เป็นค่าที่กำหนดเวลาหลังคลื่น โดยจะแสดงให้เห็นในทางคณิตศาสตร์ต่อไป

2.2.2 วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์แบบหลายชั้น

จากวงจรแรงดันอิมพัลส์พื้นฐาน จะพบว่าการสร้างแรงดันอิมพัลส์ที่มีขนาดสูงมาก อาจมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ อาทิเช่น แหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรงปกติจะมีค่าประมาณ 50-200 kV และที่สำคัญที่สุดคือสวิตช์หรือแกปทรงกลม ซึ่งการเบรกดาวน์ของแกปทรงกลมจะขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางของวงกลมและระยะห่างระหว่างทรงกลม การที่จะสร้างแรงดันอิมพัลส์ที่บางครั้งมีขนาดเป็นล้านโวลต์ จะต้องใช้ทรงกลมขนาดใหญ่ซึ่งไม่เหมาะสม

วิธีการสร้างแรงดันอิมพัลส์ที่มีขนาดสูง จึงนิยมใช้วงจรแบบหลายชั้น ซึ่งพัฒนาโดย Mark ดังแสดงในภาพที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.2 วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์แบบหลายขั้น

การทำงานของวงจร เริ่มจากการป้อนแรงดันกระแสตรงเพื่ออัดประจุให้กับ $C_1 \ldots C_3$ ทุกตัวผ่านทาง R_1 เวลาที่จะใช้ในการอัดประจุขึ้นอยู่กับพิกัดกระแสของแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงปกติจะใช้เวลาหลายสิบวินาที หรือ เป็นนาที ในท้ายที่สุดแรงดันที่ a,b,c จะมีค่าเป็น U_0 และแรงดันที่ a',b',c' จะมีค่าเป็นศูนย์

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

เมื่อแรงดันที่ d' สูงถึงค่าที่ยอด C_1 จะคายประจุผ่าน Re_1, C_2 จะคายประจุผ่าน Re_2,C_3 จะคายประจุผ่าน Re_3 และโหลดจะคายประจุผ่าน $Rd_1 \ldots Rd_3$ และ $Re_1 \ldots Re_3$ ดังนั้นเมื่อพิจารณาวงจรดังกล่าวที่มี $C_1 = C_2 = C_3 = C$, $Rd_1 = Rd_2 = Rd_3 = Rd$ และ $Re_1 = Re_2 = Re_3 = Re$ เป็นวงจรพื้นฐาน โดยสมมติว่า $Re > Rd$ จะพบว่า

$$Cs = C/n$$

$$R_1 = nRd$$

$$R_2 = nRe$$

$$U_{out} = nU_0$$

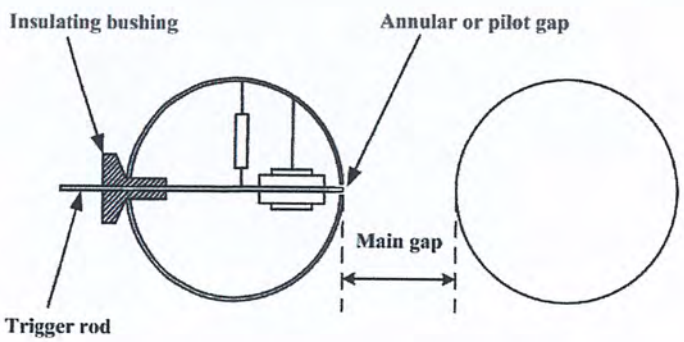
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งพลังงานที่จ่ายได้จากเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบหลายขั้นจะมีค่าเป็น

$$W = C_s U_0/2 \qquad (2.1)$$

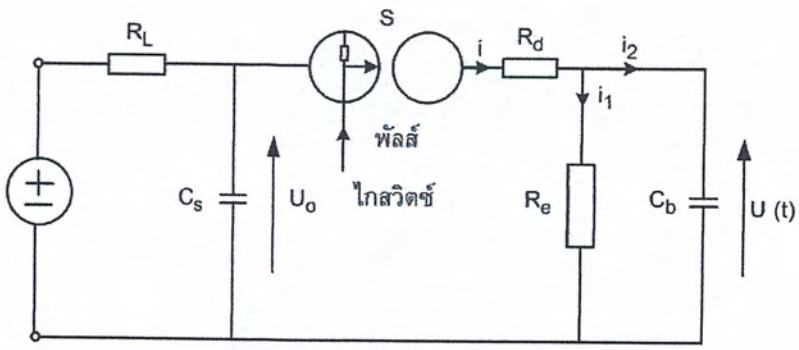
2.2.3 สปาร์กแกปและไกสวิตช์

สปาร์กแกปและไกสวิตช์ แรงดันอิมพัลส์ที่สร้างขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการทดสอบหรือการศึกษาวิจัยจะต้องสามารถสร้างให้มีขนาดเท่าเดิมกี่ครั้งก็ได้ ซึ่งตามมาตรฐาน IEC 71[4] ได้กำหนดให้มีค่าคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 3% การควบคุมให้ขนาดแรงดันเท่าเดิมดังกล่าวนี้ทำได้โดยการใช้พัลส์ไกสวิตช์บังคับให้เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์เริ่มต้นคายประจุที่แรงดันอัดประจุที่กำหนด พัลส์ไกสวิตช์จะเป็นตัวทำให้เกิดการสปาร์กที่แกปช่วย (auxiliary gap) ซึ่งเป็นแกปแคบๆ ขนาดประมาณ 1-2 มิลลิเมตร อยู่ที่ด้านหนึ่งของสปาร์กแกปคู่แรกของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ดังภาพที่ 2.3 และ 2.4 แกปช่วยนี้จะเป็นสัญญาณพัลส์ทำให้เกิดสปาร์กขึ้นในแกปช่วยก่อน ผลของการเกิดสปาร์กในแกปช่วยนี้ทำให้เกิดการไอออไนเซชั่นของอากาศและเกิดอิเล็กตรอนอิสระมากขึ้น ระหว่างสปาร์กแกปคู่แรกและเกิดการคายประจุที่สปาร์กแกปคู่นั้น เป็นผลให้ตัวเก็บประจุอิมพัลส์ตัวแรกต่ออนุกรมกับตัวเก็บประจุอิมพัลส์ตัวที่สอง และเกิดสปาร์กที่แกปถัดไปเป็นลำดับจนถึงแกปคู่สุดท้ายหรือคู่บนสุดของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์และเป็นการเริ่มต้นคายพลังงานให้กับตัวเก็บประจุโหลด ซึ่งจะได้แรงดันอิมพัลส์ตามที่ต้องการ ฉะนั้นการใช้ไกสวิตช์ช่วยเริ่มต้นจุดสปาร์กจึงทำให้สามารถกำหนดแรงดันคายประจุได้อย่างแม่นยำ สัญญาณพัลส์ที่ใช้สำหรับทำให้เกิดสปาร์กในแกปช่วยนั้น โดยทั่วไปจะใช้สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์สร้างพัลส์ โดยแรงดันของพัลส์นี้มีค่าประมาณ 5-10 kV และจะต้องทำให้เกิดสปาร์กแกปภายในเวลา 10-100 ns



ภาพที่ 2.3 อิเล็กโทรดสปาร์กแกป [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

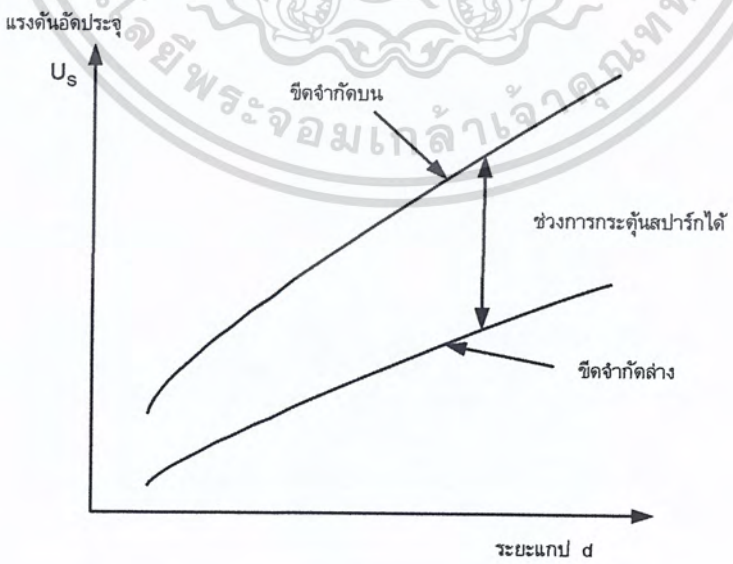


ภาพที่ 2.4 สปาร์กแกปมีไกสวิตช์

คุณลักษณะการทำงานหรือประสิทธิภาพของไกสวิตช์จะพิจารณากันที่ช่วงการกระตุ้นสปาร์กได้ ซึ่งหมายถึงที่ระยะแกปกำหนดให้ค่าหนึ่ง โดยให้เกิดสปาร์กเอง (Self firing) เรียกว่าขีดจำกัดบน และที่พัลส์ไกสวิตช์จะสามารถจุดสปาร์กได้ (Trigger) ที่แรงดันอัดประจุต่ำสุดเท่าใดเรียกว่า ขีดจำกัดล่าง ความแตกต่างของแรงดันกระตุ้นสปาร์กได้ระหว่างค่าต่ำสุดกับค่าสูงสุดเรียกว่า "ช่วงการกระตุ้นสปาร์กได้" (Trigger range) ของไกสวิตช์ ซึ่งอาจแสดงเป็นค่าแรงดันกิโลโวลต์ หรือเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันขีดจำกัดบนนั่น ดังสมการที่ 2.2

ช่วงการกระตุ้นสปาร์กได้ = (ขีดจำกัดบน – ขีดจำกัดล่าง) / ขีดจำกัดบน) × 100% (2.2)

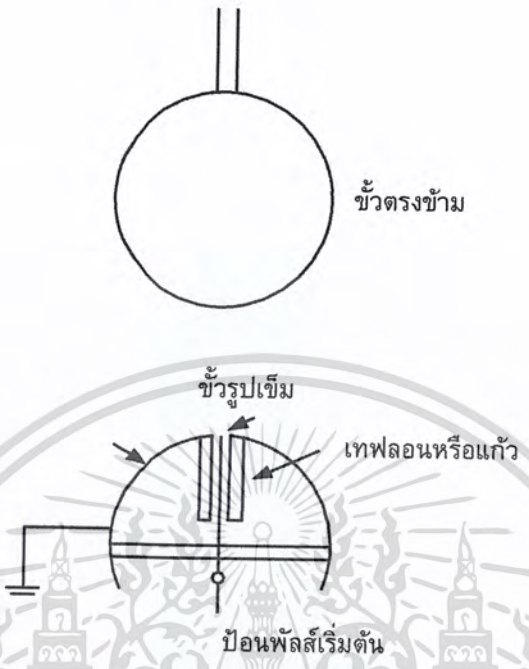
ความสัมพันธ์ของแรงดันที่กระตุ้นได้ต่ำสุดและสูงสุด และช่วงการกระตุ้นได้ในเทอมของระยะแกปในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ช่วงการกระตุ้นสปาร์กได้ของไกสวิตช์ในเทอมของระยะแกป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 การทำให้เกิดสปาร์กเริ่มต้นและการควบคุม



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างแกปเริ่มต้น

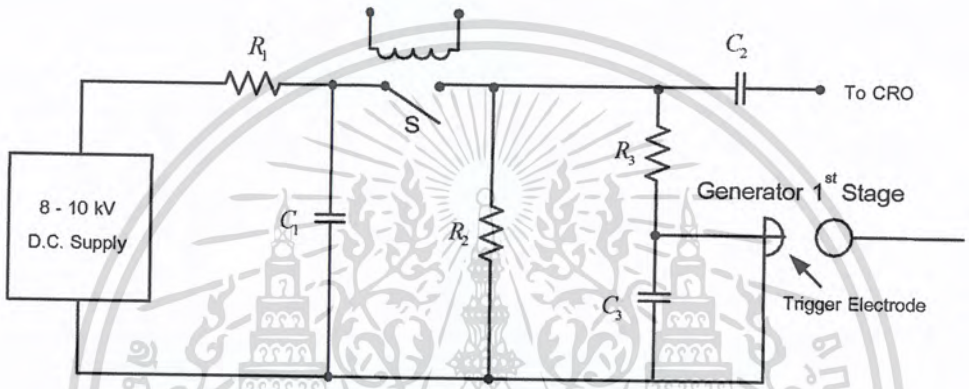
การทำให้เกิดสปาร์กเริ่มต้นขึ้นนั้น มีวิธีทำโดยให้แรงดันอิมพัลส์เริ่มต้นแก่แกป ทำให้ขั้วของตัวเก็บประจุเกิดสปาร์กขึ้น จากนั้นขั้วอื่นๆ จะสปาร์กตามอย่างต่อเนื่องแกปเริ่มต้นมีโครงสร้างดังภาพที่ 2.6 ทางด้านขั้วที่ต่อกับดินจะเจาะเป็นรูกว้างประมาณ 1-5 mm สอดไว้ด้วยหลอดแก้วหรือเทปรอนที่มีความหนาขนาด 1 mm ในหลอดแก้วนี้จะสอดไว้ด้วยขั้วไฟฟ้าชนิดเข็มอีกทีหนึ่ง เมื่อกระทำต่อขั้วไฟฟ้าชนิดเข็มด้วยแรงดันอิมพัลส์เริ่มต้นที่มีศักย์ไฟฟ้าตรงข้ามกับประจุไฟฟ้าที่ต่อกับดินอยู่ หลังจากนั้นขั้วไฟฟ้าที่อยู่ตรงข้ามจะสปาร์กตาม

การเกิดการเบรกดาวน์ของแกปทรงกลมสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎี streamer [5] เริ่มจากอิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ออกจากขั้วลบ โดยที่อิเล็กตรอนจะถูกสนามไฟฟ้าเร่งให้มาอยู่ทางตอนหน้าของอิเล็กตรอนอะวาลานช์ ไอออนบวกที่เคลื่อนที่ช้ากว่าจะถูกทิ้งให้อยู่กับที่ทางตอนหลัง เมื่อตอนหน้าของอิเล็กตรอนอะวาลานช์ถึงขั้วบวก กลุ่มอิเล็กตรอนจะถูกดูดเข้าไปในขั้นบวกเหลือแต่กลุ่มไอออนบวกถูกทิ้งเป็นแท่งรูปกรวยอยู่ทางตอนหลัง แท่งไอออนบวกที่ใกล้กับขั้วลบจะมีความหนาแน่นมาก ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่มีความเครียดสูงอันเนื่องมาจากกลุ่มไอออนบวกนี้ขึ้นอิเล็กตรอนที่เกิดจากแสงหรือกลไกอื่นๆ ซึ่งอยู่ในละแวกใกล้เคียงจะถูกเร่งให้วิ่งเข้ามายังแท่งไอออนบวก เกิดเป็นกลุ่มอิเล็กตรอนอะวาลานช์เล็กๆ ขึ้น เมื่อกลุ่มอิเล็กตรอนทางตอนหน้าของกลุ่มอิเล็กตรอนอะวาลานช์เล็กๆ เหล่านี้ถูกดูดเข้าไปในแท่งไอออนบวก จะเกิดการปะปนกับไอออนบวกเกิดเป็นพลาสมาซึ่งมีความนำไฟฟ้าสูงขึ้น เรียกสิ่งนี้ว่าสตรีมเมอร์ (streamer) สตรีมเมอร์นี้จะดูดเอากลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อิเล็กตรอนอะวาลานช์เข้ามาแล้วงอกยาวออกไปทางด้านขั้วลบเรื่อยๆ เมื่อปลายของสตรีมเมอร์ถึงขั้วลบจะเกิดเป็นทางนำไฟฟ้าขึ้นระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ทำให้เกิดการเบรกดาวน์ขึ้น ถ้าแรงดันที่ป้อนให้กับแกปทรงกลมมีค่ามากพอ อิเล็กตรอนอะวาลานช์อาจเปลี่ยนเป็นสตรีมเมอร์ได้ก่อนที่ปลายของอิเล็กตรอนอะวาลานช์จะถึงขั้วบวก ซึ่งการทำให้เกิดการสปาร์กในแกปช่วยซึ่งจะเป็นการเพิ่มจำนวนอิเล็กตรอนอะวาลานช์ซึ่งจะทำให้เกิดการเบรกดาวน์ขึ้นได้

2.2.5 วงจรการจุดชนวนของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ [6]



ภาพที่ 2.7 วงจรการจุดชนวนของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

วงจรการจุดชนวนของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แสดงดังภาพที่ 2.7 จะประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง ที่จะทำการอัดประจุให้กับตัวเก็บประจุ C_1 โดยผ่านความต้านทานค่าสูง R_1จะมีรีโมตคอยควบคุมสวิตช์ S โดยที่สัญญาณคลื่นพัลส์จะถูกจ่ายไปที่ออสซิลโลสโคบผ่านตัวเก็บประจุ C_2 ที่เวลาเดียวกันตัวเก็บประจุ C_3 จะถูกอัดประจุขึ้น และเมื่อถูกอัดประจุเต็มที่แล้วก็จะถูกจ่ายไปที่ Trigger-Electrode โดยที่ความต่างศักย์ของการทริกที่ขั้วอิเล็กโตรดสามารถที่จะปรับได้ด้วย R_3 หรือ C_3 ซึ่งตัว R_3,C_3 จะใช้ในการหน่วงเวลาการทำงานของวงจรการจุดชนวนโดยที่ค่าต้านทาน R_2 ที่มีค่าสูงจะใช้ในการคายประจุที่เหลืออยู่ให้กับ C_3

2.2.6 ตัวเก็บประจุช่วยการจุดชนวน

เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่มีจำนวนชั้นมากกว่า 6 ชั้น จะมีการติดตั้งตัวเก็บประจุช่วยการจุดชนวน เพื่อให้การจุดชนวนดีขึ้น

ตัวเก็บประจุช่วยการจุดชนวนถูกสร้างขึ้นโดยตัวเก็บประจุที่ใช้ เป็นชนิดกระดาษชุบน้ำมัน จากนั้นนำมาบรรจุในพลาสติกรูปทรงกระบอก ซึ่งไม่ว่าจะปรับค่าต้านทานหน้าคลื่นเท่าใด ตัวเก็บประจุช่วยการจุดชนวนก็ยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการสร้างชุดควบคุม [7]

2.3.1 หลักการออกแบบชุดควบคุม

ในการออกแบบระบบควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการกระแสไฟฟ้ามากๆนั้น นิยมออกแบบให้ประกอบเป็นสองส่วนหลักๆ ส่วนแรกคือวงจรกำลังเป็นวงจรหลักที่มีไว้เพื่อส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุม และอาจมีการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันและอุปกรณ์วัดเข้าไปในส่วนนี้ด้วย ส่วนที่สองคือวงจรควบคุมเป็นส่วนที่มีไว้เพื่อควบคุมการทำงานของวงจรกำลังให้ทำงานได้ตามเงื่อนที่กำหนดไว้ โดยวงจรควบคุมนั้นจะทำการสั่งตัด-ต่อวงจรกำลังผ่านทางแมกเนติกคอนแทกเตอร์

แมกเนติกคอนแทกเตอร์เป็นสวิตช์ที่ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กช่วยให้เกิดการตัดต่อในวงจรกำลังที่ใช้กระแสค่อนข้างสูง (ประมาณ 30-300A) เช่น ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูง เป็นต้น

ข้อดีของการใช้รีเลย์และคอนแทกเตอร์เมื่อเทียบกับสวิตช์กำลังอื่นๆ

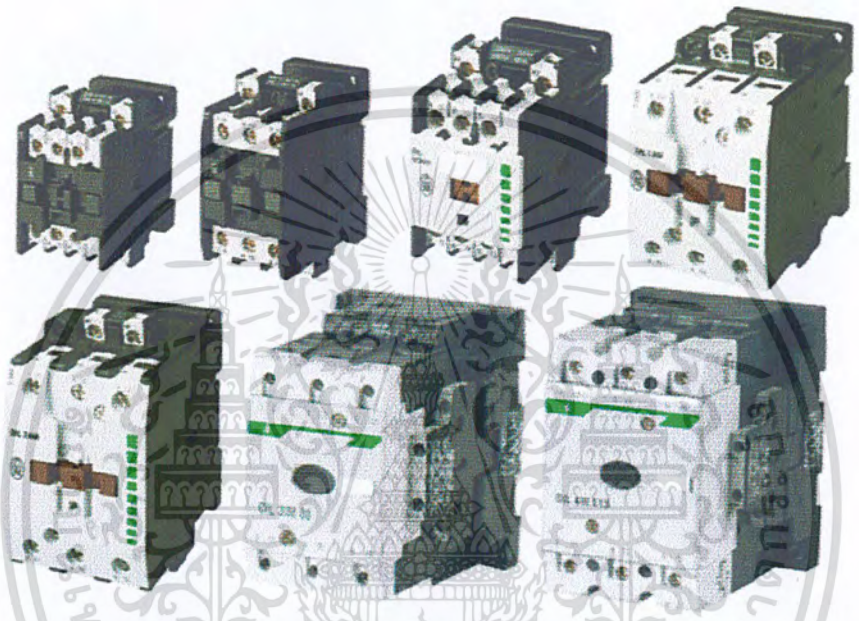
1. ให้ความปลอดภัยสำหรับผู้ควบคุม อันตรายจากการตัดต่อวงจรกำลังซึ่งมีกระแสค่อนข้างสูง (เช่นการสตาร์ทมอเตอร์ตัวใหญ่ๆ และจะทำให้เกิดการอาร์คที่หน้าคอนแทกขณะเริ่มสตาร์ท) ทั้งนี้เพราะสามารถใช้กระแสหรือแรงเคลื่อนต่ำๆ ไปควบคุมคอยล์ของคอนแทกเตอร์ ทำให้เกิดการตัดต่อในวงจรกำลัง แทนการสับสวิตช์กำลังด้วยมือโดยตรง นอกจากนี้ยังสามารถย้ายจุดควบคุมไปอยู่ในตำแหน่งที่ปลอดภัยและห่างจากวงจรกำลังได้
2. ให้ความสะดวกในการควบคุม เพราะสามารถใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น Push buttonswitch, Pressure switch, Flow switch, Limit switch ฯลฯ ในการควบคุมวงจรต่างๆ เช่น วงจรลิฟท์ ซึ่งจะสามารถควบคุมให้หยุดได้เองเมื่อลิฟท์วิ่งถึงชั้นที่ต้องการ
3. ประหยัดเมื่อเทียบกับการควบคุมด้วยมือ (Manual control) ในบางกรณีภาระ (load) ที่ต้องการควบคุม จำเป็นต้องอยู่ห่างจากแหล่งจ่ายไฟ และจุดควบคุม ถ้าใช้การควบคุมมือ สายวงจรกำลังจะต้องเดินจากแหล่งจ่ายไฟไปยังจุดควบคุมจากนั้นจึงเดินไปที่ภาระ แต่เมื่อใช้การควบคุมด้วยคอนแทกเตอร์ จะช่วยประหยัด เพราะสายของวงจรกำลังสามารถเดินจากแหล่งจ่ายไฟไปยังภาระได้โดยตรง ส่วนสายที่เดินไปยังจุดควบคุมจะเป็นสายของวงจรควบคุม ซึ่งมีขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในชุดควบคุม

1. แมกเนติกคอนแทกเตอร์ (Magnetic Contactor)

เป็นสวิตช์ที่ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กที่ใช้ในการตัด – ต่อวงจรกำลัง มีขนาดตั้งแต่ ขนาด 0 ถึง 6 และในตัวของมันเองนอกจากจะมีคอนแทกสำหรับวงจรกำลังแล้วยังมีคอนแทกช่วยทั้งปกติปิดและเปิดอีกด้วย ซึ่งอาจจะมีอยู่อย่างละ 1 หรือ 2 คอนแทกให้เลือกใช้ตามความน่าจะเป็นของวงจรควบคุม



ภาพที่ 2.8 แมกเนติกคอนแทกเตอร์ (Magnetic Contactor)

แมกเนติกคอนแทกเตอร์ที่ใช้กับไฟกระแสสลับ แบ่งออกเป็น 4 ชนิด ตามลักษณะของโหลด และการใช้งาน คือ AC1, AC2, AC3, และ AC4

- AC 1 : เป็นแมกเนติกคอนแทกเตอร์ที่เหมาะสำหรับโหลดที่เป็นตัวต้านทาน หรือในวงจรที่อินดัคทีฟน้อยๆ
- AC 2 : เป็นแมกเนติกคอนแทกเตอร์ที่เหมาะสำหรับใช้กับโหลดที่เป็นสลิปริงมอเตอร์
- AC 3 : เป็นแมกเนติกคอนแทกเตอร์ที่เหมาะสำหรับใช้สตาร์ทและหยุดโหลด ที่เป็นมอเตอร์กรงกระรอก
- AC 4 : เป็นแมกเนติกคอนแทกเตอร์ที่เหมาะสำหรับการสตาร์ท-หยุดมอเตอร์ วงจร Jogging และกลับทางหมุนของมอเตอร์แบบโรเตอร์กรงกระรอก

ขนาดของแมกเนติกคอนแทกเตอร์นิยมเรียกเป็น Size 0, Size 1, Size 2, ... เป็นต้น Size ซึ่งตามด้วยตัวเลขที่มีค่ามากกว่าจะแสดงถึงขนาดของคอนแทกเตอร์ที่ใหญ่กว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการพิจารณาเลือกขนาดของแมกเนติกคอนแทกเตอร์ให้เหมาะสมกับโหลด จะพิจารณาที่ rate current และแรงดันของโหลดกับ rated operating current และแรงดันของคอนแทกเตอร์ rated current ของโหลดจะต้องต่ำกว่าของ rated operating current ของคอนแทกเตอร์ที่แรงดันเท่ากัน ซึ่งคอนแทกเตอร์ขนาดหนึ่งอาจใช้ได้กับโหลดที่มี kW ต่างกันได้ เช่น คอนแทกเตอร์ size 0 คอนแทกมี rated current 9A ที่ 380V และ 5A ที่ 500V จะสามารถใช้ได้กับโหลดที่มีขนาดถึง 2.2kW 220V ซึ่งมี rated current ประมาณ 8.7A หรือใช้ได้กับโหลดที่มีขนาดถึง 4kW 380V ซึ่งมี rated current ประมาณ 8.5A และใช้ได้กับโหลดที่มีขนาดถึง 3kW 500V ซึ่งมี rated current ประมาณ 5A

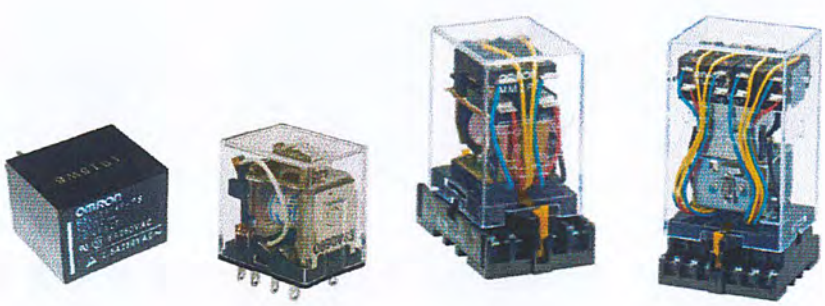
ในการพิจารณาเลือกแมกเนติกคอนแทกเตอร์ นอกจากลักษณะและขนาดของโหลดที่ใช้แล้วยังต้องพิจารณาองค์ประกอบอื่นๆ อีก เช่น ถ้าความบ่อยครั้งของการทำงานต่ำมากเพียงครั้งหรือ 2 ครั้งในหนึ่งวัน เราอาจเลือกใช้คอนแทกเตอร์แบบ AC 3 แทน AC 4 ได้

การเลือกใช้แมกเติกคอนแทกเตอร์ที่เหมาะสมกับงานจะต้องดู technical data ของคอนแทกเตอร์จากบริษัทผู้ผลิตให้เหมาะสมกับงานซึ่งมีข้อที่ต้องพิจารณา คือ

- ลักษณะของโหลดและการใช้งาน
- แรงดันและความถี่
- สถานที่ใช้งาน
- ความบ่อยครั้งในการใช้งาน
- การป้องกันจากการสัมผัส และการป้องกันน้ำ
- ความคงทนทางกลและทางไฟฟ้า (Mechanical and Electrical Stresses)

2. รีเลย์ (Relay)

รีเลย์เป็นสวิตช์ที่ทำงานโดยอาศัยอำนาจแม่เหล็กช่วยให้เกิดการตัดต่อวงจรควบคุมมีหลายขนาดตั้งแต่ติดตั้งบนวงจรพิมพ์จนถึงติดตั้งบนฐานในตู้ควบคุม และยังมีรูปแบบหน้าสัมผัสตั้งแต่หนึ่งหน้าสัมผัส จนถึงหลายหน้าสัมผัส แล้วแต่บริษัทผู้ผลิต ซึ่งสามารถหาข้อมูลได้จากData Sheet ของบริษัทผู้ผลิตให้เหมาะสมกับงาน



ภาพที่ 2.9 รีเลย์ (Relay)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. รีเลย์ตั้งเวลา (Timing Relay)

เป็นรีเลย์ที่สามารถตั้งเวลาการทำงานของคอนแทกได้ แบ่งตามชนิดการทำงานของคอนแทกมี 2 แบบ คือ

1.) หน่วงเวลาหลังจากเอาไฟเข้า

เมื่อจ่ายไฟให้กับรีเลย์ตั้งเวลา คอนแทกจะอยู่ในตำแหน่งเดิมก่อน เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้แล้วคอนแทกก็จะเปลี่ยนไปที่สภาวะตรงข้าม และจะค้างอยู่ในตำแหน่งนั้นจนกว่าจะหยุดการจ่ายไฟให้กับรีเลย์

2.) หน่วงเวลาหลังจากเอาไฟออก

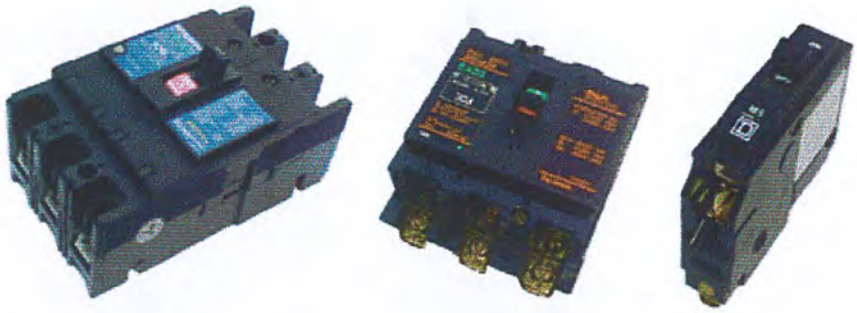
เมื่อจ่ายไฟให้กับรีเลย์ตั้งเวลาคอนแทกจะเปลี่ยนสภาวะทันที หลังจากที่เอาไฟออกจากขดลวดแล้วและถึงเวลาที่ตั้งไว้ คอนแทกจึงจะกลับมาสภาวะเดิม รีเลยตั้งเวลาแบบอิเล็กทรอนิกส์ และแบบมอเตอร์ขับไม่สามารถทำงานแบบนี้ได้

ภาพที่ 2.10 รีเลย์ตั้งเวลา (Timing Relay)

3. Molded Case Circuit Breaker (MCCB)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานเปิดและปิดวงจรไฟฟ้าแบบไม่อัตโนมัติ แต่สามารถเปิดวงจรได้อัตโนมัติ ถ้ามีกระแสไหลผ่านเกินกว่าค่าที่กำหนด โดยไม่มีความเสียหายเกิดขึ้นกับเบรกเกอร์ ซึ่งแรงดันที่ใช้นั้นจะน้อยกว่า 1000 V ลักษณะของเบรกเกอร์ชนิดนี้จะถูกห่อหุ้มมิดชิดโดย mold 2 ส่วน มักทำด้วย phenolic ซึ่งเป็นฉนวนไฟฟ้าสามารถทนแรงดันใช้งานได้ เบรกเกอร์แบบนี้ มีหน้าที่หลัก 2 ประการคือทำหน้าที่เป็นสวิทซ์เปิด-ปิดด้วยมือ และเปิดวงจรโดยอัตโนมัติ เมื่อมีกระแสไหลเกินหรือเกิดลัดวงจร โดย breaker จะอยู่ในภาวะ trip ซึ่งอยู่กึ่งกลางระหว่างตำแหน่ง ON และ OFF เราสามารถ reset ใหม่ได้โดย กดคันโยกให้อยู่ในตำแหน่ง OFF เสียก่อน แล้วค่อยโยกไปตำแหน่ง ON การทำงานแบบนี้เรียกว่า quick make , quick break ลักษณะของ breaker แบบนี้ที่พบเห็นโดยทั่วไปดังภาพที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.11 Molded Case Circuit Breaker (MCCB)

4. หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Transformer)

หม้อแปลงกระแสเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการวัดกระแสไฟฟ้า โดยต่อร่วมกับเครื่องวัดกระแส เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าและเครื่องมือวัดเพาเวอร์แฟคเตอร์ โดยทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าที่วัด ให้เหมาะสมกับพิกัดกระแสไฟฟ้าที่ขดลวดกระแสของเครื่องวัด เช่น 5A ตัวอย่างเช่น 25/5A, 100/5A เป็นต้น

เบอร์เดนหมายถึงกำลังไฟฟ้าของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้าทุกตัวที่ต่ออนุกรมกับขด Secondary มีกำลังไฟฟ้าสูญเสียในเครื่องมือวัดรวมกับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายวัดมีค่าภายใต้เบอร์เดนของหม้อแปลงแล้ว ความผิดพลาดจากการวัดจะเป็นไปตามคลาสของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าเท่านั้น

ภาพที่ 2.12 Current Transformer (CT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

5. ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch)

เป็นสวิตช์ปุ่มกดที่ทำงานโดยอาศัยแรงกดจากภายนอก เช่น ลูกเบี้ยว(Cam) มาชนที่ปุ่มกดหรือที่ล้อกลม โครงสร้างภายในคล้ายกับสวิตช์ปุ่มกด มีทั้งคอนแทคปกติปิดและปกติเปิด และสามารถมีคอนแทกได้หลายอัน นอกจากนั้นแล้วยังมีความแตกต่างในเรื่องของระยะกดและการทำงานของคอนแทกอีกด้วย

ภาพที่ 2.13 ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch)

6. สวิตช์ปุ่มกด (Push Button Switch)

โดยทั่วไปตัวสวิตช์จะมีคอนแทกปกติปิดและเปิด อย่างละหนึ่งคอนแทกในตัวเดียวกัน แต่สามารถนำคอนแทกมาต่อเพิ่มเติมได้ตามต้องการ ตัวปุ่มกดมีหลายแบบให้เลือกใช้ รายละเอียดเทคนิคเวลาเลือกใช้ก็คือ กระแสของคอนแทก จำนวนและชนิดของคอนแทก แรงดันใช้งาน ขนาดและรูปแบบที่ต้องการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
117499

ภาพที่ 2.14 สวิตช์ปุ่มกด (Push Button Switch)

7. หลอดสัญญาณ (Signal Lamp, Pilot Lamp)

เป็นหลอดไฟที่ใช้แสดงสถานะในการทำงาน มีหลากหลายแบบ บางชนิดเป็นแบบรวมอยู่กับสวิตช์ปุ่มกดหรือมีหม้อแปลงเล็ก สำหรับจ่ายไฟให้หลอดที่ใช้แรงดันต่ำ รายละเอียดและเทคนิคเวลาเลือกใช้ก็คือแรงดันใช้งาน รูปแบบ และสีของเลนส์

ภาพที่ 2.15 หลอดสัญญาณ (Signal Lamp, Pilot Lamp)

8. หม้อแปลงแบบปรับเลื่อนค่าได้ (Autotransformer)

ขดลวดทุติยภูมิและปฐมภูมิจะเป็นขดลวดขดเดียวกัน หรือเรียกว่าหม้อแปลงออโต้(Autotransformer) มักใช้กับการปรับขนาดแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้กับวงจรไฟฟ้าด้วยการเลื่อนแทปขดลวดตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 2.16 หม้อแปลงแบบปรับเลื่อนค่าได้ (Autotransformer)

9. Over Current Relay

เป็นรีเลย์ที่ทำหน้าที่ในการป้องกันกระแสเกิน โดยตรวจจับกระแสผ่านทางหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า และภายในตัวรีเลย์จะมีหน้าสัมผัสเมื่อตรวจจับพบว่ามีกระแสเกินค่าที่ตั้งไว้เกิดขึ้น รีเลย์จะทำงาน เพื่อสั่งตัดกำลังไฟฟ้าในระบบที่ต้องการการป้องกัน

ภาพที่ 2.17 Over Current Relay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

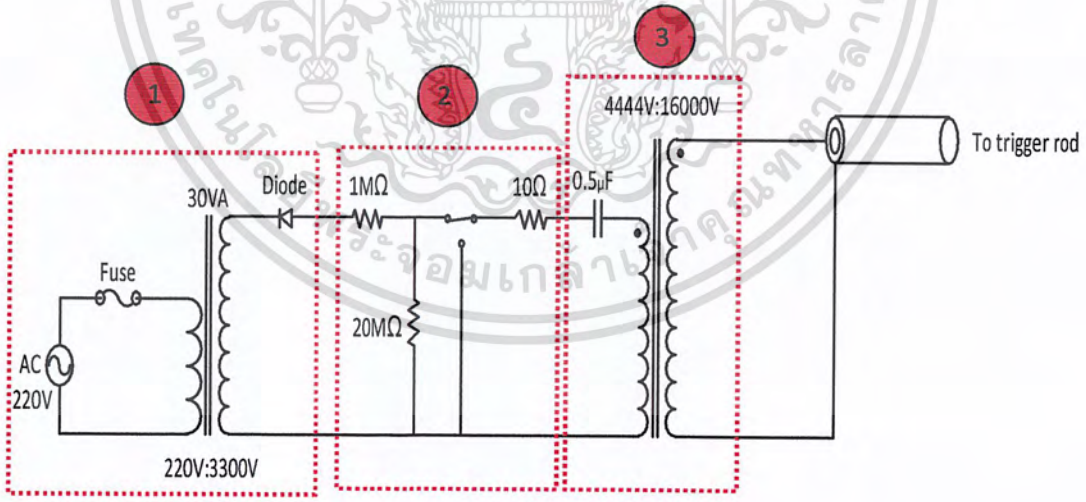
บทที่3

การออกแบบ และประกอบสร้าง

3.1 ชุดจุดชนวน

แรงดันอิมพัลส์ที่สร้างขึ้นโดยเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์นั้น ควรจะต้องกำหนดหรือควบคุมได้ ทั้งนี้เพื่อให้แรงดันที่ป้อนเข้าไปที่วัสดุทดสอบหลายครั้งมีค่าคงที่ การควบคุมแรงดันนั้นสามารถทำได้โดยการใช้ชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ เป็นตัวช่วยในการเริ่มเกิดคายประจุที่สปาร์กแกปของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยบังคับจากระยะไกล ซึ่งการใช้ชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ชุดจุดชนวนเป็นตัวจุดชนวนนั้น จะทำให้เกิดการสปาร์กแกปตามที่กำหนด และช่วยลดการกระจายของแรงดันที่จ่ายออก นั่นหมายความว่าจะทำให้ได้แรงดันทดสอบมีค่าคงที่ตามที่ต้องการ

วงจรชุดจุดชนวนของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ได้ทำการปรับปรุง ประกอบไปด้วย 3 วงจรหลักคือ วงจรกำเนิดแรงดันสูง วงจรสวิตช์จุดชนวน และวงจรทวีแรงดัน ดังภาพที่ 3.1



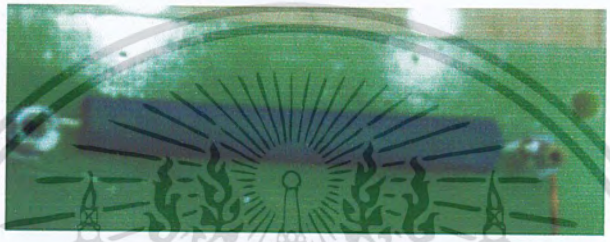
ภาพที่ 3.1 วงจรชุดจุดชนวน

1.วงจรกำเนิดแรงดันสูง 2.วงจรสวิตช์จุดชนวน 3.วงจรทวีแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1 วงจรกำเนิดแรงดันสูง

การพัฒนาและปรับปรุงในส่วนของวงจรกำเนิดแรงดันสูง การทำงานจะอาศัยหลักการความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับเส้นแรงแม่เหล็กในการสร้างแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำให้กับตัวนำ อุปกรณ์ในส่วนของวงจรกำเนิดแรงดันสูงที่ได้รับความเสียหาย คือ ไดโอดแรงดันสูงพิกัด 4700 V ไม่สามารถใช้งานได้ ทางผู้จัดทำจึงนำไดโอดพิกัด 1000 V จำนวน 5 ตัว ดังภาพที่ 3.2 ต่ออนุกรมกันเพื่อนำมาใช้งานในวงจรดังกล่าวในส่วนของหม้อแปลงดังภาพที่ 3.3 นั้นยังสามารถใช้งานได้ตามปกติ



ภาพที่ 3.2 ไดโอดแรงดันสูงพิกัด 5000V

ภาพที่ 3.3 หม้อแปลงพิกัด 220V/3300V 30VA

3.1.2 วงจรสวิตช์จุดชนวน

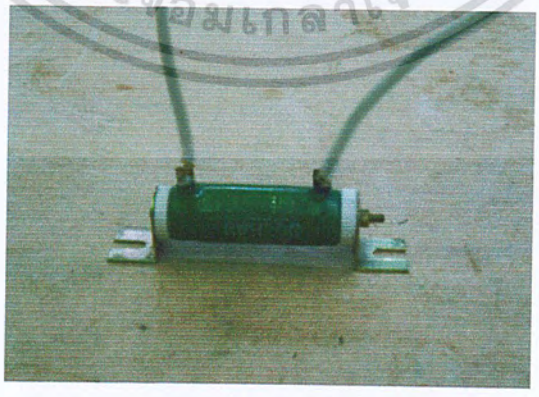
วงจรสวิตช์จุดชนวน การพัฒนาและปรับปรุงในส่วนของวงจรสวิตช์จุดชนวนนั้น ทางผู้จัดทำได้ทำการเปลี่ยน สวิตช์ตัดต่อของเดิมที่ไม่สามารถใช้งานเป็นรีเลย์ที่สามารถทนกระแสได้สูง ชนิด Solid state relay พิกัด 100 to 220VAC ดังภาพที่ 3.4 และในส่วนของความต้านทานจะมี 2 ชนิด ชนิดแรก จะเป็นตัวต้านทานคาร์บอนแบบไร้ความเหนี่ยวนำดังภาพที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และอีกชนิดหนึ่งเป็นแบบไวร์วาล์วที่มีค่าความต้านทานต่ำ แต่ทนกำลังไฟฟ้าได้สูง กระแสไหลผ่านได้ดี ไม่เกิดความร้อนได้ง่ายดังภาพที่ 3.6 ซึ่งยังสามารถใช้งานได้

ภาพที่ 3.4 Solid state relay พิกัด 100 to 220 VAC

ภาพที่ 3.5 ตัวต้านทานคาร์บอนแบบไร้ความเหนี่ยวนำ



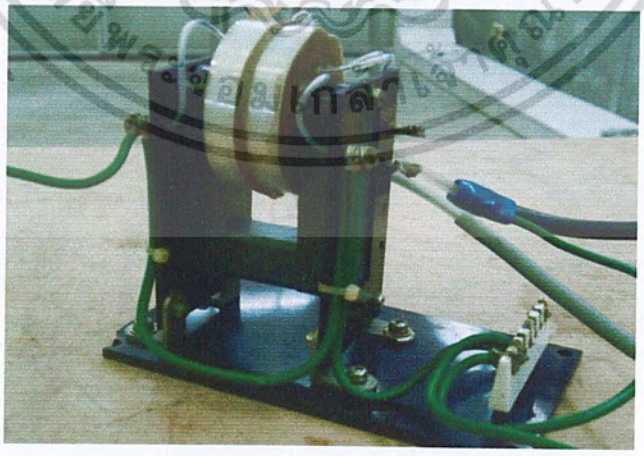
ภาพที่ 3.6 ตัวต้านทานคาร์บอนแบบไวร์วาล์ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 วงจรทวีแรงดัน

วงจรทวีแรงดัน การพัฒนาและปรับปรุงในส่วนของวงจรทวีแรงดันนั้น อุปกรณ์ในส่วนของวงจรนั้นยังสามารถใช้งานได้ตามปกติ การทำงานในส่วนของวงจรทวีแรงดันนั้นคือ เมื่อรีเลย์ทำงาน ขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง (ตัวเหนี่ยวนำตัวหนึ่ง) กับตัวเก็บประจุ จะเกิดการออสซิลเลท และมีการคายประจุที่เก็บไว้ออกเกิดเป็นแรงดันสูงที่ขดลวดทุติยภูมิของหม้อแปลงความถี่สูง อุปกรณ์สำหรับวงจรทวีแรงดัน จะประกอบไปด้วย ตัวเก็บประจุ พิกัด 0.5μF/4000V และหม้อแปลงความถี่สูง พิกัด 4400V/16000V ดังภาพที่ 3.7 - 3.8 ตามลำดับ

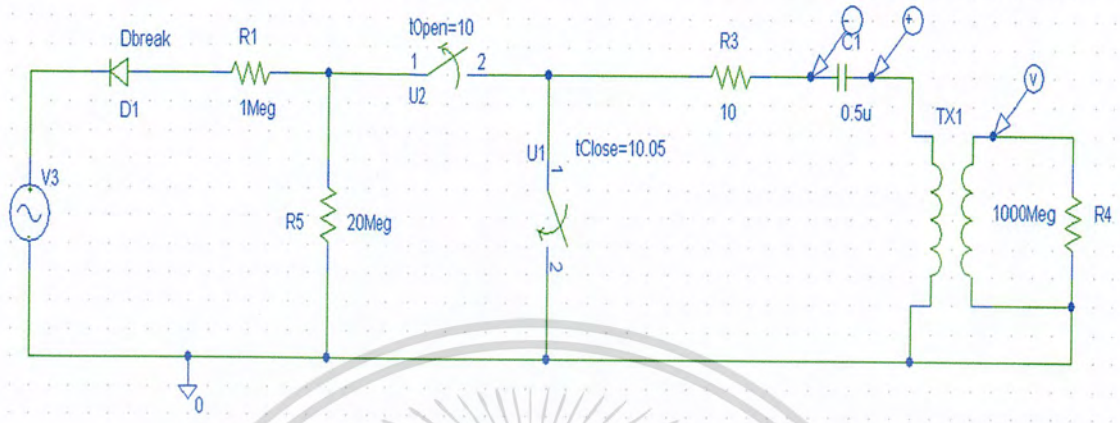
ภาพที่ 3.7 ตัวเก็บประจุ พิกัด 0.5μF/4000V



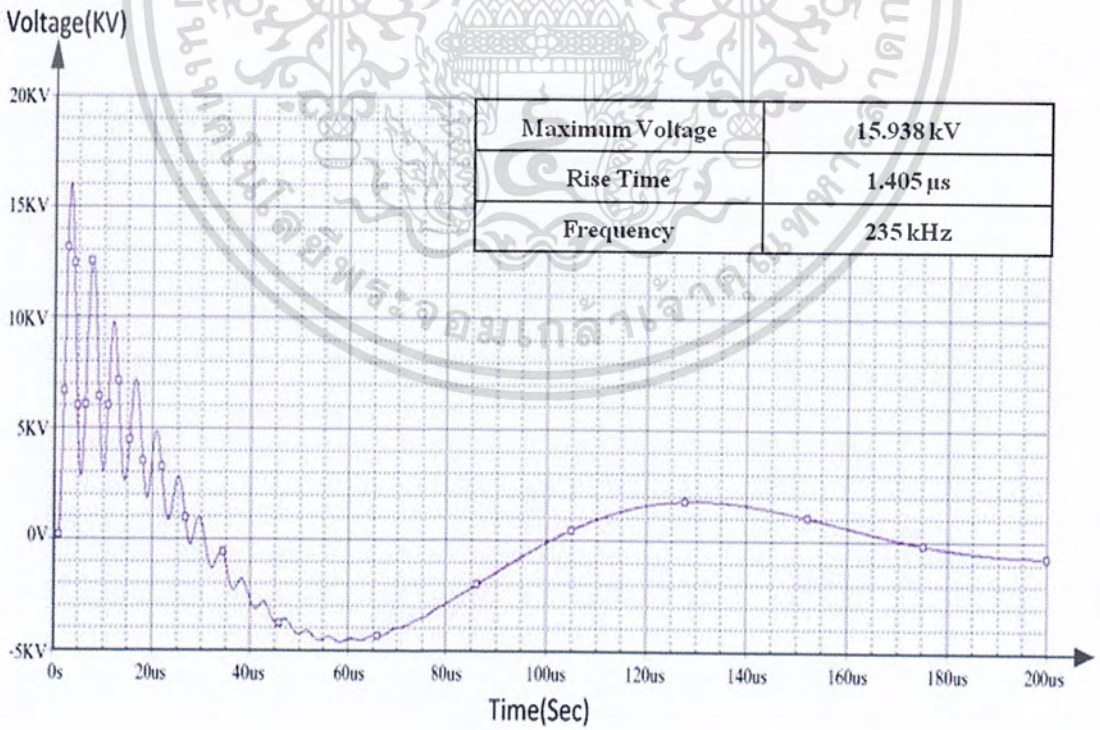
ภาพที่ 3.8 หม้อแปลงความถี่สูง พิกัด 4400V/16000V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของชุดจุดชนวนได้ทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก่อนการประกอบสร้างจริง โดยการต่อวงจรดังภาพที่ 3.9 และผลการจำลองแสดงดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.9 วงจรจำลองชุดจุดชนวนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

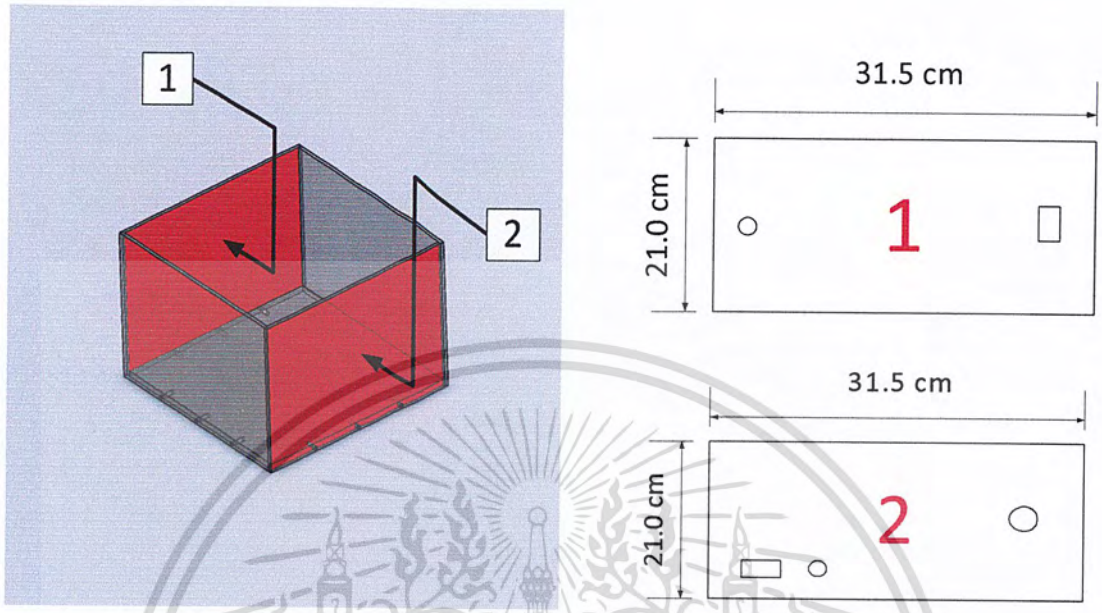


ภาพที่ 3.10 ผลการจำลองชุดจุดชนวนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

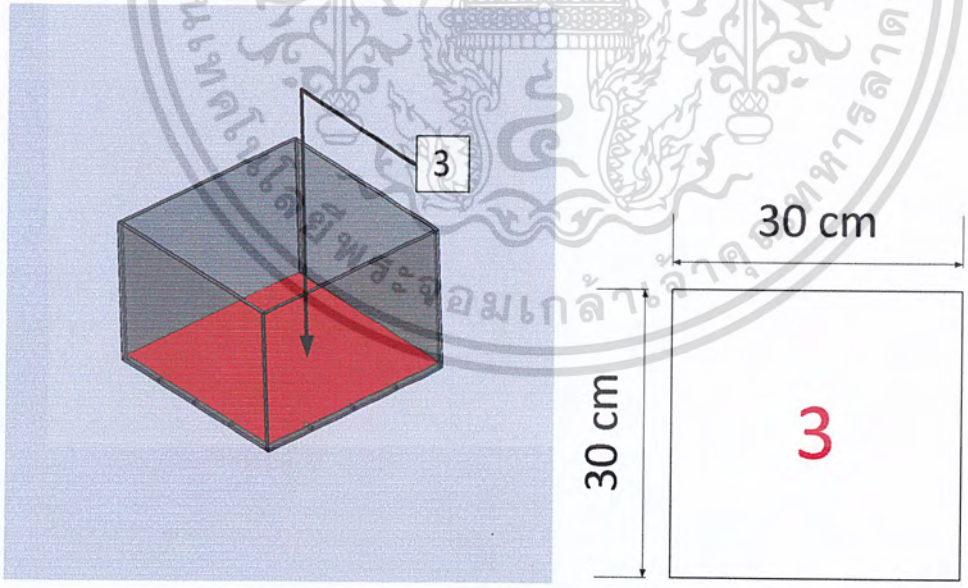
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 โครงสร้างภายนอก

โครงสร้างภายนอกของตัวกล่องบรรจุวงจรชุดจุดชนวน ได้ทำการออกแบบโดยใช้โปรแกรม Solid Work ดังภาพที่ 3.11



ก) ขนาดและมิติของกล่องบรรจุด้านที่ 1และ 2

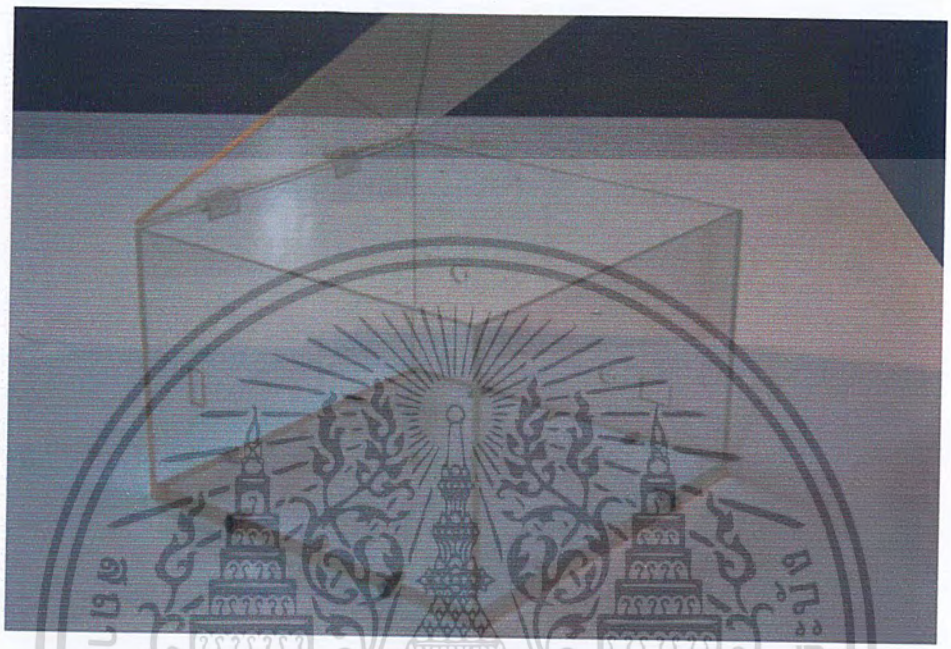


ข) ขนาดและมิติของกล่องบรรจุด้านที่ 3

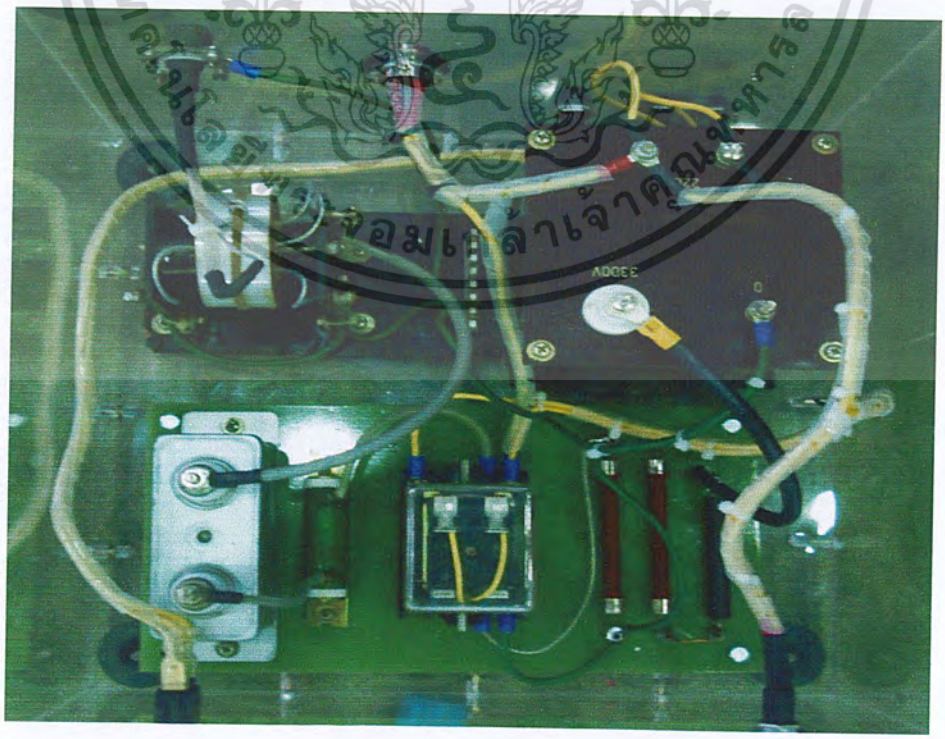
ภาพที่ 3.11 โครงสร้างของกล่องบรรจุวงจรชุดจุดชนวนที่ได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดจุดชนวนตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.1 โดยในส่วนของกล่องบรรจุวงจรชุดจุดชนวนนั้นทางผู้จัดทำได้ใช้แผ่นอะคริลิคเป็นโครงสร้างหลักดังภาพที่ 3.12 อุปกรณ์หลัก ๆของวงจรชุดจุดชนวนเมื่อนำมาประกอบสร้างจริงจะมีลักษณะดังภาพที่ 3.13 และชุดจุดชนวนจะมีลักษณะดังภาพที่ 3.14

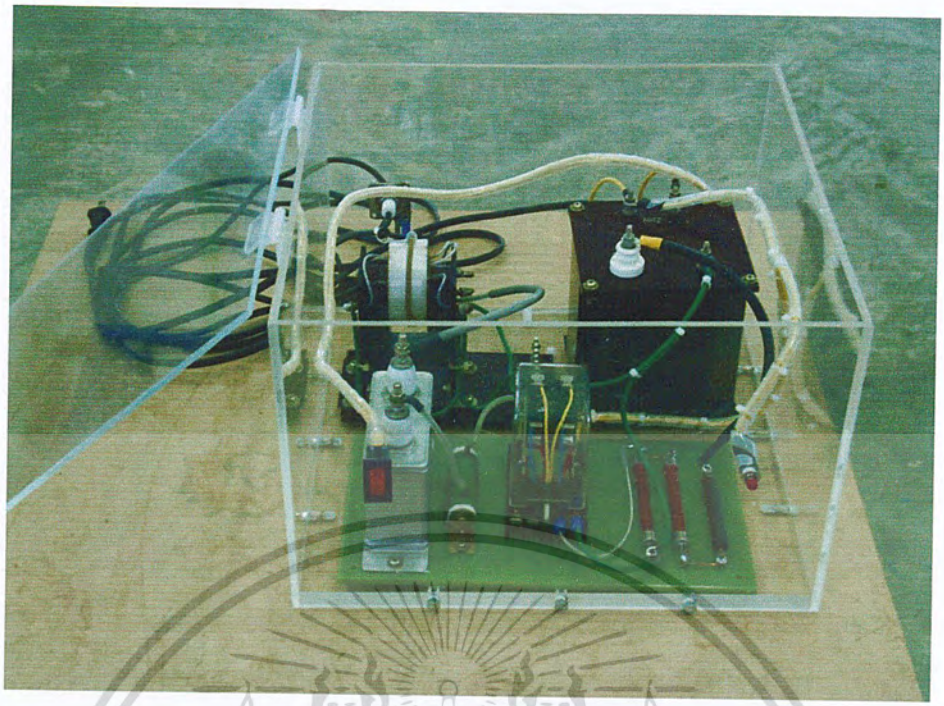


ภาพที่ 3.12 กล่องบรรจุวงจรชุดจุดชนวน



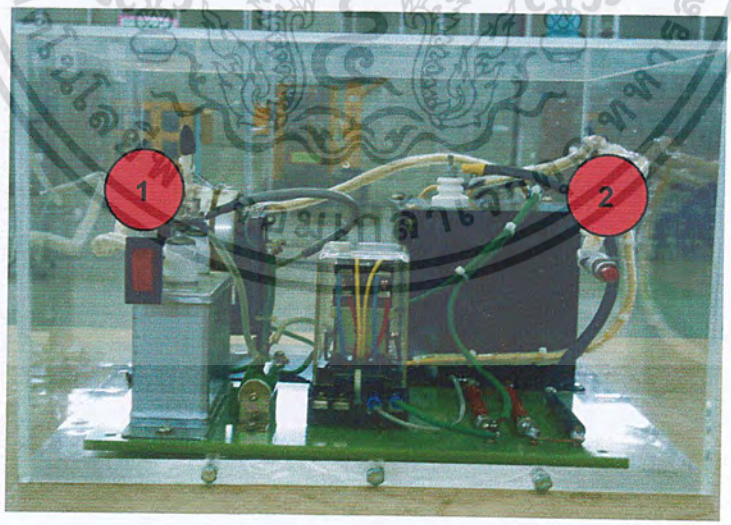
ภาพที่ 3.13 วงจรชุดจุดชนวนที่ได้ประกอบสร้างจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.14 ชุดจุดชนวนที่ได้ประกอบสร้างจริง

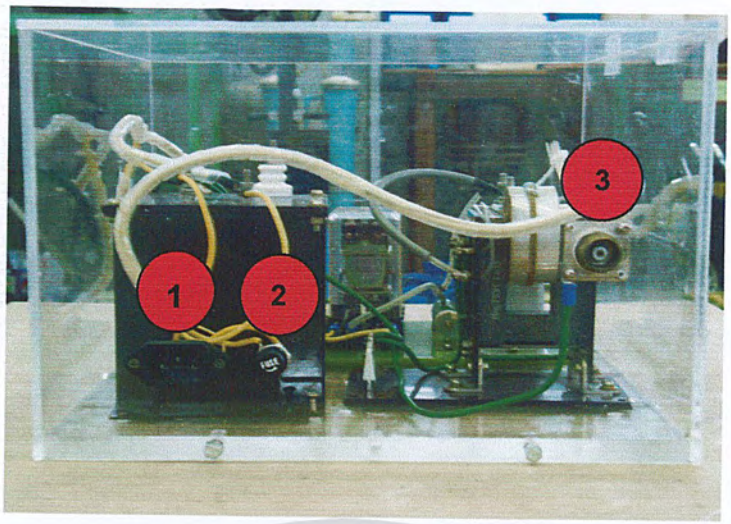
ฟังก์ชั่นการทำงานของชุดจุดชนวนแบ่งเป็นส่วนต่างๆ 2 ส่วน ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังภาพที่ 3.15



ก) แผงหน้าปัดฟังก์ชั่นการทำงานของชุดจุดชนวนส่วนที่ 1

1 คือ สวิตซ์ เปิด-ปิดชุดจุดชนวน 2 คือ ปุ่มทริกเกอร์ชุดจุดชนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข) แผงหน้าปัดฟังก์ชั่นการทำงานของชุดจุดชนวน

1 คือ ขั้วต่อไฟ 220VAC 2 คือ ฟิวส์ป้องกันกระแสเกิน 3 คือ ขั้วต่อสายเคเบิลไปยังแกปช่วย

ภาพที่ 3.15 ฟังก์ชั่นการทำงานของชุดจุดชนวน

3.2 ตู้ควบคุม

3.2.1 การกำหนดคุณสมบัติของตู้ควบคุม

ในขั้นต้นเรากำหนดคุณสมบัติของตู้ควบคุมสำหรับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการออกแบบวงจรควบคุมของตู้ควบคุม ซึ่งจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- ต้องใช้สวิตช์กุญแจ เป็นสวิตซ์ในการเปิด-ปิดตู้ควบคุม
- เมื่อทำการหมุนสวิตช์กุญแจ เพื่อเปิดการทำงานของตู้ควบคุม หลอดไฟบอกสถานะของตู้ควบคุมจะติด
- เมื่อทำการหมุนสวิตช์กุญแจจะไม่สามารถทำการ On แรงดันอัดประจุได้ ถ้า Variac ไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่ง Zero
- สามารถเลือกวิธีการปรับระยะแกปได้ 2 วิธี 1.แบบปรับเอง 2.แบบอัตโนมัติ
- สามารถขึ้น – ลงแรงดันอัดประจุได้ โดยใช้วิธีปรับแบบอัตโนมัติ
- เมื่อมีการกดปุ่ม Emergency จะต้องมีการตัดวงจรทั้งหมดออกจากหม้อแปลงแรงดันอัดประจุ โดยไม้กราวด์จะถูกดันลงโดยอัตโนมัติเพื่อทำการคายประจุที่ค้างอยู่ที่ชุดอัดประจุ และจะมีการลงแรงดันหม้อแปลงโดยอัตโนมัติเอง โดยจะไม่สามารถกดปุ่ม On อีกครั้งได้ ถ้าไฟสถานะ“Zero” ยังไม่ติด และจะต้องมีหลอดไฟบอกสถานะฉุกเฉิน (Emergency lamp)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ให้มีการติดตั้ง Over Current Relay ไว้เพื่อขณะที่ทำการทดสอบหากเกิด Flashover และมีกระแสสูงเกินที่ตั้งไว้ Over Current Relay จะสับสวิตซ์ออก ไฟจะหยุดไหลเข้าหม้อแปลงปรับแรงดันทันที

3.2.2 การออกแบบวงจรควบคุมสำหรับตู้ควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

L
N
AC 220 V 50 Hz

CONTROL UNIT

VOLTAGE CONTROL CIRCUIT DC 12 V

F1 (MAIN CB.)
F2

SMALL GAP CONTROL (AC 100V 50HZ AND DC 24V)

37 (BLUE)
38 (GRAY)
39 (RED)
47 (BLACK)
46 (BLUE)
65 (GRAY)
64 (RED)

MAIN CONTROL CIRCUIT (AC 220 V 50HZ)

23 (RED)
27 (WHITE)
35 (BLUE)
62 (GREEN)
63 (BLACK)

DIGITAL METER (kV)

M1
F3

OVERCURRENT RELAY

15 mH

AUTO TRANSFORMER
0-220 V 7.5 kVA

SW. ON-OFF
FUSE 2 A

TRIGGER CIRCUIT
15 kV

37(NEUTRAL AC)
38(TO LIMIT UP)
39(TO LIMIT DOWN)
47(NEUTRAL DC)
46(LINE DC)
65(TO DIVIDER)
64(TO DIVIDER)

SMALL GAP

CB. 10 A

SPHERE GAP

IN CHARGER TRANSFORMER

23
27
35
62
63

K8 POLARITY
K10 GROUND

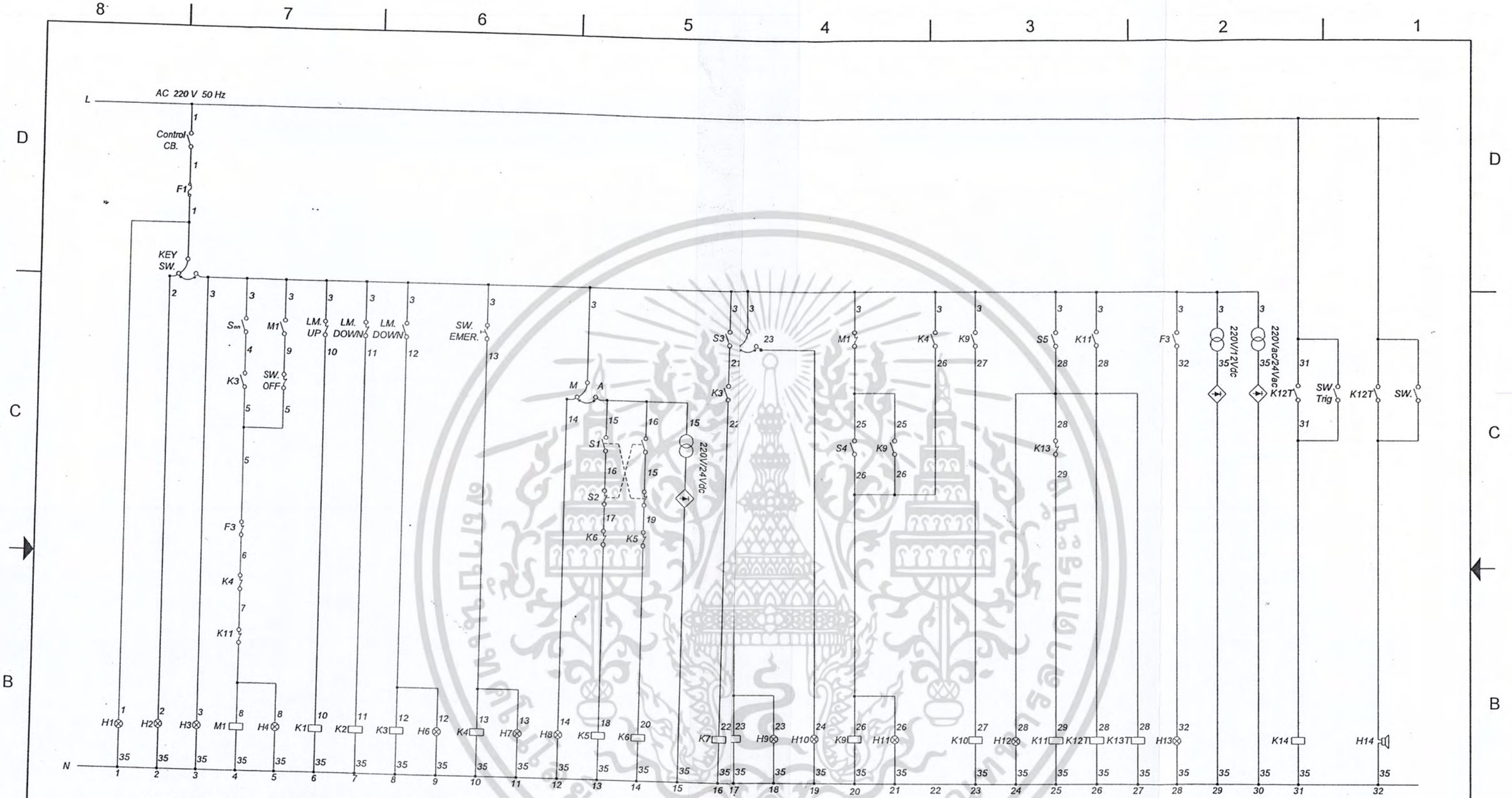
TRANSFORMER
220/60 kV 5 kVA

0.1 μ
0.1 μ
800 MΩ
2 MΩ
2 MΩ
800 MΩ

± 75 kV
GROUND
∓ 75 kV

HVES / IIG — High Voltage Engineering Society Copyright, 2011	POWER CIRCUIT IMPLUSE VOLTAGE GENERATOR
	DATE : 5 - 2 -2011
	SHEET : 1 OF 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MAIN CONTROL CIRCUIT
IMPLUSE VOLTAGE GENERATOR

High Voltage Engineering Society Copyright, 2011

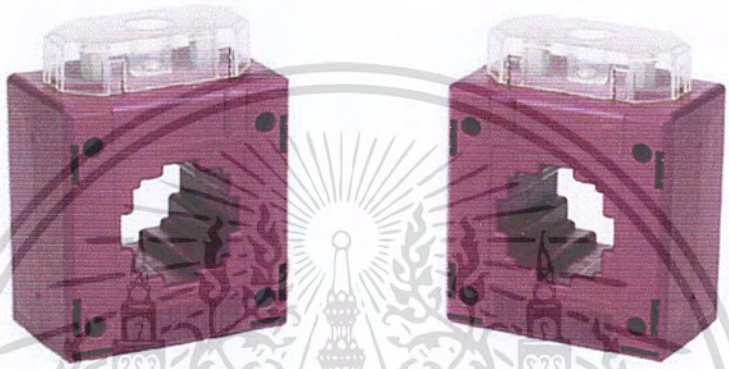
DATE : 5 - 2 - 2011

SHEET : 2 OF 4

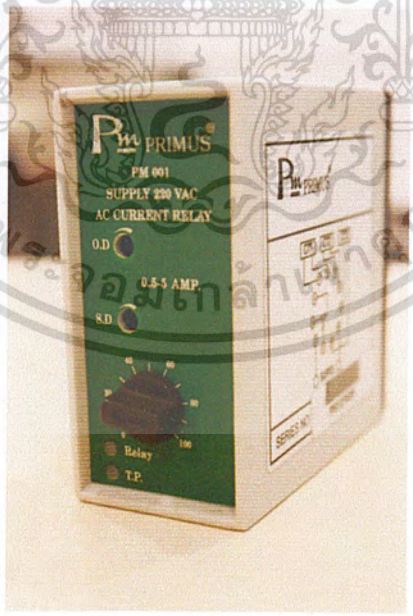
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ประกอบสร้างตู้ควบคุม

ในหัวข้อนี้จะเป็นการประกอบสร้างตู้ควบคุมตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ในหัวข้อที่ 3.2.1 โดยในส่วนของโครงสร้างของตู้ควบคุมนั้นทางผู้จัดทำได้ใช้ตู้ควบคุมที่มีอยู่แล้วเป็นหลัก และในส่วนของอุปกรณ์หลักๆ ที่ใช้ในการประกอบสร้างมีดังภาพที่ 3.16 และตู้ควบคุมที่ได้ทำการประกอบสร้างจริงดังภาพที่ 3.17



ก) Current Transformer พิกัด 30/5A

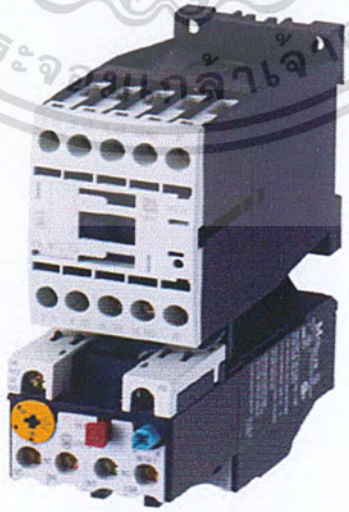


ข) Over Current พิกัด 0.5-5 A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

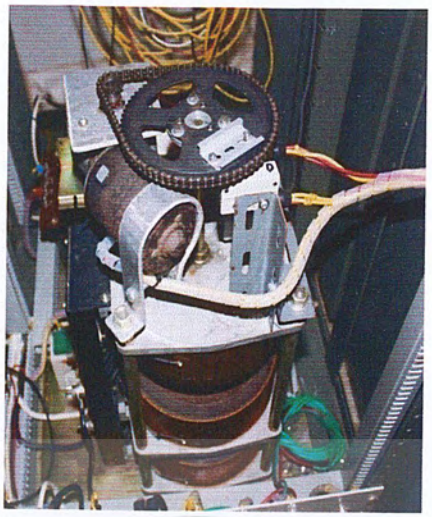
ค) Solid State Relay พิกัด 220VAC

ง) Timer Relay พิกัด 5S



จ) Magnetic Contractor และ Overload relay 50 A

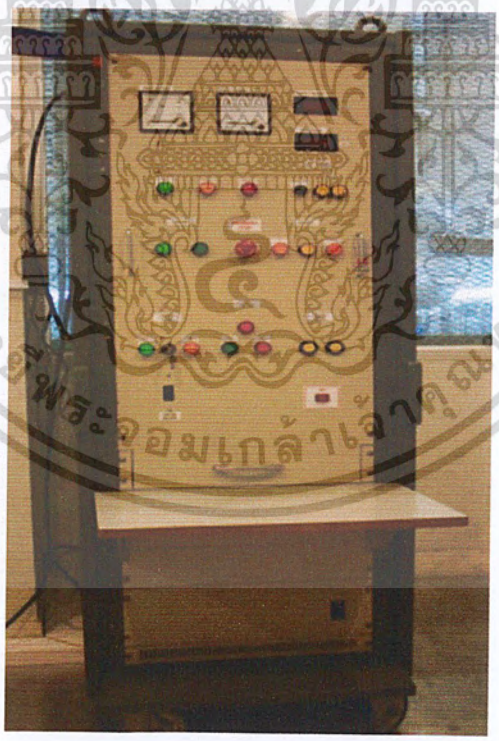
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ฉ) Auto Transformer 7.5 kVA

ภาพที่ 3.16 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการประกอบตู้ควบคุม

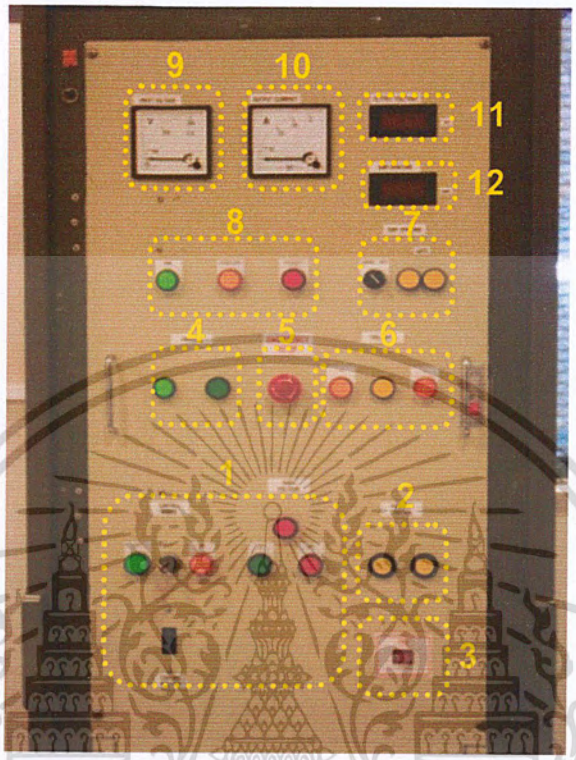
ตู้ควบคุมที่ได้ทำการประกอบสร้างจริงดังภาพที่ 3.17



ภาพที่ 3.17 ตู้ควบคุมที่ทำการประกอบสร้างจริง

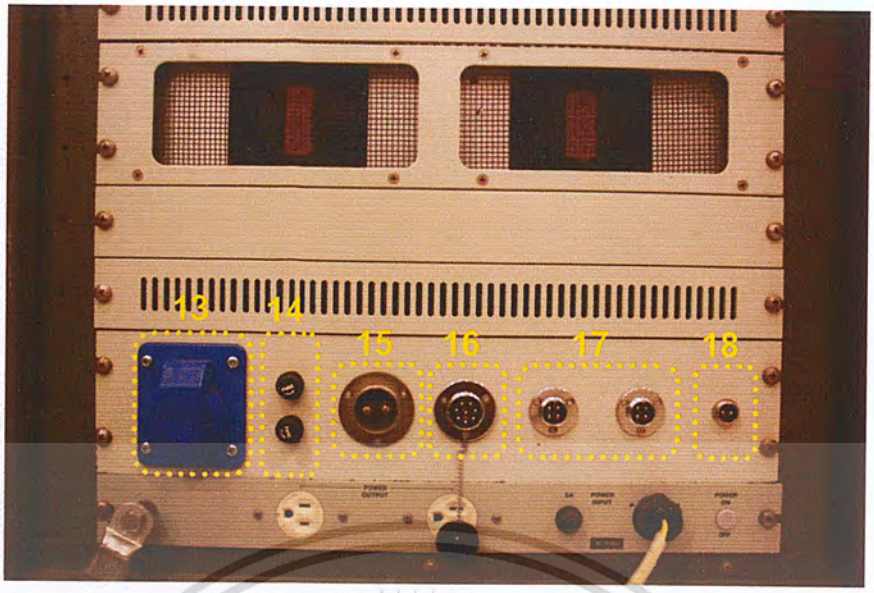
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผงหน้าปัดฟังก์ชั่นการทำงานของตู้ควบคุมแบ่งเป็นส่วนต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังภาพที่ 3.18



หมายเลขที่ 1 คือ ส่วนควบคุมการเปิด-ปิด วงจรควบคุม
หมายเลขที่ 2 คือ ส่วนควบคุมการเพิ่ม-ลดแรงดันอัดประจุ
หมายเลขที่ 3 คือ ส่วนควบคุมการจุดชนวน
หมายเลขที่ 4 คือ ส่วนควบคุมการกราวด์ชุดชาร์จประจุ
หมายเลขที่ 5 คือ ส่วนควบคุมกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน
หมายเลขที่ 6 คือ ส่วนควบคุมการเปลี่ยนขั้วชุดชาร์จประจุ
หมายเลขที่ 7 คือ ส่วนควบคุมการเพิ่ม-ลดระยะห่างสปาร์กแกป
หมายเลขที่ 8 คือ หลอดไฟแสดงสถานะต่าง ๆ
หมายเลขที่ 9 คือ มิเตอร์วัดแรงดันขาเข้า
หมายเลขที่ 10 คือ มิเตอร์วัดกระแสขาออก
หมายเลขที่ 11 คือ มิเตอร์วัดแรงดันขาออก
หมายเลขที่ 12 คือ มิเตอร์วัดระยะห่างสปาร์กแกป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หมายเลขที่ 13 คือ อินพุตเข้าหม้อแปลงปรับแรงดัน
หมายเลขที่ 14 คือ ฟิวส์ป้องกันวงจรภายใน
หมายเลขที่ 15 คือ เอาท์พุตเข้าหม้อแปลงอัดประจุ
หมายเลขที่ 16 คือ ระบบกราวด์และระบบวัดหม้อแปลงอัดประจุ
หมายเลขที่ 17 คือ ระบบปรับระยะห่างและระบบวัดสปาร์กแกป
หมายเลขที่ 18 คือ ส่วนควบคุมการจุดชนวน

ภาพที่ 3.18 แผงหน้าปัดฟังก์ชั่นการทำงานของตู้ควบคุม

3.2.4 ขั้นตอนการทำงานของตู้ควบคุม

1. การเปิด/ปิดชุดควบคุมแรงดันอัดประจุ

ทำการเปิด MAIN BREAKER และ CONTROL BREAKER ตามลำดับ หลอดไฟ “OFF” ในฟังก์ชั่น POWER CONTROL จะสว่าง จากนั้นทำการบิดสวิตช์กุญแจไปที่ตำแหน่ง “ON” ในฟังก์ชั่น POWER CONTROL หลอดไฟ “ON” ฟังก์ชั่น POWER CONTROL จะสว่าง เป็นสัญญาณบอกให้ทราบว่าได้มีกำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับวงจรควบคุม อันได้แก่ วงจรควบคุมหลัก วงจรควบคุมสเพียร์แกปเล็ก วงจรควบคุมแรงดัน และพร้อมจะทำงานในกระบวนการต่างๆแล้ว

2. การเลือกขั้วแรงดันอิมพัลส์

ขั้นตอนนี้เป็นการเลือกขั้วแรงดันอิมพัลส์ที่ต้องการสร้างขึ้น โดยการสลับขั้วแรงดันที่หม้อแปลงชาร์จ สามารถทำได้โดย กดปุ่ม “+” หรือ “–” ในฟังก์ชั่น POLARITY ตามที่ต้องการและสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงสถานะที่ kV Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การปรับระยะห่างของสเฟียร์แกปเล็ก

ในการปรับระยะห่างของสเฟียร์แกปเล็กนั้นสามารถกระทำได้ 2 วิธีดังนี้ 1.ปรับโดยโหมด AUTO โดยการบิด Select Switch ในฟังก์ชั่น GAP SPACING ไปที่ตำแหน่ง Auto จากนั้นทำการปรับระยะแกปโดยการกดปุ่ม "UP" และ "DOWN" ตามระยะที่ต้องการ (สังเกตได้จาก mm. Meter) 2.ปรับโดยโหมด MANUAL โดยการบิด Select Switch ไปที่ตำแหน่ง MANUAL และทำการหมุนปรับระยะแกปที่ตัวเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

4. การเปิด/ปิดหม้อแปลงแรงดัน

หลังจากที่ชุดควบคุมมีกำลังไฟฟ้าและพร้อมทำงานแล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการสั่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับวงจรกำลังซึ่งเป็นวงจรหลักที่นำกำลังไฟฟ้าไปสร้างแรงดันสูง โดยจะสั่งผ่านทาง Magnetic Contacter โดยทำการกดปุ่ม "ON" ในฟังก์ชั่น HIGH VOLTAGE และหลอดไฟ "HIGH VOLTAGE"จะสว่าง เพื่อเป็นการเตือนว่าได้มีการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้หม้อแปลงแรงดันสูงแล้ว (การที่ Magnetic Contacter จะสามารถเริ่มต้นทำงานได้นั้น มีเงื่อนไขอยู่ว่า Auto Transformers นั้นจะต้องอยู่ในตำแหน่งที่ศูนย์โวลต์ เพื่อป้องกันแรงดันสูงที่เกิดขึ้นทันทีทันใด) ส่วนขั้นตอนการสั่งตัดกำลังไฟฟ้าออกจากวงจรกำลังนั้นทำได้โดยการกดปุ่ม "OFF" ในฟังก์ชั่น HIGH VOLTAGE และหลอดไฟ "HIGH VOLTAGE" จะดับลง ซึ่งขั้นตอนนี้สามารถการได้ทุกขณะหลังจากที่สั่ง "ON" ในฟังก์ชั่น HIGH VOLTAGE แล้ว

5. การควบคุมการเพิ่ม/ลดแรงดันอัดประจุ

การเพิ่มแรงดันอัดประจุนั้นเป็นการสั่งให้มอเตอร์ทำการหมุนแกนของ Auto Transformers โดยสามารถทำได้โดย การกดปุ่ม "UP" ค้างไว้ จนกระทั่งถึงค่าแรงดันชาร์จประจุที่ต้องการ (สังเกตได้จาก kV Meter) แล้วจึงหยุดกด การเพิ่มลดดันอัดประจุนั้นเป็นการสั่งให้มอเตอร์ทำการหมุนแกนของ Auto Transformers กลับทิศกับการเพิ่มแรงดัน โดยสามารถทำได้โดย การกดปุ่ม "DOWN" ค้างไว้ จนกระทั่งถึงค่าแรงดันชาร์จประจุที่ต้องการ (สังเกตได้จาก kV Meter) แล้วจึงหยุดกด

6. การสั่งให้ชุดจุดชนวนทำงาน

หลังจากที่ทำการชาร์จประจุได้ตามขนาดแรงดันที่ต้องการแล้ว จึงทำการสั่งให้ชุดจุดชนวนทำงาน สามารถทำได้โดยการกดปุ่ม "TRIG" ระบบจะทำการสั่งตัดกำลังไฟฟ้าออกจากวงจรกำลังทันที พร้อมกับหน่วงเวลา 2 วินาที และสั่งจุดชนวนตามลำดับ (การทำงานในฟังก์ชั่นนี้จะมีสัญญาณเสียงเตือนเพื่อให้ทราบว่าจะทำการดิสชาร์จประจุไปยังตัวเก็บประจุโหลดแล้ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การสั่งกราวด์หม้อแปลงอัดประจุ

การสั่งกราวด์นั้นสามารถทำได้โดยการกดปุ่มในฟังก์ชั่น GROUND และหลอดไฟแสดงสถานะ "GROUND" จะสว่าง แต่การทำงานในฟังก์ชั่นนี้จะสามารถกระทำได้ก็ต่อเมื่อไม่มีกำลังไฟฟ้าจ่ายให้กับวงจรกำลัง หรือ Magnetic Contactor ไม่ทำงานนั่นเอง

8. การให้สัญญาณเตือน (เสียง/แสง)

การให้สัญญาณเตือนนั้นสามารถทำได้โดยกดปุ่มสัญญาณเตือน(เสียง/แสง) ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในห้องควบคุม ได้ทุกขณะ

9. การทำงานในสภาวะ EMERGENCY

ในสภาวะ EMERGENCY ได้ทำการออกแบบให้ มีการตัดกำลังไฟฟ้าออกจากวงจรกำลังทันทีโดยสั่งให้ Magnetic Contractor หยุดทำงาน และมีการสั่งกราวด์โดยอัตโนมัติตามลำดับ โดยสามารถทำได้โดยการกดปุ่ม "EMERGENCY" หลอดไฟสถานะ"EMERGENCY" จะสว่าง หลังจากนั้นเมื่อระบบมีความพร้อมสำหรับการทำงานแล้ว จึงทำการปลดล๊อคปุ่ม "EMERGENCY" หลอดไฟสถานะ "EMERGENCY" จึงดับลง และสามารถใช้งานวงจรกำลังได้ตามปกติ

10. การทำงานในสภาวะกระแสเกิน

ในสภาวะที่เกิดกระแสเกินนั้น Over Current Relay นั้นจะสามารถตรวจจับได้และสั่งตัดกำลังไฟฟ้าออกจากวงจรกำลังทันทีโดยสั่งให้ Magnetic Contacter หยุดทำงาน

3.3 ชุดควบคุมมอเตอร์ปรับระยะแกป

วงจรควบคุมและวงจรกำลังที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ปรับระยะแกปขนาด 100VAC จะมีวงจรดังภาพที่ 3.19 และหน้าที่ของอุปกรณ์วงจรควบคุมมอเตอร์ปรับระยะแกปมีดังนี้

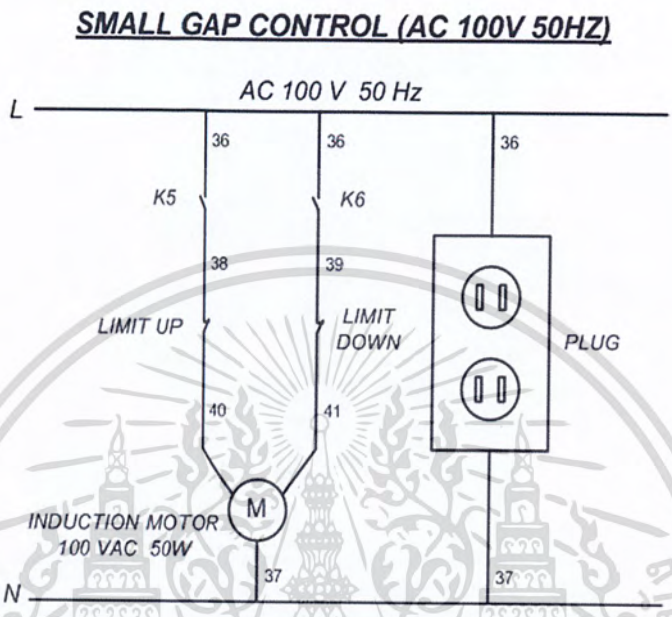
-limit up ทำหน้าที่ ป้องกันการปรับระยะแกปที่ระยะมากเกินไปโดย จะใช้ limit switch ต่อเข้ากับตัววัดระยะแกปเมื่อมีการปรับระยะแกปจน limit up ทำงาน limit switch จะทำหน้าที่ตัดกระแสที่ไปเลี้ยงมอเตอร์เพื่อหยุดการทำงานของมอเตอร์

-limit down ทำหน้าที่ป้องกันการปรับแกปที่ระยะใกล้กันมากเกินไปป้องกันการกระแทกกันของแกปโดยจะใช้ limit switch ต่อเข้ากับตัววัดระยะแกปเมื่อมีการปรับระยะแกปจน limit downทำงาน limit switchจะทำหน้าที่ตัดกระแสที่ไปเลี้ยงมอเตอร์เพื่อหยุดการทำงานของมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

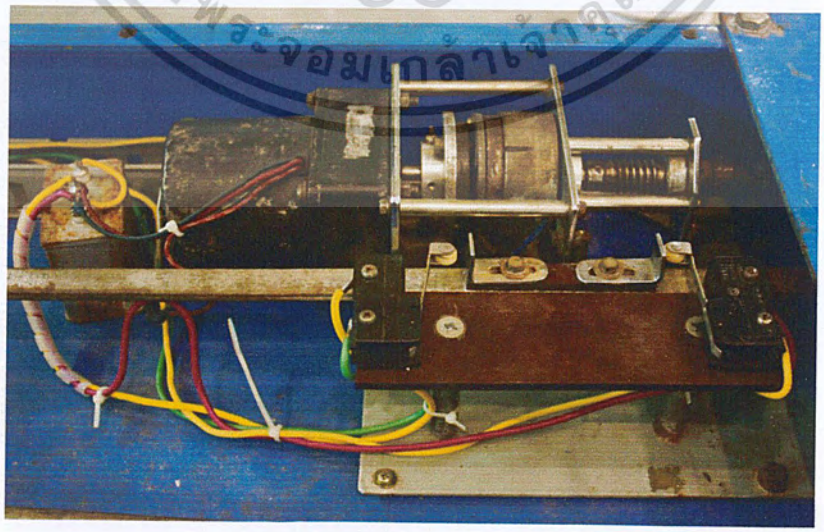
-K5 ทำหน้าที่ ตัดต่อวงจรโดย relay K5 นั้นจะอยู่ที่ตู้ควบคุมเมื่อต้องการเพิ่มระยะแกป K5 ก็จะทำงาน

-K6 ทำหน้าที่ ตัดต่อวงจรโดย relay K6 นั้นจะอยู่ที่ตู้ควบคุมเมื่อต้องการลดระยะแกป K6 ก็จะทำงาน



ภาพที่ 3.19 วงจรควบคุมมอเตอร์ปรับระยะแกป

การประกอบสร้างชุดควบคุมมอเตอร์ปรับระยะแกปที่ได้ทำการออกแบบไว้ ชุดควบคุมมอเตอร์ปรับระยะแกปที่ได้ทำการประกอบสร้างจริง ดังภาพที่ 3.20

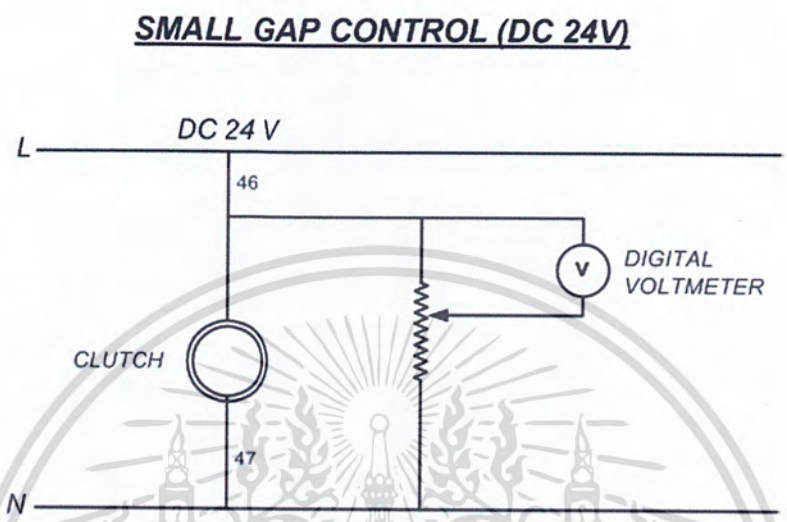


ภาพที่ 3.20 ชุดควบคุมมอเตอร์ปรับระยะแกปที่ได้ทำการประกอบสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

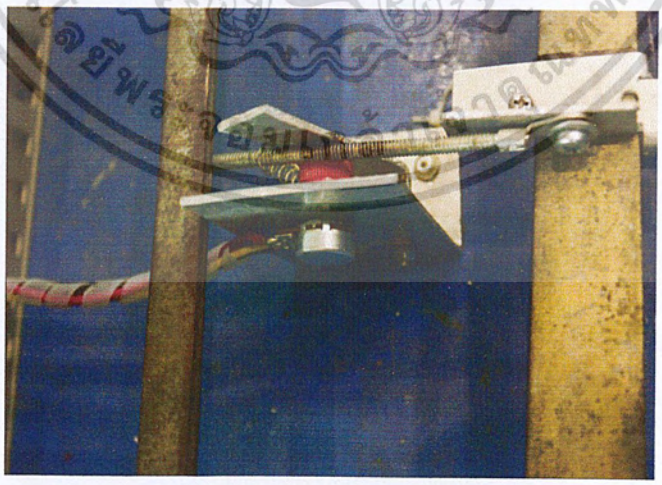
3.4 การออกแบบวงจรควบคุมวัดระยะแกป

วงจรควบคุมที่ได้ออกแบบเพื่อใช้ในการวัดระยะแกปขนาด 24VDC จะมีวงจร ดังภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 วงจรควบคุมการวัดระยะแกป

การประกอบสร้างชุดวัดระยะแกปที่ได้ทำการออกแบบไว้ ชุดวัดระยะแกปที่ได้ทำการประกอบสร้างจริง ดังภาพที่ 3.22

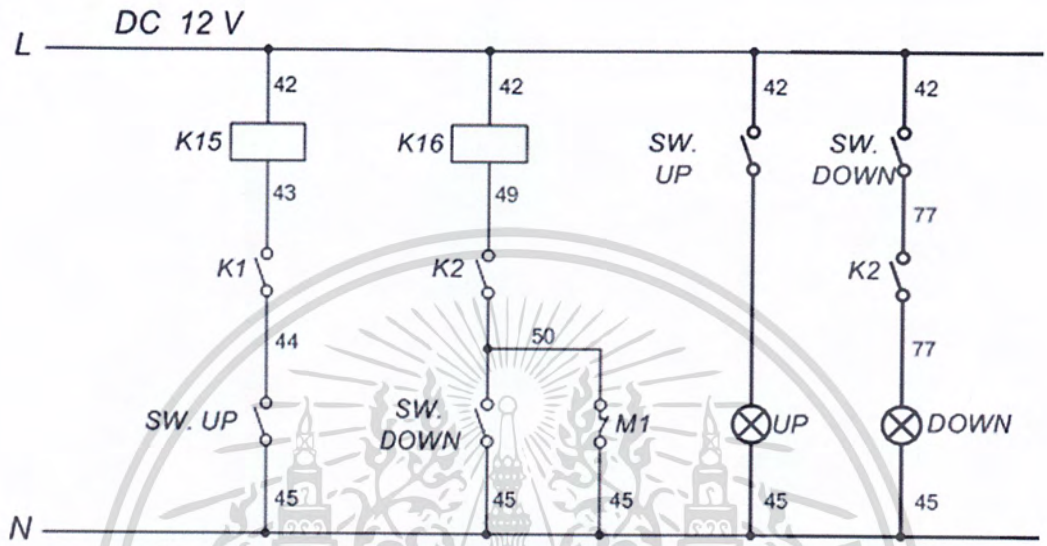


ภาพที่ 3.22 ชุดวัดระยะแกปที่ได้ทำการประกอบสร้างจริง

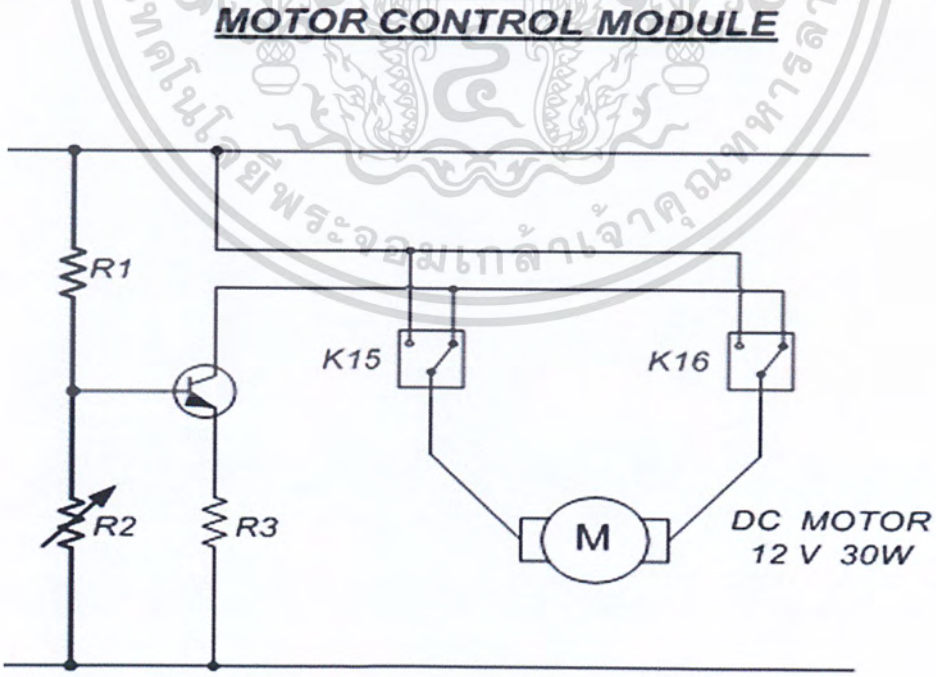
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การออกแบบวงจรควบคุมปรับ Variac ขึ้นแรงดัน

วงจรควบคุมและวงจรกำลังที่ใช้ในการปรับ Variac ขึ้นแรงดันใช้แรงดันไฟฟ้า 12VDC จะมีวงจรดังภาพที่ 3.23 - 3.24



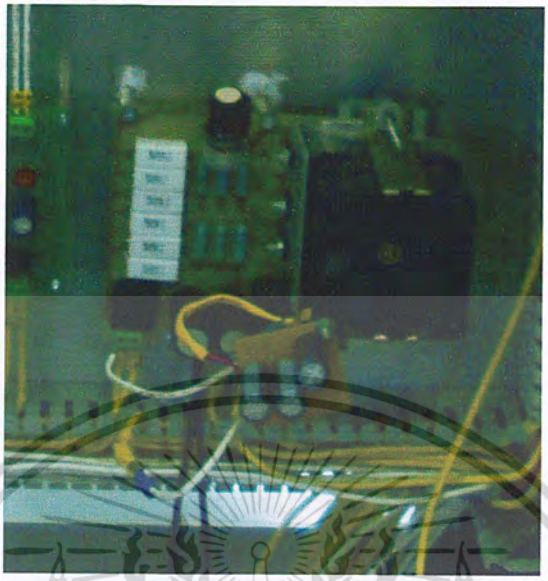
ภาพที่ 3.23 วงจรควบคุมปรับ Variac ขึ้นแรงดัน



ภาพที่ 3.24 วงจรกำลังปรับ Variac ขึ้นแรงดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประกอบสร้างชุดควบคุมปรับ Variac ขึ้นแรงดันที่ได้ทำการออกแบบไว้ในหัวข้อ 3.5 ชุดควบคุมปรับ Variac ขึ้นแรงดันที่ได้ทำการประกอบสร้างจริงดังภาพที่ 3.25

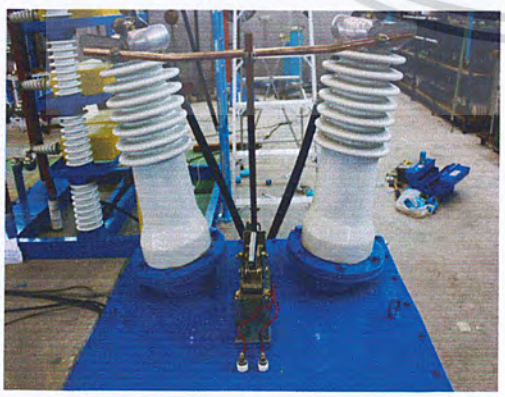


ภาพที่ 3.25 ชุดควบคุมปรับ Variac ขึ้นแรงดันที่ได้ทำการประกอบสร้างจริง

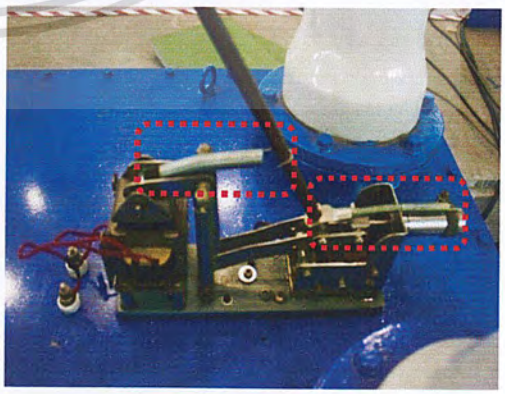
3.6 การออกแบบระบบกราวด์หม้อแปลงอัดประจุ

เนื่องจากก่อนการปรับปรุง ไม้กราวด์ของชุดอัดประจุได้ทำเป็นแบบโปร่งซึ่งได้รับความเสียหายเกิดหัก ทางผู้จัดทำจึงได้ทำการออกแบบใหม่ โดยเปลี่ยนเป็นแบบตันซึ่งแบบตันนั้นจะน้ำหนักค่อนข้างมาก จึงเป็นผลให้คอยล์ไม่สามารถรับน้ำหนักของแท่งทองแดงตันได้ จึงทำการเพิ่มสปริงเข้าไปทั้งสองฝั่งของไม้กราวด์ด้วย

การประกอบสร้างระบบกราวด์หม้อแปลงอัดประจุที่ได้ทำการออกแบบไว้ในหัวข้อ 3.6 ระบบกราวด์หม้อแปลงอัดประจุที่ได้ทำการประกอบสร้างจริง ดังภาพที่ 3.26



ก) ไม้กราวด์ที่เปลี่ยนมาเป็นทองแดงตัน



ข) สปริงช่วยรองรับน้ำหนักของไม้กราวด์

ภาพที่ 3.26 ระบบกราวด์หม้อแปลงอัดประจุที่ได้ทำการประกอบสร้างจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การออกแบบโครงสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

เนื่องโครงสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์เดิมมีอายุการใช้งานนานแล้ว อีกทั้งโครงสร้างในส่วนที่เป็นเหล็กนั้นมีสนิมเกิดขึ้นที่ตัวเหล็กดังนั้นผู้จัดทำจึงได้ทำการออกแบบเพื่อปรับปรุงโครงสร้างเดิมซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญ 2ส่วนคือ 1.ฉนวนระหว่างชั้น 2.ฐานรองตัวเก็บประจุ โดยแบ่งการออกแบบการปรับปรุงโครงสร้างดังนี้

1.ทำการลอกที่สีเดิมที่หมดสภาพของฉนวนระหว่างชั้นและฐานรองตัวเก็บประจุ

2.ทำการขัดสนิมที่เกิดขึ้นกับฉนวนระหว่างชั้นและฐานรองตัวเก็บประจุ

3.ทำการทาสีกันสนิมที่ฉนวนระหว่างชั้นและฐานรองตัวเก็บประจุ

4.พ่นสีจริงที่ต้องการ

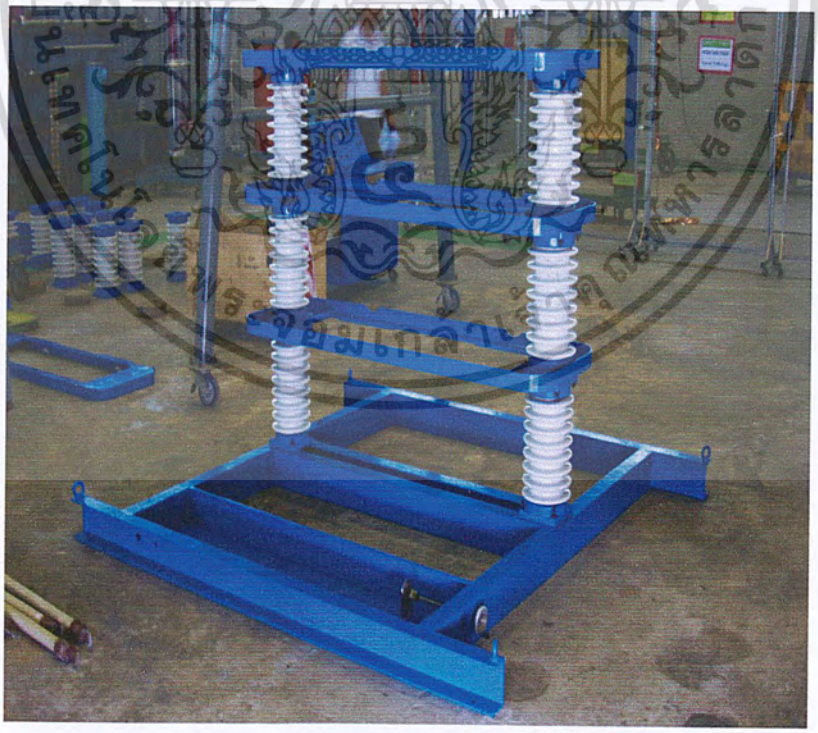
5.ประกอบฉนวนระหว่างชั้นและฐานรองตัวเก็บประจุเมื่อทำการพ่นสีเสร็จ

การประกอบสร้างโครงสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ได้ทำการออกแบบเพื่อปรับปรุงไว้ในหัวข้อ 3.7 โครงสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ได้ทำปรับปรุงตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังภาพที่ 3.27, 3.28 และภาพที่3.29

ภาพที่ 3.27 ฐานรองตัวเก็บประจุที่ได้ทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 3.28 ฉนวนระหว่างชั้นที่ได้ทำการปรับปรุง



ภาพที่ 3.29 โครงสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ได้ทำการปรับปรุง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การทดสอบและการประเมินผล

เมื่อทำการประกอบและสร้างเสร็จสมบูรณ์แล้วจึงทำการทดสอบการใช้งานทั้งในส่วนชุดจุดชนวนและตู้ควบคุม เพื่อให้มีการใช้งานได้ถูกต้องตามที่ออกแบบไว้ในทุกระบบ โดยจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ ดังนี้

1. -การทดสอบชุดจดชนวน
   -การทดสอบชุดจุดชนวนเพื่อทำการวัดรูปคลื่นแรงดัน
   -การทดสอบเพื่อหาขอบเขตการทำงานของชุดจุดชนวน กรณีไม่ใส่ C Firing
   -การทดสอบเพื่อหาขอบเขตการทำงานของชุดจุดชนวน กรณีใส่ C Firing
2. -การทดสอบการทำงานของระบบควบคุม
   -การทดสอบการทำงานของวงจรควบคุมหลัก
   -การทดสอบการทำงานของระบบควบคุมแรงดัน
   -การทดสอบการทำงานของระบบปรับระยะสปาร์กแกป
   -การทดสอบการทำงานของระบบปรับระยะช่องว่างทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm.

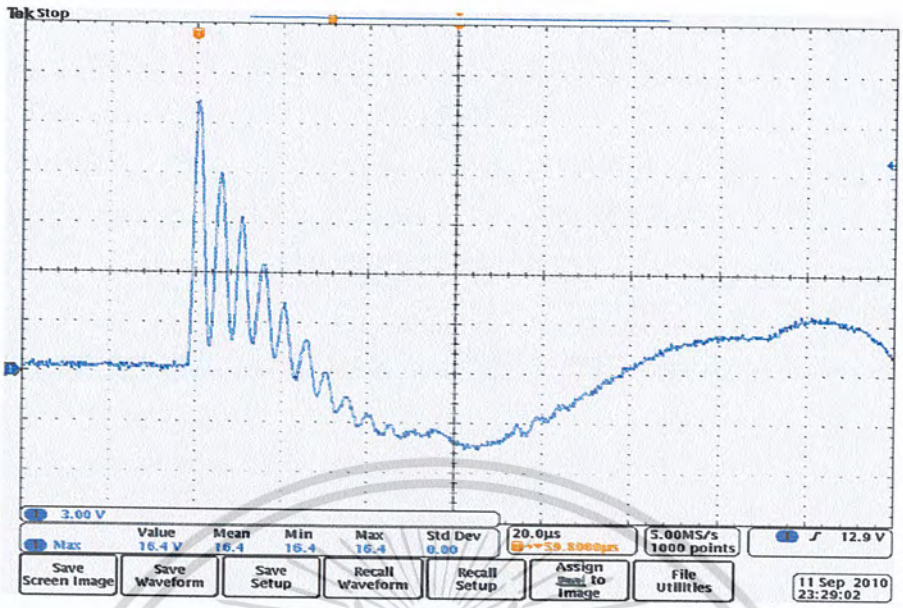
4.1 การทดสอบชุดจุดชนวน

4.1.1 การทดสอบชุดจุดชนวนเพื่อทำการวัดรูปคลื่นแรงดัน

โดยใช้โวลท์เตจดิไวเดอร์ลดทอนแรงดันสูงและทำการวัดรูปคลื่นแรงดันโดยออสซิลโลสโคป

ภาพที่ 4.1 วงจรทดสอบชุดจุดชนวน
1 ออสซิลโลสโคป 2 โวลท์เตจดิไวเดอร์ 3 ชุดจุดชนวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.2 รูปคลื่นแรงดันขาออกของวงจรชุดจุดชนวน

จากการทดสอบ จะเห็นได้ว่ารูปคลื่นที่ได้จากการทดสอบและวัดจริงนั้น มีลักษณะรูปคลื่นทั้งในด้านขนาดและความถี่ที่มีค่าใกล้เคียงกับรูปคลื่นที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (PSpice)

4.1.2 การทดสอบเพื่อหาขอบเขตการทำงานของชุดจุดชนวน

การทดสอบนี้จะทำทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะสปาร์กแกปกับแรงดันชาร์จประจุให้กับตัวเก็บประจุอิมพัลส์ ในครั้งแรกจะทำการชาร์จประจุให้กับตัวเก็บประจุอิมพัลส์ จนกระทั่งเกิดการเบรกดาวน์ระหว่างสปาร์กแกปขึ้นเอง (Self Breakdown) ส่วนครั้งที่สองนั้นจะทำการลดแรงดันชาร์จประจุลงจากค่าที่ได้ในครั้งแรก และสั่งให้ชุดจุดชนวนทำงานเพื่อช่วยให้เกิดการเบรกดาวน์ระหว่างสปาร์กแกป ทำการลดแรงดันชาร์จประจุลงเรื่อยๆจนกระทั่งได้ค่าที่ชุดจุดชนวนไม่สามารถกระตุ้นให้เกิดการเบรกดาวน์ได้ จากการทดสอบทั้งสองครั้งจะทำให้ทราบถึงขอบเขตการใช้งานของชุดจุดชนวน ซึ่งในการทดสอบหัวข้อนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 กรณีศึกษา ดังนี้

1.) กรณีไม่ใส่ตัวเก็บประจุช่วยจุดชนวน

การทดสอบได้ทำการติดตั้งชุดจุดชนวนเข้ากับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ จากนั้นทำการสั่งชาร์จประจุให้กับตัวเก็บประจุอิมพัลส์และทำการสั่ง “TRIG” ที่ตู้ควบคุมตามลำดับ เพื่อหาขอบเขตที่ชุดจุดชนวนสามารถกระตุ้นให้เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์สามารถคายประจุให้กับตัวเก็บประจุโหลดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) กรณีใส่ตัวเก็บประจุช่วยจุดชนวน

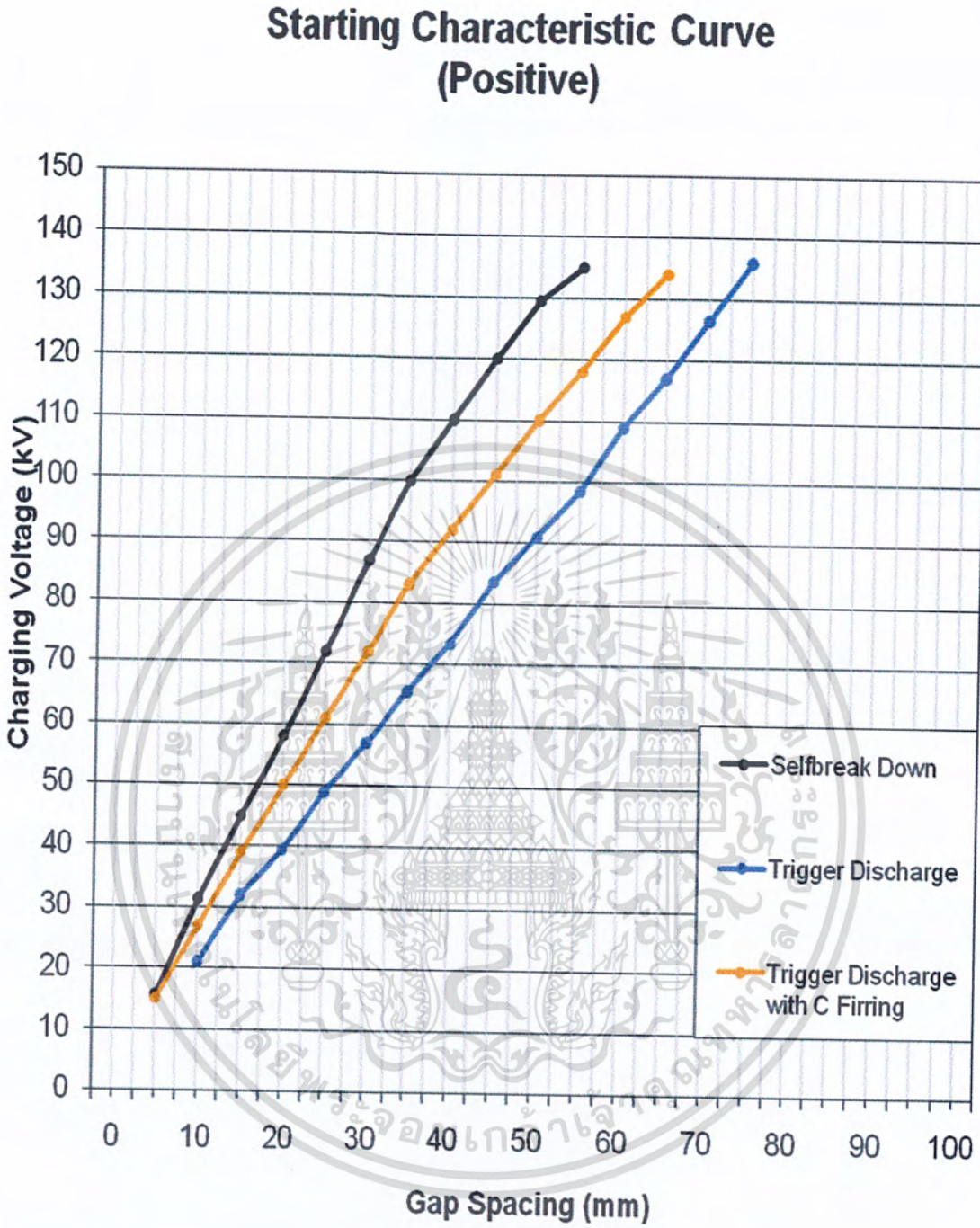
ทำการติดตั้งชุดจุดชนวนในลักษณะเดิมและติดตั้งตัวเก็บประจุช่วยจุดชนวน (C Firing) เพิ่มเข้าไปที่ฐานรองตัวเก็บประจุชั้นที่สองของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ จากนั้นทำการทดสอบในลักษณะเดิมเพื่อหาขอบเขตที่ชุดจุดชนวนสามารถกระตุ้นให้เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์สามารถคายประจุให้กับตัวเก็บประจุโหลดได้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบเพื่อหาขอบเขตการทำงานของชุดจุดชนวน

Gap(mm.)	Charging Voltage Per Stage (kV)					
	Self Breakdown		Trigger Discharge		Trigger Discharge with C Firing	
	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.	Pos.	Neg.
0	-	-	-	-	-	-
5	15.5	16.84	15	15.5	-	-
10	31.34	31.32	27	28	21	22
15	43.4	42.1	39	40	32	32.5
20	56.09	57.08	50	50	39.5	41
25	64.6	69.2	61	61	49	50.5
30	81	82.4	72	72	57	59
35	101	99.5	83	82	65.5	66.5
40	108	111	92	92	73.5	74.5
45	117	123	101	102	83.5	85
50	129.5	125.5	110	112	91	96
55	135	134	118	122	98.5	106
60	-	-	127	131	109	115
65	-	-	134	-	117	126
70	-	-	-	-	126.5	-
75	-	-	-	-	136	-
80	-	-	-	-	-	-

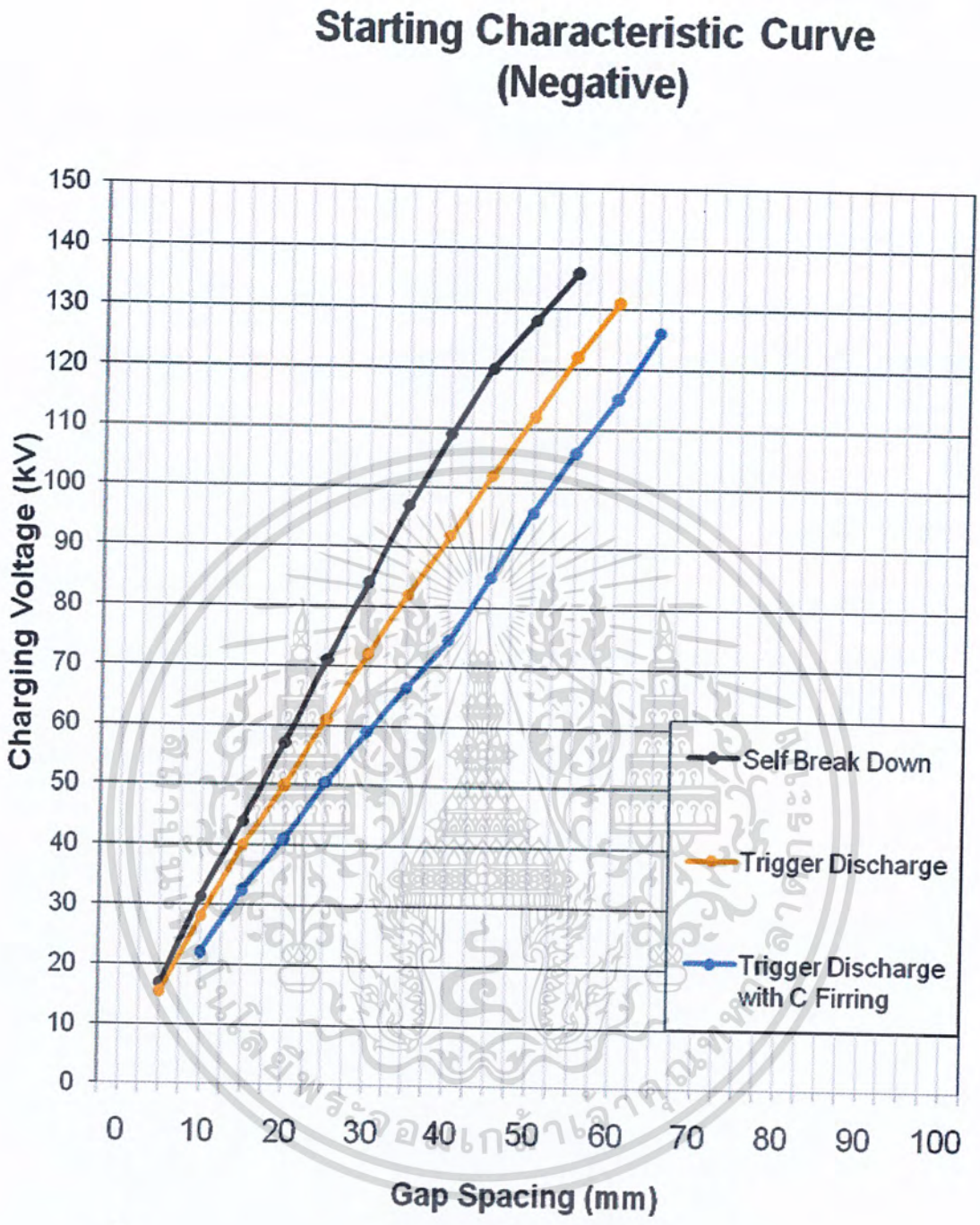
เมื่อนำผลการทดลองที่ได้ มาทำการพล็อตกราฟระหว่างแรงดันชาร์จประจุกับระยะสปาร์กแกป จะทำให้เราทราบถึงขอบเขตการทำงานของชุดจุดชนวนทั้งในขั้วบวก และขั้วลบ ซึ่งเราสามารถสังเกตได้จากพื้นที่ระหว่างกราฟที่เกิดการเบรกดาวน์ขึ้นเองกับกราฟที่สั่งให้ชุดจุดชนวนทำงานนั่นเอง โดยในที่นี้เส้นกราฟที่ชุดชนวนทำงานนั้นมีอยู่สองเส้นกราฟด้วยกัน นั่นคือเป็นการเปรียบเทียบผลกระทบของการใส่ตัวเก็บประจุช่วยจุดชนวนเข้าไปนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.3 กราฟผลการทดสอบเพื่อหาขอบเขตการทำงานของชุดจุดชนวน (ขั้วบวก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.4 กราฟผลการทดสอบเพื่อหาขอบเขตการทำงานของชุดจุดชนวน (ขั้วลบ)

จากผลการทดสอบและกราฟผลการทดสอบพบว่าชุดจุดชนวนสามารถช่วยให้การคายประจุของตัวเก็บประจุอิมพัลส์นั้นเกิดได้ง่ายขึ้นเล็กน้อย สังเกตได้จากกราฟผลการทดสอบซึ่งมีขอบเขตการจุดชนวนที่แคบโดยเฉพาะในช่วยแรงดันชาร์จค่าต่ำๆ

เมื่อทำการการติดตั้งตัวเก็บประจุช่วยจุดชนวนเพิ่มเข้าไปในการช่วยจุดชนวนร่วมกับชุดจุดชนวนนั้น สามารถช่วยให้การคายประจุของตัวเก็บประจุอิมพัลส์นั้นเกิดได้ง่ายมากขึ้น สังเกตได้จากกราฟผลการทดสอบซึ่งมีขอบเขตการจุดชนวนที่กว้างมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดสอบการทำงานของระบบควบคุม

4.2.1 การทดสอบการทำงานของวงจรควบคุมหลัก

ได้ทำการทดสอบการทำงานของวงจรควบคุมหลักซึ่งประกอบไปด้วยระบบการทำงานหลักๆเช่น ระบบควบคุมแมกเนติกคอนแทกเตอร์ ระบบเปลี่ยนขั้ว ระบบกราวด์ ระบบควบคุมการจุดชนวน ระบบป้องกัน ระบบฉุกเฉิน และสัญญาณเตือนต่างๆ ซึ่งจากการทดสอบการใช้งานนั้น พบว่าทุกๆระบบมีการทำงานถูกต้องตามที่ได้ออกแบบไว้ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางการทดสอบการทำงานของระบบควบคุม

Performance Test				
No.	System	Performance	Operate	Interlock
1	Control Power	Main Breaker	√	
		Control Breaker	√	
		Pilot Lamp ("NO","OFF")	√	
2	Low Voltage Measurement System	Volt Meter	√	
		Amp Meter	√	
3	Ground	Ground Bar and Solinoid (Tr.)	√	
		Pilot Lamp ("Ground")	√	
		High Voltage System		√
4	Emergency	Pilot Lamp ("Emergency")	√	
		Grounding System	√	
		OFF High Voltage System	√	
5	Small Gap Distance	Voltage Sensor	√	
		Digital Meter	√	
		Induction Motor	√	
6	Polarity	Relay(Tr.)	√	
		High Voltage System	√	
		kV Meter (+ , -)	√	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ตารางการทดสอบการทำงานของระบบควบคุม (ต่อ)

Performance Test				
No.	System	Performance	Operate	Interlock
7	High Voltage	Magnetic Contactor	√	
		Auto Transformer	√	
		Charging Transformer	√	
		Pilot Lamp ("High Voltage")	√	
		Grounding System		√
		Polarity		√
8	High Voltage Measurement System	kV Meter (kV)	√	
9	Voltage Control	Voltage Control Module	√	
		Motor Drive Auto Transformer	√	
		Pilot Lamp ("UP", "DOWN")	√	
10	Trig	Trigger Module	√	
		Push Button Sw.	√	
		Pilot Lamp ("TRIG")	√	
		OFF High Voltage System	√	
11	Protection System	Over Current Relay	√	
		Over Load Relay	√	
		Control Breaker	√	
		Main Breaker	√	
		OFF High Voltage System	√	
		Pilot Lamp	√	
12	Alarms	Hooter	√	

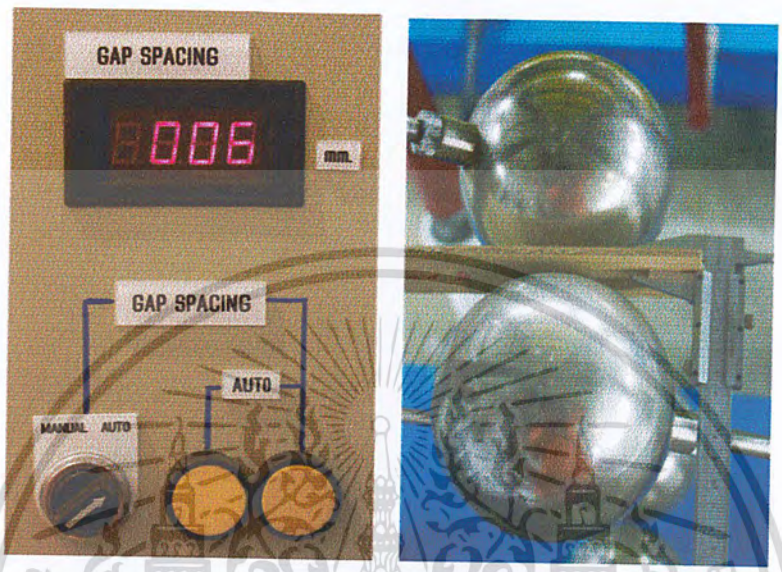
4.2.2 การทดสอบการทำงานของระบบควบคุมแรงดัน

ได้ทำการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมแรงดัน โดยสามารถควบคุมให้ DC Motor นั้นขับ Auto Transformers ให้หมุนด้วยความเร็ว 12 radian/s หรือสามารถขึ้นแรงดันจาก 0 ถึง 220 V ในเวลาประมาณ 30 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การทดสอบการทำงานของระบบปรับระยะสปาร์กแกป

การทดสอบนั้นจะทำการปรับเทียบระบบปรับระยะสปาร์กแกปในโหมด Auto โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่แสดงโดยดิจิตอลมิเตอร์ กับระยะห่างที่แท้จริงของสปาร์กแกป ซึ่งทำการวัดที่ตัวเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์โดยตรง ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 4.5 การปรับเทียบระบบปรับระยะสปาร์กแกป

ตารางที่ 4.3 ผลการผลทดสอบและปรับเทียบระบบปรับระยะสปาร์กแกป

Digital Meter	Gap Distance(mm.)	Error(mm.)
4	3	1.0
5	8.0	-3.0
10	12.5	-2.5
15	16.5	-1.5
20	21.0	-1.0
25	25.5	-0.5
30	30.0	0.0
35	35.0	0.0
40	40.0	0.0
45	45.0	0.0
50	50.0	0.0
55	55.0	0.0
60	59.5	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลการผลทดสอบและปรับเทียบระบบปรับระยะสปาร์กแกป (ต่อ)

Digital Meter	Gap Distance(mm.)	Error(mm.)
65	64.0	1.0
70	68.5	1.5
85	83.0	2.0
90	87.5	2.5
95	92.0	3.0
100	97.0	3.0

จากผลการทดสอบพบว่าระบบปรับระยะสปาร์กแกปในโหมด Auto นั้นสามารถควบคุมระยะแกปให้เปลี่ยนไปในช่วง 3-97 mm. โดยมีค่าความผิดพลาดประมาณ ±3 mm.

ส่วนการปรับระยะสปาร์กแกปในโหมด **Manual** นั้นสามารถควบคุมระยะแกปให้เปลี่ยนไปในช่วง 0-100 mm.โดยสามารถปรับระยะแกปได้ที่ตัวเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์โดยตรง

4.2.4 การทดสอบการทำงานของระบบปรับระยะช่องว่างทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm.

จากการทดสอบนั้นพบว่าระบบปรับระยะช่องว่างทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 100 mm. นั้นสามารถใช้มอเตอร์ควบคุมระยะแกปให้เปลี่ยนไปในช่วงประมาณ 0-25 cm. โดยสามารถปรับระยะแกปได้จากแผงควบคุมที่ตัวเครื่องโดยตรง และนอกในกรณีที่ระบบไฟฟ้าขัดข้องนั้น สามารถหมุนปรับระยะแกปได้เองที่ตัวเครื่องเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการดำเนินงานในโครงงาน

ชุดจุดชนวนเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ปรับปรุงและสร้างนั้น ได้นำอุปกรณ์ที่มีอยู่เดิมในวงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์พิกัด 1500 kV 28.1 kJ ภายในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงมาใช้งาน ซึ่งได้เปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่บางตัว บรรจุอยู่ภายในกล่องโลหะที่สามารถเปิดออกมาซ่อมแซมบำรุงได้ง่าย และเพิ่มความปลอดภัยในการจุดชนวน โดยสามารถจุดชนวนได้ในระยะใกล้ที่กล่องบรรจุชุดจุดชนวนหรือในระยะไกลที่ตู้ควบคุมแรงดันอัดประจุ

จากผลการทดสอบการใช้งานชุดจุดชนวนนี้ พบว่าสามารถสร้างสัญญาณพัลส์ในการจุดชนวนสูงสุดที่ 16 kV ซึ่งแก้ปัญหาช่วงความไม่แน่นอนของแรงดันการเกิดเบรกดาวน์ได้จริง

ในส่วนของตัวเก็บประจุช่วยในการจุดชนวนนั้น เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่มีจำนวนชั้นมากกว่า 6 ชั้น จะมีการติดตั้งตัวเก็บประจุช่วยการจุดชนวนเพื่อให้การจุดชนวนดีขึ้น โดยจะติดตั้งเข้ากับชั้นที่ 2 ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ผลการทดสอบขอบเขตการจุดชนวนทั้งขั้วบวกและขั้วลบของแรงดันอิมพัลส์ พบว่าขอบเขตของการจุดชนวนกว้างขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรที่ไม่ได้ต่อตัวเก็บประจุช่วยในการจุดชนวน 66%

ส่วนการออกแบบและสร้างตู้ควบคุมแรงดันอัดประจุนั้น เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์และชุดจุดชนวน ได้คำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานและอุปกรณ์ต่างๆ เช่น สั่งการกราวด์หม้อแปลงอัดประจุจากหน้าตู้ควบคุมแรงดัน ไม่สามารถกลับขั้วแรงดันได้เมื่อทำการขึ้นแรงดันอัดประจุไปแล้ว เพราะอาจจะเกิดความเสียหายกับหม้อแปลง มีเซอร์กิตเบรกเกอร์และ over current relay ป้องกันกระแสเกินที่อาจเกิดขึ้น เป็นต้น ดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 ซึ่งเมื่อสร้างสำเร็จแล้วสามารถนำไปใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งใจไว้

5.2 อุปสรรคและวิธีการแก้ไขในโครงงาน

อุปสรรคต่างๆ ในโครงงานการปรับปรุงและพัฒนาชุดจุดชนวนและชุดควบคุมแรงดันสำหรับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ มีดังนี้

1) ในส่วนของชุดจุดชนวนนั้น ครั้งแรกได้บรรจุลงกล่องที่ทำด้วยอะคริลิก แต่เมื่อนำชุดจุดชนวนนี้ไปใช้งานร่วมกับชุดกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แล้ว พบว่าฟิวส์ป้องกันวงจรเสียหาย เนื่องจากผลของสนามไฟฟ้ารบกวน ดังนั้นจึงเปลี่ยนจากกล่องอะคริลิกเป็นกล่องโลหะแทน ตามหลักการของฟาราเดย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) แม้ว่าชุดจุดชนวนจะแก้ปัญหาในเรื่องความไม่แน่นอนของแรงดันการเกิดเบรกดาวน์ได้ แต่ช่วงการจุดชนวนแคบ มีปัญหาการเกิดเบรกดาวน์ของสปาร์กแกปก่อนจุดชนวน โดยเฉพาะที่แรงดันอิมพัลส์ต่ำๆ จึงต้องต่อตัวเก็บประจุช่วยในการจุดชนวนเข้ากับวงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์หลายขั้นที่ชั้น 2 ผลของการต่อตัวเก็บประจุช่วยในการจุดชนวน ทำให้ช่วงของการจุดชนวนกว้างขึ้น 66 %

3) ส่วนของชุดอัดประจุ การทดสอบชุดอัดประจุพบว่าค่าแรงดันที่ออกมาจากทั้งสองขั้วมีค่าเท่ากัน แต่มีปัญหาเกิดขึ้นที่ระบบกราวด์ของชุดอัดประจุเนื่องจากก่อนการปรับปรุงไม้กราวด์ของชุดอัดประจุทำจะเป็นแบบโปร่งมีโอกาสที่จะหักได้ง่าย จึงได้ปรับเปลี่ยนเป็นแบบตัน ซึ่งแบบตันมีน้ำหนักค่อนข้างหนักจึง เป็นผลให้คอยล์ไม่สามารถรับน้ำหนักของแท่งทองแดงตันไม่ได้ จึงทำการเพิ่มสปริงเข้าไปทั้งสองฝั่งของไม้กราวด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] ดร.สำรวย สังข์สะอาด, **วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง**, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, มีนาคม 2549.

[2] กิตติชัย แก้วคำ, **"เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับพิกัด 6 kV"** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2551.

[3] สุรชัย แสงสุริยันต์ **"การศึกษาและปรับปรุงเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ขนาด 200kV 5kJ"** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2550.

[4] **IEC 71-1**, Insulation Co-ordination, Part 1, Definition, principles and rules, seventh edition. 1999-12.

[5] นรเศรษฐ พัฒนเดช, **วัสดุวิศวกรรมไฟฟ้า เล่ม 1**, ฉนวนและวัสดุฉนวน, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

[6] ชาญณรงค์ น้อยบางยาง **"การออกแบบและสร้างตัวทริกเกอร์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์"** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2544.

[7] อำนาจ ทองผาสุข, **การควบคุมมอเตอร์**, ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า, คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

บทความวิชาการ

การปรับปรุงและพัฒนาชุดจุดชนวนและชุดควบคุมแรงดันสำหรับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

Improvement and Development of a Trigger and a Control Unit of an Impulse Voltage Generator

ชยศ กองจันทร์ดี บรรหาร มูลศิลป บุญฤทธิ์ ชูพรหมาฉิมชย์ ปองพล ไพสิฐระกูล
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ฉนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทร/โทรสาร. 0-2739-2478

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้นำเสนอการปรับปรุงและพัฒนาชุดจุดชนวน ตู้ควบคุมแรงดันรวมไปถึงโครงสร้างของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ พิกัด 1200 kV จากการปรับปรุงและพัฒนาทำให้เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์สามารถทำงานได้ตามปกติ จากผลการจำลองด้วยโปรแกรมและการทดลองในห้องปฏิบัติการ พบว่าค่าแรงดันสูงที่จ่ายออกจากชุดจุดชนวนมีค่าใกล้เคียงกันที่ 16 kV เมื่อนำไปใช้งานจริงได้ทำการติดตั้งตัวเก็บประจุช่วยจุดชนวนที่ชั้นที่ 2 ทำให้การจุดชนวนดีขึ้นก่อนการติดตั้ง 66 % ในส่วนของตู้ควบคุมแรงดันและ โครงสร้างของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์จากการออกแบบและสร้างจริงสามารถนำไปใช้งานได้จริงตามที่ออกแบบไว้

คำสำคัญ : เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ , ชุดทริกเกอร์ , ตัวเก็บประจุช่วยจุดชนวน

Abstract

This paper presents improvement and development of a trigger and a controller of an impulse generator, as well as the structure of the generator rated 1200 kV. Form the improvement and development, the generator can work normally. The results simulation and experiments in the laboratory. It is found that the voltage generator by a trigger is about to 16 kV. When applied to real-installed capacitors help ignite the 2nd floor to the trigger well before installation 66% in the control box and structure of the generator voltage pulse from the design and construction can actually be used actually works as designed

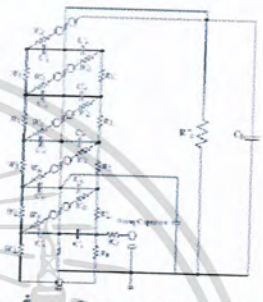
1.บทนำ

เนื่องจากห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล. มีเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 1500 kV , 28 kJ ซึ่งได้รับความเสียหายจากฝีมือมนุษย์เมื่อ 3 ปีที่ผ่านมา จึงต้องมีการปรับปรุงให้เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์สามารถนำกลับมาใช้งานได้ตามปกติและเป็นไปตามมาตรฐาน IEC 60060-1 [1] กำหนด

2.ทฤษฎี

2.1 วงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์หลายชั้น [2]

เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่มีพิกัดเกิน 200kV โดยปกติจะใช้วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์หลายชั้น โดยใช้วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์พื้นฐานมาต่อซ้อนกันหลายชั้น ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบหลายชั้น

2.2 ชุดจุดชนวนสำหรับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ [3]

การจุดชนวนโดยใช้ไกสวิตช์นั้นจะใช้ประโยชน์จากความเครียดสนามไฟฟ้าที่สูงมากบริเวณปลายเข็มทริก เพื่อให้เกิดการอปาร์กที่ Annular หรือ Pilot gap ทำการทริกก่อนที่จะเกิดเบรกดาวน์ผ่านแกปหลักได้แรงดันอิมพัลส์ตามที่ต้องการโดยอาศัยกลไกการเกิดเบรกดาวน์ของสตรีมเมอร์

2.3 ตัวเก็บประจุช่วยการจุดชนวน

เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่มีจำนวนชั้นมากกว่า 6 ชั้น จะมีการติดตั้งตัวเก็บประจุช่วยการจุดชนวนเพื่อให้การจุดชนวนดีขึ้น ตัวเก็บประจุช่วยการจุดชนวนถูกสร้างขึ้น โดยตัวเก็บประจุที่ใช้เป็นชนิดกระดาษชุบน้ำมัน จากนั้นนำมาบรรจุในพลาสติกรูปทรงกระบอก ซึ่งไม่ว่าจะปรับค่าด้านทานหน้าคลื่นเท่าใด ตัวเก็บประจุช่วยการจุดชนวนก็ยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิม

3. การออกแบบและประกอบสร้าง

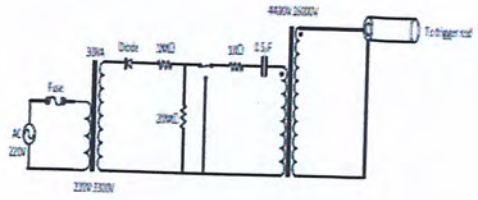
3.1 ชุดจุดชนวน

ชุดจุดชนวนเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ออกแบบต้องสอดคล้องตามที่มาตรฐานกำหนดมีอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

1.หม้อแปลงความถี่สูง	พิกัด	4400V/16000V
2.หม้อแปลง	พิกัด	220V/3300V 30VA
3.Solid state relay	พิกัด	100 to 220 VAC
4.ตัวต้านทาน	พิกัด	10Ω,1MΩ,20MΩ
5.ตัวเก็บประจุ	พิกัด	0.5μF/4000V
6.ไดโอด	พิกัด	5000V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยอุปกรณ์ทั้งหมดจะต่อวงจรดังรูปที่ 3 และถูกบรรจุอยู่ในกล่องโลหะ เพื่อป้องกันสนามไฟฟ้ารบกวน เนื่องจากขณะใช้งานต้องติดตั้งไว้ใกล้บริเวณเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์



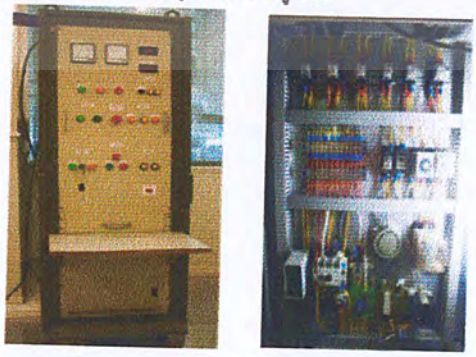
รูปที่ 2 วงจรทริกเกอร์

รูปที่ 3 กล่องบรรจุวงจรทริกเกอร์

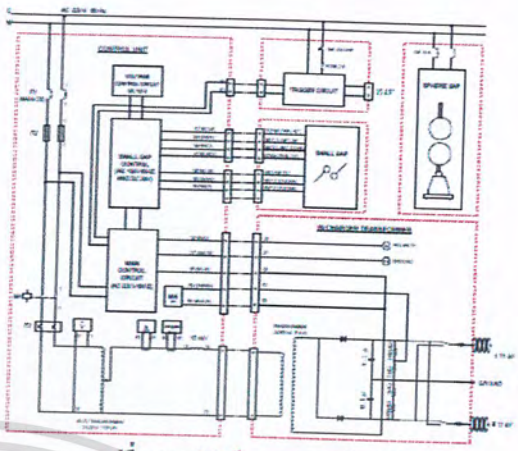
3.2 ตู้ควบคุมแรงดัน

ในส่วนของตู้ควบคุมแรงดัน ได้ออกแบบโดยคำนึงถึงความปลอดภัยเป็นหลัก เช่น การติดตั้ง Over Current Relay เพิ่มเติมเพื่อตรวจจับกระแสในขณะอัดประจุ ทำการออกแบบระบบวัดแรงดันอัดประจุ และระบบวัดระยะสปาร์คแกปใหม่ รวมไปถึงการออกแบบไดอะแกรมวงจรควบคุมและวงจรกำลังของตู้ควบคุมแรงดันใหม่ทั้งหมดภายในตู้ได้ทำการเดินสายใหม่และเปลี่ยนอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ภายในประเทศ

ในด้านความปลอดภัย ตู้ควบคุมแรงดันจะมีระบบอินเตอร์ล็อคอัดประจุซึ่งสามารถควบคุมได้ที่ตู้ควบคุมดังกล่าวนอกจากนี้ยังทำการต่อสายสัญญาณเตือนของห้องปฏิบัติการเข้ากับตู้นี้ด้วย



รูปที่ 4 ตู้ควบคุมแรงดัน



รูปที่ 5 วงจรกำลังตู้ควบคุมแรงดันอิมพัลส์

3.3 โครงสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

ในส่วนของโครงสร้างนั้น ใช้โครงสร้างเดิมที่มีอยู่แต่ได้ทำการปรับปรุงให้มีสภาพการใช้งานที่ดีขึ้น โดยการทำความสะอาดและทาสีใหม่ทั้งหมดและเปลี่ยนอุปกรณ์ที่สามารถหาได้ภายในประเทศ

รูปที่ 6 ฐานรองตัวเก็บประจุ

รูปที่ 7 ฉนวนระหว่างชั้น

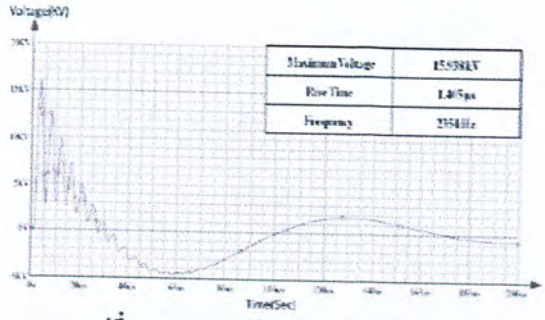
4. การทดสอบและผลการทดสอบ

4.1 ชุดจุดชนวน

ในส่วนของชุดจุดชนวนได้ทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก่อนการทดสอบจริง โดยการต่อวงจรและผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 8-9

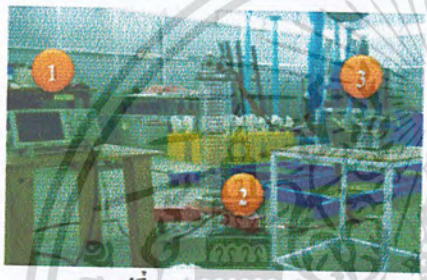
รูปที่ 8 วงจรจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



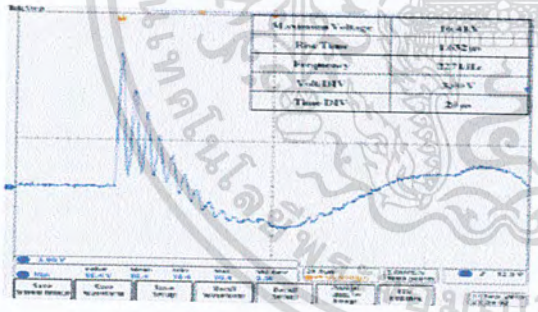
รูปที่ 9 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการทดสอบจริงได้ทำการต่อวงจรดังรูปที่ 10 และได้ผลการทดลองดังรูปที่ 11



รูปที่ 10 วงจรการทดสอบ

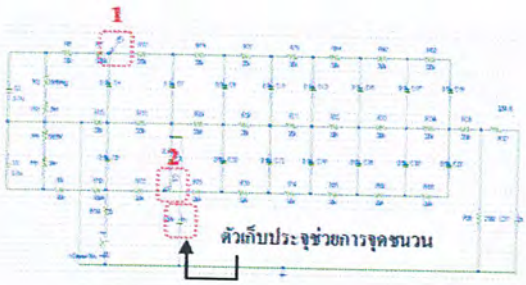
1.Oscilloscope 2.โวลเตจดิไวเดอร์ 3.ชุดจุดชนวน



รูปที่ 11 ผลการทดสอบ

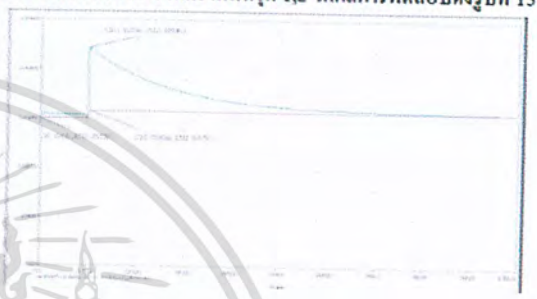
4.2 การหาขอบเขตการจุดชนวน

ในการหาขอบเขตการจุดชนวนเมื่อนำไปใช้งานจริงกับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ จะแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน คือในวงจรที่ไม่มีการต่อตัวเก็บประจุช่วยการจุดชนวนและเมื่อต่อตัวเก็บประจุช่วยการจุดชนวนในขั้นที่ 2 ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยได้จำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก่อนการทดสอบจริง ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการจำลองได้ทำการวัดแรงดันที่จุด 1,2 ได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 13

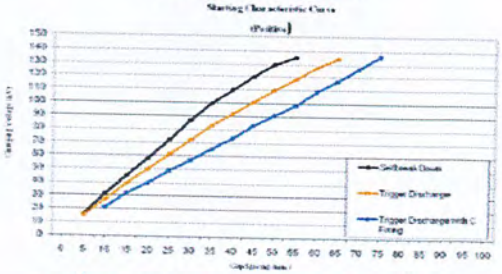


รูปที่ 13 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการทดลองจริงจะทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการต่อตัวเก็บประจุช่วยการจุดชนวน โดยต่อตัวเก็บประจุช่วยจุดชนวนเข้าไปในวงจร ดังรูปที่ 14 และทำการทดสอบที่ระดับแรงดันเท่ากับ 10-140 kV ที่ระยะห่างช่องว่างสปาร์คแกปเท่ากับ 5-75 mm. ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 15-16

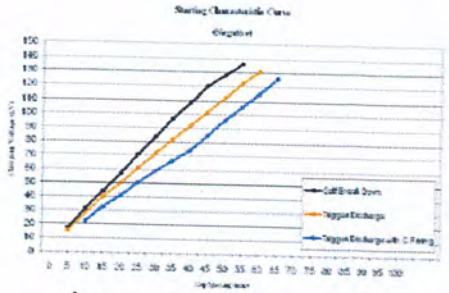
รูปที่ 14 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ต่อตัวเก็บประจุช่วยจุดชนวน

1.ตัวเก็บประจุช่วยจุดชนวน



รูปที่ 15 ผลการทดสอบขอบเขตการจุดชนวนขั้วบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

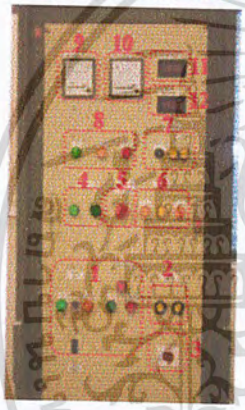


รูปที่ 16 ผลการทดสอบขอบเขตการจุดชนวนขั้วลบ

รูปที่ 18 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

4.3 ตู้ควบคุมแรงดันเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

ในการทดสอบตู้ควบคุมแรงดันเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ สามารถทำงานได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ในตอนแรก และสามารถตัดวงจรกรณีฉุกเฉินต่างๆ ได้ตามที่กำหนด ส่วนประกอบแสดงดังรูปที่ 17



รูปที่ 17 ส่วนประกอบตู้ควบคุมแรงดัน

1. ส่วนควบคุมการเปิด-ปิด วงจรควบคุม
2. ส่วนควบคุมการเพิ่ม-ลดแรงดันอัดประจุ
3. ส่วนควบคุมการจุดชนวน
4. ส่วนควบคุมการกราวด์ชุดชาร์จประจุ
5. ส่วนควบคุมกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน
6. ส่วนควบคุมการเปลี่ยนขั้วชุดชาร์จประจุ
7. ส่วนควบคุมการเพิ่ม-ลดระยะห่างสปาร์กแกป
8. หลอดไฟแสดงสถานะต่างๆ
9. มิเตอร์วัดแรงดันขาเข้า
10. มิเตอร์วัดกระแสขาออก
11. มิเตอร์วัดแรงดันขาออก
12. มิเตอร์วัดระยะห่างสปาร์กแกป

4.4 โครงสร้างของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

ในส่วนของโครงสร้างของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์เมื่อทำการปรับปรุงแล้ว ได้ทำการประกอบขึ้นกลับไปใช้งานซึ่งสามารถรองรับตัวเก็บประจุและอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดีดังแสดงดังรูปที่ 18

5.สรุปผลการทดลอง

จากการปรับปรุงและพัฒนาชุดจุดชนวน และชุดควบคุมเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ให้ผลเป็นที่น่าพอใจ จากผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่า ชุดจุดชนวนสร้างสัญญาณพัลส์ในการจุดชนวนสูงสุดที่ 16 kV และเมื่อนำไปต่อใช้งานจริงกับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างการต่อและไม่ต่อตัวเก็บประจุช่วยการจุดชนวนในวงจร โดยต่อไว้ในขั้นที่ 2 ของวงจร จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และการทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการพบว่า เมื่อต่อตัวเก็บประจุช่วยในการจุดชนวน ทำให้ขอบเขตการจุดชนวนทั้ง 2 ขั้ว ดีขึ้นก่อนใส่ตัวเก็บประจุช่วยการจุดชนวน 66 % ซึ่งสามารถแก้ปัญหาการเกิดเบรกดาวน์ของสปาร์กแกปก่อนจุดชนวน (Self-Breakdown) ได้ ในส่วนของตู้ควบคุมแรงดันและโครงสร้างของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ เมื่อนำมาประกอบการใช้งาน ผลที่ได้น่าพอใจ เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ทุกประการ

6.กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบคุณ รศ.ดร.อานันทวัฒน์ คุณากร และ ดร.พีรวุฒิ ยุทธโกวิท ที่ช่วยให้คำแนะนำ และนายปุณยวีร์ ทองเขียว นายสรรชัย อานอาชา นายบัญญัติ ลีลาจริยกุล นายปิยะพล ถือทอง ที่คอยให้ความช่วยเหลือในทุกด้านจนสำเร็จไปได้ด้วยดี

7.เอกสารอ้างอิง

[1] สำรวย สังข์สะอาด, "วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง" มีนาคม 2549

[2] Mcphee, A.J.,MacGregor, S.J. and Turnbull, S.M. "Electrostatic Modelling of a trigatron Spark Gap" 10th IEEE Pulsed power conference, Albuquerque, New Mexico, 1995.

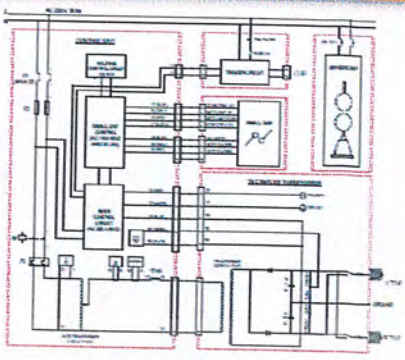
[3] สุรชัย แสงสุริยันต์ และคณะ, "การออกแบบและสร้างชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์", ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล., 2550.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

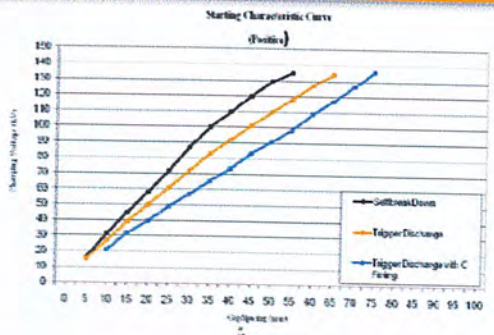
ภาคผนวก ข

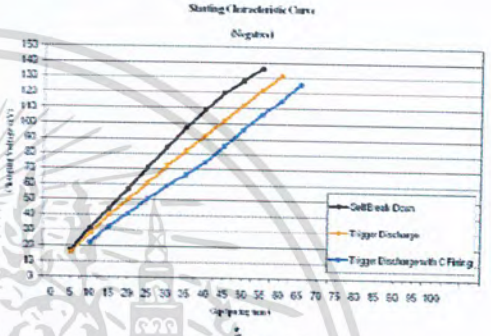
POSTER

การปรับปรุงและพัฒนาเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 1200 kV
Improvement and Development of a 1200 kV Impulse Voltage Generator
นายณัฐดิ์ รูจนะ นายบุญฤทธิ์ นาคแดง นายบุญเหลือ เลาหกุล และ นายปริวัฒ วัดนภีรัญญานนท์
การปรับปรุงและพัฒนาชุดอุปกรณ์ควบคุมการจุดสำหรับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
Improvement and Development of a Trigger and a Control Unit of an Impulse Voltage Generator
นายณพล ทองอินทร์ดี นายนรงการ ชูสกิจ นายบุญฤทธิ์ อุราพรหมมินทร์ และ นายปองพล ไพสิฐตระกูล
อาจารย์ที่ปรึกษา
ผศ.ดร. สาทิตต์ วิลัยรัตน์ อุดมศรี
ดร.พีรวุฒิ ชูธรโชติ
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง และวิศวกรรมแสงสว่าง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
HVES
บทนำ
เนื่องจากห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่มีค่า 150kV, 2kJ ใช้งานมานาน ชำรุดไปหลายส่วน รวมไปถึงอุปกรณ์และโครงสร้างต่างๆ ที่ใช้งานเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพง ประกอบกับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ดังกล่าวนี้ เป็นเครื่องมือที่มีความจำเป็นในการใช้งานในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ดังนั้นทางสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ จึงมีความจำเป็นในการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ดังกล่าว เพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้งานได้ตามปกติ
รูปที่ 1 เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
การออกแบบสร้างและประกอบสร้าง
ชุดอุดมชนวน
ชุดอุดมชนวนเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ออกแบบต้องออกแบบตามที่เงื่อนไขการใช้งานต่างๆ ดังนี้
หม้อแปลงความดันสูง พิกัด 4400/440V หม้อแปลง พิกัด 220V, 3300V, 50VA
Solid State Relay พิกัด 100 to 220VAC ตัวต้านทาน พิกัด 1MΩ, 13kΩ, 200Ω
ตัวเก็บประจุ พิกัด 0.5μF, 800V ไดโอด พิกัด 800V
โดยอุปกรณ์ทั้งหมดจะต้องถูกจัดวางตามรูปที่ 2 และอุดมชนวนด้วยน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าตามรูปที่ 3
รูปที่ 2 วงจรชุดอุดมชนวน
รูปที่ 3 กล่องบรรจุวงจรชุดอุดมชนวนและองค์ประกอบภายใน
ตัวเก็บประจุอิมพัลส์, ตัวต้านทานหน้าคลื่น, ตัวต้านทานหลังคลื่น
ตัวเก็บประจุอิมพัลส์ 20ตัว - ขนาด 0.5 μF - พิกัด 75 kV
ตัวต้านทานหน้าคลื่น 20ตัว - ขนาด 16 Ω
ตัวต้านทานหลังคลื่น 20ตัว - ขนาด 115Ω
รูปที่ 4 องค์ประกอบหลักของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
ตรวจสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์
ใช้โปรแกรม MicroSim ทำการ Simulation วงจรก่อนสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยทำการ Simulation เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ทั้งแบบวงจร A และวงจร B ทั้งชั้วงานและชั้วงาน ทำการจำลองวงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยจำลองที่ระดับแรงดัน 27 kV ต่อ 1 ชั้น จำนวนชั้นต่ำที่สุด 8 ชั้น ได้แรงดันรวมที่ค่า 216 kV เพื่อเปรียบเทียบรูปคลื่นและประสิทธิภาพของวงจรทั้งสองแบบ
รูปที่ 5 วงจรจำลองเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
รูปที่ 6 ตารางเปรียบเทียบรูปคลื่นและประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบ A และ แบบ B
ตู้ควบคุมแรงดัน
ในส่วนของตู้ควบคุมแรงดันได้ออกแบบป้องกันเพิ่มเติมจากเดิม คือ การติดตั้ง Over Current Relay เพิ่มเติมเพื่อตรวจจับกระแสในขณะชาร์จประจุก่อนการจุดแบบระบบนิวตรอนดับประจุ และระบบนิวตรอนสปาร์ก ตลอดจนตั้งแต่ตรวจสอบการจุดแบบไอระเหยของวงจรควบคุมและวงจรก่อนของตู้ควบคุมแรงดันใหม่ทั้งหมดเพื่อให้ทำการจัดสายไฟให้เรียบร้อย และปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ที่สามารถทำได้ตามประสงค์ให้ดีขึ้นด้วย
ในด้านความปลอดภัย ตู้ควบคุมแรงดันจะมีระบบการสั่งจุดประจุซึ่งสามารถควบคุมได้จากที่ตู้ควบคุมดังกล่าว นอกจากนี้ยังทำการล็อคสลับคู่ชุดของทั้งปฏิบัติการเข้าด้วยกันด้วย
รูปที่ 7 ตู้ควบคุมแรงดัน
1



รูปที่ 8 วงจรกำลังชุดควบคุมแรงดันอิมพัลส์



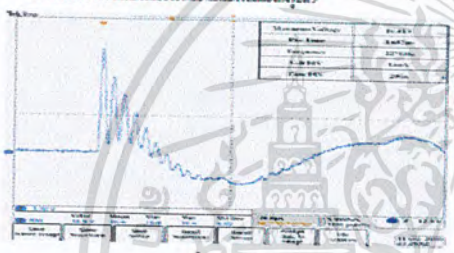


รูปที่ 12 ผลการทดสอบขอบเขตการจุดของชุดควบคุม

การทดสอบและผลการทดสอบ

ชุดจุดชนวน

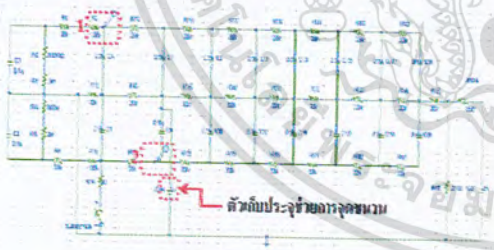
ในการทดสอบครั้งนี้ทำการต่อวงจรและใช้ผลการทดลองดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการทดลอง

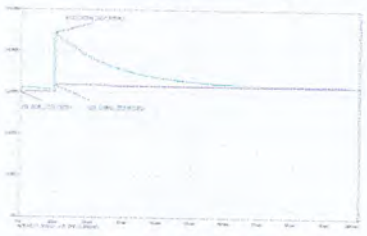
การทดสอบชุดควบคุมจุดชนวน

ในการทดสอบชุดควบคุมจุดชนวนนั้นจะไปใช้งานกับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ จะแบ่งการทดสอบเป็น 2 ส่วน คือในวงจรที่ใช้ทดสอบตัวตัดประจุช่วยและชุดควบคุมและนี่ต่อตัวตัดประจุช่วยและชุดควบคุมในขั้นที่ 2 ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการทดสอบจริง ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

โดยในการจำลองได้ทำการวัดแรงดันที่จุด1,2 ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 11

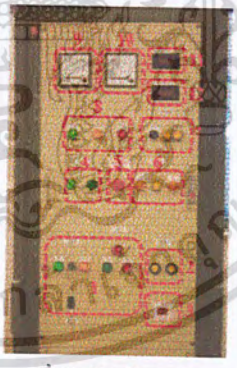


รูปที่ 11 ผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ในการทดลองจริงจะทำการปรับเพิ่มแรงดันที่ใช้งานการต่อตัวตัดประจุช่วยการจุดชนวน โดยต่อตัวตัดประจุช่วยจุดชนวนเข้าไปในวงจรและทำการทดสอบที่ระดับแรงดันต่างกัน 20-140 kV ที่ระยะห่างช่องว่างสปาร์กแกปต่างกัน 5-75 mm. ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 12

ชุดควบคุมแรงดันเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

ในการทดลองชุดควบคุมแรงดันเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์สามารถทำงานได้ตามที่ได้ออกแบบไว้ในหลักการและสามารถต่อวงจรการจุดชนวนต่างๆ ได้ตามที่ต้องการ ดังประกอบด้วยรูปที่ 13



1) ส่วนควบคุมการปิด-เปิด วงจรควบคุม
2) ส่วนควบคุมการชาร์จ-ดิสชาร์จตัวประจุ
3) ส่วนควบคุมแรงดันจุดชนวน
4) ส่วนควบคุมการการชาร์จชุดชาร์จประจุ
5) ส่วนควบคุมสวิตช์ลากลงดิน
6) ส่วนควบคุมการเปลี่ยนขั้วชุดชาร์จประจุ
7) ส่วนควบคุมแรงดัน-ระยะห่างสปาร์กแกป
8) หลอดไฟแสดงสถานะต่างๆ
9) มิเตอร์วัดแรงดันขาเข้า
10) มิเตอร์วัดกระแสขาออก
11) มิเตอร์วัดแรงดันขาออก
12) มิเตอร์วัดระยะห่างสปาร์กแกป

รูปที่ 13 ส่วนประกอบชุดควบคุมแรงดัน

การทดสอบชุดตัดประจุ

ทำการทดลองชุดตัดประจุขนาด 220 V/75 kV, 25 mA ที่แรงดัน 30 kV เพื่อปรับเทียบค่าแรงดันทั้งสองข้าง ผลการทดลองดังรูปที่ 15

รูปที่ 14 วงจรการทดสอบชุดตัดประจุ
1) AC-DC Voltage Divider 2) Universal Voltage Divider 3) ชุดตัดประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก) ขั้วบวก แรงดันสูงสุด = 28.1 kV

ข) ขั้วลบ แรงดันสูงสุด = -28.1 kV

รูปที่ 15 ผลการทดสอบชุดจัดประจุ

การทดสอบตัวเก็บประจุอิมพัลส์

การทดสอบตัวเก็บประจุอิมพัลส์แบ่งออกเป็น 2 ส่วน สำหรับส่วนแรกเป็นการวัดและตรวจสอบค่าความจุของตัวเก็บประจุว่ายังมีค่าเท่าเดิมหรือไม่ โดยใช้ RLC มิเตอร์ ปรับความถี่ 1 kHz และ 120 kHz เพื่อเปรียบเทียบค่าความจุที่ความถี่ต่างกัน

ในส่วนที่สองการทดสอบความคงทนอยู่ได้ต่อแรงดัน (Withstand Voltage Test) ของตัวเก็บประจุอิมพัลส์ โดยทดสอบที่ 75 kV หรือที่ 100% ของพิกัดตัวเก็บประจุอิมพัลส์ เป็นเวลา 1 นาที จากการทดสอบพบว่าตัวเก็บประจุอิมพัลส์ทั้ง 16 ตัว สามารถใช้งานได้ถึงจุดหมด ผลการทดสอบดังตารางที่ 1

รูปที่ 16 วงจรการทดสอบตัวเก็บประจุ

1) ชุดจัดประจุ 2) ตัวต้านทานต่ำ 3) ตัวเก็บประจุอิมพัลส์

ตารางที่ 1 การทดสอบตัวเก็บประจุอิมพัลส์พิกัด 75 kV, 0.5 μF จำนวน 20 ตัว

ตัวเก็บประจุ	ค่าความจุของตัวเก็บประจุ (nF)		Withstand Voltage Test
	ที่ 1 kHz	ที่ 120 kHz	
จำนวน 16 ตัว	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
จำนวน 4 ตัว	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน	ไม่ผ่าน

การทดสอบตัวต้านทานหน้าคลื่น, ความต้านทานหางคลื่น และตัวต้านทานจำกัดกระแสอัดประจุ

สำหรับการทดสอบตัวต้านทานต่างๆ ทำการทดสอบโดยใช้มิเตอร์ FLUKE รุ่น 179 TRUE RMS MULTIMETER วัดค่าที่ตรวจสอบค่าความต้านทาน ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 2

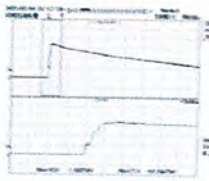
ตารางที่ 2 องค์ประกอบตัวต้านทานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

		จำนวน
ตัวต้านทานหน้าคลื่น Rd	16 Ω	16
ตัวต้านทานหางคลื่น Re	115 Ω	20
ตัวต้านทานอัดประจุตัวที่ 1 R_{L1}	100 kΩ	2
ตัวต้านทานอัดประจุตัวที่ 2 R_{L2}	30 kΩ	28

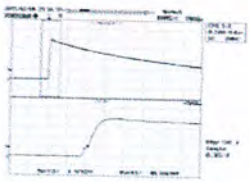
การทดสอบเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

เมื่องจากการทดสอบตัวเก็บประจุอิมพัลส์, ตัวต้านทานหน้าคลื่นและตัวต้านทานหางคลื่นเสียก่อน ทำให้ที่พิกัดของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ลดลง จึงทำการทดสอบเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์จาก 1500 kV เหลือ 1200 kV โดยทดสอบที่ระดับแรงดัน 27 kV ขั้น จำนวนชั้นทำงาน 8 ชั้น ได้แรงดันรวมทำงาน 216 kV เพื่อทำการตรวจสอบรูปคลื่นของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 การทดสอบ ดังนี้

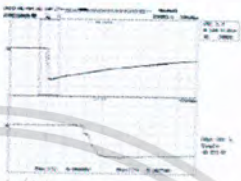
❖ การทดสอบรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์



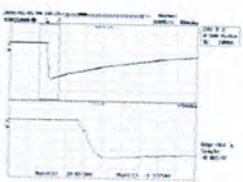
รูป A ขั้วบวก T_1/T_2 = 1.16/55 μs, peak = 168.75 kV



รูป B ขั้วบวก T_1/T_2 = 1.28/52 μs, peak = 197.91 kV



รูป A ขั้วลบ T_1/T_2 = 1.16/55 μs, peak = -168.75 kV

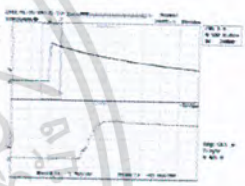


รูป B ขั้วลบ T_1/T_2 = 1.28/52 μs, peak = -195.75 kV

รูปที่ 17 ผลการทดสอบรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์

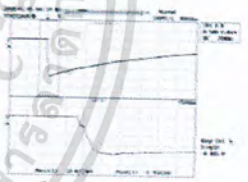
❖ การทดสอบรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์แบบมีโหลดขนาด 40 pF

รูป A ขั้วบวก T_1/T_2 = 1.16/55 μs, peak = 170.83 kV



รูป B ขั้วบวก T_1/T_2 = 1.28/52 μs, peak = 195.83 kV

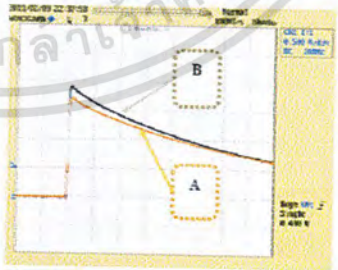
รูป A ขั้วลบ T_1/T_2 = 1.16/55 μs, peak = -168.67 kV



รูป B ขั้วลบ T_1/T_2 = 1.28/52 μs, peak = -195.83 kV

รูปที่ 18 ผลการทดสอบรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์แบบมีโหลดขนาด 40 pF

❖ ประสิทธิภาพของวงจร



รูป A: peak = 175 kV efficiency = 81%
รูป B: peak = 192 kV efficiency = 90%

สรุป

เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์พิกัด 1200kV, 22.5kJ ของสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สามารถอัดประจุได้ถึงระดับแรงดันที่ต้องการ สามารถสร้างแรงดันได้ตามมาตรฐาน IEC 60060-1 ประสิทธิภาพ 90%

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบคุณ รศ.ดร.อานันท์วัฒน์ คุณากร และ ดร.ศิรวุฒิ ยุทธโกวิท ที่ช่วยให้คำแนะนำ และขอขอบคุณ นายสาวรัช อานเอราช นายบัญญัติ ลีลาจิยกุล นายปิยะพล ถือกลาง ที่คอยให้ความช่วยเหลือในทุกด้านจนสำเร็จไปได้ด้วยดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลอุปกรณ์

PM-001

Current Relay

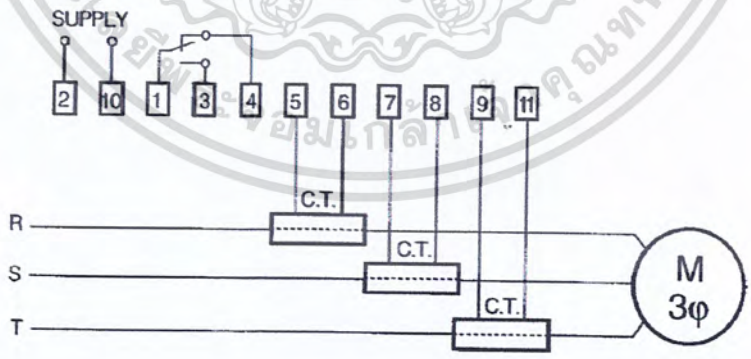
คุณสมบัติทั่วไป

- รีเลย์สำหรับตรวจจับกระแส AC ย่านวัดตรวจจับตั้งแต่ 0.5 ถึง 5 A
- สามารถต่อใช้งานได้กับมอเตอร์ทุกขนาดในกรณีที่กระแสเกิน 5 A ก็ต่อร่วมกับ Current Transformer ได้
- สามารถปรับตำแหน่ง setpoint ของกระแส เมื่อกระแสเกินที่ตั้งไว้รีเลย์จะตัดวงจรออก
- มีปุ่มปรับสำหรับหน่วงเวลาช่วงสตาร์ท (S.D.) และปุ่มปรับสำหรับหน่วงเวลาการทำงาน (O.D.)
- มี LED แสดงรีเลย์เอาต์พุตทำงาน และ LED แสดงเมื่อกระแสเกิน (Trip)

ข้อมูลทางเทคนิค

แรงดันไฟเลี้ยง	: 110, 220, 380 VAC ±10%	รีเลย์คอนแทค	: 10 A / 250 VAC
ความถี่	: 45 – 75 Hz	ปุ่มปรับหมุน	
กินไฟ	: 2.5 VA	ตั้งค่ากระแส	สเกล 0 ถึง 100%
อุณหภูมิการทำงาน	: -20 °C ถึง 60 °C	หน่วงเวลาสตาร์ท (S.D.)	สเกล 5 ถึง 70 sec
การบอกแสดง	: LED สีเขียว (รีเลย์ทำงาน)	หน่วงเวลาทำงาน (O.D.)	สเกล 0.2 ถึง 15 sec
	LED สีแดง (เกิดการ Trip)	ค่าฮีสเตอรีซิส	: 7%

ไดอะแกรมการต่อ

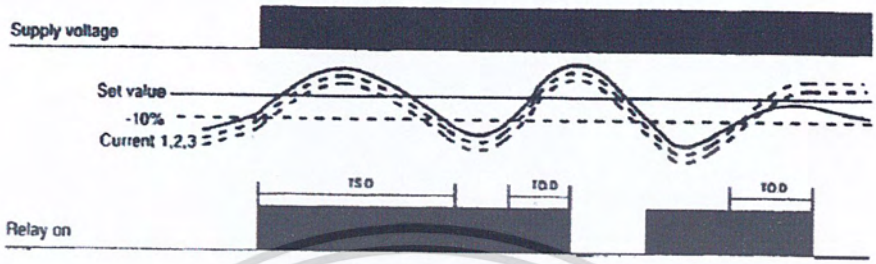


การทำงาน

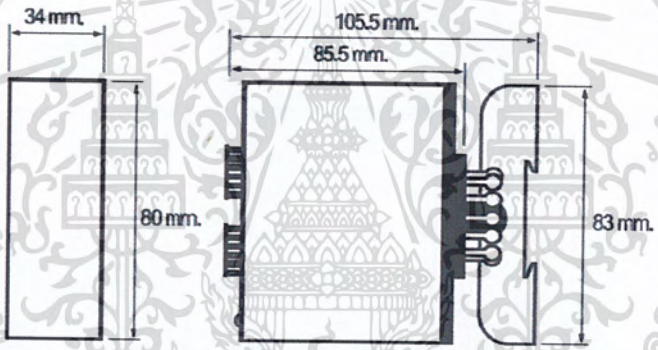
Current Relay จะรับอินพุตจาก C.T. 5 A จำนวน 3 ตัว, 2 ตัว หรือ 1 ตัวก็ได้ แล้วแต่ว่าจะต้องการเช็คกระแสกี่เฟส เมื่อเริ่มทำงานมันจะหน่วงเวลาให้ 5 – 70 วินาที (S.D.) เพื่อป้องกันการตัดวงจรในช่วงสตาร์ท อันเนื่องมาจากกระแสสตาร์ทจะสูงกว่าปกติ เมื่อครบเวลาที่ตั้งแล้วมันจะเริ่มจับกระแสที่เข้ามอเตอร์ ถ้าหากมีความผิดปกติเกี่ยวกับมอเตอร์ ในลักษณะใดก็ตาม จะทำให้กระแสสูงเกินกว่าปกติและจะตัดวงจรภายในเวลา 0.2 – 15 วินาที (O.D.) ซึ่งสามารถปรับให้ช้าหรือเร็วได้ตามต้องการเช่นกัน โดยจะมีประโยชน์ในกรณีที่กระแสเกินในช่วงสั้นๆ และไม่ต้องการให้ตัดวงจร ก็สามารถยืดเวลาออกไปโดยไม่ต้องหยุดมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

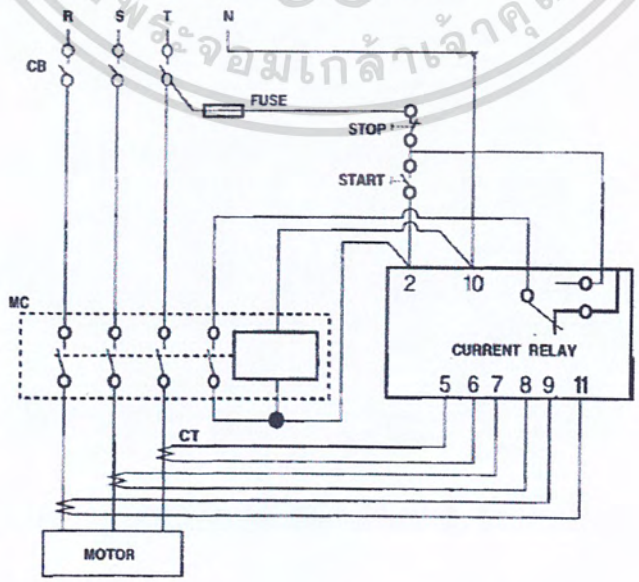
กราฟของการทำงาน



ขนาดของรีเลย์



วงจรการต่อ

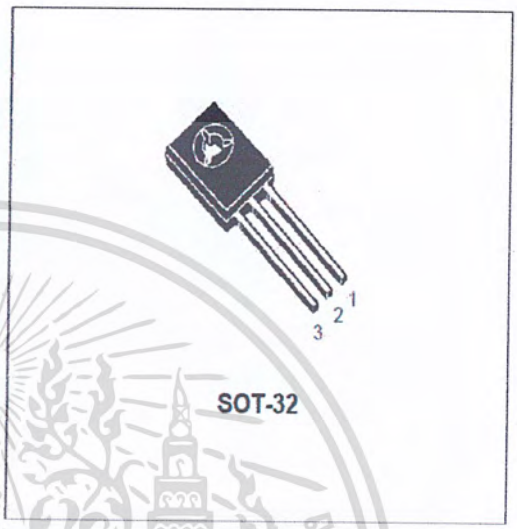


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BD135
BD139

NPN SILICON TRANSISTORS

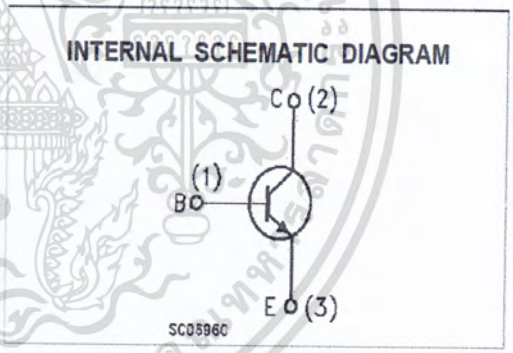
- STMicroelectronics PREFERRED SALESTYPES



DESCRIPTION

The BD135 and BD139 are silicon epitaxial planar NPN transistors in Jedec SOT-32 plastic package, designed for audio amplifiers and drivers utilizing complementary or quasi compementary circuits.

The complementary PNP types are BD136 and BD140 respectively.



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value		Unit
		BD135	BD139	
V_{CBO}	Collector-Base Voltage (I_E = 0)	45	80	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage (I_B = 0)	45	80	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage (I_C = 0)	5		V
I_C	Collector Current	1.5		A
I_{CM}	Collector Peak Current	3		A
I_B	Base Current	0.5		A
P_{tot}	Total Dissipation at $T_c \leq 25\ ^oC$	12.5		W
P_{tot}	Total Dissipation at $T_{amb} \leq 25\ ^oC$	1.25		W
T_{stg}	Storage Temperature	-65 to 150		^oC
T_j	Max. Operating Junction Temperature	150		^oC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL DATA

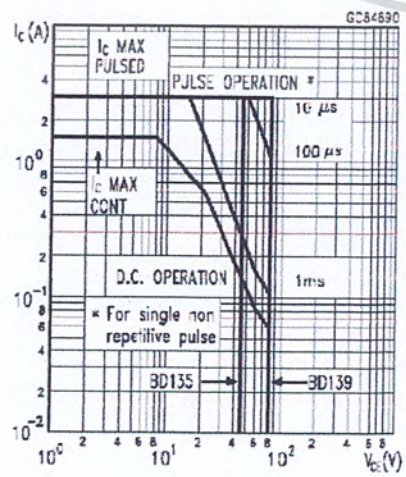
$R_{thj\text{-}case}$	Thermal Resistance Junction-case	Max	10	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_{case} = 25 °C unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
I_{CBO}	Collector Cut-off Current (I_E = 0)	V_{CB} = 30 V V_{CB} = 30 V T_C = 125 °C			0.1 10	µA µA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current (I_C = 0)	V_{EB} = 5 V			10	µA
$V_{CEO(sus)}$*	Collector-Emitter Sustaining Voltage	I_C = 30 mA for **BD135** for **BD139**	 45 80			 V V
$V_{CE(sat)}$*	Collector-Emitter Saturation Voltage	I_C = 0.5 A I_B = 0.05 A			0.5	V
V_{BE}*	Base-Emitter Voltage	I_C = 0.5 A V_{CE} = 2 V			1	V
h_{FE}*	DC Current Gain	I_C = 5 mA V_{CE} = 2 V I_C = 0.5 A V_{CE} = 2 V I_C = 150 mA V_{CE} = 2 V	25 25 40		 250	
h_{FE}	h_{FE} Groups	I_C = 150 mA V_{CE} = 2 V for BD139 group 10	 63		 160	

* Pulsed: Pulse duration = 300 µs, duty cycle 1.5 %

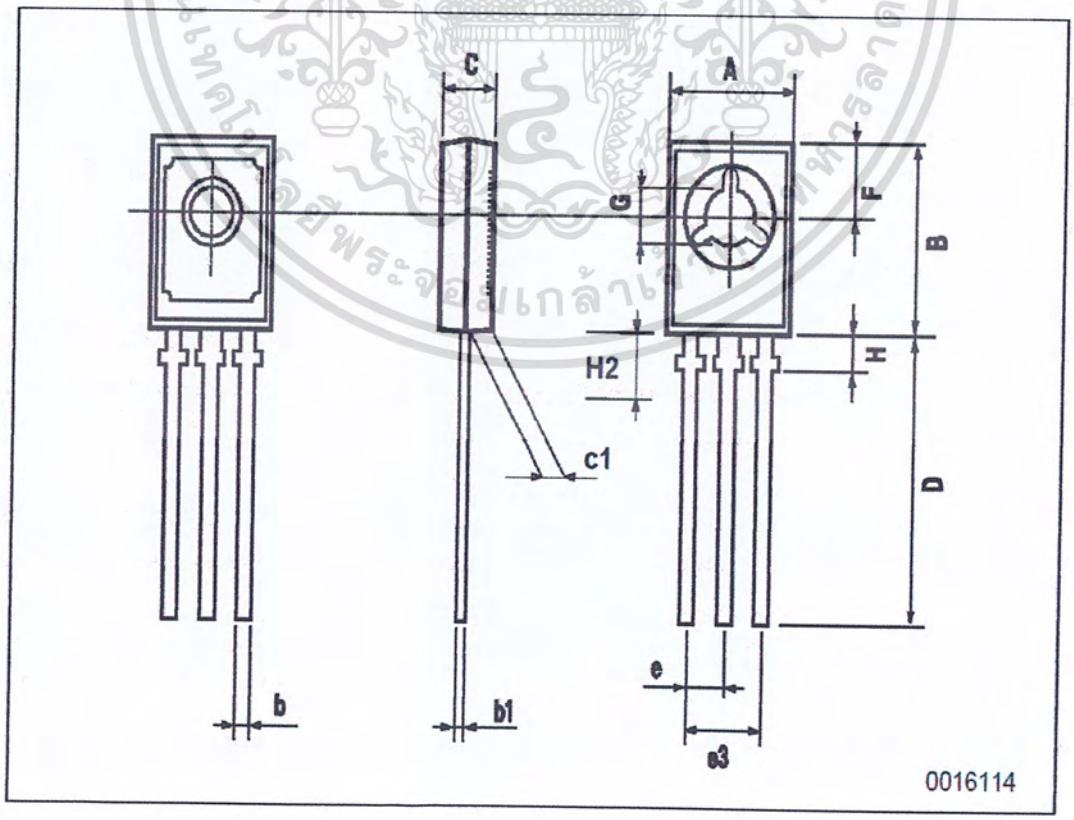
Safe Operating Area



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SOT-32 (TO-126) MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A	7.4		7.8	0.291		0.307
B	10.5		10.8	0.413		0.445
b	0.7		0.9	0.028		0.035
b1	0.49		0.75	0.019		0.030
C	2.4		2.7	0.040		0.106
c1	1.0		1.3	0.039		0.050
D	15.4		16.0	0.606		0.629
e		2.2			0.087	
e3	4.15		4.65	0.163		0.183
F		3.8			0.150	
G	3		3.2	0.118		0.126
H			2.54			0.100



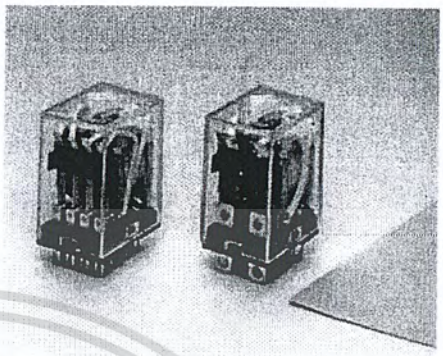
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

OMRON

General-purpose Relay — MY

An Improved Miniature Power Relay with Many Models for Sequence Control and Power Applications

- A wide range of relay variations including ones with operation indicators, high-capacity capability, built-in diodes, etc.
- Arc barrier standard on 3- and 4-pole relays.
- Withstand voltage: 2,000 VAC.



Ordering Information

Type	Contact form	Plug-in socket/solder terminals		PCB terminals	Upper-mounting/ solder terminals
			With indicator		
Standard	SPDT	*MY1	—	*MY1-02	MY1F
	DPDT	MY2	MY2N	MY2-02	MY2F
	DPDT (bifurcated)	MY2Z	MY2ZN	MY2Z-02	MY2ZF
	3PDT	MY3	MY3N	MY3-02	MY3F
	4PDT	MY4	MY4N	MY4-02	MY4F
	4PDT (bifurcated)	MY4Z	MY4ZN	MY4Z-02	MY4ZF
With built-in diode (DC only)	DPDT	MY2-D	MY2N-D2	—**	—
	DPDT (bifurcated)	MY2Z-D	MY2ZN-D2	—	—
	3PDT	MY3-D	MY3N-D2	—	—
	4PDT	MY4-D	MY4N-D2	—	—
	4PDT (bifurcated)	MY4Z-D	MY4ZN-D2	—	—
With built-in CR (AC only)	DPDT	MY2-CR	MY2N-CR	—	Not available.
	DPDT (bifurcated)	MY2Z-CR	—	—	
	3PDT	MY3-CR	—	—	
	4PDT	MY4-CR	MY4N-CR	—	
	4PDT (bifurcated)	MY4Z-CR	—	—	
With test button	DPDT	MY2I4	MY2I4N	—	—
	4PDT	MY4I4	MY4I4N	—	—

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Socket Hold-down Clip Pairing

Relay type	Poles	Front-connecting sockets (rail-/screw-mounted)		Back-connecting sockets			
				Solder/wire-wrap terminals		PCB terminals	
		Socket	Clip	Socket	Clip	Socket	Clip
Standard, bifurcated contacts, operation indicator, built-in diode, high-capacity, high-sensitivity, or high-humidity	1, 2	PYF08A-N, PYF08A-E, PYF08A	PYC-A1	PY08(QN)	PYC-P	PY08(QN)	PYC-P
	3	PYF11A		PY11(QN)		PY11(QN)	
	4	PYF14A-N, PYF14A-E, PYF14A		PY14(QN)		PY14(QN)	
MY2N-D4	4	PYF14A-N, PYF14A-E, PYF14A	Y92H-3	PY14(QN)	PYC-1	PY08(QN)	PYC-1
Test button	1, 2	PYF08A-N, PYF08A-E, PYF08A	PYC-A1	PY08(QN)	PYC-P2	PY08(QN)	PYC-P2
	3	PYF11A		PY11(QN)		PY11(QN)	
	4	PYF14A-N, PYF14A-E, PYF14A		PY14(QN)		PY14(QN)	
CR circuit	1, 2	PYF08A-N, PYF08A-E, PYF08A	Y92H-3	PY08(QN)	PYC-1	PY08(QN)	PYC-1
	3	PYF11A		PY11(QN)		PY11(QN)	
	4	PYF14A-N, PYF14A-E, PYF14A		PY14(QN)		PY14(QN)	

Specifications

■ Coil Ratings

Rated voltage		Rated current		Coil resistance	Inductance (reference value)		Must operate	Must release	Max. voltage	Power consum. (Approx.)
		50 Hz	60 Hz		Arm. OFF	Arm. ON	% of rated voltage			
AC	6 V	214.1 mA	183 mA	12.2 Ω	0.04 H	0.08 H	80% max.	30% min.	110%	1.0 to 1.2 VA (60 Hz)
	12 V	106.5 mA	91 mA	46 Ω	0.17 H	0.33 H				
	24 V	53.8 mA	46 mA	180 Ω	0.69 H	1.30 H				
	50 V	25.7 mA	22 mA	788 Ω	3.22 H	5.66 H				
	100/110 V	11.7/12.9 mA	10/11 mA	3,750 Ω	14.54 H	24.6 H				0.9 to 1.1 VA (60 Hz)
	110/120 V	9.9/10.8 mA	8.4/9.2 mA	4,430 Ω	19.20 H	32.1 H				
	200/220 V	6.2/6.8 mA	5.3/5.8 mA	12,950 Ω	54.75 H	94.07 H				
	220/240 V	4.8/5.3 mA	4.2/4.6 mA	18,790 Ω	83.50 H	136.40 H				
DC	6 V	150 mA		40 Ω	0.17 H	0.33 H		10% min.		0.9 W
	12 V	75 mA		160 Ω	0.73 H	1.37 H				
	24 V	36.9 mA		650 Ω	3.20 H	5.72 H				
	48 V	18.5 mA		2,600 Ω	10.60 H	21.00 H				
	100/110 V	9.1/10 mA		11,000 Ω	45.60 H	86.20 H				

Note: See notes under next table on next page.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

High-sensitivity Relays

Power supply ratings					Input ratings			
Voltage	Current	Coil resistance	Max. voltage*	Power consum.	Input voltage	Must operate	Must release	Power consum.
					% of rated voltage			
24 VDC	36.9 mA	650 W	110%	Approx. 900 mW	2 to 12 V	2 V max.	1 V min.	0.5 to 52 mW

Note:
1. The rated current and coil resistance are measured at a coil temperature of 23°C with tolerances of +15%/–20% for rated currents and ±15% for DC coil resistance.
2. Performance characteristic data are measured at a coil temperatures of 23°C.
3. The must operate and must release voltages for High-sensitivity Relays was measured at the rated power supply voltage.
4. AC coil resistance and impedance are provided as reference values (at 60 Hz).
5. Power consumption drop was measured for the above data. When driving transistors, check leakage current and connect a bleeder resistor if required.

■ Contact Ratings

Item	Single-, double- or three-pole		Four-pole and High-sensitivity		High-capacity	
	Resistive load (cosf = 1)	Inductive load (cosf=0.4, L/R=7 ms)	Resistive load (cosf = 1)	Inductive load (cosf=0.4, L/R=7 ms)	Resistive load (cosf = 1)	Inductive load (cosf=0.4, L/R=7 ms)
Rated load	5 A, 220 VAC 5 A, 24 VDC	2 A, 220 VAC 2 A, 24 VDC	3 A, 220 VAC 3 A, 24 VDC	0.8 A, 220 VAC) 1.5 A, 24 VDC	7 A, 220 VAC 7 A, 24 VDC	3.5 A, 220 VAC 3.5 A, 24 VDC
Carry current	5 A		3 A		7 A	
Max. switching voltage	250 VAC 125 VDC		250 VAC 125 VDC		250 VAC 125 VDC	
Max. switching current	5 A	5 A	3 A	3 A	7 A	7 A
Max. switching capacity	1,100 VA 120 W	440 VA 48 W	660 VA 72 W	176 VA 36 W	1,540 VA 168 W	770 VA 84 W
Min. permissible load*	Standard type: 100 mA, 5 VDC Bifurcated type: 100 µA, 1 VDC		Standard and high sensitivity types: 1 mA, 1 VDC Bifurcated type: 100 µA, 1 VDC		—	

***Note:** P level: $\lambda_{60} = 0.1 \times 10^{-6}$/operation, reference value

■ Characteristics

Item	All relays but High-sensitivity Relays	High-sensitivity Relays
Contact resistance	50 mΩ max.	
Operate time	20 ms max.	
Release time	20 ms max.	
Max. operating frequency	Mechanical: 18,000 operations/hr Electrical: 1,800 operations/hr (under rated load)	
Insulation resistance	1,000 MΩ min. (at 500 VDC)	
Dielectric withstand voltage	2,000 VAC, 50/60 Hz for 1 min (1,000 VAC between contacts of same polarity)	1,500 VAC, 50/60 Hz for 1 min (1,000 VAC between contacts of same polarity)
Vibration resistance	Destruction: 10 to 55 Hz, 1.0-mm double amplitude Malfunction: 10 to 55 Hz, 1.0-mm double amplitude	
Shock resistance	Destruction: 1,000 m/s^2 (approx. 100G) Malfunction: 200 m/s^2 (approx. 20G)	
Life expectancy	See following table.	
Ambient operating temperature*	Single- and double-pole standard, bifurcated-contact, test-button, and high-humidity relays: –55°C to 70°C (with no icing) All other relays: –55°C to 60°C (with no icing)	
Ambient operating humidity	35% to 85%	
Weight	Approx. 85 g	

Note: The values given above are initial values.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Life Expectancy Characteristics

Relays	Mechanical life (at 18,000 operations/hr)	Electrical life (at 1,800 operations/hr under rated load)
Normal, High-humidity, With test button (except relays with operation indicator), With CR	AC 50,000,000 operations min. DC: 100,000,000 operations min.	1-,2-,3-pole: 500,000 operations min. 4-pole: 200,000 operations min.
High-capacity	AC 50,000,000 operations min. DC: 100,000,000 operations min.	500,000 operations min.
With operation indicator or built-in diode	AC 50,000,000 operations min. DC: 100,000,000 operations min.	1-,2-,3-pole: 500,000 operations min. 4-pole: 200,000 operations min.
With bifurcated contacts	2-pole: 50,000,000 operations min. 4-pole: 20,000,000 operations min.	2-pole: 200,000 operations min. 4-pole: 100,000 operations min.
High-sensitivity	100,000,000 operations min.	200,000 operations min.

Note: See following tables for real load life expectancies.

■ Life Expectancies Under Real Loads

MY2

Rated voltage	Load type	Conditions	Operating frequency	Electrical life
100 VAC	AC motor	50 W, 100 VAC single-phase with 2.8-A inrush current, 0.4-A carry current	ON for 2 s, OFF for 30 s	100,000 operations
		50 W, 100 VAC single-phase with 1.6-A inrush current, 1-A carry current	ON for 1 s, OFF for 30 s	300,000 operations
	AC solenoid	24 W with 1-A carry current	ON for 1.5 s, OFF for 1.5 s	4,000,000 operations

MY2E

Rated voltage	Load type	Conditions	Operating frequency	Electrical life
24 VDC	AC lamp	300 W with 50-A inrush current, 3-A carry current	ON for 5 s, OFF for 55 s	55,000 operations

MY4

Rated voltage	Load type	Conditions	Operating frequency	Electrical life
100 VAC	AC solenoid	50 VA with 2-A inrush current, 0.7A carry current	ON for 1 s, OFF for 3 s	25,000 operations
	DC magnetic switch	25 W with L/R = 40 ms , 0.2-A carry current		
	AC magnetic switch	35 VA with 1.5-A inrush current, 0.35-A carry current		500,000 operations
24 VDC	DC solenoid	40 W with L/R = 10 ms, 1.6-A carry current	ON for 0.5 s, OFF for 1.5 s	5,000,000 operations
		30 W with L/R = 10 ms with 0.34-A carry current	ON for 0.5 s, OFF for 1.5 s	6,000,000 operations

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

■ Approved by Standards

Some MY Relays are available in models meeting various safety standards. When ordering, you must specify the desired standards. Refer to *Ordering Information* for specific models. Note that the rating recognized by the various standards sometimes vary from the ratings of the individual relays.

UL 508 Recognitions (File No. 41515)

No. of poles	Coil ratings	Contact ratings
2	6 to 240 VAC 6 to 120 VDC	5 A, 120 VAC resistive load 5 A, 28 VDC resistive load 5 A, 240 VAC inductive load
3		5 A, 28 VDC resistive load 5 A, 240 VAC inductive load
4	6 to 240 VAC 6 to 120 VDC	3 A 28 VDC resistive load 3 A 120 VAC inductive load 1.5 A, 240 VAC inductive load 5 A, 240 VAC inductive load (between contacts of same polarity) 5 A, 28 VDC resistive load (between contacts of same polarity) 0.2 A, 120 VDC

CSA 22.2 No. 0 and No.14 (File No. LR31928)

Model	No. of poles	Coil ratings	Contact ratings
MY□	2, 3	6 to 240 VAC 6 to 120 VDC	5 A, 28 VDC resistive load 5 A, 240 VAC inductive load
	4		3 A, 28VDC resistive load 3 A, 240 VAC inductive load 5 A, 240 VAC inductive load (between contacts of same polarity) 5 A, 28 VDC resistive load (between contacts of same polarity) 0.2 A, 120 VDC

SEV

Model	No. of poles	Coil ratings	Contact ratings
MY□	2, 3	6 to 100 VDC 6 to 220 VAC	5 A, 200 VAC 5 A, 24 VDC

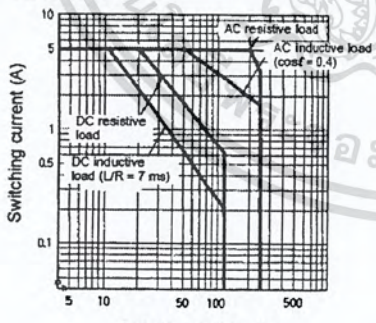
LR (No. 563KOB-204524)

Model	No. of poles	Coil ratings	Contact ratings
MY□-LR	2	6 to 240 VAC 6 to 120 VDC	2 A, 30 VDC inductive load 2 A, 200 VAC inductive load
	4		1.5 A, 30 VDC inductive load 0.8 A, 200 VAC inductive load 1.5 A, 115 VAC inductive load

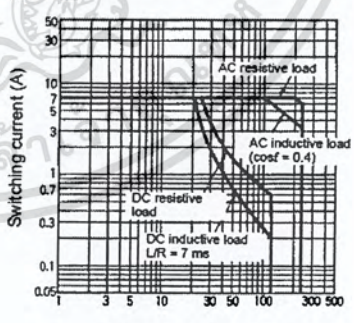
Engineering Data

■ Maximum Switching Capacity

MY1, MY2, MY3

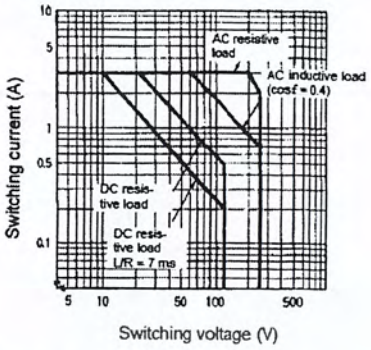


MY2-Y



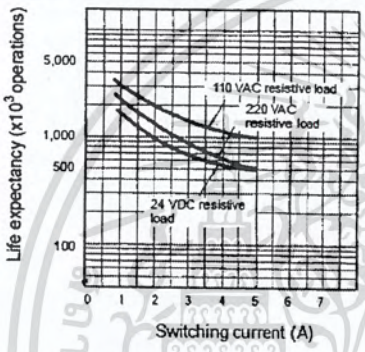
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MY4, MY4Z

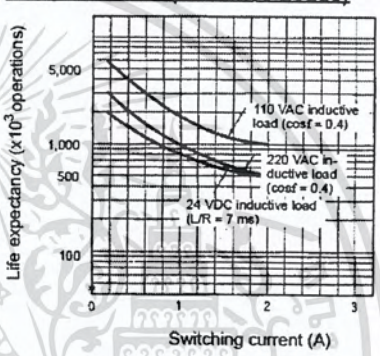


■ Life Expectancy

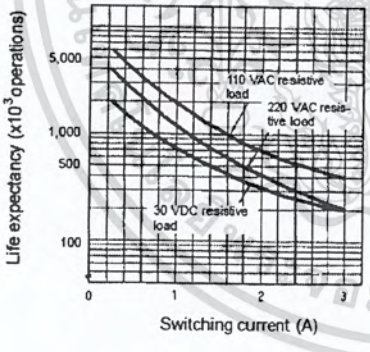
MY1, MY2, MY3 (Resistive Loads)



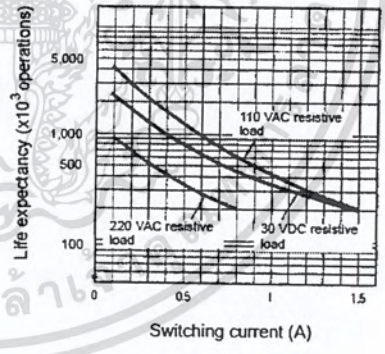
MY1, MY2, MY3 (Inductive Loads)



MY4 (Resistive Loads)

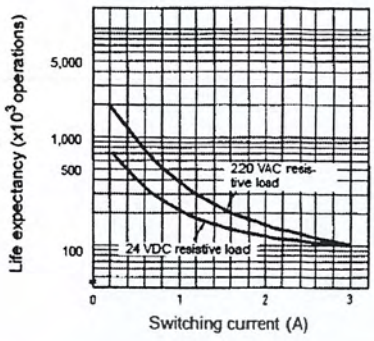


MY4 (Inductive Loads)

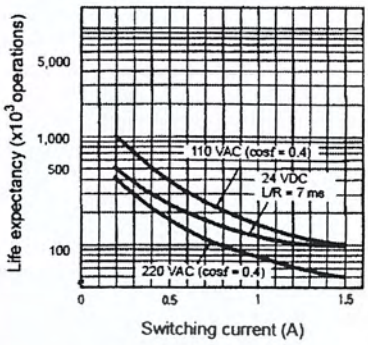


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

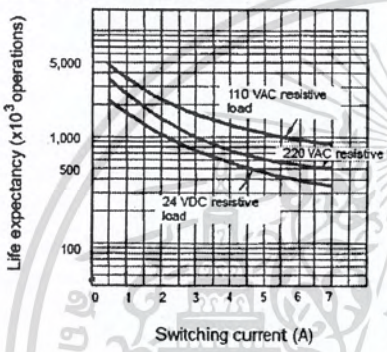
MY4Z (Resistive Loads)



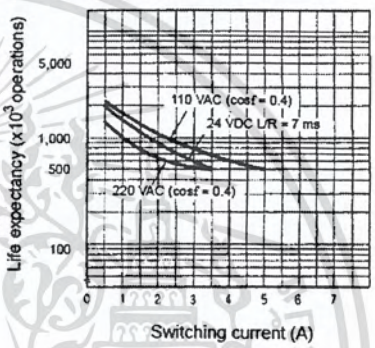
MY4Z (Inductive Loads)



MY2-Y (Resistive Loads)



MY2-Y (Inductive Loads)



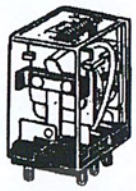
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

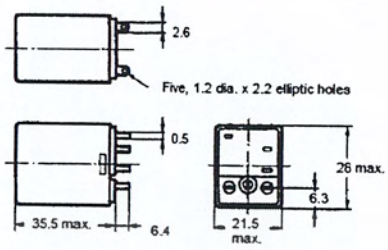
Dimensions

Note: All units are in millimeters unless otherwise indicated.

■ Relays with Solder Terminals

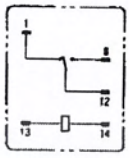
MY1



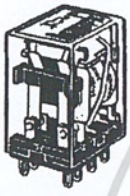


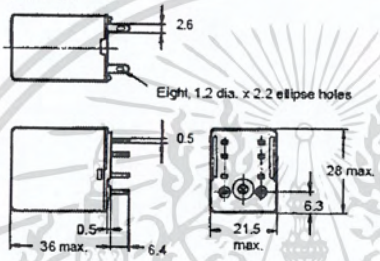
Terminal arrangement/internal connectio (bottom view)

MY1



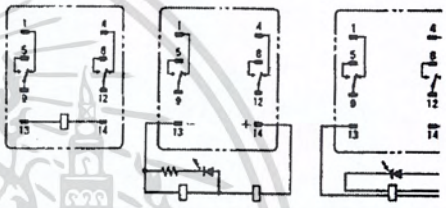
MY2, MY2-TU, MY2N, MY2N-D2





MY2N

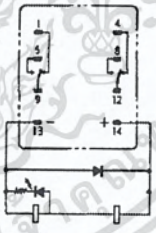
Standard **DC type** **AC type**



Note: 1. AC type is equipped with a coil disconnec self-diagnostic function.

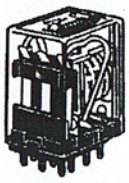
2. Pay due attention as DC type has polarity.

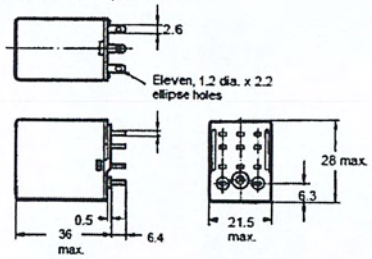
MY2N-D2



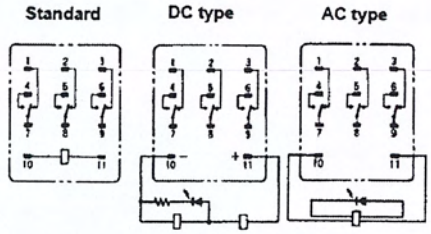
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MY3, MY3-TU, MY3N, MY3N-D2, MYC3



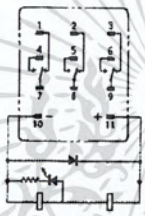


MY3N

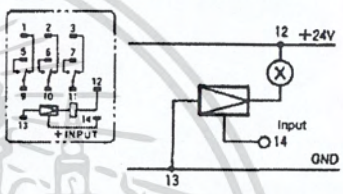


Note: 1. AC type is equipped with a coil disconnection self-diagnostic function.
2. Do not reverse the polarity of DC relays.

MY4N-D2



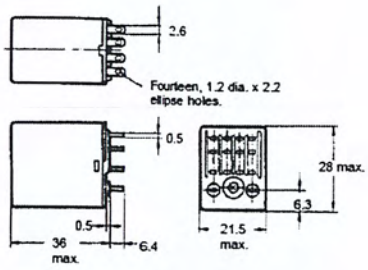
MYC3



Note: The MYC3 High-sensitivity Relay incorporates a semi-conductor. A surge-absorb element should be attached to it if the relay is used with a load that can generate noise, or a surge current cannot be avoided in the circuit.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

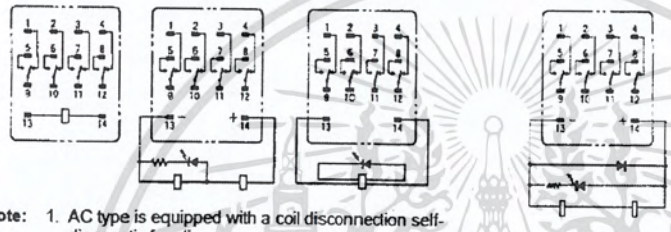
MY4, MY4-TU



Terminal arrangement/internal connections (bottom view)

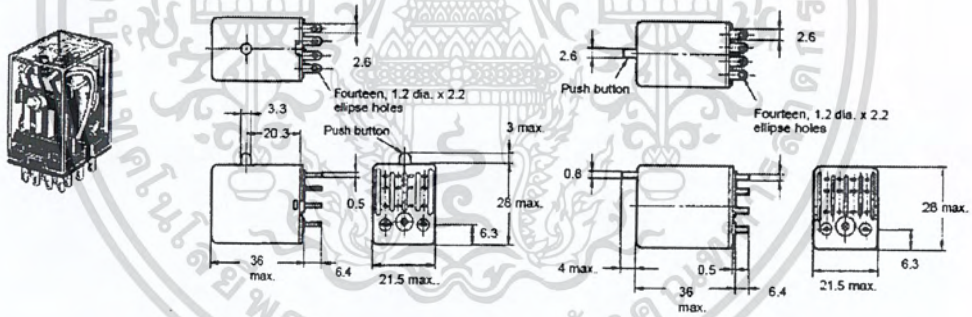
MY4N **MY4N-D2**

Standard **DC type** **AC type**



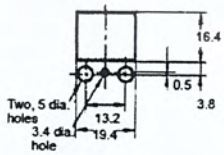
Note: 1. AC type is equipped with a coil disconnection self-diagnostic function.
2. Do not reverse the polarity of DC relays.

MY□I4 **MY□I**



Note: 1. Mount the relay with a socket.
2. The above dimensions are for -G type relays (with mounting studs).
3. Test button
I4: AC with red push button
DC with blue push button

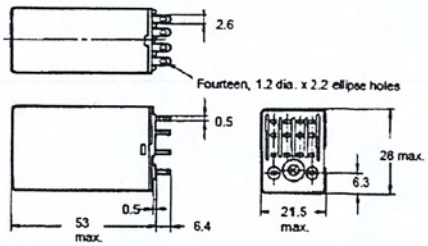
Mounting holes



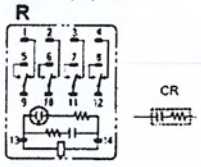
Note: The terminal arrangement and internal connections of the above relays are as same as these of MY□ relays.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

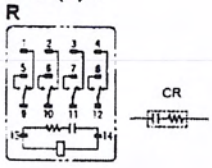
MY□(N)-CR, MY□(Z)-CR, MY4N-D4



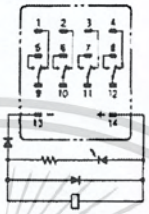
MY□(N)-CR



MY□(Z)-CR



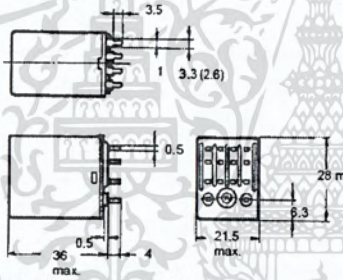
MY4N-D4



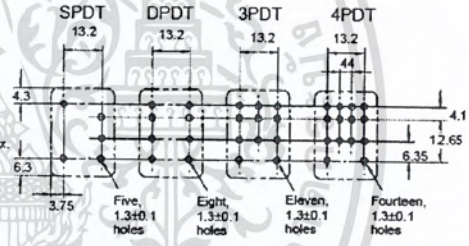
■ Relays with PCB Terminals

MY□-02

MY4-02 (4PDT)



PC board mounting holes



Note: 1. The figures in the parentheses are for MY4-02.
2. The above dimensions also apply to the SPDT, DPDT, and 3PDT relays.
4. The internal connections of the above relays are as same as these of MY□ relays.

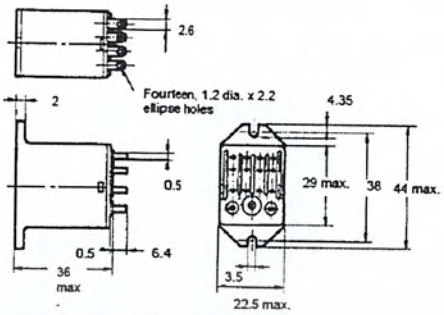
Note: The tolerance is ±0.1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

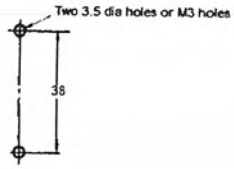
■ Upper-mounting Relays

MY□F

MY4F



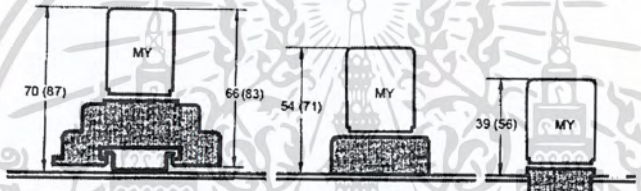
Mounting holes



Note: 1. The above dimensions also apply to the SPDT, DPDT, and 3PDT relays.
2. The internal connections of the above relays are as same as these of MY□ relays.

■ Mounting Height with Socket

DIN rail/surface–mounting socket **Back-mounting socket**

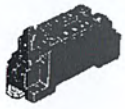


PYF□A(-E) **PYF08M** **PY□**

Note: 1. The PTF-A can be rail–mounted or screw-mounted.
2. For the MY□-CR (CR circuit built-in type) model, figure in the parentheses apply.
3. PYC-P hold down clip should be used with PYF08M.

■ Sockets

PYF08A-E



PYF08A-N

PYF14A-N

PY14

PY14-Y1

PY14QN(2)

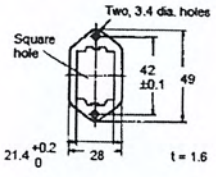
PY14QN(2)-Y1

PY14-02

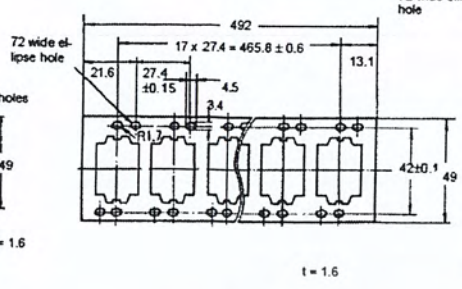
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mounting Plates for Sockets

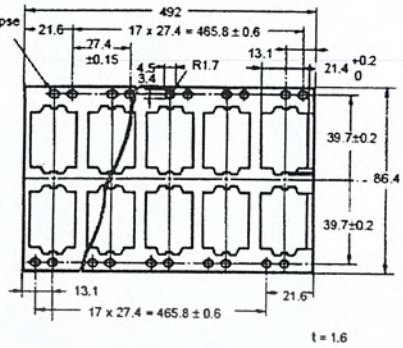
PYP-1



PYP-18

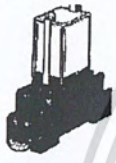


PYP-36

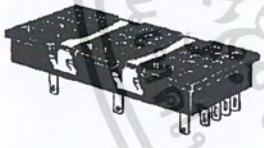


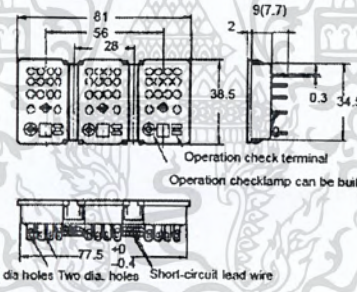
Hold-down Clips

Hold-down clips are used to hold relays to sockets and prevent them from coming loose due to vibration or shock.

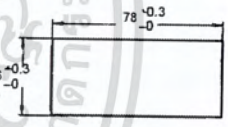
Connection to socket		Connection to mounting plate	For relays with test buttons	For relays with CR circuits	
PYC-A1	PYC-P	PYC-S	PYC-P2	Y92H-3	PYC-1
					

PY14-3 (for 4PDT) with operation check terminal





Mounting holes



■ Safety Standards for Sockets

Item	Standards	File No.
PYF08A (-E), PYF11A	UL508	E87929
PYF14A (-E)	CSA22.2	LR31928

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

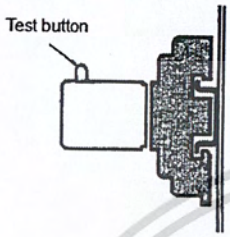
Precautions

■ Connections

Do not reverse polarity when connecting DC-operated relays with built-in diodes or indicators or high-sensitivity DC-operated relays.

■ Mounting

- Whenever possible, mount relays so that it is not subject to vibration or shock in the same direction as that of contact movement.
- The test button should be be pointed upwards when mounting (refer to the right figure).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นายชเยศ กองจันทร์ดี เกิดเมื่อวันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนขอนแก่นวิทยายน และสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: Chayes_top@hotmail.com

นายบรรหาร มูลศิลป เกิดเมื่อวันที่ 9 กันยายน พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนชลประทานวิทยา และสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: banhan_kmitl01@hotmail.com

นายบุญฤทธิ์ ยุวพรพาณิชย์ เกิดเมื่อวันที่ 14 เมษายน พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนไตรมิตรวิทยาลัย และสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: folk-country@hotmail.com

นายปองพล ไพสิฐตระกูล เกิดเมื่อวันที่ 27 เมษายน พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดศรีสะเกษ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ ศรีสะเกษ และสำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังคุณทหารลาดกระบัง

E-mail: pongpon1988@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้