

โครงการวิจัยโดยใช้เงินรายได้คณะประจำปี 2551

เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6 kV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ 220 V
Impulse Voltage Generator 6 kV impose on AC Voltage 220 V

เสนอ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



โดย

นายนครเศรษฐ	พัฒนเดช	หัวหน้าโครงการ
นายพีรฤดี	ยุทธโกวิท	นักวิจัย
นายภูชิต	ถึงสุข	ผู้ช่วยนักวิจัย
นายกิตติชัย	แก้วดำ	ผู้ช่วยนักวิจัย
นายปริญญา	สุวรรณมาโจ	ผู้ช่วยนักวิจัย
นายเพชร	แดงรักษ์	ผู้ช่วยนักวิจัย
นายสรรัชย์	อานอานา	ผู้ช่วยนักวิจัย
นายนิจธนกร	สุระพร	ผู้ช่วยนักวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สารบัญ

	หน้า
สารบัญรูป	III
สารบัญตาราง	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีการสร้างแรงดันอิมพัลส์	4
2.1.1 วงจรพื้นฐานของการสร้างแรงดันอิมพัลส์	6
2.1.2 วงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์หลายชั้น	8
2.1.3 องค์ประกอบของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์	9
2.1.4 การคำนวณวงจรแรงดันอิมพัลส์	13
2.1.5 การวัดแรงดันอิมพัลส์	18
2.2 ทฤษฎีวงจรกรองความถี่	21
2.2.1 การกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)	21
2.2.2 การกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter)	24
บทที่ 3 การออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ที่ขั้วอินพุตแรงดันกระแสสลับ	27
3.1 ชุดกำเนิดแรงดันอิมพัลส์	29
3.1.1 ชุดกำเนิดแรงดันสูง	30
3.1.2 ชุดสร้างแรงดันอิมพัลส์	30
3.1.3 ชุดโวลต์เตจดีไวเดอร์	31
3.2 วงจรกำเนิดแรงดันสูงกระแสสลับ	31
3.3 ชุดกรองผ่านความถี่ต่ำและชุดกรองผ่านความถี่สูง	32
3.4 การออกแบบสร้างชุดทริกกาตรอน	34
3.4.1 การออกแบบวงจรกำเนิดแรงดันสูง	35

RCH

TK

๓๒๑

I

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 120289

วัน, เดือน, ปี..... 13 ก.พ. 2555

หน้า ๒๕ หน้า

b. 100745673
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่หอสมุดกลาง สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสำนักหอสมุดกลาง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

3.4.2	ออกแบบวงจรชุดสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์	37
3.4.3	การออกแบบวงจรทีวีแรงดัน	39
3.4.4	การออกแบบสร้างชุดตรวจจับผ่านศูนย์	41
3.4.5	การออกแบบสร้างชุดควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์	42
บทที่ 4 การทดสอบและวิเคราะห์ผล		
4.1	การทดสอบชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของ เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ	46
4.2	การทดสอบชุดกรองความถี่ต่ำผ่าน	48
4.3	การทดสอบชุดกรองความถี่สูงผ่าน	49
4.4	การทดสอบเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ	50
4.4.1	ใช้ชุดกรองความถี่สูง R-C เป็นชุดกรองความถี่สูงผ่าน	50
4.4.2	ใช้แกปทรึงกลมเป็นชุดกรองความถี่สูงผ่าน	51
4.4.3	เปรียบเทียบผลระหว่างการใช้ชุดกรองทั้งสองชนิด	52
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง		
5.1	สรุป	56
5.2	กิตติกรรมประกาศ	56
เอกสารอ้างอิง		
ภาคผนวก		

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2-1	รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ฟ้า	5
2-2	รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์สวิตชิง	6
2-3	วงจรพื้นฐานของเครื่องกำเนิดสร้างแรงดันอิมพัลส์	6
2-4	เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์แบบหลายชั้น	9
2-5	อิเล็กทรอนิกส์สปาร์กแกป	12
2-6	สปาร์กแกปมีไกสวิตช์	12
2-7	ช่วงการกระตุ้นสปาร์กได้ของไกสวิตช์ในเทอมของระยะแกป	13
2-8	ลาพลาซทรานฟอร์มของวงจรอิมพัลส์พื้นฐาน	13
2-9	รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ประกอบด้วยเอ็กซ์โปเนนเชียลสองเทอม	16
2-10	เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของวงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์	17
2-11	เส้นกราฟใช้หาแรงดันคิสซาร์จเบรกควาน์ 50%	20
2-12	วงจรกรอง	21
2-13	ช่วงกรองความถี่ต่ำผ่าน	21
2-14	วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	22
2-15	ช่วงกรองความถี่สูงผ่าน	24
2-16	วงจรกรองความถี่สูงผ่าน	24
3-1	บล็อกไดอะแกรมของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ	26
3-2	วงจรที่ใช้ในการจำลองแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ	28
3-3	ผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม	29
3-4	ชุดกำเนิดแรงดันอิมพัลส์	29
3-5	การจำลองวงจรทวีแรงดันด้วยโปรแกรม Orcad	30
3-6	ผลการจำลองวงจรทวีแรงดันด้วยโปรแกรม Orcad	30
3-7	การจำลองวงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ด้วยโปรแกรม Orcad	31
3-8	ผลการจำลองวงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ด้วยโปรแกรม Orcad	31
3-9	ชุดกำเนิดแรงดันสูงกระแสสลับ	32
3-10	ชุดกรองผ่านความถี่ต่ำและชุดกรองผ่านความถี่สูง	33
3-11	การจำลองวงจรกรองความถี่สูงผ่านด้วยโปรแกรม Orcad	33
3-12	ผลการจำลองการทำงานของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน	33
3-13	การจำลองวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านด้วยโปรแกรม Orcad	34
3-14	ผลการจำลองการทำงานของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	34
3-15	วงจรกำเนิดแรงดันสูง	36

III

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

3-16	วงจรภายใน IC เบอร์ TLP250	38
3-17	ชุดสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมการกำเนิดแรงดันสูง	38
3-18	วงจรทวีแรงดัน	39
3-19	วงจรที่ใช้ในการจำลองสร้างสัญญาณเริ่มต้นการทำงาน	40
3-20	ผลของการจำลองรูปคลื่นสัญญาณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์	40
3-21	วงจรถ่ายทอดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์	41
3-22	แสดงชุดตรวจจับผ่านศูนย์	42
3-23	แสดงรูปคลื่นที่ชุดตรวจจับผ่านศูนย์สร้างออกมา	42
3-24	แสดงไฟล์ชาร์ตของชุดควบคุม	43
3-25	ชุดควบคุมมุมทริก	45
4-1	วงจรถ่ายทอดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์	47
4-2	รูปคลื่นเต็มที่ได้จากชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้น	47
4-3	วงจรการทดสอบชุดกรองความถี่ต่ำผ่าน	48
4-4	ผลของการทดสอบชุดกรองความถี่ต่ำผ่าน	48
4-5	วงจรการทดสอบชุดกรองความถี่สูงผ่าน	49
4-6	ผลของการทดสอบชุดกรองความถี่ต่ำผ่าน	49
4-7	วงจรถ่ายทอดแรงดันอิมพัลส์ที่บัพช้อนบนแรงดันกระแสสลับ	50
4-8	รูปคลื่นเต็มที่ได้ที่บัพช้อนแรงดันอิมพัลส์ที่บัพช้อนบนแรงดันกระแสสลับที่มุม 90 องศา	51
4-9	วงจรถ่ายทอดแรงดันอิมพัลส์ที่บัพช้อนบนแรงดันกระแสสลับ(ใช้แคปป้องกัน)	51
4-10	รูปคลื่นเต็มที่ได้ที่บัพช้อนแรงดันอิมพัลส์ที่บัพช้อนบนแรงดันกระแสสลับที่มุม 90 องศา	52
4-11	รูปคลื่นเต็มที่ได้ที่บัพช้อนที่มุม 0 องศา ขั้วบวก	53
4-12	รูปคลื่นเต็มที่ได้ที่บัพช้อนที่มุม 90 องศา ขั้วบวก	53
4-13	รูปคลื่นเต็มที่ได้ที่บัพช้อนที่มุม 180 องศา ขั้วบวก	53
4-14	รูปคลื่นเต็มที่ได้ที่บัพช้อนที่มุม 270 องศา ขั้วบวก	54
4-15	รูปคลื่นเต็มที่ได้ที่บัพช้อนที่มุม 0 องศา ขั้วลบ	54
4-16	รูปคลื่นเต็มที่ได้ที่บัพช้อนที่มุม 90 องศา ขั้วลบ	54
4-17	รูปคลื่นเต็มที่ได้ที่บัพช้อนที่มุม 180 องศา ขั้วลบ	55
4-18	รูปคลื่นเต็มที่ได้ที่บัพช้อนที่มุม 270 องศา ขั้วลบ	55

IV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 วิธีการดำเนินงาน	2
2-1 B_1, B_0 และ K สำหรับวงจร A และ B	15
2-2 เวลา T_1, T_2 และประสิทธิภาพของวงจร A และ B	18
3-1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ IC เบอร์ TLP250	38
3-2 ข้อมูลการจำลองรูปคลื่นเต็ม	41



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6 kV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ 220 V จะใช้ในการทดสอบความคงทนของฉนวนด้วยแรงดันอิมพัลส์ขณะรับแรงดันกระแสสลับปกติ จะสอดคล้องกับความเป็นจริงในการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงหากได้รับแรงดันเกินขณะใช้งานคือรับแรงดันกระแสสลับอยู่ก่อนได้รับแรงดันเกิน เพื่อให้สามารถทดสอบความสามารถในการทนต่อแรงดันเกินที่เลียนแบบแรงดันเกินจริงที่เกิดตามธรรมชาติของอุปกรณ์ด้านแรงดันต่ำ เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับจึงมีความจำเป็นอย่างมาก นอกจากนี้ เครื่องกำเนิดแรงดันผสมดังกล่าวยังสามารถนำไปใช้ในการทดสอบหรืองานวิจัยด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงได้อีกด้วย

การพัฒนาเทคโนโลยีการออกแบบสร้างอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงนั้น ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีประสบการณ์และศักยภาพเพียงพอที่สามารถสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับได้ อีกทั้งเครื่องกำเนิดแรงดันชนิดนี้มีการวิจัยออกแบบสร้างขึ้นเองภายในประเทศน้อยมากจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาวินิจฉัยออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับขึ้นมาเพื่อใช้ในการงานวิจัยและงานทดสอบของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเพื่อพัฒนาความรู้และศักยภาพทางวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูงของประเทศอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อทำการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6 kV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ 220 V สำหรับเป็นต้นแบบในห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง
- 2) เพื่อส่งเสริมให้เกิดการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
- 3) เพื่อรองรับงานวิจัยเกี่ยวกับความคงทนของฉนวน
- 4) เพื่อรองรับการบริการการทดสอบฉนวนในอนาคต

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ทำการออกแบบและเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6 kV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ 220 V โดยแรงดันอิมพัลส์เป็นไปตามมาตรฐาน 1.2/50 μ s

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6 kV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ 220 V
- 2) ศึกษามาตรฐานการทดสอบฉนวนไฟฟ้า
- 3) ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6 kV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ 220 V
- 4) ทำการทดสอบเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6 kV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ 220 V ที่จัดสร้างขึ้นกับฉนวนไฟฟ้า
- 5) ทำการวิเคราะห์ปรับปรุงคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6 kV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ 220 V
- 6) ทำรายงานฉบับสมบูรณ์

ตารางที่ 1.1 วิธีการดำเนินงาน

วิธีการดำเนินงาน	พ.ศ.2551						
	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.
1) ศึกษาคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6 kV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ 220 V	←→						
2) ศึกษามาตรฐานการทดสอบฉนวนไฟฟ้า	←→						
3) ออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6 kV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ 220 V		←→					
4) ทำการทดสอบเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6 kV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ 220 V ที่จัดสร้างขึ้นกับฉนวนไฟฟ้า			←→				
5) ทำการวิเคราะห์ปรับปรุงคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6 kV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ 220 V				←→			
6) ทำรายงานฉบับสมบูรณ์						←→	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถออกแบบสร้างต้นแบบเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6 KV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ 220 V ได้ตามข้อกำหนด

2) เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6 KV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ 220 V ที่ออกแบบสร้างขึ้นมาเป็นต้นแบบในการจัดสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 6 KV ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ สำหรับห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูงเพื่อรองรับงานเกี่ยวกับการวิจัยและการบริการทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงในอนาคต



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการสร้างแรงดันอิมพัลส์ [1]

แรงดันอิมพัลส์ทั้งแบบรูปคลื่นฟ้าผ่าและแบบสวิทซ์ซิง เป็นแรงดันทรานเซียนต์ที่ไม่เป็นคาบ ค่าแรงดันจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากศูนย์ไปจนถึงค่ายอด แล้วจะค่อยๆลดลงไปเป็นศูนย์ รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์จะกำหนดด้วย

- ขั้วของแรงดัน เป็นบวกหรือลบ
- ขนาดแรงดัน ซึ่งหมายถึงค่ายอดของรูปคลื่น
- เวลาช่วงหน้าคลื่น T_1 คือ ช่วงเวลาที่แรงดันเริ่มต้นจากศูนย์จนถึงค่ายอด
- เวลาช่วงหางคลื่น T_2 คือ ช่วงเวลาที่นับจากแรงดันเริ่มต้นจากศูนย์ผ่านค่ายอด จนกระทั่งขนาดลดลงเหลือครึ่งหนึ่งของค่ายอด
- แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าจะเรียกว่า รูปคลื่น 1.2/50 μs
- แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นสวิทซ์ซิงจะเรียกว่า รูปคลื่น 250/2500 μs

รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ที่ขนาดเพิ่มขึ้นจนถึงค่ายอดแล้วค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเป็นศูนย์ เรียกว่าแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็ม (Full wave) ดังรูปที่ 2-1ก) แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นเต็มนี้เมื่อป้อนเข้าไปที่วัสดุทดสอบแล้ว หากการฉนวนของวัสดุทดสอบนั้นทนต่อแรงดันไม่ได้ ก็จะทำให้เกิดสปาร์กหรือเบรกดาวหรือวาวไฟตามผิวขึ้น ณ จุดหนึ่งบนรูปคลื่นนั้น แรงดันจะยุบตัวลงเป็นศูนย์ เกิดเป็นรูปคลื่นตัด (Chopped wave) ซึ่งอาจเกิดคลื่นตัดขึ้นที่ส่วนหางคลื่นหรือส่วนหน้าคลื่นก็ได้ ดังรูปที่ 2-1 ข) และ 2-1 ค) ตามลำดับ ลักษณะของรูปคลื่นตัดจะมีส่วนกำหนดที่สำคัญคือ เวลาช่วงคลื่นตัด (Chopped time) T_c

แรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่าตามมาตรฐานกำหนดด้วยเวลาช่วงหน้าคลื่น T_1 เวลาหางคลื่น T_2 และค่ายอด U_m ไว้คือ

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

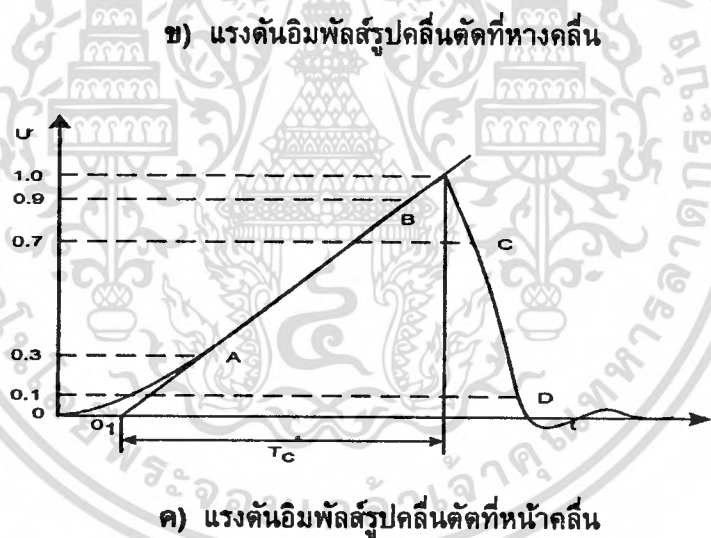
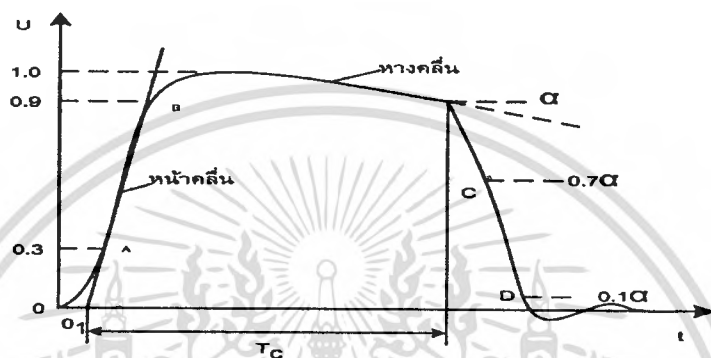
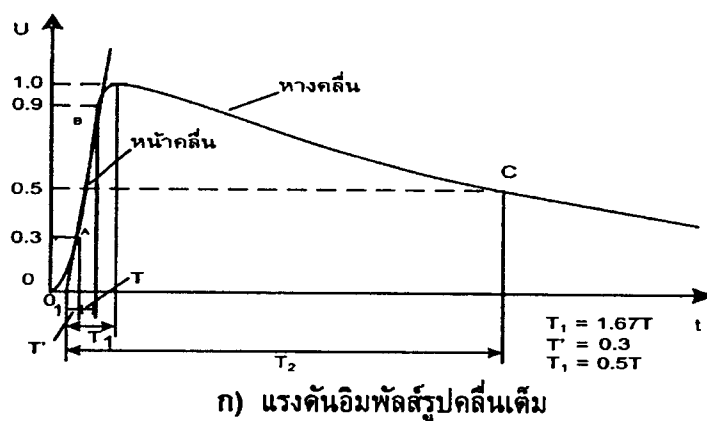
$$\text{เวลาช่วงหางคลื่น } T_2 = 50 \mu\text{s} \pm 20 \%$$

$$\text{ค่ายอดแรงดัน } U_m \pm 3 \%$$

ส่วนแรงดันอิมพัลส์แบบสวิทซ์ซิง 250/2500 μs ดังรูปที่ 2-2 จะกำหนดให้มีความคลาดเคลื่อนได้คือ

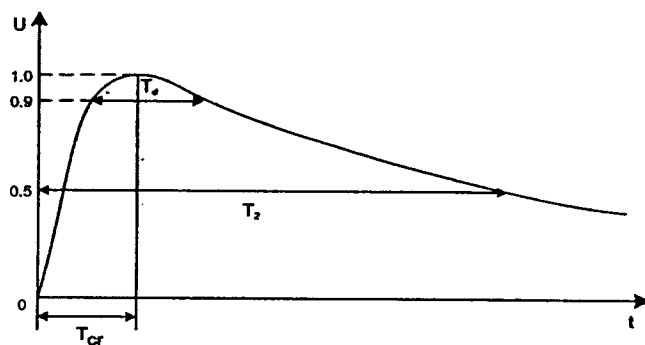
$$\text{เวลาช่วงหน้าคลื่น } T_{cr} = 250 \mu\text{s} \pm 20 \%$$

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



รูปที่ 2-1 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ฟ้าผ่า

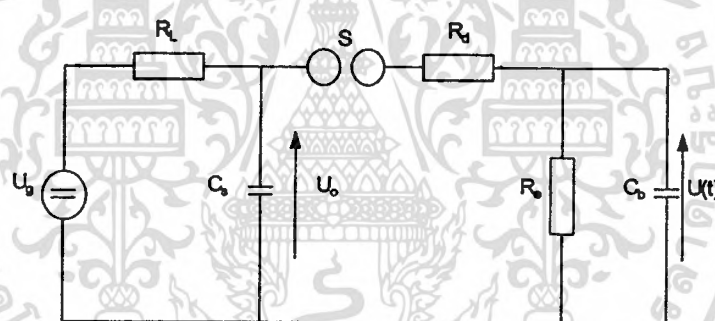
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



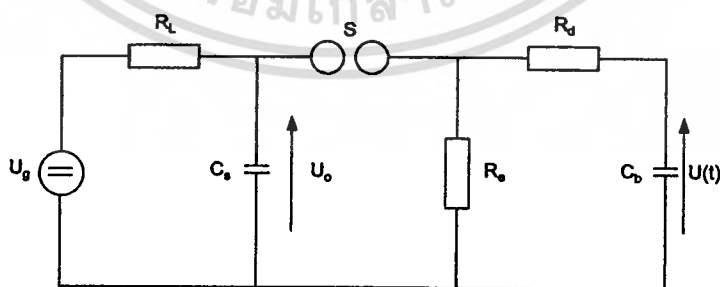
รูปที่ 2-2 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์สวิตชิ่ง

2.1.1 วงจรพื้นฐานของการสร้างแรงดันอิมพัลส์ [1]

การสร้างแรงดันอิมพัลส์จะอาศัยหลักการของวงจรทรานเซียนต์ RC โดยการอัดประจุให้ฉับตัวเก็บประจุจนถึงค่าแรงดันที่ต้องการ แล้วปล่อยให้คายประจุผ่านวงจร RC ที่สามารถปรับค่าคงตัวเวลาให้มีรูปคลื่นตามต้องการได้ วงจรพื้นฐานที่ใช้สร้างแรงดันอิมพัลส์โดยทั่วไปมี 2 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 2-3 ก) และ ข)



ก) วงจร A



ข) วงจร B

รูปที่ 2-3 วงจรพื้นฐานของเครื่องกำเนิดสร้างแรงดันอิมพัลส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความหมายในรูปวงจร A และ B

- U_0 = แรงดันกระแสตรงของตัวจ่าย เป็นตัวป้อนแรงดันอัดประจุให้กับตัวเก็บประจุอิมพัลส์
 U_0 = แรงดันอัดประจุกระแสตรง
 C_s = ตัวเก็บประจุอิมพัลส์เป็นตัวเก็บพลังงาน
 C_b = โหลดตัวเก็บประจุ (รวมทั้งความจุไฟฟ้าของอุปกรณ์วัดแรงดันและอื่น ๆ)
 R_L = ความต้านทานจำกัดกระแสอัดประจุ
 R_d = ความต้านทานหน่วง เป็นตัวปรับหน้าคลื่น T_1
 R_0 = ความต้านทานปล่อยประจุ เป็นตัวปรับหางคลื่น T_2
 $U(t)$ = แรงดันอิมพัลส์ที่ได้แปรไปตามเวลา
 S = สปาร์กแกป เป็นตัวกำหนดค่าแรงดันอัดประจุ และทำหน้าที่เป็นไกสวิตช์ใกล้ตัวเก็บประจุอิมพัลส์ C_s คิซซาร์จประจุให้กับโหลด

หน้าที่ของส่วนประกอบในวงจร คือ ตัวจ่ายแรงดันกระแสตรง U_0 เป็นตัวป้อนแรงดันอัดประจุให้กับตัวเก็บประจุอิมพัลส์ที่เป็นตัวเก็บพลังงาน ซึ่งมีค่าแรงดันที่กำหนด U_0 การอัดประจุนี้จะผ่านความต้านทาน R_L ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมเวลาในการอัดประจุระยะห่างของสปาร์กแกป S จะเป็นตัวกำหนดแรงดันที่เริ่มทำงานเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์เพื่อให้สามารถสร้างแรงดันอิมพัลส์ที่มีค่าสอดคล้องตามต้องการ โดยที่สปาร์กแกปจะทำงานร่วมกับไกสวิตช์ (Trigger) ที่มีลักษณะเป็นแกปช่วย (Auxiliary gap) เพื่อให้ตัวเก็บประจุ C_s ทำการปล่อยประจุให้กับโหลด การเกิดสปาร์กในช่องสปาร์กแกปจะดำเนินไปด้วยความรวดเร็ว คือ ใช้เวลาน้อยกว่า 100 ns เมื่อเกิดสปาร์กแกปที่ S แรงดันอัดประจุ U_0 จะคร่อม R_d และ C_b ซึ่งประจุจะถ่ายเทไปยังวัสดุทดสอบซึ่งแทนด้วย C_b เวลาในการคายประจุจาก C_s ไปยัง C_b จะขึ้นอยู่กับ R_d และ C_b ซึ่งเป็นเวลาช่วงหน้าคลื่น T_1 เมื่อถ่ายเทประจุให้ C_b จนกระทั่งแรงดันคร่อม C_s เท่ากับแรงดันคร่อม C_b จะไม่มีการถ่ายเทประจุระหว่าง C_s กับ C_b จากนั้น C_s และ C_b จะทำการคายประจุผ่าน R_0 จึงกล่าวได้ว่า R_0 ทำหน้าที่ควบคุมเวลาช่วงหางคลื่น T_2

ค่าของแรงดันที่จ่ายออกที่ปลายแรงสูง U จะน้อยกว่าแรงดันอัดประจุ U_0 เพราะมีการถ่ายเทประจุระหว่าง C_s และ C_b ฉะนั้นอัตราส่วนของ U ต่อ U_0 จะน้อยกว่า 1 เสมอ และเรียกอัตราส่วนนี้เป็นประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์นั้น คือ

$$\text{ประสิทธิภาพของวงจร} \quad \eta = U / U_0 \leq (C_s / (C_s + C_b)) \quad (2-1)$$

ฉะนั้นเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของวงจรมีค่าสูง และให้ได้รูปคลื่นตามมาตรฐานกำหนดควรเลือกให้ C_s มีค่าสูงกว่าโหลด C_b มากๆ โดยทั่วไปจะให้ $C_s \geq 10 C_b$

ข้อกำหนดทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์โดยทั่วไปจะกำหนดด้วย

- แรงดันที่กำหนดของเครื่องกำเนิด
- แรงดันอัดประจุรวมทั้งหมด U_0
- ค่าความจุไฟฟ้ารวมทั้งหมด C_s
- พลังงานที่กำหนดของเครื่องกำเนิด
- อัตราการดีสชาร์จจำนวนครั้งต่อนาที
- รูปคลื่นแรงดันแบบฟ้าผ่า

พลังงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ขึ้นอยู่กับความจุไฟฟ้า C_s และแรงดันอัดประจุ U_0 ซึ่งค่าพลังงานคำนวณได้จากสมการ

$$W = \frac{1}{2} C_s U_0^2 \times 10^{-3} \quad \text{kJ} \quad (2-2)$$

เมื่อ W คือ พลังงานอัดประจุเป็น kJ
 C_s คือ ความจุไฟฟ้าของของตัวเก็บประจุเป็น μF
 U_0 คือ แรงดันอัดประจุเป็น kV

2.1.2 วงจรเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์หลายชั้น

เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่มีพิคัดเกิน 200 kV โดยปกติจะใช้วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์หลายชั้น อันเนื่องมาจากข้อจำกัด ด้านฉนวน ด้านเศรษฐศาสตร์ โดยจะใช้วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์พื้นฐาน มาต่อซ้อนกันหลายชั้นตามหลักการ วงจรของมาร์กซ์ (Marx's circuit) ดังในรูปที่ 2-4

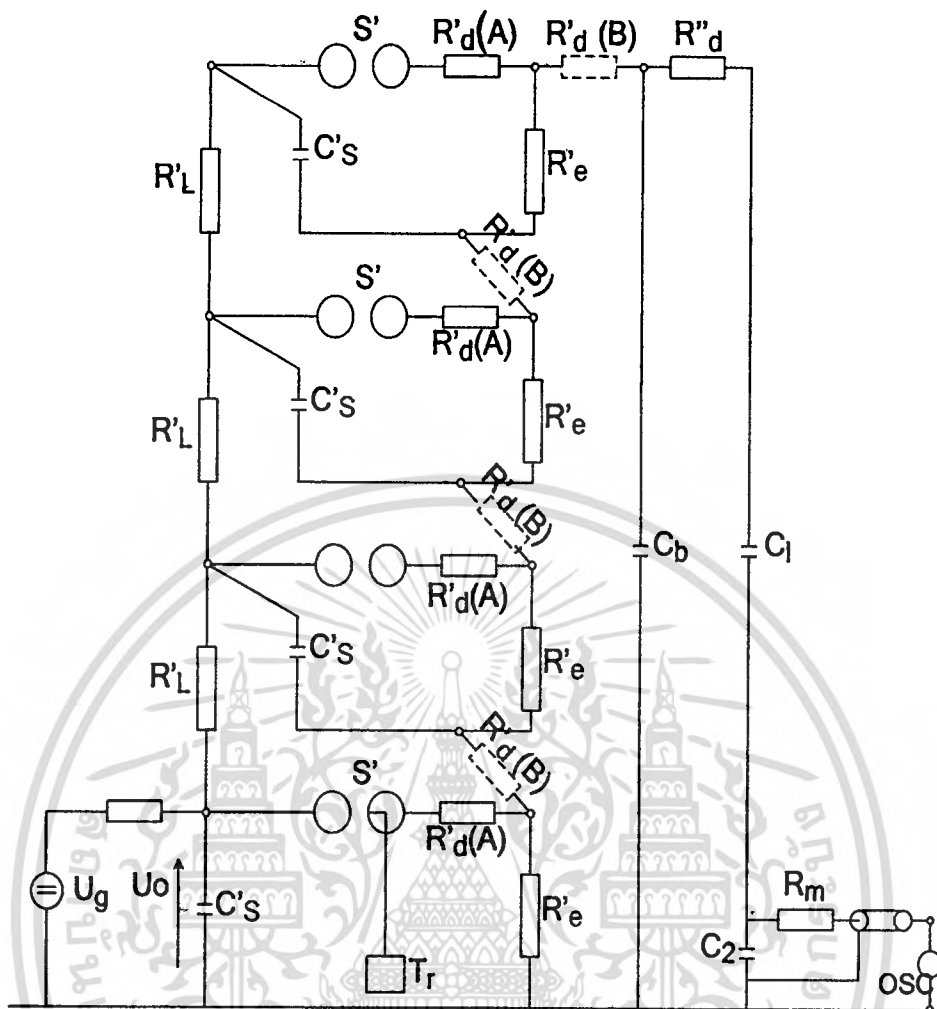
ในวงจรรูปที่ 2-4 ตัวเก็บประจุ C_s ทุกตัวจะได้รับการอัดประจุในลักษณะที่ต่อกันแบบขนานด้วยแรงดัน U_0 เมื่อส่งสัญญาณพัลส์ผ่านไกสวิตช์จะทำให้สปาร์กที่แกปชั้นแรกทำงานก่อนและสปาร์กแกปชั้นต่อไปก็จะเกิดสปาร์กตามลำดับ เป็นผลให้ตัวเก็บประจุ C_s ทั้งหมดต่อกันแบบอนุกรม และได้แรงดันสูงเป็นทวีคูณตามจำนวนชั้นของวงจร ถ้าเครื่องกำเนิดมี n ชั้นก็จะได้แรงดันสูงจ่ายออกเป็น

$$\text{ค่าแรงดันรวมที่ได้} \quad U_0 = n U'_0 \quad (2-3)$$

$$\text{ค่าความจุไฟฟ้ารวม} \quad C_s = C'_s/n \quad (2-4)$$

$$\text{ค่าความต้านทานหน้าคลื่นรวม} \quad R_d = n R'_d \quad (2-5)$$

$$\text{ค่าความต้านทานหลังคลื่นรวม} \quad R_0 = n R'_0 \quad (2-6)$$



รูปที่ 2-4 เครื่องกำเนิดแรงดันอินพัลส์แบบหลายชั้น

2.1.3 องค์ประกอบของเครื่องกำเนิดแรงดันอินพัลส์

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องกำเนิดแรงดันอินพัลส์จะประกอบด้วย องค์ประกอบดังนี้

- 1) ตัวเก็บประจุอินพัลส์ C_s
- 2) ตัวเก็บประจุโหลด C_b
- 3) ความต้านทานจำกัดกระแสอัดประจุ R_L
- 4) ความต้านทานปรับหน้าคลื่น R_d และความต้านทานปรับหลังคลื่น R_e
- 5) สปาร์กแกปและไทม์สวิทช์

1) ตัวเก็บประจุอินพัลส์ ตัวเก็บประจุอินพัลส์ทำหน้าที่เก็บพลังงานไว้ในรูปสนามไฟฟ้า โดยการอัดประจุด้วยแรงดันสูงกระแสตรง แล้วคายพลังงานออกไปอย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น

ตัวเก็บประจุอิมพัลส์จึงต้องเป็นประเภทที่มีค่าความเหนี่ยวนำต่ำ เพื่อให้รูปคลื่นแรงดันที่สร้างขึ้นไม่เกิดการแกว่ง (Oscillation)

ค่าความจุไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์จะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะสามารถสร้างแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นมาตรฐาน ($1.2/50 \mu\text{s}$) ได้ โดยปกติค่าตัวเก็บประจุ C_s จะต้องมียิ่งมากกว่าค่าตัวเก็บประจุโหลด C_b อย่างน้อย 10 เท่า นั่นคือ

$$C_s \geq 10 C_b \quad (2-7)$$

2) ตัวเก็บประจุโหลด ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุโหลด C_b หมายถึง ผลรวมของความจุไฟฟ้าของวัสดุ และอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูง เช่น ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า ปลอกฉนวนนำสายหม้อแปลงวัดแรงดันและกระแส โวลต์เจดิวโวลต์เตอร์ รวมทั้งตัวเก็บประจุที่ต่อเพิ่มเติมเข้าไปเพื่อปรับรูปคลื่นให้ได้ตามมาตรฐาน ซึ่งตัวเก็บประจุโหลด C_b มีส่วนสำคัญในการปรับรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับส่วนหน้าคลื่น แต่จะมีผลน้อยต่อหางคลื่น คุณสมบัติของตัวเก็บประจุโหลดจะต้องมีค่าพิกัดแรงดันมากกว่าค่าแรงดันทดสอบของวัสดุหรืออุปกรณ์ทดสอบและควรมีค่าความเหนี่ยวนำต่ำด้วย เหตุผลเช่นเดียวกับตัวเก็บประจุอิมพัลส์ C_s

3) ความต้านทานจำกัดกระแสอัดประจุ R_L ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะมีการกำหนดความถี่ของการสร้างแรงดันอิมพัลส์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ไว้ เช่น 3 ครั้งต่อนาที เพราะการใช้เครื่องกำเนิดให้ทำการคายประจุ และอัดประจุด้วยอัตราเร็วมากเกินไปจะทำให้เกิดผลเสียต่อองค์ประกอบต่างๆ เช่น วงจรเรกติฟายเออร์ (ไดโอดแรงสูง และตัวเก็บประจุกรองกระแส) ตัวเก็บประจุอิมพัลส์ และความต้านทานปรับรูปคลื่น เป็นต้น เพราะว่าการคายประจุจะเป็นแบบสภาวะทรานเซียนต์ ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันและกระแสอย่างรวดเร็ว นั่นก็คือเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลันของสนามไฟฟ้า ซึ่งมีผลกระทบต่อการณ์ขององค์ประกอบของเครื่องกำเนิดในด้านความคงทนต่อแรงดันไฟฟ้าหรือความเครียดสนามไฟฟ้า อันจะทำให้อายุการใช้งานขององค์ประกอบสั้นลงหากใช้งานอย่างต่อเนื่องที่เกินไป ฉะนั้นจึงจะต้องไม่ใช่เครื่องกำเนิดให้เกิดการอัดประจุหรือคายประจุถี่จนเกินไป ซึ่งการจำกัดอัตราการอัดประจุอาจทำได้โดยใช้ความต้านทานจำกัดกระแสอัดประจุ R_L ซึ่งจะต่ออนุกรมคั่นอยู่ระหว่างแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรงกับตัวเก็บประจุอิมพัลส์ C_s เพื่อให้กระแสอัดประจุมีค่าไม่เกินค่าพิกัดกระแสของแหล่งจ่ายแรงดันสูงกระแสตรง I ซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการเพิ่มแรงดันอัดประจุ du/dt จะต้องไม่ควรเร็วเกินไป ดังนั้นค่ากระแสอัดประจุจึงเขียนได้ว่า

$$i = C_s \cdot du/dt \quad (2-8)$$

นอกจากนี้ ความต้านทาน R_L ต้องมีความคงทนต่อแรงแรงดันอัดประจุของตัวเก็บประจุอิมพัลส์ได้ เพราะความต้านทาน R_L จะต้องรับแรงดันเท่ากับพิกัดของแรงดันอัดประจุเมื่อตัวเก็บ

ประจักษ์ประจุเต็ม แล้วนอกจากต้องเลือกค่าความต้านทานและความคงทนต่อแรงดันอินิมพัลส์แล้วยังต้องคำนึงถึงค่ากำลังไฟฟ้าของ R_L ที่มีค่าสูงพอ เมื่อต้องรับกระแสอัดประจุตลอดเวลาที่อัดประจุได้

3) ความต้านทานปรับรูปคลื่น ความต้านทานปรับรูปคลื่นในที่นี้หมายถึงความต้านทาน R_d และ R_o ที่แสดงไว้ในรูปที่ 2-3 ซึ่ง R_d จะมีผลต่อเวลาหน้าคลื่น T_1 กล่าวคือ T_1 จะแปรตามค่า R_d และเช่นเดียวกัน R_o มีผลต่อเวลาหางคลื่น T_2 นั่นคือ T_2 จะแปรตาม R_o

คุณสมบัติของความต้านทาน R_d และ R_o จะต้องสามารถทนต่อแรงดันไฟฟ้าที่ได้รับพลังงานจากการดิสชาร์จในสภาวะทรานเซียนต์ได้ โดยไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนเกินไปตลอดช่วงเวลาทำงาน โดยทั่วไปมักจะใช้ความต้านทานที่ทำด้วยเส้นลวดความต้านทานซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอาจคำนวณได้จากสมการของพลังงานที่ผ่านความต้านทาน คือ

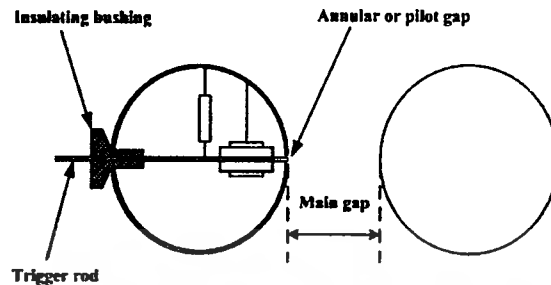
$$W = mc\Delta T \quad (2-9)$$

เมื่อ W คือ พลังงานที่ป้อนผ่านความต้านทาน (kJ)
 m คือ มวลของเส้นลวดที่ประกอบเป็นความต้านทาน (kg)
 c คือ ความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg.°K)
 ΔT คือ อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น (°C)

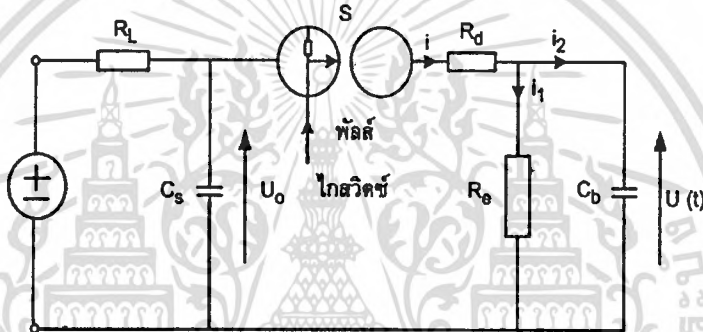
สิ่งสำคัญประการหนึ่งของการทำความต้านทาน R_d และ R_o ก็คือจะต้องเป็นความต้านทานปลอดความเหนียวนาหรือมีแต่น้อยที่สุด ทั้งนี้เพื่อมิให้เกิดการแกว่งของรูปคลื่นแรงดันอินิมพัลส์

5) สปาร์กแกปและไกสวิตช์ แรงดันอินิมพัลส์ที่สร้างขึ้นเพื่อนำไปใช้ในการทดสอบหรือการศึกษาวิจัยจะต้องสามารถสร้างให้มีขนาดเท่าเดิมก็ครั้งก็ได้ ซึ่งตามมาตรฐาน IEC 71 [2] ได้กำหนดให้มีค่าคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน $\pm 3\%$ การควบคุมให้ขนาดแรงดันเท่าเดิมดังกล่าวนี้ทำได้โดยการใช้พัลส์ไกสวิตช์บังคับให้เครื่องกำเนิดแรงดันอินิมพัลส์เริ่มต้นคายประจุที่แรงดันอัดประจุที่กำหนด พัลส์ไกสวิตช์จะเป็นตัวทำให้เกิดการสปาร์กที่แกปช่วย (auxiliary gap) ซึ่งเป็นแกปแคบๆ ขนาดประมาณ 1-2 มิลลิเมตร อยู่ที่ด้านหนึ่งของสปาร์กแกปคู่แรกของเครื่องกำเนิดดังรูปที่ 2-5 และ 2-6 แกปช่วยนี้จะเป็นสัญญาณพัลส์ทำให้เกิดสปาร์กขึ้นในแกปช่วยก่อน ผลของการเกิดสปาร์กในแกปช่วยนี้ทำให้เกิด การไอออไนเซชันของอากาศและเกิดอิเล็กตรอนอิสระมากขึ้น ระหว่างสปาร์กแกปคู่แรกและเกิดการคายประจุที่สปาร์กแกปคู่ นั้น เป็นผลให้ตัวเก็บประจุอินิมพัลส์ตัวแรกก่อนุกรมกับตัวเก็บประจุอินิมพัลส์ตัวที่สอง และเกิดสปาร์กที่แกปถัดไปเป็นลำดับจนถึงแกปคู่สุดท้ายหรือคู่บนสุดของเครื่องกำเนิดแรงดันอินิมพัลส์และเป็น การเริ่มต้นคายพลังงานให้กับตัวเก็บประจุโหลด ซึ่งจะได้แรงดันอินิมพัลส์ตามที่ต้องการ ฉะนั้น การใช้ไกสวิตช์ช่วยเริ่มต้นจุดสปาร์กจึงทำให้สามารถกำหนดแรงดันคายประจุ ได้อย่างแม่นยำ

สัญญาณพัลส์ที่ใช้สำหรับทำให้เกิดสปาร์กในแก๊ปชว้นั้น โดยทั่วไปจะใช้สวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ความเร็วสูงร่วมกับวงจรอิเล็กทรอนิกส์สร้างพัลส์ โดยแรงดันของพัลส์นี้มีค่าประมาณ 5-10 kV และจะต้องทำให้เกิดสปาร์กแก๊ปภายในเวลา 10-100 ns



รูปที่ 2-5 อิเล็กโทรดสปาร์กแก๊ป [3]

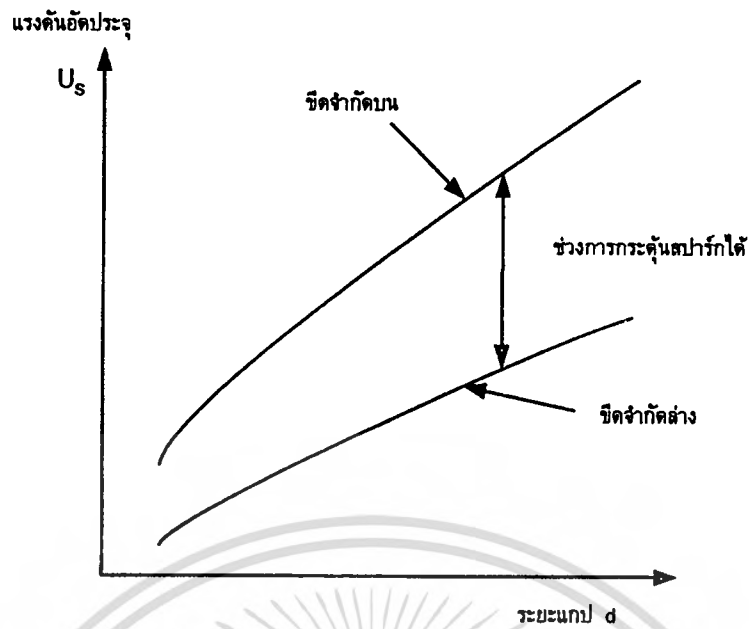


รูปที่ 2-6 สปาร์กแก๊ปมีโกลวิทซ์

คุณลักษณะการทำงานหรือประสิทธิภาพของโกลวิทซ์จะพิจารณากันที่ช่วงการกระตุ้นสปาร์กได้ ซึ่งหมายถึงที่ระยะแก๊ปกำหนดให้ค่าหนึ่ง โดยให้เกิดสปาร์กเอง (Self firing) เรียกว่า ชีตจำกัดบน และที่พัลส์โกลวิทซ์จะสามารถจุดสปาร์กได้ (Trigger) ที่แรงดันอัดประจุต่ำสุดเท่าใด เรียกว่า ชีตจำกัดล่าง ความแตกต่างของแรงดันกระตุ้นสปาร์กได้ระหว่างค่าต่ำสุดกับค่าสูงสุด เรียกว่า "ช่วงการกระตุ้นสปาร์กได้" (Trigger range) ของโกลวิทซ์ ซึ่งอาจแสดงเป็นค่าแรงดันกิโลโวลต์ หรือเป็นเปอร์เซ็นต์ของค่าแรงดันชีตจำกัดบนนั้น คือ

$$\text{ช่วงการกระตุ้นสปาร์กได้} = (\text{ชีตจำกัดบน} - \text{ชีตจำกัดล่าง}) / \text{ชีตจำกัดบน} \times 100\% \quad (2-10)$$

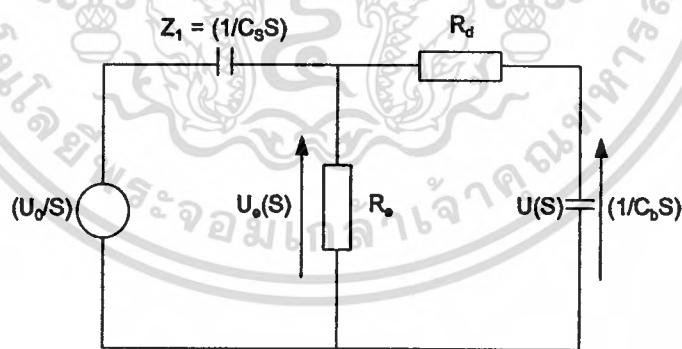
ความสัมพันธ์ของแรงดันที่กระตุ้นได้ต่ำสุดและสูงสุด และช่วงการกระตุ้นได้ในเทอมของระยะแก๊ปในรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 ช่วงการกระตุ้นสปาร์กได้ของไกลวิตซ์ในเทอมของระยะแกป

2.1.4 การคำนวณวงจรแรงดันอิมพัลส์[1]

1) การแปรของแรงดันในเทอมของเวลา อาศัยการวิเคราะห์จากวงจรพื้นฐานสร้างแรงดันอิมพัลส์ เช่น วงจรพื้นฐาน B ในรูปที่ 2-3 ข เมื่ออัดประจุให้กับตัวเก็บประจุ C_0 ด้วยแรงดันอัดประจุ U_0 และเกิดสปาร์กที่สปาร์กแกป S จะทำให้ C_0 ค่อยกับวงจรปรับรูปคลื่น การวิเคราะห์ใช้ Laplace transform เขียนวงจรสร้างแรงดันได้ดังรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 ลาปลาซทรานฟอร์มของวงจรอิมพัลส์พื้นฐาน

จากวงจรในรูป 2-8 ค่าแรงดันตกคร่อม R_0 จะเขียนได้ว่า

$$U_c(s) = \frac{U_0 \cdot Z_2}{S (Z_1 + Z_2)} \tag{2-11}$$

$$\text{เมื่อ } Z_1 = \frac{1}{C_b S} \quad (2-12)$$

$$Z_2 = \frac{R_e \left(R_d + \frac{1}{C_b S} \right)}{R_e + R_d + \frac{1}{C_b S}} \quad (2-13)$$

นำสมการ (2-12) และ (2-13) แทนลงใน (2-11)

$$\text{ฉะนั้น } U_e(s) = \frac{U_o (R_d R_e C_b S + R_e C_s)}{R_d C_b S + R_e C_b S + R_e C_s S + R_d R_e C_s C_b S^2} \quad (2-14)$$

แรงดันที่จ่ายออกจากโหนดคิดจาก $U_e(s)$ ตามอัตราส่วนอิมพีแดนซ์จะได้

$$U(s) = \frac{U_e(s) \frac{1}{C_b S}}{R_d + \frac{1}{C_b S}} = \frac{U_e(s)}{R_d C_b S + 1}$$

แทน $U_e(s)$ ด้วยสมการ (2-14)

$$U(s) = \frac{U_o R_e C_s}{R_d R_e C_s C_b S^2 + (R_d C_b + R_e C_s + R_e C_b) S + 1}$$

$$U(s) = \frac{U_o}{R_d C_b S^2 + \frac{(R_d C_b + R_e C_s + R_e C_b) S}{R_d R_e C_s C_b} + \frac{1}{R_d R_e C_s C_b}}$$

ซึ่งอาจเขียนได้ในรูปแบบง่าย ๆ คือ

$$\begin{aligned} U(s) &= \frac{U_o}{K} \frac{1}{S^2 + B_1 S + B_0} \\ &= \frac{U_o}{K} \frac{1}{(\alpha_2 - \alpha_1)} \left[\frac{1}{(S - \alpha_1)} - \frac{1}{(S - \alpha_2)} \right] \end{aligned} \quad (2-15)$$

เมื่อกำหนดให้

$$B_1 = \frac{R_d C_b + R_e C_s + R_e C_b}{R_d R_e C_b C_s} \quad (2-16)$$

$$B_0 = \frac{1}{R_d R_e C_b C_s} \quad (2-17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$K = R_d C_b \quad (2-18)$$

α_1, α_2 เป็นค่ารากที่สองของสมการ $S^2 + B_1 S + B_0 = 0$

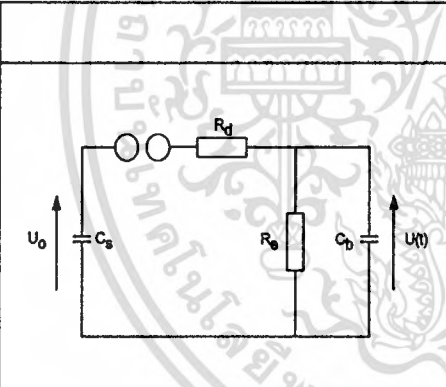
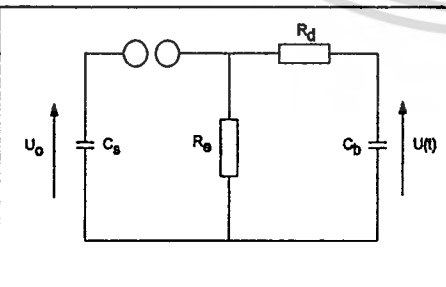
$$\alpha_{1,2} = \frac{B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 4B_0}}{2} \quad (2-19)$$

จึงเขียนค่าแรงดันอินพุตในเทอมของเวลาได้ดังนี้

$$u(t) = \frac{U_0}{K} \frac{1}{(\alpha_2 - \alpha_1)} \{e^{-\alpha_1 t} - e^{-\alpha_2 t}\} \quad (2-20)$$

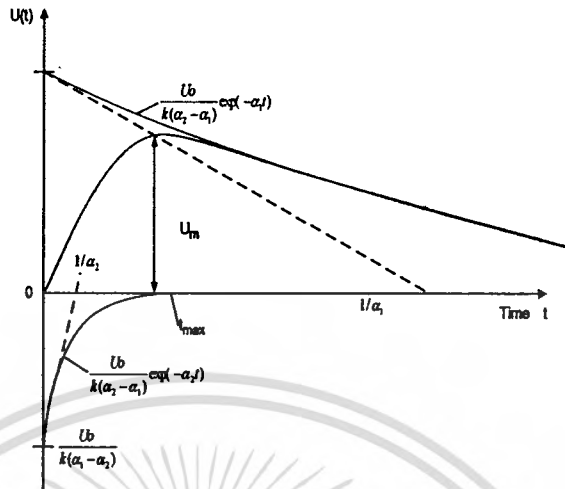
ค่าพารามิเตอร์ B_1, B_0 และ K สำหรับวงจร A และ B แสดงไว้ในตาราง 2-1

ตารางที่ 2-1 B_1, B_0 และ K สำหรับวงจร A และ B

	B_1	B_0	K
	$\frac{R_d C_s + R_e C_s + R_e C_b}{R_d R_e C_b C_s}$	$\frac{1}{R_d R_e C_b C_s}$	$R_d C_b$
	$\frac{R_d C_b + R_e C_b + R_e C_s}{R_d R_e C_b C_s}$	$\frac{1}{R_d R_e C_b C_s}$	$R_d C_b$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการของแรงดันที่ได้จากวงจรอิมพัลส์จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของแรงดันใน
 เทอมของเวลา ประกอบด้วยเทอมเอ็กซ์โปเนนเชียลสองเทอม ซึ่งมีค่าคงตัวเวลา (Time
 constant) เท่ากับ $1/\alpha_1$ และ $1/\alpha_2$ ดังรูป 2-9



รูปที่ 2-9 รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ประกอบด้วยเอ็กซ์โปเนนเชียลสองเทอม

ตามนิยามของรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์มาตรฐานที่กำหนดด้วยเวลาช่วงหน้าคลื่นและ
 หลังคลื่น T_1 และ T_2 ตามลำดับ มีความสัมพันธ์กับค่าคงตัวเวลา $1/\alpha_1$ และ $1/\alpha_2$ ซึ่งขึ้นอยู่กับ
 อัตราส่วนของ T_1 / T_2 อันเป็นตัวแทนถึงรูปลักษณะของรูปคลื่น ค่า T_1 และ T_2 อาจหาได้ดังนี้

$$T_1 = k_2 / \alpha_2 \quad (2-21)$$

$$T_2 = k_1 / \alpha_1 \quad (2-22)$$

กรณีของรูปคลื่น 1.2/50 μ s ค่าคงตัวจะมีค่า

$$k_1 = 0.73, \quad k_2 = 2.96$$

$$1/\alpha_1 (\mu s) = 68.5, \quad 1/\alpha_2 = 0.405$$

2) การคำนวณค่าองค์ประกอบวงจร การสร้างแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นใด กำหนดด้วยค่า
 T_1 และ T_2 ปกติเราจะเริ่มต้นมาจากค่าความจุไฟฟ้าของโหลด C_b ก่อนและเลือกตัวเก็บประจุอิม
 พัลส์ C_s ให้สอดคล้องกับ C_b กล่าวคือ C_s เป็นตัวเก็บพลังงานได้มากพอที่จะจ่ายถ่ายเทให้กับ
 โหลด ดังนั้นเมื่อทราบค่า C_b และ C_s แล้ว องค์ประกอบที่เหลือต้องคำนวณ คือ ความต้านทาน
 R_d และ R_o ซึ่งอาจหาได้จากความสัมพันธ์ของค่าคงตัวเวลา

$$\alpha_1, \alpha_2 = \sqrt{\frac{B_1}{2} \pm \left(\frac{B_1}{2}\right)^2 - B_0}$$

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \alpha_1 + \alpha_2 &= B_1 \\ \alpha_1 \alpha_2 &= B_0 \end{aligned}$$

จากค่า B_1 และ B_0 คำนวณหาค่า R_d และ R_e ได้คือ

วงจร A

$$R_e = \frac{1}{2(C_s + C_b)} \left\{ \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_s + C_b)}{\alpha_1 \alpha_2 C_b}} \right\} \quad (2-23)$$

$$R_d = \frac{1}{2C_s} \left\{ \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) - \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_s + C_b)}{\alpha_1 \alpha_2 C_b}} \right\} \quad (2-24)$$

วงจร B

$$R_e = \frac{1}{2(C_s + C_b)} \left\{ \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) + \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_s + C_b)}{\alpha_1 \alpha_2 C_s}} \right\} \quad (2-25)$$

$$R_d = \frac{1}{2C_b} \left\{ \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right) - \sqrt{\left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} \right)^2 - \frac{4(C_s + C_b)}{\alpha_1 \alpha_2 C_s}} \right\} \quad (2-26)$$

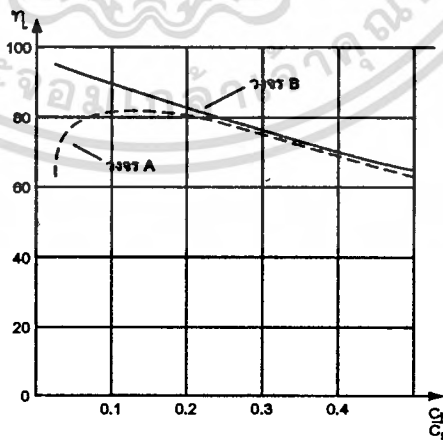
3) ประสิทธิภาพของวงจร η เมื่อกล่าวถึงประสิทธิภาพของวงจรหรือเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ หมายถึง อัตราส่วนค่ายอดของแรงดันที่สร้างขึ้นออกมาได้ ต่อค่าแรงดันอัดประจุ ปกติจะมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอทั้งวงจร A หรือวงจร B

$$\eta = \frac{U_m}{U_0} < 1 \quad (2-27)$$

เมื่อ U_m คือ ค่ายอดของแรงดันอิมพัลส์ $u(t)$

U_0 คือ แรงดันอัดประจุให้กับ C_b

ในกรณีแรงดันอิมพัลส์รูปคลื่นฟ้าผ่า ($1.2/50 \mu s$) ประสิทธิภาพของวงจรอิมพัลส์ ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า C_b และ C_s มีค่าดังรูป 2-10



รูปที่ 2-10 เปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของวงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์

4) การคำนวณหาค่าช่วงเวลาหน้าคลื่นและช่วงเวลาทางคลื่น T_1 และ T_2 ในกรณีที่ทราบค่าองค์ประกอบต่างๆ ของวงจรอิมพัลส์ ถ้าจำเป็นต้องการทราบค่าเวลาช่วงหน้าคลื่นและช่วงเวลาคลื่น อาจคำนวณค่าโดยประมาณได้จากค่าดังแสดงในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 เวลา T_1 , T_2 และประสิทธิภาพของวงจร A และ B

	วงจร A	วงจร B
T_1	$k_2 \frac{R_d R_e \cdot C_b C_s}{(R_d + R_e)(C_b + C_s)}$	$k_2 R_d \frac{C_b C_s}{C_b + C_s}$
T_2	$k_1 (R_d + R_e)(C_b + C_s)$	$k_1 R_e (C_b + C_s)$
η	$\frac{R_e C_s}{(R_d + R_e)(C_b + C_s)}$	$\frac{C_s}{C_s + C_b}$

การคำนวณที่กล่าวแล้วข้างต้นนั้น ถือว่าวงจรที่ใช้คำนวณ ไม่มีค่าความเหนี่ยวนำในทางปฏิบัติรูปคลื่นที่ได้มักจะแตกต่างไปจากค่าทฤษฎี โดยเฉพาะค่าเวลาช่วงหน้าคลื่นและค่ายอดของแรงดัน ทั้งนี้ เนื่องจากในวงจรมีความเหนี่ยวนำซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ อาจทำให้เกิดการแกว่งบริเวณยอดคลื่นขึ้นได้ ดังนั้น ความต้านทานปรับหน้าคลื่น R_d ต้องมีค่ามากกว่าวิกฤตของวงจร ดังสมการ

$$R_d \geq k \sqrt{\frac{L(C_s + C_b)}{C_s C_b}} \quad \text{โดย } k = 2 \text{ ถึง } 4 \quad (2-28)$$

2.1.5 การวัดแรงดันอิมพัลส์[1]

การวัดแรงดันอิมพัลส์ที่ใช้กันอยู่ในห้องทดลองไฟฟ้าแรงสูงทั่วไปมีอยู่ 2 วิธีคือ

- 1) วัดด้วยแกปทรงกลม
- 2) วัดด้วยระบบโวลเตจดีไวเซอร์

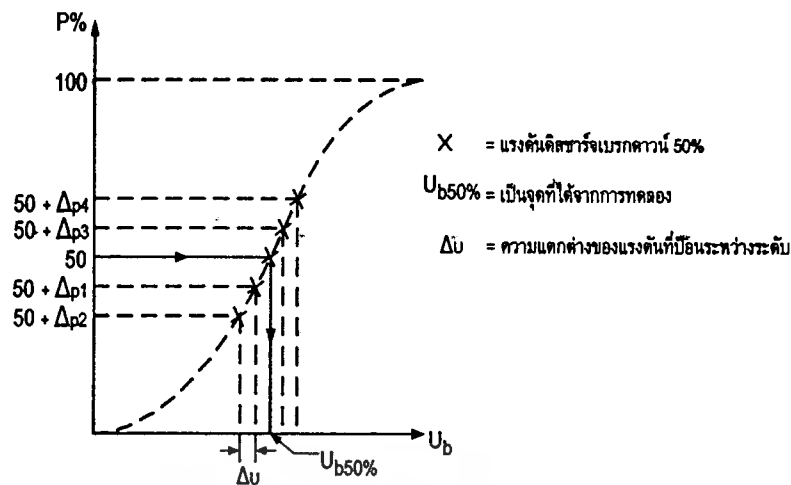
1) การวัดแรงดันอิมพัลส์ด้วยแกปทรงกลม หลักการวัดแรงดันอิมพัลส์ด้วยแกปทรงกลม ก็ปฏิบัติเช่นเดียวกับการวัดแรงดันกระแสสลับและแรงดันกระแสตรง กล่าวคือค่าแรงดันเบรกควาน์ของแกปทรงกลมนั้น ขึ้นอยู่กับระยะแกปของทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลม และสภาวะอากาศรอบๆ ทรงกลมการเกิดเบรกควาน์อย่างสมบูรณ์ในช่องแกปที่เป็นอากาศ ใช้เวลาเพียงไม่กี่ไมโครวินาที ฉะนั้นในกรณีของแรงดันกระแสสลับ ช่วงเวลาของแรงดัน

ที่เพิ่มขึ้นจะไม่มีผลนัยสำคัญต่อค่าแรงดันเบรกคาวาน์ U_b เบรกคาวาน์จะเกิดเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าถึงค่าหนึ่ง คือ E_b แต่ในกรณีของแรงดันอิมพัลส์ ช่วงเวลาของแรงดันจะมีความสำคัญต่อการเกิดเบรกคาวาน์ หรือค่าแรงดันเบรกคาวาน์ ผลของเวลาดังกล่าวอาจอธิบายได้ด้วยเรื่องเวลาล่าช้า (time lag) ของการเกิดเบรกคาวาน์ของก๊าซด้วยแรงดันอิมพัลส์

วิธีการวัดแรงดันอิมพัลส์ด้วยแก๊ปทรงกลม มีความแตกต่างที่สำคัญจากการวัดแรงดันกระแสดรง และแรงดันกระแสดรงสลับ ก็คือ การวัดแรงดันอิมพัลส์นั้นไม่สามารถใช้วิธีค่อย ๆ เพิ่มแรงดันสูงขึ้นจนกระทั่งการเกิดเบรกคาวาน์ หากแต่ต้องใช้การอัดประจุให้กับตัวเก็บประจุแรงสูงของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ให้ได้แรงดันอัดประจุตามที่ต้องการก่อน แล้วจึงปล่อยดิสชาร์จออกไปที่แก๊ปทรงกลม ซึ่งอาจเกิดเบรกคาวาน์หรือไม่เกิดก็ได้ ทั้ง ๆ ที่แรงดันสูงมากพอ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็น (Probability) และขนาดแรงดัน ถ้าแรงดันอัดประจุต่ำเกินไป ก็จะไม่เกิดเบรกคาวาน์ที่แก๊ปทรงกลมวัดแรงดัน แต่ถ้าแรงดันอัดประจุเพิ่มสูงขึ้นมากพอ ก็จะทำให้มีโอกาสเกิดเบรกคาวาน์มากขึ้น และถ้าแรงดันอัดประจุสูงมากเกินไป ก็จะทำให้เกิดเบรกคาวาน์ทุกครั้งที่คายประจุออกไป ด้วยเหตุนี้เองการวัดแรงดันอิมพัลส์จึงกำหนดเป็นค่าแรงดันเบรกคาวาน์ 50% คือ $U_{b50\%}$ อันหมายถึงค่ายอดแรงดันอิมพัลส์ค่าปานกลาง บางทีก็เรียกว่า ค่าอิมพัลส์วิกฤต (Critical impulse) ซึ่งเป็นค่าแรงดันที่ทำให้จำนวนครั้งที่เกิดเบรกคาวาน์ที่แก๊ปของทรงกลม เป็นจำนวนครั้งครึ่งหนึ่งของจำนวนครั้งที่ดิสชาร์จออกไป ฉะนั้นการหาค่า $U_{b50\%}$ จึงทำได้โดยวิธีการคายประจุออกไปเป็นจำนวนหลาย ๆ ครั้ง จนกระทั่งจำนวนครั้งที่เกิดเบรกคาวาน์เป็นจำนวนครึ่งหนึ่งของจำนวนครั้งที่ดิสชาร์จออกไป เช่น ดิสชาร์จ 10 ครั้ง แล้วเกิดเบรกคาวาน์ที่แก๊ปทรงกลม 5 ครั้ง ค่าแรงดันนั้นก็คือ $U_{b50\%}$ แต่การที่จะอัดประจุให้ได้แรงดันอัดประจุพอดีที่จะทำให้ได้ค่าแรงดันเบรกคาวาน์ 50% พอดีนั้นทำได้ยากและเสียเวลา

การวัดค่าแรงดัน $U_{b50\%}$ โดยทั่วไปวัดได้ 2 วิธี คือวิธีเส้นกราฟแรงดันหลายระดับ (Multiple level voltage method) และวิธีปรับขึ้นลง (Up and down method)

- วิธีเส้นกราฟแรงดันหลายระดับ เป็นวิธีหาค่า $U_{b50\%}$ ด้วยเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ของความน่าจะเป็นที่จะเกิดเบรกคาวาน์กับค่าแรงดัน ป้อนแรงดันอย่างน้อย 10 ครั้งที่แรงดันแต่ละค่า หรือแต่ละระดับต่างกัน ΔU น้อยกว่า 3% ของค่าแรงดันเบรกคาวาน์ 50% ที่คาดหมาย ทดลองแรงดันหลายระดับที่สูงกว่า และที่ต่ำกว่าค่าที่ทำให้เกิดเบรกคาวาน์ 50% จากเส้นกราฟนี้จะหาค่าแรงดันดิสชาร์จ 50% ได้ดังรูปที่ 2-11



รูป 2-11 เส้นกราฟใช้หาแรงดันคิสซาร์จเบรกคาว์น 50%

• วิธีปรับขึ้นลง เป็นวิธีหาค่าแรงดันคิสซาร์จเบรกคาว์น 50% โดยการเริ่มต้นเลือกแรงดันค่าหนึ่ง U_k ที่คาดหมายว่าจะเป็นค่าแรงดันเบรกคาว์น 50% ป้อนเข้าไปที่แกปทรงกลม ถ้าหากไม่เกิดเบรกคาว์นที่แกปทรงกลมให้เพิ่มแรงดันขึ้น ΔU ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 3% ของแรงดันคิสซาร์จ 50% จึงป้อนแรงดันใหม่ด้วยค่า $U_k + \Delta U$ แต่ถ้าเกิดเบรกคาว์นที่แกปทรงกลมที่แรงดัน U_k ก็ให้ลดแรงดันเหลือเพียง $U_k - \Delta U$ ฉะนั้นค่าแรงดันที่ป้อนต่อไป จะขึ้นอยู่กับผลที่เกิดขึ้นจากการป้อนแรงดันครั้งที่ผ่านมา ปฏิบัติต่อเนื่องกันเช่นนี้จนกระทั่งมีจำนวนครั้งที่ป้อนแรงดันมากพอ จะหาค่าแรงคิสซาร์จเบรกคาว์น 50% ได้จากสมการ

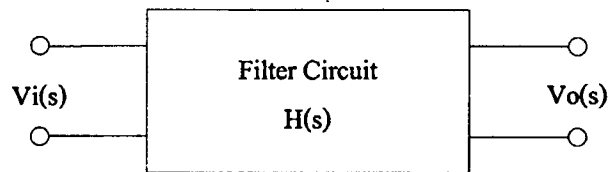
$$U_{50\%} = \frac{\sum n_v U_v}{\sum n} \quad (2-29)$$

โดยที่ n_v คือ จำนวนครั้งที่ที่ป้อนแรงดันที่ระดับแรงดัน U_v
และ $\sum n$ คือ ผลรวมจำนวนครั้งที่ป้อนแรงดัน ควรจะ > 20

2) การวัดแรงดันอิมพัลส์ด้วยโวลเตจดีไวเดอร์ การวัดแรงดันอิมพัลส์ด้วยแกปทรงกลมนั้น ทราบแค่ค่ายอดเท่านั้น แต่ไม่ทราบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันตามเวลา คือรูปคลื่นแรงดันซึ่งจำเป็นต้องทำการวัด และมีทางทำได้ โดยใช้ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) หรือเครื่องบันทึกแรงดันอิมพัลส์ ประกอบเข้ากับโวลเตจดีไวเดอร์ ถ้าแรงดันที่วัดมีค่ายังสูงไม่มากนัก คือต่ำกว่า 100 kV เทคนิคการวัดก็ไม่ยุ่งยากอะไร เมื่อแรงดันเพิ่มสูงมากขึ้นเทคนิคและปัญหาการวัดก็มีมากขึ้นตามขนาดแรงดันที่วัด

2.2 ทฤษฎีวงจรกรองความถี่ [4]

วงจรกรองความถี่ หรือ วงจรเลือกความถี่ วงจรนี้เป็นวงจรแบบ Two port ซึ่งมีทั้งอินพุตและ เอาท์พุท ในการพิจารณาวงจรมักกระทำในรูปของ Frequency domain



รูปที่ 2-12 วงจรกรอง

จากรูปที่ 2-13 จะได้สมการของการถ่ายโอน (Transfer function) โดยจะเป็นอัตราส่วนระหว่างเอาท์พุท และอินพุท ดังสมการ

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)} \quad (2-30)$$

จากสมการของการถ่ายโอนเราจะใช้ $H(s)$ และมักจะพิจารณาในเชิงของความถี่ โดยที่ $s=j\omega$

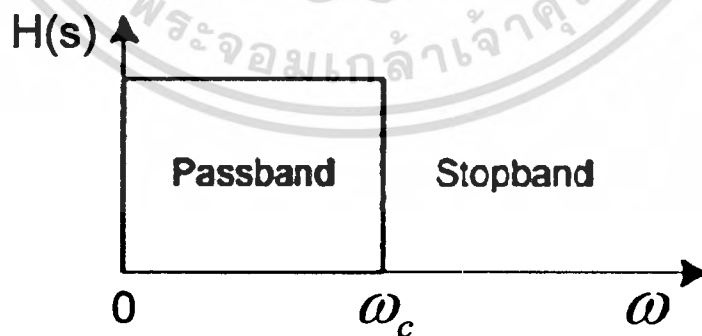
ชนิดของวงจรกรองความถี่

สำหรับวงจรกรองความถี่เป็นวงจรที่เลือกความถี่ออกทางเอาท์พุท โดยสามารถแบ่งได้ดังนี้

1. วงจรกรองความถี่ต่ำ Low pass filter (LP)
2. วงจรกรองความถี่สูง High pass filter (HP)

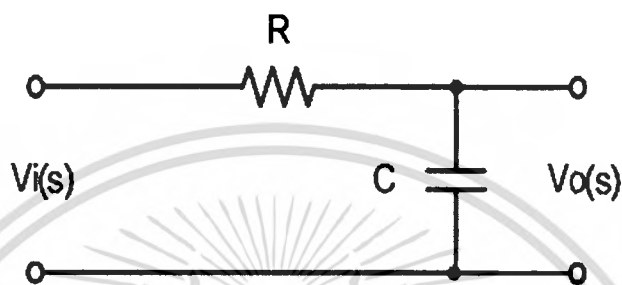
ลักษณะการตอบสนองทางความถี่ที่นำมาใช้ในหัวข้อนี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ กรองความถี่ต่ำผ่าน และกรองความถี่สูงผ่านซึ่งจะกล่าวดังต่อไปนี้

2.2.1 การกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter)



รูปที่ 2-13 ช่วงกรองความถี่ต่ำผ่าน

ลักษณะโดยทั่วไปของการกรองความถี่ต่ำผ่าน คือ ให้ความถี่ต่ำผ่านได้ และลดทอนสัญญาณความถี่สูง รูปแบบของการกรองความถี่ต่ำผ่านแสดงดังรูปที่ 2-14 ซึ่งการกรองความถี่ต่ำผ่านจะยอมให้สัญญาณตั้งแต่ 0 ไปจนถึงความถี่ ω_c ซึ่งเรียก ω_c ว่าความถี่คัตออฟ (Cutoff frequency) ช่วงของความถี่ตั้งแต่ 0 จนถึง ω_c จะเรียกว่า แถบความถี่ผ่าน (Passband) และความถี่ที่มากกว่า ω_c จะมีอัตราค่าลดทอนของสัญญาณ โดยเรียกช่วงความถี่ที่มากกว่า ω_c ว่า แถบความถี่หยุด (Stopband) และเรียกความถี่ที่ ω_c ว่า ขอบของแถบความถี่หยุด (Stopband edge frequency) ช่วงความถี่ระหว่าง ω_c และ ω เรียกว่า ช่วงผ่านสัญญาณ (Transitionband)



รูปที่ 2-14 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

จากรูปที่ 2-14 หาฟังก์ชันถ่ายโอนจะได้

$$V_o(s) = \frac{I}{Cs}$$

$$V_i(s) = IR + \frac{I}{Cs}$$

$$= I\left(R + \frac{1}{Cs}\right)$$

$$H(s) = \frac{V_o(s)}{V_i(s)}$$

$$= \frac{\frac{I}{Cs}}{I\left(R + \frac{1}{Cs}\right)}$$

$$= \frac{\frac{1}{Cs}}{R + \frac{1}{Cs}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= \frac{\frac{1}{Cs}}{\left(R + \frac{1}{Cs}\right)} \times \frac{Cs}{Cs}$$

$$= \frac{1}{1 + RCs}$$

แต่ $s = j\omega$

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (2-31)$$

ขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอน

จากสมการที่ 2-31 จะได้

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1^2 + (j\omega RC)^2}}$$

แต่ $j^2 = -1$ เมื่อพิจารณาถึงขนาดจะไม่คิดเครื่องหมาย

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1^2 + (\omega RC)^2}} \quad (2-32)$$

หาความถี่คัทออฟ ω_c

เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 2-31 พิจารณาในส่วนจินตภาพ(ความถี่)

โดยที่ความถี่

คัทออฟ $\omega_c RC = 1$ เกิดขึ้นเมื่อ $\omega_c = \frac{1}{RC}$

จากสมการที่ 2-32 เมื่อให้ $\omega_c = 0$

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+0}} = 1$$

จากสมการที่ 2-32 เมื่อให้ $\omega_c = \frac{1}{RC}$

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1^2 + \left(\frac{RC}{RC}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 1^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$$

จากสมการที่ 2-32 เมื่อให้ $\omega_c = \infty$

$$|H(j\infty)| = \frac{1}{\sqrt{1+\infty}} = 0$$

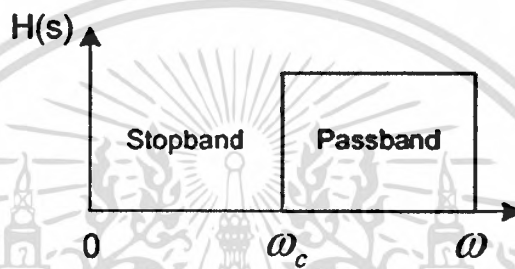
โดยที่ $V_o(s)$ คือ แรงดันทางด้านออกของวงจรฟิลเตอร์

$V_i(s)$ คือ แรงดันทางด้านเข้าของวงจรฟิลเตอร์

ω_c คือ ความถี่คัตออฟ

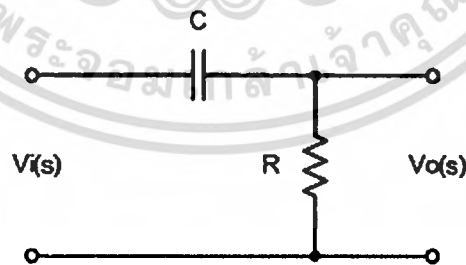
ω คือ ความถี่หยุด

2.2.2 การกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter)



รูปที่ 2-15 ช่วงกรองความถี่สูงผ่าน

การกรองความถี่ผ่านจะยอมให้ความถี่ที่กำหนดมาผ่านไปได้ เรียกว่าความถี่ที่ความถี่คัตออฟ (Cutoff frequency) ลักษณะโดยทั่วไปของการกรองความถี่สูงผ่านจะปรากฏดังรูปที่ 2-16 ช่วงแถบความถี่ผ่านจะเริ่มที่ ω_c ถึง ∞ และช่วงแถบความถี่ตัด จะเริ่มตั้งแต่ความถี่ 0 จนถึง ω_c เช่นเดียวกับการกรองความถี่ต่ำ



รูปที่ 2-16 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน

จากรูปที่ 2-16 หาฟังก์ชันถ่ายโอน

$$V_o(s) = IR$$

$$\begin{aligned} V_i(s) &= \frac{1}{Cs} + IR \\ &= I\left(\frac{1}{Cs} + R\right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H(s) &= \frac{V_o(s)}{V_i(s)} \\ &= \frac{IR}{I\left(\frac{1}{Cs} + R\right)} \end{aligned}$$

$$= \frac{R}{\frac{1}{Cs} + R}$$

$$= \frac{\frac{R}{R}}{\frac{1}{Cs} + R}$$

$$= \frac{1}{1 + \frac{1}{RCs}}$$

แต่ $s = j\omega$

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + \frac{1}{j\omega RC}}$$

(2-33)

หาขนาดของฟังก์ชันถ่ายโอน

จากสมการที่ 2-33 จะได้

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1^2 + \left(\frac{1}{j\omega RC}\right)^2}}$$

แต่ $j^2 = -1$ เมื่อพิจารณาถึงขนาดจะไม่คิดเครื่องหมาย

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1^2 + \left(\frac{1}{\omega RC}\right)^2}}$$

(2-34)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาความถี่คัทออฟ ω_c

เมื่อพิจารณาจากสมการที่ 2-31 พิจารณาในส่วนจินตภาพ(ความถี่) โดยที่ความถี่คัทออฟ $\omega_c RC = 1$ เกิดขึ้นเมื่อ $\omega_c = \frac{1}{RC}$
จากสมการที่ 2-34 เมื่อให้ $\omega_c = 0$

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1+\frac{1}{0}}} = \frac{1}{\sqrt{1+\infty}} = 0$$

จากสมการที่ 2-34 เมื่อให้ $\omega_c = \frac{1}{RC}$

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1^2 + \left(\frac{RC}{RC}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 1^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$$

จากสมการที่ 2-34 เมื่อให้ $\omega_c = \infty$

$$|H(j\infty)| = \frac{1}{\sqrt{1^2 + \left(\frac{1}{\infty}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 0}} = \frac{1}{1} = 1$$

สรุปสมการที่ใช้ในการคำนวณวงจรกรองทั้งสองแบบ

วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

$$\omega_c = \frac{1}{RC}$$

$$f = \frac{\omega_c}{2\pi}$$

วงจรกรองความถี่สูงผ่าน

$$\omega_c = \frac{1}{RC}$$

$$f = \frac{\omega_c}{2\pi}$$

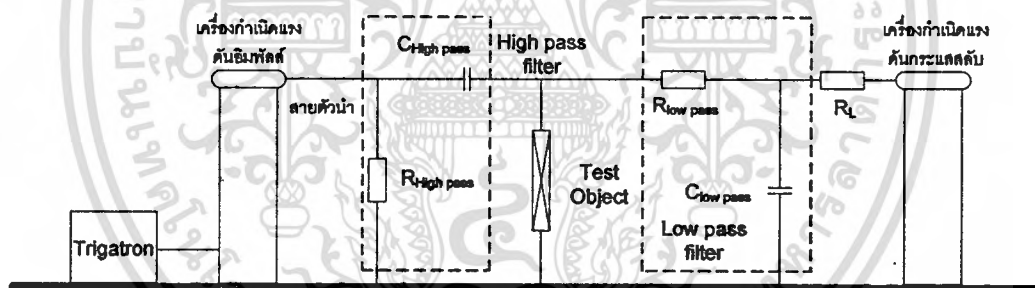
บทที่ 3

การออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ

การทดสอบอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงด้วยแรงดันเพียงชนิดเดียว เช่น แรงดันกระแสสลับ หรือ แรงดันอิมพัลส์เป็นต้น จะไม่สอดคล้องกับสภาวะที่เกิดขึ้นจริงในระบบขณะที่ใช้งาน อุปกรณ์ไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์ทางด้านไฟฟ้าแรงสูงในสภาวะปกติจะได้รับแรงดันกระแสสลับที่พิคคอยู่ตลอดเวลา เมื่อเกิดแรงดันอิมพัลส์ขึ้นจะทับซ้อนอยู่บนแรงดันกระแสสลับ พฤติกรรม ความเครียดสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนฉนวนจึงอาจจะมีผลแตกต่างกันกับการได้รับแรงดันเพียงชนิดเดียว เพื่อให้สามารถทดสอบการฉนวนได้ใกล้เคียงกับสภาวะจริง ๆ ของการใช้งาน อุปกรณ์ไฟฟ้า จึงได้มีการสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ (Super impose) ขึ้นมาเพื่อจะสามารถทำการทดสอบได้เหมือนจริงมากที่สุด

เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับจะประกอบไปด้วย

1. ชุดกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
2. ชุดกำเนิดแรงดันกระแสสลับ
3. ชุดกรองความถี่

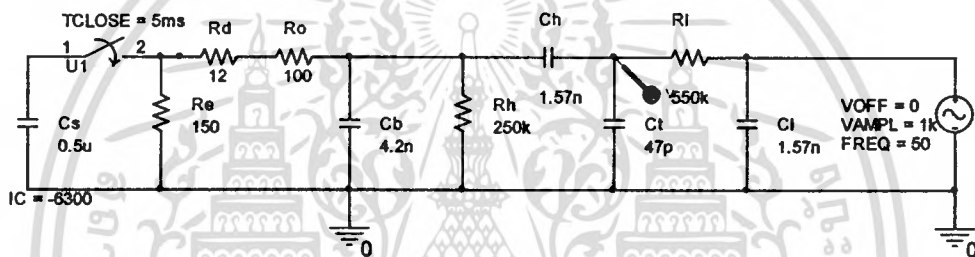


รูปที่ 3-1 วงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ

เพื่อให้สามารถเข้าใจหลักการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ จึงได้ทำการจำลองวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3-2 โดยกำหนดให้สวิตช์ปิดวงจรที่เวลา 5 mS สำหรับการเกิดขึ้นของแรงดันอิมพัลส์ที่มุม 90° ของแรงดันกระแสสลับ และให้สวิตช์ปิดวงจรที่เวลา 15 mS สำหรับการเกิดขึ้นของแรงดันอิมพัลส์ที่มุม 180° ของแรงดันกระแสสลับ

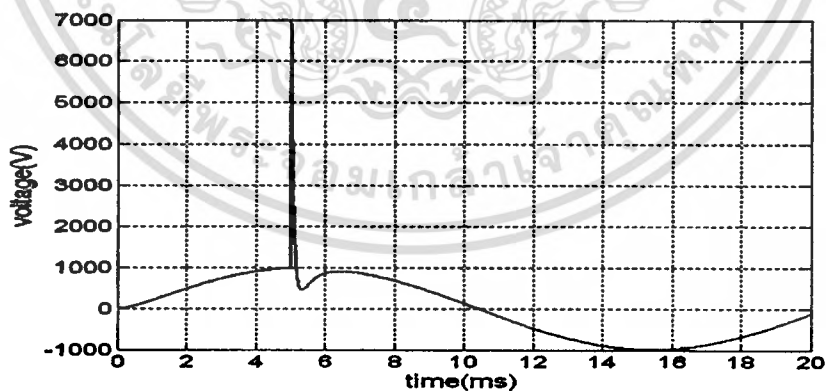
การจำลองวงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ ได้ใช้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

- ค่ายอดแรงดันอัดประจุ	6	kV
- ตัวเก็บประจุ C_s	0.5	μF
- ตัวเก็บประจุ C_b	4.2	nF
- ตัวเก็บประจุ C_h	1.57	nF
- ตัวเก็บประจุ C_L	0.157	nF
- ตัวเก็บประจุ C_t	47	pF
- ความต้านทาน R_d	12	Ω
- ความต้านทาน R_o	150	Ω
- ความต้านทาน R_h	250	k Ω
- ความต้านทาน R_L	550	k Ω
- ความต้านทาน R_o	100	Ω

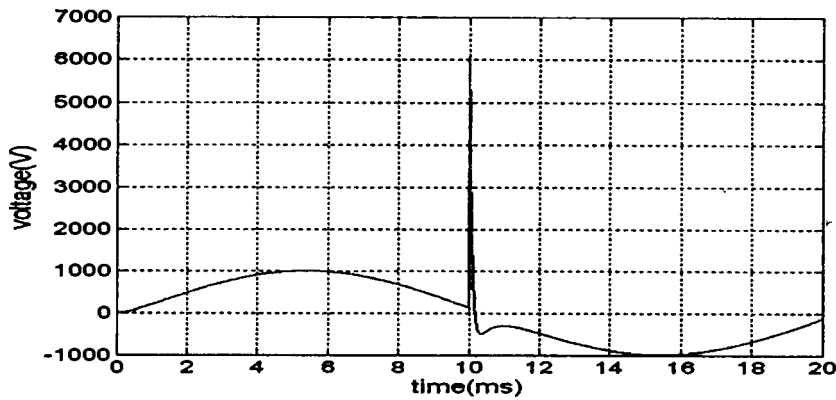


รูปที่ 3-2 วงจรที่ใช้ในการจำลองกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ

ผลการจำลองด้วยโปรแกรม Orcad แสดงได้ดังรูปที่ 3-3



(ก) การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ แรงดันอิมพัลส์ที่เกิดที่มุม 90° ของแรงดันกระแสสลับ



(ข) การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ แรงดันอิมพัลส์เกิดที่มุม 180° ของแรงดันกระแสสลับ

รูปที่3-3 ผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม

ซึ่งรายละเอียดต่างๆของส่วนประกอบในวงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับจริงที่ได้นำมาทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้นประกอบด้วย

3.1 ชุดกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

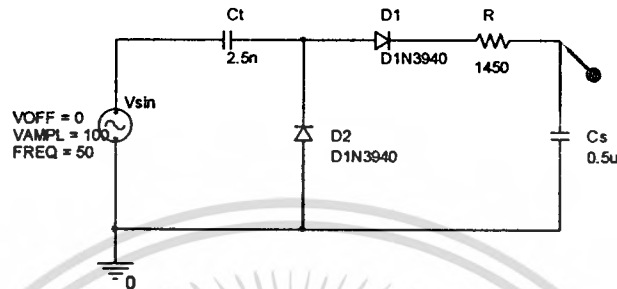
วงจรชุดกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ประกอบด้วย วงจรกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรง วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์ และโวลต์เทจติไวเคอร์ ซึ่งชุดกำเนิดแรงดันอิมพัลส์สามารถใช้ได้จากห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่3-4



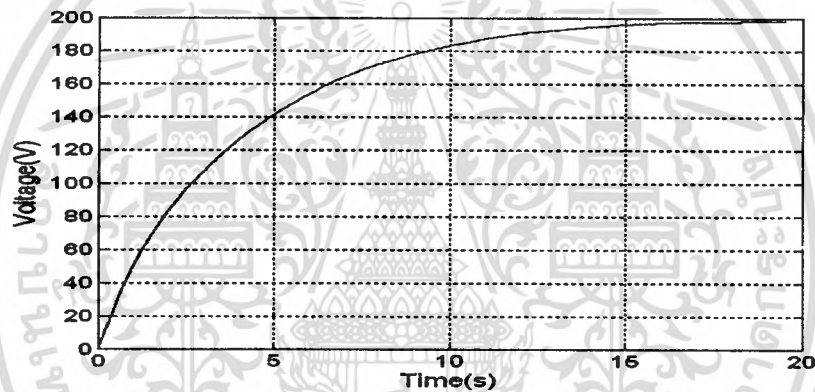
รูปที่3-4 ชุดกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 1) ชุดกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรง
2) ชุดสร้างรูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ 3) อิมพัลส์โวลต์เทจติไวเคอร์

3.1.1 ชุดกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรง

ชุดกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรงเป็นชุดที่ป้อนแรงดันอัดประจุให้กับตัวเก็บประจุ C_s โดยชุดกำเนิดแรงดันสูงกระแสตรงจะรับแรงดันจากหม้อแปลง แล้วทำการยกระดับแรงดันขึ้นเป็น 2 เท่าพร้อมกับทำการแปลงแรงดันจากแรงดันกระแสสลับไปเป็นแรงดันกระแสตรง หม้อแปลงที่ใช้เป็นหม้อแปลงแรงดันขึ้นพิกัดแรงดัน 220/48000 V, 600 VA สำหรับวงจร Doubler circuit มีส่วนประกอบดังรูปที่ 3-5



รูปที่3-5 การจำลองวงจรทวีแรงดันด้วยโปรแกรม Orcad



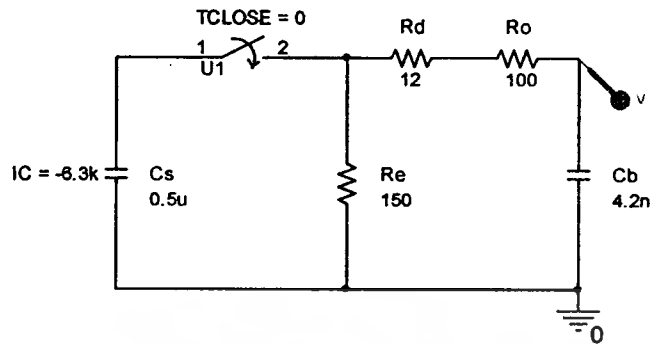
รูปที่3-6 แรงดันที่ตัวเก็บประจุ C_s ผลการจำลองวงจรทวีแรงดันด้วยโปรแกรม Orcad เมื่อกำหนดให้แรงดันของหม้อแปลงมีค่า 100 V

3.1.2 ชุดสร้างแรงดันอิมพัลส์

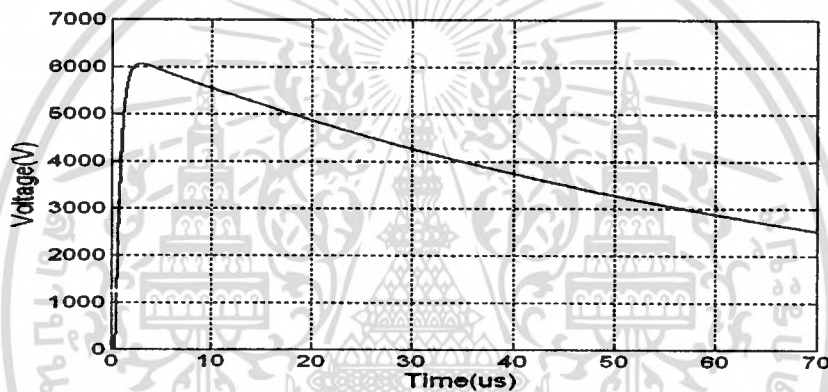
ชุดสร้างแรงดันอิมพัลส์ทำหน้าที่สร้างรูปคลื่นของแรงดันอิมพัลส์ให้ได้ตรงตามมาตรฐานที่กำหนดประกอบด้วย

- ตัวเก็บประจุ C_s มีขนาดพิกัดแรงดัน 100 kVDC มีค่าความเก็บประจุ 0.5 μ F
- ความต้านทาน R_s มีขนาด 150 Ω
- ความต้านทาน R_d มีขนาด 12 Ω
- ความต้านทาน R_o มีขนาด 100 Ω

การจำลองการทำงานของชุดสร้างแรงดันอิมพัลส์แสดงดังรูปที่ 3 – 7 และผลการจำลองแสดงดังรูปที่ 3 – 8 โดยกำหนดให้แรงดันของ Cs มีค่า -6kV



รูปที่3-7 การจำลองวงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ด้วยโปรแกรม Orcad



รูปที่3-8 ผลการจำลองวงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ด้วยโปรแกรม Orcad

3.1.3 ชุดโวลต์เตจดีไวเดอร์

ชุดโวลต์เตจดีไวเดอร์ใช้สำหรับวัดแรงดันอิมพัลส์ ซึ่งโวลต์เตจดีไวเดอร์เป็นแบบคาปาซิเตอร์ใช้ความต้านทานหน้าวงภายนอกและให้ตัวลวดทองต่อร่วมอยู่กับโวลต์เตจดีไวเดอร์ด้วย มีอัตราลดทอนของระบบวัดเท่ากับ 26530 : 1

3.2 วงจรกำเนิดแรงดันสูงกระแสสลับ

ชุดกำเนิดแรงดันสูงกระแสสลับใช้สำหรับจ่ายแรงดันกระแสสลับให้กับอุปกรณ์ที่จะทำการทดสอบวงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์กับช้อนบนแรงดันกระแสสลับเนื่องจากอุปกรณ์ที่ทดสอบนั้นในสภาวะปกติจะต้องรับแรงดันกระแสสลับอยู่ตลอดเวลา ชุดกำเนิดแรงดันสูงมีพิกัด 220 V / 100 kV, 50 Hz



รูปที่ 3-9 ชุดกำเนิดแรงดันสูงกระแสลับ

3.3 ชุดกรองความถี่ต่ำผ่านและชุดกรองความถี่สูงผ่าน[4]

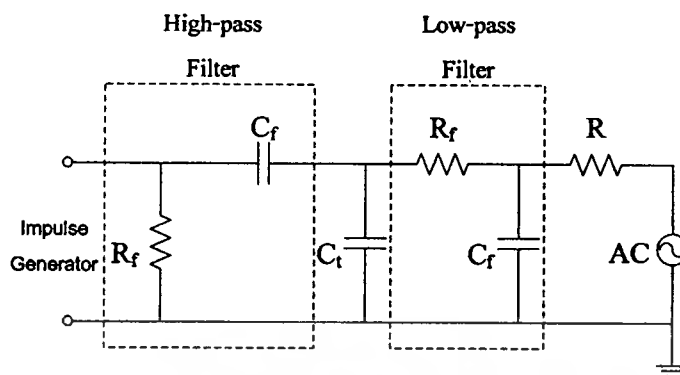
วงจรกรองผ่านความถี่ต่ำและกรองผ่านความถี่สูงที่ออกแบบวงจรแบบความต้านทานกับตัวเก็บประจุลำดับที่ 1 (First order) โดยกำหนดค่าความถี่ตัดข้ามค่าต่ำๆมีค่าเป็นไปตามสมการ

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_f C_f} \quad (3-1)$$

คุณสมบัติของวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำคือจะยอมให้ความถี่ที่มีค่าไม่เกินความถี่ตัด (Cut-off frequency) ผ่านวงจรไปได้ก็คือเมื่อความถี่มีค่าสูงขึ้นถึงค่าความถี่ตัด ความถี่นั้นจะไม่สามารถผ่านวงจรไปได้ โดยจะถูกลดทอนลงเรื่อยๆตามอัตราความถี่ที่สูงขึ้น ซึ่งได้ออกแบบโดยใช้ตัวต้านทานมาทำการต่ออนุกรมกันจำนวน 250 ตัว แต่ละตัวมีค่าความต้านทานเท่ากับ 2.2 k Ω ซึ่งจะได้ค่าความต้านทานรวมทั้งหมดเท่ากับ 550 k Ω และใช้ตัวเก็บประจุมาทำการต่ออนุกรมกันจำนวน 140 ตัว แต่ละตัวมีค่าเก็บประจุเท่ากับ 22 nF ซึ่งจะได้ค่าเก็บประจุรวมเท่ากับ 0.157 nF และเมื่อทำการคำนวณจากสมการที่ 3-1 จะได้ความถี่ตัดมีค่า 1843 Hz

คุณสมบัติของวงจรกรองผ่านความถี่สูงคือจะยอมให้ความถี่มีค่าเกินความถี่ตัด (Cut-off frequency) ผ่านวงจรไปได้แต่เมื่อความถี่ค่าลดลงถึงความถี่ตัด ความถี่นั้นจะไม่สามารถผ่านวงจรไปได้โดยจะถูกลดทอนลงเรื่อยๆตามอัตราความถี่ที่ลดลง ซึ่งได้ออกแบบโดยใช้ตัวต้านทานมาทำการต่ออนุกรมกันจำนวน 250 ตัว แต่ละตัวมีค่าความต้านทานเท่ากับ 1 k Ω ซึ่งจะได้ค่าความต้านทานรวมทั้งหมดเท่ากับ 250 k Ω และใช้ตัวเก็บประจุมาทำการต่ออนุกรมกันจำนวน 140 ตัว แต่ละตัวมีค่าเก็บประจุเท่ากับ 220 nF ซึ่งจะได้ค่าเก็บประจุรวมเท่ากับ 1.57 nF และเมื่อทำการคำนวณจากสมการที่ 3-1 จะได้ความถี่ตัดมีค่า 405 Hz แสดงดังวงจร

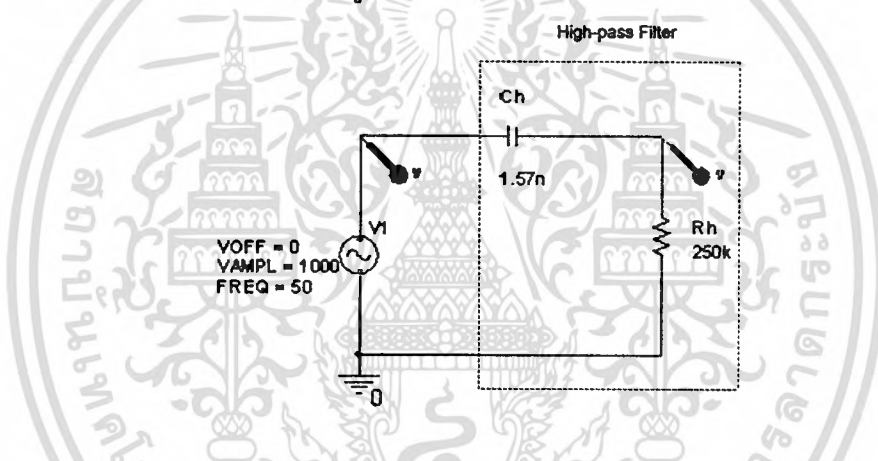
ตามรูปที่ 3-10 ซึ่งสามารถป้องกันแรงดันของแหล่งจ่ายทั้งสองด้านที่จะตกคร่อมซึ่งกันและกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 3-10 ชุดกรองผ่านความถี่ต่ำและชุดกรองผ่านความถี่สูง[4]

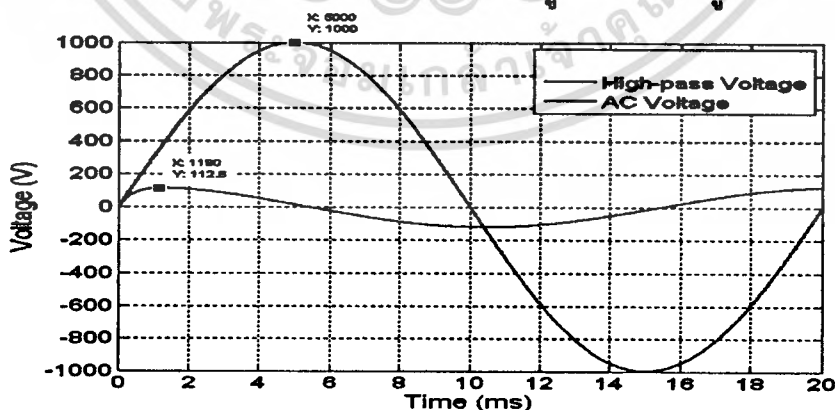
การจำลองวงจรกรองด้วยโปรแกรม Orcad

- วงจรกรองความถี่สูงผ่าน



รูปที่3-11 การจำลองวงจรกรองความถี่สูงผ่านด้วยโปรแกรม Orcad

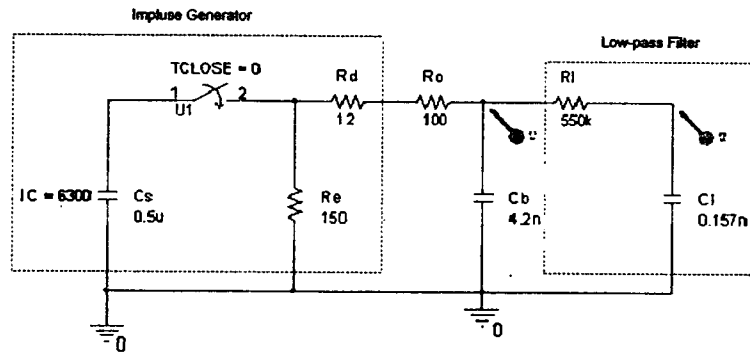
ผลจำลองการทำงานของวงจรวงจรกรองความถี่สูงผ่านแสดงดังรูป 3 -12



รูปที่3-12 ผลจำลองการทำงานของวงจรวงจรกรองความถี่สูงผ่าน

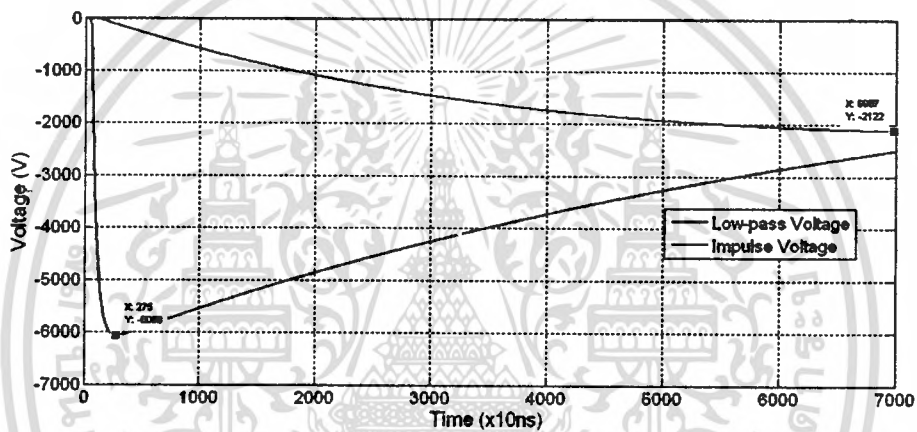
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน



รูปที่3-13 การจำลองวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านด้วยโปรแกรม Orcad

ผลจำลองการทำงานของวงจรกรองความถี่สูงผ่านแสดงดังรูป 3 - 14



รูปที่3-14 ผลจำลองการทำงานของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

3.4 การออกแบบสร้างชุด Trigratron[5]

แรงดันอิมพัลส์ที่ถูกสร้างขึ้นโดยเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์นั้น ควรจะต้องกำหนดหรือควบคุมได้ ทั้งนี้เพื่อให้แรงดันที่ป้อนเข้าไปที่วัสดุทดสอบหลายครั้งมีค่าคงที่ การควบคุมแรงดันนั้นสามารถทำได้โดยการใช้ชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ เป็นตัวช่วยในการเริ่มเกิดคายประจุที่สปาร์กแกปของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยบังคับจากระยะไกล ซึ่งการใช้ชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ (Trigratron) เป็นตัวจุดชนวนนั้น จะทำให้เกิดการสปาร์กตามที่กำหนด และช่วยลดการกระจายแรงดันจ่ายออก นั่นคือจะทำให้แรงดันทดสอบมีค่าที่ต้องการ

วงจรชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ที่ได้ทำการออกแบบ ประกอบด้วย 3 วงจรหลัก คือ วงจรกำเนิดแรงดันสูง วงจรสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ และวงจรทวีแรงดัน

3.4.1 การออกแบบวงจรกำเนิดแรงดันสูง

วงจรกำเนิดแรงดันสูง ดังรูปที่ 3-15 จะประกอบด้วย แกนเหล็กเฟอไรต์ความถี่สูง ตัวเก็บประจุ และตัวเหนี่ยวนำซึ่งเป็นขดลวด 2 ชุด คือขดลวดป้อนแรงดันเข้าเป็นด้านแรงดันต่ำกว่าอีกด้านหนึ่งที่เป็นขดลวดจ่ายแรงดันออกซึ่งเป็นขดลวดแรงสูง ขดลวดทั้งสองถ่ายถอดพลังงานทางสนามแม่เหล็กผ่านทางแกนเฟอไรต์ ขดลวดทางด้านป้อนแรงดันเข้า L_1 จะต่อขนานกับตัวเก็บประจุ C_1 ทางด้านแรงสูงจะมีขดลวดแรงสูง L_2 จากรูปที่ 3-15 เมื่อ C_1 ได้รับการอัดประจุจากวงจรทวีแรงดันจนได้แรงดันตามต้องการแล้ว และเมื่อได้รับคำสั่งจากชุดวงจรสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นชุดสั่งให้เริ่มการทำงาน พลังงานที่เก็บไว้ในตัวเก็บประจุ C_1 ในรูปสนามไฟฟ้า ก็จะถ่ายเทประจุให้กับขดลวด L_1 และขดลวด L_1 จะเก็บพลังงานในรูปสนามแม่เหล็กจนเต็มที่แล้ว L_1 ก็จะถ่ายทอดพลังงานกลับมาให้ตัวเก็บประจุ C_1 ใหม่ การถ่ายทอดพลังงานไปมาระหว่าง C_1 กับ L_1 จึงทำให้เกิดการแกว่ง(Oscillation)ขึ้น จะมีรูปคลื่นเป็นขบวนหน่วง(Damped train wave) ซึ่งกระแสดจากการแกว่ง (Oscillation) ทางด้านแรงต่ำจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นทางด้านแรงสูง

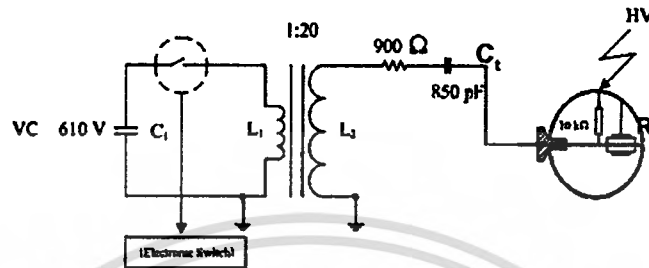
ชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์(trigatron) สามารถนำไปใช้ติดตั้งได้ทั้งสปาร์กแกปด้านแรงสูงและด้านกราวด์ของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ซึ่งข้อแตกต่างระหว่างการมีชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์อยู่ที่ศักย์ไฟฟ้าต่างกันคือ

- กรณีที่เมื่อต่อชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์เข้าที่ด้านแรงสูง ต้องมีความต้านทาน R_s ดังรูปที่ 3-15 ก. ความต้านทาน R_s จะมีค่าเท่ากับ $10 \text{ k}\Omega$ เพื่อใช้ในการชาร์จตัวเก็บประจุ C_1 (trigatron capacitor) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 850 pF ซึ่งจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าของทริกาทรอนอิเล็กทรอนิกส์มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับช่องสปาร์กแกปทรงกลม ทำให้สามารถควบคุมการสปาร์กที่ช่องสปาร์กอากาศช่วยได้ แต่ถ้าไม่มีความต้านทาน R_s พอมมีการชาร์จตัวเก็บประจุ C_1 (ตัวเก็บประจุอิมพัลส์) จนสูงมากพอ จะทำให้เกิดการสปาร์กที่ช่องสปาร์กอากาศช่วยเอง โดยที่เรายังไม่ได้เริ่มสั่งการทำงานของชุดทริกาทรอน และแรงดันชาร์จยังไม่ถึงค่าที่ต้องการ (U_0)

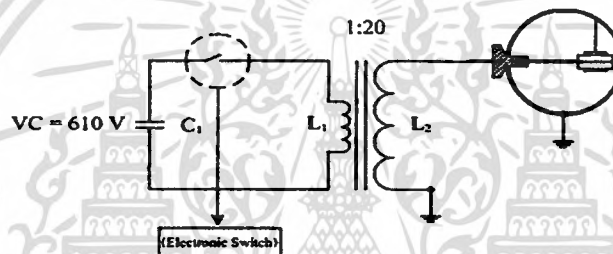
- กรณีเมื่อต่อชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์เข้าที่ด้านกราวด์ ดังรูปที่ 3-15 ข. ไม่จำเป็นต้องมีความต้านทาน R_s และตัวเก็บประจุ C_1 ทั้งนี้เนื่องจากก่อนการสั่งชุดทริกาทรอนให้ทำงาน สปาร์กแกปทรงกลมจะมีศักย์ไฟฟ้าเป็นศูนย์โวลต์ แต่เมื่อเราสั่งให้ชุดทริกาทรอนทำงาน จะทำให้มีค่าแรงดันสัญญาณพัลส์ของชุดทริกาทรอนเท่ากับ 12 kV ทำให้มีความต่างศักย์เกิดขึ้นระหว่างทริกาทรอนอิเล็กทรอนิกส์และสปาร์กแกปทรงกลม จึงสามารถทำให้มีการสปาร์กที่ช่องอากาศช่วยได้ แต่จะต้องมีการกลับขั้วสัญญาณพัลส์ของชุดทริกาทรอนเพื่อทำให้เกิดการโอโอในเซชันระหว่างสปาร์กแกปทรงกลมทั้ง 2 ด้าน กล่าวคือ ถ้ายังมีแรงดันอิมพัลส์ขั้วบวก จะต้องกลับขั้วสัญญาณพัลส์ของชุดทริกาทรอนเป็นขั้วลบ

และถ้ายังแรงดันอิมพัลส์ชั่วพลบ จะต้องกลับชั่วสัญญาณพัลส์ของซุคทริกาคตรอนให้เป็นชั่วบวกเช่นกัน

การกลับชั่วสัญญาณพัลส์ของซุคทริกาคตรอน ทำได้โดยการพันขดลวด L_1 จำนวน 2 ขดให้สวนทางกัน จะทำให้เส้นแรงแม่เหล็กวิ่งสวนทางกัน จากนั้นเส้นทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่ต่างกัน จะทำให้สามารถเลือกต่อเข้ากับขดลวด L_1 ขดใดขดหนึ่งเพื่อเลือกที่จะให้สัญญาณพัลส์เป็นชั่วบวกหรือชั่วลบ



ก) เมื่อต่อซุคทริกาคตรอนเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์เข้าที่ด้านแรงสูง



ข) เมื่อต่อซุคทริกาคตรอนเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์เข้าที่ด้านกราวด์
รูปที่ 3-15 วงจรกำเนิดแรงดันสูง

ในขั้นต้นจะกำหนดคุณสมบัติของซุคทริกาคตรอนเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขในการออกแบบวงจรกำเนิดแรงดันสูงของซุคทริกาคตรอนเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ ซึ่งจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- ค่ายอดแรงดันของสัญญาณพัลส์	12	kV
- ช่วง 1 คาบเวลาของสัญญาณพัลส์	1	μ s
- ตัวเก็บประจุพลังงาน C_1	2	μ F
- แรงดันอัดประจุ C_1	610	V
- อัตราส่วนหม้อแปลงประมาณ	1:20	

แรงดันที่เกิดขึ้นนั้นจะต้องมีหน้าคลื่นที่ไวพอ โดยเลือกที่ 250 ns ซึ่ง 1 คาบเวลาการแกว่งเป็น 1 μ s ของแรงดันไฟฟ้าระหว่างตัวเก็บประจุ C_1 และตัวเหนี่ยวนำ L_1 ซึ่งเลือกค่า $C_1 = 2 \mu$ F สามารถคำนวณค่า L_1 ได้ตามสมการที่ 3-2

$$L_1 = \frac{1}{C_1} \left(\frac{T}{2\pi} \right)^2 \quad (3-2)$$

ได้ค่า $L_1 = 12.66 \text{ nH}$ โดยเลือกอัตราส่วนหม้อแปลง ประมาณ 1:20 เนื่องจากวงจรทวิแรงดันที่แปลงไฟด้านขาเข้าประมาณ 610 V และต้องการแรงดันออกประมาณ 12 kV ฉะนั้นจึงกำหนดให้จำนวนรอบของขดลวดด้านแรงดันต่ำเท่ากับ 1 รอบ จำนวนรอบด้านแรงดันสูงอยู่ที่ 30 รอบ ผลการทดสอบจริงจะให้ค่ายอครูปคลื่นเต็ม ดังแสดงผลในส่วนของการทดลอง แต่ในความเป็นจริงแล้วแรงดันที่ใช้ในการเกิดสปาร์กที่แกปช่วยจะยังไม่ทันถึง 12 kV นั่นคือเวลาที่ใช้ในการสปาร์กแกปนั้นจะไม่ถึง 1 คาบด้วยเช่นกัน

จากสมการ
$$L = \frac{N^2 \mu A_c}{l_c} \quad (3-3)$$

L = ค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า
 N = จำนวนรอบขดลวด
 μ = ค่าความซึมซาบแม่เหล็กของแกนเหล็ก
 A_c = พื้นที่หน้าตัดของแกนเหล็ก
 l_c = ความยาวเฉลี่ยของแกนเหล็ก

กำหนด
$$K = \frac{\mu A_c}{l_c} \quad (3-4)$$

ให้ K เป็นค่าคงที่ เพราะฉะนั้น
$$L \propto KN^2 \quad (3-5)$$

จากสมการที่ (3-5) จะเห็นว่าค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าจะแปรผันตรงกับกำลังสองของจำนวนรอบขดลวด ดังนั้น จากค่า $L_1 = 12.66 \text{ nH}$ ที่จำนวนรอบด้านแรงต่ำ 1 รอบ และเมื่อเทียบกับจำนวนรอบด้านแรงสูงที่ 30 รอบ จะได้ค่า $L_2 = 11.4 \text{ } \mu\text{H}$

3.4.2 การออกแบบวงจรชุดสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์

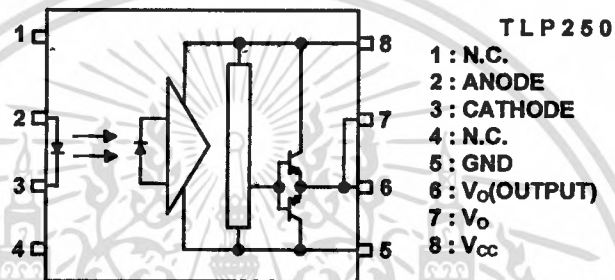
รีเลย์ในวงจรชุดสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ จะทำหน้าที่เป็นสวิทช์เปิด-ปิดวงจร โดยจะต้องได้รับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ก่อนจึงจะทำงาน และเมื่อรีเลย์ทำการปิดวงจรจะทำให้มีการถ่ายเทพลังงานจากตัวเก็บประจุที่อัดประจุไฟฟ้าไปยังตัวเหนี่ยวนำผ่านทางหม้อแปลงความถี่สูง

การควบคุมการเปิด-ปิดวงจรของรีเลย์ จะใช้หลักการควบคุมแรงดันที่จ่ายให้กับขดลวดเหนี่ยวนำของรีเลย์ ทำให้เกิดแรงจากสนามแม่เหล็กไปกระทำกับหน้าสัมผัส

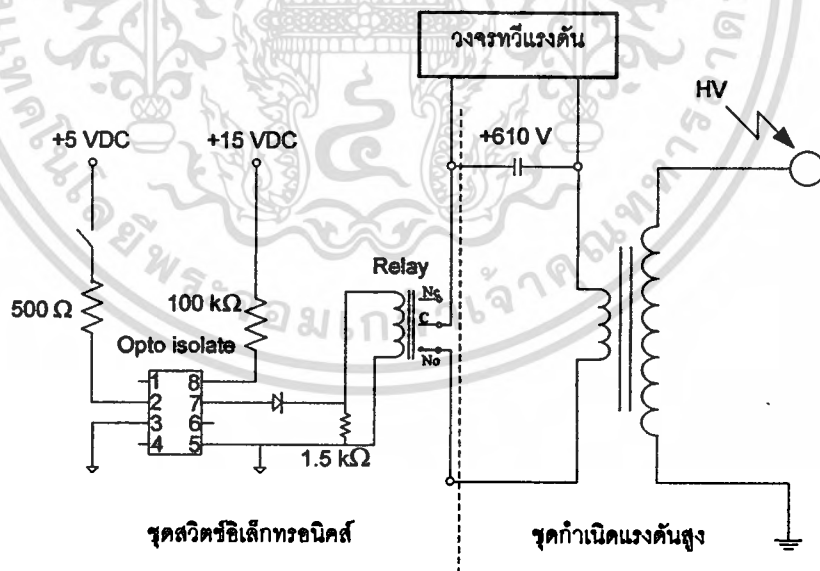
โดยจะใช้วงจรแยกทางแสง (Opto isolate) ในการควบคุมรีเลย์ซึ่งจะใช้ IC เบอร์ TLP250 เป็นตัวสร้างพัลส์ไปที่ขาขดลวดเหนี่ยวนำ ซึ่งมีการทำงานดังนี้ เมื่อไม่มีกระแสไบอัสหลอด LED ในขาที่ 2 และขาที่ 3 จะทำให้แรงดันระหว่างขาที่ 7 กับขาที่ 5 มีค่าเป็น 0 V

แต่เมื่อมีกระแสไบอัสเข้ามาที่ขา 2 และ ขาที่ 3 จนทำให้หลอด LED เปล่งแสง จะทำให้ขาที่ 7 และขาที่ 8 เสมือนลัดวงจรถึงกัน ทำให้มีแรงดันตกคร่อมระหว่างขาที่ 7 กับขาที่ 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันตกคร่อมระหว่างขาที่ 8 กับขาที่ 5 การทำงานของ IC เบอร์ TLP250 จึงเสมือนเป็นแหล่งจ่ายแรงดันที่ควบคุมได้ คุณสมบัติทางไฟฟ้าแสดงในตารางที่ 3-1 ความต้านทาน 500 Ω จะจำกัดกระแสไบอัสของหลอด LED ไม่ให้สูงเกินไป ค่าความต้านทาน 100 Ω เป็นค่าความต้านทานขาออกเพื่อช่วยให้แรงดันตกคร่อมระหว่างขดลวดเหนี่ยวนำมีค่าสูงพอที่จะสร้างสนามแม่เหล็กให้มีแรงพอที่จะทำให้หน้าสัมผัสทำงานได้ วงจรชุดสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ ดังรูปที่ 3-17

Pin Configuration (top view)



รูปที่ 3-16 วงจรภายใน IC เบอร์ TLP250



รูปที่ 3-17 ชุดสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมการทำเนตแรงดันสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

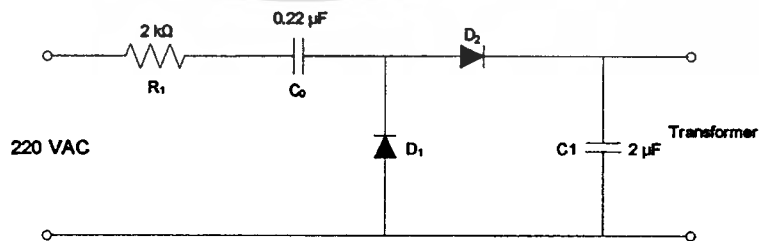
CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN	TYP.	MAX	UNIT	
Input Forward Voltage	V_f	—	$I_f = 10 \text{ mA}, T_a = 25^\circ\text{C}$	—	1.8	1.8	V	
Temperature Coefficient of Forward Voltage	$\Delta V_f / \Delta T_a$	—	$I_f = 10 \text{ mA}$	—	-2.0	—	mV/°C	
Input Reverse Current	I_R	—	$V_R = 5 \text{ V}, T_a = 25^\circ\text{C}$	—	—	10	μA	
Input Capacitance	C_T	—	$V = 0, f = 1 \text{ MHz}, T_a = 25^\circ\text{C}$	—	45	250	pF	
Output Current	'H' Level	I_{OH}	2 $V_{CC} = 30 \text{ V}$ (*1)	$I_f = 10 \text{ mA}$ $V_{R+} = 4 \text{ V}$	-1.0	-1.5	—	A
	'L' Level	I_{OL}			1	$I_f = 0$ $V_{R+} = 2.5 \text{ V}$	1.0	
Output Voltage	'H' Level	V_O	3 $V_{CC1} = +15 \text{ V}$ $V_{EE1} = -15 \text{ V}$ $R_L = 200\Omega, I_f = 5 \text{ mA}$	11	12.8	—	V	
	'L' Level	V_{OL}		4 $V_{CC1} = +15 \text{ V}$ $V_{EE1} = -15 \text{ V}$ $R_L = 200\Omega, V_f = 0.8 \text{ V}$	—	-14.2		-12.5
Supply Current	'H' Level	I_{CO}	— $V_{CC} = 30 \text{ V}$	$I_f = 10 \text{ mA}$ $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	7	—	mA
	'L' Level	I_{CC}			—	—	11	
Threshold Input Current	L→H	I_{IH}	— $V_{CC1} = +15 \text{ V}$ $V_{EE1} = -15 \text{ V}$ $R_L = 200\Omega, V_O > 0 \text{ V}$	$I_f = 0 \text{ mA}$ $T_a = 25^\circ\text{C}$	—	1.2	5	mA
	H→L	I_{IL}			—	—	—	
Threshold Input Voltage	H→L	V_{RH}	— $V_{CC1} = +15 \text{ V}$ $V_{EE1} = -15 \text{ V}$ $R_L = 200\Omega, V_O < 0 \text{ V}$	0.8	—	—	V	
Supply Voltage	V_{CC}	—	—	10	—	35	V	
Capacitance (Input-Output)	C_S	—	$V_S = 0, f = 1 \text{ MHz}, T_a = 25^\circ\text{C}$	—	1.0	2.0	pF	
Resistance (Input-Output)	R_S	—	$V_S = 500 \text{ V}, T_a = 25^\circ\text{C}$ R.H. $\leq 80\%$	1×10^{-3}	10^4	—	Ω	

(*): All typical values are at $T_a = 25^\circ\text{C}$
 (*1): Duration of IO time $\leq 50 \mu\text{s}$

ตารางที่ 3-1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ IC เบอร์ TLP250

3.4.3 การออกแบบวงจรตีแรงดัน

วงจรในรูปที่ 3-18 ซึ่งประกอบไปด้วยไดโอด D_1 และตัวเก็บประจุ C_0 จะช่วยให้สามารถสร้างแรงดันได้สูงขึ้นเป็น 2 เท่าของค่ายอดแรงดันค่านำจ่ายออกของหม้อแปลง โดยไดโอดจะต้องทนแรงดันได้อย่างน้อย 2 เท่าของค่ายอดแรงดัน ฉะนั้นถ้าเอาแรงดันนี้ไปผ่านเรกติฟายเออร์ ที่มีไดโอด D_2 และตัวเก็บประจอรองกระแส C_1 ก็จะทำให้ได้แรงดันกระแสตรงสูงเป็น 2 เท่าของแรงดันค่ายอดของหม้อแปลงค่านำจ่ายกำลังออก โดยตัวเก็บประจอรองกระแส C_1 ในวงจรตีแรงดันจะใช้เป็นตัวเก็บประจุ C_1 ในวงจรกำเนิดแรงดันสูง ดังแสดงในรูปที่ 3-17

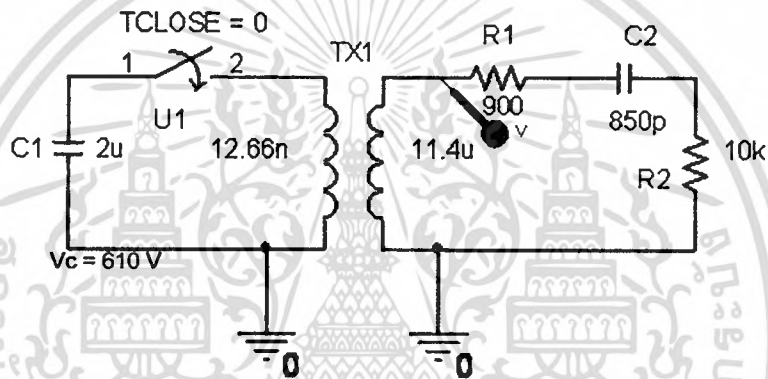


รูปที่ 3-18 วงจรตีแรงดัน

- ผลการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

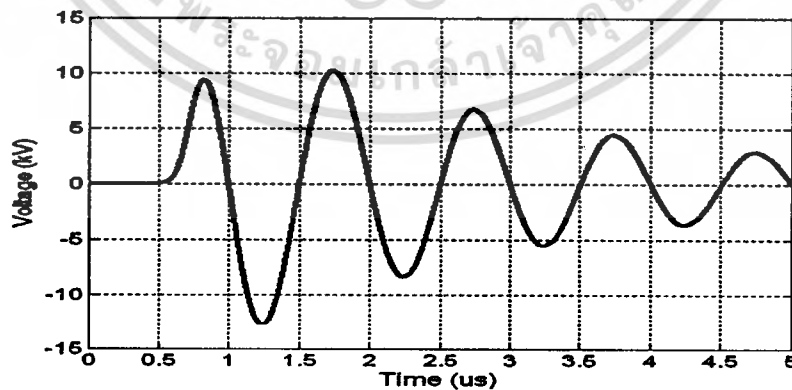
จากข้อมูลเบื้องต้นของการออกแบบชุดทรานซิสเตอร์นั้น เมื่อนำมาจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 3-19 จะได้ผลของการจำลองแสดงดังรูปที่ 3-20 ข้อมูลของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองด้วยโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์[5]

- ตัวเก็บประจุพลังงาน $C_1 = 2 \mu\text{F}$
- แรงดันอัดประจุ $C_1 = 610 \text{ VDC}$
- switch time close = 0 s
- ค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าด้านแรงต่ำ $L_1 = 12.66 \text{ nH}$
- ค่าความเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าด้านแรงสูง $L_2 = 11.4 \mu\text{H}$
- ค่าความต้านทานด้านแรงดันสูง $R_1 = 900 \Omega$ และ $R_2 = 10 \text{ k}\Omega$
- ค่าเก็บประจุ $C_2 = 850 \text{ pF}$



รูปที่ 3-19 วงจรที่ใช้ในการจำลองสร้างสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่บัสชอนบนแรงดันกระแสสลับ

รูปคลื่นสัญญาณเริ่มต้นที่ได้จากการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์



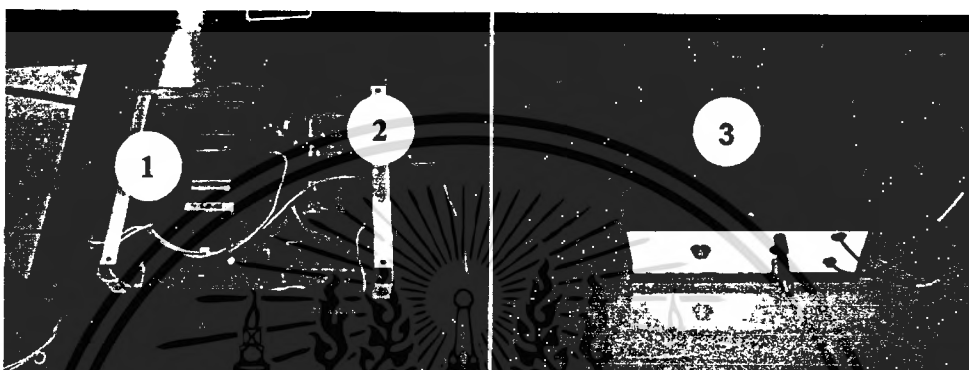
รูปที่ 3-20 ผลของการจำลองรูปคลื่นสัญญาณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3-2 ข้อมูลผลการจำลองรูปคลื่นเต็ม

แรงดันค้ำยอด	12.4 kV
ช่วงเวลาหน้าคลื่น	319 ns
ช่วง 1 คาบเวลา	1 us

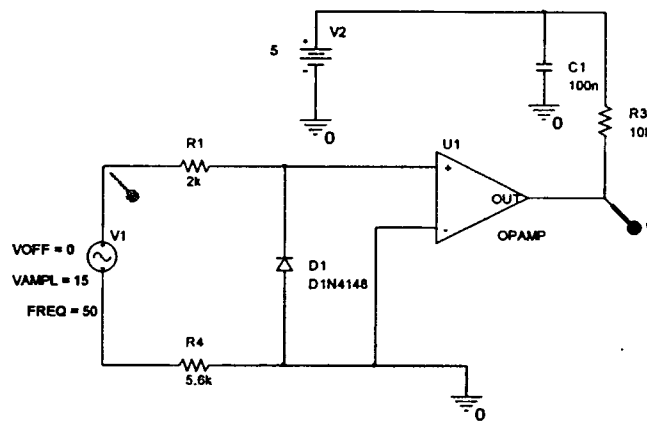
-วงจรกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นที่ได้ออกแบบสร้าง



รูปที่ 3-21 วงจรกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์
1) ชุดวงจรควบคุม 2) ชุดกำเนิดแรงดันสูง 3) ชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นที่สมบูรณ์

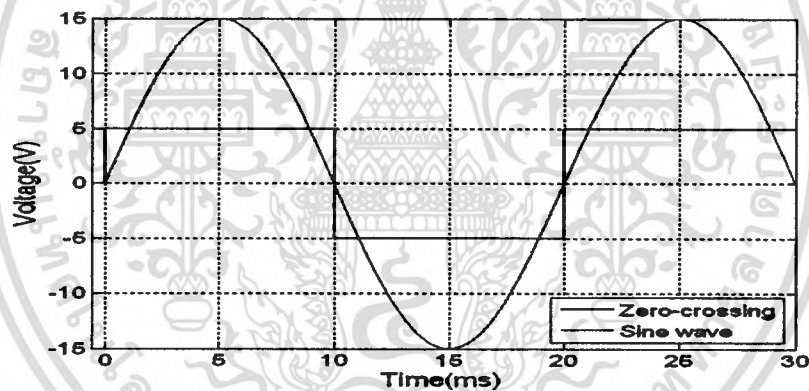
3.4.4 การออกแบบสร้างชุดตรวจจับผ่านศูนย์[6]

เนื่องจากการที่จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถที่จะสั่งให้มีการส่งสัญญาณกระตุ้นการทำงานให้กับชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ โดยสามารถที่จะเลือกมุมได้นั้นจำเป็นจะต้องมีการอ้างอิงมุมของแรงดันกระแสสลับ 220 V ซึ่งมุมที่นำมาทำการอ้างอิงนั้นเป็นมุม 0 องศาและ 180 องศา จึงได้มีการนำวงจรตรวจจับผ่านศูนย์ (Zero-crossing) มาทำการตรวจจับเพื่อเป็นตัวอย่างให้กับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยเมื่อรูปคลื่นแรงดันกระแสสลับ 220 V อยู่ที่มุม 0 องศาจะทำให้ตัวตรวจจับสร้างสัญญาณพัลส์ขึ้นมา และเมื่ออยู่ที่มุม 180 องศาตัวตรวจจับก็จะสร้างสัญญาณพัลส์ขึ้นมาเช่นกันทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รู้ว่าขณะนี้แรงดันอยู่ที่มุมที่เท่าใด โดยมีวงจรดังรูปที่ 3-22



รูปที่ 3-22 แสดงชุดตรวจจับผ่านศูนย์[7]

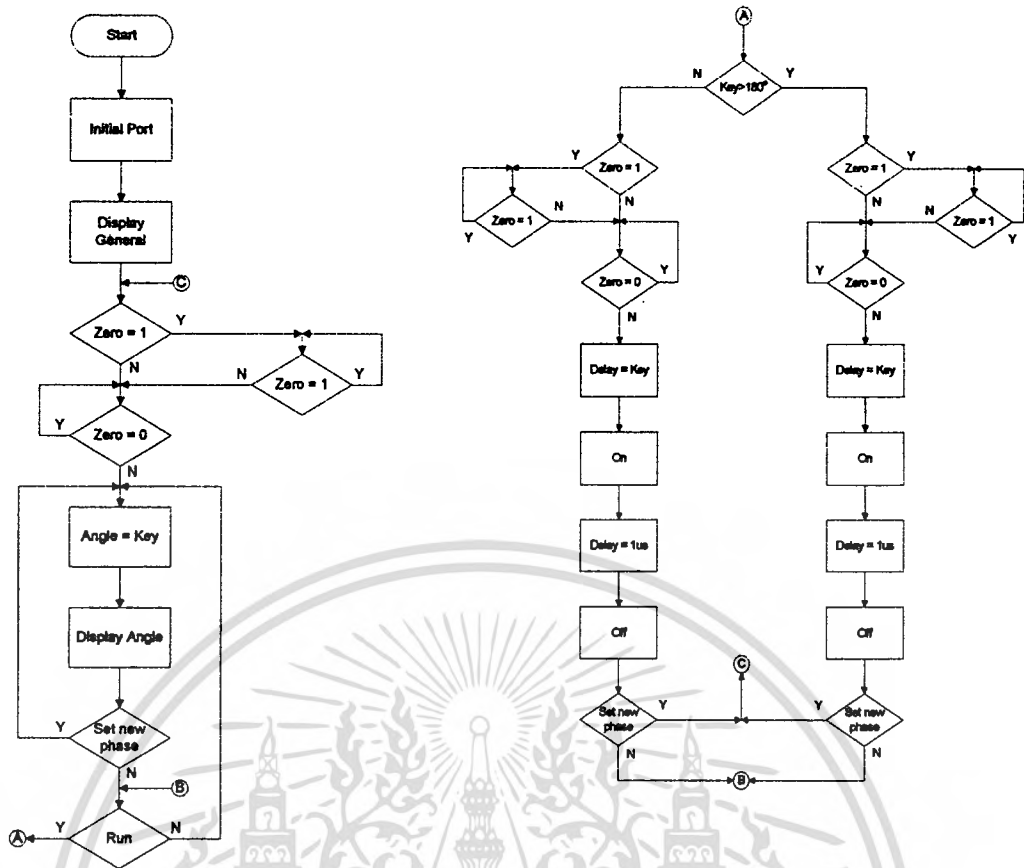
ชุดตรวจจับผ่านศูนย์จะได้รับสัญญาณอินพุตจากหม้อแปลง 220/15 V ในลักษณะไซน์เวฟ โดยผ่านความต้านทาน 2 k Ω และ 5.6 k Ω และสัญญาณดังกล่าวจะถูกเรกติไฟร์ด้วยไดโอดในลักษณะฮาล์ฟบริดจ์ จากนั้นสัญญาณจะถูกปรับขนาดให้เหมาะสมด้วยออปแอมป์ LM393 เพื่อส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลซึ่งรูปคลื่นที่ชุดตรวจจับผ่านศูนย์สร้างออกมามีลักษณะดังรูปที่ 3-23



รูปที่ 3-23 แสดงรูปคลื่นที่ชุดตรวจจับผ่านศูนย์สร้างออกมา

3.4.5 การออกแบบสร้างชุดควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

ในส่วนของชุดควบคุม จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นวงจรควบคุมการทำงาน โดยจะรับค่าจากชุดตรวจจับ ซึ่งเป็นตัวอ้างอิงมุมของแรงดันให้เท่ากับระหว่างมุมของแรงดันกระแสสลับและมุมที่ไมโครต้องการพร้อมกับรับค่าการกวดสวิตช์ควบคุมจากคีย์แพด และส่งข้อมูลออกแสดงผลการทำงานที่แอลซีดีและแอลอีดี ในส่วนของซอฟต์แวร์นั้นสามารถอธิบายตามไฟล์ชาร์ตในรูปที่ 3-24



รูปที่ 3-24 แสดงโฟลว์ชาร์ตของชุดควบคุม

หมายเหตุ คำที่ใช้สื่อความหมายในโฟลว์ชาร์ตอธิบายได้ดังนี้

- Initial Port หมายถึง การกำหนดสถานะของขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์
- Display General หมายถึง การแสดงผลการเริ่มทำงานของโปรแกรม
- Zero หมายถึง สัญญาณ Zero-crossing
- Angle = Key หมายถึง การปรับค่าของมุมเฟสที่ต้องการ (คือ 0,5,10...360) ด้วยการปรับที่คีย์แพด
- Display Angle หมายถึง การแสดงผลมุมที่ได้ทำการเลือกไว้
- Set new phase หมายถึง การเลือกมุมที่ต้องการใหม่
- OFF หมายถึง การหยุดจ่ายสัญญาณที่ขั้วรีเลย์
- ON หมายถึง การจ่ายสัญญาณที่ขั้วรีเลย์
- Delay หมายถึง การรอเวลาให้ไอจีบีทีทำงานค้าง
- RUN หมายถึง การเริ่มโปรแกรมจ่ายสัญญาณให้กับรีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แนวคิดในการประมวลผลของไมโครคอนโทรลเลอร์[6]

ในการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อนำมาควบคุมเฟสเพราะมีความรวดเร็วมากเมื่อเทียบกับความถี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ซึ่งมีค่าเท่ากับ 50 Hz และโดยปกติคริสตัลที่ใช้กับไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีค่าประมาณ 4-20 MHz ซึ่งมากพอในการประมวลผล

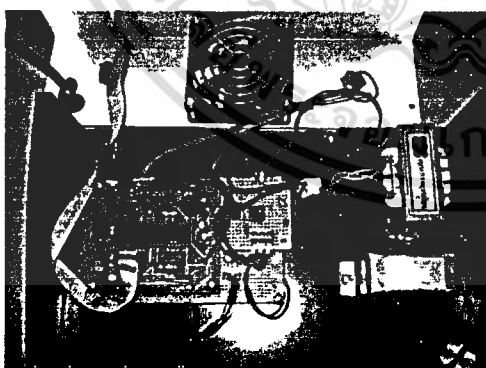
ในการที่จะอ้างอิงความถี่จะใช้ชุดตรวจจับผ่านศูนย์มาเป็นชุดตรวจจับเพื่อส่งสัญญาณไปให้ไมโครรู้ถึงสถานะของเฟสที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน และเมื่อทำการเปลี่ยนความถี่ให้อยู่ในรูปของคาบเวลาจะได้ 20 ms จาก

$$T = \frac{1}{f} \quad (3-6)$$

จากนั้นก็มาพิจารณาช่วงคาบเวลาของความถี่ 50 Hz ซึ่งจะแบ่งออกได้เป็นสองช่วงคือ ช่วงบวกและช่วงลบช่วงละ 10 ms และในการสร้างชุดควบคุมนี้จะต้องทำการปรับมุมได้ตั้งแต่ 0 – 360 องศา เมื่อทำการคำนวณหามุมที่ 1 องศาจะต้องใช้เวลาเท่ากับ 55.555 μ s จากนั้นก็จะทำการเขียนโปรแกรมควบคุมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำงาน ณ ตำแหน่งมุมเฟสที่ต้องการ

ตัวอย่าง เราต้องการควบคุมมุมเฟสที่ตำแหน่ง 90 องศา

1. รับสัญญาณจากชุดตรวจจับผ่านศูนย์ว่าเป็นช่วงบวกหรือลบเพื่อจ่ายต่อการวิเคราะห์จึงสร้างวงจรถ่ายสัญญาณสองลักษณะคือช่วงบวกจะเป็นลอจิก 1 และช่วงลบจะเป็นลอจิก 0
2. นำค่าหน่วยเวลาที่คำนวณได้คือ 4.99995 ms ไปตั้งในโปรแกรมหน่วยเวลา และเมื่อหน่วยเวลาสิ้นสุดไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการสร้างสัญญาณไปสั่งให้รีเลย์ทำงาน

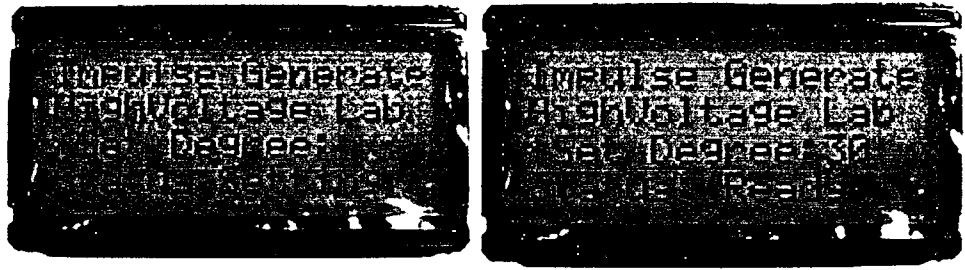


ก)



ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ค)

ง)



จ)

รูปที่ 3-25 ชุดควบคุมมุกริก ก)วงจรมายในชุดควบคุมมุกริก
 ข)ชุดควบคุมมุกริกที่สมบูรณ์ ค)สถานเริ่มต้นการทำงาน
 ง)สถานะพร้อมทำงาน จ)สถานะทำงานสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบและประเมินผล

เพื่อเป็นการยืนยันในหลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ จึงมีความจำเป็นต้องทำการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ผลที่ได้ โดยจะทำการแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 ส่วนหลักๆ ดังนี้

1. การทดสอบชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ
 - ผลการทดสอบจริงที่วัดได้ด้วยออสซิลโลสโคป
2. การทดสอบชุดกรองความถี่ต่ำผ่าน
 - ผลการทดสอบจริงที่วัดได้ด้วยออสซิลโลสโคป
3. การทดสอบชุดกรองความถี่สูงผ่าน
 - ผลการทดสอบจริงที่วัดได้ด้วยออสซิลโลสโคป
4. การทดสอบเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ
 - 1) ใช้ R-C Filter เป็นชุดกรองความถี่สูงผ่าน
 - ผลการทดสอบจริงที่วัดได้ด้วยออสซิลโลสโคป
 - 2) ใช้แกปทรงกลมเป็นชุดป้องกันแรงดันกระแสสลับ
 - ผลการทดสอบจริงที่วัดได้ด้วยออสซิลโลสโคป
 - 3) เปรียบเทียบผลระหว่างการใช้ R-C Filter กับ แกปทรงกลม

4.1 การทดสอบชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ

ในการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการทดสอบจริงจะมีตัวแปรที่ทำการพิจารณาอยู่ 3 ตัวแปรคือ

1. ค่ายอดแรงดันของสัญญาณพัลส์ จะต้องมีค่ายอด 12 kV
2. ช่วง 1 คาบเวลาของสัญญาณพัลส์ จะต้องมีค่าประมาณ 1 μ s หรือ ช่วงเวลาน้ำคลื่นประมาณ 300 ns
3. มุมที่ทำการสั่งให้มีการกำเนิดสัญญาณเริ่มต้น

ซึ่งตัวแปรทั้ง 3 ตัวที่ทำการพิจารณานั้น จะต้องมีค่าใกล้เคียงกับเงื่อนไขที่ทำการกำหนดในตอนต้นที่ได้ทำการออกแบบไว้

วงจรชดถ่วงแรงดันเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอินพุตที่ได้
ออกแบบ



รูปที่ 4-1 วงจรกำเนิดสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอินพุต
1) ชดถ่วงแรงดัน 2) ชดถ่วงแรงดันสูง

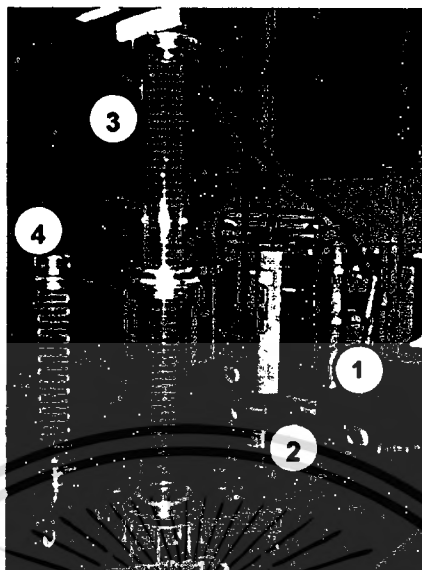
- ผลการทดสอบจริงที่วัดได้ด้วยออสซิลโลสโคป



รูปที่ 4-2 รูปคลื่นเต็มที่วัดได้จากชุดกำเนิดสัญญาณเริ่มต้น

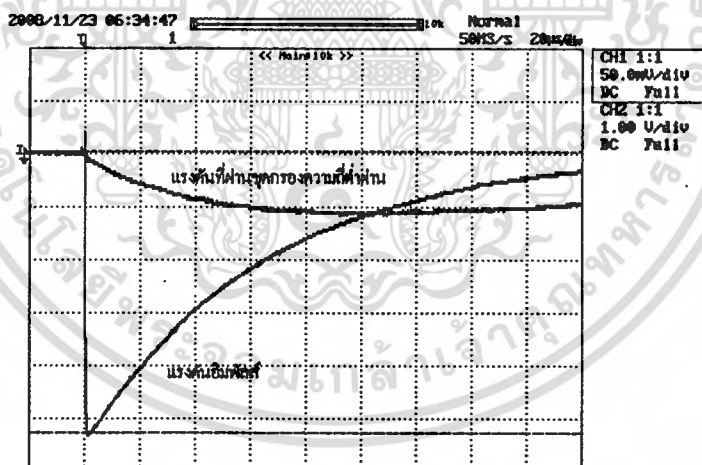
จากผลการทดสอบ จะเห็นได้ว่าลักษณะรูปร่างของรูปคลื่นที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กับการทดสอบจริงนั้นจะแตกต่างกัน แต่ตัวแปรสำคัญที่ใช้ในการพิจารณา คือแรงดันคายอดและช่วงเวลาหน้าคลื่น จากผลการทดสอบมีค่าแรงดันคายอด 12.2 kV และช่วงเวลาหน้าคลื่น 850 ns ช่วง 1 คาบเวลา เท่ากับ 1.7 μ s การทดสอบนั้นจะเห็นได้ว่า ข้อมูลที่ได้มีความใกล้เคียงกันกับผลการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในบทที่ 3

4.2 การทดสอบชุดกรองความถี่ต่ำผ่าน



รูปที่ 4-3 วงจรการทดสอบชุดกรองความถี่ต่ำผ่าน

- 1) ชุดกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 2) อิมพัลส์โวลต์เทจดีไวเดอร์
 3) ชุดกรองความถี่ต่ำผ่าน 4) โวลต์เทจดีไวเดอร์วัดแรงดันที่ผ่านชุดกรอง
 - ผลการทดสอบชุดกรองความถี่ต่ำผ่านจริงที่วัดได้ด้วยออสซิลโลสโคป

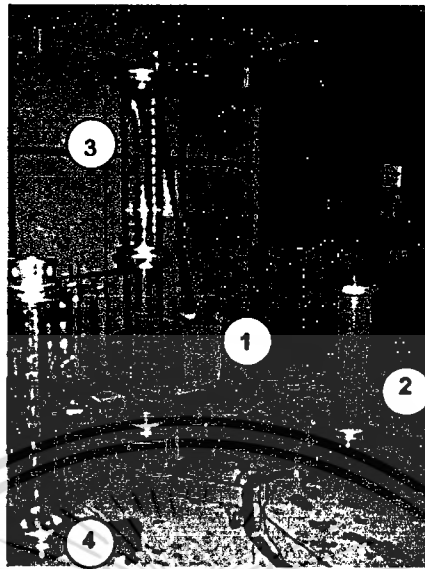


รูปที่ 4-4 ผลการทดสอบชุดกรองความถี่ต่ำผ่าน

จากผลการทดสอบจะพบว่าลักษณะรูปคลื่นที่ได้จากการทดสอบจริงนั้นมีลักษณะใกล้เคียงกับผลที่ได้ทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในบทที่ 3 โดยในการทดสอบจริงนั้นจะได้แรงดันค่ายอดเท่ากับ 6 kV และค่าแรงดันที่สามารถผ่านชุดกรองความถี่ต่ำมาได้มีค่าเท่ากับ 2.4 kV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

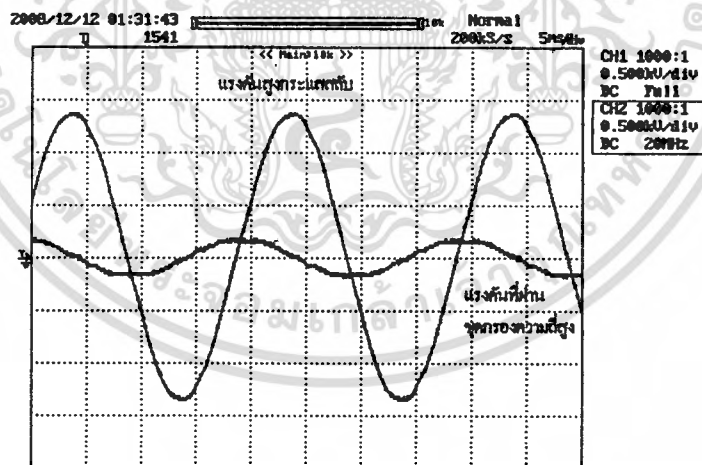
4.3 การทดสอบชุดกรองความถี่สูงผ่าน



รูปที่ 4-5 วงจรการทดสอบชุดกรองความถี่สูงผ่าน

- 1) ชุดกำเนิดแรงดันสูงกระแสสลับ 2) โวลต์เตจดีไวเดอร์วัดแรงดันกระแสสลับ
3) ชุดกรองความถี่สูงผ่าน 4) โวลต์เตจดีไวเดอร์วัดแรงดันที่ผ่านชุดกรอง

- ผลการทดสอบชุดกรองความถี่ต่ำผ่านจริงที่วัดได้ด้วยออสซิลโลสโคป



รูปที่ 4-6 ผลการทดสอบชุดกรองความถี่สูงผ่าน

จากผลการทดสอบจะพบว่าลักษณะรูปคลื่นที่ได้จากการทดสอบจริงนั้นมีลักษณะใกล้เคียงกับผลที่ได้ทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในบทที่ 3 โดยในการทดสอบจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้นจะได้แรงดันค่ายอดเท่ากับ 1 kV และค่าแรงดันที่สามารถผ่านชุดกรองความถี่สูงมาได้มีค่าเท่ากับ 120 V

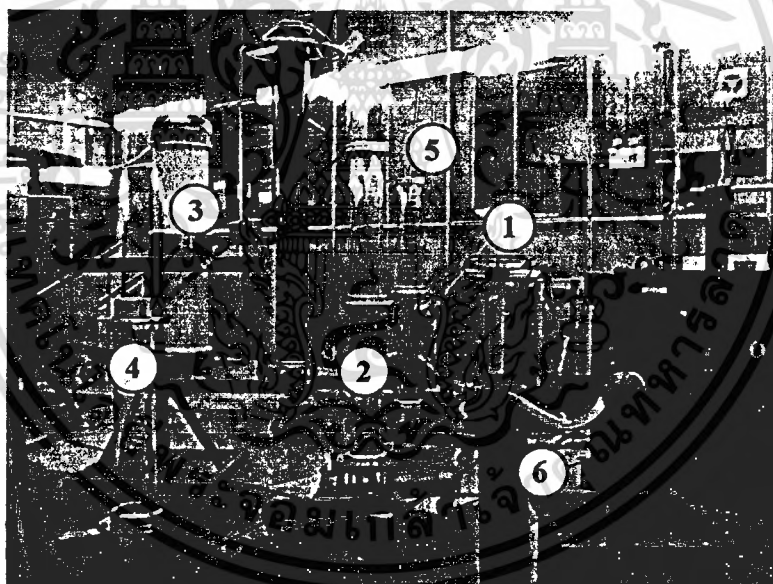
4.4 การทดสอบเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ

ในการทดสอบเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ ได้มีการนำชุดสร้างสัญญาณเริ่มต้นการทำงานของเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับซึ่งทำการควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ขนาด 200 kV 5 kJ ของห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ซึ่งในการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างการจำลองโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการทดสอบจริงจะมีตัวแปรที่ทำการพิจารณาอยู่ 2 ตัวคือ

1. ค่าแรงดันจะต้องมีค่ายอดประมาณ 6 kV
2. มุมที่ซับซ้อนต้องใกล้เคียงกัน

ซึ่งทั้ง 2 ตัวแปรจะต้องค่าใกล้เคียงกับเงื่อนไขที่ทำการกำหนดในตอนต้นที่ได้ทำการออกแบบไว้

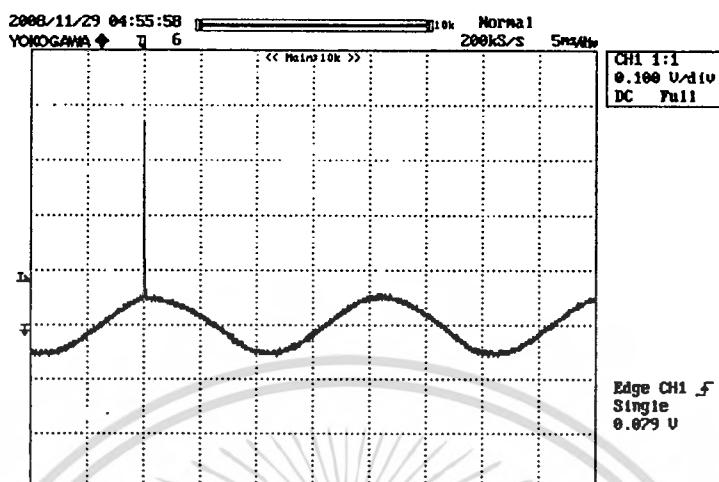
4.4.1 ใช้ R-C Filter เป็นชุดกรองความถี่สูงผ่าน



รูปที่ 4-7 วงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ

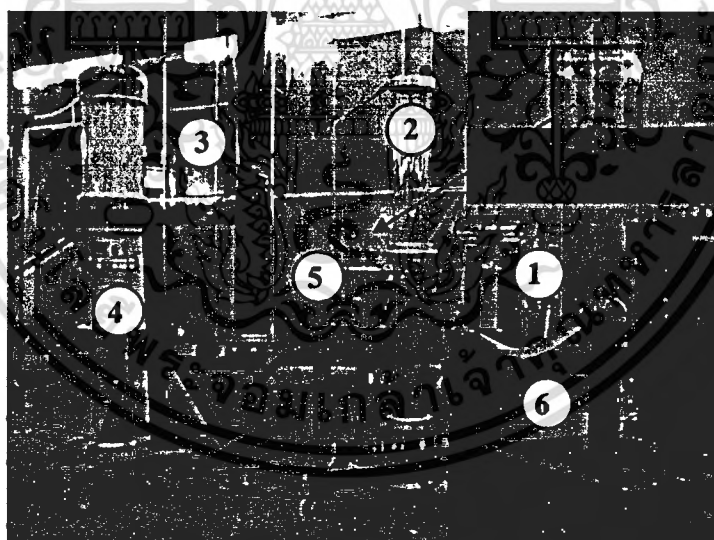
- 1) เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 2) ชุดกรองความถี่ต่ำผ่าน 3) วัตถุทดสอบ
- 4) โวลต์เตจดีไวเดอร์ 5) ชุดกรองความถี่สูงผ่าน(R-C Filter)
- 6) ชุดกำเนิดแรงดันสูงกระแสสลับ

- ผลการทดสอบจริงที่วัดได้ด้วยออสซิลโลสโคป



รูปที่ 4-8 รูปคลื่นเต็มทีวัดได้กรณีแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับที่มุม 90 องศา

4.4.2 ใช้แกปทรงกลมเป็นตัวป้องกันแรงดันกระแสสลับ

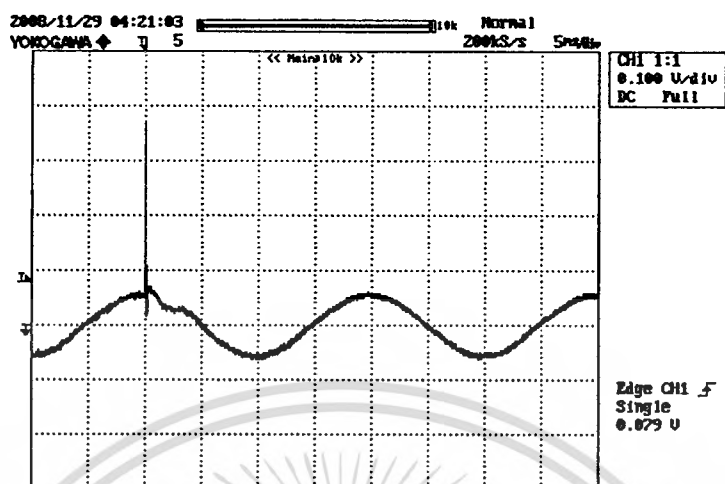


รูปที่ 4-9 วงจรกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับ(ใช้แกปป้องกันแรงดัน)

- 1) เครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 2) ชุดกรองความถี่ต่ำผ่าน 3) วัตถุทดสอบ 4) โวลต์เดจดีไวเดอร์
- 5) ชุดป้องกันแรงดันกระแสสลับ(แกปทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. มีระยะแกป 0.35 มม.)
- 6) ชุดกำเนิดแรงดันกระแสสลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ผลการทดสอบจริงที่วัดได้ด้วยออสซิลโลสโคป



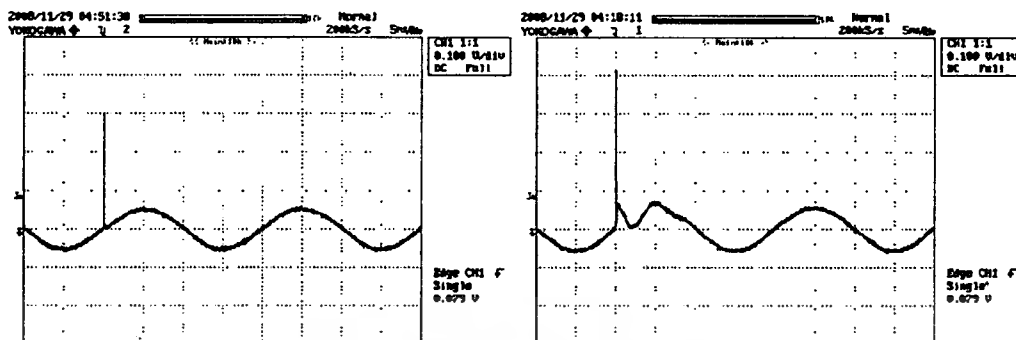
รูปที่ 4-10 รูปคลื่นเต็มที่วัดได้กรณีแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับที่มุม 90 องศา

จากผลการทดสอบทั้ง 2 กรณีพบว่าลักษณะรูปร่างของรูปคลื่นที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ กับการทดสอบจริงนั้นมีค่าใกล้เคียงกัน เพราะฉะนั้นจึงสามารถยืนยันหลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบชุดกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับได้เป็นอย่างดี

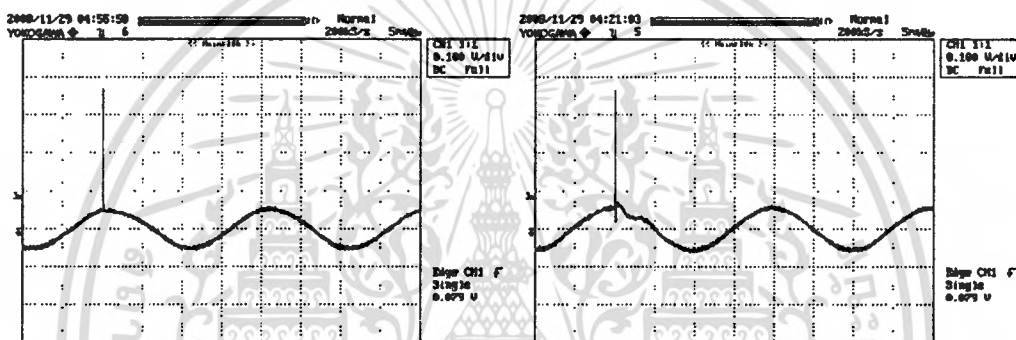
4.4.3 เปรียบเทียบผลระหว่างการใช้ R-C Filter กับ แกปทรงกลม

จากการทดสอบในหัวข้อที่ 4.4.1 และหัวข้อที่ 4.4.2 นั้นเมื่อนำผลที่ได้จากการทดสอบจริงมาพิจารณาก็จะพบว่า ลักษณะของรูปคลื่นที่ได้นั้นมีความแตกต่างกัน ดังนั้นในหัวข้อที่ 4.4.3 นี้จะนำผลที่ได้จากการทดสอบมาทำการเปรียบเทียบให้เห็นถึงข้อแตกต่างที่ชัดเจน โดยที่รูปคลื่นที่ได้จากการทดสอบด้วย R-C Filter จะแสดงทางด้านซ้ายมือ และรูปคลื่นที่ได้จากการใช้แกปทรงกลมเป็นตัวป้องกันแรงดันกระแสสลับจะแสดงทางด้านขวามือ

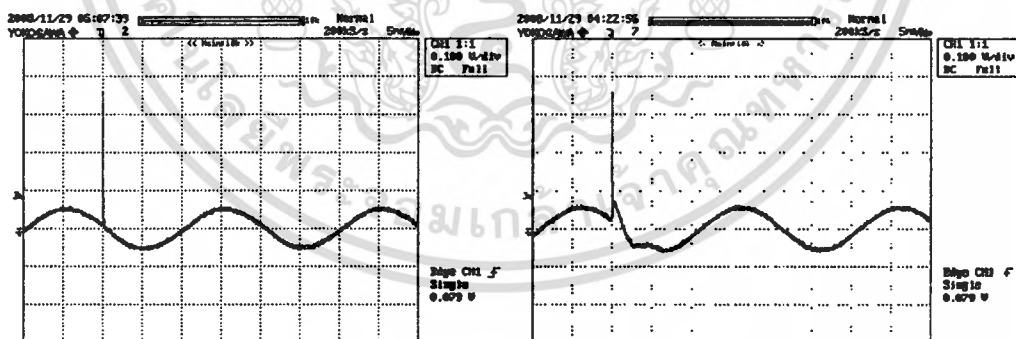
- ผลการทดสอบที่แรงดันอิมพัลส์ชั่วคราวกับข้อบนแรงดันกระแสสลับ



รูปที่ 4-11 รูปคลื่นเต็มทีวัดได้ที่มุม 0 องศา ชั่วบวก

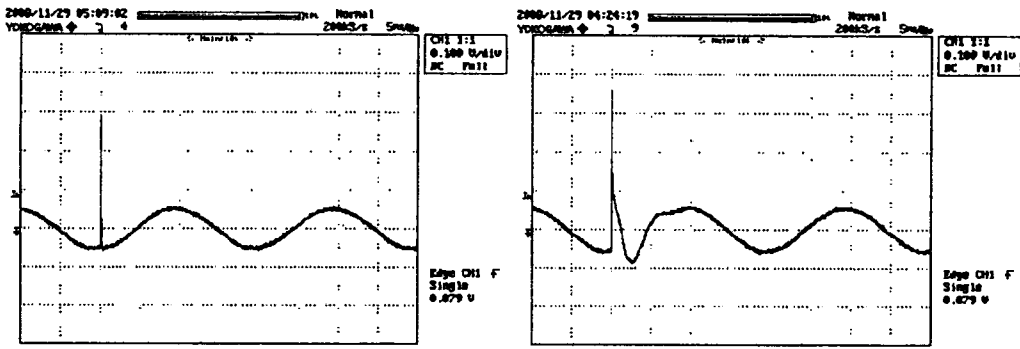


รูปที่ 4-12 รูปคลื่นเต็มทีวัดได้ที่มุม 90 องศา ชั่วบวก



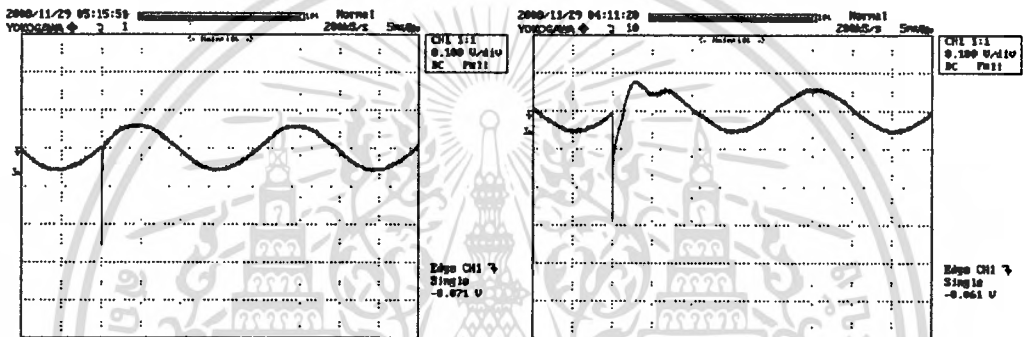
รูปที่ 4-13 รูปคลื่นเต็มทีวัดได้ที่มุม 180 องศา ชั่วบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

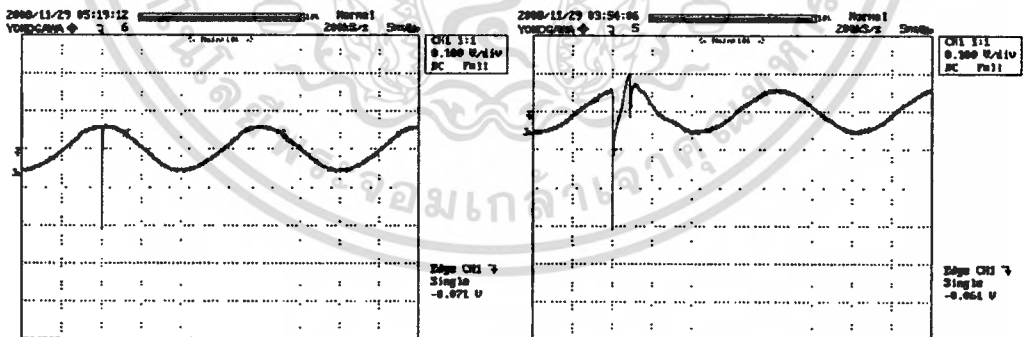


รูปที่ 4-14 รูปคลื่นเต็มที่วัดได้ที่มุม 270 องศา ขั้วบวก

- ผลการทดสอบที่แรงดันอิมพัลส์ขั้วลบที่ขั้วบนแรงดันกระแสสลับ

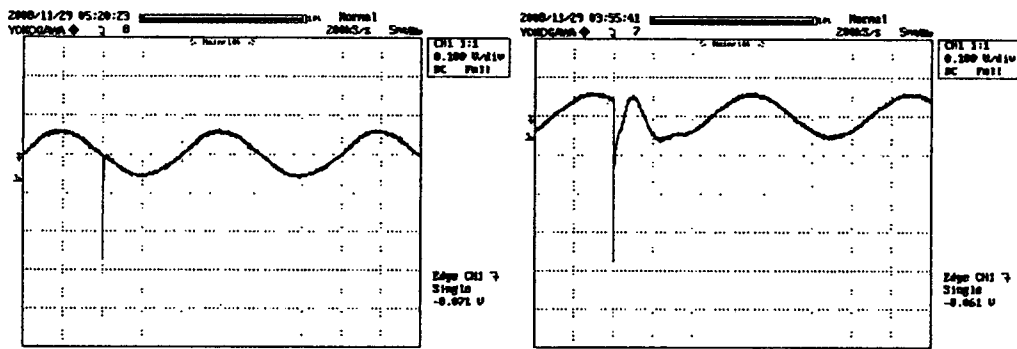


รูปที่ 4-15 รูปคลื่นเต็มที่วัดได้ที่มุม 0 องศา ขั้วลบ

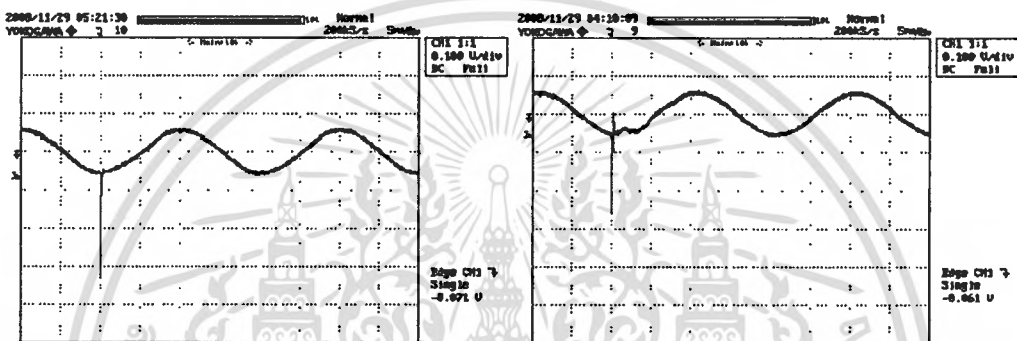


รูปที่ 4-16 รูปคลื่นเต็มที่วัดได้ที่มุม 90 องศา ขั้วลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4-17 รูปคลื่นเต็มที่วัดได้ที่มีมุม 180 องศา ขั้วลบ



รูปที่ 4-18 รูปคลื่นเต็มที่วัดได้ที่มีมุม 270 องศา ขั้วลบ

จากรูปเมื่อทำการวิเคราะห์การใช้ชุดกรองความถี่สูงเปรียบเทียบกับการใช้แกปทรงกลมเพื่อป้องกันแรงดันกระแอสลับไปตกคร่อมชุดกำเนิดแรงดันอิมพัลส์

- การกรองความถี่โดยใช้ชุดกรองความถี่สูง R-C นั้นจะได้รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแอสลับที่มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แต่จะมีปัญหาในเรื่องของมุมที่มีการเลื่อนเฟสไปบ้าง
- การป้องกันแรงดันกระแอสลับโดยใช้แกปทรงกลมนั้นจะได้รูปคลื่นแรงดันอิมพัลส์ทับซ้อนบนแรงดันกระแอสลับ ที่มีลักษณะที่แตกต่างจากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งเกิดจากความสามารถในการคืนตัวของอากาศในฉนวนอีกครั้งหนึ่งหลังจากเกิดการเบรคความถี่ต้องอาศัยระยะเวลาช่วงหนึ่ง รูปคลื่นแรงดันที่ได้จึงมีความผิดเพี้ยนไปจากผลที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แต่มุมที่ต้องการจะไม่มีเบี่ยงเบนไปมากเท่ากับชนิด R-C Filter โดยที่การป้องกันแรงดันกระแอสลับไม่ให้เกิดคร่อมแหล่งกำเนิดแรงดันอิมพัลส์โดยใช้แกปทรงกลมจะมีต้นทุนน้อยกว่าการนำเอาชุดกรองความถี่สูง R-C เป็นอย่างมาก

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุป

ชุดกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับพิกัด 6 kV ที่ได้จัดสร้างขึ้นนั้นสามารถที่จะทำการกำหนดมุมได้ตามต้องการ โดยใช้การควบคุมมุมทริกด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ผลการทดสอบพบว่ารูปคลื่นที่ได้เป็นไปตามการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ การป้องกันแรงดันสูงกระแสสลับตกคร่อมเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ได้ทำการศึกษา 2 วิธีคือ การใช้ชุดกรองแรงดันความถี่สูง R-C ต่อกับเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์และการใช้แกปทรงกลม พบว่า ใช้แกปทรงกลมนั้นรูปคลื่นที่ได้จะมีความผิดเพี้ยนซึ่งเกิดจากพฤติกรรมการเบรคดาวนของแกปทรงกลมที่อากาศที่เบรคดาวนแล้วไม่สามารถคืนตัวเป็นฉนวนได้ทันที สำหรับการใส่ชุดกรองความถี่สูงผ่านนั้นมีประสิทธิภาพโดยรวมดีกว่าแกปทรงกลม แต่ก็จะมีปัญหาในเรื่องของมุมอาจจะมีการเบี่ยงเบนไปเล็กน้อยซึ่งก็เป็นคุณสมบัติของตัวเอง

ผลโดยรวมก็ชี้ให้เห็นว่าการออกแบบสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ที่ซับซ้อนบนแรงดันกระแสสลับนั้นมีประสิทธิภาพโดยรวมเป็นที่น่าพอใจ และสามารถนำไปใช้ในการทดสอบฉนวนไฟฟ้าได้ต่อไป

5.2 กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นายเกริก แซ่เลื่อง นายสุชาติ มณฑปใหญ่ นายภูษิต บุญโทและขอของ คุณนาย ณัฐพล คงพันธ์เป็นอย่างยิ่งที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยดีมาตลอด และที่สำคัญขอขอบคุณห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการอนุเคราะห์สถานที่สำหรับทำการวิจัยให้กับคณะผู้วิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร.สำรวย สังข์สะอาด, วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, มีนาคม 2549.
- [2] IEC 71-1, Insulation Co-ordination, Part 1, Definitions, principles and rules, seventh edition. 1999-12.
- [3] มนตรี ไทยมานะ, สันติ สุวิชาญวรสิน, การออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ 3 ชั้น 300 กิโลโวลต์ 3 กิโลจูล, ห้องปฏิบัติการไฟฟ้าแรงสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [4] โกสินทร์ คล่องเชิงसान, อานันท์วัฒน์ คุณากร, พีรวุฒิ ยุทธโกวิท, นรเศรษฐ พัฒเดช, วงจรสร้างแรงดันอิมพัลส์กับช้อนบนแรงดันกระแสสลับ 50 Hz ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง,การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30
- [5] สุรัชย์ แสงสุริยันต์, อภิชาติ ศรีพานิชจิก, อาณัติ เล็กเกาะทวด, รัฐพงศ์ ธรรมเจริญ, การศึกษาและปรับปรุงเครื่องกำเนิดแรงดันอิมพัลส์ขนาด 200 kV 5 kJ, ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2550
- [6] อนุรักษ์ จงฤกษ์มงคล, วงจรควบคุมมุมเฟสด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์, เซมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ 301(เม.ย. 2550).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางแสดงคุณสมบัติ IC เบอร์ TLP250

TOSHIBA PHOTOCOUPLER GaAlAs IRED & PHOTO-IC

TLP250(INV)

TRANSISTOR INVERTER
INVERTERS FOR AIR CONDITIONER
IGBT GATE DRIVE
POWER MOS FET GATE DRIVE

The TOSHIBA TLP250(INV) consists of a GaAlAs light emitting diode and a integrated phototetector.
This unit is 8-lead DIP.
TLP250(INV) is suitable for gate driving circuit of IGBT or power MOS FET.

- Input Threshold Current : $I_{IT} = 5\text{mA (MAX)}$
- Supply Current(I_{CC}) : 11mA (MAX)
- Supply Voltage(V_{CC}) : $10\sim 35\text{V}$
- Output Current(I_O) : $\pm 2.0\text{A (MAX)}$
- Switching Time(tp_{LH} to HL) : $0.5\mu\text{s (MAX)}$
- Isolation Voltage : 2500Vrms
- UL Recognized : UL1677, File No. E97249
- Option(D4)

VDE Approved : DIN VDE0894:09.92 Certificate No.78823

Maximum Operating Insulation Voltage : 630V_{eff}

Highest Permissible Over Voltage : $4000\text{V}_{\text{eff}}$

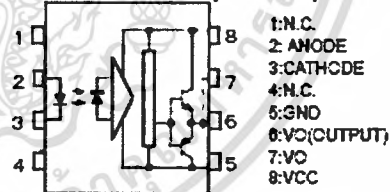
(Note):When a VDE0894 approved type is needed,
Please designate the "Option(D4)"

- Creepage Distance : 6.4mm (MIN)
- Clearance : 6.4mm (MIN)

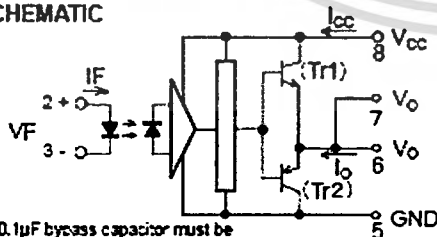
TRUTH TABLE

		Tr1	Tr2
INPUT LED	ON	ON	OFF
	OFF	OFF	ON

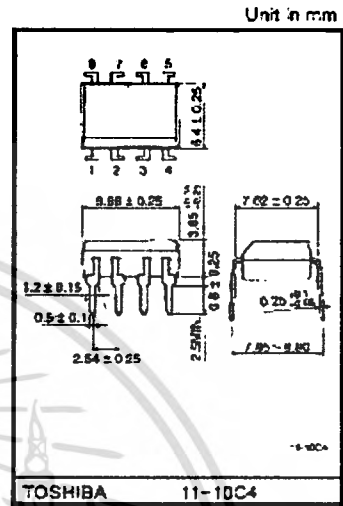
PIN CONFIGURATION(TOP VIEW)



SCHMATIC



A 0.1μF bypass capacitor must be connected between pin 5 and 5(See Note 5).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงคุณสมบัติ IC เบอร์ TLP250 (ต่อ)

MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C)

CHARACTERISTIC			SYMBOL	RATING	UNIT	
LED	Forward Current:		I_F	2E	mA	
	Forward Current Derating (Ta≥70°C):		$\Delta I_F / \Delta T_a$	-0.36	mA/°C	
	Peak Transient Forward Current: (Note 1):		I_{FT}	1	A	
	Reverse Voltage		V_R	5	V	
	Junction Temperature		T_j	125	°C	
DETECTOR	*I _{OH} Peak Output Current:	PW ≤ 2.5μs, fs 15 kHz	(Note 2)	I_{OH}	-1.5	A
		PW ≤ 1.0μs, fs 15 kHz			-2.0	
	*I _{OL} Peak Output Current:	PW ≤ 2.5μs, fs 15 kHz		I_{OL}	+1.5	A
		PW ≤ 1.0μs, fs 15 kHz			+2.0	
	Output Voltage		(Ta ≤ 70°C)	V_O	35	V
			(Ta = 65°C)		24	
	Supply Voltage		(Ta ≤ 70°C)	V_{CC}	35	V
			(Ta = 65°C)		24	
	Output Voltage Derating (Ta ≥ 70°C):		$\Delta V_O / \Delta T_a$	-0.73	V/°C	
	Supply Voltage Derating (Ta ≥ 70°C):		$\Delta V_{CC} / \Delta T_a$	-0.73	V/°C	
	Junction Temperature		T_j	125	°C	
	Operating Frequency (Note 3)		f	25	kHz	
Operating Temperature Range		T_{op}	-20~55	°C		
Storage Temperature Range		T_{stg}	-55~125	°C		
Lead Soldering Temperature: 10s:		T_{sm}	260	°C		
Isolation Voltage (AC, 1min., R.H. ≤ 80%, Ta=25°C) (Note 4)		E_{V_s}	2550	Vrms		

(Note 1): Pulse with PW ≤ 1μs, 20Cps

(Note 2): Exponential Waveform

(Note 3): Exponential Waveform $I_{OH} = -1.0A$ (≤ 2.5μs), $I_{OL} = +1.0A$ (≤ 2.5μs)

(Note 4): Device considered a two terminal device: pins 1, 2, 3 and 4 shorted together and pins 5, 6, 7 and 8 shorted together.

(Note 5): A ceramic capacitor (0.1μF) should be connected from pin 8 to pin 6 to stabilize the operation of the high gain near amplifier. Failure to provide the bypassing may impair the switching property. The total lead length between capacitor and coupler should not exceed 1cm.

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

CHARACTERISTIC	SYMBOL	MIN	TYP.	MAX	UNIT
Input Current, ON	I_{FOH}	7	8	10	mA
Input Voltage, OFF	$V_{F(OFF)}$	0	—	0.5	V
Supply Voltage	V_{CC}	15	—	30 20	V
Peak Output Current	I_{OH} / I_{OL}	—	—	±0.5	A
Operating Temperature	T_{op}	-20	25	70 85	°C

ตารางแสดงคุณสมบัติ IC เบอร์ TLP250 (ต่อ)

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN	TYP.	MAX	UNIT	
Input Forward Voltage	V _f	—	I _f = 10 mA, Ta = 25°C	—	1.5	1.8	V	
Temperature Coefficient of Forward Voltage	ΔV _f /ΔTa	—	I _f = 10 mA	—	-2.0	—	mV/°C	
Input Reverse Current	I _r	—	V _r = 5 V, Ta = 25°C	—	—	10	μA	
Input Capacitance	C _i	—	V = 0, f = 1 MHz, Ta = 25°C	—	45	250	pF	
Output Current	"H" Level	I _{OH}	2	V _{CC} = 30 V (*)	I _f = 10 mA V _{DS} = 4 V	-1.0	-1.5	A
	"L" Level	I _{OL}	1			I _f = 0 V _{DS} = 2.5 V	1.0	
Output Voltage	"H" Level	V _{OH}	3	V _{CC1} = +15 V V _{EE1} = -15 V R _L = 200Ω, I _f = 5 mA	11	12.8	V	
	"L" Level	V _{OL}	4		V _{CC1} = +15 V V _{EE1} = -15 V R _L = 200Ω, V _f = 0.8 V	—		-14.2
Supply Current	"H" Level	I _{CC1}	—	V _{CC} = 30 V	I _f = 10 mA Ta = 25°C	—	7	mA
	"L" Level	I _{CC2}	—			I _f = 10 mA	—	
Threshold Input Current	L→H	I _{ih}	—	V _{CC1} = +15 V V _{EE1} = -15 V R _L = 200Ω, V _O > DV	I _f = 0 mA Ta = 25°C	—	1.2	mA
	H→L	I _{il}	—			I _f = 0 mA	—	
Threshold Input Voltage	H→L	V _{ih}	—	V _{CC1} = +15 V V _{EE1} = -15 V R _L = 200Ω, V _O < DV	0.8	—	—	V
Supply Voltage	V _{CC}	—	—	10	—	35	V	
Capacitance (Input-Output)	C _o	—	V _s = 0, f = 1 MHz, Ta = 25°C	—	1.0	2.0	pF	
Resistance (Input-Output)	R _s	—	V _s = 500 V, Ta = 25°C R.H. ≤ 20%	1 × 10 ¹²	10 ¹⁴	—	Ω	

(*) : All typical values are at Ta=25°C

(*1) : Duration of IO time ≤ 50μs

ตารางแสดงคุณสมบัติ IC เบอร์ TLP250 (ต่อ)

SWITCHING CHARACTERISTICS (Ta = -20~70°C, Unless otherwise specified)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CIRCUIT	TEST CONDITION	MIN	TYP.	MAX	UNIT
Propagation Delay Time	L→H	5	I _b = 2 mA, V _{CC} = 15 V R _L = 200 Ω, C _L = 10 nF	0.05	0.15	0.5	μs
	H→L			0.05	0.15	0.5	
Switching Time Dispersion between ON and OFF	t _{pHL-pLH}	5	I _b = 2 mA, V _{CC} = 15 V R _L = 200 Ω, C _L = 10 nF	—	—	0.45	μs
Output Rise Time	t _r	5		—	—	—	
Output Fall Time	t _f	5	—	—	—	—	
Common Mode Transient Immunity at High Level Output	CM _H	6	V _{CM} = 1000 V, I _b = 2 mA V _{CC} = 30 V, Ta = 25°C	-15000	—	—	V/μs
Common Mode Transient Immunity at Low Level Output	CM _L			15000	—	—	V/μs

Fig.1 I_{OPL} TEST CIRCUIT

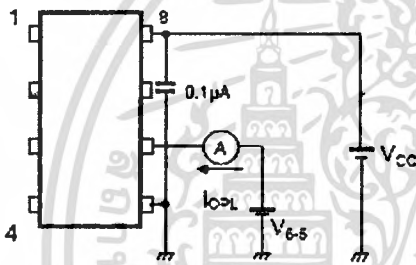


Fig.2 I_{OPH} TEST CIRCUIT

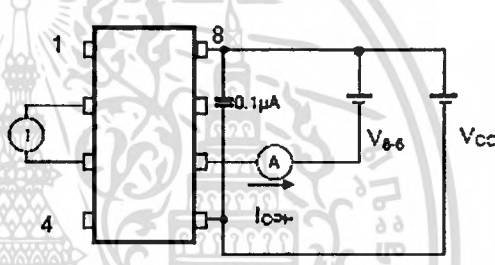


Fig.3 V_{OH} TEST CIRCUIT

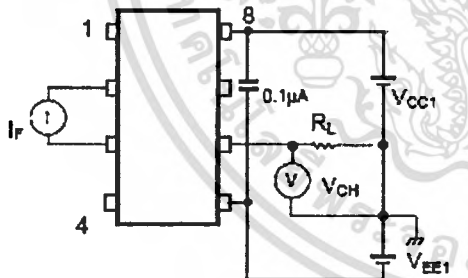
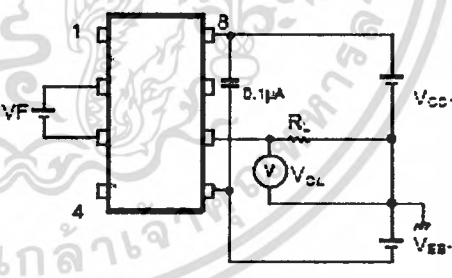


Fig.4 V_{OL} TEST CIRCUIT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดงคุณสมบัติ IC เบอร์ TLP250 (ต่อ)

Fig.5 t_{pLH} , t_{pHL} , t_r , t_f TEST CIRCUIT

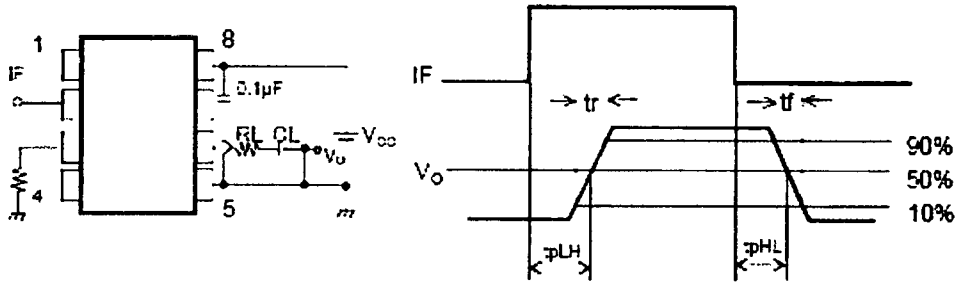
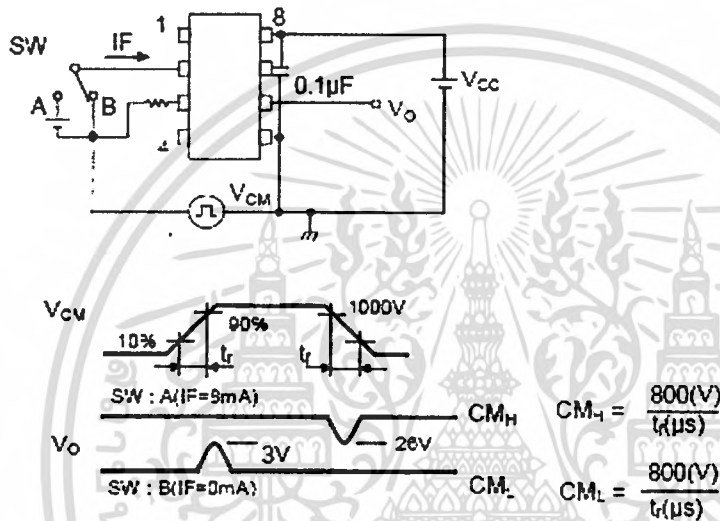


Fig.6 CM_H , CM_L TEST CIRCUIT



CM_L (CM_H) is the maximum rate of rise(fall) of the common mode voltage that can be sustained with the output voltage in the low(high) state.

ตารางแสดงคุณสมบัติ IC เบอร์ TLP250 (ต่อ)

RESTRICTIONS ON PRODUCT USE

CCC737B8C

- TOSHIBA is continually working to improve the quality and reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to comply with the standards of safety in making a safe design for the entire system, and to avoid situations in which a malfunction or failure of such TOSHIBA products could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent TOSHIBA products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the "Handling Guide for Semiconductor Devices," or "TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook" etc..
- The TOSHIBA products listed in this document are intended for usage in general electronics applications (computer, personal equipment, office equipment, measuring equipment, industrial robotics, domestic appliances, etc.). These TOSHIBA products are neither intended nor warranted for usage in equipment that requires extraordinarily high quality and/or reliability or a malfunction or failure of which may cause loss of human life or bodily injury ("Unintended Usage"). Unintended Usage include atomic energy control instruments, airplane or spaceship instruments, transportation instruments, traffic signal instruments, combustion control instruments, medical instruments, all types of safety devices, etc.. Unintended Usage of TOSHIBA products listed in this document shall be made at the customer's own risk.
- Gallium arsenide (GaAs) is a substance used in the products described in this document. GaAs dust and fumes are toxic. Do not break, cut or pulverize the product, or use chemicals to dissolve them. When disposing of the products, follow the appropriate regulations. Do not dispose of the products with other industrial waste or with domestic garbage.
- The products described in this document are subject to the foreign exchange and foreign trade laws.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.