

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

สวิตช์ไฟทำงานด้วยสนามไฟฟ้าจากตัวมนุษย์

**ELECTRIC FIELD FROM HUMAN OPERATING SWITCH**



โดย  
นางสาวมูริตา แซ่ซั่ว  
นางสาววาสนา หมั่นสระเกษ

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....62462  
วัน,เดือน,ปี 18 ส.ค. 2549

b.....11๒231๙4  
i.....

ปริญญาานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สวิตช์ไฟทำงานด้วยสนามไฟฟ้าจากตัวมนุษย์  
ELECTRIC FIELD FROM HUMAN OPERATING SWITCH



ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง สวิตซ์ไฟทำงานด้วยสนามไฟฟ้าจากตัวมนุษย์ (Electric Field from Human Operating Switch )

ผู้จัดทำ

1. นางสาวมริตา แซ่ซั่ว
2. นางสาววาสนา หมั่นสระเกษ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สวิตช์ไฟทำงานด้วยสนามไฟฟ้าจากตัวมนุษย์

นางสาวมูริตา แซ่ซั่ว รหัส 46015190  
นางสาววาสนา หมั่นสระเกษ รหัส 46015194  
ดร.กิติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา  
ปีการศึกษา 2548

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันเครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์เครื่องมือทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ได้รับการออกแบบและพัฒนาให้เพิ่มความสะดวกให้กับผู้ใช้งานมากขึ้นทุกวัน ทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ได้ง่ายขึ้น เช่น ระบบสั่งงานด้วยเสียง ระบบนำทางด้วยอัลตราโซนิก หรือระบบการตรวจจับต่างๆ เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการพัฒนาเทคโนโลยีทางอุปกรณ์ตรวจจับต่างๆ ที่นำมาใช้

โครงการนี้ก็เช่นกันได้นำเทคโนโลยีของอุปกรณ์ตรวจจับโดยสนามไฟฟ้ามาใช้ โดยประกอบกับอุปกรณ์ไทรสเตอร์ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการใช้งานหลอดไฟ ให้มีความสะดวก นำใช้งานและนำสนใจยิ่งขึ้น โดยการใช้การตรวจจับสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์ ในการควบคุมการเปิด ปิด โดยที่ผู้ใช้งานไม่ต้องสัมผัสกับอุปกรณ์ดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electric Field from Human Operated Switch

Miss.Mutita Saesue ID.46015190

Miss.Wassana Mhunsakate ID.46015194

Dr. Kitiphol Chitsakul (Adivisor)

Academic Year 2005

### Abstract

At the present, electric appliances or electronic equipment have been designed for more accommodate to human. This make a user can use tool easily for example, sound activating system, ultrasonic detecting system etc. The hearts of these systems are sensors.

As presented project, electric field sensor is used co-operating with a thyristor. By detecting electric fields from human body, it can control a lamp to switch on-off without touching.

### กิติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้ได้จัดทำสำเร็จได้ก็เนื่องมาจากได้รับความช่วยเหลือจากหลายๆฝ่ายด้วยกันโดยบุคคลแรกที่ขอกล่าวถึงก็คือ ดร.กิตติพล ชิตสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความเอาใจใส่แนะนำ และช่วยเหลือเสมอมา ซึ่งต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างมาก

และต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้ให้ความเลี้ยงดูผู้เขียนเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุกๆด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ. ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์หรือผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.5 หลักการทำงานเบื้องต้น	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 สนามไฟฟ้าสถิต	4
2.1.1 การเกิดสนามไฟฟ้าสถิต	4
2.1.2 การประจุค่าความเหนียวน้ำ	7
2.1.3 ประจุไฟฟ้าสะสม	7
2.1.4 แบบจำลองร่างกายมนุษย์	8
2.1.5 การคายประจุสนามไฟฟ้าสถิต(STATIC DISCHARGE)	11
2.2 วงจร โมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ (MONOSTABLE MULTIVIBRATOR CIRCUIT)	12
2.3 วงจรอะสเตเบิลและโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ โดยใช้ไอซีโทมเมอร์ 555	15
2.4 วงจร โมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์	16
2.5 วงจรมิทท์ ทริกเกอร์	17
2.5.1 จุดกำเนิดของวงจรมิตต์ทริกเกอร์	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2	หลักการทํางานของวงจรมิตต์ทริกเกอร์	19
2.6	ฟลิป-ฟล็อป J	22
2.7	ไตรแอก (Trice หรือ Bidirectional Thyristor)	23
บทที่ 3	การสร้างและการออกแบบ	29
3.1	การทํางานของวงจร	30
3.1.1	วงจรตรวจจับสนามไฟฟ้า	30
3.1.2	วงจรแสดงสถานะการตรวจจับสนามไฟฟ้า	32
3.1.3	วงจร T-Flipflop	32
3.1.4	วงจรสวิตซ์ไตรแอก	33
3.1.5	วงจรภาคจ่ายไฟ	34
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	35
4.1	ขั้นตอนการทดลอง	35
4.1.1	การทดลองตอนที่ 1 ขนาดแผ่นเพลทที่มีผลต่อการตรวจจับสนามไฟฟ้า	35
4.1.2	การทดลองตอนที่ 2 ผลของรูปร่างแผ่นเพลทที่ต่างกันที่มีผลต่อการตรวจจับสนามไฟฟ้า	37
4.1.3	การทดลองตอนที่ 3 แนวทิศทางของร่างกายมนุษย์ที่เข้าใกล้จุดตรวจจับ	37
4.1.4	การทดลองตอนที่ 4 ผลของความชื้นในอากาศบริเวณจุดตรวจจับ	38
4.2	การทดลองเมื่อนํามาทำสวิตซ์ไม่สัมผัส	42
บทที่ 5	บทสรุป	43
5.1	สรุป	43
5.2	ปัญหา อุปสรรค และแนวทางแก้ไข	44
5.3	แนวทางการพัฒนา	44
เอกสารอ้างอิง		
ภาคผนวก		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 The earth's electric field gradient	3
รูปที่ 2.2 แสดงแบบจำลองสำหรับการคายประจุสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์	9
รูปที่ 2.3 แบบจำลองสำหรับการคายประจุสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์	10
รูปที่ 2.4 แสดงรูปร่างลักษณะโดยทั่วไปของกระแส ESD	11
รูปที่ 2.5 การทำงานของวงจร โมโนสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์ (ซิงเกิลช็อต)	12
รูปที่ 2.6 ลักษณะการสร้างพัลส์บางอย่างของวงจรซิงเกิลช็อต	13
รูปที่ 2.7 วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์ที่สร้างจากแอมป์เกต	14
รูปที่ 2.8 วงจรภายในไอซี 555	15
รูปที่ 2.9 ไอซี 555 ต่อเป็นวงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์	16
รูปที่ 2.10 รูปคลื่นแสดงอินพุตและเอาต์พุตของวงจรขมิตต์ ทริกเกอร์	17
รูปที่ 2.11 a) รูปร่างของสัญญาณดิจิทัลที่ต้องการ b) สัญญาณรบกวน p และ q	18
รูปที่ 2.12 a) สัญญาณดิจิทัล $V_S$ b) ตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์ในอุดมคติ $C_O$ c) เอาต์พุตเมื่อ $V_R = V_X$ และ d) เอาต์พุต $V_R = V_Y$	18
รูปที่ 2.13 วงจรขมิตต์ ทริกเกอร์ที่ทำงานในโหมด Inverting	19
รูปที่ 2.14 กราฟคุณสมบัติการทำงานตามอุดมคติของ $C_O$ และแบบจำลองดีซี (DC Model)	19
รูปที่ 2.15 เส้นตรง 'a', 'b' และ 'c' เมื่อ $V_S = V_{S1}$ , $C_O$ ใน $V_{S2} (>V_{S1})$ และ $V_{S3} (>V_{S2})$ ตามลำดับ	20
รูปที่ 2.16 กราฟคุณสมบัติการทำงานของ รูปที่ 2.13 เมื่อ $V_S$ มีค่าเพิ่มขึ้น	20
รูปที่ 2.17 เส้นตรง 'd', 'e' และ 'f' เมื่อ $V_S = V_{S4}$ , $C_O$ ใน $V_{S5} (>V_{S4})$ และ $V_{S6} (>V_{S5})$ ตามลำดับ	21
รูปที่ 2.18 กราฟคุณสมบัติการทำงานของ รูปที่ 2.13 เมื่อ $V_S$ มีค่าลดลง	21
รูปที่ 2.19 วัฏจักรฮิสเทอรีซิสโดยเกิดจากการรวมรูปที่ 2.16 และ 2.18 เข้าด้วยกัน	22
รูปที่ 2.20 ฟลิป-ฟลอป T	23
รูปที่ 2.21 ก.แสดงลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานของไตรแอกและสัญลักษณ์ ข.แสดงคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของไตรแอก	24
รูปที่ 2.22 แสดง (ก)แนวทางเดินของกระแสและ (ข)วงจรเปรียบเทียบการทำงานของ ไตรแอกใน ลักษณะ I <sup>-</sup> mode	26
รูปที่ 2.23 ก) แสดงแนวทางเดินกระแสและ ข) วงจรเปรียบเทียบการทำงานของไตรแอก ในลักษณะ III <sup>+</sup> - mode	27
รูปที่ 2.24 แสดงวงจรเปรียบเทียบการทำงานของไตรแอก ในลักษณะ III <sup>-</sup> - mode	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
รูปที่ 3.1 แบบจำลองตัวเก็บประจุ	29
รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกล็อกโคอะแกรมหลักการเบื้องต้นของการตรวจจับสนามไฟฟ้า	30
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรที่ใช้ในการตรวจจับสนามไฟฟ้า	31
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรที่ใช้ในการแสดงสถานะของการตรวจจับสนามไฟฟ้า	32
รูปที่ 3.5 แสดงวงจร T Flip-Flop	33
รูปที่ 3.6 แสดงวงจร Triac	34
รูปที่ 3.7 วงจรภาคจ่ายไฟ	34
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการทดลอง	35
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นปริ้นซ์กับระยะที่ตรวจจับสนามไฟฟ้า	37
รูปที่ 4.3 ความถี่ที่ขา 11 IC4017 ขณะที่ชุดตรวจจับทำงาน $F=1.02$ MHz	38
รูปที่ 4.4 สัญญาณที่ขา 11 IC4017 ขณะที่ชุดตรวจจับทำงาน	39
รูปที่ 4.5 ความถี่ที่ขา 14 IC4017 ขณะที่ชุดตรวจจับยังไม่ทำงาน $F=1.55$ MHz	39
รูปที่ 4.6 ความถี่ที่ขา 14 IC4017 ขณะที่ชุดตรวจจับทำงาน $F=1.02$ MHz	40
รูปที่ 4.7 ความถี่ที่ขา 15 IC4017 ขณะที่ชุดตรวจจับทำงานและยังไม่ทำงาน $F=100$ KHz	40
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะแผ่นเพลทที่ขนาดและรูปร่างต่างกัน	41
รูปที่ 4.9 สวิตซ์ไฟทำงานด้วยสนามไฟฟ้าจากตัวมนุษย์	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 Triboelectric Series	5
ตารางที่ 2.2 Typical Electrostatic Voltages	6
ตารางที่ 2.3 Typical Human Body Model Component Values	10
ตารางที่ 2.4 ตารางความจริงของฟลิป-ฟลอป T	23
ตารางที่ 2.5 การทำงานของไดรแอก	25
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง	36



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

เครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์เครื่องมือทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบัน ได้รับการออกแบบและพัฒนาให้เพิ่มความสะดวกให้กับผู้ใช้งานมากขึ้นทุกวันทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ได้ง่ายขึ้น เช่น ระบบส่งงานด้วยเสียง หรือระบบการตรวจจับต่างๆ เป็นต้น

โครงการนี้ได้ใช้การตรวจจับโดยสนามไฟฟ้าจากตัวมนุษย์มาประยุกต์ใช้เป็นสวิตช์เปิดปิดหลอดไฟแบบไม่สัมผัส ทำให้ผู้ใช้งานสามารถควบคุมการใช้งานหลอดไฟ ให้มีความสะดวก นำใช้งานและน่าสนใจยิ่งขึ้น โดยการใช้อุปกรณ์สนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์ ในการควบคุมการเปิด,ปิด โดยที่ผู้ใช้งานไม่ต้องสัมผัสกับอุปกรณ์ดังกล่าว

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- ศึกษาและทดลองการตรวจจับสนามไฟฟ้าสถิตที่เกิดจากการคายประจุไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์ หรือสนามไฟฟ้าที่เหนี่ยวนำผ่านร่างกายมนุษย์ เพื่อนำมาใช้ในการตรวจจับการเข้าใกล้ของร่างกายมนุษย์
- ประยุกต์ใช้งานผลของการตรวจจับได้ของสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์ ในการใช้เป็นสวิตช์ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบไม่สัมผัส

#### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

โดยขอบเขตของโครงการนี้จะเป็นการออกแบบ การสร้างและการปรับแต่งในส่วนของคุณตรวจจับสนามไฟฟ้า ให้สามารถตรวจจับสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์ได้ และนำผลของการตรวจจับมาใช้ในการควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยโครงการนี้จะใช้หลอดไฟขนาด 220V

#### 1.4 ประโยชน์หรือผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับคือสวิตช์แบบไม่สัมผัสนี้จะช่วยเพิ่มความความสะดวกสบาย ความน่าสนใจและน่าสนใจให้กับการควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำไป

ประยุกต์ใช้ได้ ในหลากหลายงาน เช่น นำไปใช้ในระบบรักษาความปลอดภัย ระบบป้องกันอันตราย จากบริเวณหวงห้ามหรืออุปกรณ์ที่อาจเกิดอันตรายได้ เป็นต้น

### 1.5 หลักการทำงานเบื้องต้น

หลักการทำงานเบื้องต้น เริ่มจากชุดวงจรตรวจจับค่าความเปลี่ยนแปลงของค่าความจุ ซึ่งจะ ใช้คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุที่ใช้ในการผลิตความถี่ให้วงจรนับด้วยค่าความถี่ค่าหนึ่ง มาใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่ได้อีกค่าหนึ่งเมื่อค่าความจูดังกล่าวเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากผลของค่าความจุจากร่างกายมนุษย์ที่เข้ามาในบริเวณจุดตรวจจับ ทำให้สามารถตรวจจับ ความเปลี่ยนแปลงเมื่อมีมนุษย์เข้าไปในบริเวณจุดตรวจจับได้

สัญญาณที่ตรวจจับได้ส่งผลให้เอาท์พุทของวงจรมีสถานะเป็นแรงดันศูนย์ทำให้ไป กระตุ้นขา Trig ของ ไอซี 555 สร้างสัญญาณพัลส์ เอาท์พุทออกมา ซึ่งการนำสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ ไปใช้ในการ เปิดหรือปิดหลอดไฟขนาด 220V นั้นไม่สามารถทำได้ จึงต้องใช้อุปกรณ์ ไทริสเตอร์ ช่วย โดยใช้ ไทริแอก ซึ่งสามารถควบคุมเฟสของสัญญาณได้ แต่จะใช้ให้ทำหน้าที่นำกระแสด้วย เฟสสูงสุดเพื่อเปิดและปิดหลอดไฟเท่านั้น

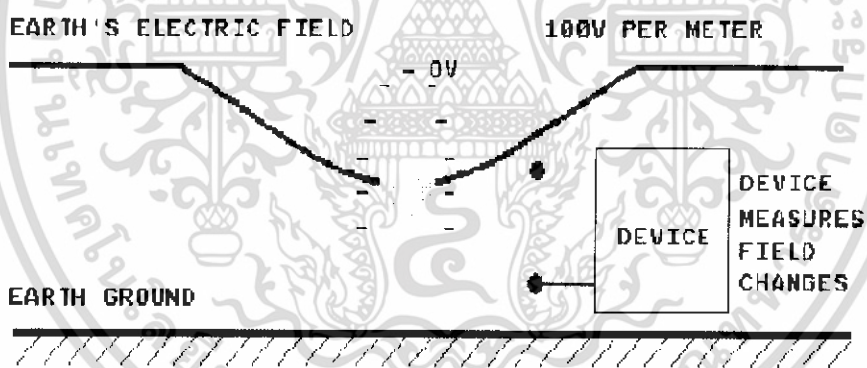
ในการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้ากำลังนั้นจำเป็นต้องแยกระบบกราวด์ ออกจากกัน โดยจะใช้ Opto-Diac ในการแยกระบบไฟต่ำจากวงจรตรวจจับสนามไฟฟ้า กับ ระบบไฟฟ้าแรงดันสูงที่ใช้กับ หลอดไฟเพื่อไม่ให้มีการรบกวนกัน ของระบบที่ใช้ไฟแรงดันสูงที่จะมีผลต่อวงจรที่ใช้กับ ไฟแรงดันต่ำ

และในการควบคุมให้หลอดไฟ เปิดค้างไว้ได้นั้น ไม่สามารถทำได้ด้วยพัลส์เอาท์พุทจาก โมโนสเตเบิลเพราะพัลส์ เอาท์พุทบวกที่ได้ จะได้ต่อเมื่อมีการตรวจจับสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์ ได้ และจะไม่มีสัญญาณเมื่อร่างกายมนุษย์ได้ออกจากบริเวณจุดตรวจจับ ไป ดังนั้นถ้าเราต้องการให้ เอาท์พุทบวกค้างไว้ได้เพื่อให้ไบอัสให้ ไทริแอกนำกระแสค้างไว้ จึงต้องนำเอาท์พุทที่ได้จาก โมโนสเตเบิล ไปผ่านวงจร T Flip-Flop เพื่อให้สามารถคงค่าแรงดันบวกไว้ได้ อีกทั้งยังกลับเฟสของ เอาท์พุทได้ด้วย เมื่อมีการตรวจจับสนามไฟฟ้าจากมนุษย์อีกครั้ง ทำให้วงจรตรวจจับสนามไฟฟ้า ดังกล่าวมีคุณสมบัติในการทำหน้าที่เป็นสวิทช์ได้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โครงการนี้แสดงถึงการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับที่มีลักษณะพิเศษ ซึ่งคุณสามารถใช้วัดการแกว่งของแรงดันหรือการรบกวนของสนามไฟฟ้าจากธรรมชาติของโลก โดยการเหนี่ยวนำ วัตถุเคลื่อนที่เข้าใกล้กับโครงการนี้ ขนาดของสัญญาณและความถี่ที่เปลี่ยนแปลงขึ้นลงสามารถใช้ตรวจสอบถึงวัตถุได้ เช่น วัตถุขนาดใหญ่ที่เคลื่อนที่เช่นรถบรรทุกจะสร้างแรงดันกระแสเพื่อขนาดใหญ่พร้อมกับส่วนประกอบของความถี่ต่ำ ในขณะที่การเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของวัตถุขนาดเล็ก เช่น นก จะสร้างสนามขนาดแรงดันที่ต่ำกว่ากับความถี่ที่สูง การเคลื่อนที่ของมนุษย์ ที่มีมือจะสร้างความถี่ที่หลากหลายซึ่งสัมพันธ์กับการเคลื่อนไหวของแขนและขา

การสร้างโครงการนี้ได้ให้ความรู้กับผู้ทดลอง ถึงการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าจากร่างกายของมนุษย์ สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณอย่างละเอียดและมีประสิทธิภาพ อาจเป็นไปได้ว่าไม่ได้เป็นเพียงแค่ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์แต่ยังรวมถึงการเคลื่อนที่ของมนุษย์ด้วย



รูปที่ 2.1 The earth's electric field gradient

ก่อนที่เราจะศึกษารายละเอียดของวงจร ลองมาทำความเข้าใจกับความรูพื้นฐานบ้าง สิ่งแรกปรากฏการณ์ของสนามไฟฟ้าจากโลก Richard Feynman กล่าวว่า เมื่อคุณเดินไปตามพื้นผิวของโลก สักดาไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นประมาณ 100 โวลต์ต่อเมตรจากระดับพื้นผิวโลก นั่นแสดงว่ามีสนามไฟฟ้าในอากาศวัดจากพื้นผิวโลกประมาณ 100 โวลต์ต่อเมตร

ลองจินตนาการดูว่ามีโวลต์มิเตอร์ที่ความไวสูงที่สามารถวัดแรงดันในอากาศได้ ถ้าคุณนำสายวัดขั้วลบไว้ที่พื้นผิวโลกและสายขั้วบวกอยู่เหนือพื้นผิว ประมาณ 1 เมตร จะมีแรงดันประมาณ

100 โวลต์ที่สามารถถูกตรวจจับได้ และ ถ้าคุณย้ายขั้วบวกของมิเตอร์ขึ้นไปอีก 1 เมตรมิเตอร์ควรวัดได้ 200 โวลต์ อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันจะเพิ่มขึ้นตามระยะขั้วบวกของมิเตอร์จนกระทั่งถึงชั้นบรรยากาศ Atmosphere ที่ระยะประมาณ 46,000 เมตร ที่จุดนั้นเครื่องวัดจะวัดแรงดันเฉลี่ยได้ประมาณ 4 ล้านโวลต์

ปรากฏการณ์ที่มีแรงดันเกิดขึ้น 100 โวลต์ต่อเมตร สนามไฟฟ้าเกิดขึ้นทุกๆที่บนพื้นโลกและสามารถทะลุผ่านสิ่งก่อสร้างส่วนใหญ่ได้ คุณอาจถามว่า ถ้าแรงดันที่เรากล่าวถึงนั้นมีอยู่ในอากาศแล้วทำไมผู้ที่มีความสูงประมาณ 2 เมตรไม่ถูกแรงดัน 200 โวลต์ช็อต เหตุผลที่คุณไม่รู้สักอะไรเลยก็เพราะอากาศนั้นเป็นตัวนำที่แย่มากหรือก็คือการยอมให้ไฟฟ้าไหลผ่านได้ยากมาก ครั้นเมื่อร่างกายมนุษย์ถูกเติมน้ำเกลือ ซึ่งเป็นตัวนำที่ดีร่างกายของมนุษย์จะทำให้แรงดันที่เคลื่อนที่ผ่านสนามไฟฟ้าบิดเบือน การลดค่าแรงดันที่แท้จริงเกิดจากการตกคร่อมร่างกายมนุษย์ สมมุติว่าโวลต์มิเตอร์วัดแรงดันที่ตำแหน่ง 2 เมตรเทียบกับพื้นโลกโดยปราศจากวัตถุที่เป็นตัวนำใดๆเข้าใกล้ มิเตอร์ควรอ่านแรงดันได้ 200 โวลต์แต่เมื่อมนุษย์ที่เป็นตัวนำได้เดินผ่านจุดวัดที่ขั้ววัดมิเตอร์ ค่าแรงดันที่อ่านได้จากมิเตอร์จะลดลงเป็นศูนย์ และเมื่อมนุษย์เดินออกจากมิเตอร์ ค่าแรงดันจะเพิ่มขึ้นเป็น 200 โวลต์ ซึ่งก็คือค่าแรงดันเฉลี่ยจะเปลี่ยนแปลงเมื่อมีคนเดินเข้าใกล้ตัวตรวจจับ

## 2.1 สนามไฟฟ้าสถิต

สนามไฟฟ้าสถิตได้รู้จัก ตั้งแต่สมัยกรีกโบราณ มากกว่า 2000 ปี ในสมัยกลาง นักมายากลจะใช้ผลของสนามไฟฟ้าสถิตเป็นส่วนหนึ่งของการแสดง และในเวลาปัจจุบันสนามไฟฟ้าสถิตได้ถูกนำมาใช้เป็นประโยชน์ในหลายอย่าง เช่น เครื่องทำความสะอาดอากาศ เครื่องพ่นสี เครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น

อย่างไรก็ตามการคายสนามไฟฟ้าที่ไม่สามารถควบคุมได้กลายมาเป็นอันตรายต่ออุตสาหกรรมทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ นับตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 เป็นที่ทราบกันว่าอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำและชิ้นส่วนทางไฟฟ้าเช่นตัวต้านทานฟิล์ม ตัวเก็บประจุ คริสตอล และ ไอซีประเภทไบโพลาร์มีความไวที่จะเกิดความเสียหายจากการคายสนามไฟฟ้าได้ โดยเมื่ออุปกรณ์ยิ่งเล็กลงและมีความเร็วในการทำงานมากขึ้นความไวในการได้รับความเสียหายจากสนามไฟฟ้าก็จะมากขึ้นตามไปด้วย

### 2.1.1 การเกิดสนามไฟฟ้าสถิต

สนามไฟฟ้าสถิตถูกสร้างโดยการสัมผัสและการแยกกันของวัตถุซึ่งวัตถุอาจจะเป็นทั้งของแข็ง ของเหลว หรือ ก๊าซ เมื่ออุปกรณ์ที่ไม่เป็นตัวนำทางไฟฟ้าหรือว่าฉนวน 2 ตัวสัมผัสกันประจุบางส่วน(อิเล็กตรอน) จะถูกถ่ายโอนจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่ง และเมื่อวัตถุทั้งสองถูก

แยกออกจากกันแล้วประจุนี้อาจจะไม่เคลื่อนที่กลับไปยังวัตถุที่มันมาจากมาและจะเคลื่อนที่ได้ซ้ำในวัตถุที่เป็นฉนวน วัตถุทั้งสองจะมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นบวกในวัตถุหนึ่งและเป็นลบในอีกวัตถุหนึ่ง

หลักการของการเกิดสนามไฟฟ้าสถิตถูกอ้างอิงเข้ากับ Triboelectric effect Triboelect series แสดงดังตารางที่ 2-1 วัตถุที่ตำแหน่งด้านบนของตารางจะสามารถให้อิเล็กตรอนได้ง่ายซึ่งก็คือมีสภาพทางไฟฟ้าของประจุบวก ส่วนรายการวัตถุด้านล่างของตารางจะรับอิเล็กตรอนได้ง่ายซึ่งก็คือมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นลบ อย่างไรก็ตามรายการในตารางเป็นแค่ค่าประมาณเท่านั้น

ตารางที่ 2.1 Triboelectric Series

Positive		Negative	
1. Air	10. Lead	18. Hard Rubber	27. Celluloid
2. Human Skin	11. Silk	19. Mylar	28. Orlon
3. Asbestos	12. Aluminum	20. Epoxy Glass	29. Polyurethane Foam
4. Glass	13. Paper	21. Nickel, Copper	30. Polyethylene
5. Mica	14. Cotton	22. Brass, silver	31. Polypropylene
6. Human Hair	15. wood	23. Gold, Platinum	32. PVC (Vinyl)
7. Nylon	16. Steel	24. Polystyrene Foam	33. Silicon
8. Wool	17. Sealing Wax	25. Acrylic	34. Teflon
9. Fur		26. Polyester	

เมื่อวัตถุทั้งสองสัมผัสกันอิเล็กตรอนจะถ่ายเทจากวัตถุที่มีสภาพทางไฟฟ้าเป็นบวกไปยังวัตถุที่มีสภาพทางไฟฟ้าเป็นลบ ลำดับที่ต่างกันของวัตถุตามตารางที่ 2.1 ไม่ได้เป็นตัวแสดงว่าขนาดของประจุจะเกิดขึ้นมากหรือน้อยเพียงเท่านั้น แต่ยังขึ้นอยู่กับพื้นผิวความสะอาดของวัตถุ ความดันของหน้าสัมผัส พื้นที่ผิวของหน้าสัมผัส ความเรียบของพื้นผิว และ ความเร็วของการแยกวัตถุออกจากกัน ประจุนยังสามารถถูกสร้างได้จากการสัมผัสกันและแยกออกจากกันของวัตถุที่เหมือนกันได้ด้วย เช่น การเปิดถุงพลาสติกเป็นต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างประจุไฟฟ้า แรงดัน และ ค่าความจุ คือ

$$V = Q/C \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อวัตถุสองวัตถุถูกแยกออกจากกัน ค่าประจุไฟฟ้ายังคงเท่าเดิมดังนั้นค่าผลคูณของแรงดัน และค่าความจุจะคงที่ เมื่อวัตถุทั้งสองเข้าใกล้กันค่าความจุจะเพิ่มขึ้น แรงดันจะต่ำลง และ เมื่อวัตถุแยกออกจากกันค่าความจุจะลดลงและแรงดันจะเพิ่มขึ้น

ตัวอย่าง ถ้าค่าความจุมีค่า 75 pF และประจุไฟฟ้ามีค่า 3  $\mu\text{C}$  แรงดันจะเป็น 10,000 V

ผลเช่นนี้จะเกิดขึ้นเมื่อวัตถุที่เป็นฉนวนถูกแยกออกจากวัตถุที่เป็นตัวนำ แต่จะไม่เกิดขึ้นระหว่างวัตถุที่เป็นตัวนำด้วยกัน กรณีต่อมาในทันทีที่การแยกออกจากกันเริ่มขึ้น ประจุไฟฟ้าจะย้อนกลับไปยังวัตถุแหล่งกำเนิดเพราะว่าความคล่องตัวของประจุไฟฟ้าจะมากในวัตถุที่เป็นตัวนำ

ทั้งวัตถุที่เป็นตัวนำและฉนวนสามารถที่จะประจุได้ง่ายโดยการสัมผัสและการแยกออกจากกันกับอีกวัตถุที่เป็นฉนวน หน้าสัมผัสที่แนบสนิทกันเป็นความต้องการที่จะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าขึ้นความเร็วในการแยกออกจากกันของวัตถุในเวลานี้น้อยจะช่วยเพิ่มการสะสมของประจุไฟฟ้าและแรงดันที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.2 แสดงแรงดันสนามไฟฟ้าสถิตโดยทั่วไปที่สามารถถูกสร้างขึ้นภายใต้สถานการณ์ต่างๆ

ตารางที่ 2.2 Typical Electrostatic Voltages

	Electrostatic Voltage	
	10%-20% Relative Humidity	65%-90% Relative Humidity
Walking Across Carpet	35,000	1500
Walking On Vinyl Floor	12,000	250
Worker Moving At Bench	6000	100
Opening A Vinyl Envelope	7000	600
Picking Up Common Polyethylene Bag	20,000	1200
Sitting On Chair Padded With Polyurethane Foam	18,000	1500

สนามไฟฟ้าสถิตเป็นปรากฏการณ์ในเรื่องพื้นผิว ประจุไฟฟ้าจะมีอยู่ที่ผิวของวัตถุเท่านั้น ไม่ได้อยู่ภายในวัตถุ ประจุไฟฟ้าบนวัตถุฉนวนยังคงอยู่ในผิวของวัตถุที่มันถูกสร้างขึ้น และจะไม่มีการกระจายไปยังทั่วพื้นผิวของวัตถุ เหตุผลก็คือ การกวาดล้างของวัตถุที่เป็นฉนวนจะไม่สามารถกำจัดประจุไฟฟ้าได้ แต่ถ้าเป็นวัตถุที่เป็นตัวนำประจุไฟฟ้าจะสามารถถ่ายเทสู่การกวาดล้างได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคายประจุไฟฟ้าของสนามไฟฟ้าสถิต โดยปกติจะมีขบวนการอยู่ 3 อย่างด้วยกันคือ 1). ประจุถูกสร้างขึ้นบนวัตถุที่เป็นฉนวน, 2). ประจุไฟฟ้านี้จะถูกถ่ายเทไปยังตัวนำโดยการสัมผัสกัน หรือจากการเหนี่ยวนำของวัตถุทั้งสอง, 3). ประจุไฟฟ้าที่ถูกสะสมอยู่บนตัวนำจะเคลื่อนตัวเข้าไปใกล้วัตถุที่เป็นโลหะ, ซึ่งจะถูกต้องรวดเร็วเสมอ, และ การคายประจุจะเกิดขึ้น

ตัวอย่าง เมื่อคุณเดินผ่านพรม, รองเท้าของคุณซึ่งเป็นฉนวนจะถูประจุและเมื่อมันสัมผัสและแยกออกจากพื้น ประจุนี้จะถูกถ่ายโอนไปยังร่างกายของคุณซึ่งเป็นตัวนำ และถ้าคุณสัมผัสกับวัตถุจำพวกโลหะ ที่กราวด์หรือไม่ก็ตาม การคายประจุจะเกิดขึ้น เมื่อการคายประจุเกิดขึ้นกับวัตถุที่ไม่ได้ต่อกราวด์เช่น ลูกบิดประตู กระแสการคายประจุจะไหลผ่านค่าความจุระหว่างวัตถุกับกราวด์

ประจุไฟฟ้าที่ฉนวนโดยตัวมันเองแล้วไม่ได้มีปัญหาอะไรโดยตรง แต่เมื่อประจุไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระแล้ว มันจะไม่สามารถสร้างการคายประจุไฟฟ้าสถิตออกมาได้ ความไม่ปลอดภัยจากฉนวนมาจากแรงดันที่เหนี่ยวนำประจุไฟฟ้าบนตัวนำ ความเสียหายถาวรถูกทำโดยตัวนำ สิ่งสำคัญที่สุดคือโลหะ คาร์บอน และ มนุษย์(เนื่องจากค่าความนำของผิวหนัง)

### 2.1.2 การประจุก่าความเหนี่ยวนำ

วัตถุที่ถูกประจุไฟฟ้า(ฉนวนหรือตัวนำ) อยู่รอบๆตัวเราโดยสนามไฟฟ้าสถิต ถ้าวัตถุที่ถูกประจูก่อนนำไปใกล้ๆกับตัวนำ สนามไฟฟ้าจะทำการสมดุลประจุไฟฟ้าโดยการกระจายตัวออก ขั้วประจุไฟฟ้าจะอยู่บนพื้นผิวใกล้ๆตัวนำ

ถ้าการต่อเกิดขึ้นชั่วคราวกับกราวด์ ประจุไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ออกจากฝั่งของวัตถุที่ถูกประจุไปยังกราวด์ การเคลื่อนที่ออกของประจุที่ตัวนำ โดยปราศจากการสัมผัสกับวัตถุ จุดต่อกราวด์จำเป็นในการเหนี่ยวนำประจุ

### 2.1.3 ประจุไฟฟ้าสะสม

ประจุที่ถูกสะสมอยู่บนวัตถุถูกเก็บไว้โดยค่าความจุของตัววัตถุ โดยปกติ เราคิดว่าค่าความจุคือบางสิ่งที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นเพลทขนาน อย่างไรก็ตาม วัตถุทั้งหมดมีค่าความจุสุญญากาศในตัวมันเอง(ค่าความจุระหว่างวัตถุกับระยะที่อนันต์) เมื่อเพลทอีกส่วนนั้นมีผลอยู่ที่ระยะอนันต์ นี่เป็นค่าความจุที่ต่ำที่สุดที่วัตถุมี ค่าความจุสุญญากาศสามารถประมาณได้โดยการพิจารณาสมการพื้นที่ผิวทรงกลม

ค่าความจุระหว่างวัตถุทรงกลมสองวัตถุคือ

$$C = \frac{4\pi\epsilon}{\left(\frac{1}{r_1}\right) - \left(\frac{1}{r_2}\right)} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $r_1$  และ  $r_2$  เป็นรัศมีของวัตถุทรงกลมทั้งสอง ( $r_2 > r_1$ ) และ  $\epsilon$  คือค่าคงที่ไดอิเล็กทริก ของขอบเขตระหว่างทรงกลม

สำหรับสุญญากาศ  $\epsilon$  มีค่า  $8.85 \times 10^{-12}$  F/m ถ้ารัศมีของทรงกลมนอกเป็นอนันต์ สมการ(2) จะเป็น

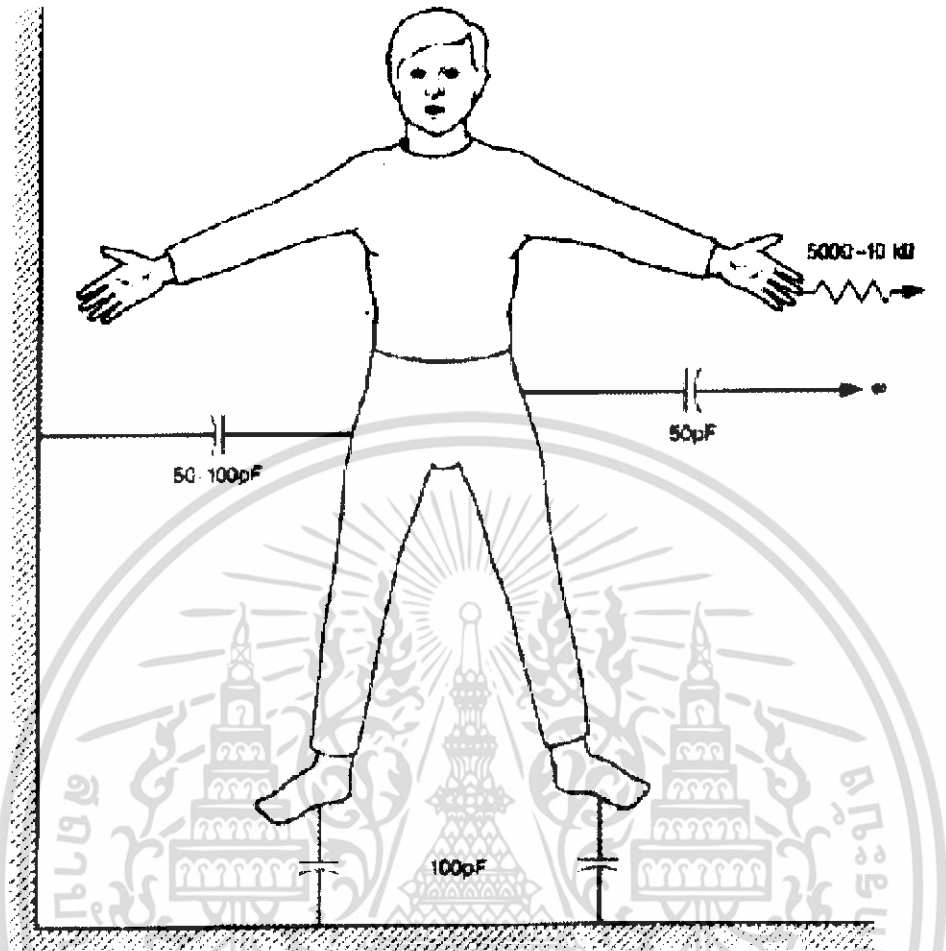
$$C = 4\pi\epsilon r \quad (2.3)$$

เมื่อ  $r$  คือรัศมีในหน่วยเมตรของทรงกลม สมการ(3) แสดงค่าความจุของร่างกายที่คิดว่าอยู่ใกล้กับวัตถุอื่นเป็นอนันต์ และสามารถใช้ประมาณค่าความจุสูงสุดของวัตถุต่างๆได้ สำหรับตัวอย่าง คนมีพื้นที่ผิวโดยประมาณเทียบกับทรงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ 1 เมตร ดังนั้นสมการที่(2.3) จะให้ค่าความจุสำหรับร่างกายของมนุษย์ประมาณ 50 pF โลกมีค่าความจุสุญญากาศอยู่ที่ประมาณ 700  $\mu$ F และวัตถุที่มีขนาดประมาณลูกหิน มีค่าความจุสุญญากาศประมาณ 1 pF

#### 2.1.4 แบบจำลองร่างกายมนุษย์

มนุษย์เป็นแหล่งจ่ายของการคายประจุสนามไฟฟ้าที่ดี วัตถุที่ถูกประจุจะถ่ายโอนประจุของมันไปยังชั้นผิวของมนุษย์อย่างรวดเร็ว

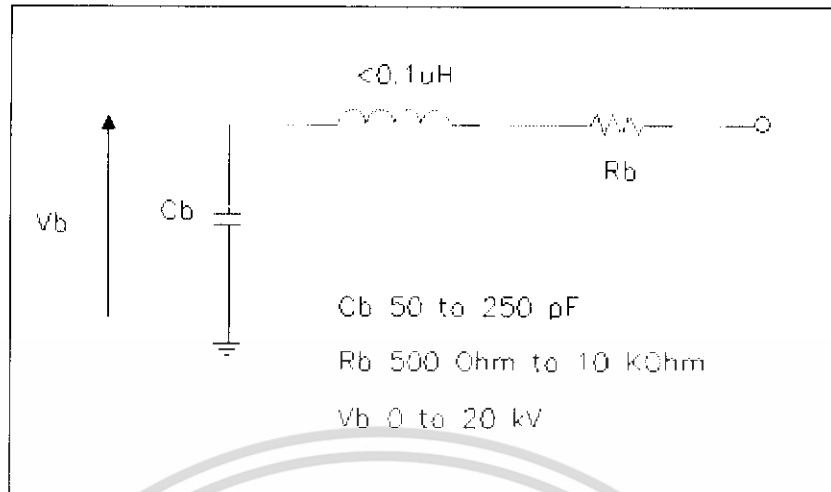
ค่าความจุประมาณ 50 pF ของตัวมนุษย์เมื่อเทียบกับระยะอนันต์ ค่าความจุระหว่างเท้ามนุษย์กับพื้นกรวดมีค่าประมาณ 100 pF แสดงดังรูปที่ 2.2 และค่าความจุประมาณ 50 – 100 pF จะเกิดขึ้นเนื่องจากวัตถุโดยรอบ เช่น กำแพง ดังนั้นค่าความจุของมนุษย์คือการรวมกันระหว่างค่าความจุสุญญากาศ รวมกับค่าความจุของวัตถุโดยรอบที่คล้ายกับเพลทขนาน ซึ่งจะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 50 – 250 pF



รูปที่ 2.2 แสดงแบบจำลองสำหรับการคายประจุไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์

แบบจำลองสำหรับการคายประจุสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์แสดงดังรูปที่ 2.3 ประจวบกับเก็บในค่าความจุของร่างกาย การคายประจุเกิดขึ้นผ่านตัวต้านทาน ซึ่งแสดงแทนค่าความต้านทานของร่างกายมนุษย์ ค่าความเหนี่ยวนำถึงแม้ว่าบ่อยครั้งที่จะไม่นำมาคิดในแบบจำลอง แต่ก็สำคัญในการคิดค่าเวลา rise time ของการคายประจุและควรจะนำมาคิดรวมด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แบบจำลองสำหรับการคายประจุสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์

ค่าความต้านทานของร่างกายสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 500 -10,000  $\Omega$  ขึ้นอยู่กับส่วนของร่างกาย ถ้าคายประจุจากส่วนของปลายนิ้วมือค่าความต้านทานจะมีค่าประมาณ 10,000  $\Omega$  ถ้าที่ฝ่ามือมีค่าประมาณ 1,000  $\Omega$  ถ้าจากโลหะที่ถือไว้ในมือจะประมาณ 500  $\Omega$  ส่วนการคายประจุที่เกิดจากวัตถุโลหะขนาดใหญ่เช่นเก้าอี้จะมีค่าความต้านทานน้อยประมาณ 50  $\Omega$

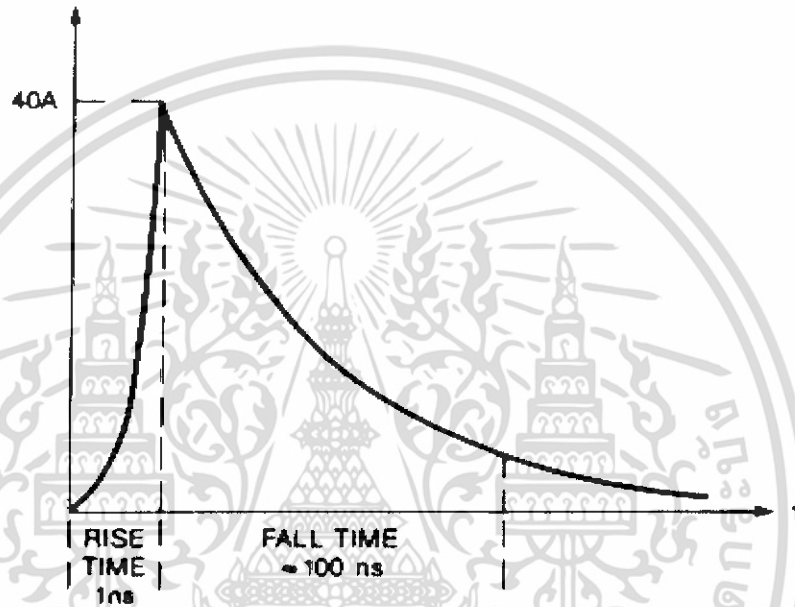
วงจรรูปที่ 2.3 สามารถจะใช้ทดสอบแบบจำลองการคายประจุจากตัวมนุษย์ได้ ไม่มีมาตรฐานอุตสาหกรรมหรือว่าข้อตกลงว่าค่าของอุปกรณ์ในวงจรควรมีค่าเท่าไร โดยปกติค่าที่ใช้ในอุตสาหกรรมจะใช้ค่าดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 Typical Human Body Model Component Values

Source	C (pF)	R ( $\Omega$ )	V (volt)	Energy (ml)
IEC 801-2	150	150	15000	16.9
SAE	200	250	15000	22.5
Company A	100	1500	15000	11.3
Company B	250	1000	20000	50
Company C	150	500	20000	30
Company D	50	10000	20000	10
Company E	300	500	15000	33.8
Company F	350	100	15000	39.4
Company G	100	500	10000	5.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรูปที่ 2.4 แสดงรูปร่างลักษณะโดยทั่วไปของกระแส ESD ที่เกิดจาก ค่าความจุ 150 pF, ค่าความต้านทาน 500  $\Omega$  จากแบบจำลองของร่างกายมนุษย์ เมื่อถูกประจุแรงดันถึง 20,000 โวลต์ ค่ากระแสสูงสุดสูงถึง 40 A ในช่วงเวลา rise time ( 10 to 90%) ใช้เวลาประมาณ 1 ns และ fall time ด้วยเวลาประมาณ 100 ns ค่าเวลา rise time ถูกกำหนดโดยค่าความเหนี่ยวนำในวงจร ในช่วงการคายประจุ ค่าความเหนี่ยวนำต่ำสุดเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบเครื่องทดสอบ ESD ค่าความเหนี่ยวนำนี้ควรมีค่าน้อยกว่า 0.1  $\mu$ H



รูปที่ 2.4 แสดงรูปร่างลักษณะ โดยทั่วไปของกระแส ESD

สองรูปแบบแบบจำลองที่นิยมใช้โดยทั่วไปใช้ค่าความจุ 150 pF, ค่าความต้านทาน 150  $\Omega$  ซึ่งเป็นค่าโดยเฉพาะของมาตรฐาน IEC 801-2 ( International Electrotechnical Commission) และใช้ค่าความจุ 100 pF, ค่าความต้านทาน 1500  $\Omega$  ในมาตรฐานของ DOD-HDBK-263

### 2.1.5 การคายประจุสนามไฟฟ้าสถิต (STATIC DISCHARGE)

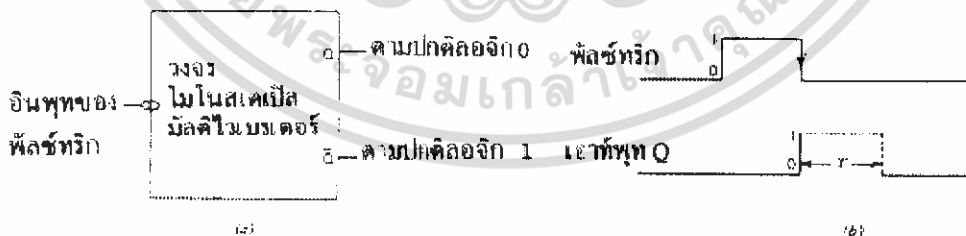
ประจุที่สะสมที่วัตถุจะถูกคายออกจากวัตถุโดยสม่ำเสมอด้วยหนึ่งในสองวิธีนี้คือการรั่วไหล(leakage) หรือ การเกิดประกายไฟ(arcing) แต่การหลีกเลี่ยงจากการเกิดประกายไฟนั้นปกติจะทำได้ดี การรั่วไหลมักจะเป็นทางที่ทำให้เกิดการคายประจุจากวัตถุ ประจุสามารถรั่วจากวัตถุผ่านอากาศ เนื่องจากความชื้น ความชื้นยิ่งสูงการคายประจุก็ยิ่งสูงตามด้วย ประจุบนวัตถุสามารถที่จะถูก

ขัดขวางการคายโดยการใส่เพิ่มประจุเข้าไปในอากาศด้วยประจุที่มีศักย์ตรงกันข้าม การหักล้างกันของประจุจะยิ่งสูงเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของประจุศักย์ตรงข้ามมีค่าสูง

การรั่วไหลของประจุที่ถูกประจุอยู่บนผิวหนังสามารถจะทำให้เกิดขึ้นโดยการต่อกราวด์ให้กับวัตถุ กราวด์นี้อาจจะเป็น hard ground (ค่าอิมพีแดนซ์ใกล้เคียงศูนย์) หรือว่าอาจจะเป็น soft ground (ค่าอิมพีแดนซ์สูงระดับ  $1,000,000 \Omega$ ) เมื่อร่างกายของมนุษย์เป็นตัวนำ การกราวด์จะใช้ สายข้อมือ (Wrist strap) อย่างไรก็ตามการกราวด์สนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์จะไม่สามารถคายประจุจากเสื้อผ้าที่สวมใส่หรือพลาสติกในมือได้ การที่จะคายประจุจากวัตถุเหล่านี้ การไอออไนเซชันหรือการใช้ความชื้นที่สูงสามารถที่จะทำให้เกิดการคายประจุได้ ควรหลีกเลี่ยงการกราวด์สนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์ด้วยวิธี hard ground เพราะว่าอาจจะเกิดอันตรายจากการที่มนุษย์เข้าใกล้กับระบบไฟฟ้าได้ ค่าต่ำสุดที่ควรใช้สำหรับการกราวด์มนุษย์ควรจะเป็น  $250 \text{ k}\Omega$  สำหรับสาย Wrist Strap ปกติจะมีค่าความต้านทานประมาณ  $1 \text{ M}\Omega$  ค่าความต้านทานที่สูงกว่านี้จะทำให้ใช้เวลานานในการคายประจุออกจากวัตถุ

## 2.2 วงจรโมนอสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ (MONOSTABLE MULTIVIBRATOR CIRCUIT)

วงจร โมนอสเตเบิล เป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์ชนิดหนึ่ง ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติอันเป็นลักษณะสมบัติของวงจรมัลติไวเบรเตอร์คือ ให้เอาท์พุทที่มีสถานะตรงข้ามกัน แต่เอาท์พุทที่ได้จะเสถียร(คงอยู่)เพียงสถานะเดียว (ไม่ว่าจะเซตหรือรีเซตก็ตาม) ส่วนในรูป 2.5 แสดงรูปคลื่นของพัลส์ทริก หนึ่งอินพุท และรูปคลื่นเอาท์พุทที่ได้ (สมมติให้การทริกเกิดที่ขอบตามของพัลส์) เอาท์พุทจึงเปลี่ยนเป็นสถานะสูง (เซต) ซึ่งเป็นสถานะที่ไม่เสถียร คือคงอยู่แค่ช่วงเวลา T เท่านั้น เวลา T ดังกล่าวถูกกำหนดโดยค่าของตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ภายนอก หลังจากหมดช่วงเวลา T แล้วเอาท์พุทจะกลับไปสู่สถานะเสถียรของมัน คือ รีเซต และคงอยู่เช่นนั้นจนกว่าจะมีพัลส์ทริกเข้ามาอีก

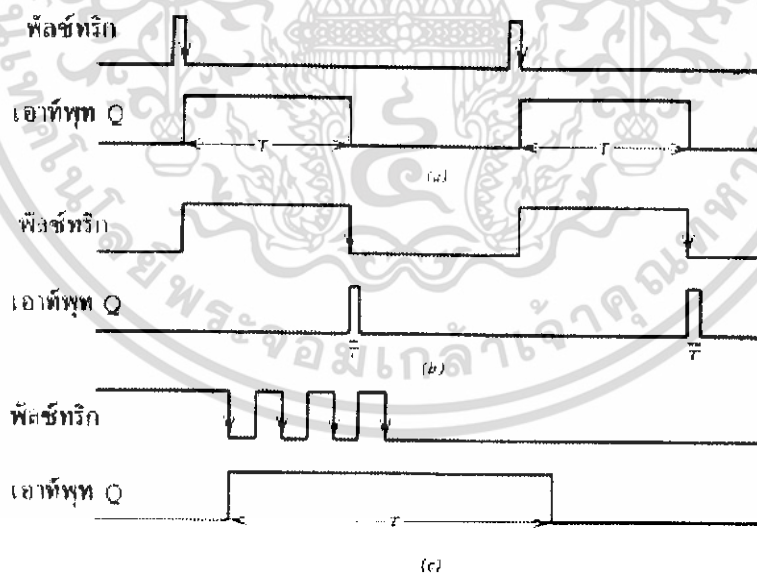


รูปที่ 2.5 การทำงานของวงจรโมนอสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ (ซิงเกิลช็อต)

(a) สัญลักษณ์ตรรกะของวงจรซิงเกิลช็อต (b) รูปคลื่นของพัลส์ทริกและเอาท์พุทที่ได้

ลองพิจารณารูปคลื่นในรูป 2.5 เราอาจมองว่าพัลส์เอาต์พุตของวงจรซิงเกิลช็อต เป็นพัลส์ที่ถูกหน่วงเวลาไป  $T$  หลังจากมีพัลส์ทริกที่ขอบตามเกิดขึ้น รูปที่ 2.6 แสดงสภาวะการทำงานต่างๆ ที่เป็นไปได้ของวงจรซิงเกิลช็อต เช่นรูป 2.6 a คือเมื่อมีขบวนพัลส์ทริกแคบๆ เกิดขึ้น จะได้เอาต์พุตเป็นขบวนพัลส์ที่มีความกว้างของพัลส์กว้างกว่า อย่างไรก็ตามช่วงกว้างของพัลส์เอาต์พุตคือ  $T$  นี้ จะมีค่าน้อยกว่าช่วงห่างระหว่างพัลส์ทริกที่อยู่ติดกัน และพัลส์ทริกใดๆ ที่เกิดขึ้นในช่วง  $T$  นี้ จะไม่มีผลต่อเอาต์พุต ในรูป 2.6 b จะสังเกตเห็นว่ามีลักษณะผกผันกับในรูป 2.6 a นั่นคือ เมื่อมีขบวนพัลส์ทริกที่มีช่วงกว้างพัลส์มาก จะได้เอาต์พุตเป็นขบวนพัลส์ที่มีช่วงกว้างน้อย

ในรูป 2.6 c แสดงให้เห็นว่าเราสามารถสร้างให้วงจรซิงเกิลช็อต กำหนดเอาต์พุตเป็นพัลส์เดี่ยว เมื่อมีสัญญาณทริกเป็นพัลส์หลายลูกได้ ลักษณะดังกล่าวอาจนำไปประยุกต์ใช้ในงานบางอย่างได้ ยกตัวอย่างเช่น ในการใช้สวิตช์ทางกล (MECHANICAL SWITCH) เป็นตัวสร้างพัลส์ทริก โดยที่สวิตช์ดังกล่าวทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณทริกจากสูงเป็นต่ำ แต่ความขรุขระไม่เรียบของหน้าสัมผัสสวิตช์ เป็นตัวการทำให้การเปลี่ยนสถานะของสัญญาณ (สูงไปต่ำและต่ำไปสูง) เกิดขึ้นหลายครั้ง นั่นคือเป็นการสร้างพัลส์ทริกจำนวนหลายลูกอันเป็นผลให้ระบบทำงานผิดพลาดได้ เราสามารถแก้ไขได้โดยใช้วงจรซิงเกิลช็อต ซึ่งให้เอาต์พุตเป็นพัลส์เพียงลูกเดียว แม้ว่ามีจำนวนพัลส์ทริกหลายลูกก็ตาม แต่มีข้อจำกัดว่าช่วงเวลาของการเกิดความไม่เรียบของหน้าสัมผัสสวิตช์ จะต้องน้อยกว่าช่วงเวลา  $T$  เท่านั้น

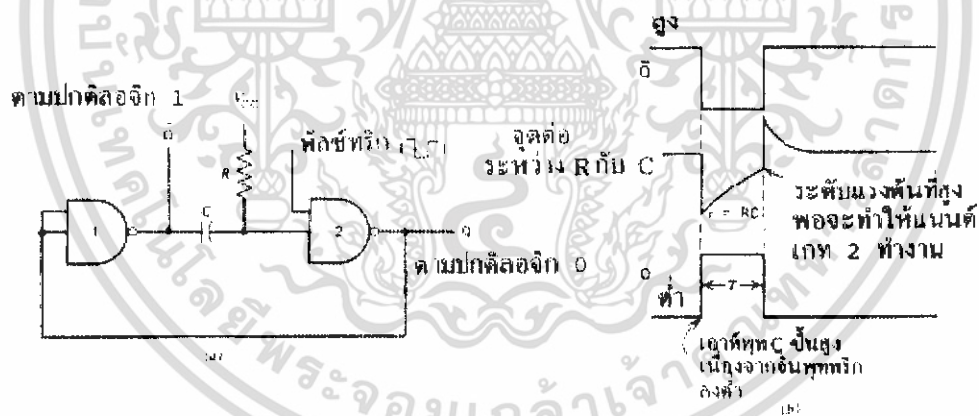


รูปที่ 2.6 ลักษณะการสร้างพัลส์บางอย่างของวงจรซิงเกิลช็อต (a) การสร้างพัลส์กว้างจากพัลส์แคบ (b) การสร้างพัลส์แคบจากพัลส์กว้าง (c) การกั้นพัลส์ที่ไม่ต้องการ

แผนภาพของวงจรซิงเกิลช็อตแสดงดังรูป 2.7 เอาท์พุทของแนนด์เกต 2 จะเป็นต่ำเพราะตามปกติระดับของสัญญาณทริกที่อินพุทจะเป็นสูง เมื่อเอาท์พุท  $Q$  เป็นต่ำ ทำให้อาท์พุท  $\bar{Q}$  เป็นสูง ตัวเก็บประจุยังไม่ถูกประจุ และวงจรยังคงอยู่ในสถานะเสถียร (ในที่นี้คือรีเซ็ท) จนกระทั่งสัญญาณทริกกลายเป็นต่ำไปชั่วขณะทำให้อาท์พุท  $Q$  เป็นสูง และ  $\bar{Q}$  เป็นต่ำ การเปลี่ยนสถานะจากสูงเป็นต่ำที่เอาท์พุทของเกต 1 ถูกส่งผ่านมายังอินพุทของเกต 2 โดยผ่านทางตัวเก็บประจุ  $C$  ขณะที่พัลส์ทริกอาจกลับไปเป็นสถานะสูงเหมือนเดิม แต่วงจรก็ยังคงอยู่ในสถานะนี้ ( $Q = 1$  และ  $\bar{Q} = 0$ ) รูป 2.7 b แสดงรูปคลื่นการทำงานของวงจร จะเห็นว่าแรงดันที่จุดต่อระหว่าง  $R$  และ  $C$  ซึ่งแต่เดิมเปลี่ยนระดับจากสูงเป็นต่ำ เมื่อ  $Q$  เป็นต่ำ ขณะนี้กำลังเพิ่มขึ้นเข้าหา  $V_{cc}$  ด้วยค่าเวลาคงตัว (TIME CONSTANT- $\tau$ ) ซึ่งกำหนดโดยค่าของ  $R$  และ  $C$  ที่ค่าเวลาคงตัวนี้ ( $\tau = RC$ ) แรงดันที่จุดต่อ  $RC$  จะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับที่ทำให้แนนด์เกต 2 ทำงาน เอาท์พุท  $Q$  จึงกลายเป็นต่ำสถานะไม่เสถียร ( $Q = 1$ ) ของวงจรมีสิ้นสุดลงหลังจากหมดช่วงเวลา  $T$  โดยที่  $T$  เป็นฟังก์ชันของเวลาที่แปรตาม  $R$  และ  $C$

วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ บางวงจรอาจเป็นไปตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$T = 0.7RC \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.7 วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ที่สร้างจากแนนด์เกต

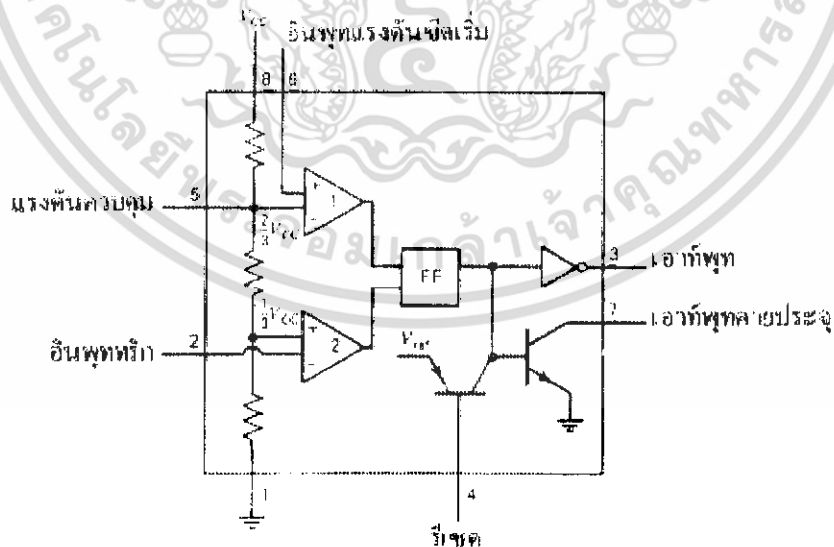
(a) วงจร (b) รูปคลื่นการทำงานของวงจร

### 2.3 วงจรอะอสเตเบิลและโมนอสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ โดยใช้ไอซีโทมเมอร์ 555

ไอซีโทมเมอร์ 555 นี้ เป็นที่นิยมกันมาก เพราะนำไปประยุกต์ใช้งานได้มากมาย เพราะสามารถทำให้ทำงานเป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์ได้ทั้งแบบโมนอสเตเบิล และอะอสเตเบิล ภายในตัวไอซีประกอบไปด้วยวงจรเปรียบเทียบแรงดัน 2 วงจร , ฟลิปฟลอป, อินเวอร์เตอร์ และอุปกรณ์อื่นๆ ดังใน 2.8 ตัวถังของไอซี 555 ที่ผู้ผลิตได้ผลิตขึ้นมาอีก 3 แบบ คือแบบตัวถังโลหะ 8 ขา , ตัวถังพลาสติกแบบคิป 8 ขา และแบบคิป 14 ขา แต่แบบแรกและแบบหลังไม่เป็นที่นิยม ดังนั้นเราจะกล่าวถึงแบบคิป 8 ขาเท่านั้น

ตัวต้านทาน  $5K\Omega$  สามตัวที่ต่ออนุกรมกันภายในไอซี ถูกต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดัน 2 ระดับ คือ  $1/3 V_{cc}$  และ  $2/3 V_{cc}$  ( $V_{cc}$  คือไฟเลี้ยงของไอซี 555 ซึ่งอาจมีค่าตั้งแต่ 4.5 V ถึง 18 V) เมื่อแรงดันขีดเริ่ม (THRESHOLD VOLTAGE) ที่ขา 6 มีค่าสูงกว่า  $2/3 V_{cc}$  วงจรเปรียบเทียบแรงดัน 1 จะทำการเซตฟลิปฟลอป ดังนั้นเอาต์พุต (ขา 3) จะเป็นสถานะต่ำ รวมทั้งเอาต์พุตคลายประจุ (ขา 7) จะลดลงเป็นค่าด้วย เมื่ออินพุตทริกเกอร์ (ขา 2) มีค่าลดลงต่ำกว่า  $1/3 V_{cc}$  วงจรเปรียบเทียบแรงดัน 2 จะรีเซตฟลิปฟลอป ดังนั้นเอาต์พุตที่ขา 3 จะเป็นสถานะสูง และทรานซิสเตอร์ที่ขา 7 จะอยู่ในสภาวะเปิดวงจร

ขา 5 เป็นขาควบคุมแรงดัน ใช้สำหรับเปลี่ยนระดับแรงดันของอินพุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดัน 1 ตามปกติถ้าไม่ใช้ ขา 5 ควรต่อกับตัวเก็บประจุ  $0.01 \mu F$  เพื่อช่วยลดสัญญาณรบกวนความถี่สูงจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง อินพุตรีเซ็ต (ขา 4) เมื่อเป็นสถานะต่ำจะทำการขับเอาต์พุตคลายประจุ (ขา 7) โดยทั่วไปถ้าระดับแรงดันที่ขา 4 ต่ำกว่า 0.4 V ไอซีจะไม่สามารถทำงานได้



รูปที่ 2.8 วงจรภายในไอซีโทมเมอร์ 555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

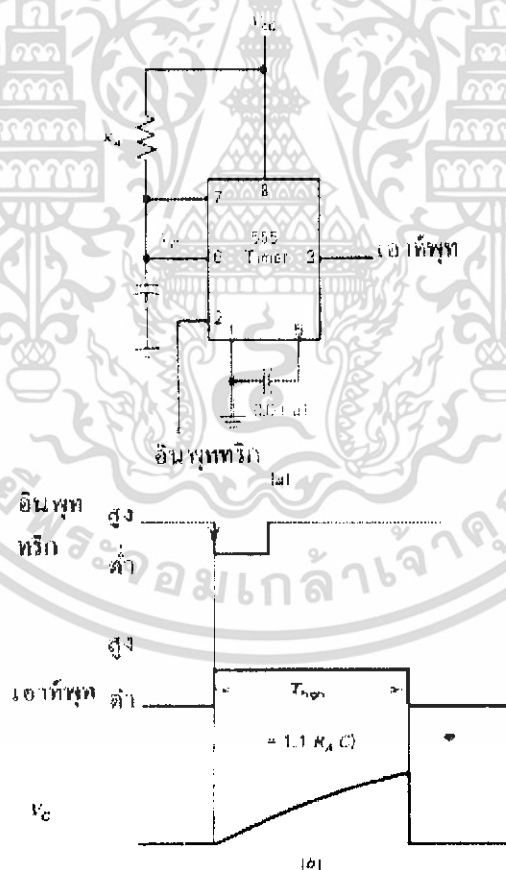
ตามที่กล่าวมาแล้วว่าไอซี 555 สามารถต่อเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์หรือโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ก็ได้ โดยต่อกับตัวต้านทานและตัวเก็บประจุภายนอกซึ่งสามารถกำหนดความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตได้

#### 2.4 วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์

วงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์ที่ใช้ไอซี 555 แสดงดังรูป 2.9 ลองย้อนกลับไปพิจารณารูปที่ 2.5 ด้วย อินพุตทริกเกอร์ที่ขา 2 เมื่อได้รับการทริกจากสัญญาณภายนอก และระดับของสัญญาณทริกลดต่ำลง (ต่ำกว่า  $1/3 V_{CC}$ ) จะทำให้เอาต์พุตที่ขา 3 มีสถานะสูง ตัวเก็บประจุ C จะเก็บประจุผ่านตัวต้านทาน  $R_A$  จนกระทั่งแรงดันที่ตกคร่อมตัวมันมีค่าเข้าใกล้  $V_{CC}$  โดยใช้เวลาประมาณ

$$T_{HIGH} = 1.1 R_A C \quad (2.5)$$

ในระหว่างช่วงเวลาดังกล่าว เอาต์พุตยังคงเป็นสถานะสูงจนกระทั่งแรงดันที่ตกคร่อม C เพิ่มขึ้นสูงกว่า  $2/3 V_{CC}$  ซึ่งทำให้วงจรเปรียบเทียบแรงดัน 1 ทำงานและทริกฟลิปฟลอป ทำให้เอาต์พุตที่ขา 3 กลับเป็นสถานะต่ำอีก รวมทั้งเอาต์พุตคายประจุที่ขา 7 ลดสถานะลงเป็นต่ำ

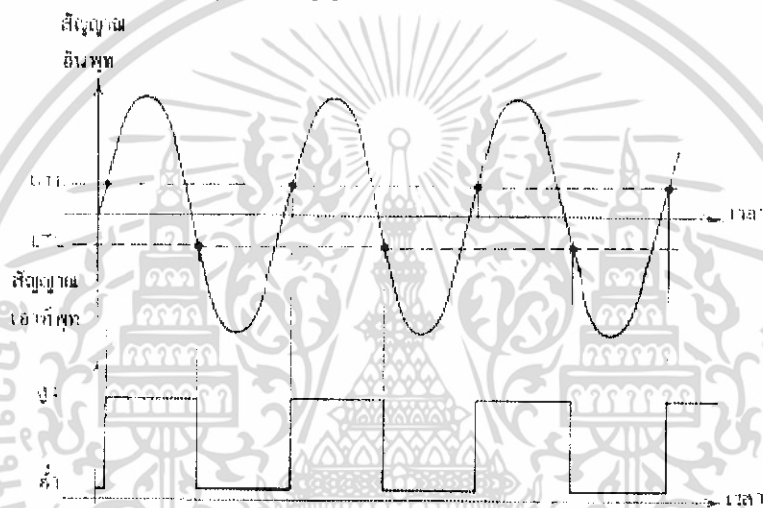


รูปที่ 2.9 ไอซี 555 ต่อเป็นวงจรโมโนสเตเบิล มัลติไวเบรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 วงจรสมิททริกเกอร์

วงจรสมิททริกเกอร์ (SCHMITT TRIGGER) เป็นวงจรที่มีการทำงานคล้ายกับวงจรมัลติไวเบเรเตอร์ โดยมากเราใช้วงจรสมิททริกเกอร์ เป็นวงจรเปลี่ยนแปลงรูปคลื่น ลักษณะที่คล้ายกับวงจรมัลติไวเบเรเตอร์ ก็คือมีเอาต์พุตที่มีสถานะตรงข้ามกัน 2 สถานะ รวมทั้งต้องมีสัญญาณทริกด้วย แต่สัญญาณทริกไม่ได้อยู่ในรูปของพัลส์สี่เหลี่ยม แต่จะเป็นกระแสหรือแรงดันไฟสลับที่เปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ วงจรสมิททริกเกอร์ ทำงานด้วยระดับของสัญญาณทริก ซึ่งมีอยู่ 2 ระดับ คือ ระดับทริกต่ำ (LOWER TRIGGER LEVEL-LTL) และระดับทริกสูง (UPPER TRIGGER LEVEL-UTL) อินพุตของวงจรสมิททริกเกอร์ จะเป็นสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ เช่น คลื่นรูปไซน์ และให้อาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิทัล (ลอจิก 1 และ 0)



รูปที่ 2.10 รูปคลื่นแสดงอินพุตและเอาต์พุตของวงจรสมิททริกเกอร์

ในรูป 2.10 แสดงรูปอินพุต, เอาต์พุตของวงจรสมิททริกเกอร์ จะสังเกตว่าความถี่ของสัญญาณเอาต์พุต ยังคงเท่ากับความถี่ของสัญญาณอินพุต จากลักษณะนี้เองที่เรานำมาประยุกต์ใช้งานได้เช่น เปลี่ยนระดับแรงดันไฟบ้าน 50 Hz เป็นสัญญาณนาฬิกาความถี่ 50 Hz หรือเป็นตัวตรวจจับ โดยให้สัญญาณเอาต์พุตออกมา เมื่อระดับแรงดันทางอินพุตสูงกว่าระดับที่ตั้งไว้ (ระดับทริกสูง)

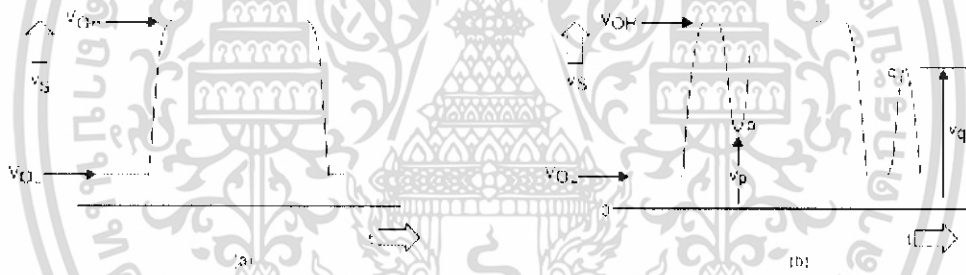
### 2.5.1 จุดกำเนิดของวงจรสมิททริกเกอร์

อย่างไรก็ตามเมื่อเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นในสายส่ง จะทำให้สัญญาณดิจิทัลผิดเพี้ยนไป สัญญาณรบกวนนี้เรียกว่าสไปก์ (Spikes) ในที่นี้แทนด้วย  $p$  และ  $q$  มีระดับแรงดันเป็น  $V_p$  และ  $V_q$

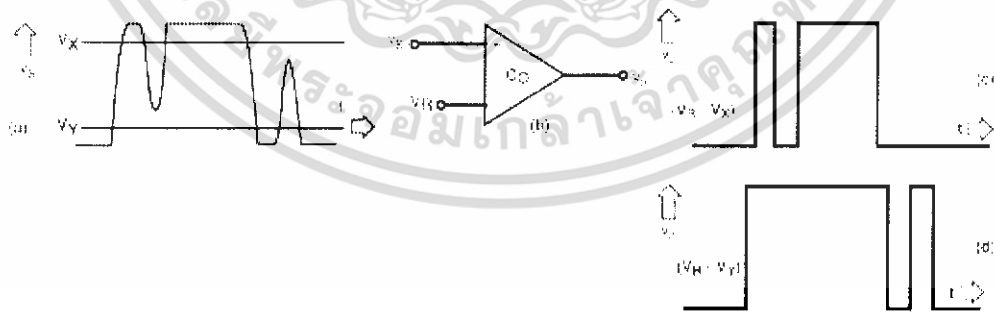
ตามลำดับ ส่วนมากเกิดขึ้นหลังการเปลี่ยนสถานะหรือบางครั้งเกิดขึ้นระหว่างการเปลี่ยนสถานะก็ได้เช่นกัน

สัญญาณรบกวน  $p$  และ  $q$  นี้ อาจทำให้วงจรทำงานผิดพลาดได้ ดังนั้นจึง ต้องมีวิธีกำจัดสัญญาณรบกวนนี้ออกไปจากสัญญาณดิจิทัลเดิม โดยในขั้นต้นการใช้ตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์ (Comparator) ดูเหมือนว่าจะเป็นวิธีที่เหมาะสม แต่เมื่อพิจารณารูปที่ 2.11 สัญญาณดิจิทัลที่มีสัญญาณรบกวนดังรูป 2.11b) ถูกป้อนเข้าอินพุตขาบวก (+) ของตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์  $C_0$  ดังรูปที่ 2.11b) จะได้เอาต์พุตที่มีสถานะตรงกับอินพุตออกมา โดยถ้าศักย์ไฟฟ้าอ้างอิง  $V_R$  ที่ต่อกับอินพุตลบ (-) ของ  $C_0$  เท่ากับ  $V_X$  จะได้เอาต์พุตดังรูปที่ 2.12c) สัญญาณรบกวน  $q$  ถูกกำจัดออกไปแต่สัญญาณรบกวน  $p$  ยังคงอยู่และมีผลทำให้ เอาต์พุตกลายเป็นสองลูก เช่นเดียวกับกรณีของ  $V_R = V_Y$  จะกำจัดได้เฉพาะสัญญาณรบกวน  $p$

จากตัวอย่างนี้พบว่าถ้า  $V_p < V_Q$  แล้วการใช้ตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์เพียงลำพังตัวเดียวไม่สามารถกำจัดคลื่นรบกวนทั้งสองออกไปได้พร้อมกัน แต่เราสามารถใช้วงจรซึ่งเป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายที่มีชื่อว่า วงจรชนิดต์ริกเกอร์ (Schmitt trigger) ในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้



รูปที่ 2.11 a) รูปร่างของสัญญาณดิจิทัลที่ต้องการ b) สัญญาณรบกวน  $p$  และ  $q$



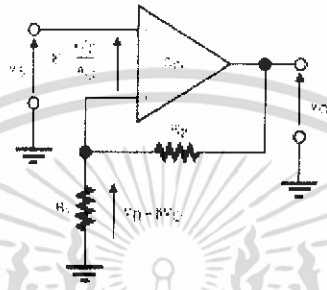
รูปที่ 2.12 a) สัญญาณดิจิทัล  $V_X$  b) ตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์ในอุดมคติ  $C_0$

c) เอาต์พุตเมื่อ  $V_R = V_X$  และ d) เอาต์พุต  $V_R = V_Y$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

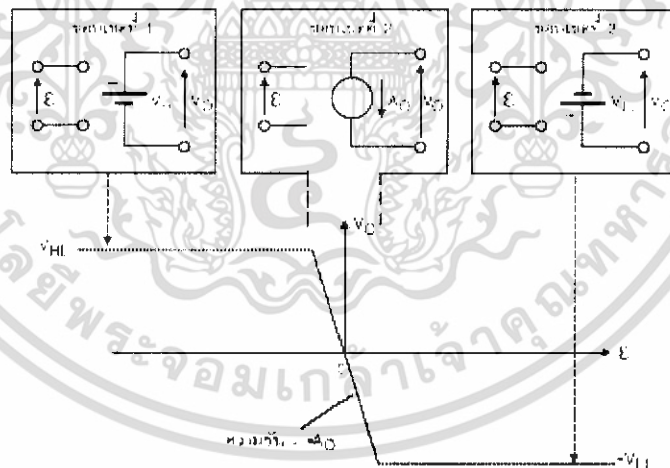
## 2.5.2 หลักการทำงานของวงจรมิตต์ทริกเกอร์

วงจรมิตต์ทริกเกอร์มีการต่อวงจรได้หลายลักษณะ แต่โดยทั่วไปจะประกอบด้วยตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์ที่มีการป้อนกลับสัญญาณแบบบวก (Positive feedback) ตัวอย่างรูปที่ 2.13 เป็นการออกแบบให้วงจรทำงานในโหมด Inverting เอาท์พุทมีสถานะตรงกันข้ามกับอินพุท ส่วนการทำงานในโหมด Non-inverting ซึ่งเอาท์พุทมีสถานะตรงกับอินพุทนั้นจะได้กล่าวต่อไป ภายหลัง



รูปที่ 2.13 วงจรมิตต์ทริกเกอร์ที่ทำงานในโหมด Inverting

จากรูปที่ 2.13 ความต่างศักย์ทั้งสามได้แก่ แรงดันของสัญญาณดิจิทัล, ผลต่างของแรงดันอินพุททั้งสอง และแรงดันเอาท์พุท เขียนแทนด้วย  $V_S$ ,  $\epsilon$  และ  $V_O$  ตามลำดับ



รูปที่ 2.14 กราฟคุณสมบัติการทำงานตามอุดมคติของ  $C_0$  และแบบจำลองดีซี (DC Model)

กราฟคุณสมบัติการทำงาน (Static transfer characteristic) ของ  $C_0$  ประกอบด้วยกราฟเส้นตรงรูปตัว 'Z' ซึ่งจะแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ส่วน โดยเรียกแต่ละส่วนเป็นขอบเขตการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานและมีวงจรมูลย้อยธิบายการทำงานของแต่ละขอบเขตกำกับอยู่ด้านบนดังรูปที่ 2.14 ขอบเขตที่ 1 และ 3 เป็นการทำงานในสภาวะอิ่มตัว (Saturation) โดยที่แรงดันเอาต์พุตมีค่าคงที่เท่ากับแหล่งจ่ายไฟ  $V_{HL}$  และ  $-V_{LL}$  ตามลำดับ ส่วนขอบเขตที่ 2 เป็นการทำงานในสภาวะแอกทีฟ (Active) นั่นคือ ระดับแรงดันเอาต์พุตถูกควบคุมด้วยผลต่างของระดับแรงดันอินพุตทั้งสอง

จากรูปที่ 2.13 จะได้ว่า

$$V_S = \varepsilon + \beta V_O \quad (2.6)$$

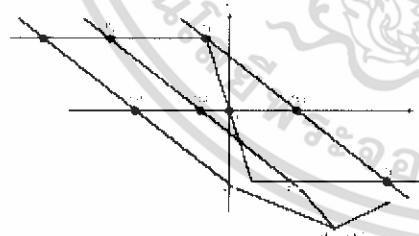
โดยที่

$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad (2.7)$$

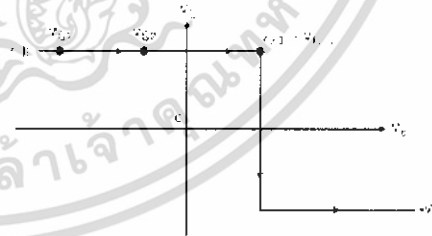
จัดสมการที่ 1 ใหม่จะได้ว่า

$$V_O = -\frac{\varepsilon}{\beta} + \frac{V_S}{\beta} \quad (2.8)$$

เมื่อเขียนกราฟตามสมการที่ 3 ซ้อนบนแกนของกราฟคุณสมบัติการทำงานของ  $C_O$  จะได้เส้นตรงความชัน  $-1/\beta$  ตัดผ่านแกน X ที่จุด  $\varepsilon = V_S$  และเรียกเส้นตรงนี้ว่า เส้นปฏิบัติการ (Operating line) ส่วนจุดตัดบนกราฟซึ่งวงจรสามารถทำงานได้เรียกว่า จุดปฏิบัติการ (Operating point) พิจารณาผลลัพธ์ที่ได้เมื่อ  $V_S$  มีค่าต่าง ๆ กัน เช่น เส้นตรง 'a' ในรูปที่ 2.15 เกิดจาก  $V_S = V_{S1}$  เมื่อ  $V_{S1}$  มีค่าติดลบมากๆ จะได้เส้นตรงตัดกับกราฟคุณสมบัติการทำงานที่จุด  $P_1$  นั่นคือ  $V_O = -V_{LL}$  แต่เมื่อมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในวงจร ทำให้ค่า  $\varepsilon$  เปลี่ยนไปเล็กน้อยในช่วงเวลาสั้น ๆ จุดปฏิบัติการจะมีการแกว่งตัวเล็กน้อยแต่ในที่สุดจะกลับมายู่ที่  $P_1$  ตามเดิม ซึ่งถือว่าเป็นตำแหน่งที่มีความเสถียร

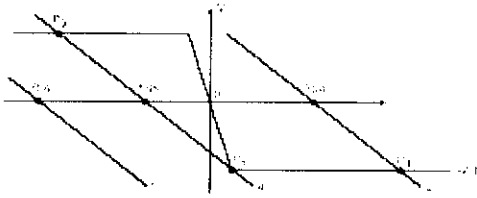


รูปที่ 2.15 เส้นตรง 'a', 'b' และ 'c' เมื่อ  $V_S = V_{S1}$ ,  $C_O$  ใน  $V_{S2}(>V_{S1})$  และ  $V_{S3}(>V_{S2})$  ตามลำดับ

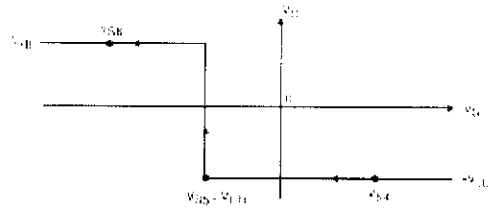


รูปที่ 2.16 กราฟคุณสมบัติการทำงานของ  $C_O$  ใน  $V_{S2}(>V_{S1})$  และ  $V_{S3}(>V_{S2})$  ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 เส้นตรง 'd', 'e' และ 'f' เมื่อ  $V_S = V_{S4}$ ,  $C_O$  ใน  $V_{S5}(>V_{S4})$  และ  $V_{S6}(>V_{S5})$  ตามลำดับ



รูปที่ 2.18 กราฟคุณสมบัติการทำงานของรูปที่ 2.13 เมื่อ  $V_S$  มีค่าลดลง

เส้นตรง 'b' เกิดขึ้นเมื่อ  $V_S = V_{S2} (> V_{S1})$  ซึ่งจะตัดกราฟคุณสมบัติการทำงานทั้งหมดสามจุด มีจุดปฏิบัติการอยู่ที่  $P_2$  โดย  $V_O$  ยังคงเท่ากับ  $V_{HL}$  ส่วนจุดตัดอีกสองจุดไม่ใช่จุดปฏิบัติการ เนื่องจาก ณ เวลาใดเวลาหนึ่งตัวเปรียบเทียบความต่างศักย์จะมีสถานะการทำงานเพียงอย่างเดียว

เมื่อ  $V_S = V_{S3} (> V_{S2})$  เส้นปฏิบัติการจะตัดกับกราฟคุณสมบัติการทำงานของ  $C_O$  ที่จุด  $P_3$  และ  $P_3'$  โดยจุด  $P_3$  คือจุดที่เส้นตรง 'c' สัมผัสกับกราฟคุณสมบัติการทำงานที่จุดเริ่มต้นของขอบเขตที่ 2 และ  $C_O$  มีคุณสมบัติการขยายสัญญาณแบบเชิงเส้น และหากค่า  $\epsilon$  เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยจะทำให้  $C_O$  มีพฤติกรรมการสวิตช์ไปมาระหว่างขอบเขตที่ 1 และ 3 และพฤติกรรมนี้จะหยุดลงเมื่อวงจรเข้าสู่ภาวะเสถียรที่จุด  $P_3'$  บนขอบเขตที่ 3

ค่า  $V_{S3}$  เรียกว่า Upper Trip Level และนิยมเขียน  $V_{S3}$  ใหม่โดยมีอักษร UTL ห้อยท้ายเป็น  $V_{UTL}$

เมื่อแทนค่า

$$\epsilon = -\frac{V_{TH}}{A_O}$$

ลงในสมการที่ 1 จะได้ว่า

$$V_{S3} = V_{UTL} = -\frac{V_{HL}}{A_O} + (\beta V_{TH}) \quad (2.9)$$

ในทางปฏิบัติ  $\beta \gg \left(\frac{1}{A_O}\right)$  จะได้ว่า

$$V_{UTL} \approx \beta V_{TH} \quad (2.10)$$

รูปที่ 2.16 ซึ่งได้จากรูปที่ 2.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $V_O$  และ  $V_S$  โดยค่า  $V_S$  เพิ่มขึ้นตามทิศทางของลูกศรและระดับแรงดันอินพุตที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา  $t$  ที่เพิ่มขึ้น

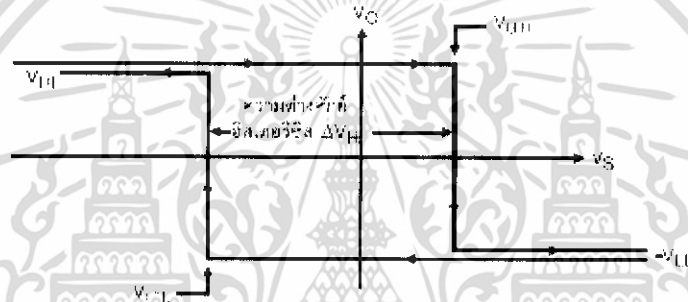
พิจารณารูปที่ 2.17 โดยการเปรียบเทียบกับรูปที่ 2.15 เส้นตรง 'd', 'e' และ 'f' สัมพันธ์กับค่า  $V_S$  ที่ลดลงเริ่มจากค่า  $V_{S4} (> V_{S3})$  ทำให้  $V_O$  มีค่าเท่ากับ  $-V_{LL}$  และมีค่าคงที่เมื่อ

$V_S = V_{SS}$  จะได้เส้นตรง 'e' ซึ่งสัมพันธ์กับปลายอีกด้านหนึ่งของขอบเขตที่ 2 ของกราฟคุณสมบัติการทำงานที่จุด  $P_5$

เมื่อสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในวงจรทำให้  $\mathcal{E}$  มีค่าลดลงเพียงเล็กน้อยจะส่งผลให้  $C_O$  มีพฤติกรรมการสวิตช์ไปมาระหว่างขอบเขตที่ 1 และ 3 และจะหยุดลงเมื่อเข้าสู่จุด  $P_5'$  บนขอบเขตที่ 1 พิจารณาจากรูปที่ 2.18 ซึ่งได้จากรูปที่ 2.17 เช่นเดียวกับรูปที่ 2.16 ที่ได้จากรูปที่ 2.15 ค่า  $V_S$  ลดลงตามทิศทางของลูกศรโดยมีระดับแรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงตามเวลา  $t$  ที่เพิ่มขึ้น

ค่าของ  $V_{SS}$  มีชื่อเรียกว่า Lower Trip Level และด้วยเหตุผลเดียวกันกับสมการที่ 2-10 จะได้ว่า

$$V_{SS} = V_{LTL} \approx -\beta V_{UL} \quad (2.11)$$



รูปที่ 2.19 วงจรฮิสเทอรีซิสโดยเกิดจากการรวมรูปที่ 2.16 และ 2.18 เข้าด้วยกัน และมีส่วนของเส้นตรงที่อยู่บนแกนอนเมื่อ  $V_S < V_{LTL}$  และ  $V_S > V_{UL}$  เขียนไว้ห่างกันเล็กน้อยเพื่อป้องกันความสับสน

รูปที่ 2.19 เกิดจากการรวมกราฟรูปที่ 2.16 และ 2.18 เข้าด้วยกัน ใช้แสดงคุณสมบัติการทำงานของวงจรทั้งในทิศทางที่  $V_S$  ที่เพิ่มขึ้นและลดลง ส่วนของเส้นกราฟในแกนอนที่มี  $V_S < V_{LTL}$  และ  $V_S > V_{UL}$  ดังรูปนั้น ความจริงแล้วจะต้องทับกันพอดีเป็นเส้นตรงเดียวกัน แต่เพื่อป้องกันความสับสนที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากจะเห็นลูกศรทั้งสองทิศทางอยู่บนเส้นตรงเดียวกัน จึงได้เขียนให้เส้นตรงทั้งสองห่างกันเล็กน้อย

## 2.6 ฟลิป-ฟลอป T

ฟลิป-ฟลอป T หรือบางครั้งเรียกว่า ฟลิป-ฟลอปที่อ็อกเกิล (Toggle Flip-Flop) เป็นวงจรที่มีอินพุตเพียงตัวเดียว ส่วนเอาต์พุตมี  $Q$  และ  $\bar{Q}$  การทำงานของวงจรจะเปลี่ยนสถานะทุกครั้งที่มี

สัญญาณเข้ามาที่อินพุต T สัญญาลักษณ์และแผ่นภูมิเวลของฟลิป-ฟลอป T แสดงรูปที่ การทำงานของวงจรนั้น ก่อนจะมีอินพุตเข้ามา (ที่เวลา  $t_n$ ) ฟลิป-ฟลอปจะอยู่ในสถานะหนึ่ง เมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่อินพุต T สถานะของฟลิป-ฟลอปจะเปลี่ยนไปยังอีกสถานะหนึ่งที่ตรงข้าม ดังตารางความจริงที่



รูปที่ 2.20 ฟลิป-ฟลอป T

ตารางที่ 2.4

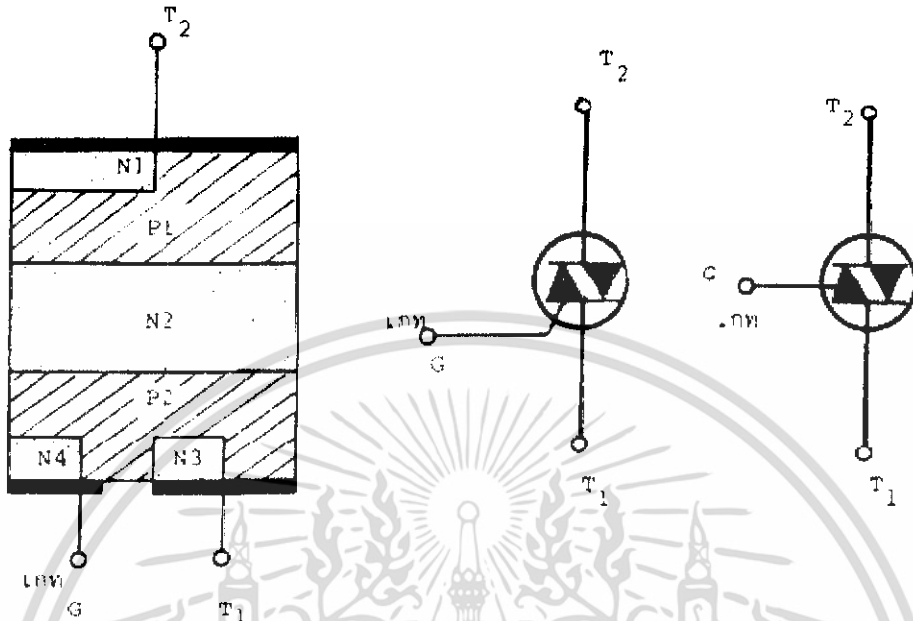
เวลา $t_n$ ก่อนมีอินพุต		เวลา $t_{n+1}$ หลังมีอินพุต	
$Q_n$	$\bar{Q}_n$	$Q_{n+1}$	$\bar{Q}_{n+1}$
1	0	0	1
0	1	1	0

จากตารางความจริงที่ 2.4 สมมุติว่าเดิม  $Q_n=1$  และ  $\bar{Q}_n=0$  เมื่อมีอินพุตเข้ามาที่ T เอาท์พุต  $Q_{n+1}=0$  และ  $\bar{Q}_{n+1}=1$  หรือในทางกลับกันเมื่อ  $Q_n=0$  และ  $\bar{Q}_n=1$  เมื่อมีอินพุตเข้ามาจะทำให้  $Q_{n+1}=1$  และ  $\bar{Q}_{n+1}=0$

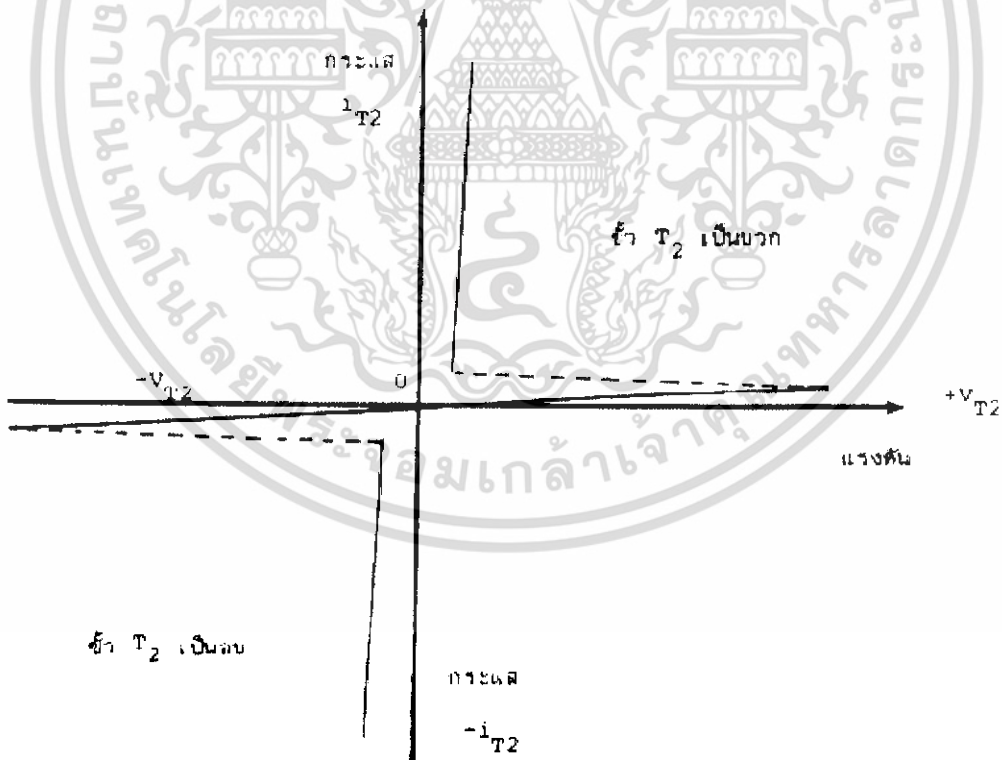
### 2.7 ไตรแอก (Trice หรือ Bidirectional Thyristor)

โครงสร้างพื้นฐานของไตรแอกแสดงได้ดังในรูปที่ 2.20 ก. ซึ่งจะเห็นว่า มีลักษณะคล้ายๆ กับ SCR กล่าวคือมีเกทหนึ่งเกท และอีกสองขั้วคือ  $T_1$  และ  $T_2$  ซึ่งกระแสหลักจะไหลผ่านไตรแอก แตกต่างจาก SCR ตรงที่ว่า ไตรแอกสามารถทำงานในภาวะ on-state ได้ โดยการที่ขั้ว  $T_1$  อาจมีศักย์เป็นบวกหรือลบก็ได้ และยังไปกว่านี้ไปอีกขั้วที่เกทซึ่งจะกระตุ้นให้ไตรแอกทำงานนั้นก็อาจเป็นบวกหรือลบได้เช่นกัน ดังนั้นเราจึงอาจเรียกไตรแอกนี้ว่า Bidirectional thyristor โดยทั่วไปไตรแอกจะทนกระแสและแรงดันได้น้อยกว่า SCR แต่คุณประโยชน์และข้อดีของไตรแอกก็มีมาก กล่าวคือ สามารถถูกกระตุ้นให้ทำงานได้โดยแรงดันเกทซึ่งเป็นที่ขั้วบวกหรือลบ ดังนั้นจึงเหมาะสมสำหรับงานการควบคุมการไหลของกระแสในระบบไฟฟ้ากระแสสลับ รูปที่ 2.20 ข. แสดงคุณสมบัติของไตรแอกโดยทั่วไป ซึ่งจะเห็นได้ชัดว่าไตรแอกสามารถทำงานในภาวะ on-state ได้

ทั้งในขณะที่  $V_{T_2}$  เป็นบวกและลบ ลักษณะการทำงานของไครแอดในขณะที่ได้รับไบอัสในแบบต่างๆ สรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 2.21 ก.แสดงลักษณะ โครงสร้างพื้นฐานของไครแอดและสัญลักษณ์



รูปที่ 2.21 ข.แสดงคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของไครแอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5

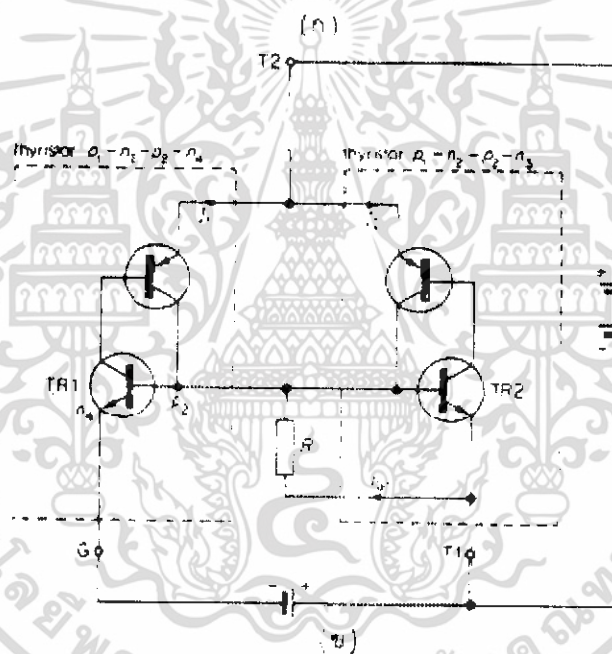
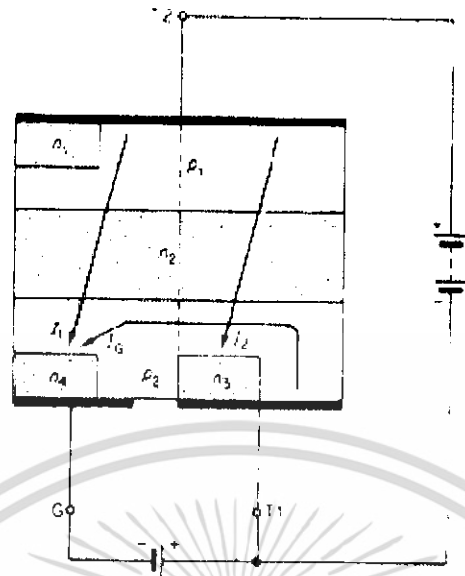
Mode	สัถย์ของขั้ว $T_2$ เมื่อเทียบกับ $T_1$	สัถย์ของเกทเมื่อเทียบกับ $T_1$
I'	บวก	บวก
I	บวก	ลบ
III	ลบ	บวก
III'	ลบ	ลบ

-การทำงานลักษณะ I' - mode (ขั้ว  $T_2$  เป็นบวก เกทเป็นบวก)

ในการทำงานลักษณะนี้ขั้วของ  $T_2$  จะมีสัถย์เป็นบวกเมื่อเทียบกับขั้ว  $T_1$  และเกทจะมีสัถย์เป็นบวกเมื่อเทียบกับขั้ว  $T_1$  ในภาวะนี้ไตรแอกจะยอมให้กระแสไหลผ่านส่วน  $p_1 - n_2 - p_2 - n_3$  คูในรูปที่ 2.21

-การทำงานลักษณะ I - mode (ขั้ว  $T_2$  เป็นบวก เกทเป็นลบ)

การทำงานของไตรแอกในลักษณะนี้แสดงได้ดังในรูปที่ 2.22 โดยรูป (ก) แสดงแนวทางของกระแสซึ่งไหลผ่านไตรแอก และ (ข) แสดงวงจรเปรียบเทียบซึ่งใช้สำหรับอธิบายการทำงานของไตรแอก กล่าวคือประกอบด้วย SCR สองตัวต่อร่วมกันโดยมี  $p_1 - n_2 - p_2 - n_4$  และ  $p_1 - n_2 - p_2 - n_3$  เกทจะมีสัถย์เป็นลบเมื่อเทียบกับขั้ว  $T_1$  กระแสเกท  $I_{G1}$  จะไหลจากขั้ว  $T_1$  ผ่านความต้านทาน  $R$  (ดูในรูป 2.22 (ข)) ไหลเข้าไปในรอยต่ออิมิตอร์ ( $p_2 - n_4$ ) ของ SCR ตัวที่ 1 ตัวความต้านทาน  $R$  เกิดจากค่าความต้านทานของส่วน  $p_2$  กระแส  $I_{G1}$  จะกระตุ้น SCR ตัวที่ 1 คือ  $p_1 - n_2 - p_2 - n_4$  ในการทำงานในภาวะ on-state ทำให้มีกระแส  $I_1$  ไหลผ่าน SCR ตัวนี้ และมีบางส่วนของกระแส  $I_1$  จะไหลผ่านเข้าไปในเบสของ SCR ตัวที่ 2 ( $TR_2$ ) และทำให้ SCR ตัวนี้ ( $p_1 - n_2 - p_2 - n_3$ ) ทำงานในภาวะ on-state ในที่สุดจะเกิดกระแส  $I_1$  ไหลผ่าน SCR ตัวที่ 2 นี้



รูปที่ 2.22 แสดง (ก)แนวทางการเดินของกระแสและ (ข)วงจรเปรียบเทียบการทำงานของไทรแอกในลักษณะ I - mode

- การทำงานลักษณะ III<sup>+</sup> - mode (ขั้ว T<sub>2</sub> เป็นลบ และเกตเป็นบวก)

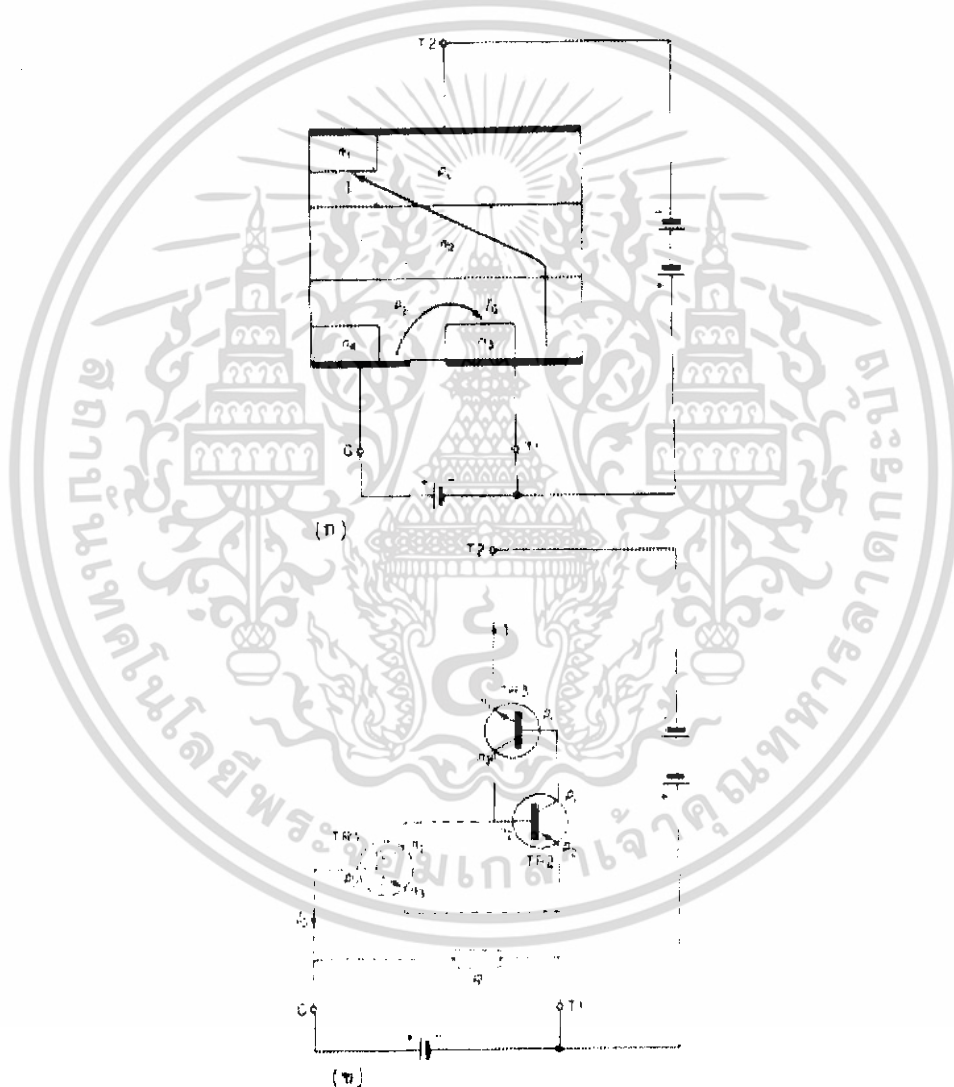
การทำงานแบบนี้กระแสส่วนใหญ่จะไหลผ่านชั้น p<sub>2</sub> - n<sub>2</sub> - p<sub>1</sub> - n<sub>1</sub> (ดูรูปที่ 2.23 ก) วงจรเปรียบเทียบของไทรแอกกรณีนี้ ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 3 ตัว ความต้านทาน R ในรูปที่ 2.23 (ข) ก็คือความต้านทานของส่วน p<sub>2</sub> ขณะที่เกตของไทรแอกได้รับศักย์บวกจะทำให้มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไหลเข้าไปในเบสของ  $TR_1$  ซึ่งกระแสคอลเลกเตอร์ของ  $TR_1$  จะไหลเข้าไปใน  $TR_2$  และในที่สุด  $TR_2$  และ  $TR_3$  จะทำงานยอมให้กระแสไหลผ่านได้

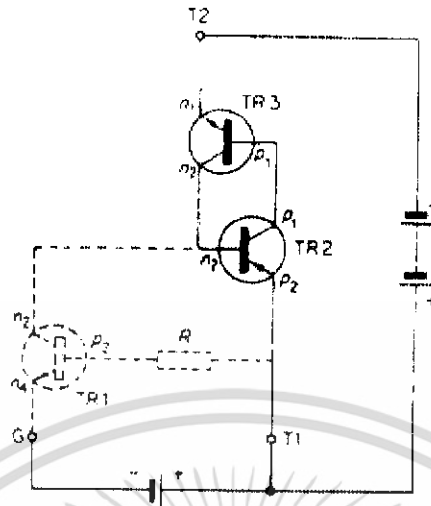
-การทำงานลักษณะ III' - mode (ขั้ว  $T_2$  เป็นลบ และเกทเป็นลบ)

ลักษณะวงจรเปรียบเทียบการทำงานของไทรแอกในลักษณะนี้แสดงได้ดังในรูปที่ 2.24 ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 3 ตัว เช่นกัน แต่  $TR_1$  คือ  $n_2 - p_2 - n_4$  เมื่อให้ศักย์ลบแก่ขั้ว  $n_4$  ของ  $TR_1$  (ซึ่งก็คือเกทของไทรแอกนั่นเอง) ทำให้ทรานซิสเตอร์  $TR_1$  ทำงาน เกิดมีกระแสอิเล็กตรอนไหลเข้าไปในส่วน  $n_2$  ของไทรแอก ประจุพาหะเหล่านี้จะทำให้โครงสร้างหลักของไทรแอก (คือ  $TR_2$  และ  $TR_3$ ) ทำงานและยอมให้กระแสไหลผ่าน



รูปที่ 2.23 ก) แสดงแนวทางเดินกระแสและ ข) วงจรเปรียบเทียบการทำงานของไทรแอก ในลักษณะ III' - mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 แสดงวงจรเปรียบเทียบการทำงานของไทรแอด ในลักษณะ III - mode

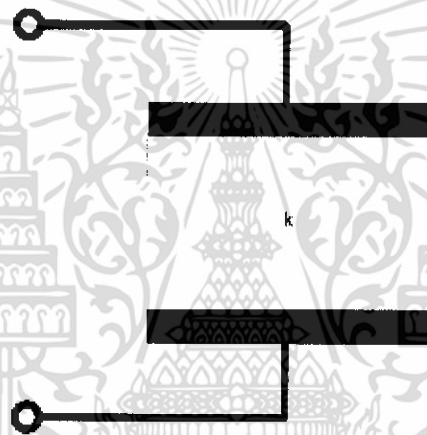
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การสร้างและการออกแบบ

ก่อนที่จะเข้าใจถึงการประยุกต์ใช้งานตัวโครงงานในรายงานนี้ แนวความคิดพื้นฐานที่ดีคือ ต้องเข้าใจในการนำตัวเก็บประจุซึ่งเป็นทฤษฎีสำคัญที่จะนำมาใช้ในการตรวจจับสนามไฟฟ้า ด้วยความรู้นี้จะทำให้ผู้ออกแบบ มีความรู้ที่ดีในการใช้ตัวเก็บประจุเป็นตัวตรวจจับสนามไฟฟ้า

การตรวจจับสนามไฟฟ้าทำงานด้วยแนวความคิดง่ายๆ คือ การตรวจจับค่าความจุไฟฟ้าของวัตถุที่คุณต้องการการตรวจจับ โดยเทียบกับคราวด์เสมือน ดังแสดงดังรูปที่ 3.1 เป็นแบบจำลองของตัวเก็บประจุแบบแผ่นเพลทขนาน ค่าความจุรวมแสดงดังสมการ 3.1



รูปที่ 3.1 แบบจำลองตัวเก็บประจุ

$$C = k\epsilon_0 A/d$$

(3.1)

เมื่อ

$A$  = พื้นที่ของแผ่นเพลท

$d$  = ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลท

$k$  = ค่าคงที่ได้ไอเล็กทริกของวัสดุระหว่างเพลท

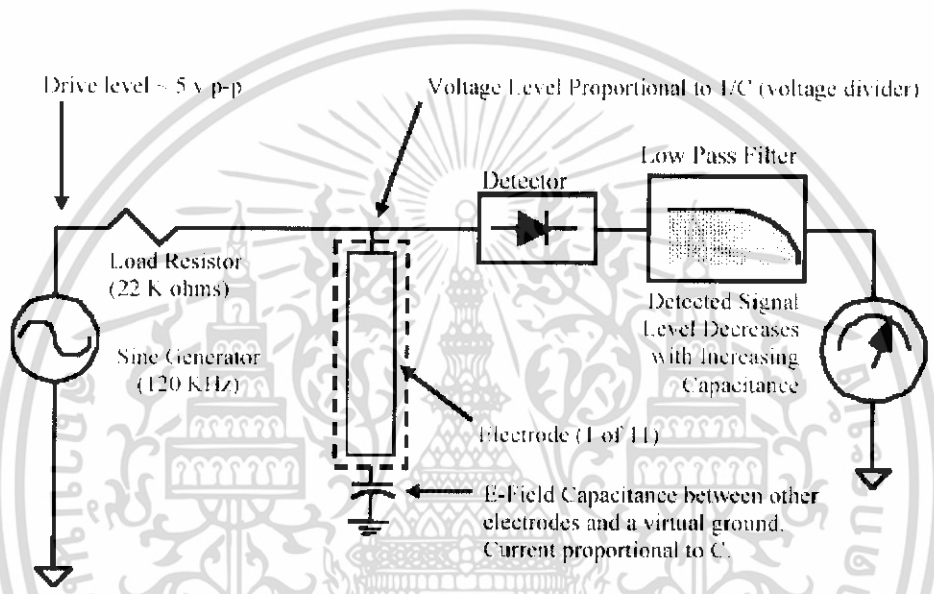
$\epsilon_0$  = ค่าความยินยอมทางไฟฟ้า (electric permittivity)

ค่าคงที่ได้ไอเล็กทริก  $k$  จะเป็นตัวแปรสำคัญ เมื่อเราต้องการจะตรวจจับน้ำหรือน้ำแข็ง ส่วนตัวแปร  $d$  จะสำคัญถ้าเราต้องการที่จะวัดระยะห่างระหว่างวัตถุที่ต้องการตรวจจับ, อย่างเช่น ประตูเซ็นเซอร์ หรือ ตรวจจับอาการสั้นในวัตถุที่กำลังหมุน, พื้นที่  $A$  จะเพิ่มความไวในการตรวจจับจับวัตถุได้ดีขึ้น แผ่นเพลทที่ใหญ่กว่าก็คือค่าความจุที่มากกว่า และ การเปลี่ยนแปลงค่าความจุจะง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการตรวจจับ และสิ่งเดียวที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิคือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของวัสดุ ดังนั้นจึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน

บล็อกไดอะแกรมหลักการเบื้องต้นของการตรวจจับสนามไฟฟ้า sensor แสดงดังรูปที่ 3.2 ผลของค่าความจุภายนอกจะทำให้ สัญญาณ เอาท์พุทมีค่าลดลง และด้วยผลลัพธ์ของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่ถูกตรวจจับ ถ้าวัสดุนั้นเข้ามาในบริเวณสนามไฟฟ้าในลักษณะของแผ่นเพลทอีกด้านหนึ่งของตัวเก็บประจุแล้วจะทำให้มีกระแสไฟไหลจากอิเล็กโทรดผ่านตัวเก็บประจุภายนอกไปยังกราวด์เสมือน(virtual groundf)

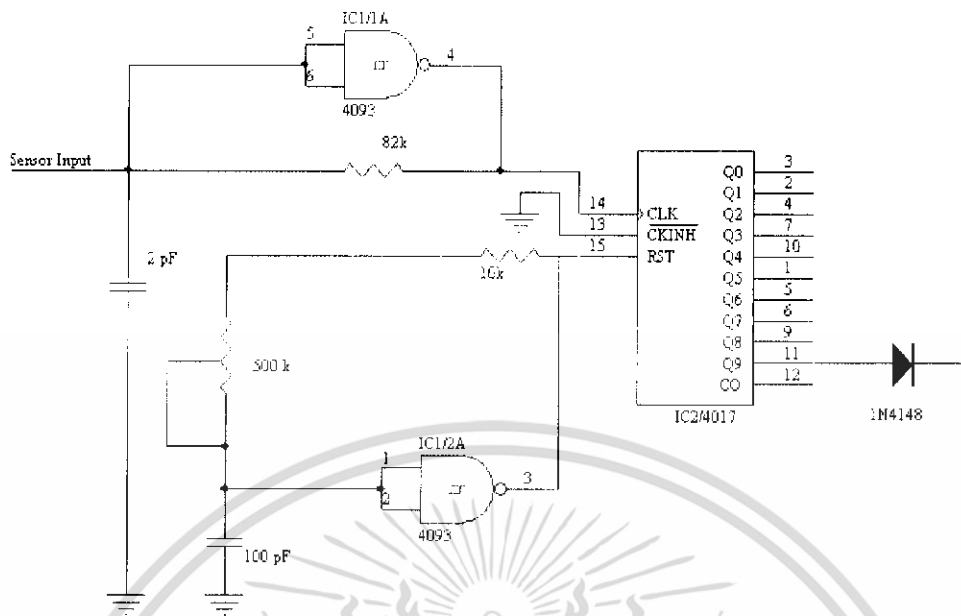


รูปที่ 3.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมหลักการเบื้องต้นของการตรวจจับสนามไฟฟ้า

### 3.1 การทำงานของวงจร

#### 3.1.1 วงจรตรวจจับค่าการเปลี่ยนแปลงของความจุ

โดยการตรวจจับสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์ที่เข้ามาใกล้กับเครื่องมือโดยวงจรตรวจจับค่าความจุ ที่ใช้กรตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุที่มีค่าอ้างอิงค่าหนึ่งกับตัวต้านทานที่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณพัลส์ออกมาที่ในสภาวะปกติค่าหนึ่ง แต่เมื่อมีร่างกายมนุษย์เข้ามาใกล้ จะมีผลเสมือนมีค่าความจุจากตัวมนุษย์มาขนานกับค่าความจุอ้างอิงดังกล่าวค่าความจุที่จุดดังกล่าวจึงมีค่าเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ค่าความถี่ที่ได้จากวงจรกำเนิดความถี่จากสภาวะปกติมีค่าต่ำลง ทำให้สามารถตรวจสอบได้

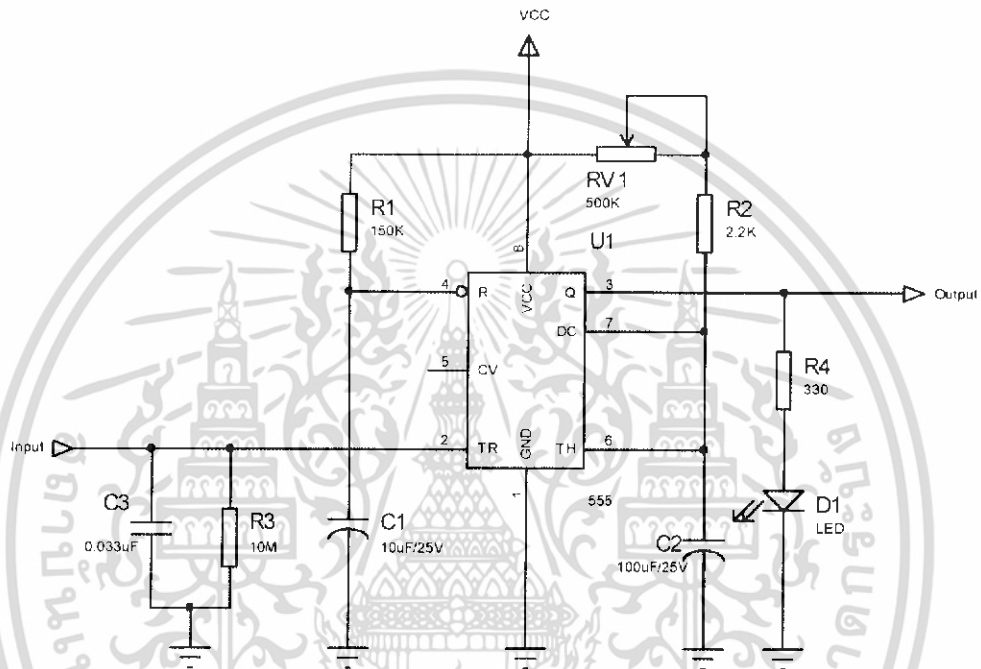


รูปที่ 3.3 แสดงวงจรที่ใช้ในการตรวจจับสนามไฟฟ้า

หลักการทำงานเบื้องต้นของอุปกรณ์ตรวจจับ ที่นำมาใช้ในการตรวจจับสนามไฟฟ้าจากร่างกายของมนุษย์นั้นจะอาศัยการตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของค่าความจุไฟฟ้าที่นำมาใช้เป็นตัวตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของขนาดแรงดันของสัญญาณหรือขนาดของสนามไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีมนุษย์เข้าไปใกล้ในบริเวณสนามไฟฟ้าที่ตัวตรวจจับทำการตรวจจับอยู่ โดยเมื่อค่าความจุของตัวตรวจจับมีค่าเปลี่ยนแปลงผกผันกับขนาดของสนามไฟฟ้า คือถ้าขนาดแรงดันของสนามไฟฟ้ามีค่าสูงค่าความจุจะต่ำแต่ถ้าขนาดแรงดันของสนามไฟฟ้ามีค่าต่ำค่าความจุของตัวตรวจจับจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าความจุนี้นำไปต่อเข้ากับวงจรกำเนิดความถี่ที่ใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับไอซีนับสิบมีค่าความถี่ที่ 2 Mhz และที่ไอซีนับสิบที่ขาริเซตก็จะมีความถี่สัญญาณริเซตที่สร้างความถี่ในการริเซตไว้ที่ 200 KHz ที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความถี่ ซึ่งในสถานะที่ค่าความจุของตัวตรวจจับไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือก็คือไม่มีความเปลี่ยนแปลงของสนามไฟฟ้าที่จุดตรวจเช็คแล้ว ไอซีนับสิบจะสามารถนับจากศูนย์ถึงเก้าได้ แต่เมื่อความถี่ที่ใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้ไอซีนับสิบเปลี่ยนแปลงคือมีค่าน้อยลงเนื่องจากมีมนุษย์เข้าใกล้จุดตรวจจับ ในขณะที่ความถี่ในการริเซตมีค่าเท่าเดิม ดังนั้นแล้วไอซีนับสิบจะไม่สามารถนับได้ถึงเก้า เนื่องจากถูกริเซตก่อน และถ้าเรานำเอาที่พุดที่เอาที่พุดเก้าของไอซีนับสิบมาใช้แล้ว ที่จุดเอาที่พุดนี้ก็จะมีความเป็นศูนย์ไปทันทีให้ไอซีไมโครโอมินิสเตบิลมัลติไวเบรเตอร์กำเนิดพัลส์เอาที่พุดออกมาได้ หรือก็คือสามารถตรวจจับค่าสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์ได้นั่นเอง

### 3.1.2 วงจรแสดงสถานะการตรวจจับสนามไฟฟ้า

ใช้วงจร โมโนสเตเบิลทำหน้าที่ในการสร้างสัญญาณพัลส์เอาต์พุตด้วยค่าความกว้างของพัลส์เอาต์พุตตามต้องการ โดยการรับสัญญาณทริกจากวงจรตรวจจับค่าความจุเมื่อสามารถตรวจจับค่าความจุที่เปลี่ยนแปลงไปได้ และสัญญาณพัลส์ดังกล่าวจะนำไปเข้าวงจร T-Flipflop ต่อไป



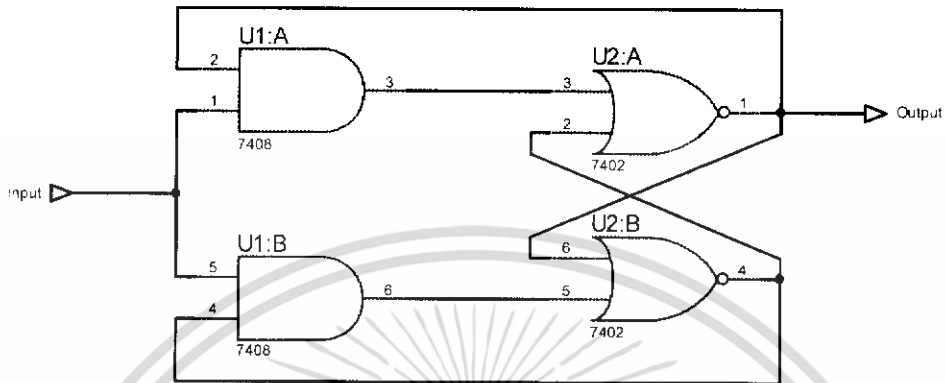
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรที่ใช้ในการแสดงสถานะของการตรวจจับสนามไฟฟ้า

RV1 ใช้ปรับค่าความกว้างของพัลส์เอาต์พุตขงคเพื่อให LED แสดงสถานะกะพริบช้าหรือเร็ว ตัวส่งเสียง ส่งเสียงคังสั้นหรือยาว ด้วยเวลา  $T_{HIGH} = 1.1 R V_1 R_1 C$

### 3.1.3 วงจร T-Flipflop

ทำหน้าที่ในการคงค่าสถานะและกลับสถานะของสัญญาณเอาต์พุตที่เรานำไปใช้ในการเปิดปิดหลอดไฟเพื่อให้หลอดไฟสามารถติดค้างอยู่ได้ เพราะสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรโมโนสเตเบิลเป็นสัญญาณพัลส์ ดังนั้นถ้าเรานำสัญญาณนี้ไปปออสวงจรสวิตซ์ไทรแอกเลยจะทำให้หลอดไฟติดและดับตามสัญญาณพัลส์ และอีกหน้าที่คือเพื่อควบคุมให้สถานะเอาต์พุตที่คงค่าได้นี้มีสถานะกลับเฟสตามสัญญาณอินพุตจากวงจรตรวจจับค่าความจุได้ เสมือนทำให้วงจรตรวจจับสนามไฟฟ้า

นี้มีคุณสมบัติเหมือน เป็นสวิตช์เปิดและปิดได้ และเอาท์พุทที่ได้จะนำไปเป็นสัญญาณอินพุทให้ออฟโตไดโอดแยก เพื่อไปอัสไทรแยก ต่อไป

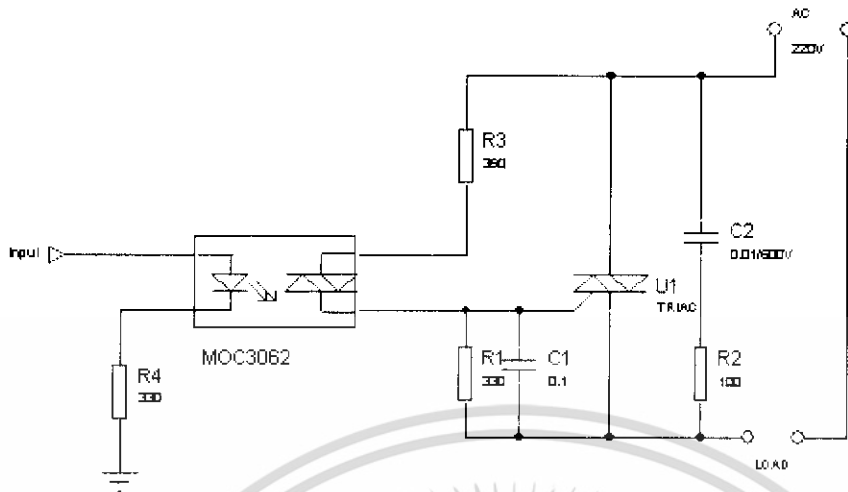


รูปที่ 3.5 แสดงวงจร T Flip-Flop

#### 3.1.4 วงจรสวิตช์ไทรแอก

ทำหน้าที่ในการเปิดปิดหลอดไฟที่สามารถควบคุมเฟสสัญญาณเอาท์พุทได้ ด้วยการจ่ายกระแสไบอัสที่ขาเกทของไทรแอกด้วยค่าที่ต่างกัน แต่เราจะใช้เพียงให้ควบคุมเฟสด้วยค่าสูงสุดเท่านั้น คือเพื่อเปิดปิดหลอดไฟธรรมดา ไม่ได้ใช้ในการหรี่ไฟด้วย

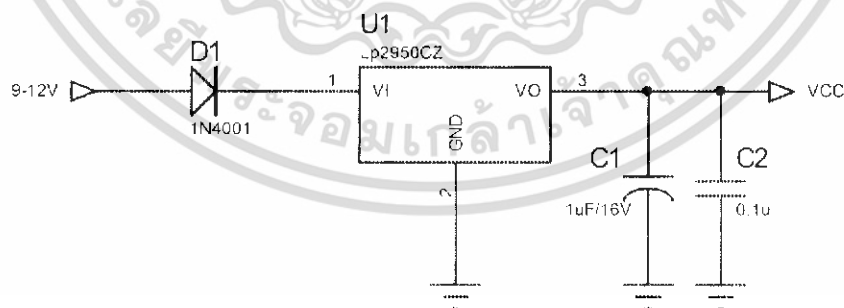
โดยวงจรในส่วนนี้จะประกอบด้วย อุปกรณ์ออฟโตกลับเปิด ที่ทำหน้าที่แยกสัญญาณแรงดันต่ำกับแรงดันสูงออกจากกัน โดยใช้ ออฟโตไดโอดแยก รับสัญญาณจากวงจร T-Flipflop แล้วเมื่อสัญญาณที่ได้เป็นลอจิกบวกจะทำให้ออฟโตไดโอดทำงานสามารถจ่ายกระแสไบอัสให้กับขาเกทของไทรแอกทำให้มีกระแสไหลผ่านไทรแอกเพื่อทำให้หลอดไฟติดสว่างได้ อีกวงจรที่สำคัญก็คือวงจรสแนบเบอร์ ที่ทำหน้าที่ในการป้องกันสัญญาณรบกวนที่จะเกิดขึ้นจากอุปกรณ์ทรานซิสเตอร์ได้ โดยใช้วงจร R-C สแนบเบอร์



รูปที่ 3.6 แสดงวงจร Triac

### 3.1.5 ภาคจ่ายไฟ

วงจรภาคจ่ายไฟแสดงดังรูปที่ 3.7 โดยการรับอินพุตไฟตรงที่มีค่าระหว่าง 9-12 V โดยใช้แบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ ไอซีเร็กกูเลต Lp2950CZ สามารถจ่ายแรงดันที่เอาต์พุต 5 โวลต์ จ่ายกระแสสูงสุดได้ 100 มิลลิแอมป์ เป็นไมโครเพาเวอร์โวลต์เตจเรียกกุเลท แบบ Low Drop Out ก็จะมีแรงดันตกคร่อมที่ไอซีดังกล่าวนี้เล็กน้อยเนื่องจากคุณสมบัติของ Low Input-To-Output Voltage Differential โดยแรงดันดังกล่าวจะอยู่ที่ประมาณ 380 มิลลิโวลต์ เมื่อจ่ายกระแสสูงสุดที่ 100 มิลลิแอมป์ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานค่า ดังนั้นจึงเหมาะในการนำมาใช้เร็กกูเลต แรงดันจากแหล่งจ่ายจากแบตเตอรี่ ทำให้วงจรสามารถใช้งานได้ยาวนาน



รูปที่ 3.7 วงจรภาคจ่ายไฟ

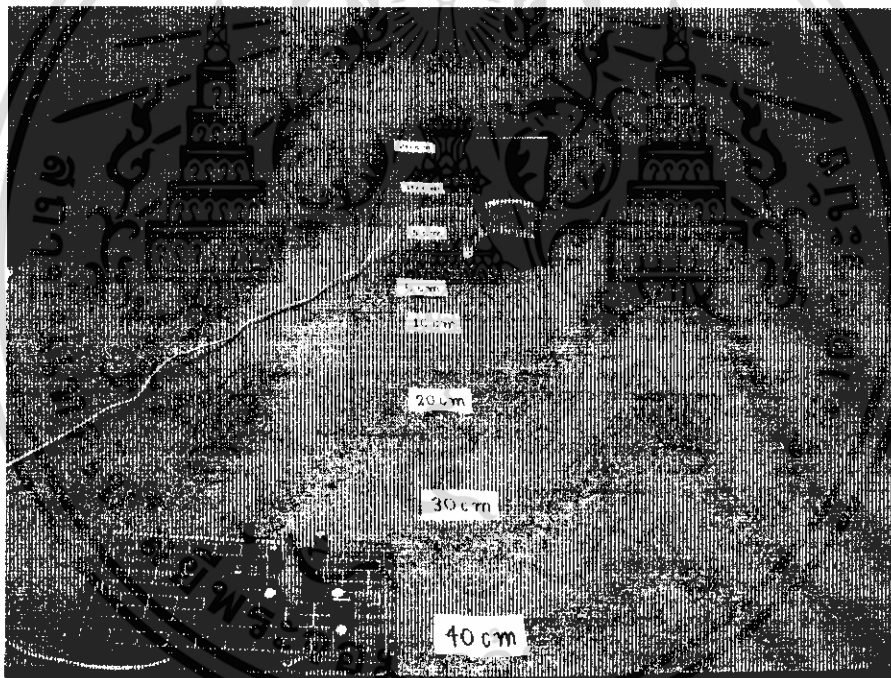
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 4.1 ขั้นตอนการทดลอง

โดยในการทดลองนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลองได้แก่ การทดลองตอนที่ 1 เป็นการทดลองถึงผลของขนาดแผ่นเพลทแต่ละขนาดที่มีผลต่อระยะเวลาการตรวจจับสนามไฟฟ้า การทดลองตอนที่ 2 การทดลองถึงผลของลักษณะของแผ่นเพลทที่ขนาดพื้นที่เท่ากันแต่รูปร่างต่างกันว่าจะมีผลต่อระยะเวลาการตรวจจับอย่างไร การทดลองตอนที่ 3 ลักษณะการเข้าใกล้ของร่างกายมนุษย์กับอุปกรณ์ตรวจจับคือแนวการเข้าใกล้ได้แก่แนวตั้งฉากและแนวขนานของร่างกายมนุษย์กับอุปกรณ์ตรวจจับ และการทดลองตอนที่ 4 ความชื้นในบรรยากาศที่มีผลต่อการตรวจจับ



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการทดลอง

#### 4.1.1 การทดลองตอนที่ 1 ขนาดแผ่นเพลทที่มีผลต่อการตรวจจับสนามไฟฟ้า

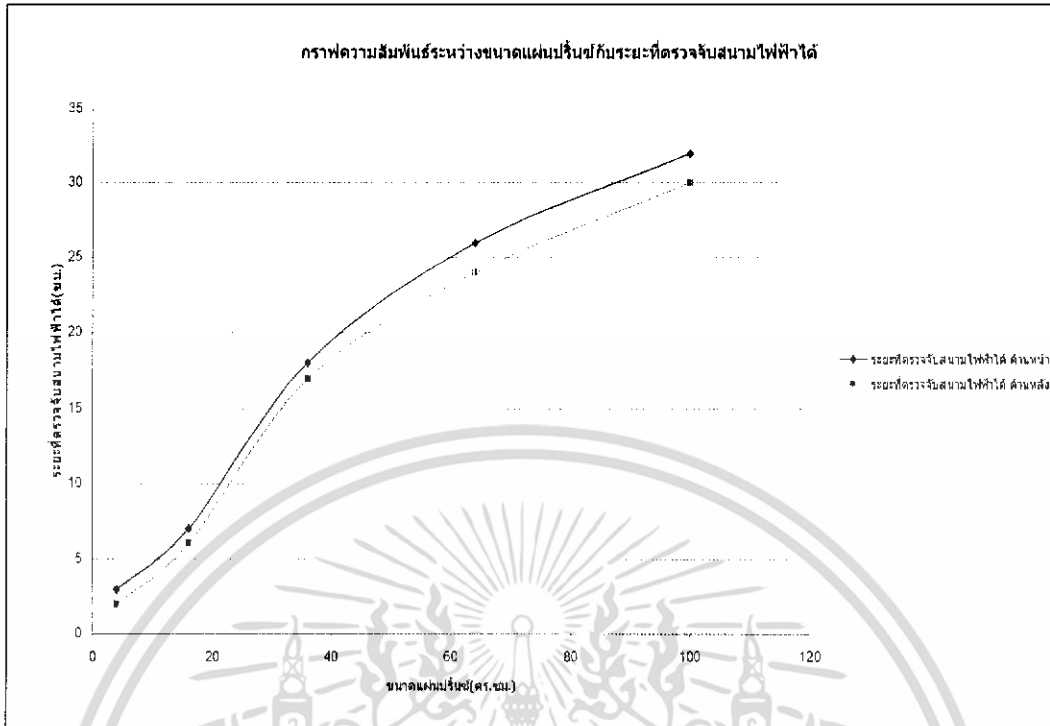
ในการทดลองจะใช้แผ่นเพลทรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีขนาดต่างกัน ในการทดลองถึงผลต่อระยะเวลาในการตรวจจับสนามไฟฟ้า โดยขนาดของแผ่นเพลทที่ใช้ในการทดลองมีขนาดดังนี้คือ

4 ตารางเซ็นต์ติเมตร, 16 ตารางเซ็นต์ติเมตร, 36 ตารางเซ็นต์ติเมตร, 64 ตารางเซ็นต์ติเมตร และ 100 ตารางเซ็นต์ติเมตร ผลของระยะทางที่สามารถตรวจจับได้ในแต่ละขนาดของแผ่นเพลทชนิดดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลอง

ตารางระยะตรวจจับสนามไฟฟ้า				
รูปร่างแผ่นปริ้นซ์	ขนาดแผ่นปริ้นซ์ (ซม.)	ระยะที่ตรวจจับสนามไฟฟ้าได้		หมายเหตุ
		ด้านหน้า(ซม.)	ด้านหลัง(ซม.)	
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	2×2	3	2	
	4×4	7	6	
	6×6	18	17	
	8×8	26	24	
	10×10	32	30	
สามเหลี่ยม	ฐาน=8, สูง=9	16	17	พื้นที่=36
สี่เหลี่ยมจัตุรัส	6×6	18	17	”
สี่เหลี่ยมผืนผ้า	2×18	17	15	”
วงกลม	รัศมี=3.4	17	19	”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดแผ่นปรับกับระยะที่ตรวจจับสนามไฟฟ้า

#### 4.1.2 การทดลองตอนที่ 2 ผลของรูปร่างแผ่นเพลทที่ต่างกันที่มีผลต่อการตรวจจับสนามไฟฟ้า

การทดลองจะนำแผ่นเพลทที่มีขนาดพื้นที่เท่ากันแต่มีรูปร่างที่ต่างกันมาใช้ในการตรวจจับสนามไฟฟ้า โดยรูปร่างแผ่นเพลทที่ต่างกันที่ใช้ในการทดลองมีดังต่อไปนี้คือ รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส รูปสามเหลี่ยม สี่เหลี่ยมผืนผ้า และวงกลม

ผลคือรูปร่างที่ต่างกันไม่ได้มีผลทำให้ระยะทางในการตรวจจับเปลี่ยนแปลง

แต่มีข้อสังเกตว่าจุดที่เราเชื่อมต่อสายสัญญาณเข้ากับแผ่นเพลทในตำแหน่งที่ต่างกันจะมีผลต่อระยะในการตรวจจับ คือ แผ่นเพลทรูปร่างสามเหลี่ยมเมื่อเราบัดกรีสายสัญญาณเข้ากับส่วนฐานของแผ่นเพลทจะได้ระยะในการตรวจจับที่มากกว่า ตำแหน่งที่เราบัดกรีสายสัญญาณเข้ากับส่วนกลางและส่วนปลายของแผ่นเพลทตามลำดับ

#### 4.1.3 การทดลองตอนที่ 3 แนวทิศทางของร่างกายมนุษย์ที่เข้าใกล้จุดตรวจจับ

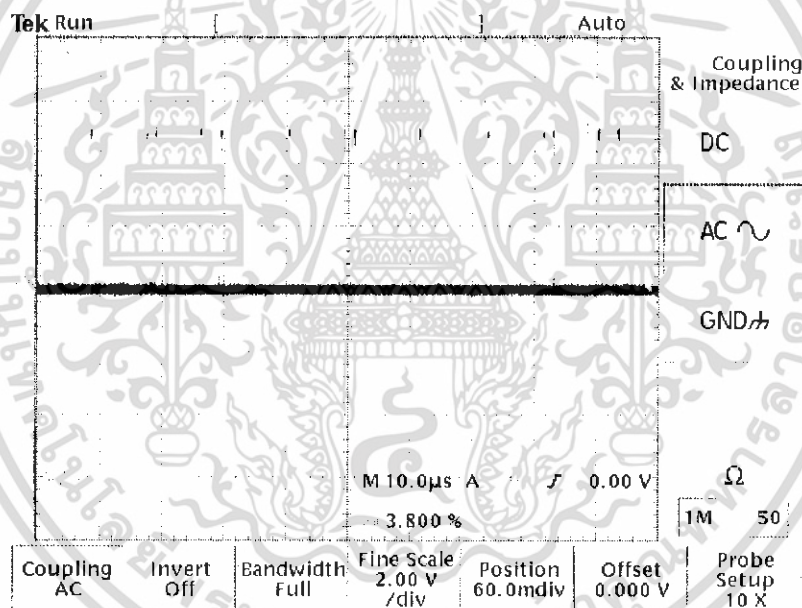
การทดลองตอนที่ 1 การทดลองตอนที่ 2 และการทดลองตอนที่ 3 ในการทดลองการตรวจจับร่างกายมนุษย์เราจะทดลองโดยการให้ผู้ปรกณนี้ตรวจจับการเข้าใกล้ของฝ่ามือของเรา ซึ่ง

การเข้าใกล้จุดตรวจจับของฝ่ามือสามารถเข้าไปในแนวนานกับแผ่นเพลทที่ใช้ในการตรวจจับและในแนวตั้งฉากกับแผ่นเพลทที่ใช้ในการตรวจจับ ผลการทดลองในตอนที่ 1 และตอนที่ 2 จะใช้การเคลื่อนที่ของฝ่ามือเข้าใกล้กับแผ่นเพลทตรวจจับในแนวนาน

การทดลองนี้เพื่อให้ได้สังเกตถึงลักษณะของอวัยวะที่ต่างกันในการเข้าใกล้จุดตรวจจับ ผลคือการเข้าใกล้จุดตรวจจับด้วยทิศในทางตั้งฉากกับแผ่นเพลทจะมีผลทำให้ได้ระยะในการตรวจจับที่น้อยลงประมาณ 1 เซนติเมตร โดยเทียบกับการทดลองตอนที่ 1

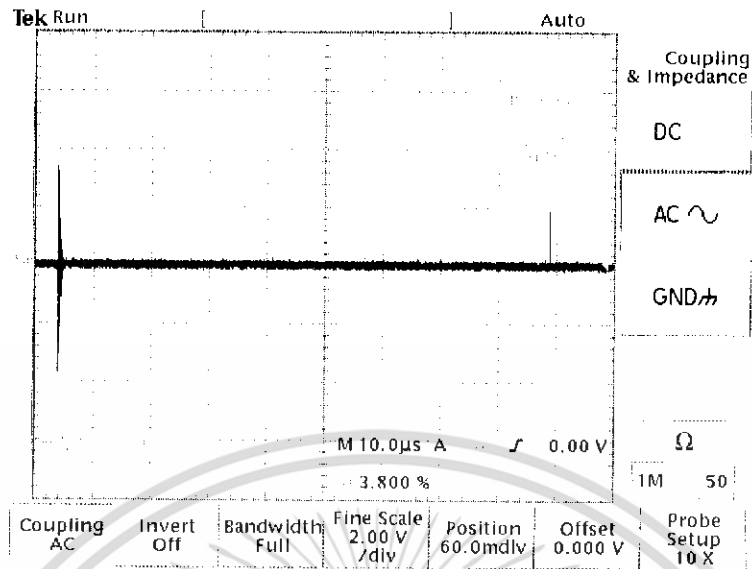
#### 4.1.4 การทดลองตอนที่ 4 ผลของความชื้นในอากาศบริเวณจุดตรวจจับ

การทดลองทำโดยการฉีดสเปรตของน้ำเข้าไปในบริเวณจุดตรวจจับและทดลองตรวจจับดูเพื่อสังเกตถึงทฤษฎีของการคายประจุไฟฟ้าในสภาพที่มีความชื้นสูง ผลของการทดลองคือ ระยะในการตรวจจับที่เพิ่มขึ้นแต่ก็ไม่สูงมาก คือเพิ่มขึ้นจากการทดลองตอนที่ 1 ประมาณ 1 ถึง 2 เซนติเมตร



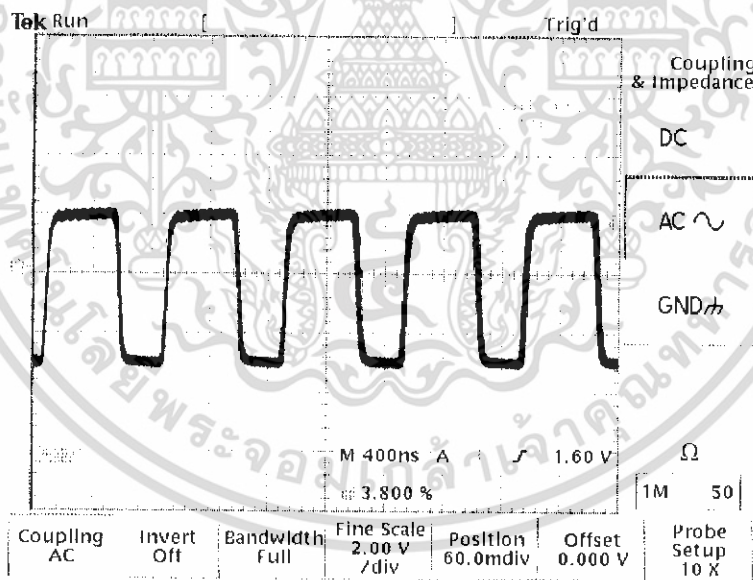
รูปที่ 4.3 ความถี่ที่ขา I1 IC4017 ขณะที่จุดตรวจจับยังไม่ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 สัญญาณที่ขา 11 IC4017 ขณะที่ชุดตรวจจับทำงาน

รูปที่ 4.4 สัญญาณที่ขา 11 ของไอซี 4017 ซึ่งปกติจะมีพัลส์บวกในทุกคาบเวลา 1/(2MHz) แต่เมื่อมีการตรวจจับสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นจะทำให้ไม่มีเอาต์พุตพัลส์ดังกล่าว

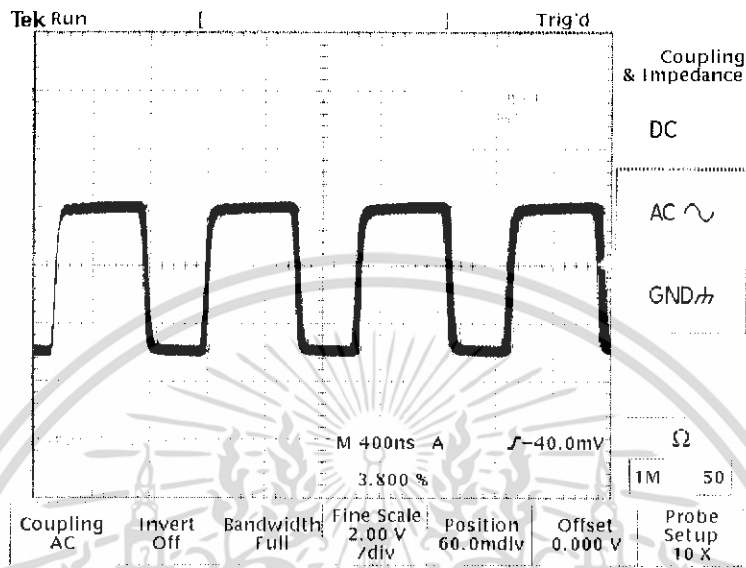


รูปที่ 4.5 ความถี่ที่ขา 14 IC4017 ขณะที่ชุดตรวจจับยังไม่ทำงาน  $F=1.221$  MHz

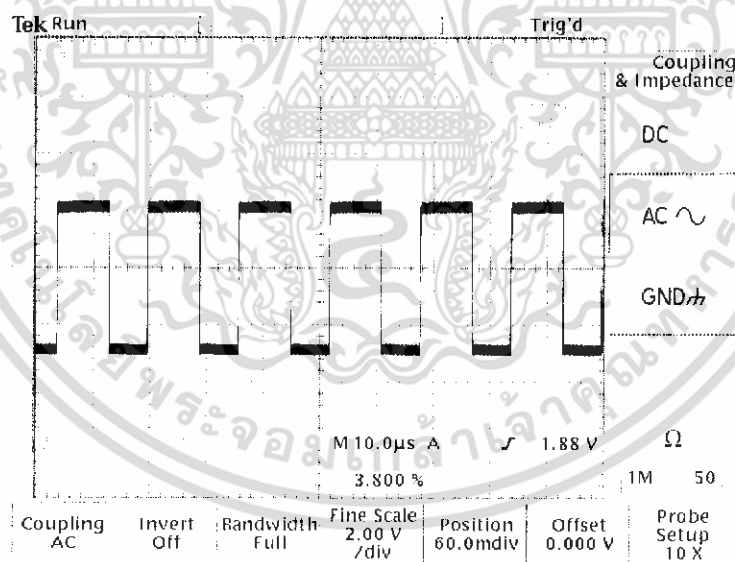
รูปที่ 4.5 คือสัญญาณนาฬิกาของไอซี 4017 ที่ได้จากตัวตรวจจับที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความจุจากสนามไฟฟ้าที่ออกแบบให้ผลิตความถี่ไว้ที่ประมาณ 2 MHz แต่ความถี่ที่ได้ 1.221

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MHz ก็ไม่ได้ทำให้ผลการตรวจจับผิดพลาดเนื่องจากความไม่แรงของการตรวจจับสนามไฟฟ้าที่สามารถปรับรับได้โดยการปรับตัวต้านทานปรับค่าได้



รูปที่ 4.6 ความถี่ที่ขา 14 IC4017 ขณะที่ชุดตรวจจับทำงาน F=948.3 KHz



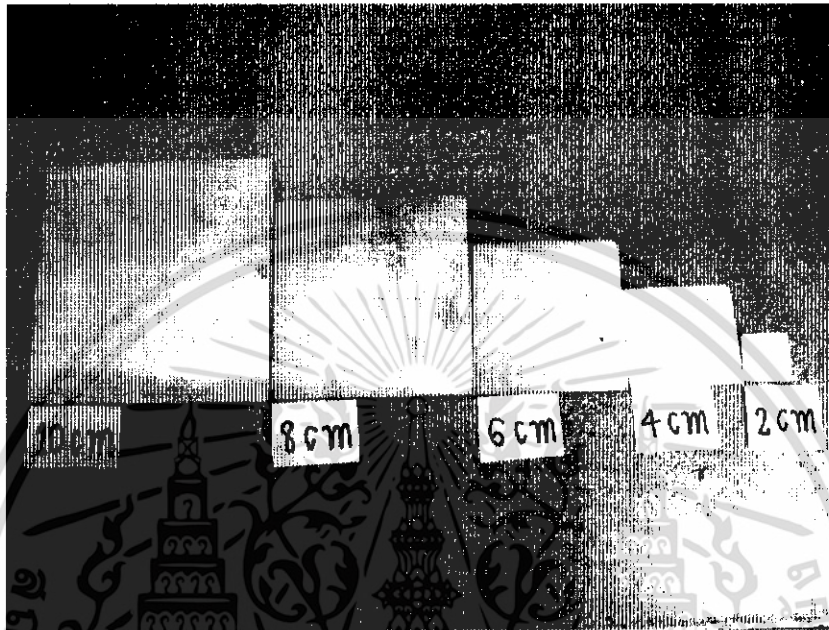
รูปที่ 4.7 ความถี่ที่ขา 15 IC4017 ขณะที่ชุดตรวจจับทำงานและยังไม่ทำงาน F=62.40 KHz

รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะความถี่ที่ขา 14 ของไอซี 4017 ในขณะที่มีการตรวจจับของสนามไฟฟ้าเกิดขึ้น ทำให้ค่าความจุที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาของไอซี 4017 มีค่าเพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่จุดดังกล่าวจึง มีค่าลดลงจาก 1.221 MHz เหลือประมาณ 948.3 KHz ทำให้ทราบถึงการตรวจจับสนามไฟฟ้าได้

ส่วนความถี่ที่สัญญาณรีเซ็ทคงมีค่าเท่าเดิมเนื่องจากไม่มีผลการเปลี่ยนแปลงของค่าความจุเกิดขึ้น



รูปที่ 4.8 ก). ลักษณะแผ่นเพลทที่ขนาดต่างกัน



รูปที่ 4.8 ข). ลักษณะแผ่นเพลทที่รูปร่างต่างกัน

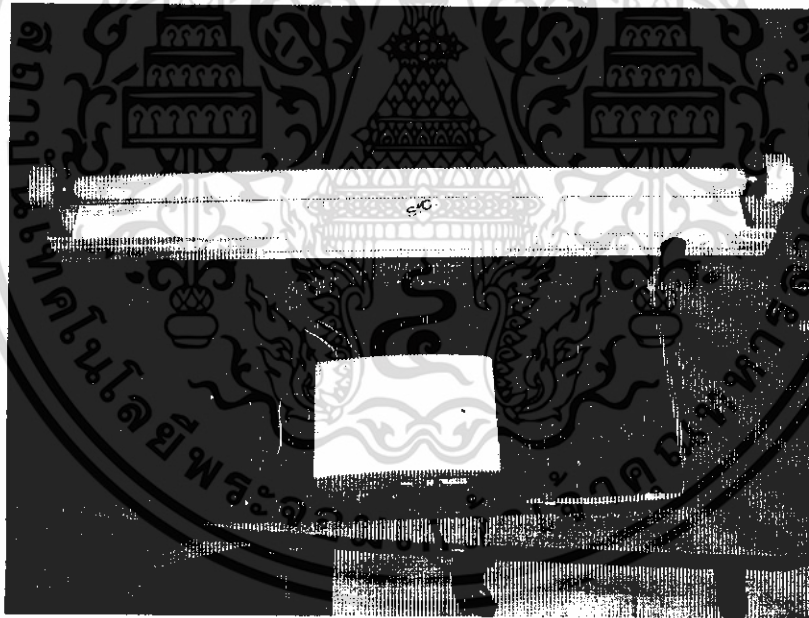
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะแผ่นเพลทที่ขนาดและรูปร่างต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 การทดลองเมื่อนำมาทำสวิตช์แบบไม่สัมผัส

เมื่อเราสามารถทำการตรวจจับสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์ได้แล้ว ลำดับต่อมาก็คือการนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อให้เกิดประโยชน์ในด้านต่างๆ โดยการประยุกต์ใช้งานในโครงการนี้คือการนำมาทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ในการสวิตช์เพื่อเปิดและปิดหลอดไฟซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้า 220V

ผลของการนำมาใช้งานนั้น การปรับแต่งระยะของการตรวจจับได้ของการเข้าใกล้จุดตรวจจับจากร่างกายนั้นเราจะไม่เข้มงวดกับระยะมากนัก เนื่องจากเป็นเพียงระยะที่เหมาะสมในการตรวจจับการเคลื่อนที่เข้าไปยังจุดดังกล่าวของมือมนุษย์เพื่อทำหน้าที่ในการสั่งให้เปิดหรือปิดหลอดไฟเท่านั้น ไม่ได้เน้นไปถึงระยะมากนักเพียงใด โดยระยะที่ได้จากการทดลองในการสั่งให้เปิดและปิดหลอดไฟได้จะอยู่ที่ประมาณ 10 เซนติเมตร ผลการทำงานนั้นสามารถควบคุมให้เปิดและปิดหลอดไฟได้โดยการเคลื่อนที่มือของผู้ใช้งานเข้าใกล้อุปกรณ์ตรวจจับดังกล่าวได้ตามต้องการคือถ้าหลอดไฟปิดอยู่แล้วเคลื่อนมือเข้าไปใกล้จะทำให้หลอดไฟติดขึ้น และถ้าเราเคลื่อนที่มือเข้าไปอีกครั้งจะทำให้หลอดไฟนั้นดับลงเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ



รูปที่ 4.9 สวิตช์ไฟทำงานด้วยสนามไฟฟ้าจากตัวมนุษย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุป

จากการทดลองในตอนแรกเป็นการศึกษารูปร่างของแผ่นเพลทต่อผลของระยะทางการตรวจจับสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์ ทำให้เราทราบว่าขนาดของแผ่นเพลทมีผลต่อระยะการตรวจจับสนามไฟฟ้าโดยแผ่นเพลทที่มีขนาด 4, 16, 36, 64 และ 100 ตารางเซนติเมตร จะสามารถตรวจจับสนามไฟฟ้าได้ในระยะที่ไม่เท่ากัน ซึ่งเมื่อแผ่นเพลทมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นจะทำให้ระยะทางในการตรวจจับสนามไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ

ส่วนการทดลองตอนที่ 2 ที่เป็นการศึกษารูปร่างของแผ่นเพลทที่ต่างกันแต่พื้นที่ที่เท่ากันจะมีผลต่อระยะการตรวจจับสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์อย่างไร โดยกำหนดพื้นที่ของแผ่นเพลทแต่ละรูปทรงเท่ากับ 36 ตารางเซนติเมตร ซึ่งประกอบด้วยรูปสามเหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยม รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปวงกลม พบว่ารูปร่างของแผ่นเพลทเมื่อเปลี่ยนแปลงไปจะไม่ส่งผลต่อระยะการตรวจจับของสนามไฟฟ้า

การทดลองตอนที่ 3 แนวทิศทางการร่างกายมนุษย์ที่เข้าใกล้จุดตรวจจับ โดยการทดลองปกติจากการทดลองที่ 1 และ 2 จะใช้การตรวจจับร่างกายมนุษย์ในส่วนของผู้เข้าใกล้จุดตรวจจับ โดยการใช้การตรวจจับร่างกายมนุษย์ในส่วนของผู้เข้าใกล้จุดตรวจจับ โดยการเคลื่อนที่ผู้เข้าใกล้จุดตรวจจับเข้าไปในแนวทิศตั้งฉากกับแผ่นเพลทเพื่อเปรียบเทียบกับการเคลื่อนที่เข้าไปในแนวขนาน ผลจะเห็นได้ว่าการตรวจจับร่างกายมนุษย์ในแนวขนานจะสามารถตรวจจับได้ในระยะทางที่ไกลกว่า เนื่องจากโดยหลักการการตรวจจับแล้วจะตรวจจับค่าความจุที่เปลี่ยนแปลงไปของแผ่นเพลทที่ใช้ในการตรวจจับ ดังนั้นเมื่อร่างกายมนุษย์เข้ามาในทิศขนานจะทำให้ได้ค่าความจุที่เพิ่มขึ้นมากกว่าการเข้ามาของร่างกายในแนวตั้งฉาก

การทดลองตอนที่ 4 ผลของค่าความชื้นในอากาศของบริเวณจุดตรวจจับ จริงๆแล้วสภาพแวดล้อมโดยรอบก่อนข้างมีผลต่อการตรวจจับพอสมควรอย่างเช่น การทดลองในห้องที่มีเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ใกล้เคียง หรือในห้องที่แคบหรือเล็ก จะทำให้การตรวจจับคลาดเคลื่อนได้ ส่วนการทดลองเรื่องความชื้นนั้นเนื่องจากโดยทฤษฎีของการคายประจุไฟฟ้าที่ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าแล้วนั้น ยิ่งความชื้นมีค่ามากการคายประจุก็จะทำได้ง่ายขึ้น และผลของการทดลองก็แสดงให้เห็นว่าเป็นเช่นนั้นจริงคือทำให้ระยะทางในการตรวจจับได้เพิ่มขึ้น

และการทดลองที่ 4.2 การนำผลการตรวจจับสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์มาประยุกต์ใช้งานเพื่อให้เกิดประโยชน์มากขึ้น เพื่อให้เห็นถึงประโยชน์ในการนำสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์

มาใช้ให้เป็นประโยชน์ โครงการนี้ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการทำหน้าที่เป็นสวิตช์แบบไม่สัมผัส เพื่อความสะดวก ความน่าใช้และน่าสนใจมากขึ้นในการควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟ ผลการดำเนินงานก็สามารถทำหน้าที่เป็นสวิตช์แบบไม่สัมผัสได้เป็นอย่างดี โดยสามารถสั่งให้เปิดและปิดหลอดไฟได้โดยการเคลื่อนที่มือของผู้ใช้งานเข้าไปยังจุดตรวจจับ ด้วยระยะในช่วง 10 เซนติเมตร การติดของหลอดไฟจะค้างไว้จนกระทั่งผู้ใช้งานทำการเคลื่อนที่มือเข้าไปยังจุดดังกล่าวอีกครั้งหนึ่ง หลอดไฟก็จะดับลง การทำงานจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ

## 5.2 ปัญหา อุปสรรค และแนวทางแก้ไข

5.2.1 ปัญหาที่พบประการแรกก็คือการรบกวนของสนามไฟฟ้าจากอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยรอบ คือกรณีการทดลองในห้องที่มีเครื่องใช้ไฟฟ้าใกล้เคียงแล้วจะมีผลทำให้เกิดความผิดพลาดในเรื่องของระยะทางในการตรวจจับสนามไฟฟ้าจากตัวมนุษย์ได้

แนวทางการแก้ไขคือถ้าในการติดตั้งอุปกรณ์ในจุดที่จะใช้งานจริง ถ้ามีการรบกวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีผลต่อสัญญาณรบกวนดังกล่าวจะทำให้ผลของการแผ่สนามไฟฟ้าได้

5.2.2 เมื่อนำมาทำเป็นสวิตช์ไม่สัมผัส จะพบว่าหลอดไฟจะไม่ติดสว่างทันทีในตอนแรกที่ชุดตรวจจับสามารถตรวจจับสนามไฟฟ้าได้ และก่อนจะสว่างนั้นจะมีการกระพริบก่อน ซึ่งตอนดับก็เช่นกันบางครั้งหลอดไฟจะติดขึ้นมาใหม่

แนวทางการแก้ไขคือต้องทดลองเปลี่ยนอุปกรณ์บางตัว หรือต้องออกแบบวงจรใหม่เพื่อให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

## 5.3 แนวทางการพัฒนา

แนวทางการพัฒนานั้น จะเห็นได้ว่าเมื่อเราทำการตรวจจับสนามไฟฟ้าจากร่างกายมนุษย์ได้แล้ว เราสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ในหลากหลายงานด้วยกัน อาทิเช่น การนำไปใช้ ป้องกันการขโมยของ, ป้องกันเด็กไม่ให้ไปสัมผัสกับสิ่งที่ไม่ต้องการให้สัมผัส หรือป้องกันไม่ให้คนเข้าไปใกล้กับอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่อันตรายในระยะเกินกว่าที่กำหนด และ ถ้าเราพัฒนาให้สามารถตรวจจับได้ในระยะทางที่มากขึ้นเช่น อาจจะพัฒนาให้สามารถตรวจจับสนามไฟฟ้าได้ทั้งบริเวณของห้อง ห้องหนึ่ง ซึ่งจะทำให้นำไปใช้ในระบบรักษาความปลอดภัยต่างๆ ได้มากขึ้น เช่น ป้องกันคนเข้าไปยังบริเวณ หรือจุดที่ไม่ต้องการให้เข้าไป เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. กั๊ซซร กากัญจนมัจฉา. “แคะรอยวงจรรวมิตทริกเกอร์ วงจรรคลันรบกวงนในสัณญานคิจิตอล” วารสารเชมิคองคักเตอรือ์เล็ททรอนิกส์ ฉบับที่ 233 หน้า 185-194 2545
2. บัณคิต บั๊วบุชา รัฎฐูฉมิ ปรพะทุมราช รุ่งแสง เครือไวศยวรรณ และ วันชัย คุณากรวงศ์. “ทฤษฎีการออกแบบวงจรรคิจิตอล เล่ม 2”, สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอรื กรุงเทพฯ หน้าที่ 24-26, 39-40, 44-46 254x
3. รศ.ประทีป บั๊ญญัตินพรัตน์. “ทฤษฎีการใ้ช้งานวงจรรคิจิตอล ฉบับปรับปรุ้งใหม่ เล่ม 2” ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอรื สถาบันเทคนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ 25xx
4. สมเกียรติ สุกเดช. “สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ” ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ แผนกค้ำรา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 25xx
3. Henry W. Ott, “ NOISE REDUCTION TECHNIQUES IN ELECTRONIC SYSTEMS ”, pp. 322-332, 1936.
4. WWW.FREESCLE.COM.
5. WWW.IMAGINEERINGEZING.COM.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใ้ช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตใ้ให้นำไปใ้ช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิใ้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใ้ช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## 6-Pin DIP Zero-Cross Optoisolators Triac Driver Output (600 Volts Peak)

The MOC3061, MOC3062 and MOC3063 devices consist of gallium arsenide infrared emitting diodes optically coupled to monolithic silicon detectors performing the functions of Zero Voltage Crossing bilateral triac drivers.

They are designed for use with a triac in the interface of logic systems to equipment powered from 115/240 Vac lines, such as solid-state relays, industrial controls, motors, solenoids and consumer appliances, etc.

- Simplifies Logic Control of 115/240 Vac Power
- Zero Voltage Crossing
- dv/dt of 1500 V/μs Typical, 600 V/μs Guaranteed
- **To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.**

### Recommended for 115/240 Vac(rms) Applications:

- Solenoid/Valve Controls
- Lighting Controls
- Static Power Switches
- AC Motor Drives
- Temperature Controls
- E.M. Contactors
- AC Motor Starters
- Solid State Relays

### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
<b>INFRARED EMITTING DIODE</b>			
Reverse Voltage	$V_R$	6	Volts
Forward Current — Continuous	$I_F$	60	mA
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Negligible Power in Output Driver	$P_D$	120	mW
Derate above $25^\circ\text{C}$		1.41	mW/°C

### OUTPUT DRIVER

Off-State Output Terminal Voltage	$V_{DRM}$	600	Volts
Peak Repetitive Surge Current (PW = 100 μs, 120 pps)	$I_{TSM}$	1	A
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	150	mW
		1.76	mW/°C

### TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage <sup>(1)</sup> (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 Second Duration)	$V_{ISO}$	7500	Vac(pk)
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above $25^\circ\text{C}$	$P_D$	250	mW
		2.94	mW/°C
Junction Temperature Range	$T_J$	-40 to +100	°C
Ambient Operating Temperature Range <sup>(2)</sup>	$T_A$	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range <sup>(2)</sup>	$T_{stg}$	-40 to +150	°C
Soldering Temperature (10 s)	$T_L$	260	°C

1. Isolation surge voltage,  $V_{ISO}$ , is an internal device dielectric breakdown rating.

For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.

2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.

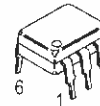
Global Optoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

(Replaces MOC3060/D)

**MOC3061**  
[IFT = 15 mA Max]  
**MOC3062**  
[IFT = 10 mA Max]  
**MOC3063\***  
[IFT = 5 mA Max]

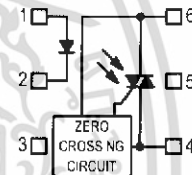
\*Motorola Preferred Device

### STYLE 6 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE  
CASE 730A-04

### COUPLER SCHEMATIC



1. ANODE
  2. CATHODE
  3. NC
  4. MAIN TERMINAL
  5. SUBSTRATE
  6. MAIN TERMINAL
- DO NOT CONNECT

# MOC3061 MOC3062 MOC3063

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
<b>INPUT LED</b>					
Reverse Leakage Current ( $V_R = 6\text{ V}$ )	$I_R$	—	0.05	100	$\mu\text{A}$
Forward Voltage ( $I_F = 30\text{ mA}$ )	$V_F$	—	1.3	1.5	Volts
<b>OUTPUT DETECTOR (<math>I_F = 0</math>)</b>					
Leakage with LED Off, Either Direction (Rated $V_{DRM}^{(1)}$ )	$I_{DRM1}$	—	60	500	nA
Critical Rate of Rise of Off-State Voltage <sup>(3)</sup>	$dv/dt$	600	1500	—	$\text{V}/\mu\text{s}$
<b>COUPLED</b>					
LED Trigger Current, Current Required to Latch Output (Main Terminal Voltage = $3\text{ V}^{(2)}$ )	$I_{FT}$	—	—	—	mA
	MOC3061	—	—	15	
	MOC3062	—	—	10	
	MOC3063	—	—	5	
Peak On-State Voltage, Either Direction ( $I_{TM} = 100\text{ mA}$ , $I_F = \text{Rated } I_{FT}$ )	$V_{TM}$	—	1.8	3	Volts
Holding Current, Either Direction	$I_H$	—	250	—	$\mu\text{A}$
Inhibit Voltage (MT1–MT2 Voltage above which device will not trigger.) ( $I_F = \text{Rated } I_{FT}$ )	$V_{INH}$	—	5	20	Volts
Leakage in Inhibited State ( $I_F = \text{Rated } I_{FT}$ , Rated $V_{DRM}$ , Off State)	$I_{DRM2}$	—	—	500	$\mu\text{A}$
Isolation Voltage ( $f = 60\text{ Hz}$ , $t = 1\text{ sec}$ )	$V_{ISO}$	7500	—	—	Vac(pk)

1. Test voltage must be applied within  $dv/dt$  rating.
2. All devices are guaranteed to trigger at an  $I_F$  value less than or equal to max  $I_{FT}$ . Therefore, recommended operating  $I_F$  lies between max  $I_{FT}$  (15 mA for MOC3061, 10 mA for MOC3062, 5 mA for MOC3063) and absolute max  $I_F$  (60 mA).
3. This is static  $dv/dt$ . See Figure 7 for test circuit. Commutating  $dv/dt$  is a function of the load-driving thyristor(s) only.

## TYPICAL CHARACTERISTICS

$T_A = 25^\circ\text{C}$

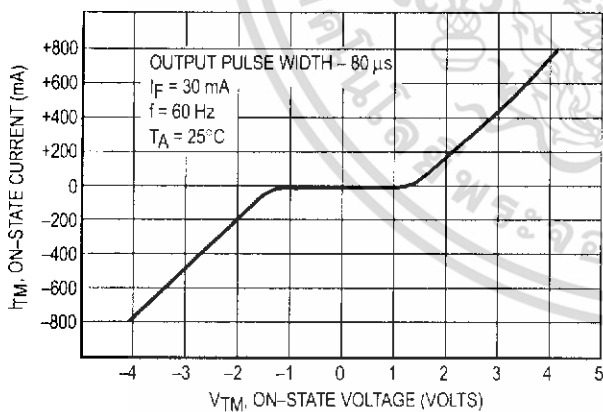


Figure 1. On-State Characteristics

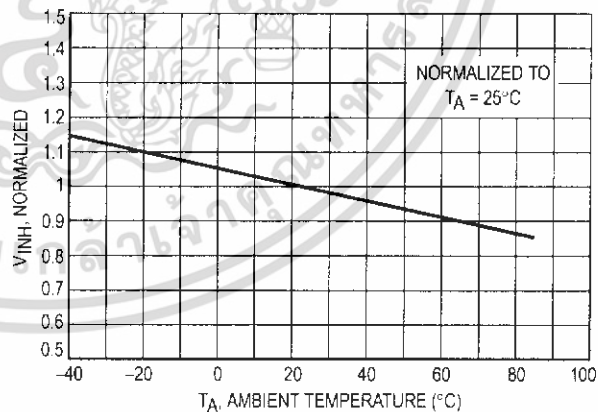


Figure 2. Inhibit Voltage versus Temperature

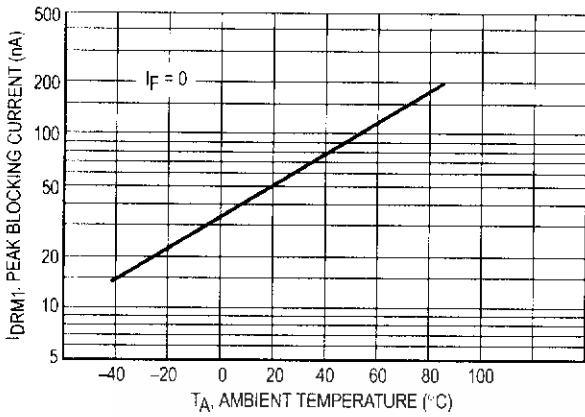


Figure 3. Leakage with LED Off versus Temperature

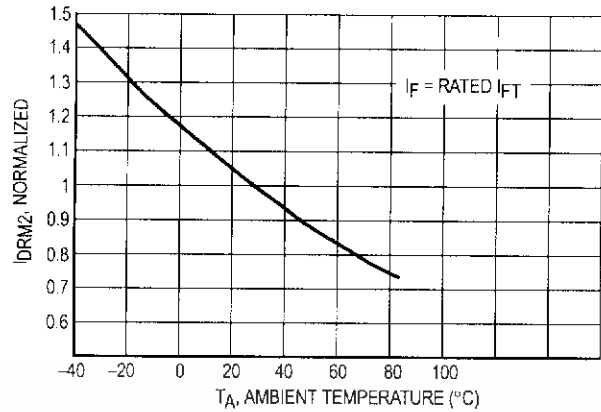


Figure 4. IDRM2, Leakage in Inhibit State versus Temperature

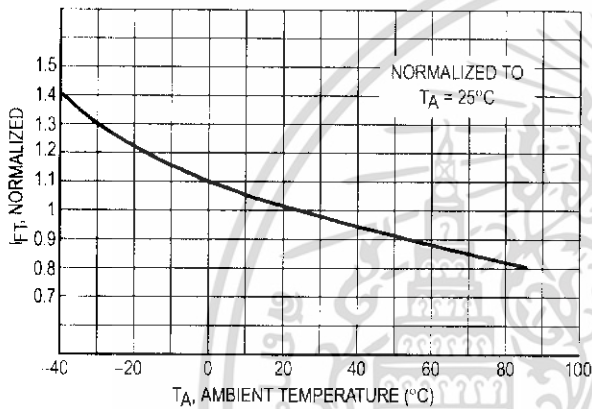


Figure 5. Trigger Current versus Temperature

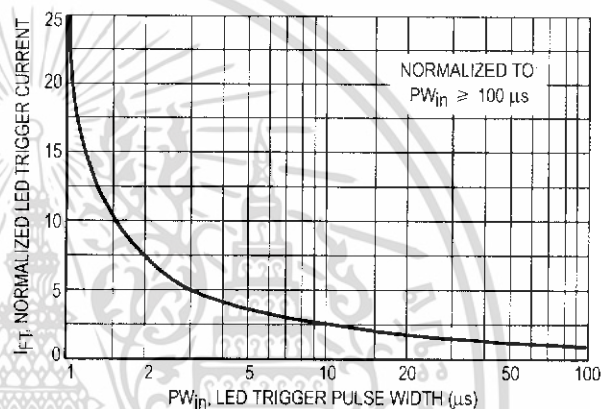
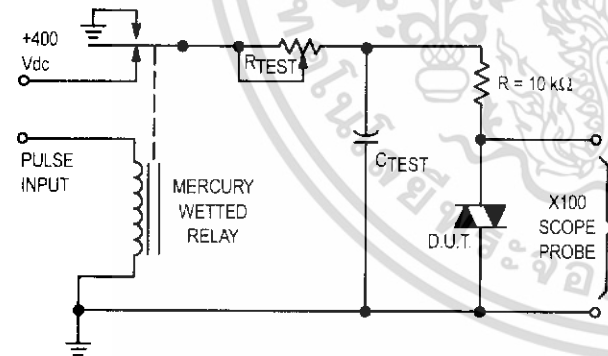


Figure 6. LED Current Required to Trigger versus LED Pulse Width



1. The mercury wetted relay provides a high speed repeated pulse to the D.U.T.
2. 100x scope probes are used, to allow high speeds and voltages.
3. The worst-case condition for static dv/dt is established by triggering the D.U.T. with a normal LED input current, then removing the current. The variable RTEST allows the dv/dt to be gradually increased until the D.U.T. continues to trigger in response to the applied voltage pulse, even after the LED current has been removed. The dv/dt is then decreased until the D.U.T. stops triggering. τRC is measured at this point and recorded.

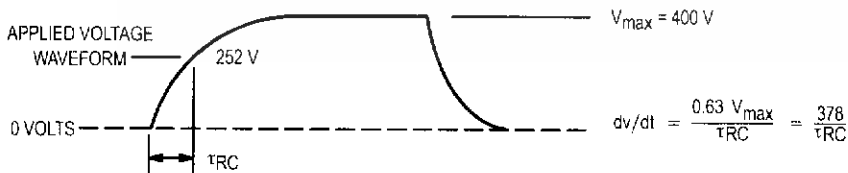
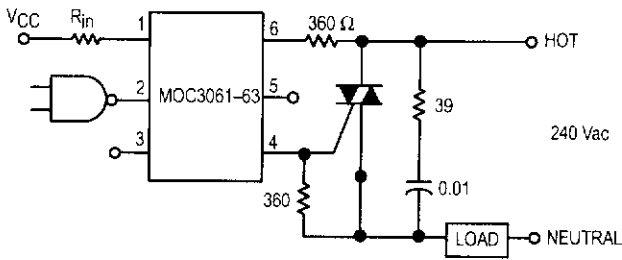


Figure 7. Static dv/dt Test Circuit

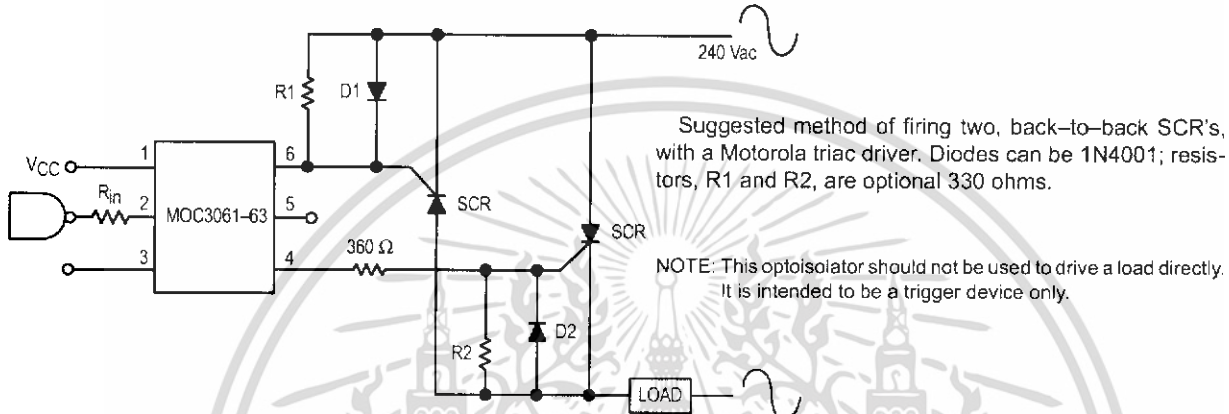
## MOC3061 MOC3062 MOC3063



Typical circuit for use when hot line switching is required. In this circuit the "hot" side of the line is switched and the load connected to the cold or neutral side. The load may be connected to either the neutral or hot line.

$R_{in}$  is calculated so that  $I_F$  is equal to the rated  $I_{FT}$  of the part, 15 mA for the MOC3061, 10 mA for the MOC3062, and 5 mA for the MOC3063. The 39 ohm resistor and 0.01  $\mu F$  capacitor are for snubbing of the triac and may or may not be necessary depending upon the particular triac and load used.

Figure 8. Hot-Line Switching Application Circuit



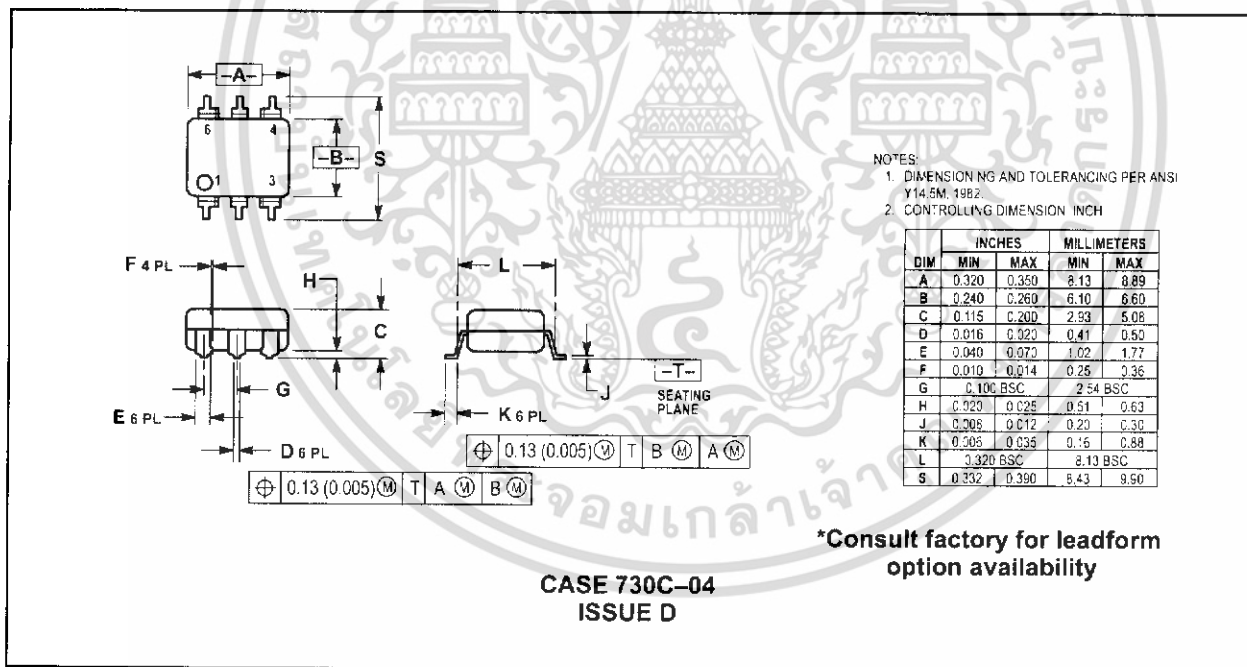
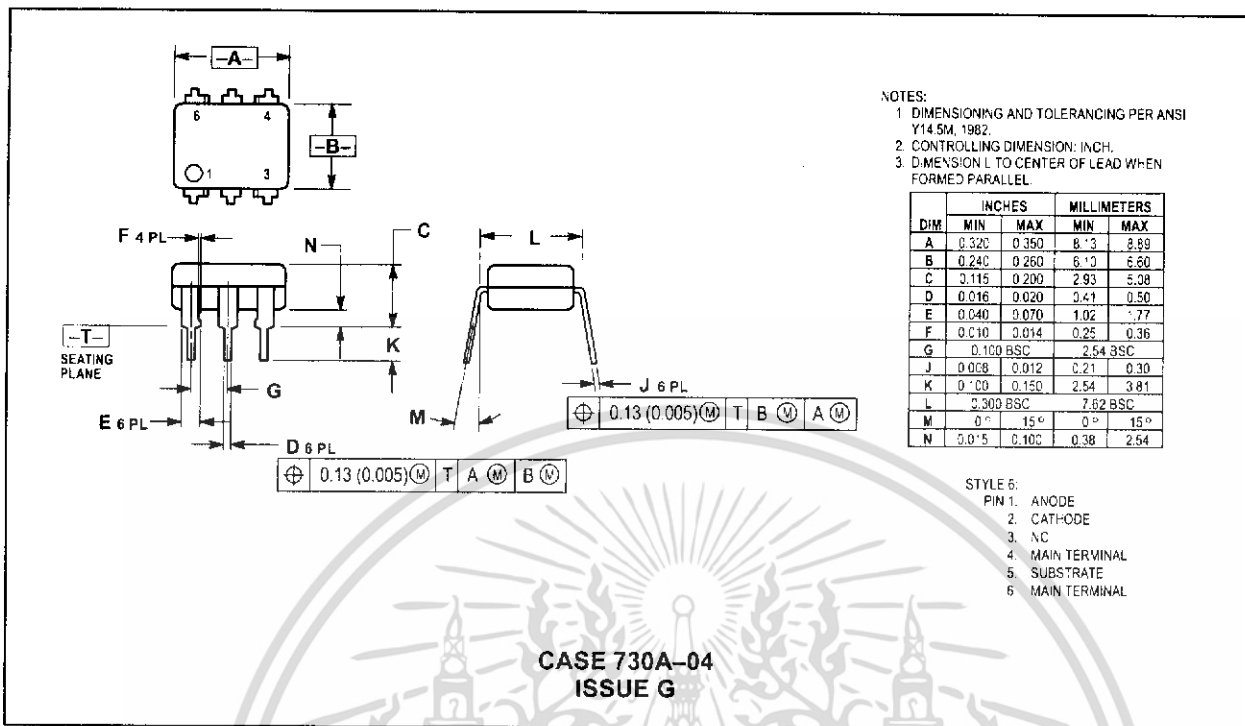
Suggested method of firing two, back-to-back SCR's, with a Motorola triac driver. Diodes can be 1N4001; resistors, R1 and R2, are optional 330 ohms.

NOTE: This optoisolator should not be used to drive a load directly. It is intended to be a trigger device only.

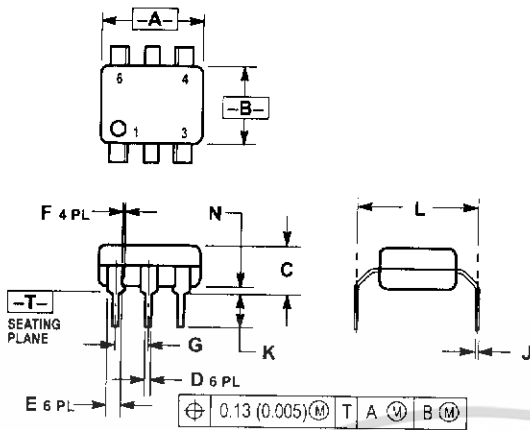
Figure 9. Inverse-Parallel SCR Driver Circuit

# MOC3061 MOC3062 MOC3063

## PACKAGE DIMENSIONS



**MOC3061 MOC3062 MOC3063**



- NOTES:  
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.  
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.  
 3. DIMENSION L TO CENTER OF LEAD WHEN FORMED PARALLEL.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.88
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
J	0.008	0.012	0.21	0.30
K	0.100	0.150	2.54	3.81
L	0.400	0.425	10.16	10.80
N	0.015	0.040	0.38	1.02

\*Consult factory for leadform option availability

**CASE 730D-05  
 ISSUE D**

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

**How to reach us:**

**USA / EUROPE:** Motorola Literature Distribution,  
 P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1-800-441-2447

**JAPAN:** Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi-SPD-JLDC, Toshikatsu Otsuki,  
 6F Seibu-Butsuryu-Center 3-14-2 Tatsumi Koto-Ku, Tokyo 135, Japan. 03-3521-8315

**MFAX:** RMFAX0@email.sps.mot.com - TOUCHTONE (602) 244-6609  
**INTERNET:** http://Design-NET.com

**HONG KONG:** Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,  
 51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852-26629298



MOC3061/D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น การค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

