



37 1
11/11/1

เครื่องควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วย DTMF ผ่านสายส่งเส้นเดียว
ON-OFF CONTROLLER BY DTMF VIA SINGLE WIRE LINE

โดย

นายวิวัฒน์ เทนธรรมไพเราะ

นายอดุล อติธนกุล

นายส.ปกาศิต จันทสาโร

วัน เดือน ปี..... 18.ค.ค. 2541
เลขทะเบียน..... 039059
เลขเรียกหนังสือ..... 1003007422 ค

นคพ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

039059

เครื่องควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วย DTMF ผ่านสายส่งเส้นเดียว
ON-OFF CONTROLLER BY DTMF VIA SINGLE WIRE LINE

โดย

นายวิวัฒน์ เทมพรรณไพเราะ 38013028

นายอดุล อติชนกุล 38013041

นายช.ปกาศิต จันทสาโร 38013046

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.สุรพล บุญจันทร์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วย DTMF ผ่านสายส่งเส้นเดียว

ON-OFF CONTROLLER BY DTMF VIA SINGLE WIRE LINE

โดย 1. นายวิวัฒน์ เทมพรรณไพเราะ 38013028
2. นายอตุล อติชนกุล 38013041
3. นาย ส.ปกาศิต จันทภาโร 38013046

อาจารย์ที่ปรึกษา อ.สุรพล บุญจันทร์

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อประดิษฐ์ชุดควบคุมโหลดจากระยะไกล โดยใช้สายตัวนำเพื่อใช้ในการควบคุมโหลดชนิดต่าง ๆ ให้ทำงานโดยที่ผู้ควบคุมสามารถควบคุมจากระยะไกลได้ และสามารถควบคุมโหลดได้ 9 จุด โดยใช้สายตัวนำเพียง 2 เส้น โดยที่ตัวควบคุมจะมีสวิทช์อยู่ 12 ตัว เป็นอิสระต่อกัน ซึ่งสามารถนำไปเข้าวงจรขยายให้มีกระแส และแรงดันเพิ่มขึ้น เพื่อนำไปขับรีเลย์ที่ปิดเปิดโหลดตามต้องการ หลังจากนั้นเมื่อโหลดตัวนั้นได้ทำงาน อุปกรณ์สวิทช์ตัดต่อจะทำงานเพื่อตรวจสอบว่าอุปกรณ์โหลดตัวนั้นได้ทำงานแล้ว และจะมีสัญญาณตอบกลับมาว่า โหลดตัวนี้ได้ทำงานแล้วให้แสดงผลออกทาง แอลอีดี

ABSTRACT

This objective of this project is to invent a long distance load controller set . A transmission line is used to control several types of load , working by a controller from a far . By using to transmission line with to independent switches on the controller set , the controller can regulate loads from 9 points . These independent to switches can be connected to the circuit to expand current and voltage in order to drive a relay , with can open and close the load any time . After the load work the switching device will start working to exmine that the load set can work . Responed signal will be displayed by LED , thus making to know that the load can work .

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2540

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วย DTMF ผ่านสายส่งเส้นเดียว

(ON-OFF CONTROLLER BY DTMF VIA SINGLE WIRE LINE)

ผู้จัดทำ

- | | |
|-----------------------------|----------|
| 1. นายวิวัฒน์ เหมพรรณไพเราะ | 38013028 |
| 2. นายอดุล อติธนกุล | 38013041 |
| 3. นาย ส.ปภาสิต จันทธาโร | 38013046 |

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.สุรพล บุญจันทร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1	ลักษณะพื้นฐานของแผงสวิทช์	1
รูปที่ 1.2	แสดงหลักพื้นฐานของวงจรควบคุม	2
รูปที่ 1.3	แสดงบล็อกการทำงานของวงจร	3
รูปที่ 2.1	การสร้างสัญญาณ DTMF	4
รูปที่ 2.2	เส้นกราฟคุณลักษณะสิ่งประดิษฐ์เชิงเส้นและไม่เป็นเชิงเส้น	5
รูปที่ 2.3	การรวมความถี่แบบเชิงเส้น	6
รูปที่ 2.4	การรวมสัญญาณแบบไม่เชิงเส้น	6
รูปที่ 2.5	แสดงบล็อกการทำงานของ IC ผลิตสัญญาณ DTMF	7
รูปที่ 2.6	แสดงโครงสร้างภายในของ MT 8870	9
รูปที่ 2.7	แสดงวงจรเข้ารหัสแปลงรหัสจากเลขฐานสิบเป็นรหัส BCD	11
รูปที่ 2.8	แสดงการต่อวงจรควบคุมเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสเบื้องต้น	11
รูปที่ 2.9	แสดงวงจรไดโอดเมตริกซ์ที่ต่อกันเป็นวงจรเข้ารหัส	12
รูปที่ 2.10	แสดงวงจรเข้ารหัส 2 ออก 4	13
รูปที่ 2.11	แสดงวงจรถอดรหัส BCD เป็นฐานสิบ	15
รูปที่ 2.12	จังหวะการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิล แบบไม่กระตุ้นซ้ำ	16
รูปที่ 2.13	จังหวะการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิล แบบรับการกระตุ้นซ้ำ	16
รูปที่ 2.14	วงจรโมโนสเตเบิลแบบไม่รับการกระตุ้นซ้ำ โดยใช้ดีฟลิปฟล็อป	18
รูปที่ 2.15	การต่อไดโอดเพื่อลดเวลาในการคายประจุ	19
รูปที่ 2.16	การตัดแปลงวงจรให้ทำงานแบบรับการกระตุ้นซ้ำ	19
รูปที่ 2.17	การใช้ไอซี เบอร์ 4047 เป็นโมโนสเตเบิลแบบรับการกระตุ้นซ้ำ	20
รูปที่ 2.18	การใช้ไอซี TTL เบอร์ 74121 เป็นโมโนสเตเบิลแบบไม่รับการกระตุ้นซ้ำ	20
รูปที่ 2.19	แสดงวงจร อาร์เอสฟลิปฟล็อปแบบใช้เกทเนอร์	22
รูปที่ 2.20	แสดงวงจรคล็อกเกทเนอร์ อาร์เอสฟลิปฟล็อป	23
รูปที่ 2.21	แสดงวงจร เจเคฟลิปฟล็อป	24
รูปที่ 2.22	แสดงวงจรฟลิปฟล็อปที่มีพรีเซต และเคลียร์	24
รูปที่ 2.23	แสดงวงจรมาสเตอร์-สเลฟ ฟลิปฟล็อปเบื้องต้น	25
รูปที่ 2.24	แสดงสัญญาณที่อินพุต และเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์	26
รูปที่ 2.25	แสดงลักษณะคุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแส และแรงดัน ของทรานซิสเตอร์ที่ ใช้งานจริง และถูกต่ออยู่ในแบบอิมิตเตอร์ร่วม	27
รูปที่ 2.26	แสดงคุณสมบัติของวงจรสวิทช์ ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ในทางปฏิบัติ	29
รูปที่ 2.27	แสดงวงจรเสมือนของวงจรสวิทช์	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.28	แสดงวงจรเสมือน และคุณสมบัติของรูปที่ 2.26 ขณะเวลา t_0	32
รูปที่ 2.29	แสดงวงจรสวิตช์ทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีสปีคอัพพาซิเตอร์	35
รูปที่ 2.30	แสดงผลของสปีคอัพพาซิเตอร์ในวงจรสวิตช์ทรานซิสเตอร์	36
รูปที่ 2.31	วงจรทรานซิสเตอร์สวิตช์ที่มีโหลดเป็นรีเลย์	37
รูปที่ 2.32	แสดงวงจรเปรียบเทียบสถานะการทำงานของขดลวดรีเลย์อย่างง่าย	38
รูปที่ 2.33	(ก) แสดงคุณสมบัติของความต้านทานหน้าสัมผัส (ข) แสดงคุณสมบัติอัตราทนกระแสและแรงดัน	42 42
รูปที่ 2.34	แหล่งจ่ายกำลังสำหรับรีเลย์	45
รูปที่ 2.35	แสดงวงจรขั้วรีเลย์แบบต่าง ๆ	45
รูปที่ 2.36	วงจรขั้วรีเลย์แบบคาลิงตัน	46
รูปที่ 2.37	ลักษณะการเกิดแรงดันย้อนกลับจากขดลวดรีเลย์	47
รูปที่ 2.38	วงจรป้องกันแรงดันย้อนกลับจากหน้าสัมผัสรีเลย์	48
รูปที่ 3.1	แสดงบล็อกการทำงานของวงจรควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วย DTMF	49
รูปที่ 3.2	แสดงวงจรภาคกำเนิดสัญญาณควบคุม และภาคถอดรหัสสัญญาณตอบกลับ	54
รูปที่ 3.3	แสดงวงจรภาคแสดงผล	55
รูปที่ 3.4	แสดงวงจรภาคขั้วรีเลย์ และภาคผลิตสัญญาณตอบกลับ	56

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ	
สารบัญภาพ	
บทที่ 1	
บทที่ 2	
บทนำ	1
ทฤษฎี	4
2.1 สัญญาณ DTMF	4
2.2 การหาความถี่	5
2.3 IC ผลิตสัญญาณ DTMF	7
2.4 ไอซีถอดรหัสความถี่โทรศัพท์	8
2.5 วงจรเข้ารหัสและถอดรหัส	9
2.5.1 วงจรเข้ารหัส	9
2.5.2 วงจรถอดรหัส	12
2.6 วงจรโมโนสเตเบิลจากรีเลย์	15
2.6.1 โมโนสเตเบิลจากรีเลย์ CMOS และ TTL	18
2.7 JK ฟลิปฟลอป	21
2.7.1 ฟลิปฟลอปแบบป้อนสัญญาณอินพุตโดยตรง	21
2.7.2 ฟลิปฟลอปแบบป้อนสัญญาณอินพุตควบคู่กับสัญญาณควบคุม	22
2.7.3 JK ฟลิปฟลอป	23
2.7.4 มาสเตอร์-สเลฟ ฟลิปฟลอป	25
2.8 สวิตช์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้งาน	27
2.8.1 การเปิด-ปิดสวิตช์ทรานซิสเตอร์ในทางปฏิบัติ	28
2.8.2 การลดค่า "เวลาได้ขึ้น" โดยเพิ่มกระแสเบส	31
2.8.3 สปีดอัปไดรเวอร์	34
2.8.4 วงจรสวิตช์ทรานซิสเตอร์ที่มีโหลดเป็นรีเลย์	37
2.9 รีเลย์	39
2.9.1 คุณสมบัติของรีเลย์ (แบบกลไกไฟฟ้า)	41
2.9.2 ข้อจำกัดของกำลังงานและการสวิตช์	42
2.9.3 คุณสมบัติบางประการที่ควรพิจารณา	44
2.9.4 แหล่งจ่ายกำลังสำหรับรีเลย์	44
2.9.5 ข้อพิจารณาของวงจรขับรีเลย์	46
2.9.6 ช่วงเวลาเปิดของหน้าสัมผัส	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3	หลักการ และการออกแบบ	49
บทที่ 4	การทดลอง และผลการทดลอง	57
บทที่ 5	สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง	72
ภาคผนวก		
เอกสารอ้างอิง		

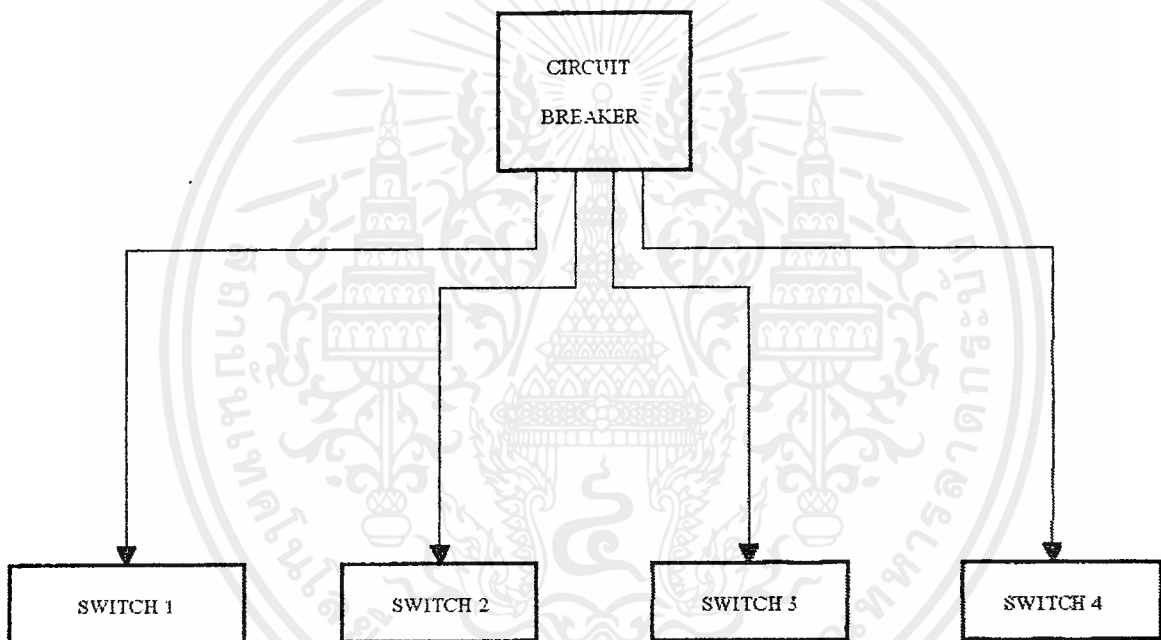


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เริ่มเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้นเรื่อยๆ ไม่ว่าจะเป็นเครื่องใช้ในบ้าน เช่น โทรทัศน์, วิทยุ, พัดลม เป็นต้น เครื่องใช้ใบสำนักงาน เช่น แฟกซ์, เครื่องถ่ายเอกสาร, ระบบแสงสว่าง เป็นต้น หรือเครื่องมือเครื่องจักรในโรงงานต่างๆ โดยเฉพาะในสำนักงานหรือโรงงานนั้นจะมีอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นจำนวนมาก ซึ่งถ้าติดตั้งแต่ละตัวกระจายกันก็จะทำให้สิ้นเปลือง บำรุงรักษาลำบาก และดูไม่เป็นระเบียบ ดังนั้นจึงมีการรวมสวิตช์ต่างๆ เอาไว้บนแผงควบคุมชุดเดียวกันดังรูปที่ 1.1

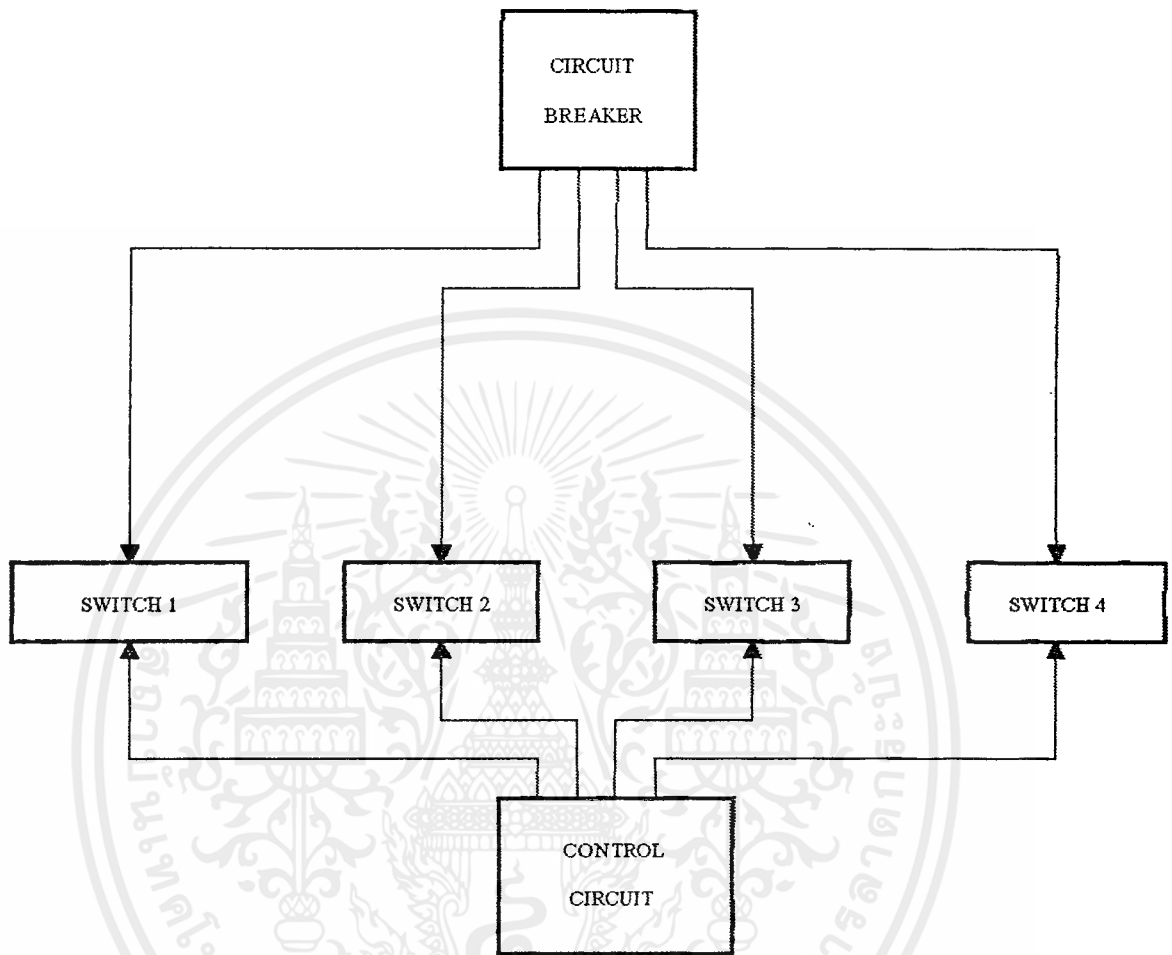


รูปที่ 1.1 ลักษณะพื้นฐานของแผงสวิตช์

จากรูปที่ 1.1 เป็นลักษณะพื้นฐานทั่วไปของแผงควบคุม ซึ่งประกอบไปด้วย เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ต่อมาจากระบบไฟฟ้ากำลัง และต่อแยกไปยัง สวิตช์แต่ละตัว ซึ่งสวิตช์นี้โดยมากมักเป็นอุปกรณ์เชิงกล ที่ผู้ใช้ต้องไปเปิดปิดสวิตช์โดยตรง อันอาจมีปัญหากับความปลอดภัยของผู้ใช้ได้ จริงอยู่ว่าอุปกรณ์พวกนี้ผู้ผลิตจะต้องออกแบบมาเป็นอย่างดีเพื่อให้เกิดความปลอดภัยมากที่สุด แต่ก็อาจเกิดอันตรายได้จากการชำรุด หรือเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ หรืออาจจะมาจากปัจจัยภายนอกอื่นๆ ดังนั้นถ้าเราแยกแผงควบคุมออกมาจากระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้ากำลังได้นอกจากจะช่วยให้ผู้เป็นระเบียบ ง่ายต่อการบำรุงรักษา แล้ว ก็ยังจะช่วยเพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้ใช้ ได้มากขึ้นด้วย



รูปที่ 1.2 แสดงหลักการพื้นฐานของวงจรควบคุม

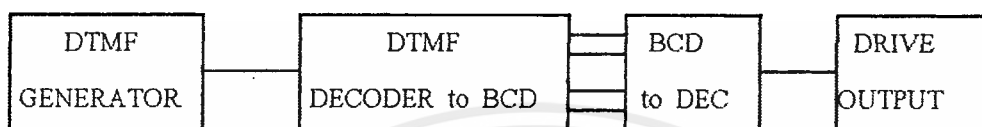
จากรูปที่ 1.2 แสดงให้เห็นถึงหลักการพื้นฐานในการแยกภาคควบคุมออกจากสวิตช์ โดยแทนที่เราจะดึงไปเปิดสวิตช์แต่ละจุดที่แผงสวิตช์ ก็หันมาใช้ชุดควบคุมที่ต่อแยกมาอีกทีหนึ่ง โดยสวิตช์ที่ใช้จะเปลี่ยนมาเป็นแบบ สวิตช์แม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยใช้สัญญาณไฟฟ้าจากวงจรควบคุม

นอกจากนี้จากเทคโนโลยีของอุปกรณ์ทางแสง ทำให้เราสามารถพัฒนาอุปกรณ์ทางเอาต์พุตให้มีประสิทธิภาพในการตอบสนองได้ดีขึ้น และให้ความปลอดภัยต่อภาคควบคุมและผู้ใช้มากขึ้น เมื่อโหลดเกิดความเสียหาย เช่น เกิดลัดวงจรก็ไม่ทำให้วงจรควบคุมเสียหายไปด้วย นอกจากจะต้องเปลี่ยนอุปกรณ์สวิตช์ที่เอาต์พุตใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงงานนี้สามารถจะใช้วงจรควบคุมได้หลายแบบ เช่น ระบบมัลติเพล็กซ์ สัญญาณทุกตัวจะถูกแบ่งช่วงเวลาในการใช้งาน ส่งผ่านตัวกลางไปยังตัว คิมัลติเพล็กซ์เพื่อถอดรหัสตำแหน่งที่ต้องการควบคุม ซึ่งอาจใช้ วงจรเกทมัลติเพลก/คิมัลติเพลกก็ได้ เป็นต้น

หลักการของโครงงาน



รูปที่ 1.4 แสดงบล็อกการทำงานของวงจร

โครงงานนี้จะใช้หลักการเข้ารหัสเช่นกัน กล่าวคือ ใช้สัญญาณ DTMF เป็นรหัสแทนสวิทช์แต่ละตัว แล้วส่งไปยังภาคแปลงสัญญาณ โดยจะทำการตรวจสอบสัญญาณ DTMF ที่เข้ามาว่ามีความถี่ตรงกับช่วงไหน เพื่อแปลง สัญญาณ DTMF เป็น รหัสดิจิทัลอีกทีหนึ่ง เช่น เมื่อกดเลข 2 สัญญาณที่เข้ามาจะมีองค์ประกอบของความถี่สูง 1336 Hz และความถี่ต่ำ 697 Hz ถ้าความถี่ถูกต้องวงจรนี้จะแสดงผลออกมาเป็นรหัส คิจิตอล คือ 0010 เป็นต้น ในวงจรส่วนถัดมาจะทำการแปลงรหัส ไบนารี 4 บิต นี้เป็นเลขฐานสิบ เพื่อทำการแยกช่องควบคุม โหลดแต่ละตัวที่ภาคเอาต์พุต

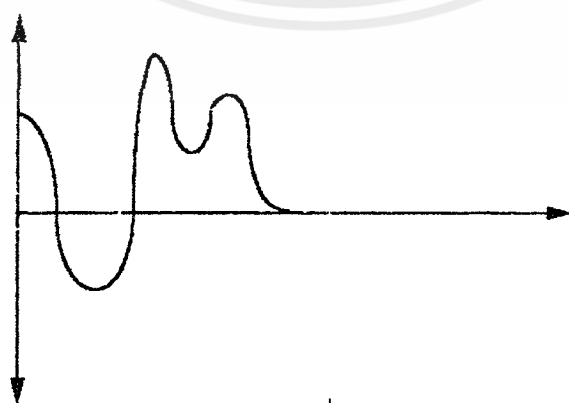
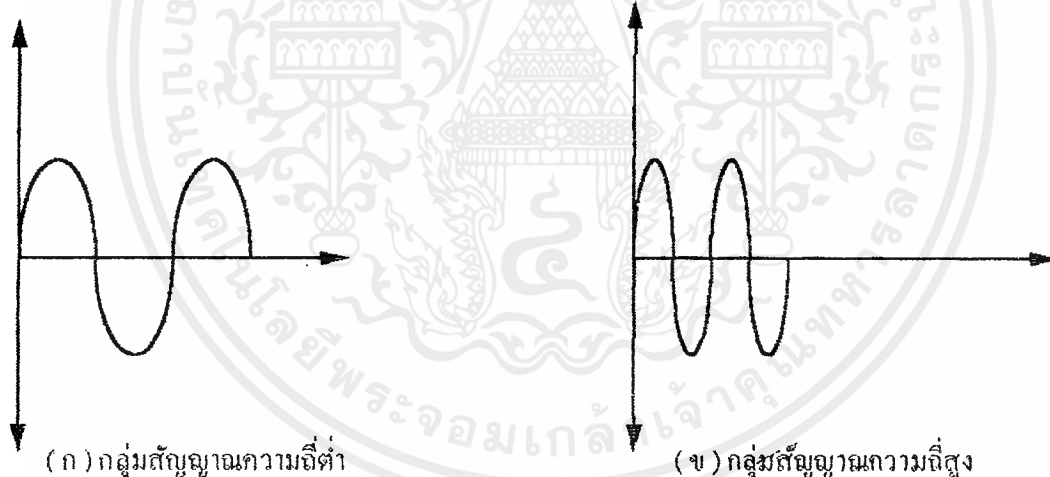
บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 สัญญาณ DTMF

DTMF (dual tone multifrequency) บริษัท AT&T เป็นผู้คิดค้นขึ้นใช้ในระบบโทรศัพท์ รูปแบบ DTMF นี้สร้างรหัสได้มากมาย กำหนดเป็นรหัสตัวเลข 10 ตัว และสัญญาณอื่นอีก 6 ตัว โทนที่ส่งออกไปเป็นแบบ 2 โทน พร้อมกัน เลือกจาก 8 โทน โคไซน์แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มความถี่สูง และ กลุ่มความถี่ต่ำ ดังตาราง

ความถี่	1209HZ	1336HZ	1447HZ	1633HZ
697HZ	1	2	3	A
770HZ	4	5	6	B
852HZ	7	8	9	C
941HZ	*	0	#	D



(ก) สัญญาณ DTMF ที่ได้จากการรวมสัญญาณความถี่ต่ำ และสูง

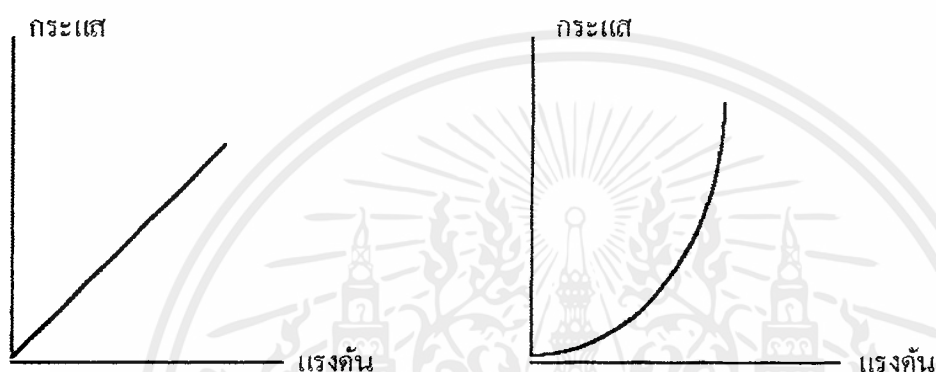
รูปที่ 2.1 การสร้างสัญญาณ DTMF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การรวมความถี่

ความถี่ของสัญญาณที่แตกต่างกันสามารถรวมกันได้หลายแบบ เพื่อให้เกิดสัญญาณใหม่ ผลของสัญญาณใหม่ที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของการรวมนั้นเป็นแบบ เชิงเส้น(linear) หรือ ไม่เป็นเชิงเส้น(nonlinear)

ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้นสิ่งประดิษฐ์ที่เป็นเชิงเส้น ได้แก่ ตัวต้านทาน เพราะกระแสที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันที่แน่นอน ในลักษณะของสมการเชิงเส้น ส่วนสิ่งประดิษฐ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น ได้แก่ พวกอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ซึ่งกระแสที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับแรงดันในลักษณะที่ไม่ใช่สมการเชิงเส้น



(ก) สิ่งประดิษฐ์เชิงเส้น

(ข) สิ่งประดิษฐ์ไม่เป็นเชิงเส้น

รูปที่ 2.2 แสดงกราฟคุณลักษณะของสิ่งประดิษฐ์เชิงเส้น และ ไม่เป็นเชิงเส้น

เมื่อป้อนสัญญาณไฟฟ้า 2 สัญญาณมารวมกันแบบเชิงเส้นจะให้สัญญาณใหม่ซึ่งไม่เหมือนสัญญาณเดิม และจะมีความถี่พื้นฐานของทั้งสองสัญญาณ เช่น นำสัญญาณความถี่ 100HZ รวมกับสัญญาณความถี่ 200HZ จะได้รูปสัญญาณใหม่เกิดขึ้น แต่เมื่อนำไปวิเคราะห์แล้วจะพบว่าประกอบด้วยสัญญาณรูปไซน์ความถี่ 100HZ และ 200HZ

เมื่อนำสัญญาณ มารวมกันอย่างไม่เป็นเชิงเส้น ผลที่ได้รับจะได้ความถี่ผสมของสัญญาณที่เกิดขึ้นใหม่แตกต่างไปจากแบบเชิงเส้น ซึ่งลักษณะความไม่เป็นเชิงเส้นของอุปกรณ์สามารถประมาณได้โดยใช้อนุกรมกำลัง คือ

$$i(t) = a_1(t) + a_2 e(t)^2 + \dots + a_n e(t)^n$$

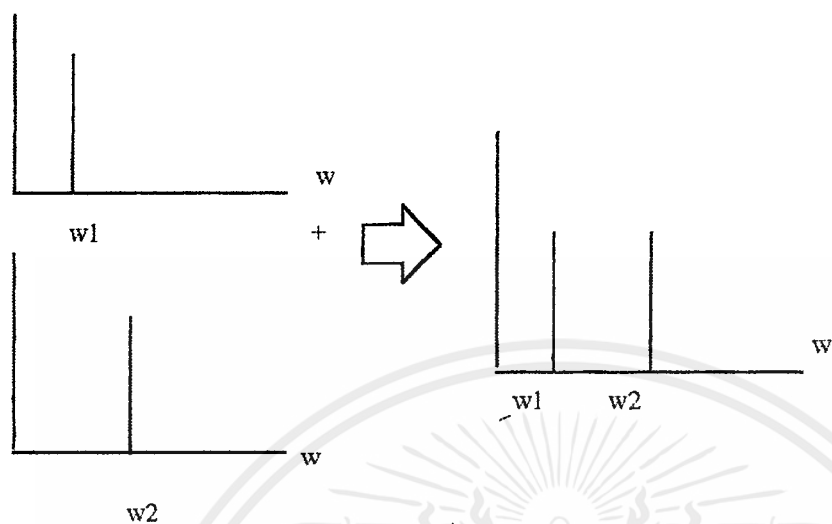
ถ้าพิจารณาถึงเทอมที่ 2 และ ให้ $e(t) = \cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t)$

จะได้ว่า

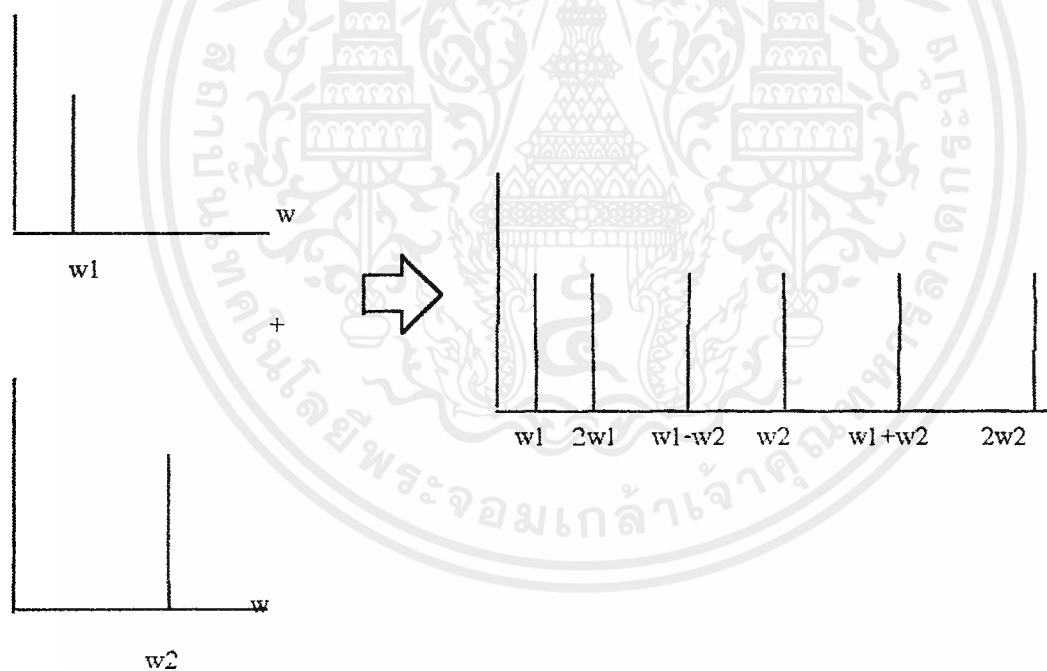
$$\begin{aligned} i(t) &= a_1 \{ \cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t) \} + a_2 \cos^2(\omega_1 t) + a_2 \cos^2(\omega_2 t) + 2[a_2 \cos(\omega_1 t) \cos(\omega_2 t)] \\ &= a_1 \{ \cos(\omega_1 t) + \cos(\omega_2 t) \} + a_2 \{ 2 + \cos(2\omega_1 t) + \cos(2\omega_2 t) \} / 2 \\ &\quad + a_2 \{ \cos(\omega_1 t - \omega_2 t) + \cos(\omega_1 t + \omega_2 t) \} \end{aligned}$$

นั่นคือ ในสัญญาณใหม่ที่เกิดจากการรวมสัญญาณแบบไม่เป็นเชิงเส้นนี้ จะมีองค์ประกอบของความถี่เพิ่มขึ้นไปอีก 4 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การรวมความถี่แบบเชิงเส้น



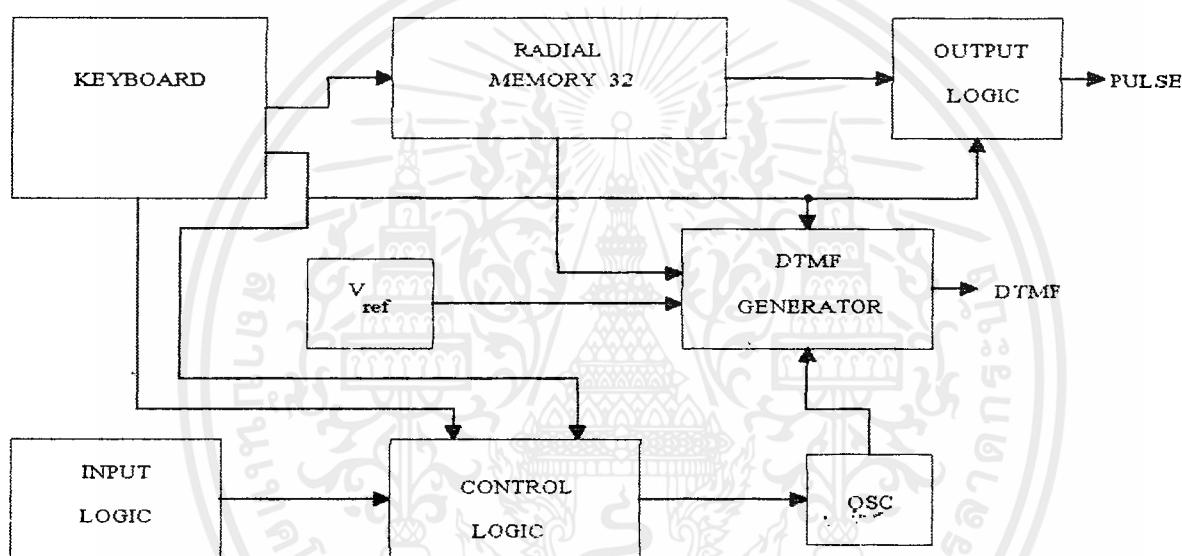
รูปที่ 2.4 การรวมสัญญาณแบบไม่เป็นเชิงเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 IC ผลิตสัญญาณ DTMF

จากที่กล่าวมาแล้วว่า สัญญาณ DTMF เกิดจากการรวมกันของความถี่ 2 ความถี่ ซึ่งหากใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ 1 ชุด ผลิตความถี่ 1 ความถี่ ก็จะเป็นการสิ้นเปลือง และทำให้วงจรมีขนาดใหญ่เกินไป ซึ่งในโครงการนี้จะใช้ IC ที่ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณ DTMF โดยเฉพาะทำให้ลดขนาดของวงจรลงมาได้มาก และเป็น การประหยัดอุปกรณ์

IC ตัวนี้ปกติจะมีข้อมูลในอุปกรณ์เจ้าพวกที่เกี่ยวกับโทรศัพท์ โดยจะผลิตสัญญาณได้ทั้งแบบ DTMF และแบบพัลส์ ซึ่งเราจะนำเอาสัญญาณ DTMF ที่ได้นี้มาประยุกต์ใช้งานกับวงจรควบคุม บล็อกการทำงาน ของวงจรเป็นดังรูปที่ 2



รูปที่ 2.5 แสดงบล็อกการทำงานของ IC ผลิตสัญญาณ DTMF

จากรูปที่ 2.5 เป็นบล็อกแสดงการทำงานอย่างคร่าวๆ โดยมีการทำงานดังนี้ คือ

KEYBOARD LOGIC ซึ่งต่อกับสวิตช์แบบเมตริกซ์ภายนอก จะทำการตรวจสอบสถานะการกด สวิตช์ ว่าสวิตช์ที่ถูกกดในขณะนั้นคือสวิตช์หมายเลขใด จากนั้นก็จะส่งสัญญาณไปยังภาคผลิตสัญญาณให้ทำ การผลิตสัญญาณ โดยที่มีสัญญาณ 2 แบบให้เลือก คือ แบบพัลส์ และแบบ DTMF

ซึ่งเลือกได้จากเซตโหมดการทำงานที่ INPUT LOGIC ในกรณีเลือกโหมดการผลิตสัญญาณแบบ DTMF นั้น เมื่อ KEYBOARD LOGIC ส่งสัญญาณแจ้งตำแหน่งสวิตช์มาแล้ว DTMF GENERATOR ก็จะทำการผลิต สัญญาณ DTMF ออกมาตามเลขหมายที่กด เช่น กดเลข 5 ก็จะทำการผลิตสัญญาณ DTMF จากความถี่ 1336 Hz และ 770 Hz เป็นต้น ส่วนในกรณีของพัลส์ OUTPUT LOGIC ก็จะทำการผลิตสัญญาณพัลส์เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนเท่ากับเลขหมายที่กด ซึ่งจะมีใช้ได้เพียง เลข 0-9 เท่านั้นและเลขศูนย์จะทำการผลิตพัลส์ขึ้นมา 10 พัลส์ ไม่ใช่ ศูนย์พัลส์

ในส่วนที่เหลือ จะมีหน้าที่การทำงานดังนี้ คือ

OSC จะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณอ้างอิงขึ้นมา เพื่อป้อนให้กับ CONTROL LOGIC และ DTMF GENERATOR

CONTROL LOGIC ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของส่วนต่างๆ เช่น ควบคุมการทำงานของส่วนผลิตสัญญาณว่าจะให้เป็น พัลส์ หรือ DTMF , ควบคุมการทำงานของ RADIAL MEMORY 32D เป็นต้น

RADIAL MEMORY 32D ทำหน้าที่เก็บชุดตัวเลขชุดสุดท้ายที่เพิ่งกดไป จำนวน 32 คิจิต และจะทำการส่งรหัสเลขหมายนี้ให้กับภาคผลิตสัญญาณ ในกรณีที่ผู้ใช้กด สวิตช์ R หรือทวนเลขหมาย

INPUT LOGIC จะเป็นตัวเขตค่าสถานะการทำงานต่างๆ คือ

- กำหนดอัตราส่วนของช่วงเวลาและส่งสัญญาณและหยุดส่งสัญญาณ
- กำหนดสถานะ hook off หรือ hook on
- เลือกโหมดการส่งสัญญาณว่าเป็นแบบ พัลส์ หรือ DTMF

2.4 ไอซีถอดรหัสความถี่โทรศัพท์

สัญญาณ DTMF ที่ถูกส่งมาจากภาคส่งสัญญาณจะถูกแยกองค์ประกอบของสัญญาณเพื่อนำเอาข้อมูลที่ได้ไปเข้ารหัส ไปนารีอีกครั้งหนึ่ง ก่อนส่งไปควบคุมที่ภาคเอาท์พุท เกือบทั้งหมดนี้เราสามารถทำงานโดยใช้ไอซีเพียงตัวเดียว ในโครงการนี้ใช้ ไอซีเบอร์ MT 8870 ซึ่งเป็น ไอซีถอดรหัสที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

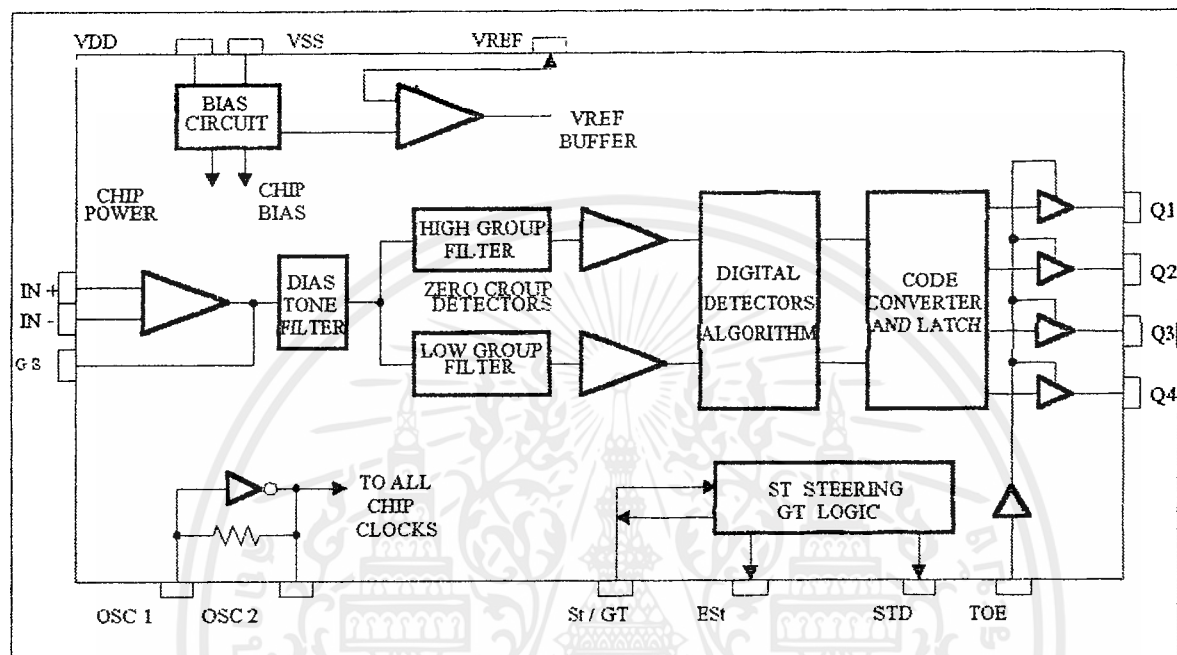
โครงสร้างภายในของ MT 8870 ประกอบไปด้วยภาครองความถี่ , ภาคถอดรหัส , ภาคตรวจสอบสัญญาณ , ภาคขยายสัญญาณอินพุท และภาคกำเนิดความถี่

การทำงานจะเริ่มจากสัญญาณจากภาคส่งสัญญาณ ถูกป้อนเข้ามาทางอินพุท ซึ่งจะถูกลบขยาย โดย ออปแอมป์ จากนั้นสัญญาณที่ถูกลบขยายแล้วจะถูกส่งต่อไปยังภาครองสัญญาณ ซึ่งมีอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนรองสัญญาณ DTMF เป็นแบบคัสคาเดสเฟลเตอร์ ทำหน้าที่กรองเอาเฉพาะสัญญาณ DTMF ออกมา ส่วนสัญญาณที่ส่งมาจากภาคส่งสัญญาณ อาจมีสัญญาณอื่นปะปนเข้ามาระหว่างทางได้ จึงจำเป็นต้องกรองออกไป และส่วนรองสัญญาณ ความถี่สูง กับความถี่ต่ำ

ที่ภาครองความถี่สูงจะกรองเอาเฉพาะกลุ่มความถี่สูงของ DTMF และภาครองความถี่ต่ำจะกรองเอาเฉพาะกลุ่มความถี่ต่ำของ DTMF จากนั้นสัญญาณทั้งสองส่วน ที่ผ่านวงจรกรองแล้ว จะถูกส่งต่อไปยังภาคถอดรหัส เพื่อทำการแปลงความถี่ DTMF ที่ได้ ให้เป็นรหัสไบนารี

แต่ถึงแม้ว่าภาครองความถี่จะมีถึงสองส่วน แต่ก็ไม่ได้หมายความว่าความถี่ที่ผ่านวงจรกรองมาได้จะเป็นความถี่ DTMF ที่ถูกต้องเสมอไป ซึ่งอาจเป็นสัญญาณรบกวนที่มีความถี่ใกล้เคียงกันได้ ทั้งนี้ จึงต้องมีการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบสัญญาณเพื่อตรวจสอบว่า ความถี่ที่ผ่านวงจรกรองมาได้ ใช้ความถี่ DTMF ที่ต้องการหรือไม่ โดยมีการตรวจสอบทั้งที่ภาคออกรหัสสัญญาณ และภาคตรวจสอบสัญญาณ ซึ่งที่ภาคตรวจสอบสัญญาณจะตรวจสอบว่าช่วงเวลาที่มีสัญญาณปรากฏ ถูกต้องตามที่ตั้งไว้หรือไม่ กล่าวคือถ้าเวลาที่สัญญาณปรากฏ สั้นกว่าเวลาที่ตั้งไว้ก็จะถือว่าสัญญาณนั้นมีความผิดพลาด ไม่ใช่สัญญาณที่ต้องการ ก็จะไปควบคุมสถานะเอาต์พุตบัพเฟอร์ของไอซีให้เป็น "ไฮอิมพีแดนซ์" นั่นก็จะมีสัญญาณไบนารีปรากฏที่ เอาต์พุตของไอซี



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างภายในของ MT 8870

2.5 วงจรเข้ารหัสและถอดรหัส

ในการเชื่อมต่อระหว่างระบบซึ่งใช้รหัสที่แตกต่างกันนั้น จำเป็นจะต้องมีการเปลี่ยนรหัส ซึ่งปกติวงจรดิจิทัลนั้นจะใช้รหัสเป็นเลขฐานสิบ เช่น ถ้าหากต้องการเปลี่ยนเลขฐานสิบ 0 ถึง 9 ไปเป็นเลขฐานสองก็จะต้องมีวงจรเปลี่ยนรหัส ปกติการเปลี่ยนรหัสจากวงจรสวิตซ์กัตที่ใช้แทนเลขฐานสิบ ให้เป็นเลขฐานสองเรียกกันว่าวงจรเข้ารหัส หรือวงจรเอนโคเดอร์ แต่ขณะเดียวกัน ถ้าหากต้องการเปลี่ยนรหัสจากรหัส BCD เป็นรหัสอย่างอื่น เรียกว่า วงจรถอดรหัส หรือวงจรดีโคเดอร์

2.5.1 วงจรเข้ารหัส

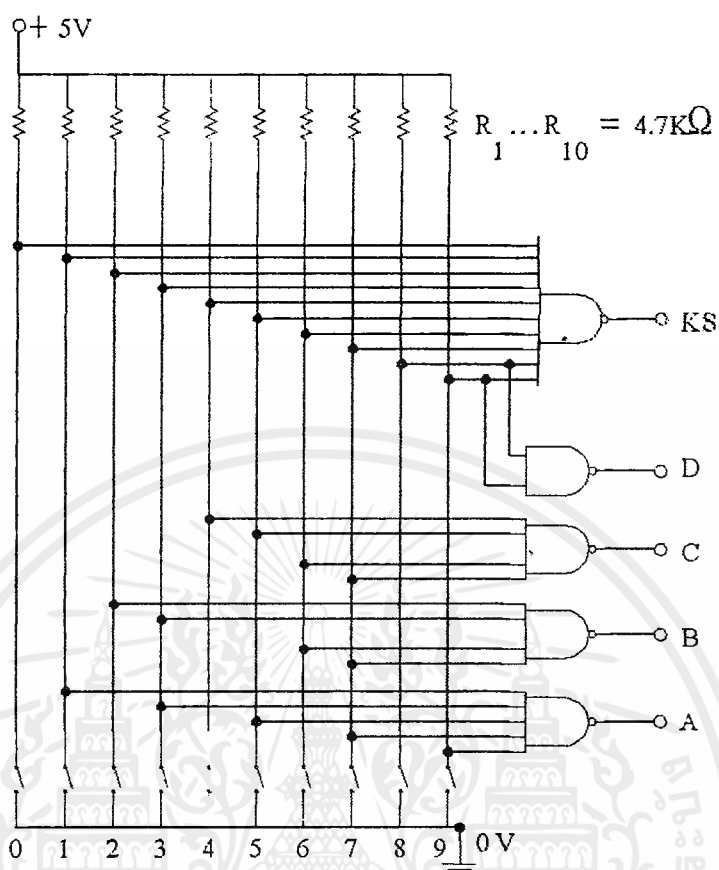
วงจรเข้ารหัส ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นวงจรเข้ารหัส ที่เปลี่ยนเลขฐานสิบ ให้เป็นรหัส BCD ซึ่งเราสามารถสร้างจาก ไลอโคเมตริกซ์ หรือวงจรเกท ก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

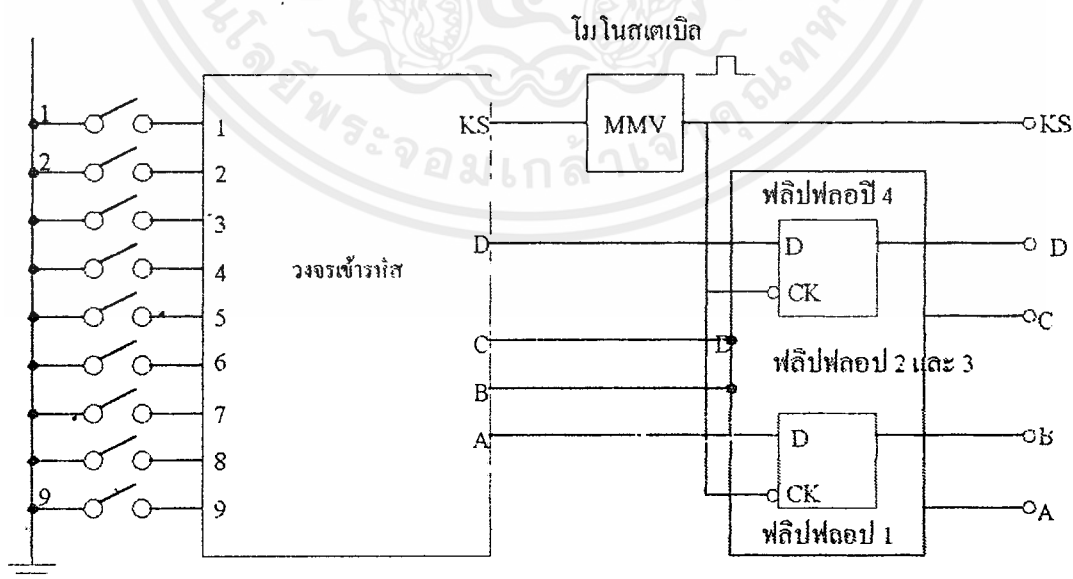
อินพุต	กีย์สโตรบ	เอาต์พุต			
		D	C	B	A
N	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0
1	1	0	0	0	1
2	1	0	0	1	0
3	1	0	0	1	1
4	1	0	1	0	0
5	1	0	1	0	1
6	1	0	1	1	0
7	1	0	1	1	1
8	1	1	0	0	0
9	1	1	0	0	1

ตารางที่ 2.1 ตารางความจริงของวงจรควบคุมเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสเบื้องต้น

จากวงจรสถานะปกติทางอินพุตจะเป็นลอจิก “สูง” ขณะที่สวิตช์จะทำให้เป็นลอจิก “ต่ำ” ส่วนทางด้านเอาต์พุตที่เช่นเดียวกันสถานะปกติจะเป็นลอจิก “ต่ำ” แต่ขณะที่สวิตช์เอาต์พุตจะเป็นลอจิก “สูง” หรือ “ต่ำ” นั้นขึ้นอยู่กับว่าสวิตช์อันไหน ส่วนเอาต์พุตกีย์สโตรบจะทำหน้าที่ในการผลิตสัญญาณพัลส์ทุกๆ ครั้ง ที่กดสวิตช์ และใช้เป็นตัวควบคุมวงจรที่ต่อจากวงจรเข้ารหัสให้รับสัญญาณที่ได้จากเอาต์พุต A, B, C และ D นอกจากนี้ยังมีหน้าที่อีกอย่างหนึ่ง คือ จะป้องกันไม่ให้วงจรที่ต่อจากวงจรเข้ารหัสนั้นรับสัญญาณใหม่อีกหลังจากการกดสวิตช์ตัวใดไปแล้วและยังถูกล็อกอยู่ โดยปกติวงจรที่ต่อจากวงจรเข้ารหัส จะใช้ D ฟลิปฟล็อปต่อเป็นตัวกับสัญญาณอีกขั้นต่อมาหนึ่งแล้วใช้เอาต์พุตกีย์สโตรบต่อผ่านวงจร โมโนสเตเบิล มัลติไวเบเรเตอร์เข้าไปยังอินพุตกล็อกของ D ฟลิปฟล็อปดังแสดงในรูปที่ 2.8

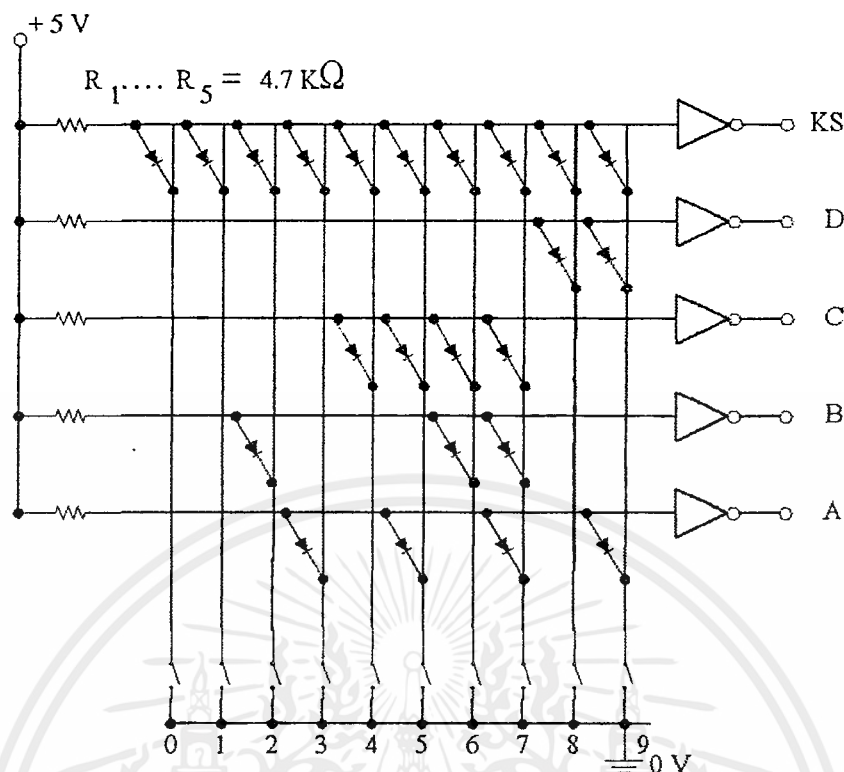


รูปที่ 2.7 แสดงวงจรเข้ารหัสแปลงรหัสจากเลขฐานสิบเป็นรหัส BCD



รูปที่ 2.8 แสดงการต่อวงจรควบคุมเอาต์พุตของวงจรเข้ารหัสเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

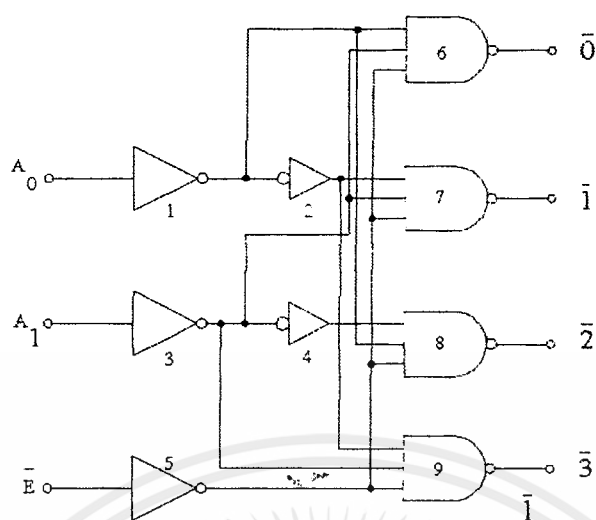


รูปที่ 2.9 แสดงวงจรไดโอดเมตริกซ์ที่ต่อกันเป็นวงจรเข้ารหัส

จากวงจรที่ 2.9 ถ้าต่อไดโอดดังแสดงดังในรูปจะเห็นว่าที่อินพุตของอินเวอร์เตอร์ที่ให้เอาต์พุตเป็น กิยัสโตรบจะมีไดโอดต่อกับสวิตช์ทั้งหมด 10 ตัว ซึ่งทำหน้าที่เหมือนนับเกตแมนด์ 10 อินพุตในรูปที่ 2.7 ส่วนไดโอดตัวอื่นๆ จะต่อกับสวิตช์เพื่อให้ได้รหัส BCD ที่เอาต์พุต A, B, C และ D ตามตารางที่ 2.1 ขณะที่กดสวิตช์อันใดอันหนึ่ง เช่น กดสวิตช์ 1 จะมีไดโอด 2 ตัวนำกระแส คือไดโอดที่ต่อมาจาก R_1 และ R_5 กับสวิตช์ 1 ขณะนี้จะทำให้อินพุตของอินเวอร์เตอร์ เกตตัวที่ 1 และ 5 เป็นลอจิก “ต่ำ” และได้เอาต์พุต KS และ A เป็นลอจิก “สูง” หรือถ้ากดสวิตช์อื่น การทำงานของวงจรจะเป็นไปตามตารางที่ 2.1

2.5.2 วงจรถอดรหัส

วงจรถอดรหัสหรืออาจจะเรียกอย่างหนึ่งว่า “วงจรดีโคเดอร์” โดยปกติ จะให้สัญญาณเอาต์พุตมีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่น 1วงจรแปลงรหัส BCD เป็นรหัสเกิน 3 เอาต์พุตที่ได้ก็จะ เป็นไปตามรหัสเกิน 3 หรือถ้าหากต้องการแสดงผลเอาต์พุตออกมาเป็นตัวเลข ก็จะต้องมีวงจรถอดรหัสเปลี่ยนรหัส BCD หรือรหัสอย่างอื่น เพื่อที่จะไปขับหลอดหรือ LED 7 ส่วน เอาต์พุตของวงจรจะถูกออกแบบให้เลือกได้ว่าต้องการให้ส่วนใดของ LED 7 ส่วน ติดสว่าง หรือดับเหล่านี้เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึงวงจรพื้นฐาน เข้า 2 ออก 4



รูปที่ 2.10 แสดงวงจรถอดรหัส 2 ออก 4

ลำดับที่	อินพุต			เกทภายใน									เอาต์พุต			
	E	A ₁	A ₀	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3
1	1	x	x						1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1
3	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1
4	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
5	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0

ตารางที่ 2.2 ตารางความจริงของวงจรถอดรหัส 2 ออก 4

จากวงจรมีอินพุตที่ป้อนสัญญาณโดยตรง 2 อินพุต คือ A_0 และ A_1 และยังมีอินพุตควบคุมอีก 1 อินพุต คือ E ซึ่งอินพุตนี้จะควบคุมให้วงจรทำงาน หรือไม่ทำงานก็ได้ โดย A_0 และ A_1 เป็นอินพุตที่รับสัญญาณมาจากวงจรอื่นๆ ที่ต้องการ อินพุต A_0 และ A_1 นี้จะอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่ง คือ 00 01 10 หรือ 11 และเอาต์พุตจะเปลี่ยนรหัสนี้ออกมาเป็น 0, 1, 2 หรือ 3 ตามสัญญาณอินพุต ถ้าพิจารณาจะเห็นว่า วงจรนี้จะต้องประกอบด้วยส่วนใหญ่น้อย 4 ส่วน คือ

1. วงจรระบุตำแหน่ง
2. วงจรควบคุม
3. วงจรลอจิก

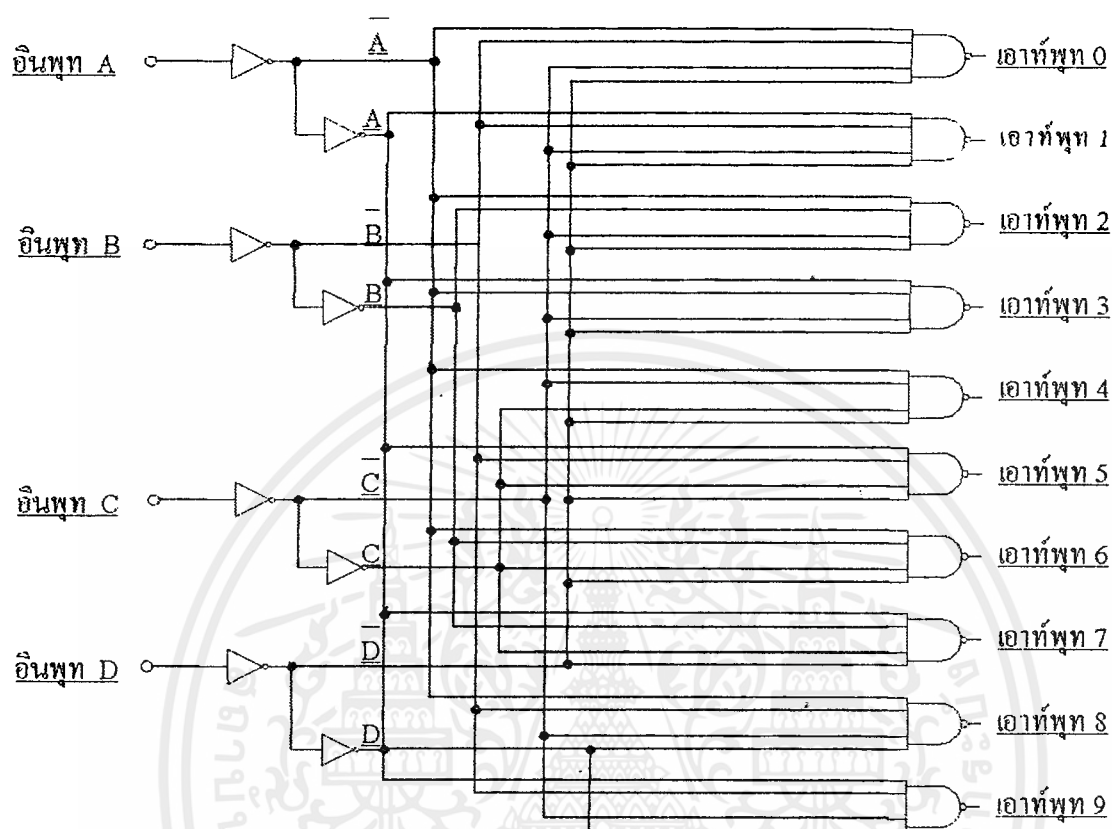
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. วงจรภาคเอาต์พุต

จากวงจรนี้เราจะเห็นว่า เกท 1 ถึง 4 ในรูปที่ 2.10 ก็คือวงจรระบุตำแหน่ง เกท 5 ก็คือวงจรควบคุม ส่วนเกท 6-9 ก็คือวงจรลอจิก และในที่นี้ยังเป็นภาคเอาต์พุตของวงจรอีกด้วย ในภาคอินพุต A_0 จะป้อนสัญญาณเข้าเกท 1 และได้ A_0 ป้อนเข้าเกท 2, 6 และ 8 ขณะเดียวกัน A_0 จะถูกต่อผ่านเกท 2 เพื่อให้ได้ A_0 อย่างเดิมไปยังเกท 7 และ 9 ส่วนวงจรควบคุมในที่นี้มีเพียงเกท 5 ตัวเดียว ซึ่งถ้า E เท่ากับ “1” เอาต์พุตเกท 5 จะเป็น “0” แล้วทำให้เอาต์พุตของเกท 6-9 เป็น “1” และขณะนี้เอาต์พุตจะไม่แปรตามสัญญาณอินพุต A_0 และ A_1 ดังนั้นถ้าต้องการให้วงจรทำงานตามปกติ (ในขณะใช้งาน) จะต้องให้อินพุต E เป็น “0” ได้เอาต์พุตของเกท 5 เป็นลอจิก “1” เกท 6-9 จะแปรตามอินพุต A_0 และ A_1 ซึ่งเป็นไปดังตารางที่ 2.2 การทำงานลำดับที่ 2 นั้น ขณะ $A_0 = A_1 = 0$ และ $E = 0$ ทำให้เกท 6 ได้รับลอจิก “1” ทุกอินพุต เอาต์พุต 0 จะเป็น “0” ส่วนเกท 8 มีอินพุตขาบนเป็น “0” เกท 7-9 มีถึง 2 อินพุตเป็น “0” ทำให้เอาต์พุตของเกท 7-9 ยังคงเป็น “1” ลำดับที่ 4 และ 5 ก็ทำงานคล้ายๆ กัน จากการทำงานที่กล่าวมาแล้ว สามารถเขียนเป็นตารางความจริงอย่างย่อได้ดังตารางที่ 2.3

อินพุต			เอาต์พุต
E	A_1	A_0	
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	2
0	1	1	3

ตารางที่ 2.3 ตารางความจริงอย่างย่อของวงจรออกรหัส 2 ออก 4



รูปที่ 2.11 แสดงวงจรถอดรหัส BCD เป็นเลขฐานสิบ

2.6 วงจรโมโนสเตเบิลมิัลติไวเบรเตอร์

วงจรโมโนสเตเบิลมิัลติไวเบรเตอร์ หรือบางครั้งอาจเรียกว่า วงจร “วันช็อต” เป็นวงจรที่สามารถนำไปใช้งานได้มาก เช่น ใช้เป็นวงจรช่วยกำจัดสัญญาณรบกวนในระบบสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างความต้องการ หรือเป็นวงจรตั้งเวลาต่างๆ และอื่นๆ อีกมาก

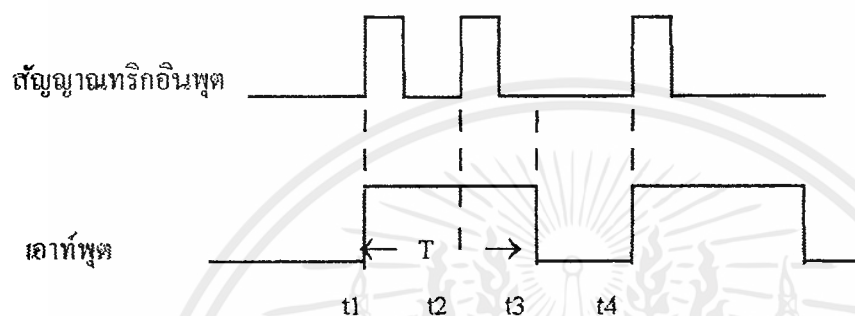
ลักษณะการทำงานของวงจรนั้น จะมีสถานะของเอาต์พุตเดิวนั่นที่เสถียรอยู่ได้ ซึ่งอาจจะมีสถานะลอจิกเป็น “สูง” หรือ “ต่ำ” และแล้วแต่การออกแบบวงจร การทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลนั้น โดยปกติแล้วเอาต์พุตจะอยู่ที่สถานะเสถียรนั่นเอง แต่เมื่อมีสัญญาณพัลส์เข้ามากระตุ้นทางอินพุต จะทำให้เอาต์พุตมีการเปลี่ยนแปลงสถานะเป็นตรงข้าม ซึ่งจะกวาดสถานะนั้นอยู่ในช่วงเวลาหนึ่งที่สามารถกำหนดได้จากการออกแบบวงจร แล้วจึงเปลี่ยนกลับมาสถานะเดิมที่เสถียรอีกครั้งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

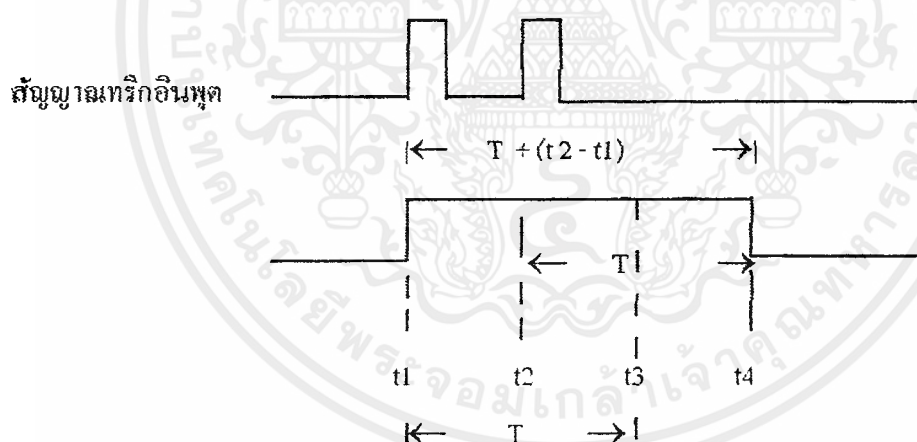
สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบใหญ่ๆ คือ

1. แบบรับการกระตุ้นซ้ำ
2. แบบไม่รับการกระตุ้นซ้ำ

ซึ่งทั้งสองแบบมีหลักการการทำงานคล้ายกัน แต่ต่างกันที่การรับการกระตุ้นของอินพุตซ้ำหรือไม่



รูปที่ 2.12 จังหวะการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิล แบบไม่กระตุ้นซ้ำ



รูปที่ 2.13 จังหวะการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิล แบบรับการกระตุ้นซ้ำ

ในรูปที่ 2.12 และ 2.13 แสดงถึงจังหวะการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลทั้งสองแบบ ซึ่งจะทำให้เห็นข้อแตกต่างระหว่างกันได้ชัดเจน โดยในรูปที่ 2.12 เป็นแบบไม่รับการกระตุ้นสถานะเดิมของเอาต์พุตจะเป็นลอจิก “ต่ำ” เมื่อมีพัลส์มากระตุ้นทางอินพุตที่เวลา t_1 เอาต์พุตจะเปลี่ยนสถานะจากเดิมในทันทีเป็นลอจิก “สูง” และจะคงสถานะเช่นนั้นอยู่ในช่วงเวลา T ที่สามารถกำหนดได้จากวงจรเมื่อพ้นช่วงเวลา T ไปแล้ว เอาต์พุตก็จะกลับมาสู่สถานะเดิมและจะคงอยู่เช่นนั้นต่อไปจนกระทั่งมีพัลส์มากระตุ้นทางอินพุตต่อไป (เมื่อเวลา t_4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติที่สำคัญของโมโนสเตเบิลแบบไม่รับการกระตุ้นซ้ำนี้ ถ้าจะดูจากรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่าที่จังหวะเวลา t_2 มีพัลส์มากระตุ้นทางอินพุตครั้งที่สองแต่ในขณะนั้นเอาต์พุตยังอยู่ในสถานะลอจิก “สูง” อยู่ เนื่องจากยังไม่ครบช่วงเวลา T ผลของการกระตุ้นในครั้งที่สองนี้ จะไม่มีผลอะไรกับวงจรทั้งสิ้น แต่เมื่อพ้นช่วงเวลา T ไปแล้ว หากมีพัลส์เข้ามาอีกก็จะรับการกระตุ้นนั้น เช่น ที่เวลา t_4 นั้นก็หมายความว่าการทำงานของโมโนสเตเบิลแบบนี้จะไม่ยอมรับการกระตุ้นซ้ำ ถ้าหากการทำงานของวงจรเนื่องจากการกระตุ้นครั้งแรกยังไม่สิ้นสุดลง

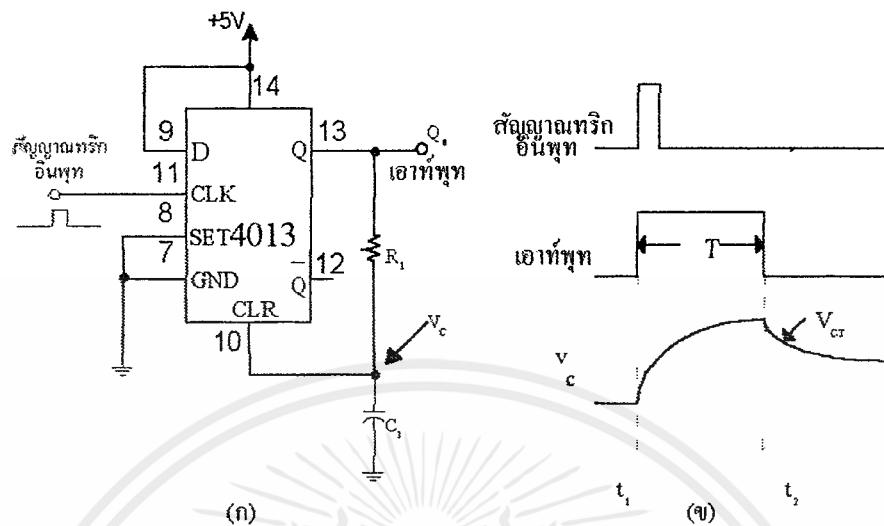
การใช้งานอย่างหนึ่งของโมโนสเตเบิลแบบนี้ก็คือ การแก้ปัญหาของการเกิด “สถานะกระโดด” (bounce) ของสวิตช์ คือสวิตช์เชิงกลต่างๆ ไป (สวิตช์กด หรือโยก) จะมีปัญหาของการสัมผัสของหน้าสัมผัสของสวิตช์ ซึ่งการกด หรือ โยกสวิตช์ครั้งหนึ่ง ก็จะเกิดการกระโดดของหน้าสัมผัสครั้ง หรือหลายๆ ครั้ง เกิดขึ้นเสมอ สถานะนี้จะคงอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 2-3 มิลลิวินาที ซึ่งจะเกิดปัญหากับวงจรดิจิทัล มีการทำงานผิดพลาดได้

วิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยการใช้ วงจรโมโนสเตเบิลแบบไม่รับการกระตุ้นซ้ำที่ออกแบบให้ช่วงเวลา T มีค่ามากกว่า 5 มิลลิวินาที มาต่ออนุกรมเข้ากับสวิตช์ ดังนั้นเอาต์พุตของโมโนสเตเบิลจะเป็นลอจิก “สูง” เมื่อเกิดการกระโดดของสวิตช์ครั้งแรก และจะคงสร้างสถานะอยู่เช่นนั้นจนครบเวลา T ซึ่งภาวะการกระโดดของสวิตช์ได้สิ้นสุดลงแล้ว จึงทำให้ได้พัลส์เพียงลูกเดียวตามต้องการ ซึ่งจากวิธีการนี้สามารถดัดแปลงนำไปใช้ในการกำจัดสัญญาณรบกวนในระบบสัญญาณดิจิทัลได้

จังหวะการทำงานของวงจรโมโนสเตเบิลแบบรับการกระตุ้นซ้ำ ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.13 ก็เช่นเดียวกับแบบแรก ช่วงเวลาที่โมโนสเตเบิลคงสถานะที่ไม่เสถียรอยู่นั้นเป็นช่วงเวลา T ซึ่งได้จากการกระตุ้นจากพัลส์ที่เวลา t_2 โดยปกติแล้วเอาต์พุตนี้จะเปลี่ยนสถานะกลับมาเช่นเดิมเมื่อพ้นเวลา T นี้ไปแล้ว คือเวลา t_3 แต่เมื่อเวลา t_2 ก็มีพัลส์ลูกที่ 2 เข้ามากระตุ้นอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะเป็นการเริ่มต้นการทำงานครั้งใหม่ จึงเริ่มนับช่วงเวลา T ใหม่อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นช่วงเวลาทั้งหมดที่โมโนสเตเบิลค้างสถานะอยู่อย่างนั้นจะเป็นช่วงเวลา $T + (t_2 - t_1)$

การประยุกต์ใช้งานอย่างหนึ่งของวงจรแบบ นี้ ได้แก่ระบบเตือนภัยของการทำงานผิดปกติของระบบที่ทำงานเป็นช่วงเวลา ที่ต่อเนื่องกัน

2.6.1 โมโนสเตเบิลจาก ไอซี CMOS และ TTL



รูปที่ 2.14 วงจร โมโนสเตเบิลแบบไม่รับการกระตุ้นซ้ำ โดยใช้ D ฟลิปฟลอป

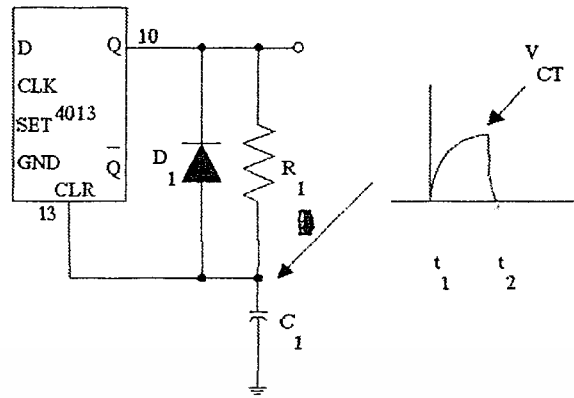
รูปที่ 2.14 แสดงการนำเอา D ฟลิปฟลอปมาสร้างเป็นวงจรสเตเบิลโดยใช้ CMOS เบอร์ 4013 ขา D ของฟลิปฟลอปจะต่ออยู่กับ +V ทำให้ที่ขานี้เป็นลอจิก “สูง” และต่อขา SET ลงกราวด์ ส่วนขา CLR ต่อกับ V_c โดยมี R_1 ต่ออยู่กับขา Q เอาท์พุท ดังนั้นในการเริ่มทำงานของวงจรนี้ ลอจิกที่ขา CLR จะเป็น “0” เนื่องจาก V_c (แรงดันคร่อม C_1) จะมีค่าเป็น 0 โวลต์ เมื่อมีสัญญาณเทริกเข้ามาทางขา CLK ซึ่งจะต้องเป็นพัลส์บวก จะทำให้ Q เปลี่ยนสถานะเป็นลอจิก “สูง” ในทันที และจะคงค้างอยู่เช่นนั้นแม้ว่าสัญญาณเทริกจะหมดไปแล้ว เมื่อ Q เป็นลอจิก “สูง” จะทำให้เกิดการอัดประจุเข้าสู่ C_1 ด้วยกระแสที่ผ่าน R_1 ดังนั้น V_c จะมีค่าสูงขึ้น แต่เมื่อ

V_c มีค่าถึงระดับลอจิก “สูง” ก็จะเป็นการ clear ฟลิปฟลอป เนื่องจากขา CLR เป็นลอจิก “สูง” ทำให้ Q เปลี่ยนสถานะลงมาเป็นลอจิก “ต่ำ” ดังเดิม

จะเห็นได้ว่า Q จะคงเป็นลอจิก “สูง” ในช่วงเวลาที่ถูกกำหนดด้วยค่าของ R_1 และ C_1 แต่เนื่องจากเมื่อ Q เป็นลอจิก “ต่ำ” แล้วนั้น C_1 จะคายประจุออกผ่าน R_1 เพื่อกลับสู่สถานะปกติ ช่วงเวลาในการคายประจุนี้เท่ากับช่วงเวลาในการอัดประจุเช่นเดียวกัน ซึ่งหากมีสัญญาณเทริกเข้าในช่วงที่ยังคายประจุไม่หมด ก็จะทำให้การทำงานของวงจรผิดไปคือ ช่วงเวลาที่คงสถานะเอาท์พุทเป็นลอจิก “สูง” นั้น จะสั้นกว่าเดิม

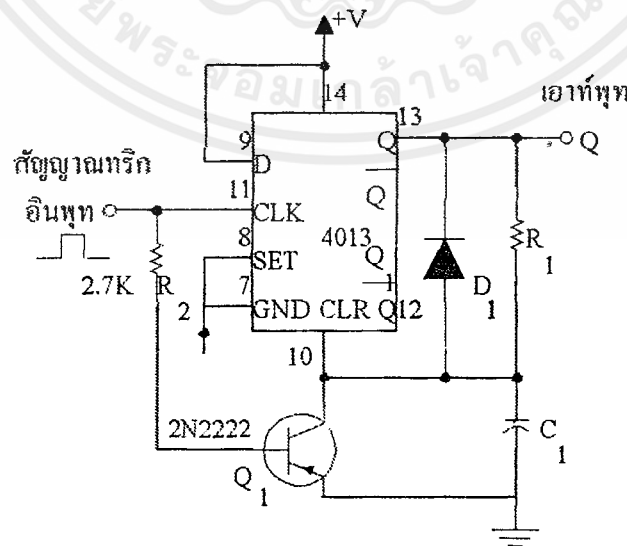
การลดช่วงเวลาของการคายประจุนี้ สามารถทำได้โดยการต่อไดโอด D_1 เข้าไปในวงจร โดยกร่อม R_1 ไว้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.15 ดังนั้นการคายประจุของ C_1 จะผ่าน D_1 แทน เนื่องจากมีความต้านทานน้อยกว่า R_1 มาก เพราะเป็นการต่อแบบไปแอสดตรงให้แก่ไดโอด ในขณะที่ Q เป็นลอจิก “ต่ำ” และ V_c มีค่ามากกว่า 0.6 โวลต์ จึงส่งผลให้ช่วงของการคายประจุนี้ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

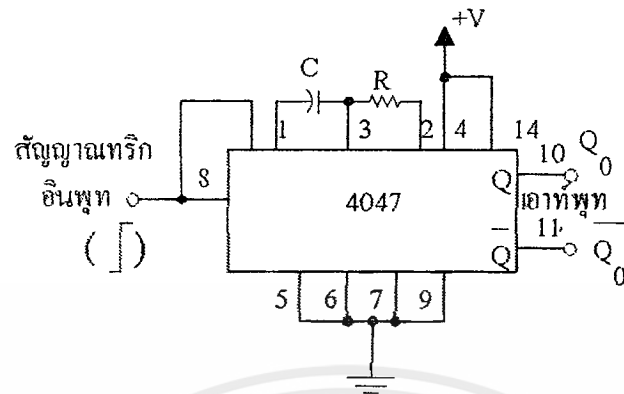


รูปที่ 2.15 การต่อโคโคโนเพื่อลดช่วงเวลาในการคายประจุ

สำหรับวงจรโมโนสเตเบิลแบบรับการกระตุ้นซ้ำ สามารถดัดแปลงจากวงจรเดิมนี้ได้ ดังรูปที่ 6.5 โดยมีทรานซิสเตอร์เพิ่มอีกหนึ่งตัว โดยต่อกรอม C_1 ทำหน้าที่คล้ายกับสวิทช์ในการคายประจุของ C_1 เมื่อมีสัญญาณตรีกบวกเข้ามาจะทำให้เอาต์พุต Q เป็นลอจิก “สูง” ในขณะเดียวกันนั้น (ช่วงความกว้างของสัญญาณตรีก) ทรานซิสเตอร์ Q_1 นำกระแส ซึ่งเสมือนกับว่าขาทั้งสองข้างของ C_1 ถูกต่อเข้าด้วยกันซึ่งเป็นสภาวะการคายประจุ ดังนั้นในช่วงนี้จะไม่มีการอัดประจุเข้าสู่ C_1 แต่เมื่อสัญญาณตรีกผ่านไปแล้ว Q_1 จะหยุดนำกระแส จึงจะเริ่มการอัดประจุใหม่ การทำงานในช่วงนี้จะเหมือนกับวงจรเดิม ดังนั้นเมื่อครบช่วงเวลา T เอาต์พุต Q ก็จะเปลี่ยนกลับมาเป็นลอจิก “ต่ำ” ดังเดิม C_1 ก็จะคายประจุผ่าน D_1 แต่ถ้ายังไม่ครบช่วงเวลา T ดังกล่าว เกิดมีสัญญาณตรีกเข้ามาอีกครั้งหนึ่ง จะทำให้ Q_1 นำกระแส ซึ่งทำให้ C_1 คายประจุผ่าน Q_1 และเมื่อผ่านพัลส์เข้าไป ก็จะเริ่มการอัดประจุใหม่อีกครั้งหนึ่ง ทำให้ช่วงเวลาของการค้างสภาวะลอจิก “สูง” นั้นยาวกว่าช่วงเวลา T การทำงานจึงเป็นลักษณะของโมโนสเตเบิลแบบรับการกระตุ้นซ้ำ



รูปที่ 2.16 การดัดแปลงวงจรให้ทำงานแบบรับการกระตุ้นซ้ำ

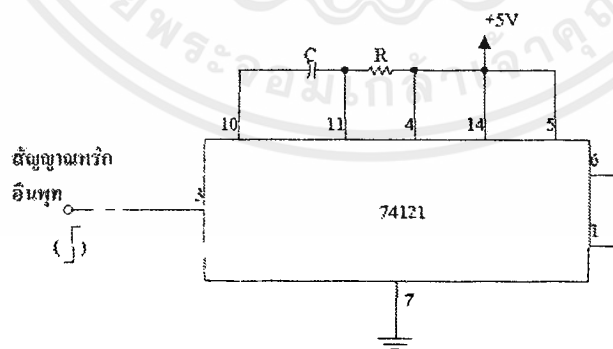


รูปที่ 2.17 การใช้ไอซีเบอร์ 4047 เป็นโมโนสเตเบิลแบบรับการกระตุ้นซ้ำ

นอกจากนี้ยังมี ไอซีที่ถูกออกแบบมาให้ทำหน้าที่เป็นโมโนสเตเบิล โดยเฉพาะ ซึ่งมีทั้งแบบ CMOS และ TTL ในรูปที่ 2.17 แสดงถึงไอซีแบบ CMOS เบอร์ 4047 ที่สามารถรับอินพุตได้ทั้งแบบขอบขาขึ้นและขาลง ทั้งยังเป็นได้ทั้งแบบรับการกระตุ้นซ้ำ และแบบไม่รับการกระตุ้นซ้ำ ในที่นี้จะแสดงถึงเฉพาะแบบรับการกระตุ้นซ้ำ และรับอินพุตแบบขอบขาขึ้นเท่านั้น โดยค่าของช่วงเวลา T สามารถหาได้จากสมการ

$$T = 2.48 * R_1 * C_1$$

ส่วนในรูปที่ 2.18 แสดงการใช้ไอซี TTL เบอร์ 74121 ให้เป็นแบบไม่รับการกระตุ้นซ้ำ และรับอินพุตแบบขอบขาลง



รูปที่ 2.18 การใช้ ไอซี TTL เบอร์ 74121 เป็นโมโนสเตเบิลแบบไม่รับการกระตุ้นซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 JK ฟลิปฟลอป

ฟลิปฟลอปมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า วงจรไบสเตเบิลมีลติไวเบรเตอร์ มีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือ เมื่อวงจรได้รับสัญญาณอินพุตที่เหมาะสม จะทำให้เอาต์พุตของวงจรคงสถานะนั้นๆ ตลอดไป ถึงแม้ว่าสัญญาณอินพุตจะคงอยู่หรือไม่ก็ตาม และถ้าต้องการให้เอาต์พุตเปลี่ยนสถานะจะต้องป้อนสัญญาณอีกแบบหนึ่งที่เหมาะสมทางด้านอินพุตอีกครั้งหนึ่ง โดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 2 แบบใหญ่ๆ ดังนี้

1. แบบป้อนสัญญาณอินพุตโดยตรง ซึ่งบางครั้งเรียกว่าวงจร “แลตช์” ซึ่งจะมีอินพุตเพียง 2 อินพุตเท่านั้น

2. แบบป้อนสัญญาณอินพุตควบคู่กับสัญญาณควบคุมฟลิปฟลอป แบบนี้อาจจะมีอินพุตมากกว่า 2 อินพุตก็ได้ และสามารถป้อนสัญญาณอินพุตกำหนดสถานะของเอาต์พุตได้โดยตรง โดยใช้อินพุตรีเซต, เซต หรือพรีเซต โดยไม่จำเป็นต้องป้อนสัญญาณที่อินพุตเหล่านี้พร้อมกับสัญญาณควบคุม ซึ่งหากแบ่งตามประเภทสัญญาณที่ใช้ทริกอินพุตให้ฟลิปฟลอปทำงานก็สามารถแบ่งได้ดังนี้คือ

2.1 ใช้ขอบขาขึ้นของสัญญาณควบคุม

2.2 ใช้ขอบขาลงของสัญญาณควบคุม

2.3 ใช้พัลส์บวกของสัญญาณควบคุม

2.4 ใช้พัลส์ลบของสัญญาณควบคุม

แบบที่ 2.3 และ 2.4 เอาต์พุตของฟลิปฟลอปจะเปลี่ยนสถานะได้ต้องให้สัญญาณควบคุมมีการเปลี่ยนแปลงไปทั้งพัลส์เสียก่อน เช่น ฟลิปฟลอปแบบมาสเตอร์-สเลฟ เป็นต้น

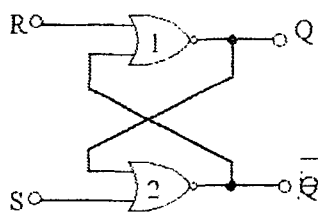
2.7.1 ฟลิปฟลอปแบบป้อนสัญญาณอินพุตโดยตรง

ฟลิปฟลอปแบบป้อนสัญญาณอินพุตโดยตรง มีวงจรพื้นฐานที่ประกอบด้วยเกตแอนด์ หรือเกทนอร์ 2 อินพุต

ลำดับที่	อินพุต		เอาต์พุต	
	S	R	Q	$\overline{Q}$
1	0	0	X	X
2	0	1	0	1
3	1	0	1	0
4	1	1	0	0

ตารางที่ 2.4 ตารางความจริงของ RS ฟลิปฟลอปใช้เกทนอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



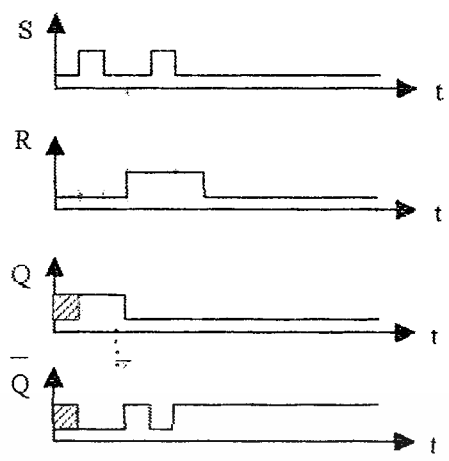
รูปที่ 2.19 แสดงวงจร RS ฟลิปฟล็อปแบบใช้เกทนอร์

2.7.2 ฟลิปฟล็อปแบบป้อนสัญญาณอินพุตควบคู่กับสัญญาณควบคุม

จากวงจรที่กล่าวมาแล้วนั้นเป็นฟลิปฟล็อปที่ป้อนสัญญาณโดยตรง ไม่ต้องมีสัญญาณควบคุมการเปลี่ยนสถานะของเอาต์พุตแต่อย่างใด ต่อไปนี้จะกล่าวถึงฟลิปฟล็อปแบบมีสัญญาณควบคุมการเปลี่ยนสถานะของเอาต์พุต ซึ่งปกติอินพุตที่ขั้วนี้เรียกว่า ขั้วป้อนสัญญาณเคล็อก ซึ่งมีวงจรพื้นฐาน ทั้งที่เป็นแบบ 낸ด์ และนอร์เกท ซึ่งจะกล่าวถึงเฉพาะแบบนอร์เกท โดยประกอบด้วยเกทนอร์ 2 ตัว ทำหน้าที่ควบคุมสัญญาณเอาต์พุตให้คงสถานะ ขณะที่ยังไม่ได้ป้อนสัญญาณอินพุต เกทเนนด์ 2 ตัว ทำหน้าที่เป็นอินพุตของวงจร โดยการต่อขั้วข้างหนึ่งของอินพุตร่วมกันเป็นขั้วป้อนสัญญาณเคล็อก ดังรูปที่ 2.20

ลำดับที่	อินพุต					เอาต์พุต	
	CK	S	R	S'	R'	Q	$\overline{Q}$
1	0	0	0	0	0	Q	$\overline{Q}$
2	0	0	1	0	0	Q	$\overline{Q}$
3	0	1	0	0	0	Q	$\overline{Q}$
4	0	1	1	0	0	Q	$\overline{Q}$
5	1	0	0	0	0	Q	Q
6	1	0	1	0	1	0	1
7	1	1	0	1	0	1	0
8	1	1	1	1	1	0	0

ตารางที่ 2.5 แสดงตารางความจริงของคล็อกเกทนอร์ RS ฟลิปฟล็อป



รูปที่ 2.20 แสดงวงจรล็อกเกททอร์ RS ฟลิปฟลอป

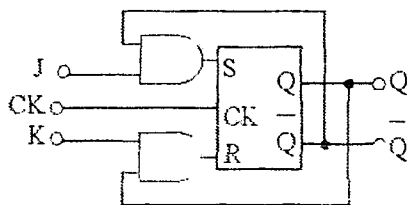
2.7.3 JK ฟลิปฟลอป

จากวงจรฟลิปฟลอปที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าสถานะที่อินพุต $S = R = 1$ นั้น เป็นสถานะที่ไม่สามารถนำมาใช้งานได้เลย แต่ JK ฟลิปฟลอป เป็นฟลิปฟลอปที่สามารถนำเอาสถานะนี้มาใช้งานได้ โดยเอาท์พุทจะแปรไปตามสัญญาณคล็อกหรือเอาท์พุทจะทำหน้าที่เหมือน สวิตช์ที่อกเกิล หมายถึง เอาท์พุทเปลี่ยนแปลงทุกครั้งที่สัญญาณคล็อกเปลี่ยนแปลงไปครบ 1 คาบเวลา นั้นหมายถึง ขณะ $t = t_n$, $Q_n = 0$, $Q_n = 1$ เมื่อคล็อกเปลี่ยนไปครบ 1 พัลส์ (t_{n+1}) Q_n จะเป็น 1 , Q_n จะเป็น 0 สลับกันอย่างนี้ตลอดไป

JK ฟลิปฟลอปได้พัฒนามาจาก RS ฟลิปฟลอป โดยการเพิ่มเกตเอนด์เข้าไปทางด้านอินพุทของ RS ฟลิปฟลอป และต่อเอาท์พุทป้อนกลับมายังอินพุทดังแสดงในรูปที่ 2.21

ลำดับที่	t_n		t_{n+1}	
	J	K	Q	$\overline{Q}$
1	0	0	Q_n	$\overline{Q_n}$
2	0	1	0	1
3	1	0	1	0
4	1	1	Q_n	$\overline{Q_n}$

ตารางที่ 2.6 ตารางความจริงของ JK ฟลิปฟลอป



รูปที่ 2.21 แสดงวงจร JK ฟลิปฟล็อป

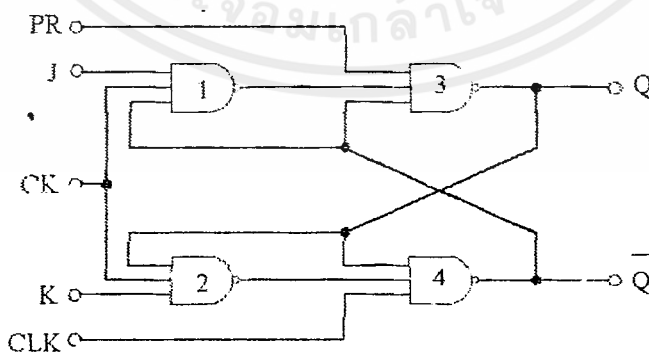
ลำดับที่ 1 เมื่อ $J=0, K=0$ และมีพัลส์มากระตุ้นที่ขา CK เอาท์พุทจะมีสถานะคงเดิม อาจจะเป็น "1" หรือ "0" ก็ได้ แต่จะคงสถานะเดิม แม้จะมีพัลส์มากระตุ้นที่อินพุท CK 1 ครั้ง

ลำดับที่ 2 ถ้า $J=0, K=1$ และมีพัลส์มากระตุ้นที่อินพุท CK เอาท์พุทจะเปลี่ยนเป็นดังนี้ คือ $Q=0, \bar{Q}=1$

ลำดับที่ 3 ถ้า $J=1, K=0$ และมีพัลส์มากระตุ้นที่อินพุท CK เอาท์พุทจะเปลี่ยนเป็นดังนี้ คือ $Q=1, \bar{Q}=0$

ลำดับที่ 4 ถ้า $J=K=1$ และมีพัลส์มากระตุ้นที่อินพุท CK เอาท์พุทจะเปลี่ยนดังนี้ คือ $Q=\bar{Q}, \bar{Q}=Q$

ขณะเดียวกัน บางครั้งอาจต้องการกำหนดสถานะของเอาท์พุทให้เป็น "0" หรือ "1" ตามที่ต้องการ ก่อนป้อนสัญญาณคล็อก หมายถึงสถานะเริ่มแรกของการทำงาน โดยให้ Q เป็น "1" และ $\bar{Q}$ เป็น "0" หรือในทางตรงกันข้ามทำได้โดยการเพิ่มอินพุทเคลียร์ และพรีเซตเข้าไปซึ่งอินพุททั้งสองนี้ในวงจรพื้นฐานสามารถต่อได้ดังแสดงในรูปที่ 2.22



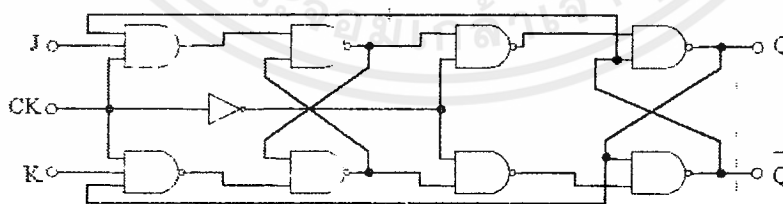
รูปที่ 2.22 แสดงวงจรฟลิปฟล็อปที่มีพรีเซต และเคลียร์

ลำดับที่	อินพุต			เอาต์พุต	
	CK	CLR	PR	Q	$\overline{Q}$
1	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	1
3	0	1	0	1	0
4	0	1	1	Q_n	$\overline{Q_n}$

ตารางที่ 2.7 แสดงตารางความจริงของฟลิปฟล็อปที่มีพรีเซต และเคลียร์

2.7.4 มาตรฐาน-สเตฟ ฟลิปฟล็อป

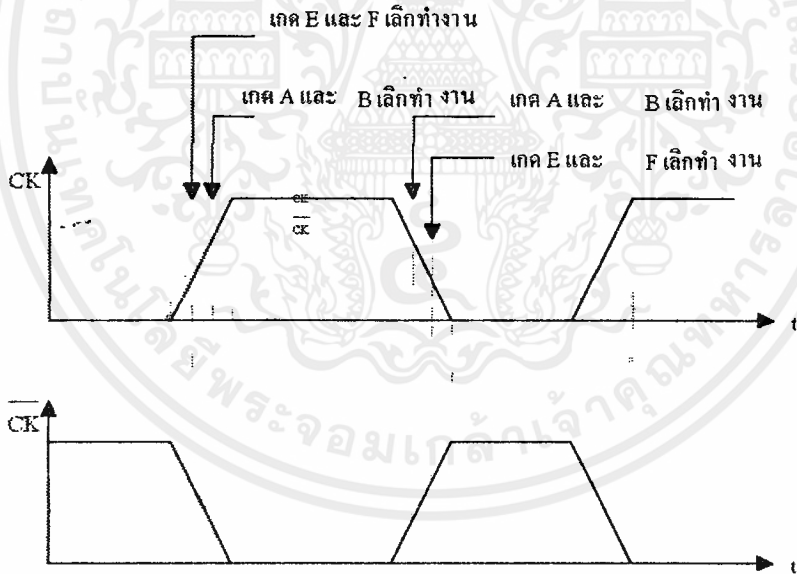
ในบางวงจรต้องการต่อฟลิปฟล็อปหลายๆ ชุดเข้าด้วยกัน เมื่อป้อนสัญญาณควบคุมคล็อกพร้อมกัน แต่เอาต์พุตของฟลิปฟล็อปเหล่านั้นอาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไม่พร้อมกัน สาเหตุเพราะฟลิปฟล็อปแต่ละชุดมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งวงจรภายในอาจจะทำให้ฟลิปฟล็อปที่ไม่ได้ป้อนสัญญาณอินพุตแต่เกิดการเปลี่ยนแปลงของเอาต์พุต ซึ่งปัญหาดังกล่าวนี้แก้ไขได้โดยการใช้วงจรฟลิปฟล็อปแบบมาตรฐาน-สเตฟ ซึ่งวงจรเบื้องต้นนี้ทำได้โดยการนำฟลิปฟล็อปแบบมีสัญญาณคล็อกควบคุม 2 ชุดต่อเข้าด้วยกัน โดยให้วงจรควบคุมสัญญาณคล็อกแต่ละชุดมีสถานะเป็นตรงกันข้ามกัน โดยวิธีต่อผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งวงจรฟลิปฟล็อปแบบนี้เรียกว่าวงจรฟลิป ฟล็อปแบบมาตรฐาน-สเตฟ และวงจรแบบนี้เอาต์พุตจะเปลี่ยนแปลงสถานะได้ต้องได้รับสัญญาณควบคุมผ่านทั้งพัลส์เดียวกัน หรืออาจกล่าวได้ว่าวงจรเปลี่ยนสถานะของเอาต์พุตที่ของขอบข้างของพัลส์ ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 แสดงวงจรมาตรฐาน-สเตฟฟลิปฟล็อปเบื้องต้น

ลำดับที่	t_n		t_{n+1}	
	J	K	Q	$\overline{Q}$
1	0	0	Q_n	$\overline{Q_n}$
2	0	1	0	1
3	1	0	1	0
4	1	1	$\overline{Q_n}$	Q_n

ตารางที่ 2.8 ตารางความจริงของวงจรมาสเตอร์-สเลฟฟลิปฟล็อป



รูปที่ 2.24 แสดงสัญญาณที่อินพุต และเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์

คเตอร์ (V_{CE}) จะไม่เป็นศูนย์ แต่จะมีค่าราว 0.3 โวลต์ แรงดันนี้เรียกว่า “แรงดันตกคร่อม คอลเลกเตอร์และอิมิตเตอร์ ในภาวะอิ่มตัว” และเขียนแทนได้ด้วย $V_{CE SAT}$ สำหรับซิลิกอนทรานซิสเตอร์ค่า $V_{CE SAT}$ จะมีค่าราว 0.3 โวลต์ ซึ่งค่าที่แท้จริงของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวนั้น จะขึ้นอยู่กับ กระแส คอลเลกเตอร์ และอาจมีค่าอยู่ในช่วง 0.1 - 0.5 โวลต์ และในเซอรมันเนียมปกคิมิค่าราว 0.1 โวลต์ที่จุด B บนเส้นโหลดของรูปที่ 2.25 ก็เช่นเดียวกัน ถึงแม้ว่ากระแสเบสซึ่งเป็นกระแสอินพุตจะมีค่าเป็นศูนย์ก็ตาม แต่กระแสคอลเลกเตอร์หรือกระแสเอาต์พุตจะไม่เป็นศูนย์ กระแสคอลเลกเตอร์ดังกล่าวนี้เกิดขึ้นจากกระแสอิมิตวย้อนกลับของรอยต่อ คอลเลกเตอร์ ซึ่งเขียนแทนได้ด้วย I_{CBO}

กระแสคอลเลกเตอร์ ซึ่งไหลขณะที่อิมิตเตอร์ถูกเปิดวงจรออก และรอยต่อระหว่างคอลเลกเตอร์กับเบส ได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับนี้ เราเรียกว่า “กระแสย้อนกลับของรอยต่อคอลเลกเตอร์” เขียนแทนได้ด้วย I_{CO} หรือ I_{CBO} กระแสนี้จะประกอบด้วยกระแสน้อยสองส่วน คือ กระแสรั่วที่เกิดขึ้นบริเวณรอบ ๆ รอยต่อคอลเลกเตอร์ (ไม่ไหลผ่านรอยต่อ) และกระแสอิมิตว ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความร้อน สำหรับขนาดกระแสรั่วจะขึ้นอยู่กับแรงดันไบอัส ส่วนขนาดกระแสอิมิตวจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นส่วนใหญ่ ในทางปฏิบัติ ขนาดของกระแส I_{CO} จะเพิ่มขึ้นเป็น เท่าทุก ๆ 10 องศาเซลเซียส ที่เพิ่มขึ้น ในวงจรขณะที่ทรานซิสเตอร์ถูกต่อแบบ อิมิตเตอร์ร่วม และกระแสเบส มีค่า I_B กระแส คอลเลกเตอร์มีค่า I_C อัตราการขยายกระแสตรงของทรานซิสเตอร์ในภาวะนี้เขียนแทนด้วย h_{FE} โดยที่

$$h_{FE} = I_C / I_B$$

และในช่วงของการเปลี่ยนแปลงของกระแสเบส ΔI_B ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกระแสคอลเลกเตอร์ ΔI_C อัตราส่วนดังกล่าวนี้จะแสดงอัตราการขยายกระแสกลับของทรานซิสเตอร์ ซึ่งเขียนแทนได้ด้วย h_{fe} โดยที่

$$h_{fe} = \Delta I_C / \Delta I_B$$

ดังนั้น จะเห็นว่าค่าของ h_{FE} ที่ตำแหน่งของ I_C ค่าต่าง ๆ อาจมีค่าแตกต่างกันได้ ด้วยเหตุนี้การกำหนดค่า h_{FE} ของแต่ละวงจรจะต้องคำนึงถึงว่ากระแสคอลเลกเตอร์ในวงจรมีค่าเท่าใด

2.8.1 การเปิด-ปิดสวิตช์ทรานซิสเตอร์ในทางปฏิบัติ

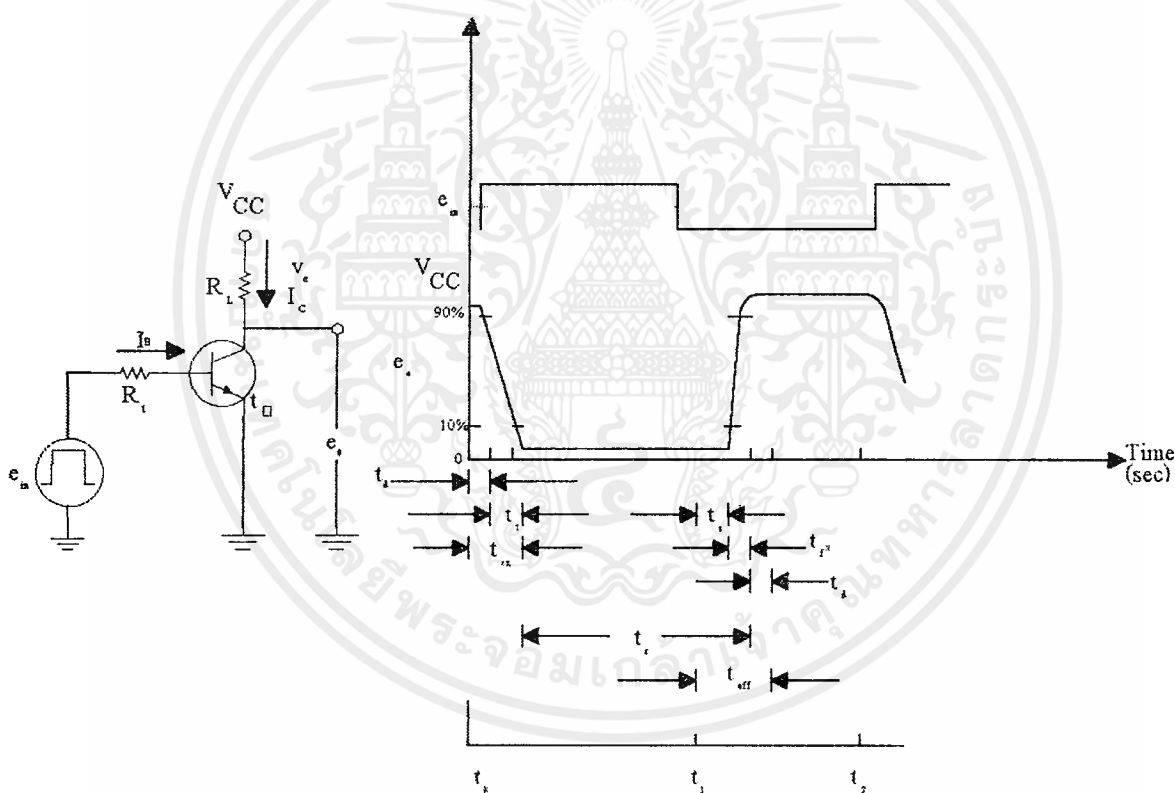
จากการพิจารณาวงจรสวิตช์ซึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.26 เมื่อพัลส์ทางอินพุตถูกป้อนเข้าไปในวงจร โดยทำให้รอยต่อระหว่าง อิมิตเตอร์และเบส ได้รับแรงดันไบอัสตรงก็ตาม แต่ทรานซิสเตอร์จะไม่สามารถทำงานได้อย่างทันทีทันใด แต่จะต้องใช้เวลาช่วงหนึ่ง ซึ่งเวลานี้เราเรียกว่า “ออนไทม์” (on time) เขียนแทนด้วย t_{ON} อีกนัยหนึ่งอาจนิยามได้ว่าช่วงเวลา ออนไทม์ หมายถึง เวลาที่ใช้เพื่อให้ค่าของแรงดันที่คอลเลกเตอร์ของทรานซิสเตอร์เปลี่ยนแปลงไป 90 เปอร์เซ็นต์ของแรงดัน V_{CC} เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเวลา t_{ON} นี้พิจารณาได้ว่าประกอบด้วยเวลาช้อยสองส่วน คือ ช่วงเวลาล่าช้า (delay time) ซึ่งเขียนแทนด้วย t_d และช่วงเวลาไต่ขึ้น (rise time) ซึ่งเขียนแทนด้วย t_r

ช่วงเวลาล่าช้า t_d ก็คือ เวลาที่ใช้สำหรับให้แรงดันที่เอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไป 10 เปอร์เซ็นต์ของแรงดัน V_{CC}

ช่วงเวลาไต่ขึ้น t_r ก็คือ ช่วงเวลาที่แรงดันอินพุตเปลี่ยนแปลงจาก 10 เปอร์เซ็นต์ ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ของแรงดัน V_{CC}

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.27 จะเห็นว่า ที่เวลา t_0 แรงดันอินพุตจะมีค่าเป็นลบ ซึ่งทำให้รอยต่อระหว่าง อิมิตเตอร์และเบส ได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับ ดังนั้น รอยต่อนี้จึงทำตัวคล้ายกับเป็นตัวต้านทานที่มีค่าสูง ต่อขนานอยู่กับตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่รอยต่อ (ดูรูปที่ 2.27ก) ดังนั้น ในขณะที่ตัวเก็บประจุที่รอยต่อจะทำการประจุผ่านตัวความต้านทาน R_i



รูปที่ 2.26 แสดงคุณสมบัติของวงจรสวิตช์ ซึ่งใช้ทรานซิสเตอร์ในทางปฏิบัติ

ที่เวลา t_0 แรงดันอินพุตจะมีค่าเป็นลบทำให้รอยต่อ อิมิตเตอร์และเบสได้รับแรงดันไบอัสตรง ดังแสดงในรูปที่ 2.27ข อย่างไรก็ตาม ก่อนที่รอยต่อนี้จะได้รับแรงดันไบอัสตรงอย่างเต็มที่ จะต้องกินเวลาช่วงหนึ่ง เรียกว่า ช่วงเวลาล่าช้า t_d นั้นเอง ในรูปที่ 2.27ก ซึ่งแสดงวงจรสวิตช์ที่เหมือนกับวงจรในรูปที่ 2.26 และวงจรเสมือนขณะที่เวลา t_0 จะเห็นว่าขณะนี้ทั้งรอยต่อของ อิมิตเตอร์กับเบส และรอยต่อของ คอลเลกเตอร์กับเบส เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบส จะได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับ ดังนั้น ตัวเก็บประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อ อิมิตเตอร์กับเบส จะทำการประจุเพื่อให้แรงดันตกคร่อมเป็น $-e_m$ โวลต์ และที่รอยต่อ คอลเลกเตอร์กับเบส ก็เช่นเดียวกันจะเกิดตัวเก็บประจุที่รอยต่อนี้ขึ้น และทำหน้าที่ประจุเพื่อให้มีแรงดันตกคร่อมเป็นผลรวมระหว่างค่า V_{cc} และ e_m เมื่อเวลาผ่านไปเป็น t_{r0} กระแสคอลเลกเตอร์จะยังคงไปมีจนกว่าที่รอยต่อ อิมิตเตอร์กับเบส จะได้รับแรงดันไบอัสตรงอย่างเต็มที่ (ต้องใช้เวลา t_d) และกระแสคอลเลกเตอร์จะไม่สามารถเพิ่มขึ้นจนถึงภาวะอิ่มตัวได้อย่างทันทีทันใด เนื่องจากตัวเก็บประจุของรอยต่อของ คอลเลกเตอร์กับเบส จะทำการคายประจุ โดยการแพร่ของพาหะผ่านส่วนของเบส ดังนั้น กระแส คอลเลกเตอร์จึงค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงภาวะอิ่มตัว (ใช้เวลา t_r)

จากรูปที่ 2.26 ขณะที่เวลา t_{r1} แรงดันอินพุตจะมีค่าเป็นลบและทำให้ที่รอยต่อ อิมิตเตอร์กับเบส ได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับอีกครั้งหนึ่ง แต่ค่าแรงดันที่เอาท์พุทจะไม่เปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด กล่าวคือ จะยังคงมีกระแสคอลเลกเตอร์ไหลอยู่ และทำให้แรงดันที่เอาท์พุทยังคงมีค่าเป็นศูนย์ หรือใกล้ศูนย์ ที่เป็นเช่นนี้อธิบายได้ว่าขณะที่เวลา t_{r1} ทรานซิสเตอร์ทำงานอยู่ในภาวะอิ่มตัว กระแสคอลเลกเตอร์ไหลเต็มที่ และกำหนดให้ค่าความต้านทาน R_L ที่ต่ออยู่ภายนอก และเมื่อแรงดันอินพุตมีค่าลดลงเป็นศูนย์ หรือเป็นลบแล้วก็ตาม แต่จะมีประจุพาหะอิเล็กตรอนสะสมอยู่บริเวณเบส (กรณี NPN ทรานซิสเตอร์) และตรงบริเวณที่ประจุพาหะเหล่านี้ยังมีอยู่ จะทำให้มีกระแสคอลเลกเตอร์ไหลได้ เมื่อพาหะทั้งหมดไปกระแสคอลเลกเตอร์จึงจะหยุดไหล ช่วงเวลาที่ทำให้ประจุพาหะที่เบสทั้งหมดไปถูกเรียกว่า “ช่วงเวลาสะสม” (storage time) เขียนแทนด้วย t_s ดังแสดงในรูปที่ 2.26

และเนื่องจากการเกิดของ t_s นี้เองทำให้ความกว้างของพัลส์ที่เอาท์พุทมีค่ามากกว่าพัลส์ที่เอาท์พุท ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.26 คือ ช่วง t_s ภายหลังจากที่แรงดันอินพุตเป็นลบแล้ว

ช่วงเวลาที่ทำให้แรงดันที่เอาท์พุทมีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเป็น $+V_{cc}$ (ในกรณี NPN) ถูกเรียกว่า “เวลาเทิร์นออฟ” (turn off) เขียนแทนด้วย t_{off} นั่นคือ เวลา t_{off} ประกอบด้วยเวลาย่อยๆ สามส่วน คือ t_r , t_s และ t_f ซึ่งอาจจะกล่าวสรุปได้ว่า

เวลาสะสม (storage time) t_s คือ เวลาที่ใช้ในการทำให้ประจุพาหะที่สะสมอยู่บริเวณเบสหมดไป โดยอาศัยขบวนการรวมตัวของพาหะ หลังจากที่มีแรงดันที่อินพุตลดลงเป็นศูนย์โวลต์ ดังนั้น ช่วงเวลา t_s จึงขึ้นอยู่กับ ขบวนการการรวมตัวของพาหะ และขนาดของแรงดันไบอัสย้อนกลับที่อินพุต

เวลาตก (fall time) t_f คือ ช่วงเวลาที่ใช้ในการทำให้แรงดันที่เอาท์พุท (ทรานซิสเตอร์แบบ NPN) มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 10 เปอร์เซ็นต์ของแรงดัน V_{cc} โดยที่เป็นเวลาต่อจากเวลาสะสม

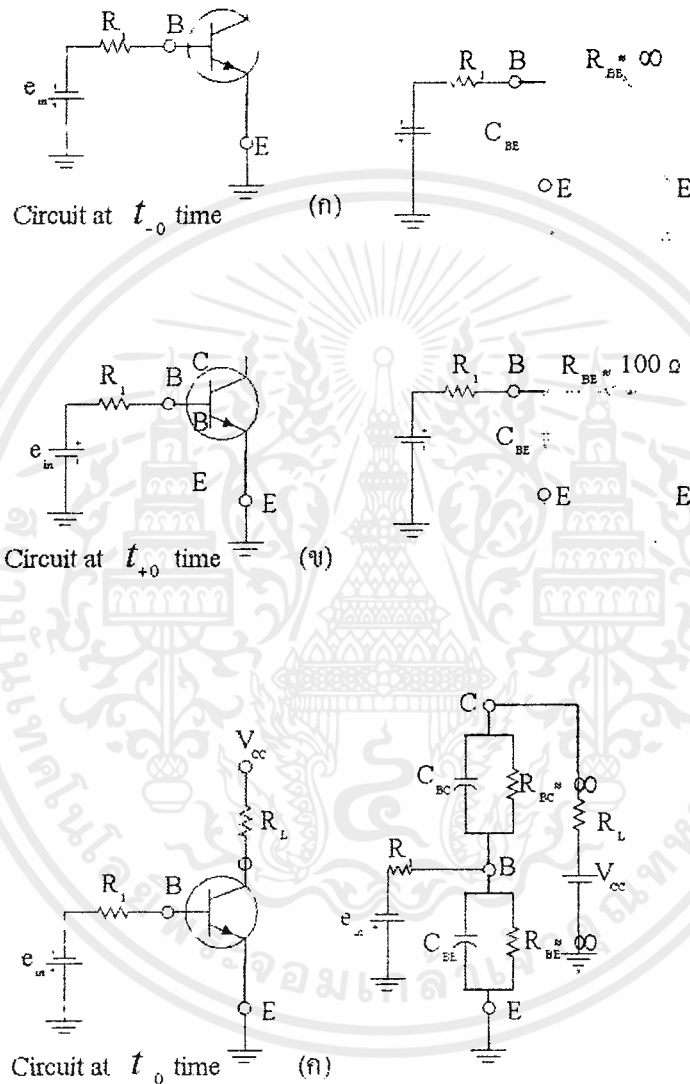
เวลาล่าช้า (delay time) t_d คือ ช่วงเวลาต่อจาก เวลาตก เพื่อทำให้ทรานซิสเตอร์อยู่ในภาวะไม่ทำงานอย่างสมบูรณ์ กล่าวคือ แรงดันเอาท์พุทจะมีค่าแรงดัน V_{cc}

อย่างไรก็ดีในความเป็นจริงแล้ว ช่วงเวลาเหล่านี้มีค่าน้อยมาก เช่น ราว 10^{-9} วินาที และโดยทั่วไปโรงงานผู้ผลิตทรานซิสเตอร์ที่เหมาะสมแก่การนำไปใช้งานในวงจรสวิตช์ มักจะบ่งบอกคุณสมบัติค่าของ t_{on} และ t_{off} ไว้เป็นสำคัญ โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_{on} = t_d + t_r$$

$$t_{off} = t_s + t_f + t_d$$

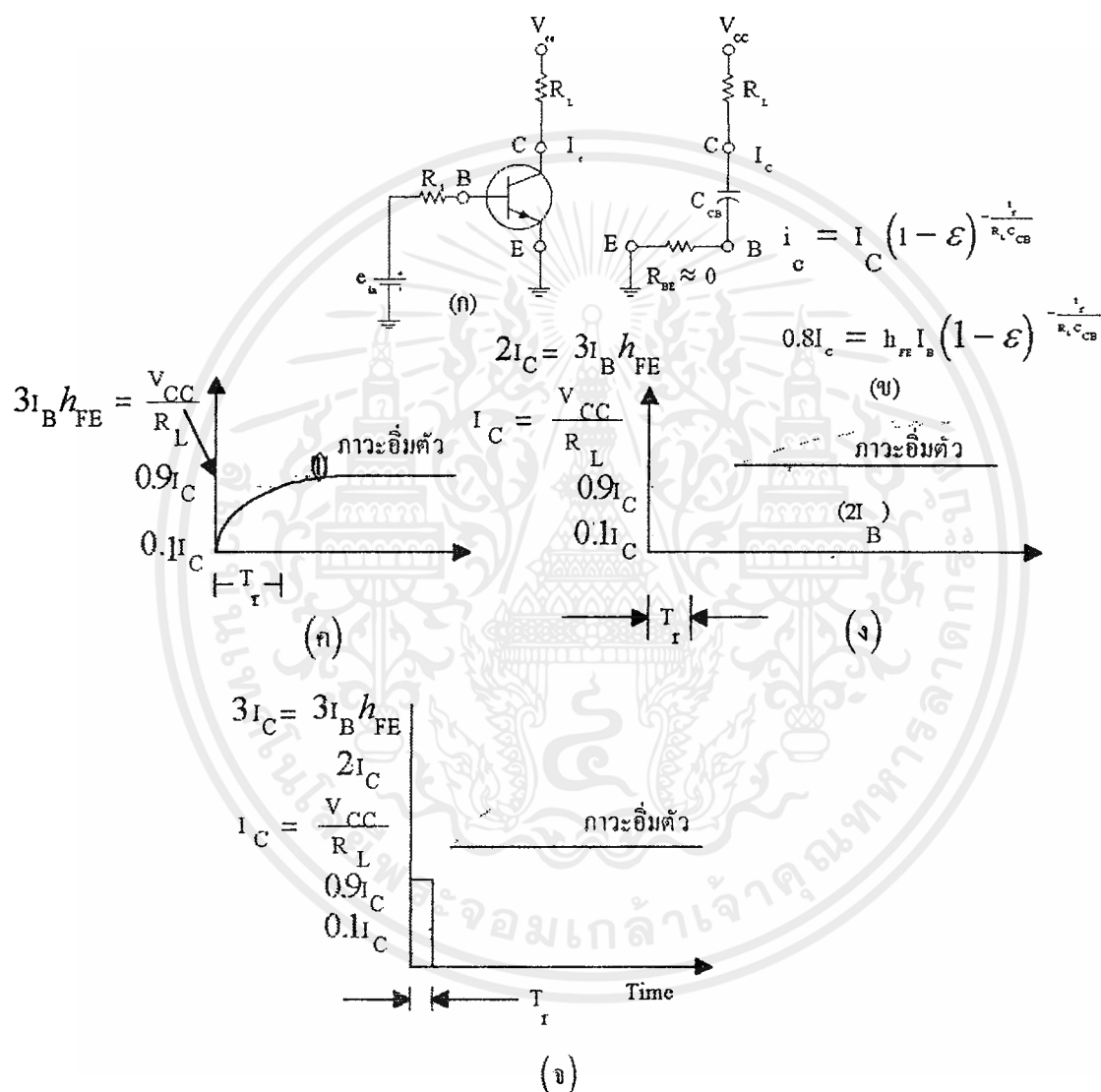


รูปที่ 2.27 แสดงวงจรเสมือนของวงจรสวิทช์โดย (ก) ที่เวลา t_0 (ข) ที่เวลา t_{+0}
(ค) ที่เวลา t_0

2.8.2 การลดค่า “เวลาไต่ขึ้น” โดยเพิ่มกระแสเบส

จากรูปที่ 2.26 ช่วงเวลาไต่ขึ้น t_r ก็คือ เวลาที่ใช้ในช่วงที่กระแสคอลเลกเตอร์ เพิ่มขึ้นจาก 10 เปอร์เซ็นต์ ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ ของกระแสคอลเลกเตอร์ในภาวะอิ่มตัว เมื่อทรานซิสเตอร์ OFF รอยต่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่าง คอลเลกเตอร์กับเบส จะได้รับแรงดันย้อนกลับ ดังนั้น จึงกระทำตัวคล้ายกับเป็นตัวเก็บประจุ C_{CB} ดังแสดงในรูปที่ 2.28 (ข) เมื่อพัลส์ทางด้านอินพุตถูกป้อนเข้ามา และทำให้รอยต่อระหว่างอิมิตเตอร์กับเบสได้รับแรงดันไบอัสตรง ดังนั้น ความต้านทานของรอยต่อดังกล่าวนี้จะมีค่าน้อยมาก ($R_{BE} = 0$) ดังนั้น ในวงจรของรูปที่ 2.28 (ก) ที่เวลา t_0 เราสามารถเขียนวงจรเสมือนได้ดังแสดงในรูปที่ 2.28(ข)



รูปที่ 2.28 แสดงวงจรเสมือน และคุณสมบัติของรูปที่ 2.26 ขณะเวลา t_0

ดังนั้น กระแสคอลเลกเตอร์จะไม่เพิ่มขึ้นอย่างทันทีทันใด แต่จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นโดยมีช่วงเวลากงที่ค่าหนึ่ง ($R_L * C_{CB}$) นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$i_c = I_c (1 - e^{-t / (R_L C_{CB})})$$

โดยที่กระแส $I_c = h_{FE} I_B$ หรือ V_{CC} / R_L

จากนิยาม $t_r = t_{ON} - t_d = 90\% - 10\% = 80\%$

หรือ $t_r = 0.8$

ดังนั้นในช่วงเวลา t_r จะได้ว่า

$$0.8 I_c = h_{FE} I_B (1 - e^{-(t_r) / (R_L C_{CB})}) ; \tau = R_L C_{CB}$$

$$0.8 V_{CC} / R_L = V_{CC} / R_L (1 - e^{-(t_r) / \tau})$$

$$0.8 = 1 - e^{-(t_r) / \tau}$$

$$e^{(t_r) / \tau} = 5$$

$$t_r = \tau (\log 5 / \log e)$$

$$t_r = 1.61 \tau$$

นั่นคือ ช่วงเวลาไต่ขึ้น t_r จะขึ้นอยู่กับค่า τ ซึ่งเป็นผลคูณของค่า R_L และ C_{CB} แต่อย่างไรก็ดี ในกรณีที่ต้องการให้ค่า t_r มีค่าน้อยลงโดยที่ค่า R_L , C_{CB} หรือ h_{FE} ไม่สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงได้ อาจจะทำให้ได้โดยการพิจารณาจากรูปที่ 2.28 (ง) และ (จ) ซึ่งค่า I_c มีค่ามากกว่าเดิมจะเห็นว่าในกรณีที่กระแส I_c เพิ่มขึ้นเป็น $2I_c$ เวลาไต่ขึ้น t_r จะมีค่าน้อยลงกว่าเดิม โดย

$$i_c = I_c (1 - e^{-(t_r) / \tau})$$

$$0.8 V_{CC} / R_L = 2 h_{FE} I_B (1 - e^{-(t_r) / \tau})$$

$$e^{+(t_r) / \tau} = 1.67$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$t_r = \tau (\log 1.67 / \log e) = 0.511 \tau$$

ดังนั้น $t_r = 0.511 \tau$

หรืออาจกล่าวได้ว่า เมื่อกระแสเบสมีค่า I_B ค่าของเวลาไต่ขึ้น $t_r = 1.61 \tau$

และเมื่อกระแสเบสมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น $2 I_B$ ค่าของเวลาไต่ขึ้น $t_r = 0.511 \tau$

ดังนั้น จะเห็นว่าเมื่อกระแสเบสเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็นสองเท่า ค่าของเวลาไต่ขึ้น t_r จะลดลงเหลือ $0.511 / 1.61 = 1/3$ เท่าของเวลาไต่ขึ้นเดิม

หรือถ้าหากพิจารณาว่ากระแสเบส I_B เพิ่มขึ้นอีกเป็น $3 I_B$ จะได้ว่า

$$0.8 V_{cc} / R_L = 3 h_{FE} I_B (1 - e^{-(t_r)/\tau})$$

$$0.9 V_{cc} / R_L = 3 V_{cc} / R_L (1 - e^{-(t_r)/\tau})$$

$$t_r = 0.309 \tau$$

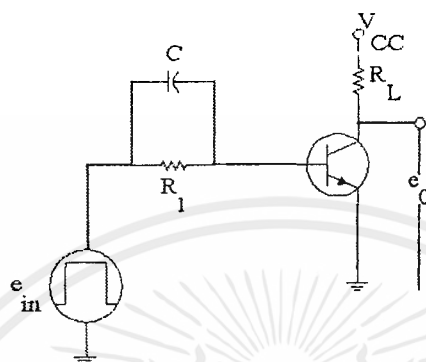
ซึ่งอาจสรุปได้ว่าเมื่อกระแสเบสเพิ่มขึ้นจากเดิมเป็นสามเท่า ค่าของเวลาไต่ขึ้น t_r จะลดลงเหลือ $0.309 / 1.61 = 1/5$ เท่าของเวลาไต่ขึ้นเดิม ในทางปฏิบัติเมื่อลดค่าของเวลาไต่ขึ้น t_r ของวงจรสวิตช์ ทรานซิสเตอร์ก็กระทำได้โดยการลดค่า R_L ในวงจรรูปที่ 2.28 (ก) เพื่อให้ค่ากระแสเบส I_B เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม การลดค่าของ t_r ด้วยวิธีนี้จะทำให้ “เวลาสะสม” เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลเสียอย่างหนึ่ง

2.8.3. สปีดอัฟฟาลาชิเตอร์

ในการลดค่าเวลาไต่ขึ้น โดยการเพิ่มกระแสเบส เพื่อให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ON ได้อย่างรวดเร็วตามที่กล่าวมาแล้วนั้น นอกจากนี้แล้วการลดค่าเวลาไต่ขึ้น ยังสามารถทำได้โดยการเพิ่มตัวเก็บประจุ C เข้าไปในวงจรโดยต่อขนานอยู่กับตัวความต้านทาน R_L ดังแสดงในรูปที่ 2.29 ตัวเก็บประจุนี้ถูกเรียกว่า “สปีดอัฟฟาลาชิเตอร์”

ในขณะที่ทางอินพุตมีพัลส์เข้ามา กระแสเบสจะทำการประจุผ่านตัวเก็บประจุนี้ ดังนั้นจะเห็นว่ากระแสเบสจะประกอบด้วยกระแสชอยสองกระแส คือ ส่วนหนึ่งเป็นกระแสที่ประจุผ่านตัวเก็บประจุ C อีกส่วนหนึ่งเป็นกระแสปกติ ซึ่งไหลผ่านตัวความต้านทาน R_L ผลของตัวเก็บประจุ C และ R_L ที่มีต่อกระแสเบส I_B แยกเขียนแสดงได้ดังในรูปที่ 2.30 (ก) และ (ข) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



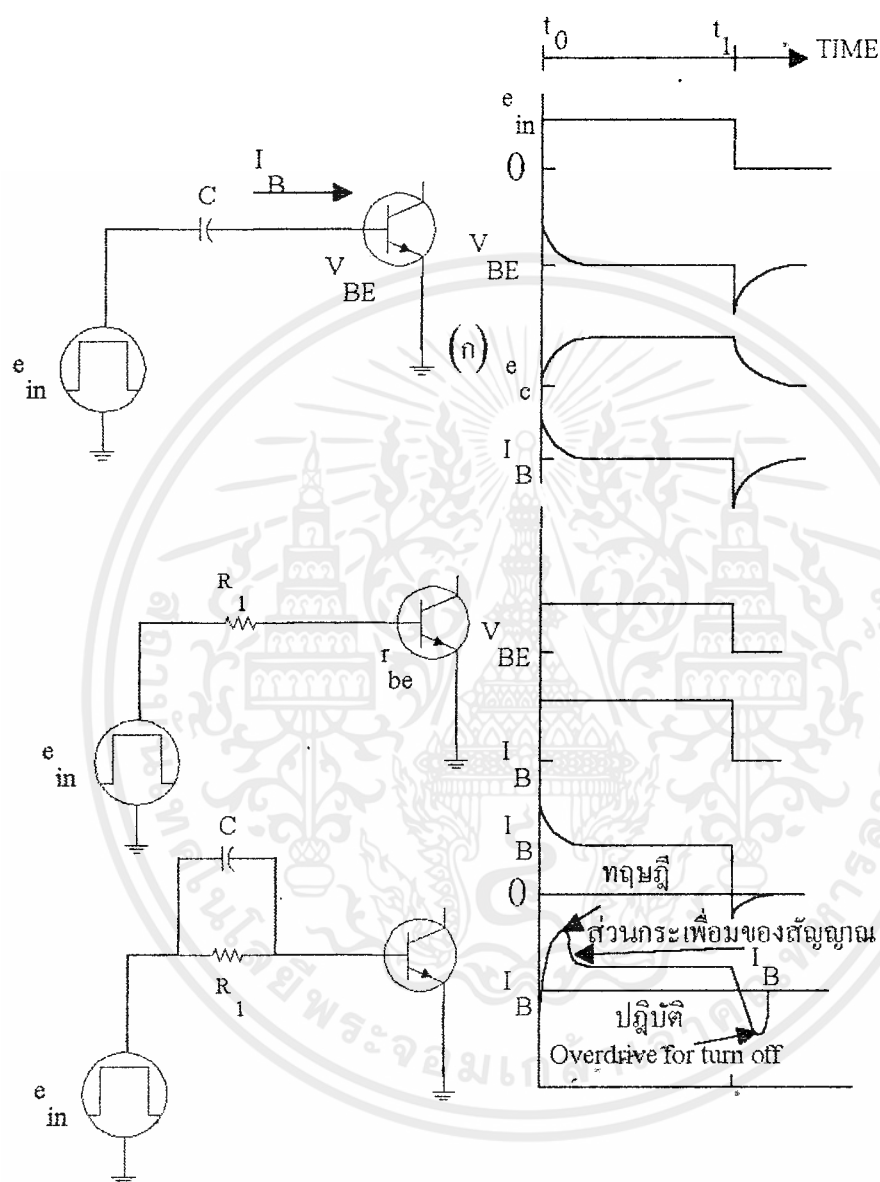
รูปที่ 2.29 แสดงวงจรสวิตช์ทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีสปีดอัปคาปาซิเตอร์

โคจรรูปที่ 2.30 (ก) แสดงผลของการประจุของตัวเก็บประจุ C ทำให้เกิดกระแสเบส I_B ส่วนหนึ่ง โดยสมมติว่าค่าความต้านทานของรอยต่อระหว่าง อิมิตเตอร์และเบส มีค่าคงที่ ดังนั้น เมื่อพัลส์ทางค่านอินพุต ถูกป้อนเข้ามาที่เวลา t_0 (ดูรูปที่ 2.30 (ก)) แรงดันจากอินพุตทั้งหมดจะปรากฏตกคร่อมที่รอยต่อ อิมิตเตอร์กับเบส (V_{BE}) เมื่อเวลาได้ผ่านไป ตัวเก็บประจุ C จะทำการประจุทำให้มีแรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุเพิ่มขึ้น (e_C) ขณะที่มีการประจุกระแสเบส I_B จะมีค่าลดลง ในที่สุดจะมีค่าเป็นศูนย์ ที่เวลา t_1 พัลส์อินพุต จะมีค่าแรงดันเป็นศูนย์ ดังนั้น ตัวเก็บประจุ C จะทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายแรงดัน และทำให้รอยต่อระหว่าง อิมิตเตอร์และเบสได้รับแรงดันไบอัสย้อนกลับ แรงดันไบอัสย้อนกลับดังกล่าวนี้จะช่วยทำให้ช่วงเวลาสะสม มีค่าน้อยลง ดังนั้น จึงเห็นได้ชัดว่าการประจุของตัวเก็บประจุ “สปีดอัปคาปาซิเตอร์” นี้จะช่วยเพิ่มกระแสเบสซึ่งจะมีผลให้เวลาไต่ขึ้นมีค่าน้อยลง และเมื่อประจุแล้วจะมีผลช่วยทำให้ช่วงเวลาสะสมลดน้อยลง ดังในรูปที่ 2.30 (ก) -

ในรูปที่ 2.30 (ข) แสดงวงจรทางอินพุตของวงจรสวิตช์ทรานซิสเตอร์ โดยสมมติว่าค่าความต้านทานของรอยต่อ อิมิตเตอร์กับเบส มีค่าคงที่ค่าหนึ่ง r_{BE} ดังนั้น วงจรอินพุตจึงมีลักษณะคล้ายกับวงจรแบ่ง แรงดัน และลักษณะของแรงดัน V_{BE} และกระแสเบส I_B แสดงดังรูป

ดังนั้น เมื่อพิจารณาวงจรสวิตช์ทรานซิสเตอร์ ซึ่งมีสปีดอัปคาปาซิเตอร์จะได้ดังแสดงในรูปที่ 2.30 (ค) ซึ่งแสดงลักษณะของกระแสเบสทั้งทางทฤษฎี ซึ่งสมมติว่าค่าความจุไฟฟ้าของรอยต่อระหว่าง อิมิตเตอร์และเบส มีค่าน้อยมากจนไม่นำมาพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 แสดงผลของสปีดอัฟคาปาซิเตอร์ในวงจรสวิตช์ทรานซิสเตอร์

กระแสเบสในทางปฏิบัติกำหนดค่าของสปีดอัฟคาปาซิเตอร์ทำได้โดย

$$I = Q/t \text{ และ } Q = CE$$

ดังนั้น
$$I = CE/t$$

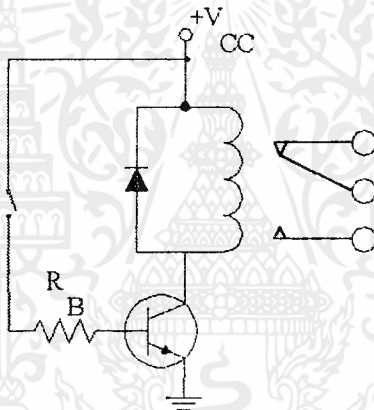
และ
$$C = It/E$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่ Q คือ ปริมาณของประจุไฟฟ้า (คูลอมบ์)
 I คือ I_B ซึ่งเป็นกระแสเบสส่วนเกินค่าปกติ (แอมแปร์)
 t คือ t_r ซึ่งเป็นเวลาไต่ขึ้น (วินาที)
 E คือ ขนาดของแรงดันของพัลส์ที่อินพุต (โวลต์)
 C คือ ค่าความจุไฟฟ้าของสปีดอัปคาปาซิเตอร์ (ฟารัด)

2.8.4 วงจรสวิทช์ทรานซิสเตอร์ที่มีโหลดเป็นรีเลย์

ในวงจรควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ เราอาจสามารถใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ไปควบคุมอุปกรณ์ประเภทไฟฟ้ากำลังได้ แต่สิ่งหนึ่งที่เสมือนเป็นตัวกลางได้ก็คือ รีเลย์ ของให้พิจารณาวงจรทรานซิสเตอร์ที่มีโหลดเป็นรีเลย์ดังแสดงในรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 วงจรทรานซิสเตอร์สวิทช์ที่มีโหลดเป็นรีเลย์

สมมติว่าในขณะที่ให้สวิตช์ออน เราจะป้อน V_i ด้วยระดับแรงดัน 12 โวลต์ โดยใช้รีเลย์ 12 โวลต์ 200 โอห์ม และ $V_{cc} = 12$ โวลต์ด้วย เราสามารถคำนวณหาค่า R_B ได้ดังนี้

ถ้ากระแสไหลผ่านรีเลย์ขณะทรานซิสเตอร์อิ่มตัว โดยคิดว่าทรานซิสเตอร์เป็นทรานซิสเตอร์อุดมคติ

$$\begin{aligned} I_C &= V_{cc} / R_L \\ &= 12 / 200 \\ &= 60 \text{ mA} \end{aligned}$$

สมมติว่าทรานซิสเตอร์มีค่า $h_{FE} = 50$ กระแสเบสที่ทำให้ทรานซิสเตอร์อิ่มตัว จะต้องมียกเท่ากับ

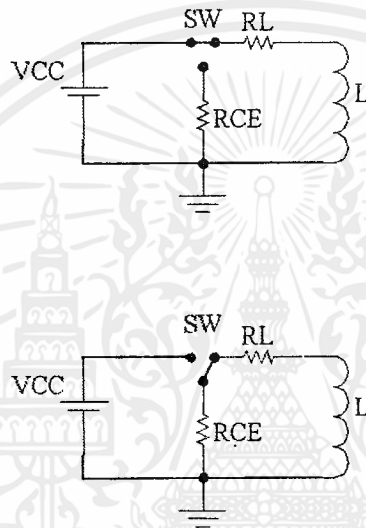
$$\begin{aligned} I_B &> I_C / h_{FE} \\ &> 60 / 50 \\ &> 1.2 \text{ mA} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ค่าตัวต้านทานเบสสูงสุดที่เป็นได้คือ

$$\begin{aligned} R_B &= (V_{cc} - V_{BE}) / I_B \\ &= (12 - 0.7) / 1.2 \\ &= 9.4 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

ในส่วนขอไดโอดที่ต่อขนานกับขดลวดรีเลย์นั้น พิจารณาได้จากรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.32 แสดงวงจรเปรียบเทียบสภาวะการทำงานของขดลวดรีเลย์อย่างง่าย

ในรูปบนเป็นสภาวะที่ขดลวดรีเลย์ต่อเข้ากับแรงดัน V_{cc} อันเป็นสภาวะที่ทรานซิสเตอร์ ON ดังนั้นค่าความต้านทานที่รอยต่อ อิมิตเตอร์กับคอลเลกเตอร์ (R_{CE}) จึงต่ำมาก สมมติว่าเป็นศูนย์แทนด้วยตัวต้านทานที่ถูกปล่อยลอยไว้ จากรูปบนเมื่อปล่อยทิ้งไว้เป็นเวลานาน $t = a$ ขดลวดจะเสมือนถูกลัดวงจร

ดังนั้น
$$I_L(a) = E / R_L = V_{cc} / R_L$$

จากนั้น หยุดไบอัสทรานซิสเตอร์ ทำให้ทรานซิสเตอร์ OFF ขดลวดจึงถูกตัดออกจากแหล่งจ่ายกระแส ในสภาวะนี้ค่าความต้านทานที่รอยต่อ อิมิตเตอร์กับคอลเลกเตอร์ มีค่ามาก ได้ผลเป็นดังรูป 2.32 ล่าง ซึ่งในสภาวะนี้ขดลวดจะเสมือนแหล่งจ่ายกระแส ทำการคายพลังงานออกมา มีค่ากระแสเท่ากับ $I_L(a)$ และลดลงไปเรื่อยๆ ตามเวลา จากวงจรในรูปที่ 2.32 ล่าง เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$V_L + V_{RCE} + V_{RL} = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบบโซลิดสเตต (solid-state relay : SSR) เป็นการใช้อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์มาควบคุมการทำงานแทน เช่น SCR เป็นต้น
3. แบบออปโตคัปเปิล (optocouple relay) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้การเชื่อมโยงทางแสง ทำให้มีประสิทธิภาพในการแยกกันอย่างเด็ดขาดของวงจรควบคุม กับวงจรทางเอาต์พุตของรีเลย์

พารามิเตอร์	ออปโตคัปเปิล	กลไกไฟฟ้า	โซลิดสเตต
ความเชื่อถือได้สูง	*		*
ข้อจำกัดอายุการใช้งาน	*		*
ความเร็วในการทำงาน	*		*
เสถียรภาพ หน้าสัมผัส 100 เปอร์เซ็นต์	*		*
เงียบไม่มีเสียงรบกวน	*		*
ไม่มีสัญญาณรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า	*		*
ความเข้มข้นแม่เหล็ก	*		*
ขนาดเล็ก/ความหนาแน่นสูง	*		*
ตำแหน่งในการติดตั้งได้กว้างขวาง	*		*
คุณสมบัติในการแยกอินพุต/เอาต์พุตสูง (5000 โวลท์ ขึ้นไป)	*	*	
เลือกสัญญาณนอก/คิจิตอลได้	*	*	
ปัญหาในการทำงานกระโดดข้ามเป็นศูนย์	*	*	
ตัวถังบรรจุแบบ SO	*		
การทำงานแบบขนาน	*		
ควบคุมขอบขาขึ้นและขอบขาลงของเวลา	*		
สวิตช์กระแสได้ประมาณ 4 แอมป์		*	*

ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติต่างๆ ที่แตกต่างกันของรีเลย์

จากตารางที่ 2.9 จะสังเกตเห็นได้ว่าอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นรีเลย์สมัยใหม่ เช่น โฟโตมาสเฟตริเลย์นั้น มีประสิทธิภาพการทำงาน และเป็นที่ยอมรับกันมากกว่ารีเลย์แบบ โซลิดสเตต และแบบกลไกไฟฟ้า แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระนั้นก็ยังจะมีใช้งานกันอยู่มากเช่นกัน เนื่องจากรีเลย์แบบเก่านั้นสามารถรับโหลดที่ต่อกับหน้าสัมผัสได้ค่อนข้างสูงกว่า โฟโตมอสเฟตรีเลย์ เพราะรีเลย์สมัยใหม่นั้นจะรองรับโหลดได้ประมาณ 1 แอมป์ก็ถือว่ามากแล้ว และหาซื้อได้ง่าย แต่อย่างไรก็ตามปัจจุบันได้มีการสร้างให้รองรับโหลดทางเอาท์พุตได้มากขึ้น เช่น ขนาด 4 แอมป์ 60 โวลต์ดีซี เป็นต้น

ในปัจจุบัน และอนาคตอันใกล้ การพัฒนาของรีเลย์จะถูกพัฒนาไปในลักษณะของรีเลย์เฉพาะงานมากขึ้น อย่างไรก็ตามคุณสมบัติทางเทคนิคของรีเลย์นั้นก็จะยังมีข้อพิจารณา และบ่งบอกที่เหมือนกัน หากแต่ต่างกันตรงตัวเลขของคุณสมบัติในแต่ละข้อ ดังนั้นก่อนเลือกเอารีเลย์มาใช้งานควรจะพิจารณาถึงค่าตัวเลขเหล่านี้เพื่อการใช้งานที่ถูกต้อง ดังแสดงตัวอย่างการพิจารณาคุณสมบัติของรีเลย์ทางเทคนิคไว้ในตารางที่ 1 ในภาคผนวก เตรีเลย์แบบเก่า กับรีเลย์สมัยใหม่ก็อาจจะมีข้อพิจารณาที่แตกต่างกันไม่มากนัก เช่น ในรีเลย์แบบเก่าจะคำนึงถึงคุณลักษณะของหน้าสัมผัส แต่ในรีเลย์แบบใหม่จะคำนึงถึงคุณลักษณะการขับโหลดทางเอาท์พุตเป็นหลักเช่นกัน ซึ่งโดยรวม และคุณลักษณะเบื้องต้นแล้ว ไม่แตกต่างกันมากนักจึงพิจารณาด้วยหลักการเดียวกันได้

2.9.1 คุณลักษณะของรีเลย์ (แบบกลไกไฟฟ้า)

กล่าวถึงรีเลย์อันดับแรกควรจะพิจารณาถึงคุณลักษณะของหน้าสัมผัส โดยแรกเริ่มก่อนการใช้งานนั้น ค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสรีเลย์ จะมีค่าสูงสุดซึ่งค่าความต้านทานแรกเริ่มของหน้าสัมผัสรีเลย์ (initial-resistance) ก็ค่าที่วัดโดยที่รีเลย์ตัวนั้นยังไม่ถูกใช้งานเลย หรือยังไม่เคยต่อใช้งานในวงจรเลย โดยปกติแล้วค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสนี้ จะสามารถวัดได้ด้วยการจ่ายกระแสผ่านเข้าไปยังหน้าสัมผัสแรกเริ่มนี้ จะต้องไม่มีกระแสตกคร่อมหน้าสัมผัสเลย หากพิจารณาตามคุณสมบัติหน้าสัมผัสรีเลย์ในตารางที่ 1 ในภาคผนวก แล้ว จะได้ค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสเท่ากับที่กระแส 1 แอมป์คูณด้วย 0.06Ω ก็จะได้ค่าแรงดันที่ตกคร่อมหน้าสัมผัสเท่ากับ 0.06 โวลต์ดีซี

ในรูปที่ 2.33 (ก) จะแสดงให้เห็นความแตกต่างอย่างเด่นชัดของค่าความต้านทานหน้าสัมผัสของรีเลย์ที่ยังไม่ใช้งาน กับรีเลย์ที่ผ่านการใช้งานมาแล้วประมาณ 100,000 ครั้ง ค่าความต้านทานนี้จะลดลงไปตามจำนวนครั้งของการทำงานของหน้าสัมผัส อันเป็นสาเหตุเนื่องมาจากหน้าสัมผัสของรีเลย์ จะถูกทำให้ราบเรียบลงตามอายุการใช้งาน และจะทำให้มีค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสลดลงไปด้วย ลักษณะของการเสียหายของหน้าสัมผัสนี้จะพบมากในรีเลย์ที่มีหน้าสัมผัสเป็นแผ่นทอง การใช้งานเริ่มต้นของหน้าสัมผัสรีเลย์นั้น ในทางปฏิบัติหากไม่มีการป้องกันที่เหมาะสมแล้ว ก็หมายถึงสัญญาณอันตรายต่อหน้าสัมผัสที่อาจจะเกิดการอาร์ก หรือสปาร์กของหน้าสัมผัสขณะทำงานได้ ดังนั้นลักษณะของกราฟในรูปที่ 2.33 (ก) ก็จะแสดงออกมาเป็นเส้นโค้ง และจะค่อย ๆ โค้งเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตลอดอายุการใช้งานของรีเลย์ นั่นคือ เมื่อถึงที่สุดแล้วค่าความต้านทานหน้าสัมผัสก็จะยิ่งมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ซึ่งไม่เป็นผลดีเลย ดังนั้นก่อนเวลานั้นมาถึงก็ต้องทำการเปลี่ยนรีเลย์ใหม่เข้ามาแทนที่ แต่สำหรับในรีเลย์แบบโซลิดสเตต และโฟโตมอสเฟตรีเลย์แล้วจะมีรูปกราฟที่ราบเรียบตลอดอายุการใช้งานนั้น ก็จะไม่เกิดผลที่เกิดจากหน้าสัมผัส

เมื่อพิจารณาถึงวัสดุที่จะนำมาใช้ทำเป็นหน้าสัมผัสของรีเลย์ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 ในภาคผนวก ที่แสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะพื้นฐานของวัสดุที่ถูกนำมาใช้ ซึ่งทำให้พิจารณาถึงส่วนประกอบของหน้าสัมผัสเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

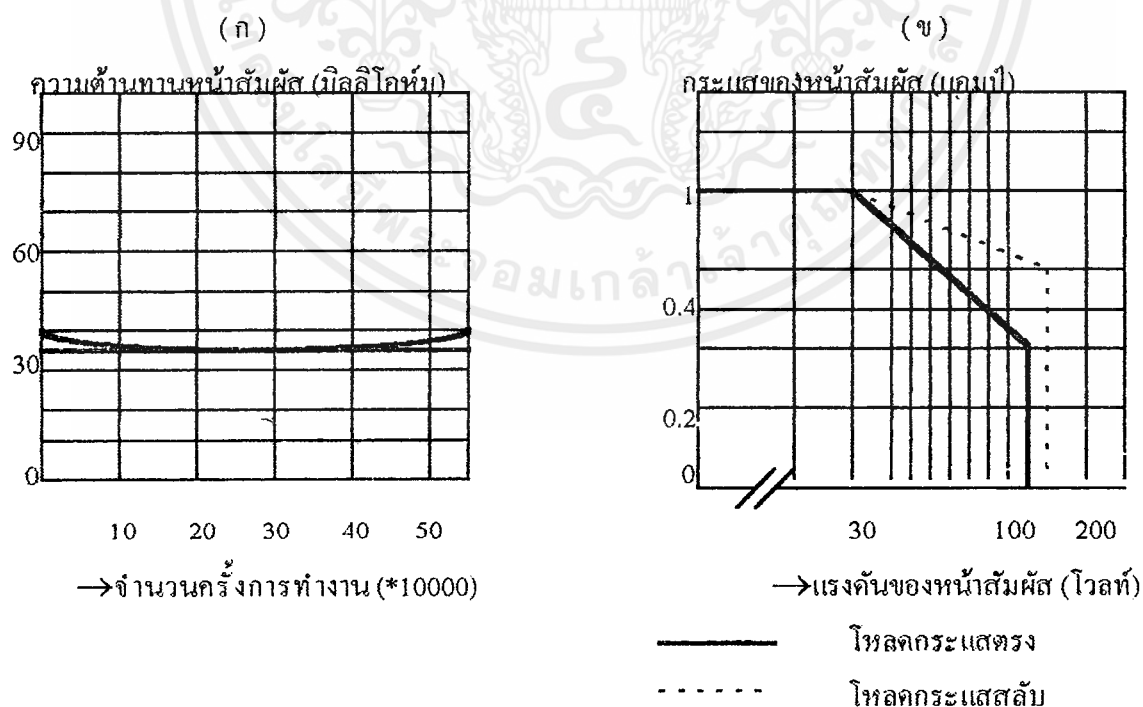
อันประกอบไปด้วย คุณสมบัติของการหล่อหุ้ม ,คุณสมบัติของการชุบผิวหน้าสั้มผัส และคุณสมบัติของการเกิดประกายไฟที่หน้าสั้มผัส ในวัสดุแต่ละชนิดที่ถูกเลือกมาใช้ในการผลิต

1. คุณสมบัติการหล่อหุ้ม (cladding) เป็นวัสดุที่หล่อหุ้มอยู่ภายในชั้นของทองคำในหน้าสั้มผัส จะมีความหนาแน่นมากกว่า 5 ไมครอน
2. คุณสมบัติของการชุบผิวสั้มผัส (plating) คือชั้นของทองคำในหน้าสั้มผัส จะมีความหนาแน่นมากกว่า 2 ไมครอน และไม่เกิน 5 ไมครอน
3. คุณสมบัติการชุบป้องกันการเกิดประกายไฟ (flash plating) คือชั้นทองคำของหน้าสั้มผัสที่มีการชุบป้องกันไว้ มีความหนาไม่เกิน 2 ไมครอน

คุณสมบัติดังกล่าวมาข้างต้นนั้น จะไม่ใช่พิจารณาในรีเลย์แบบ โซลิดสเตต และแบบ โพโตมอสเฟตรีเลย์ เพราะรีเลย์ทั้งสองประเภทหลังนี้ใช้อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ จึงไม่มีหน้าสั้มผัสที่เป็นโลหะเหมือนกับรีเลย์แบบกลไกไฟฟ้าแบบเก่า

2.9.2 ข้อจำกัดของกำลังงานและการสวิตซ์

เมื่อพิจารณาตามกฎของโอห์มตัวอย่างเช่น เมื่อกล่าวว่ารีเลย์ตัวหนึ่งสามารถสวิตซ์ทำงานได้ที่ 30 วัตต์ และหากนำไปใช้งานที่กระแสขนาด 2 แอมป์ 12 โวลต์ก็ใช้ได้ เพราะเมื่อคิดดูแล้ว กำลังโดยรวมก็ยังไม่เกิน 30 วัตต์ แต่สำหรับรีเลย์แบบกลไกไฟฟ้าจะมีอัตราการรับกำลัง ,กระแส และแรงดันได้สูงสุด โดยไม่สัมพันธ์กันกับกฎของโอห์ม



รูปที่ 2.33 (ก) แสดงคุณสมบัติของความต้านทานหน้าสัมผัส , (ข) แสดงคุณสมบัติอัตราทนกระแสและแรงดัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พิจารณากราฟข้อจำกัดทางกำลังงานที่หน้าสัมผัสรีเลย์ ในรูปที่ 2.33 (ข) จะแสดงถึงค่ากำลังงานของหน้าสัมผัสที่เกิดตามผลของกระแส และแรงดันอันเป็นตัวกำหนดค่าจำกัดสูงสุดทางไฟตรง และค่าจำกัดสูงสุดทางแรงดันไฟสลับ สังเกตได้ว่าเมื่อรีเลย์ถูกจำกัดกระแสที่หน้าสัมผัสสูงสุดไว้ที่ 1 แอมป์ ทั้งไฟตรงและไฟสลับก็จะหมายความว่าหน้าสัมผัสขณะนั้นจะผ่านกระแสสูงสุดได้ 1 แอมป์ ที่ค่าแรงดันสูงสุด 30 โวลต์ เมื่อคิกออกมาแล้วข้อจำกัดทางกำลังงานที่หน้าสัมผัสจะเท่ากับ 30 วัตต์ ดังนั้นก็สรุปได้ว่า หน้าสัมผัสรีเลย์จะทนต่อกระแสได้ต่ำลง เมื่อค่าแรงดันที่หน้าสัมผัสเพิ่มขึ้น และกราฟตามรูปที่ 2.33 (ข) นี้จะแสดงให้เห็นถึงข้อจำกัดทางกำลังงานที่หน้าสัมผัสสามารถทน หรือรองรับ ได้โดยไม่เกิดความเสียหาย

การคาดการณ์ หรือกำหนดคุณสมบัติด้านอายุการใช้งานของรีเลย์ทางกลไกในลักษณะทำงาน และไม่ทำงานโดยปราศจากโหลดที่หน้าสัมผัสเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า หรือกระแสไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นไฟตรง หรือไฟสลับนั้น สามารถประมาณอายุ หรือกำหนดอายุการใช้งานของรีเลย์ได้ง่ายกว่าการกำหนดอายุการใช้งานทางไฟฟ้า เนื่องจากการกำหนดอายุการใช้งานทางไฟฟ้านั้น ต้องอาศัยองค์ประกอบ หรือต้องทำการทดสอบภายใต้โหลดที่ต่ออยู่ทางหน้าสัมผัส และโหลดทางไฟฟ้าที่จะนำมาทดสอบนั้นก็มากมายหลายชนิด เช่น ขดลวดเหนี่ยวนำ, มอเตอร์, ค่าความจุ, หลอดไฟ และอื่น ๆ อีกมากมายซึ่งโหลดเหล่านี้จะมีความต้องการทางกำลังงานไม่เท่ากัน ดังนั้นมันจะส่งผลถึงอัตราทนต่อกำลังงานสูงสุดของหน้าสัมผัสรีเลย์ ทำให้รีเลย์มีอายุการใช้งานไม่เท่ากัน เมื่อเกิดตามชนิดของโหลดที่ต่อกับหน้าสัมผัส ดังนั้นการกำหนดอายุการใช้งานทางไฟฟ้า จึงไม่สามารถกำหนดค่าที่แน่นอนได้

อย่างไรก็ตามการทดสอบอายุการใช้งานทางไฟฟ้าก็ยังสามารถทดสอบได้ เพื่อแสดงถึงประสิทธิภาพของอายุการใช้งานของรีเลย์ ด้วยการทดสอบทางไฟฟ้า กับ โหลดที่เป็นตัวต้านทานบริสุทธิ์นี้จะ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่านอกจากจะมีการกำหนดค่าใหม่ แต่ตัวต้านทานนี้ก็ต้องใช้แบบไว้วารว ดังนั้นก็จะสามารถกำหนดอายุการใช้งานทางไฟฟ้าได้ภายใต้ ค่าความต้านทานที่กำหนด เพราะฉะนั้นอายุการใช้งานจะขึ้นอยู่กับชนิดของโหลดที่นำมาทดสอบ และกำหนดไว้เป็นชนิด ๆ ไป แต่ก็เป็นการยากที่ผู้ใช้งานจะมานั่งทดสอบด้วยตนเอง ดังนั้นข้อมูลการทดสอบเหล่านี้จะถูกระบุ หรือถูกทดสอบออกมาจากโรงงานผู้ผลิตเรียบร้อยแล้ว

คุณสมบัติของค่าเวลาในการทำงานของรีเลย์ โดยมาตรฐานแล้วค่าเวลาในการทำงานของรีเลย์จะอยู่ในหน่วยของมิลลิวินาที เนื่องจากว่าขณะที่รีเลย์ทำงานนั้น หน้าสัมผัสจะมีการสั่นสะเทือน หรือกระโดด ช่วงจังหวะนี้เอง จึงเป็นช่วงเวลาที่คลุ้มเคลืออยู่ว่าจะกำหนดค่าเวลาการทำงานรีเลย์จริง ๆ ที่ช่วงเวลาใด หรือสถานะหน้าสัมผัสรีเลย์เป็นเช่นใด ดังนั้นข้อแตกต่างอย่างชัดเจนในรีเลย์แบบกลไกไฟฟ้า จะมีการกระโดด หรือสั่นของหน้าสัมผัสขณะทำงาน ก่อนที่จะเริ่มทำงานได้อย่างต่อเนื่อง มากกว่ารีเลย์แบบโซลิดสเตค เพราะแบบหลังนี้จะไม่มีส่วนกลไกที่เคลื่อนไหวเลย ดังนั้น ค่าระยะเวลาในการทำงานของโซลิดสเตครีเลย์ จะดีกว่ารีเลย์แบบกลไกไฟฟ้า ค่าเวลาในการทำงานของรีเลย์ที่เป็นมาตรฐานระบุไว้คือ 30 มิลลิวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.3 คุณสมบัติบางประการที่ควรพิจารณา

คุณสมบัติของค่าแรงดันเบรกความถี่, อุณหภูมิ และการสั่นสะเทือน เป็นคุณสมบัติที่จะเกิดขึ้นในเวลาใด ๆ ของการใช้งานรีเลย์ ดังในตารางที่ 2 ในภาคผนวก ที่แสดงให้เห็นว่าคุณสมบัติของการกระชากกระแส และแรงดันในขณะที่เปิดหน้าสัมผัส จะถูกกำหนดให้มีอัตราพิกัดสูงกว่าค่าแรงดันเบรกความถี่ของหน้าสัมผัสอยู่ 2 เท่า การกระชากของกระแส และแรงดันที่หน้าสัมผัสจะเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ (วัดได้ในหน่วยไมโครวินาที) โดยอาศัยการเกิดขึ้นที่เร็วมาก ๆ กับค่าเวลาที่ผ่านไปมาคำนวณ (dv/dt) แรงดันเบรกความถี่ ของหน้าสัมผัส คือค่าแรงดันสูงสุดที่หน้าสัมผัสของรีเลย์จะสามารถทนได้ในขณะนั้น หรือในช่วงเวลาต่อเนื่อง 1 วินาที

คุณสมบัติของอุณหภูมิโดยรอบ และคุณสมบัติของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ จะเป็นแนวทางอีกทางหนึ่งในการกำหนดสภาวะการทำงานของรีเลย์ให้เกิดความเหมาะสม ค่าความต้านทานของขดลวดรีเลย์ทางไฟฟ้ากระแสตรง จะเป็นสัดส่วนกับกับค่าของอุณหภูมิ ถ้าค่าอุณหภูมิของขดลวดทองแดงในขดลวดรีเลย์เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานก็จะเพิ่มขึ้นด้วย จากผลอันนี้ก็จะ ทำให้ค่ากระแสของขดลวดทองแดง จึงจำเป็นต้องเพิ่มค่าแรงดันของขดลวดรีเลย์ให้สูงขึ้น เพื่อให้รีเลย์ทำงานได้ และขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของค่าความต้านทานของขดลวดด้วย และสามารถคำนวณหาว่าแรงดันที่ต้องเพิ่มขึ้นได้ โดยการเพิ่มขึ้นในปริมาณ 0.4 เปอร์เซ็นต์ ของค่าความต้านทานขดลวดที่อุณหภูมิเริ่มเพิ่มขึ้นคราวละ 1 องศาเซลเซียส

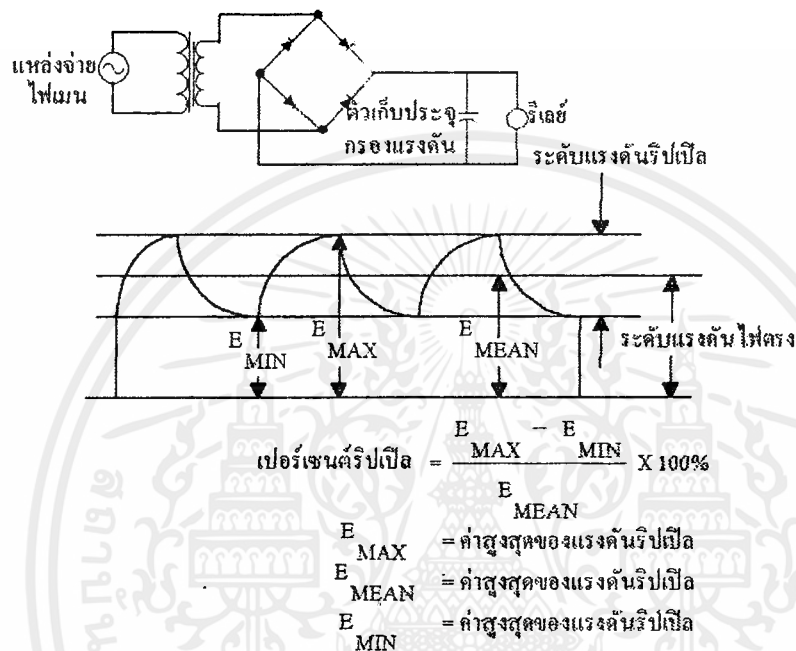
คำจำกัดความของ “ความต้านทานการสั่นสะเทือน” (shock resistance) มีอยู่สองประการ คือหน้าที่ของการต้านทานการสั่นสะเทือน และความต้านทานอันตรายที่เกิดจากการสั่นสะเทือน ในประการแรก หน้าที่ ของการต้านทานการสั่นสะเทือน คือทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้หน้าสัมผัสของรีเลย์ขณะทำงาน (ปิด) ถูกกระแทกให้เปิดหน้าสัมผัสตามแรงกระแทกที่ตัวรีเลย์โดยปกติจะเปิด โอกาสให้หน้าสัมผัสเปิด ได้ไม่เกิน 10 ไมโครวินาที ขณะทำงาน หรือน้อยกว่านี้ และจะ ไม่มีผลต่อ โหลดที่ต่ออยู่ที่หน้าสัมผัส แต่ถ้าเกินกว่านี้แล้วจะมีผลต่อโหลดทันที ในประการที่สอง ความต้านทานอันตรายที่เกิดจากการสั่นสะเทือนนั้น จะกล่าวถึงความทนทานต่อการกระแทกของตัวถัง และวัสดุที่ใช้ทำรีเลย์ ว่าสามารถที่จะรองรับน้ำหนักในการกระแทกได้สูงสุดเท่าใดจึงจะไม่แตกหัก

2.9.4 แหล่งจ่ายกำลังสำหรับรีเลย์

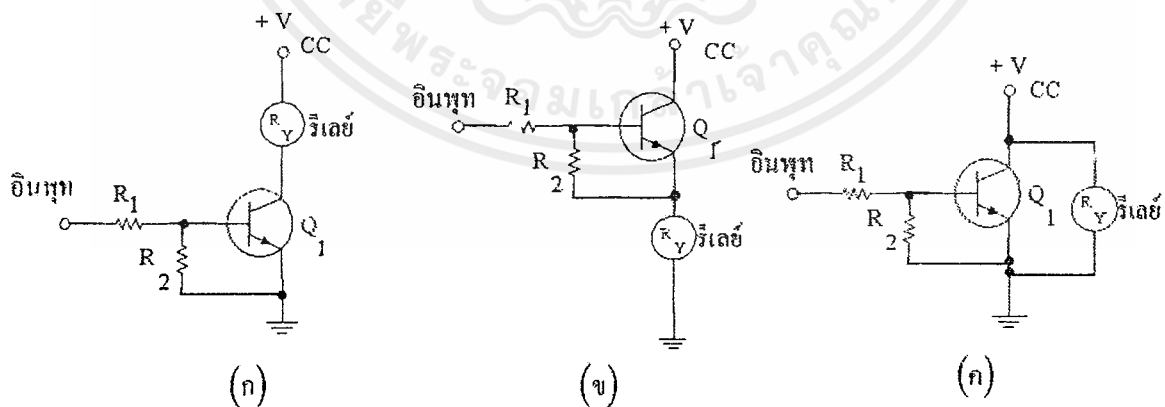
เนื่องจากวงจรขั้วรีเลย์มีมากมายหลายแบบ ซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามความต้องการใช้งาน ในรูปที่ 2.34 เป็นวงจรแหล่งจ่ายกำลังให้กับขดลวดรีเลย์ โดยคุณภาพหลัก ๆ แล้วจะขึ้นอยู่กับตัวเก็บประจุกรองแรงดัน ที่จำเป็นต้องมีค่าความจุที่สูง ๆ ไว้ก่อน และกระแสสำหรับขดลวดรีเลย์ก็ไม่ควรมากเกินไป โดยปกติแล้วค่าแรงดันรีเลย์เปิดสูงสุด (พิก-พิก) จะยอมรับได้ต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ของแรงดันไฟตรงทั้งหมด หรือต่ำกว่านี้

ในรูปที่ 2.35 แสดงวงจรพื้นฐานทั่วไปที่ใช้ขั้วรีเลย์ด้วยทรานซิสเตอร์สามแบบ ในรูปที่ 2.35 (ก) นั้นเป็นการต่อรีเลย์ทางขาคอลเลกเตอร์ และเป็นวงจรที่มีเสถียรภาพดีมาก ในรูปที่ 2.35 (ข) เป็นวงจรที่ไม่มี การรับรองคุณภาพในการทำงานมากนัก เมื่อเทียบกับวงจรอื่น ๆ เพราะจะต้องขึ้นอยู่กับกระแสเบสซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมได้ยาก ส่วนในรูปที่ 2.35 (ก) เป็นวงจรที่ต่อรีเลย์ขนานกับ ทรานซิสเตอร์ โดยรีเลย์จะทำงานตรงข้ามกับสัญญาณอินพุต แต่เนื่องจากวงจรขั้วรีเลย์เป็นอุปกรณ์จำพวก โวลติสแตต ในขณะที่รีเลย์ทำงาน ขดลวดรีเลย์ จะทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และอาจเกิดเป็นแรงดันชั่วขณะขึ้นมา ซึ่งแรงดันนี้อาจจะมีขนาดเป็นร้อยเท่าของแรงดันไฟเลี้ยง ข้อนกลับเข้าไปยังวงจรขั้วรีเลย์ ทำให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นวิธีการป้องกัน ก็ จะต้องต่อไดโอดเรกติไฟเออร์ขนานเข้าไปกับขดลวดรีเลย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.34 แหล่งจ่ายกำลังสำหรับรีเลย์

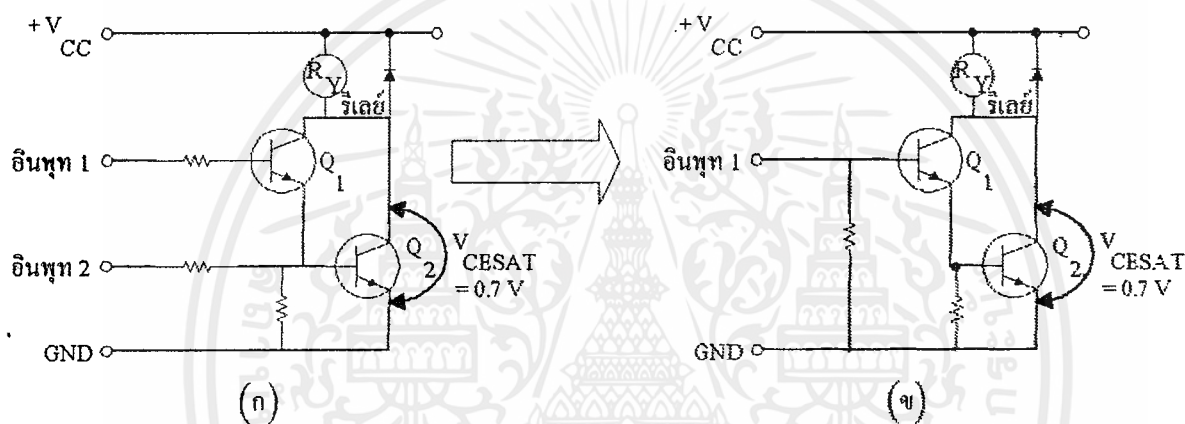


รูปที่ 2.35 แสดงวงจรขั้วรีเลย์แบบต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.5 ข้อพิจารณาของวงจรขั้วรีเลย์

การออกแบบวงจรขั้วรีเลย์ แบบวงจรขยายคาร์ลิงตันนั้น ส่วนมากจะต่อรีเลย์ไว้ที่ขา กอลเล็กเตอร์ร่วม ของคาร์ลิงตัน ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.36 (ก) โดยส่วนมากแล้ววงจรขั้วรีเลย์จะขับกระแสให้กับรีเลย์ ด้วยกระแสที่สูงมากกว่ากระแสขับปกติตามคุณสมบัติของอุปกรณ์ โซลิดสเตตนั้น ๆ ดังนั้นจึงทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขา กอลเล็กเตอร์-อีมีเตอร์รวม ในรูปที่ 2.36 (ก) เท่ากับ 0.7 โวลต์ ซึ่งเป็นแรงดันในจุดอิมิตัว ส่วนในรูปที่ 2.36 (ข) นั้นแรงดันตกคร่อมที่จุดทำงาน จะเท่ากับ 0.1 โวลต์ ความแตกต่างของแรงดันที่จุดอิมิตัวนี้ จะมีผลกระทบมากในวงจรที่มีแรงดันไฟเลี้ยงต่ำ เช่น ในวงจรที่ใช้แรงดัน 3 โวลต์ก็ชี้ หากต่อวงจรตามรูปที่ 2.36 (ก) รีเลย์อาจจะไม่ทำงานเลย



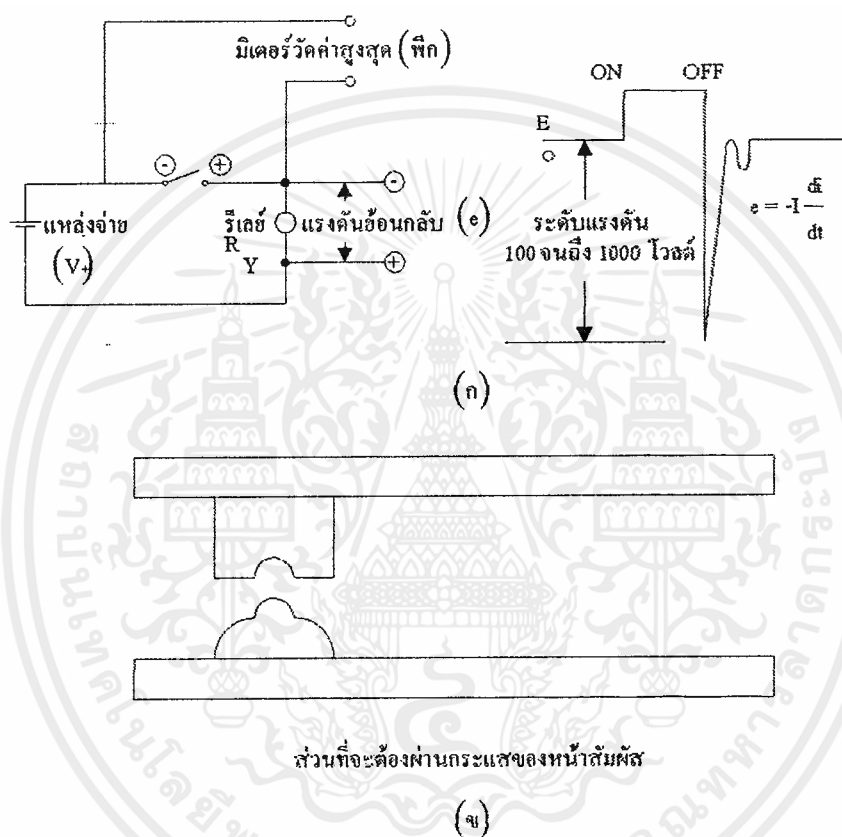
รูปที่ 2.36 วงจรขั้วรีเลย์แบบคาร์ลิงตัน

การเกิดแรงดันสนามแม่เหล็กย้อนกลับ เป็นแรงดันที่เกิดขึ้นจากการข้ามแรงดันไฟตรงให้กับขดลวดรีเลย์ ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้น เมื่อขณะที่รีเลย์หยุดทำงาน จะมีแรงดันย้อนกลับเข้าไปยังวงจรขับ เนื่องจาก การขุดตัวของเส้นแรงแรงแม่เหล็กไฟฟ้าของขดลวดรีเลย์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.37 (ก) ส่วนในรูปที่ 2.37 (ข) เป็นลักษณะของหน้าสัมผัสของรีเลย์ ที่ต้องเป็นทางผ่านของกระแสไฟฟ้า หรือที่ที่จะต้องสัมผัสกัน ซึ่งแรงดันย้อนกลับนี้จะมีขนาดแรงดันสูง ตั้งแต่ 100 ถึง 1,000 โวลต์ จึงอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่วงจรขับได้ หากไม่ทำการป้องกัน โดยการใส่ไดโอดคร่อมขดลวดรีเลย์ ในลักษณะรีเวอร์สกับขั้วของแรงดันไฟเลี้ยง ก็จะสามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้

ในการป้องกันแรงดันย้อนกลับจากหน้าสัมผัส ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.38 อันเป็นวงจรพื้นฐานที่ทันสมัย และมีให้เลือกใช้งานได้มากกว่า วงจรอนุกรม RC ในรูปที่ 2.38 (ก) และ (ข) จะอาศัยการชาร์จแรงดันย้อนกลับ จากขดลวดรีเลย์เข้ามาเก็บไว้ที่ตัวเก็บประจุแทนหลังจากหน้าสัมผัสเปิดออกแล้ว และแรงดันที่ชาร์จอยู่นี้ก็จะคายผ่านตัวต้านทานอย่างช้าๆ เมื่อหน้าสัมผัสตึงกันแล้ว ส่วนในรูปที่ 2.38 (ก) จะอาศัยได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอค มาทำหน้าที่ป้องกัน วงจรนี้กำลังงานจะสูญเสียไปในรูปของความร้อนที่เกิดจากความต้านทานของขดลวดทางไฟกระแสดตรง และกับไดโอด

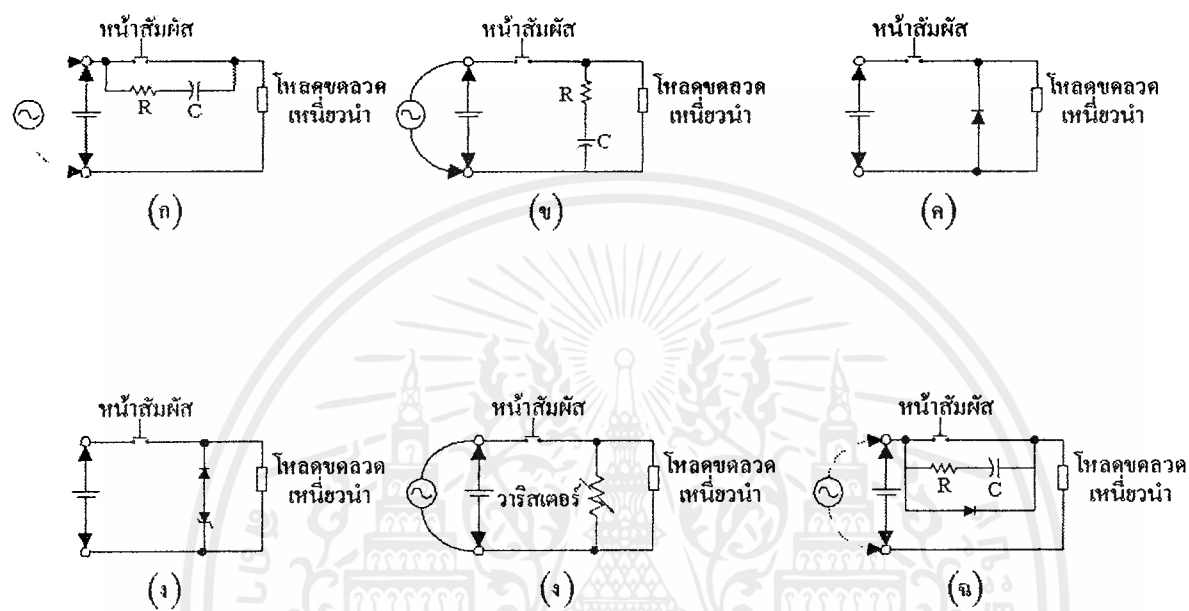


รูปที่ 2.37 ลักษณะการเกิดแรงดันย้อนกลับจากขดลวดรีเลย์

2.9.6 ช่วงเวลาเปิดหน้าสัมผัส

ปัญหาที่เกิดขึ้นกับวงจรป้องกันหน้าสัมผัสรีเลย์ในรูปที่ 2.38 (ก) ถึง (จ) นั้น จะเกิดจากเมื่อไหลตต้องหลุดจากหน้าสัมผัสของรีเลย์เป็นเวลาที่เพิ่มขึ้น ขณะที่รีเลย์หยุดหน้าสัมผัสแล้ว กล่าวคือ ถ้าหากไหลตเป็นอุปกรณ์จำพวกตัวเหนี่ยวนำ หรือ ขดลวดเหนี่ยวนำ ค่าเวลาจากกันของหน้าสัมผัสรีเลย์ก็จะยิ่งเพิ่มขึ้น และถ้าหากไหลตถึงกำลังงานผ่านหน้าสัมผัสรีเลย์มากเท่าใด เวลาจากกันของหน้าสัมผัสก็จะยิ่งเพิ่มขึ้นเนื่องจากกระแสปริมาณมากที่ไหลอย่างต่อเนื่อง และอาจจะเกิดการอาร์ก หรือกระโดดหากันของกระแสไฟที่หน้าสัมผัส ทำให้การจากกันของหน้าสัมผัสเป็นไปด้วยความลำบาก และต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น จากผลของการไหลของกระแสอย่างต่อเนื่อง ผ่านวงจรป้องกันการอาร์กจากหน้าสัมผัสถูกเปิดออกนี้ สามารถที่จะประยุกต์เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรขึ้นมาเป็นโวลตรองรับเพื่อแบ่งภาระของกระแสที่มากนี้ก่อนได้ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.38 (ฉ) เมื่อหน้าสัมผัสถูกเปิดออกจากวงจร กำลังงานของขดลวดรีเลย์ก็จะผ่านเข้ามาชาร์จที่ตัวเก็บประจุอย่างรวดเร็ว พร้อมกับคายประจุในลักษณะฟลิวเวอร์ด์ ผ่านตัวต้านทาน และไดโอดตามลำดับ



รูปที่ 2.38 วงจรป้องกันแรงดันย้อนกลับจากหน้าสัมผัสรีเลย์

บทที่ 3

วงจร และการออกแบบ

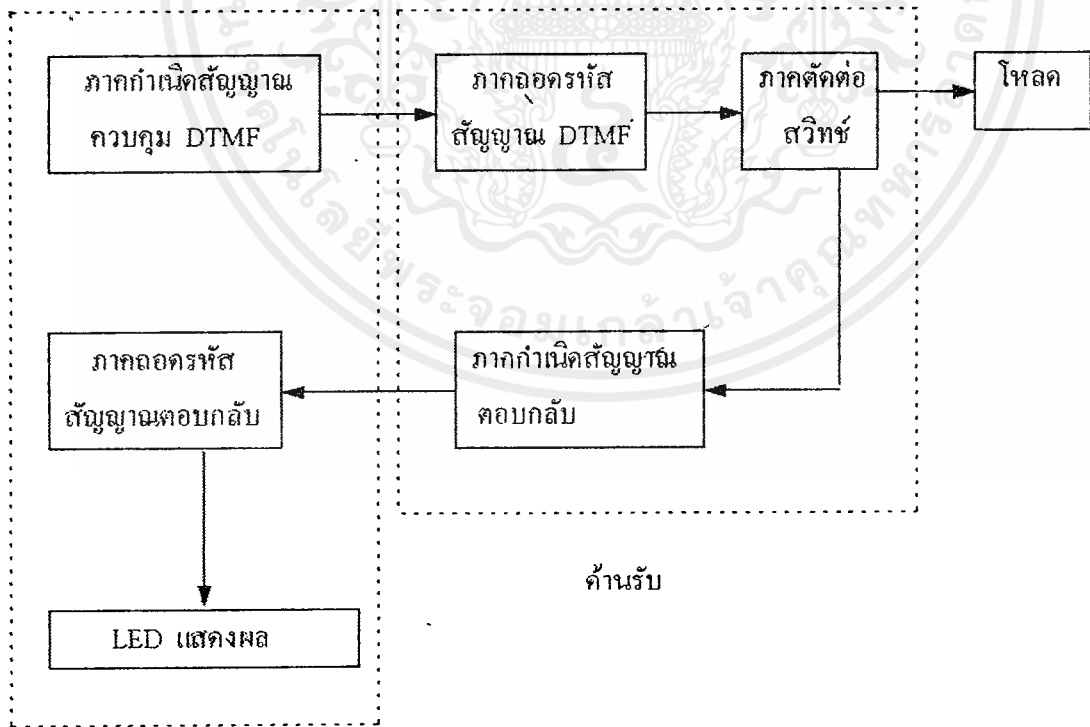
3.1 หลักการทำงานของวงจร

วงจรนี้ใช้หลักการเข้ารหัส DTMF เป็นสัญญาณควบคุมการ เปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ทำหน้าที่แทนเลขหมายที่ต้องการส่ง ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกสร้างจาก ภาคลผลิตสัญญาณควบคุม ที่อยู่ทางค้ำส่ง สัญญาณ DTMF จะถูกส่งไปตามสายนำสัญญาณ จากนั้นทางค้ำรับก็จะทำการแปลงสัญญาณ DTMF นี้ให้เป็นสัญญาณไบนารี BCD โดยภาคลอครหัสสัญญาณ ซึ่งสัญญาณ BCD นี้จะถูกลอครหัสอีกครั้งหนึ่ง เพื่อแยกไปควบคุมหลอดตามหมายเลขที่ส่งมา โดยภาคลตัดต่อสวิตซ์จะทำหน้าที่เปิดปิดวงจร หลอด

ในขณะที่ภาคลตัดต่อสวิตซ์กำลังทำงาน ก็จะมีสัญญาณตอบกลับ จากภาคลผลิตสัญญาณตอบกลับส่งย้อนกลับไปยังค้ำส่ง เพื่อยืนยันสถานะการทำงานของภาคลตัดต่อสวิตซ์ตามหมายเลขที่กำหนด โดยที่สัญญาณที่ส่งกลับไปในันก็เป็นสัญญาณ DTMF เช่นเดียวกัน

เมื่อสัญญาณตอบกลับเดินทางถึงค้ำส่งแล้ว ก็จะถูกนำไปลอครหัสเช่นกัน จากนั้นหมายเลขที่ได้จากการลอครหัส ก็จะถูกแสดงด้วย LED ที่ตำแหน่งต่าง ๆ

ผังการทำงานโดยสรุป เป็นดังนี้



ค้ำส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วงจร และการออกแบบ

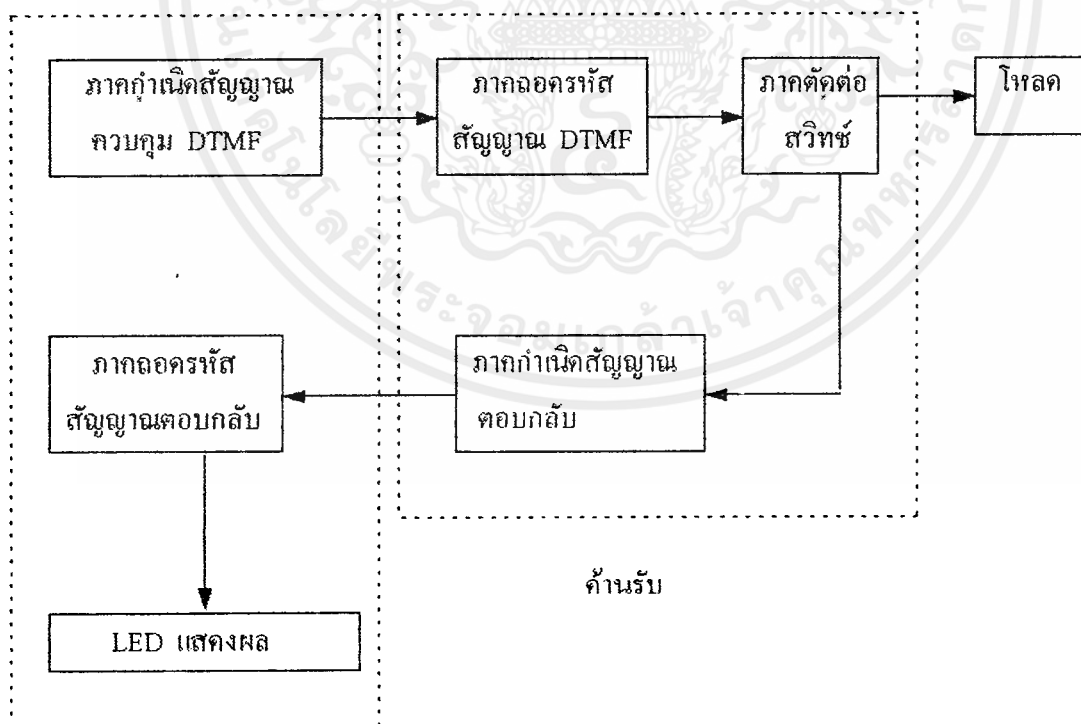
3.1 หลักการทำงานของวงจร

วงจรนี้ใช้หลักการเข้ารหัส DTMF เป็นสัญญาณควบคุมการ เปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ทำหน้าที่แทนเลขหมายที่ต้องการส่ง ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกสร้างจาก ภาคลิิตสัญญาณควบคุม ที่อยู่ทางค่านส่ง สัญญาณ DTMF จะถูกส่งไปตามสายนำสัญญาณ จากนั้นทางค่านรับก็จะทำการแปลงสัญญาณ DTMF นี้ให้เป็นสัญญาณไบนารี BCD โดยภาคลอครหัสสัญญาณ ซึ่งสัญญาณ BCD นี้จะถูกลอครหัสอีกครั้งหนึ่ง เพื่อแยกไปควบคุมหลอดตามหมายเลขที่ส่งมา โดยภาคตัดต่อสวิทช์จะทำหน้าที่เปิดปิดวงจรหลอด

ในขณะที่ภาคตัดต่อสวิทช์กำลังทำงาน ก็จะมีสัญญาณตอบกลับ จากภาคลิิตสัญญาณตอบกลับส่งย้อนกลับไปยังค่านส่ง เพื่อขึ้นชั้นสถานะการทำงานของภาคตัดต่อสวิทช์ตามหมายเลขที่กำหนด โดยที่สัญญาณที่ส่งกลับไปในั้นก็เป็นสัญญาณ DTMF เช่นเดียวกัน

เมื่อสัญญาณตอบกลับเดินทางมาถึงค่านส่งแล้ว ก็จะถูกนำไปลอครหัสเช่นกัน จากนั้นหมายเลขที่ได้จากการลอครหัส ก็จะถูกแสดงด้วย LED ที่ตำแหน่งต่างๆ

ผังการทำงานโดยสรุป เป็นดังนี้



ค่านส่ง

รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกการทำงานของวงจรควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วย DTMF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ภาควิชาเกิดสัญญาณควบคุม

ในส่วนของภาควิชาเกิดสัญญาณควบคุม และตอบกลับ จะมีลักษณะเหมือนกัน โดยทำหน้าที่ผลิตสัญญาณ DTMF ออกมาเหมือนกัน ในที่นี้ได้ใช้ไอซี UM 91210 C/D ซึ่งเป็นไอซีกำเนิดสัญญาณ DTMF สำเร็จรูป ทำให้ง่ายต่อการออกแบบวงจร ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสัญญาณ DTMF ตามเป็นหมายเลขที่กด โดยใช้วิธีการตรวจตำแหน่งแถว (Row) และ หลัก (Column)

โดยที่ ไอซี UM 91210 นี้ใช้คริสตอล 3.579 MHz ต่อเข้ากับขา OSC1 และ OSC2 ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ เพื่อนำไปใช้สร้างสัญญาณ DTMF หรือ พัลส์ที่ต้องการอีกทีหนึ่ง

ที่ขา HK นี้จะทำหน้าที่ตรวจสอบสถานะการขงูโทรศัพท์ หากมีการขงูโทรศัพท์ หรือมีการป้อนแรงดัน Vss ให้กับขา HK นี้จะทำให้ไอซีนี้ทำงาน

ขา M/B เป็นขาที่ทำหน้าที่กำหนดอัตราส่วน make/break ของสัญญาณโดยที่ถ้าป้อนแรงดัน VDD ให้กับขา HK นี้ก็จะได้อัตราส่วน 33.3/66.6 ถ้าป้อนแรงดัน Vss ให้กับขา HK นี้ก็จะได้อัตราส่วน 40/60

ขา MODE SELECT เป็นขาที่ทำหน้าที่เลือกสัญญาณเอาต์พุต ที่ต้องการว่าจะให้เป็น DTMF หรือ เป็นพัลส์ โดยที่ถ้าป้อนแรงดัน Vss ให้กับขา HK นี้ก็จะเป็นการเลือกเอาต์พุตเป็น DTMF

ขา TONE เป็นขาเอาต์พุตที่ส่งสัญญาณ DTMF

ขา DP เป็นขาเอาต์พุตที่ส่งสัญญาณพัลส์ โดยที่ถ้าเลือกให้ผลิตสัญญาณเอาต์พุตเป็น DTMF แล้วจะไม่มีการส่งสัญญาณเอาต์พุตออกที่ขา DP

สัญญาณ DTMF ที่ได้จะถูกส่งผ่านวงจร กรองผ่านต่ำ ไปยังภาคถอดรหัสสัญญาณควบคุม

3.3 ภาคถอดรหัสสัญญาณควบคุม

ในส่วนของภาคถอดรหัสนี้ก็เช่นเดียวกับภาควิชาเกิดสัญญาณ คือ มีลักษณะเหมือนกันทั้งภาคถอดรหัสสัญญาณควบคุม และภาคถอดรหัสสัญญาณตอบกลับ

การถอดรหัส DTMF จะใช้ไอซี MT 8870 เป็นตัวทำหน้าที่ถอดรหัส โดยสัญญาณ DTMF ที่ถูกส่งมาจากภาควิชาเกิดสัญญาณควบคุมจะถูกขับปล้งผ่าน C1 ไปยังไอซีถอดรหัส ซึ่งจะทำการแปลงสัญญาณ DTMF ให้เป็นรหัสไบนารี 4 บิต ออกมาทางขา Q1 ,Q2 ,Q3 และ Q4 โดยที่ Q1 เป็นตำแหน่งบิตสูงสุด และ Q4 เป็นตำแหน่งบิตต่ำสุด จากนั้นรหัสไบนารี 4 บิต ก็จะถูกส่งต่อไปยังไอซีเบอร์ 74154 ซึ่งเป็นไอซีถอดรหัส เข้า 4 ออก 16 รหัสไบนารีจะถูกแปลงเป็นหมายเลขต่าง ๆ แล้วแสดงผลออกทางขาหมายเลขนั้นเป็นลอจิกค่า ซึ่งจะถูกใช้เป็นสัญญาณนาฬิกา (CLK) ป้อนให้กับภาคติดต่อสวิตช์

ในส่วนของ ไอซี MT 8870 นี้ จะใช้คริสตอล 3.579 MHz ต่อเข้ากับขา OSC ทั้ง 2ขา ของไอซีซึ่งภายในจะเป็น NOT เกท ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสัญญาณอ้างอิงภายในไอซีเพื่อใช้ถอดรหัสความถี่ DTMF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวต้านทาน R1 และ R2 ทำหน้าที่กำหนดอัตราขยายของ ภาขยายสัญญาณความแตกต่างภายในไอซีตามสูตร

$$A_v = R_2 / R_1$$

ในขณะที่มีสัญญาณ DTMF เข้ามายังไอซี 8870 ขา EST จะเป็นลอจิกสูงนานใกล้เคียงกับระยะเวลาที่สัญญาณ DTMF ปรากฏ ทำให้ V_c สูงขึ้น ตัวเก็บประจุ C2 จะทำการคายประจุทำให้แรงดันคร่อม R3 สูงขึ้นจนถึงค่าเทรชโฮลด์ เมื่อขา ST/GT ได้รับแรงดัน ในระดับนี้ก็จะทำการถอดรหัส DTMF ให้ แต่ถ้ากบเวลาที่ปรากฏของสัญญาณ อินพุตมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ก็จะไม่ทำการถอดรหัสสัญญาณอินพุตให้ ทั้งนี้เพื่อป้องกันสัญญาณแปลกปลอมที่ปรากฏขึ้นเป็นช่วงสั้น ๆ ส่วนที่ขา TOE จะเป็นตัวกำหนดบัพเฟอร์เอาต์พุตของไอซี 8870 ว่าจะให้ส่งสัญญาณไบนาเรียออกไป โดยการป้อนลอจิกสูงให้ TOE หรือให้เป็นไฮอิมพีแดนซ์ โดยการป้อนลอจิกต่ำ

ขาเอาต์พุตของ ไอซี 74154 มีทั้งหมด 16 ขา แต่จะใช้งานเพียง 12 ขา ตามจำนวนของแป้นสวิตช์ และใน 12 ขา นี้จะนำไปใช้ควบคุมหลอด เพียง 9 ขา ส่วนอีก 3 ขา จะใช้แทน *, # และหมายเลขศูนย์ของแป้นสวิตช์ ซึ่งทั้ง 3 ปุ่มนี้จะใช้เป็นตัวสั่งให้หลอดทำงาน หรือหยุดการทำงาน และรีเซ็ตการทำงานของหลอดทุกตัวให้หยุดการทำงาน โดยที่ * เป็นตัวสั่งให้หลอดทำงาน , # เป็นตัวสั่งให้หลอดหยุดการทำงาน และหมายเลข ศูนย์เป็นคำสั่งรีเซ็ต ซึ่ง * และ # ต้องทำงานร่วมกับหมายเลข 1-9 โดยกดก่อนที่จะกดตัวเลขหมายที่ต้องการ เช่น ต้องการให้หมายเลข 5 ทำงาน ก็ให้กด * แล้วตามด้วย 5 เป็นต้น โดยการำงานของทั้ง 3 ปุ่มนี้ จะใช้สัญญาณที่ได้จากไอซี 74154 ที่เอาต์พุต 10, 11 และ 12 นำมาผ่านชุดวงจรเกต AND, OR และ NOT ผลที่ได้จะนำไปควบคุมขา J และ K (ซึ่งจะให้ผลเป็นลอจิกที่ตรงกันข้าม) ของฟลิปฟล็อปที่ภาคติดต่อสวิตช์

3.4 ภาคขั้วรีเลย์

ที่ภาคนี้จะประกอบด้วยส่วนสำคัญคือ ชุดของฟลิปฟล็อป ,รีเลย์ และ ทรานซิสเตอร์ โดยทำหน้าที่ติดต่อสวิตช์ของหลอดแต่ละตัว

อันดับแรกเมื่อมีสัญญาณจากชุดวงจรเกตมาควบคุมขา J และ K ให้ J เป็นลอจิกต่ำ และ K เป็นลอจิกสูง แล้ว (คือมีการกดปุ่ม *) และมีสัญญาณนาฬิกาที่ส่งมาจากไอซี 74154 ถึงขั้ว CLK ของฟลิปฟล็อป ตัวที่ต้องการ ก็จะทำให้ขา Q มีสถานะเป็นลอจิกสูง จึงส่งผลให้ทรานซิสเตอร์ได้รับการไบอัสแรงให้ทำงานได้ ซึ่งทรานซิสเตอร์นี้จะทำหน้าที่เป็นตัวขับรีเลย์อีกทีหนึ่ง ดังนั้นรีเลย์ก็จะทำงานได้ ในที่นี้ใช้รีเลย์ 2 หน้าสัมผัส โดยเมื่อรีเลย์ทำงานแล้ว หน้าสัมผัสหนึ่งจะทำหน้าที่เป็นสวิตช์ต่อไฟ เอซี 220 โวลต์ ผ่านปลั๊ก ไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการให้ทำงาน ส่วนอีกหน้าสัมผัสหนึ่งนั้นจะทำหน้าที่เป็นทางผ่านของสัญญาณพัลส์โมโนสเตเบิลที่สร้างจาก ไอซี 4528 ไปยัง OR เกตเพื่อทำการควบคุมสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์อีกที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่ง ในสถานะที่ J และ K มีสถานะลอจิกตรงข้ามกับข้างต้น (คือทำการกดปุ่ม #) ก็จะให้ผลกลับกันคือ รีเลย์หยุดทำงาน และอุปกรณ์ไฟฟ้าในหมายเลขนั้นก็จะหยุดการทำงาน

ในส่วนของไอซีโมโนสเตเบิลนั้น จะรับสัญญาณทริกซึ่งก็คือสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้กับฟลิปฟล็อปนั่นเอง เมื่อมีสัญญาณทริกเข้ามาก็จะทำการผลิตสัญญาณพัลส์โมโนสเตเบิลออกมา (โดยที่คาบเวลาของพัลส์นี้กำหนดได้จากค่า RC ที่ต่ออยู่ภายนอกซึ่งแสดงเป็นกราฟไว้ในภาคผนวก) ในสถานะที่รีเลย์ทำงาน ที่ ฟลิปฟล็อป $Q=1, \overline{Q}=0$ ที่โมโนสเตเบิล $Q=1$ ที่ AND เกทรับ Q ของฟลิปฟล็อป และ Q ของโมโนสเตเบิล ดังนั้นในสถานะนี้ AND เกทจะให้เอาต์พุตเป็น 0 สัญญาณโมโนสเตเบิลส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกไปยัง OR เกท โดยผ่านหน้าสัมผัสของรีเลย์ ทำให้ OR เกทให้เอาต์พุตเป็น 1 ในสถานะที่รีเลย์ไม่ทำงาน ที่ฟลิปฟล็อป $Q=0, \overline{Q}=1$ ส่งออกไปยัง AND เกท ซึ่งจะรอสถานะลอจิกสูงที่ส่งมาจากไอซีโมโนสเตเบิล ทำให้เอาต์พุต AND เกทเป็นลอจิกสูงซึ่งก็จะถูกส่งไปยัง OR เกทอีกทีหนึ่งเพื่อนำไปใช้ควบคุมสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์

3.5 ภาคผลิตสัญญาณตอบกลับ

ในส่วนนี้จะคล้ายกับภาคผลิตสัญญาณควบคุม แต่จะไม่เป็นสวิทช์ โดยที่หมายเลข 1-9 จะใช้ทรานซิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์ ส่วน 0, *, # จะใช้วงจรโมโนสเตเบิล เป็นตัวควบคุมสวิทช์ทรานซิสเตอร์อีกทีหนึ่ง โดยที่ทุกหมายเลขมีหน้าที่การทำงานเหมือนภาคกำเนิดสัญญาณควบคุม มีการทำงานดังนี้

สัญญาณ หมายเลข 0, * และ # จะถูกส่งมาจากไอซีลอจิสต์ เข้า 4 ออก 16 ไปยังอินพุตของโมโนสเตเบิลแต่ละตัว โดย 0 มาจากตำแหน่ง 10 (ขา 11) , * มาจากตำแหน่ง 11 (ขา 12) และ # มาจากตำแหน่ง 12 (ขา 13) ซึ่งทั้ง 3 สัญญาณนี้จะใช้เป็นสัญญาณทริกให้วงจรโมโนสเตเบิล สร้างพัลส์โมโนสเตเบิล ไปควบคุมการทำงานของสวิทช์ทรานซิสเตอร์ แทนการกดปุ่ม โดยที่ทั้ง 3 หมายเลขนี้เป็นสัญญาณสำคัญที่ใช้ รีเซต ,เปิด และปิด ซึ่งได้มาจากไอซี 74154 โดยตรง ดังนั้นจึงต้องมีการสร้างพัลส์โมโนสเตเบิลขึ้นมาเพื่อหน่วงเวลารอให้สัญญาณควบคุมสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์หมายเลข 1-9 มาถึงในจังหวะที่สัมพันธ์กันพอดี

สัญญาณหมายเลข 1-9 ที่นำมาใช้ควบคุมสวิทช์ทรานซิสเตอร์ได้มาจาก เอาต์พุตของ OR เกทที่ต่อจากภาคขับรีเลย์ หากเป็นลอจิก 1 ก็จะเหมือนการกดปุ่มหมายเลขนั้นๆ นั่นคือทรานซิสเตอร์จะทำงาน

เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานก็จะมีกระแสไหลผ่าน ในแถวของ Row และ Colum ที่ชี้ตำแหน่งหมายเลขนั้น ไอซีก็จะทำการผลิตสัญญาณ DTMF ของหมายเลขนั้นออกไป ซึ่งเป็นคู่ความถี่เดียวกันกับที่ส่งมาควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า

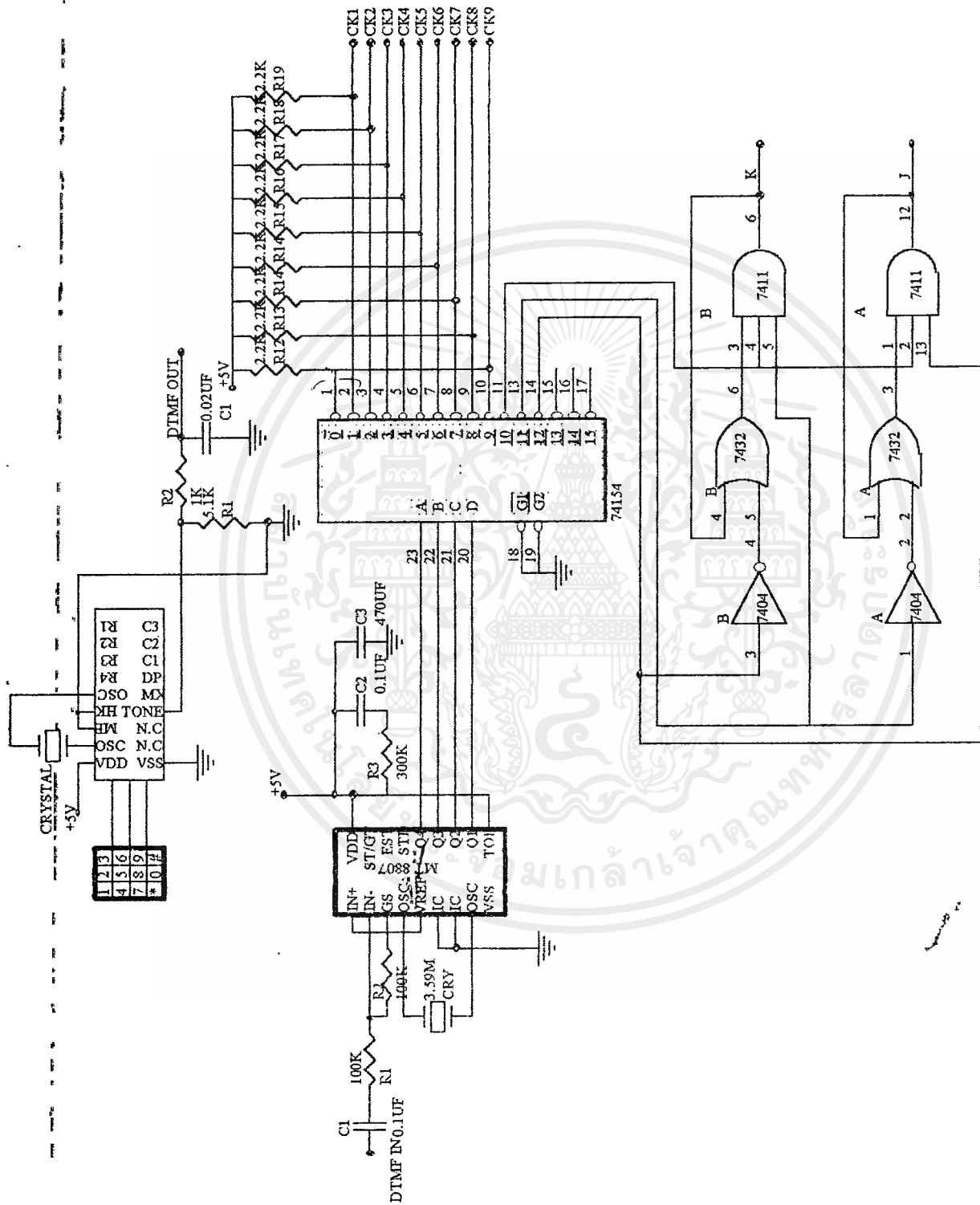
3.6 ภาคแสดงผล

ในภาคนี้ก็มีการทำงานคล้ายกันกับภาคขั้วรีเลย์ เพียงแต่ไม่มีวงจรขั้วรีเลย์ โดยที่สัญญาณตอบกลับจะถูกส่งมายังด้านส่งสัญญาณควบคุม แล้วถอดรหัสด้วยไอซี MT 8870 อีกเช่นกัน แล้วส่งต่อไปยังไอซี 74154 เพื่อแยกไปยังแต่ละหมายเลข หมายเลข 0,* และ# จะถูกส่งไปใช้ควบคุม ขา K และ J ของฟลิปฟล็อป เลข 1-9 จะส่งต่อไปยังฟลิปฟล็อปแต่ละตัว ผลจากฟลิปฟล็อปจะถูกนำไปแสดงผลด้วย LED ที่ต่อเข้ากับขา Q ของฟลิปฟล็อป ตามตำแหน่งที่ได้รับการถอดรหัส

3.6 ภาครีเซต

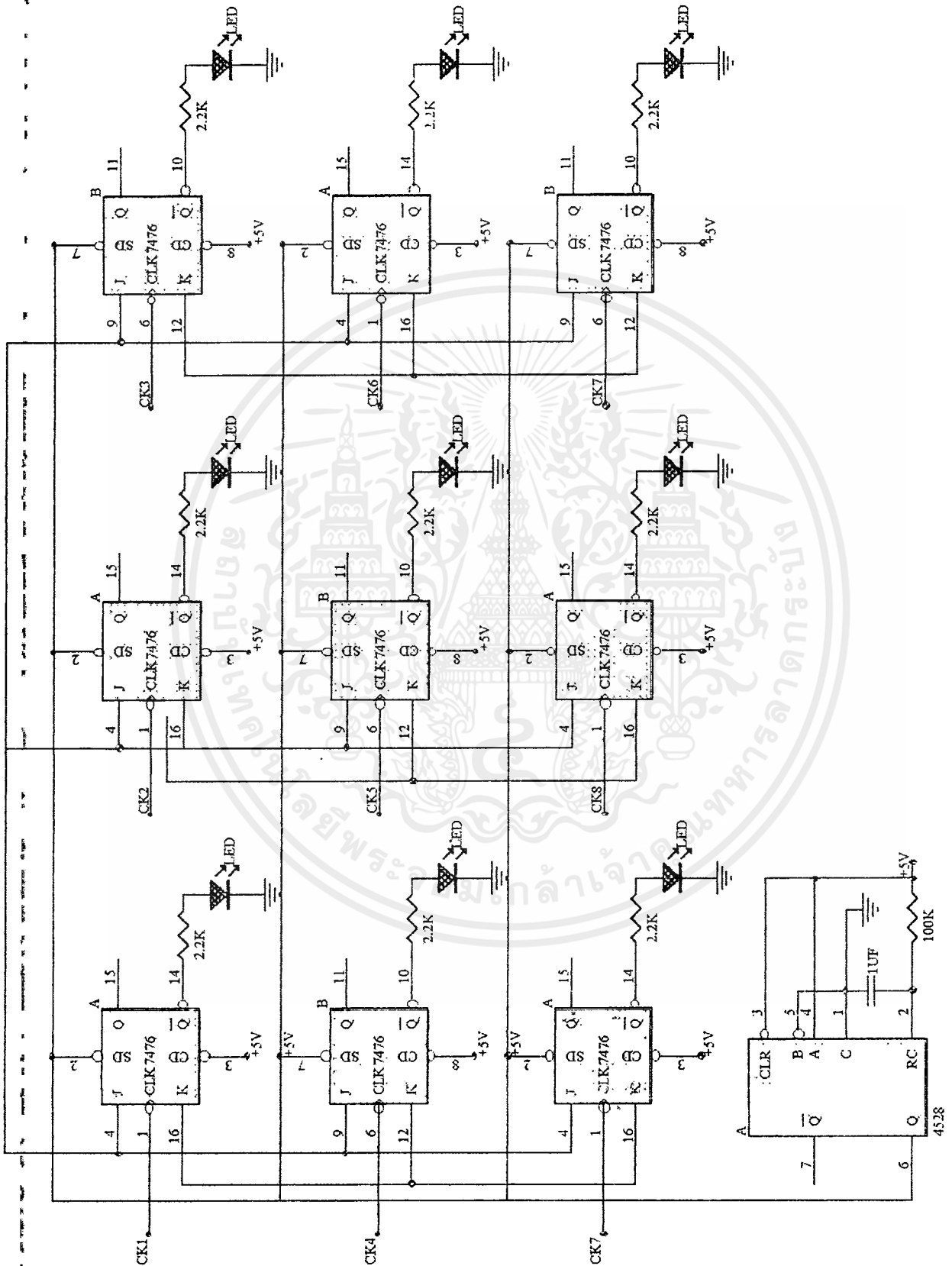
ในส่วนของภาคตัดต่อสวิทช์นั้น จะใช้ฟลิปฟล็อปเป็นตัวเก็บสถานะเปิดปิดของอุปกรณ์โหลด ซึ่งโดยปกติแล้ว เมื่อเริ่มเปิดเครื่อง เราไม่อาจคาดคะเนได้ว่าสถานะเริ่มต้นของ ฟลิปฟล็อป นั้นเป็นสถานะใด อาจเป็นลอจิกต่ำ หรือ สูง ก็ได้ ดังนั้นเพื่อให้การทำงานของวงจรควบคุมถูกต้อง จึงต้องมีภาครีเซตมาควบคุมฟลิปฟล็อป ในสถานะเริ่มต้นให้มีค่าเป็นลอจิกต่ำ

ในที่นี้ได้ใช้ไอซีเบอร์ 4528 ซึ่งเป็นไอซีโมโนสเตเบิลมาทำหน้าที่เป็นวงจรรีเซต โดยในสถานะที่เริ่มเปิดเครื่อง จะมีการสร้างพัลส์ช่วงสั้น ๆ ขึ้นมา แล้วส่งต่อไปยังขา SD ของฟลิปฟล็อปทุกตัว ก็จะทำให้ฟลิปฟล็อปถูกรีเซต สถานะเอาต์พุต



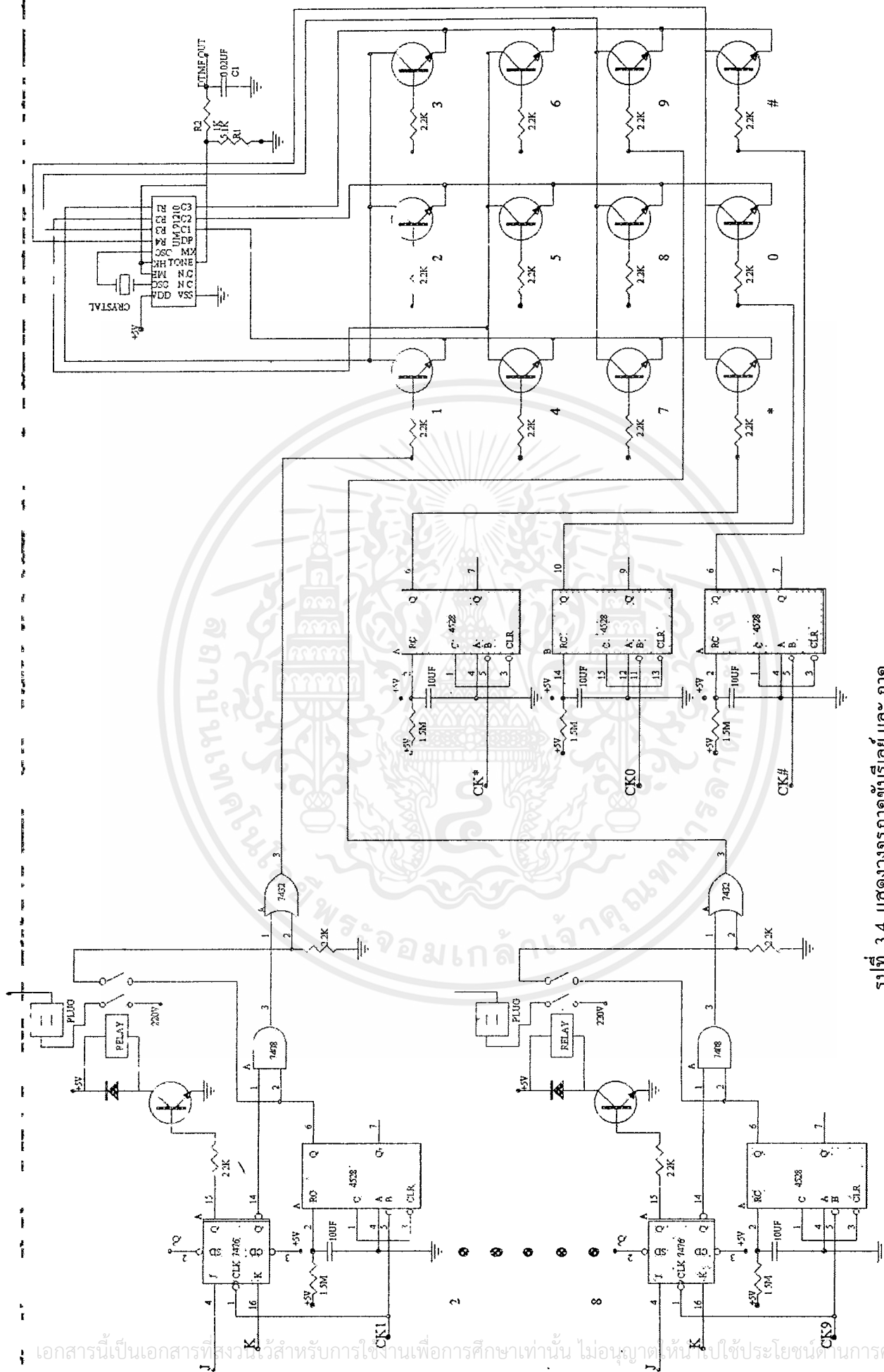
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรภาคกำเนิดสัญญาณควบคุม
และภาคถอดรหัสสัญญาณตอบกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรภาคแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรภาคขั้วรีเลย์ และ ภาค

ผลิตสัญญาณตอบกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองที่ 1. ตรวจสอบสัญญาณตอบกลับ

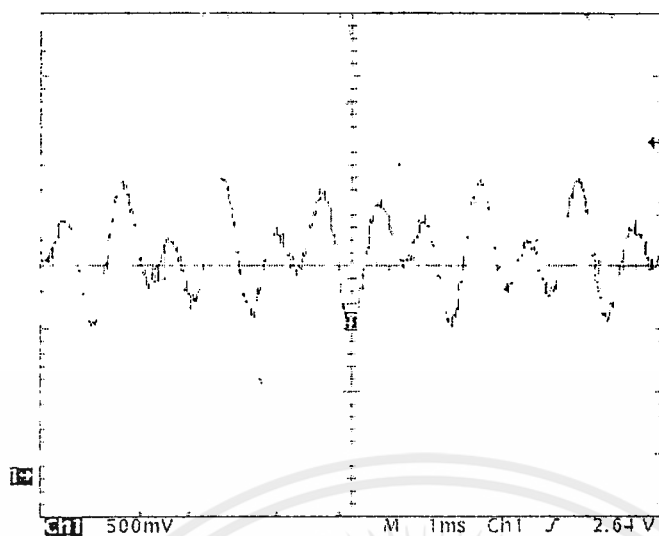
วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบรูปสัญญาณตอบกลับ

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อชุดสั่งงานเข้ากับชุดตอบกลับ
2. ต่อสตอเรจโคปวักสัญญาณ DTMF จากขา TONE OUT ของไอซีกำเนิดสัญญาณตอบกลับ
3. เริ่มการทำงาน กดปุ่ม * เป็นคำสั่งอนุญาตให้วงจรทำงานได้
4. กดปุ่มหมายเลข 1 ที่เป็นหมายเลข
5. ทำการบันทึกสัญญาณที่วัดได้
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อที่ 3 ใหม่อีกครั้งโดยเปลี่ยนเลขหมายไปเรื่อย ๆ

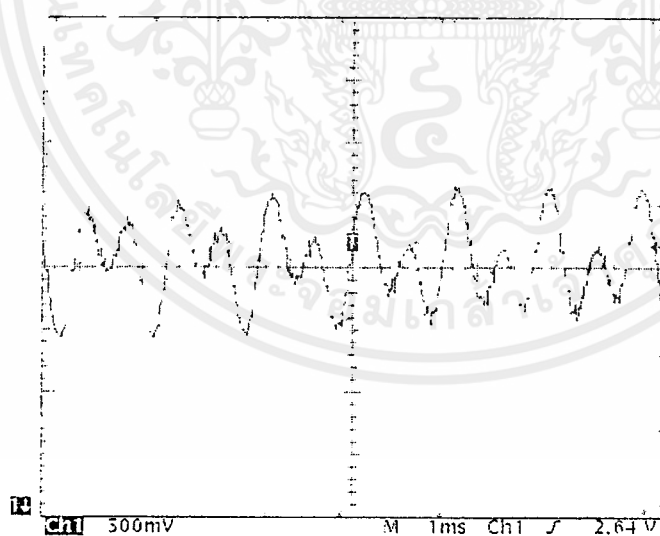
ผลการทดลอง



รูปสัญญาณ DTMF แทนหมายเลข 1

ระดับแรงดัน 500 mV

องค์ประกอบสัญญาณ	ความถี่ต่ำ	694.4 Hz
	ความถี่สูง	1200.0 Hz

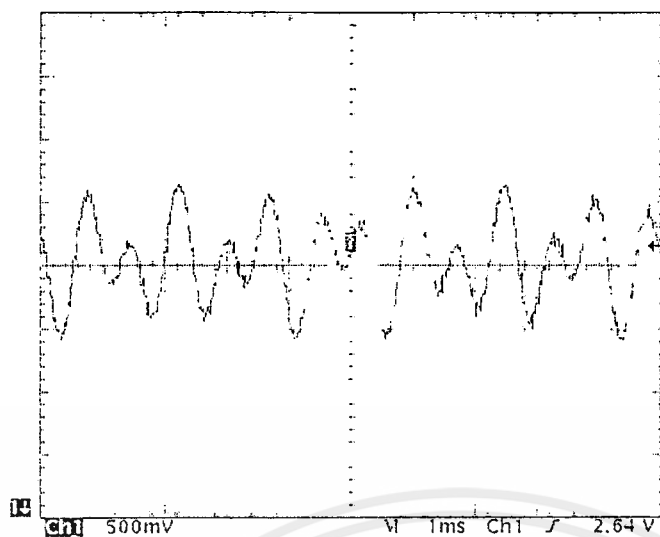


รูปสัญญาณ DTMF แทนหมายเลข 2

ระดับแรงดัน 500 mV

องค์ประกอบสัญญาณ	ความถี่ต่ำ	694.4 Hz
	ความถี่สูง	1316.0 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

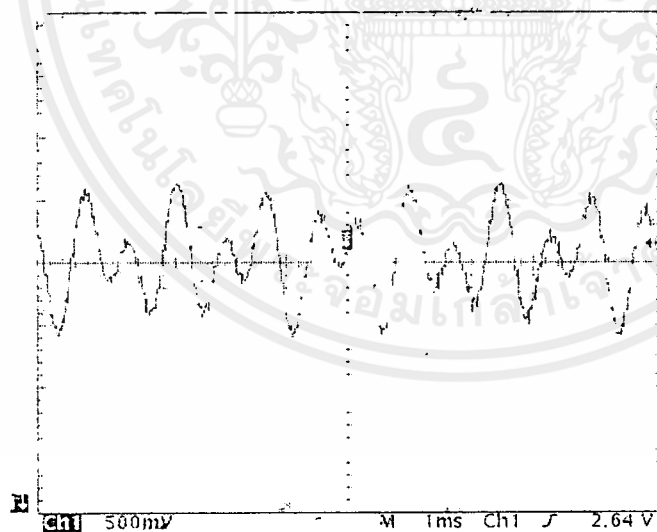


รูปสัญญาณ DTMF แทนหมายเลข 5

ระดับแรงดัน 500 mV

องค์ประกอบสัญญาณ ความถี่ต่ำ 766.6 Hz

ความถี่สูง 1316.0 Hz



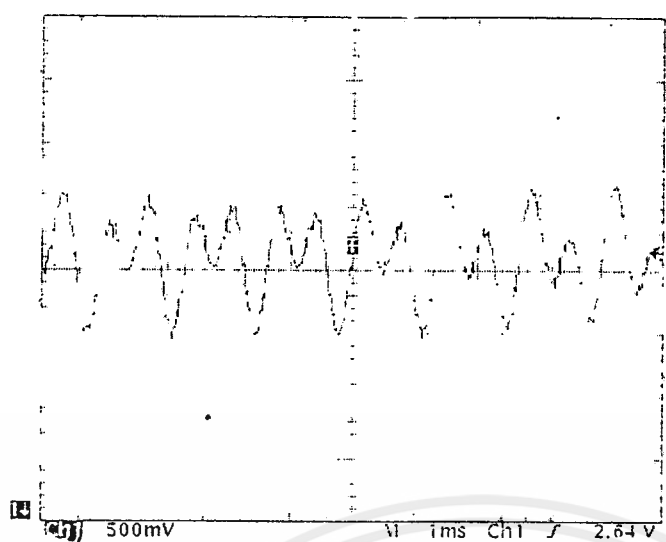
รูปสัญญาณ DTMF แทนหมายเลข 6

ระดับแรงดัน 500 mV

องค์ประกอบสัญญาณ ความถี่ต่ำ 766.6 Hz

ความถี่สูง 1471.0 Hz

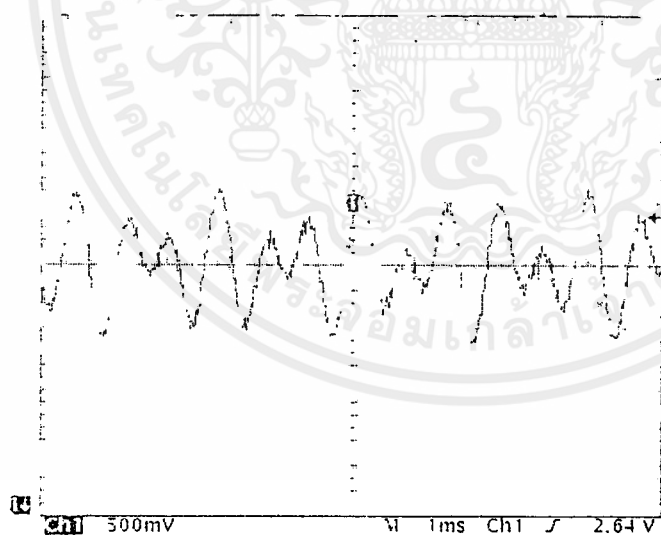
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปสัญญาณ DTMF แทนหมายเลข 7

ระดับแรงดัน 500 mV

องค์ประกอบสัญญาณ	ความถี่ต่ำ	862.1 Hz
	ความถี่สูง	1200.0 Hz

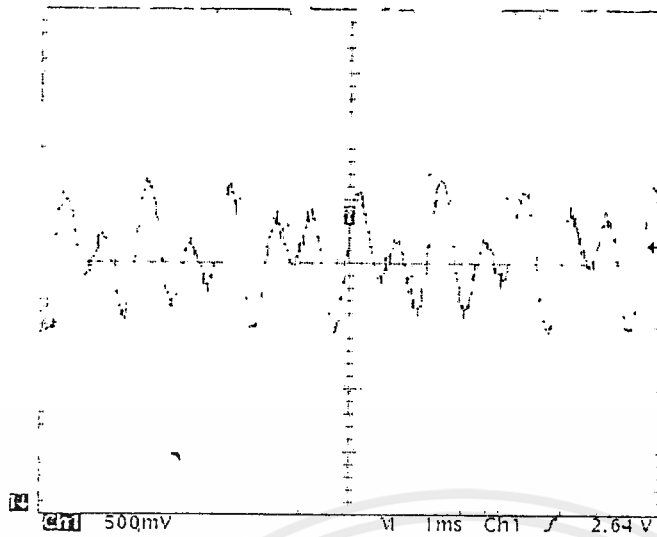


รูปสัญญาณ DTMF แทนหมายเลข 8

ระดับแรงดัน 500 mV

องค์ประกอบสัญญาณ	ความถี่ต่ำ	862.1 Hz
	ความถี่สูง	1316.0 Hz

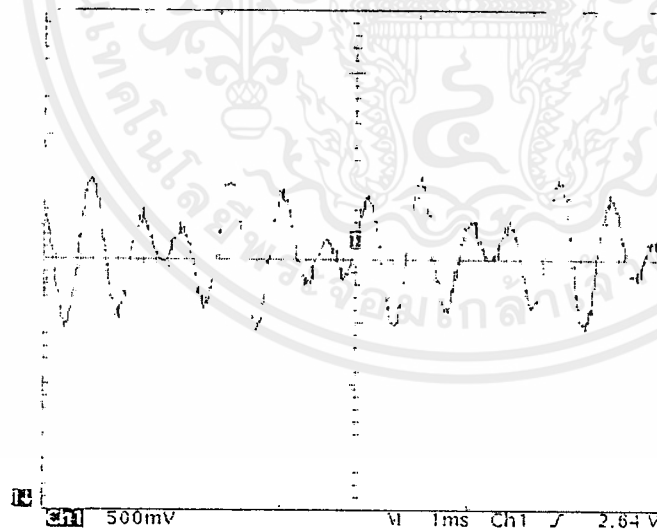
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปสัญญาณ DTMF แทนหมายเลข 9

ระดับแรงดัน 500 mV

องค์ประกอบสัญญาณ	ความถี่ต่ำ	862.1 Hz
	ความถี่สูง	1471.0 Hz

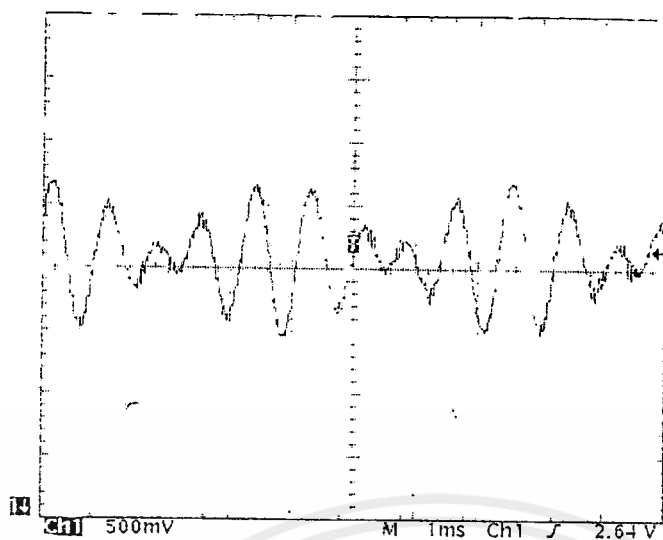


รูปสัญญาณ DTMF แทนหมายเลข 0

ระดับแรงดัน 500 mV

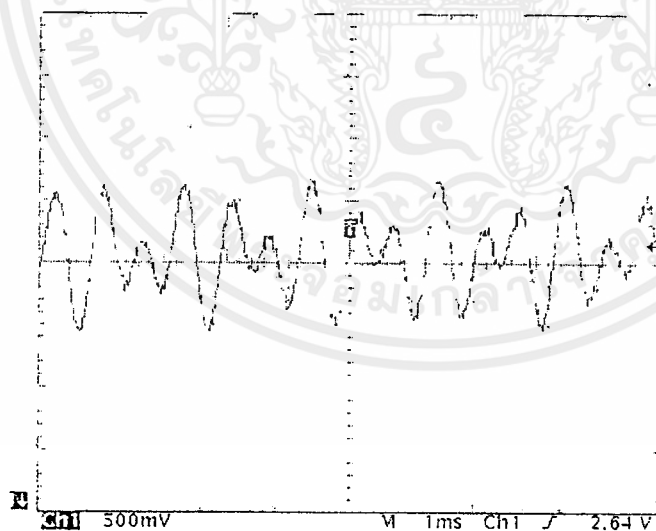
องค์ประกอบสัญญาณ	ความถี่ต่ำ	930.5 Hz
	ความถี่สูง	1316.0 Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปสัญญาณ DTMF แทนหมายเลข *

ระดับแรงดัน	500	mV	
องค์ประกอบสัญญาณ	ความถี่ต่ำ	930.5	Hz
	ความถี่สูง	1200.0	Hz



รูปสัญญาณ DTMF แทนหมายเลข #

ระดับแรงดัน	500	mV	
องค์ประกอบสัญญาณ	ความถี่ต่ำ	930.5	Hz
	ความถี่สูง	1471.0	Hz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2. ทดสอบการทำงานของวงจรทรานซิสเตอร์หัดสัญญาณตอบกลับ

วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของวงจรตอบกลับ

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อชุดสัญญาณเข้ากับชุดตอบกลับ
2. เริ่มการทำงาน กดปุ่ม * เป็นคำสั่งอนุญาตให้วงจรทำงานได้
3. กดปุ่มหมายเลข 1 สังเกต LED ตำแหน่งที่ 1 ว่าสว่างหรือไม่ บันทึกผล
4. กดปุ่ม # เป็นคำสั่งให้วงจรหยุดการทำงาน
5. กดปุ่มหมายเลข 1 อีกครั้ง สังเกต การเปลี่ยนแปลงของ LED ตำแหน่งที่ 1 บันทึกผล
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 2 ถึง 5 ซ้ำอีกครั้ง โดยเปลี่ยนหมายเลขที่กดเป็นหมายเลขต่าง ๆ ตามต้องการ (2-9) สังเกต และบันทึกผล

ผลการทดลอง

	หมายเลข								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
สถานะเริ่มต้นการทำงาน LED	0	0	0	0	0	0	0	0	0
เมื่อกดปุ่ม * แล้ว ปุ่มที่กด LED	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1	1 1
เมื่อกดปุ่ม # แล้ว ปุ่มที่กด LED	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0	1 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองที่ 2. ทดสอบการทำงานของชุดควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วย DTMF

วัตถุประสงค์

เพื่อตรวจสอบการทำงานของชุดควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วย DTMF

ขั้นตอนการทดลอง

1. ต่อโหลดเข้ากับภาคเอาต์พุตของชุดควบคุม
2. เริ่มต้นการทำงาน กดปุ่ม * เป็นคำสั่งอนุญาตให้ชุดควบคุมเริ่มการทำงานได้
3. กดปุ่มหมายเลข 1 สังเกตที่โหลดตัวแรกว่าเริ่มการทำงานหรือไม่ บันทึกผล
4. กดปุ่ม # เป็นคำสั่งหยุดการทำงานของโหลดหมายเลขที่ต้องการ
5. กดปุ่มหมายเลข 1 สังเกตที่โหลดตัวแรกว่ามีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรหรือไม่ บันทึกผล
6. ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อที่ 2 - 5 ซ้ำอีกครั้ง โดยเปลี่ยนเป็นหมายเลขต่าง ๆ ตามที่ต้องการ (2 - 9) สังเกต และบันทึกผล

ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



กดคีย์ตัวที่หมายเลข 1



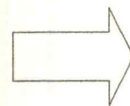
กดคีย์ตัวที่หมายเลข 2



กดคีย์ตัวที่หมายเลข 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#



LOAD ตัวที่ 4 สว่าง

1	2	3
4	5	6
7	8	9

กดคีย์ตัวที่หมายเลข 4

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#

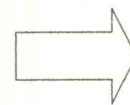
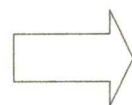


LOAD ตัวที่ 5 สว่าง

1	2	3
4	5	6
7	8	9

กดคีย์ตัวที่หมายเลข 5

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#



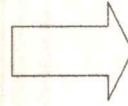
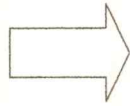
LOAD ตัวที่ 6 สว่าง

1	2	3
4	5	6
7	8	9

กดคีย์ตัวที่หมายเลข 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#



LOAD ตัวที่ 7 สว่าง

1	2	3
4	5	6
7	8	9

กดคีย์สวิตช์หมายเลข 7

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#

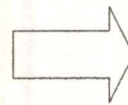
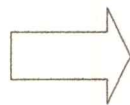


LOAD ตัวที่ 8 สว่าง

1	2	3
4	5	6
7	8	9

กดคีย์สวิตช์หมายเลข 8

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#



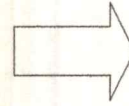
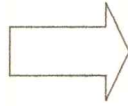
LOAD ตัวที่ 9 สว่าง

1	2	3
4	5	6
7	8	9

กดคีย์สวิตช์หมายเลข 9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#

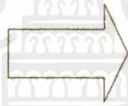


LOAD ตัวที่ 9 ดับ

1	2	3
4	5	6
7	8	9

กดคีย์สวิตช์หมายเลข 9 อีกครั้ง

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#

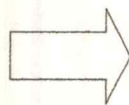
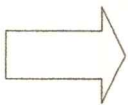


LOAD ตัวที่ 8 ดับ

1	2	3
4	5	6
7	8	9

กดคีย์สวิตช์หมายเลข 8 อีกครั้ง

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#



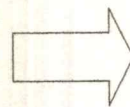
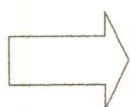
LOAD ตัวที่ 7 ดับ

1	2	3
4	5	6
7	8	9

กดคีย์สวิตช์หมายเลข 7 อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#



LOAD ตัวที่ 6 ดับ

1	2	3
4	5	6
7	8	9

กดคีย์สวิตช์หมายเลข 6 อีกครั้ง

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#

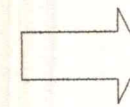
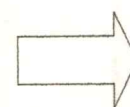


LOAD ตัวที่ 5 ดับ

1	2	3
4	5	6
7	8	9

กดคีย์สวิตช์หมายเลข 5 อีกครั้ง

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#



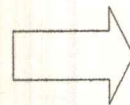
LOAD ตัวที่ 4 ดับ

1	2	3
4	5	6
7	8	9

กดคีย์สวิตช์หมายเลข 4 อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#



LOAD ตัวที่ 3 ดับ

1	2	3
4	5	6
7	8	9

กดคีย์สวิตช์หมายเลข 3 อีกครั้ง

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#

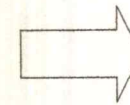
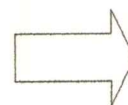


LOAD ตัวที่ 2 ดับ

1	2	3
4	5	6
7	8	9

กดคีย์สวิตช์หมายเลข 2 อีกครั้ง

1	2	3
4	5	6
7	8	9
*	0	#



LOAD ตัวที่ 1 ดับ

1	2	3
4	5	6
7	8	9

กดคีย์สวิตช์หมายเลข 1 อีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

เราสามารถควบคุมการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าจากระยะไกลได้ โดยใช้ชุดควบคุมการเปิดปิดด้วย DTMF นี้ ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ คือ ภาคว่าเนิครหัสควบคุม ,ภาคถอดรหัสควบคุม ,ภาคว่าเนิสัญญาณตอบกลับ ,ภาคถอดรหัสสัญญาณตอบกลับ และภาคตัดต่อสวิตช์

การทำงานเริ่มจาก เมื่อคคหมายเลขที่ห้องการภาคว่าเนิสัญญาณควบคุม จะสร้างสัญญาณ DTMF แทนหมายเลขออกมา เพื่อส่งการเปิดปิดในหมายเลขที่ต้องการ

จากนั้น ภาคถอดรหัสควบคุม จะทำการถอดรหัสที่ได้นี้ ส่งต่อไปยัง ภาคว่าเนิรหัสสัญญาณตอบกลับ และภาคตัดต่อสวิตช์

ในส่วนของภาคตัดต่อสวิตช์ ถ้ามีการส่งรหัส * มาก่อนหมายเลข ก็จะทำให้การต่อวงจรให้หลอดทำงานได้ แต่ถ้าส่งรหัส # มาก่อนหมายเลข ก็จะทำให้การตัดวงจรในหมายเลขที่ต้องการ ในขณะที่ตัวกันนั้นเองก็จะมี การสร้างสัญญาณตอบกลับจากภาคว่าเนิรหัสสัญญาณตอบกลับเพื่อยืนยันการทำงานของภาคตัดต่อสวิตช์

ที่ชุดส่งสัญญาณควบคุมจะมีภาคถอดรหัสสัญญาณตอบกลับอยู่ด้วย เมื่อมีสัญญาณตอบกลับส่งมาให้ ก็จะทำให้การถอดรหัสเพื่อดูว่าเป็นหมายเลขใด แล้วแสดงผลออกทาง LED

5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

วงจรควบคุมนี้เป็นวงจรควบคุมโหลตจากระยะไกล โดยที่สามารถส่งได้ไกลประมาณ 80 เมตร ซึ่งมากเพียงพอที่จะใช้ควบคุมโหลตต่าง ๆ ภายในอาคารได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการลดทอนของสายด้วย เนื่องจากโหลตที่ต้องการควบคุมอยู่ไกลจากชุดควบคุมมาก ทำให้ไม่สามารถตรวจสอบความถูกต้องในการสั่งงานได้สะดวก ดังนั้น จึงต้องอาศัยการตอบสนองกลับจาก ภาคผลิตรหัสสัญญาณตอบกลับ เพื่อแจ้งสถานะการทำงานของสวิทช์ตัดต่อในขณะนั้น

ในส่วนของสัญญาณตอบกลับนั้นเป็นสัญญาณ DTMF เช่นเดียวกับสัญญาณที่ส่งมาควบคุม ดังนั้นสัญญาณตอบกลับที่วัดได้จะต้องเป็นความถี่เดียวกันกับที่ส่งมาควบคุม จึงจะเป็นการทำงานที่ถูกต้อง ดังนั้นในส่วนของภาคตัดต่อสวิทช์ และผลิตรหัสสัญญาณตอบกลับ จะต้องทำงานได้ถูกต้องสอดคล้องกัน จึงจะให้ผลการตอบกลับที่ถูกต้องได้ ซึ่งสัญญาณตอบกลับนี้จะยังไม่สามารถแสดงผลทันทีในเวลาเดียวกับที่โหลตเริ่มทำงานได้ เนื่องจากเวลาที่ต้องใช้ในการเดินทางกลับทำให้เกิดการล่าช้าไป แต่ก็ยังทำการแสดงผลได้อย่างถูกต้อง

การควบคุมวงจรด้วยรีเลย์ด้วยฟลิปฟล็อปนั้น ในขณะที่ทำงานเพียงตัวเดียวนั้นสามารถทำงานได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด แต่เมื่อนำมาใช้ร่วมกันหลาย ๆ ตัว จะเกิดความผิดพลาดในการทำงานของฟลิปฟล็อปบางตัว ซึ่งอาจแก้ไขโดยใช้ฟลิปฟล็อปแบบ มาสเตอร์-สเลฟ หรือใช้วงจรโมโนสเตเบิลต่อเพิ่มเข้าไปทางด้านหน้าของฟลิปฟล็อป เพื่อยืดคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาออกไป ทำให้การทำงานของฟลิปฟล็อปมีความแน่นอนมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ “เข้าใจและใช้งานเป็นกับริเลย์” ฉบับที่ 164 ตุลาคม 2539
- [2] ธนัท ชัยยุทธ “จิตตอลพื้นฐาน”
: บริษัท ซีเอ็ดยูเทชั่น จำกัด (มหาชน)
- [3] น.ต.ธวัชชัย เลื่อนฉวี ,พ.ต.อนุรักษ์ เลื่อนศิริ “จิตตอลเทคนิค เล่ม 1”
: ภั้งหุ่นส่วนจำกัด ภาพพิมพ์
- [4] น.ต.ธวัชชัย เลื่อนฉวี “จิตตอลเทคนิค เล่ม 2”
: ภั้งหุ่นส่วนจำกัด ภาพพิมพ์
- [5] ชื่น ภูสุวรรณ “ทฤษฎีและการใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เล่ม 2 ,3”
: บริษัท ซีเอ็ดยูเทชั่น จำกัด (มหาชน)
- [6] สุชาข รัตนเสถียร ,ชัยขงก์ วงศ์ชัยสุวรรณ “หลักการออกแบบวงจรลอจิก วงจรคอมไบเนชัน”
: บริษัท ซีเอ็ดยูเทชั่น จำกัด
- [7] Johnl . Fike “Understandeing Telephone Electronics”
: Texas



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างตารางคุณสมบัติทางไฟฟ้าของรีเลย์มาตรฐาน

SPECIFICATIONS			
Contact			
Arrangement		2 Form C	
Initial contact resistance, max, (By voltage drop 6V DC 1A)		60mΩ	
Contact material		Gold-clad silver	
Rating (resistive load)	Max. switching power		30W, 62.5VA
	Max. switching voltage		110V DC, 125V AC
	Max. switching current		1A
	Min. switching capability		10μA, 10mV DC
UL/CSA rating		1A 30V DC 0.5A 125V AC 0.3A 110V DC	
Expected life (min. operations)	Mechanical (at 180cpm)		10 ⁸
	Electrical	1A 30V DC resistive	2x10 ⁵
	(at 20cpm)	0.5A 125V AC resistive	10 ⁵
Characteristics			
Max. operating speed (at rated load)		20cpm	
Operate time* (at nominal voltage)		Max. 3msec. (Approx. 2msec.)	
Release time* (at nominal voltage)		Max. 3msec. (Approx. 1msec.)	
Set time* (latching) (at nominal voltage)		Max. 3msec. (Approx. 2msec.)	
Reset time* (latching) (at nominal voltage)		Max. 3msec. (Approx. 2msec.)	
Initial breakdown voltage	Between open contacts		750Vrms for 1 min.
	Between contact sets		1,000Vrms for 1 min.
	Between contact and coil		1,000Vrms for 1 min.
FCC surge voltage between open contacts		1,500V	
Initial insulation resistance		Min. 1,000MΩ (at 500V DC)	
Temperature rise (at nominal voltage)		Max. 50 °C	
Ambient temperature		-40 °C to +70 °C -40 °F to +158 °F	
Shock resistance	Functional	Min. 490m/s ² (50G)	
	Destructive	Min. 980m/s ² (100G)	
Vibration resistance	Functional	176.4m/s ² (18G), 10 to 55Hz at double amplitude of 3mm	
	Destructive	294m/s ² (30G), 10 to 55Hz at double amplitude of 5mm	
Unit weight		Approx. 1.5g .053 oz.	

*Excluding contact bounce time

ตารางที่ 2 แสดงวัสดุที่ใช้ทำหน้าสัมผัสรีเลย์

	วัสดุ	คุณลักษณะ
วัสดุที่ใช้ทำหน้าสัมผัส	เงิน (Ag)	มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าและความร้อนสูงกว่าโลหะธรรมดาชนิดอื่น มีความต้านทานของหน้าสัมผัสต่ำ, ราคาถูกและมีการใช้งานได้กว้างขวาง แต่มีอัตราทนแรงดันและกระแสได้ต่ำ
	AgCd เงิน แคดเมียม	มีการนำไฟฟ้าดีและมีความต้านทานหน้าสัมผัสต่ำกว่าเงิน แต่มีจุดเด่นตรงที่มีการนำความต้านทานของหน้าสัมผัสได้ดี
	AgW เงิน ทังสเตน	มีความแข็งแรงและจุดหลอมละลายสูงความต้านทานหน้าสัมผัสดีเยี่ยม และมีความต้านทานการส่งถ่ายของวัสดุสูง หน้าสัมผัสทนต่อการกัดกร่อนสูง หน้าสัมผัสมีการสปริงตัวดี
	AgNi เงิน นิกเกิล	มีคุณสมบัติคล้ายกับเงิน
	AgPd เงิน พัลลาเดียม	ใช้งานในย่านอุณหภูมิปกติได้ดี, และต้องใช้ในวงจรไฟฟ้าที่ไม่มีความชื้นหรือเป็นวงจรที่แห้งไม่ใช่วงจรที่ต้องใช้ในสถานที่ที่มีความชื้นสูง
	PGS alloy พลาตินัม, ทอง, เงิน	มีค่าความต้านทานของหน้าสัมผัสที่ดีเยี่ยม และใช้งานหลักในวงจรกระแสต่ำได้ดีเยี่ยม (อัตราผสม Au:Ag:Pt=69:25:6)
การดูแลรักษาหน้าสัมผัส	การชุบด้วยโรเดียม	ทำให้มีความแข็งแรงของหน้าสัมผัสเพิ่มขึ้นและความต้านทานเพิ่มขึ้น โดยมากจะใช้ในหน้าสัมผัสของรีเลย์ ซึ่งมีราคาแพง
	การเคลือบด้วยทอง	ทำให้มีความต้านทานหน้าสัมผัสสูง ทนต่อการกัดกร่อนสูงกว่าโลหะปกติ โดยเฉพาะเมื่อเทียบทางด้านหนาแล้ว การเคลือบด้วยทองจะมีคุณภาพดีมากและใช้ในงานที่มีโหลดต่ำๆ
	การชุบด้วยทอง	มีผลคล้ายๆ กับการเคลือบด้วยทอง ขึ้นอยู่กับกระบวนการในการชุบ
	การชุบด้วยทองกึ่งเคลือบ	เป็นการชุบบางๆ เพื่อป้องกันหน้าสัมผัสของโลหะที่เป็นหน้าสัมผัสเดิมอยู่ โดยมากจะพบในสวิตช์ และป้องกันการเกิดประกายไฟด้วย



ISO2-CMOS MT8870 Integrated DTMF Receiver

9161-002-031-NA

ISSUE 2

January 1985

Features

- Complete DTMF receiver
- Low power consumption
- Internal gain setting amplifier
- Adjustable guard time
- Central Office Quality

Applications

- Paging systems
- Repeater systems/mobile radio
- Credit card systems
- Remote Control
- Personal Computers

Description

The MT8870 is a complete DTMF receiver integrating both the bandsplit filter and digital decoder functions, fabricated in Mitel's double poly ISO2-CMOS technology. The filter section uses switched capacitor techniques for high and low group filters; the decoder uses digital counting

techniques to detect and decode all 16 DTMF tone-pairs into a 4-bit code. External component count is minimized by on chip provision of a differential input amplifier, clock oscillator and latched 3-state bus interface.

Pin Connections

IN +	1	18	VDD
IN -	2	17	SVGT
GS	3	16	EST
VREF	4	15	STD
IC*	5	14	Q4
IC*	6	13	Q3
OSC1	7	12	Q2
OSC2	8	11	Q1
VSS	9	10	TOE

*connect to VSS

Ordering Information

MT8870BE 18 PIN PLASTIC
MT8870BC 18 PIN CERDIP

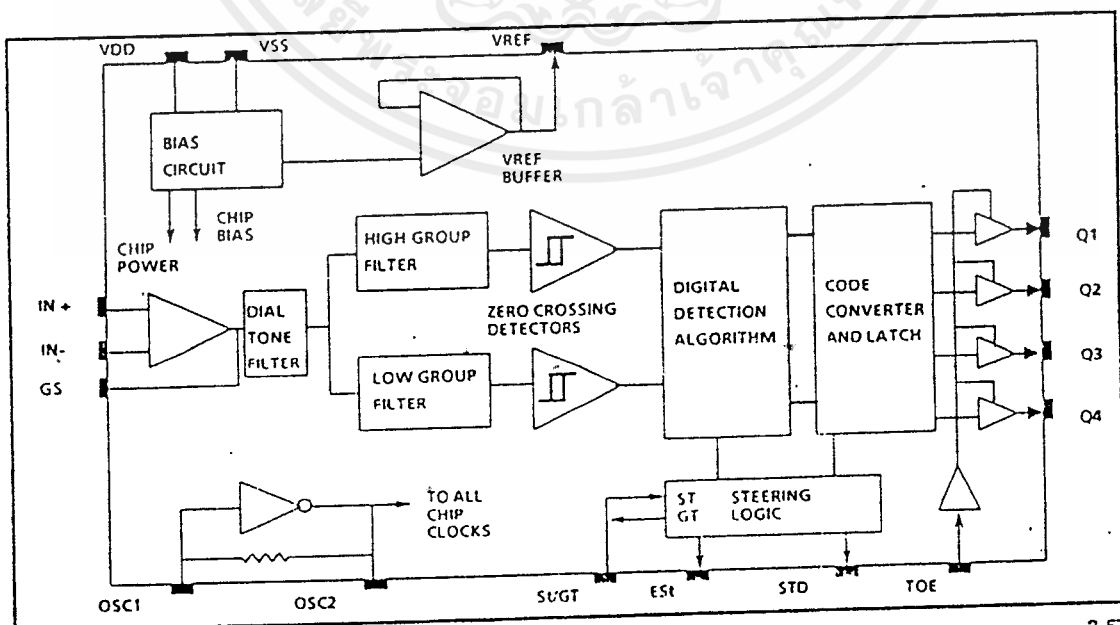


Figure 1. Functional Block Diagram

3-57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MT8870 ISO2-CMOS

Absolute Maximum Ratings[†]

	Parameter	Symbol	Min	Max	Units
1	Power supply voltage $V_{DD}-V_{SS}$			6	V
2	Voltage on any pin		$V_{SS}-0.3$	$V_{DD}+0.3$	V
3	Current at any pin			10	mA
4	Operating temperature		-40	+85	°C
5	Storage temperature		-65	+150	°C
6	Package power dissipation			1000	mW

[†] Exceeding these values may cause permanent damage. Functional operation under these conditions is not implied.
Derate above 75 °C at 16 mW/°C. All leads soldered to board.

DC Electrical Characteristics

	Characteristics	Sym	Min	Typ [‡]	Max	Units	Test Conditions [†]
1	Operating supply voltage		4.75	5.0	5.25	V	
2	Operating supply current	I_{DD}		3.0	9.0	mA	
3	Power consumption	P_D		15	45	mW	$f = 3.58\text{MHz}; V_{DD} = 5\text{V}$
4	High level input	V_{IH}	3.5			V	
5	Low level input voltage	V_{IL}			1.5	V	
6	Input leakage current	I_{IH}/I_{IL}		0.1		μA	$V_{IN} = V_{SS} \text{ or } V_{DD}$
7	Pull up (source) current	I_{SQ}		7.5	15	μA	TOE (pin 10) = 0V
8	Input impedance (I_{IN+}, I_{IN-})	R_{IN}		10		MΩ	@ 1 kHz
9	Steering threshold voltage	V_{STT}	2.2		2.5	V	
10	Low level output voltage	V_{OL}			0.03	V	No load
11	High level output voltage	V_{OH}	4.97			V	No load
12	Output low (sink) current	I_{OL}	1	2.5		mA	$V_{OUT} = 0.4\text{V}$
13	Output high (source) current	I_{OH}	0.4	0.8		mA	$V_{OUT} = 4.6\text{V}$
14	V_{REF} output voltage	V_{REF}	2.4		2.8	V	No load
15	V_{REF} output resistance	R_{OR}		10		KΩ	

[‡] Typical figures are at 25 °C and are for design aid only, not guaranteed and not subject to production testing.
[†] $V_{DD} = 5\text{V}$, $V_{SS} = 0\text{V}$. Voltages are with respect to ground (V_{SS}) unless otherwise stated.

Operating Characteristics¹ - Voltages are with respect to ground (V_{SS}) unless otherwise stated
Gain Setting Amplifier

	Characteristics	Sym	Min	Typ ²	Max	Units	Test Conditions
1	Input leakage current	I _{IN}		100		nA	V _{SS} ≤ V _{IN} ≤ V _{DD}
2	Input resistance	R _{IN}		10		MΩ	
3	Input offset voltage	V _{OS}		25		mV	
4	Power suply rejection	PSRR		60		dB	1 KHz
5	Common mode rejection	CMRR		60		dB	-3.0V ≤ V _{IN} ≤ 3.0V
6	DC open loop voltage gain	A _{VOL}		65		dB	
7	Open loop unity gain bandwidth	f _c		1.5		MHz	
8	Output voltage swing	V _{OS}		4.5		V _{DD}	R _L ≥ 100KΩ to V _{SS}
9	Maximum capacitive load (GS)	C _L		100		pF	
10	Maximum resistive load (GS)	R _L		50		KΩ	
11	Common mode range	V _{CM}		1.0		V _{DD}	No Load

¹ V_{DD} = 5 V, V_{SS} = 0 V, T_A = 25°C
² Typical figures are at 25°C and are for design aid only - not guaranteed and not subject to production testing

AC Electrical Characteristics¹ - Voltages are with respect to ground (V_{SS}) unless otherwise stated

	Characteristics	Sym	Min	Typ ²	Max	Units	Notes
1	Valid input signal levels (each tone of composite signal)		-29			dBm	1,2,3,5,6,9
			27.5			mV _{RMS}	1,2,3,5,6,9
					+1	dBm	1,2,3,5,6,9
					883	mV _{RMS}	1,2,3,5,6,9
2	Positive twist accept			10		dB	2,3,6,9
3	Negative twist accept			10		dB	2,3,6,9
4	Freq. deviation accept		± 1.5% ± 2Hz			Nom.	2,3,5,9
5	Freq. deviation reject		± 3.5%			Nom.	2,3,5,9
6	Third tone tolerance			-16		dB	2,3,4,5,9,10
7	Noise tolerance			-12		dB	2,3,4,5,7,9,10
8	Dial tone tolerance			+22		dB	2,3,4,5,8,9,11

¹ V_{DD} = 5 V, V_{SS} = 0, T_A = 25°C and f_c = 1.5/254's 33Hz using test circuit shown in Figure 2

NOTES

1. dBm = decibels above or below a reference power of 1 mW into a 600 ohm load
2. Digit sequence consists of all DTMF tones
3. Tone duration = 40 ms, tone pause = 40 ms
4. Signal condition consists of nominal DTMF frequencies
5. Both tones in composite signal have an equal amplitude
6. Tone pair is deviated by ± 1.5% ± 2Hz
7. Bandwidth limited (10 Hz) Gaussian noise
8. The pseudo dial tone frequencies are (250 Hz and 450 Hz) ± 1.5%
9. For an error rate of better than 1 in 10,000
10. Referenced to lowest level frequency component in DTMF signal
11. Referenced to the minimum valid accept level

MT8870 ISO2-CMOS

AC Electrical Characteristics[†] - Voltages are with respect to ground (V_{SS}) unless otherwise stated

		Characteristics	Sym	Min	Typ‡	Max	Units	Test Conditions
1	T I M I N G	Tone present detect time	t _{DP}	5	11	14	ms	see Figure 3
2		Tone absent detect time	t _{DA}	0.5	4	8.5	ms	see Figure 3
3		Tone duration accept	t _{REC}			40	ms	User adjustable
4		Tone duration reject	t _{REC}	20			ms	User adjustable
5		Interdigit pause accept	t _{ID}			40	ms	User adjustable
6		Interdigit pause reject	t _{DO}	20			ms	User adjustable
7	O U T P U T S	Propagation delay (St to Q)	t _{PQ}		8	11	μs	TOE = V _{DD}
8		Propagation delay (St to StD)	t _{PSID}		12		μs	TOE = V _{DD}
9		Output data set up (Q to StD)	t _{QSID}		3.4		μs	TOE = V _{DD}
10		Propagation delay (TOE to Q ENABLE)	t _{PTE}		50		ns	RL = 10KΩ CL = 50 pF
11		Propagation delay (TOE to Q DISABLE)	t _{PTD}		300		ns	RL = 10KΩ CL = 50 pF
26	C L O C K	Crystal /clock frequency	f _C	3.5759	3.5795	3.5831	MHz	
27		Clock input rise time	t _{LHCL}			110	ns	Ext. clock
28		Clock input fall time	t _{HLCL}			110	ns	Ext. clock
29		Clock input duty cycle	DC _{CL}	40	50	60	%	Ext. clock
30		Capacitive load (OSC2)	C _{LO}			30	pF	

[†] V_{DD} = 5V, V_{SS} = 0V T_A = 25°C and f_C = 3.579545 MHz, using test circuit in Figure 2

[‡] Typical figures are at 25°C and are for design aid only - not guaranteed and not subject to production testing

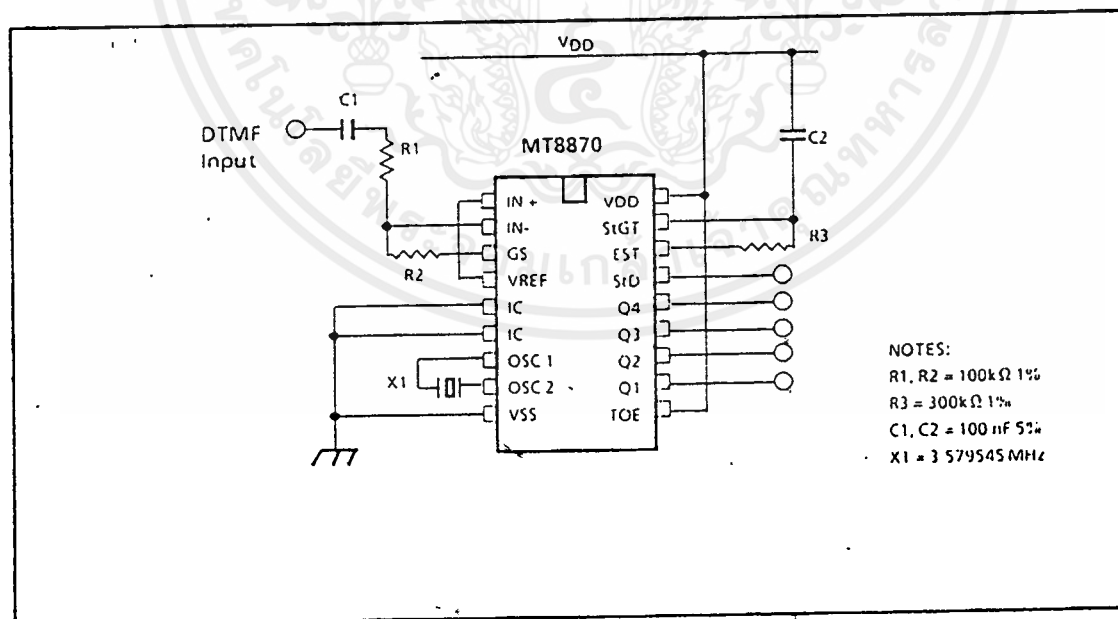


Figure 2. Single Ended Input Configuration[†]

ISO2-CMOS MT8870

Pin Description

Pin #	Name	Description
1	IN +	Non-inverting op-amp input.
2	IN-	Inverting op-amp input.
3	GS	Gain select. Gives access to output of front end differential amplifier for connection of feedback resistor.
4	V _{REF}	Reference voltage output, nominally V _{DD} /2 is used to bias inputs at mid-rail (see Fig.2).
5	IC	Internal connection. Must be tied to V _{DD} .
6	IC	Internal connection. Must be tied to V _{SS} .
7	OSC1	Clock input.
8	OSC2	Clock output. A 3.5795 MHz crystal connected between OSC1 and OSC2 completes the internal oscillator circuit.
9	V _{SS}	Negative power supply input.
10	TOE	3-state output enable (input). Logic high enables the outputs Q1-Q4. Internal pull up.
11-14	Q1-Q4	3-state data outputs. When enabled by TOE, provide the code corresponding to the last valid tone-pair received (see Fig. 3).
15	StD	Delayed steering output. Presents a logic high when a received tone-pair has been registered and the output latch updated; returns to logic low when the voltage on SUGT falls below V _{St} .
16	ES _t	Early steering output. Presents a logic high once the digital algorithm has detected a valid tone pair (signal condition). Any momentary loss of signal condition will cause ES _t to return to a logic low.
19	SUGT	Steering input/guard time output (bi-directional). A voltage greater than V _{St} , detected at St causes the device to register the detected tone pair and update the output latch. A voltage less than V _{St} , frees the device to accept a new tone pair. The GT output acts to reset the external steering time-constant; its state is a function of ES _t and the voltage on St.
18	V _{DD}	Positive power supply input.

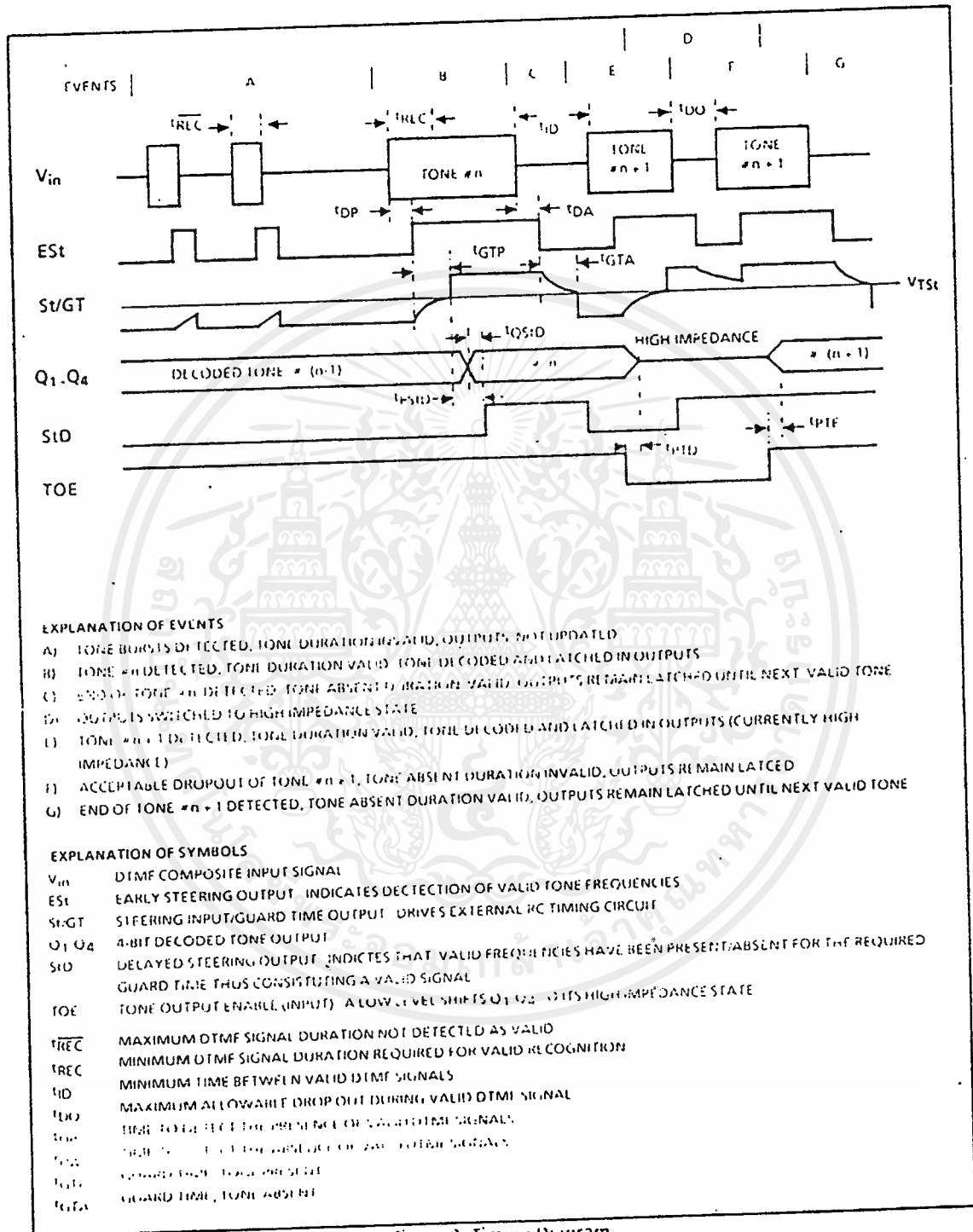


Figure 3. Timing Diagram

Functional Description

The MT8870 monolithic DTMF receiver offers small size, low power consumption and high performance. Its architecture consists of a bandsplit filter section, which separates the high and low group tones, followed by a digital counting section which verifies the frequency and duration of the received tones before passing the corresponding code to the output bus.

Filter Section

Separation of the low-group and high group tones is achieved by applying the DTMF signal to the inputs of two sixth-order switched capacitor band pass filters, the band-widths of which correspond to the low and high group frequencies. The filter section also incorporates notches at 350 and 440 Hz for exceptional dial tone rejection (see Fig. 4). Each filter output is followed by a single order switched capacitor filter section which smooths the signals prior to limiting. Limiting is performed by high-gain comparators which are provided with hysteresis to prevent detection of unwanted low-level signals. The outputs of the comparators provide full rail logic swings at the frequencies of the incoming DTMF signals.

Decoder Section

Following the filter section is a decoder employing digital counting techniques to determine the frequencies of the incoming tones and to verify that they correspond to standard DTMF frequencies. A complex averaging algorithm protects against tone

simulation by extraneous signals such as voice while providing tolerance to small frequency deviations and variations. This averaging algorithm has been developed to ensure an optimum combination of immunity to talk-off and tolerance to the presence of interfering frequencies (third tones) and noise. When the detector recognizes the presence of two valid tones (this is referred to as the "signal condition" in some industry specifications) the "Early Steering" (EST) output will go to an active state. Any subsequent loss of signal condition will cause EST to assume an inactive state (see "Steering Circuit").

Steering Circuit

Before registration of a decoded tone pair, the receiver checks for a valid signal duration (referred to as character recognition condition). This check is performed by an external RC time constant driven by EST. A logic high on EST causes v_i (see Fig. 6) to charge the capacitor discharges.

Provided signal condition is maintained (EST remains high) for the validation period (t_{val}), v_i reaches the threshold (V_{TH}) of the steering logic to register the tone pair, latching its corresponding 4-bit code (see Fig. 5) into the output latch. At this point the GT output is activated and drives v_i to VDD. GT continues to drive high as long as EST remains high. Finally, after a short delay to allow the output latch to settle, the delayed steering output flag (S/D) goes high, signalling that a received tone pair has been registered. The contents of the output latch are made available on the 4-bit output bus by raising the three state control input (TOE) to a logic high. The steering circuit works in reverse to

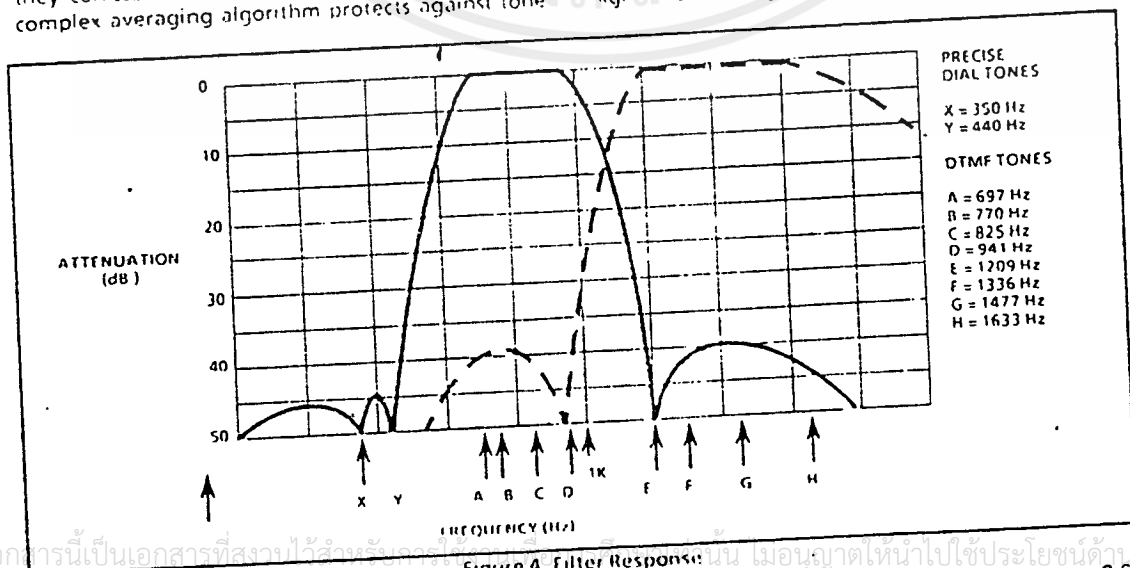


Figure 4. Filter Response

FLOW	FHIGH	NO	TOF	Q ₄	Q ₃	Q ₂	Q ₁
697	1209	1	H	0	0	0	1
697	1336	2	H	0	0	1	0
697	1477	3	H	0	0	1	1
770	1209	4	H	0	1	0	0
770	1336	5	H	0	1	0	1
770	1477	6	H	0	1	1	0
852	1209	7	H	0	1	1	1
852	1336	8	H	1	0	0	0
852	1477	9	H	1	0	0	1
941	1336	0	H	1	0	1	0
941	1209	*	H	1	0	1	1
941	1477	#	H	1	1	0	0
697	1633	A	H	1	1	0	1
770	1633	B	H	1	1	1	0
852	1633	C	H	1	1	1	1
941	1633	D	H	0	0	0	0
		ANY	L	Z	Z	Z	Z

Figure 5. Functional Decode Table

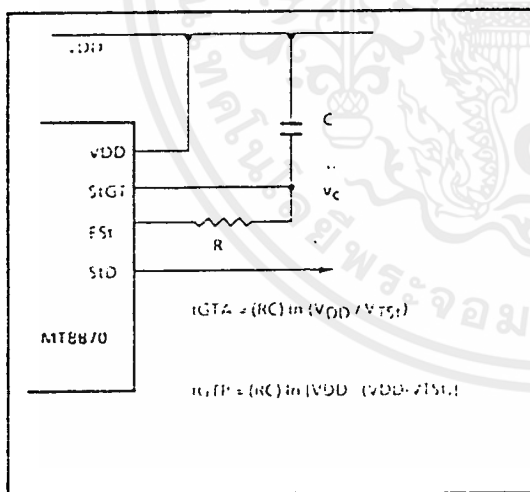


Figure 6. Basic Steering Circuit

validate the interdigit pause between signals. Thus, as well as rejecting signals too short to be considered valid, the receiver will tolerate signal interruptions (drop out) too short to be considered a valid pause. This facility, together with the capability of selecting the steering time constants externally, allows the designer to tailor performance to meet a wide variety of system requirements.

Guard Time Adjustment

In many situations not requiring selection of tone duration and interdigital pause, the simple steering circuit shown in Fig. 6 is applicable. Component values are chosen according to the formula:

$$t_{REC} = t_{DP} + t_{GTP}$$

$$t_{ID} = t_{DA} + t_{GTA}$$

The value of t_{DP} is a device parameter (see table) and t_{ID} is the minimum signal duration to be recognized by the receiver. A value for C of $0.1 \mu F$ is recommended for most applications, leaving R to be selected by the designer.

Different steering arrangements may be used to select independently the guard times for tone present (t_{GTP}) and tone absent (t_{GTA}). This may be necessary to meet system specifications which place both accept and reject limits on both tone duration and interdigital pause. Guard time adjustment also allows the designer to tailor system parameters such as talk off and noise immunity. Increasing t_{REC} improves talk-off performance since it reduces the probability that tones simulated by speech will maintain signal condition long enough to be registered. Alternatively, a relatively short t_{REC} with a long t_{DP} would be appropriate for extremely noisy environments where fast acquisition time and immunity to tone drop-outs are required. Design information for guard time adjustment is shown in Figure 7.

Differential Input Configuration

The input arrangement of the MT8870 provides a differential-input operational amplifier as well as a bias source (V_{DD}) which is used to bias the inputs at mid-rail. Provision is made for connection of a feedback resistor to the op-amp output (GS) for adjustment of gain. In a single-ended configuration, the input pins are connected as shown in Fig. 2 with the op-amp connected for unity gain and V_{DD} biasing the input at $1/2 V_{DD}$. Fig. 8 shows the differential configuration, which permits the

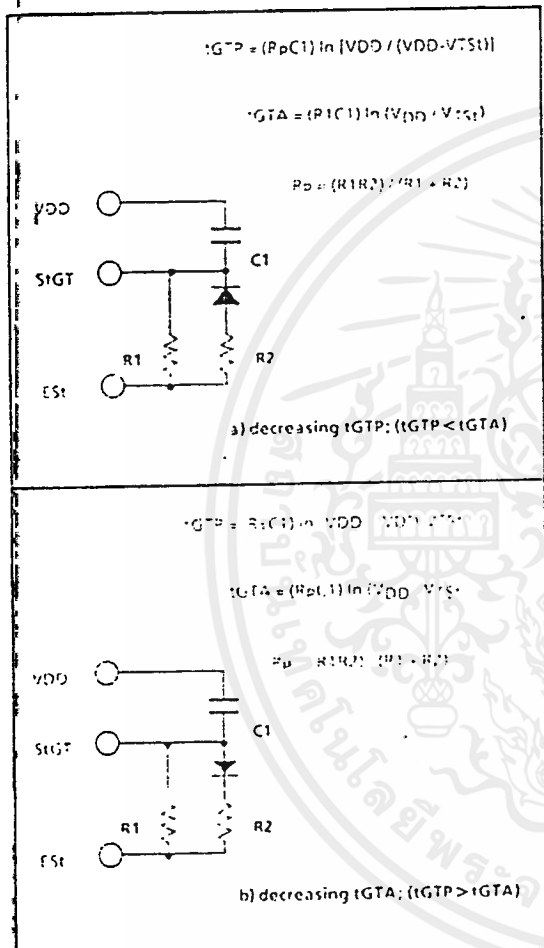


Figure 7. Guard Time Adjustment

Adjustment of gain with the feedback resistor R_5 .

Crystal Oscillator

The internal clock circuit is completed with the addition of an external 3.58 MHz crystal and is normally connected as shown in Figure 2 (Single Ended input Configuration). However, it is possible to configure several MT8870 devices employing only a single oscillator crystal. The oscillator output of the first device in the chain is coupled through a 30 pF capacitor to the oscillator input (OSC1) of the next device. Subsequent devices are connected in a similar fashion. Refer to Fig. 9 for details. The problems associated with unbalanced loading are not a concern with the arrangement shown, as precision balancing capacitors are not required.

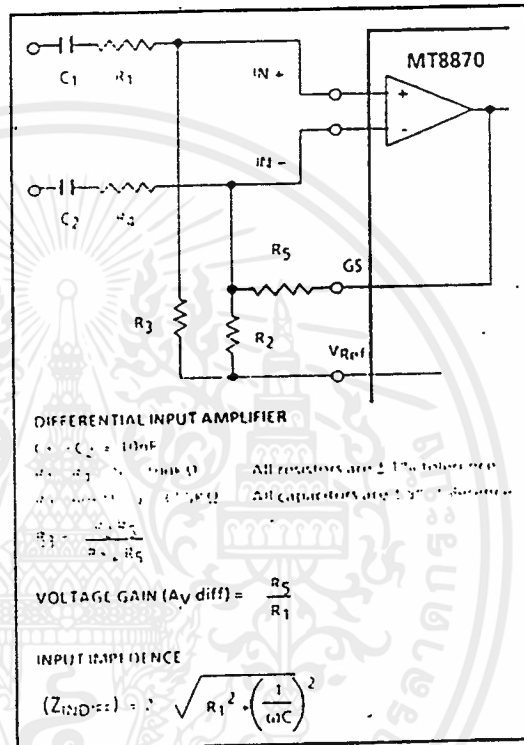


Figure 8. Differential Input Configuration

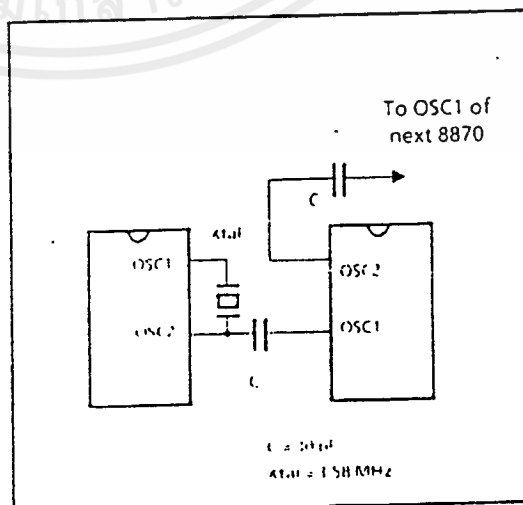


Figure 9. Oscillator Connection

UMC



UM91210/30

Tone/Pulse Dialer

Features

- 32-digit Redial Memory
- Tone/Pulse Switchable via slide switch
- Wide operating voltage: 2.0V to 5.5V
- Uses inexpensive 3.58 MHz TV crystal
- Pin selectable Make/Break ratio (1/2 or 2/3)
- Key-in tone output for valid key entry in Pulse mode

(91230 C/D only)

- 630 millisecond flash time
- "T" key controlled switching from Pulse to Tone mode (91230 C/D only)
- 18-pin or 22-pin DIP
- With minimum tone duration 110 ms

General Description

The products in this series are Tone/Pulse switchable dialers with 32-digit redial memory. Switching from Pulse to DTMF mode can be accomplished either by using a slide switch or by depressing the **T** key.

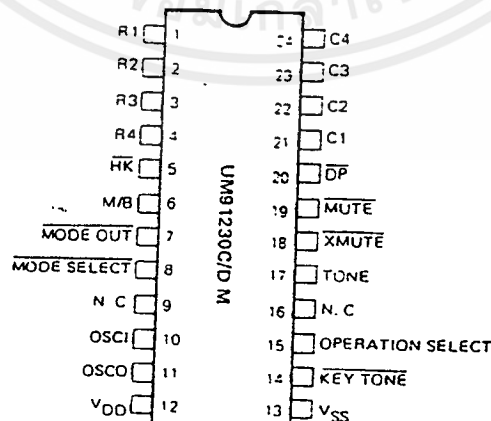
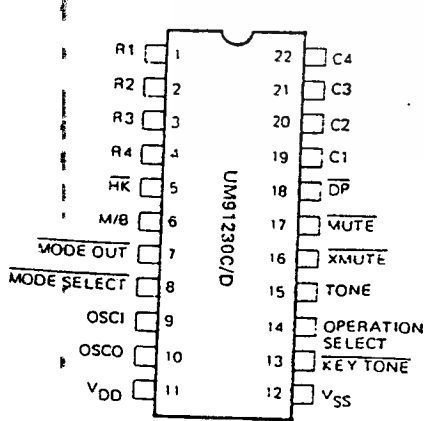
The necessary dual-tone frequencies are all derived from a 3.58 MHz TV crystal, thus providing high accuracy and stability. The sinusoidal waveform for each individual tone is digitally synthesized on the chip. Waveforms thus generated have low total harmonic distortion (5% max.). A reference voltage is generated on the chip which is stable over the operating voltage and temperature range. It regulates the signal levels of the dual tones to meet telephone industry specifications.

CMOS technology is used in the production of these devices, resulting in low power requirements and high noise immunity. These devices can be easily interfaced with a variety of telephones, requiring only a minimum number of external components.

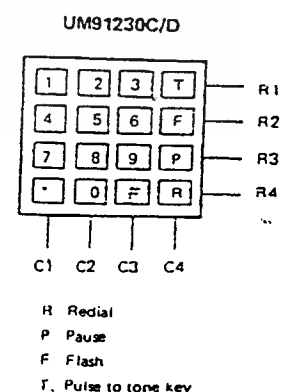
Ordering Information

Part Number	Dialing Rate	Package
UM91210C/10CM	10 pps	P-DIP 18L/SO 20L
UM91210D/10DM	20 pps	P-DIP 18L/SO 20L
UM91230C/30CM	10 pps	P-DIP 22L/SO 24L
UM91230D/30DM	20 pps	P-DIP 22L/SO 24L

Pin Configurations



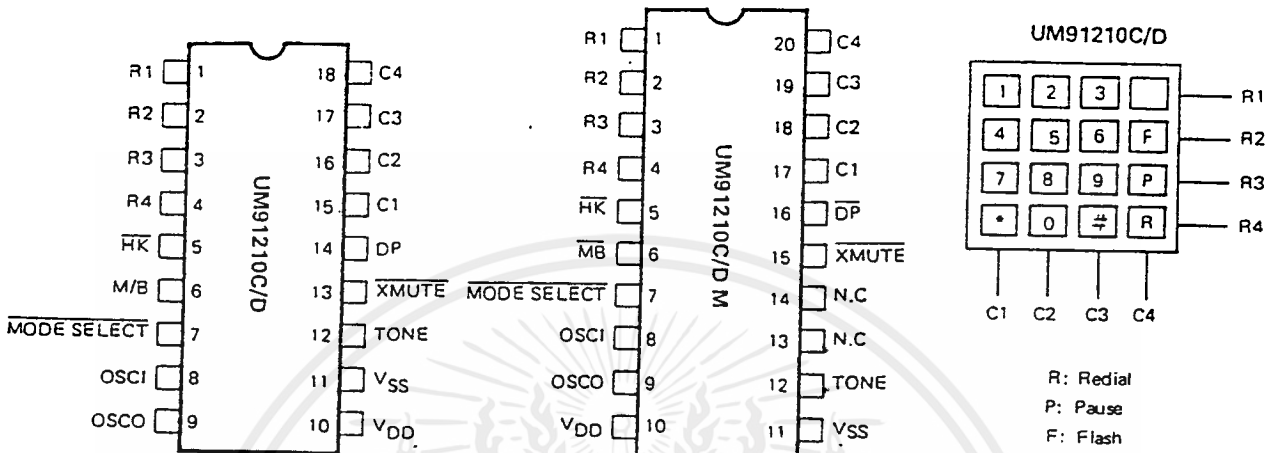
Keyboard Assignments



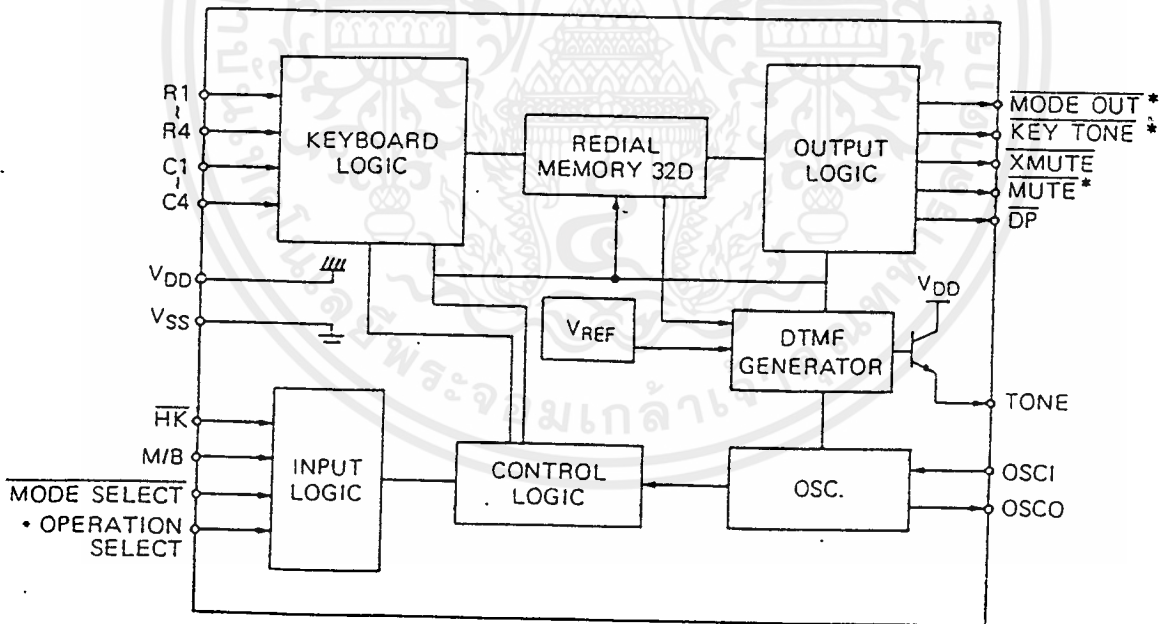
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pin Configurations (Continued)

Keyboard Assignments (Continued)



Block Diagram



* Bonding Option

Absolute Maximum Ratings*

Power Supply Voltage.....	-0.3V to +0.6V
Input Voltage.....	-0.3V to $V_{DD} + 0.3V$
Maximum Power Dissipation (at 25°C).....	500mW
Operating Temperature (T_{OP}).....	-20°C to 70°C
Storage Temperature (T_{STG}).....	-55°C to +150°C

***Comments**

Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only. Functional operation of this device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied and exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC Characteristics

($V_{DD} = 3.5V$, $V_{SS} = 0V$, $F_{OSC} = 3.579MHz$ and $T_{OP} = 25^\circ C$ unless otherwise specified.)

Parameter	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit	Conditions	Test Ckt.
Operating Voltage	V_{DD}	2.0		5.5	V	Pulse mode	A
		2.0		5.5	V		
Memory Retention Voltage	V_{MR}	1.0			V		
Memory Retention Current	I_{MR}		0.05	0.05	μA	$V_{DD} = 1.0V$ $\overline{HK} = V_{DD}$ All outputs unloaded	
Supply Operating Current	I_{DOP}		0.43	1	mA	Pulse Mode	A
	I_{DOT}		0.70	2	mA	DTMF Mode	
						Oscillator running. All outputs unloaded	
Standby Current	I_{SD}		15	50	μA	$V_{DD} = 2.5V$ $\overline{HK} = V_{SS}$ All outputs unloaded	A
Output Sink Current DP, MUTE, XMUTE	I_{OL1}	1.7	5.0		mA	$V_{OL} = 0.4V$	B
	I_{OL2}	0.5	1.5		mA	$V_{OL} = 0.4V$ $V_{DD} = 2.0V$	
Input Voltage Range	V_{IH}	0.8		1	V_{DD}		
	V_{IL}	0		0.2	V_{DD}		
Row Input Current	I_R		10		μA	$V_{IN} = 0V$	C
Col. Input Current	I_C		10		μA	$V_{IN} = 0V$	
Single Column Tone Output Amplitude	V_{OC}	640	700	760	mVp-p	$R_{LOAD} = 10K\Omega$, $V_{DD} = 2.5V$	D
		640	700	760		$R_{LOAD} = 10K\Omega$, $V_{DD} = 5.5V$	D
Single Row Tone Output Amplitude	V_{OR}	510	560	610	mVp-p	$R_{LOAD} = 10K\Omega$, $V_{DD} = 2.5V$	D
		510	560	610		$R_{LOAD} = 10K\Omega$, $V_{DD} = 5.5V$	D
Pre-emphasis	Twist	1.7	2	2.3	dB		D
Valley of Single Tone	V_V		$V_{DD} - 1.8$	$V_{DD} - 1.6$	V_{DD}	$V_{DD} = 3.5V$	D
Distortion	DIS		1	5	%	* Note 1	D

* Note 1. $DIS(\%) = \frac{100(V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2)^{1/2}}{(V_{IL}^2 + V_{IH}^2)^{1/2}}$

- $V_1 \dots V_n$ are the intermodulation or harmonic frequencies in the 500 Hz to 3400 Hz band.
- V_{IH} and V_{IL} are the individual frequency components of the DTMF signal.

AC Characteristics

($V_{DD} = 3.5V$, $V_{SS} = 0V$, $F_{OSC} = 3.579545\text{ MHz}$ and $T_{OP} = 25^{\circ}C$ unless otherwise specified.)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
PULSE						
Make/Break Ratio	M/B	M/B = V_{DD}		1/2		%
		M/B = V_{SS}		2/3		
Dial Pulse Rate	DR	UM91210C/UM91230C		9.7		pps
		UM91210D/UM91230D		19.4		
Make Time	T_M	10 pps	M/B = 1/2	33.3		ms
			M/B = 2/3	40.0		
		20 pps	M/B = 1/2	16.7		
			M/B = 2/3	20.0		
Break Time	T_B	10 pps	M/B = 1/2	66.7		ms
			M/B = 2/3	60		
		20 pps	M/B = 1/2	33.3		
			M/B = 2/3	30		
Interdigit Pause Time	T_{IDP}	10 pps	M/B = 1/2	876		ms
			M/B = 2/3	870		
		20 pps	M/B = 1/2	893		
			M/B = 2/3	890		
Predigit Pause	T_{PDP}	10 pps	M/B = 1/2	19.5		ms
			M/B = 2/3	19.5		
		20 pps	M/B = 1/2	19.5		
			M/B = 2/3	19.5		
$\overline{XMUTE}$ MUTE Delay Time	T_{MDP}	10 pps	M/B = 1/2	850		ms
			M/B = 2/3	850		
		20 pps	M/B = 1/2	850		
			M/B = 2/3	850		
TONE						
Minimum Tone Duration	T_{MFD}			110		ms
Minimum Tone Interdigit Pause	T_{TIDP}			110		ms
Tone Output Predigit Pause	T_{TPDP}			0		ms
$\overline{XMUTE}$ Delay Time	T_{MDT}			110		ms
Auto Pause Time	T_{AP}			3.6		s
Flash Time	T_F			630		ms
Oscillator Startup Time	T_{START}			10		ms
$\overline{XMUTE}$, MUTE Startup Time	T_{MS}			15		ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC. Characteristics (Continued)

Parameter	Symbol	Condition	Min.	Typ.	Max.	Unit
KEY-IN						
Keypad Debounce Time	T_{KD}			23		ms
Key Scan Frequency	F_{KS}			445		Hz
KEY-IN TONE						
Key-in Tone Duration Time	T_{KTD}			23		ms
Key-in Tone Frequency	F_{KT}			18		KHz
Key-in Tone Startup Time	$T_{KTSTART}$			15		ms

Row/Column	Condition	Spec.	Actual	Error(%)	Unit
R1	$F_{OSC} = 3.579\text{MHz}$	697	699.1	+0.31	Hz
R2		770	766.2	-0.49	
R3		852	847.4	-0.54	
R4		941	948.0	+0.74	
C1		1,209	1,215.9	+0.57	
C2		1,336	1,331.7	-0.32	
C3		1,477	1,471.9	-0.35	

Pin Description

Pin		Designation	Description
91210	91230		
1	1	R1	Input Keys. These pins serve as an interface to an XY matrix keyboard. C1 through C4 and R1 through R4 are set to low at On Hook ($\overline{HK}$ =high). C1 through C4 are set to low and R1 through R4 are set to high at Off Hook ($\overline{HK}$ =low), which enables the key-in operation. The Oscillator starts running when a keypress is detected. Scanning signals are presented at both column and row input signals (Typ: 445 Hz) until the input key is released. Key-in is compatible with standard 2-of-8 form or single-contact keyboards. Debouncing is provided to avoid false entry (Typ.: 23 ms).
2	2	R2	
3	3	R3	
4	4	R4	
15	19	C1	
16	20	C2	
17	21	C3	
18	22	C4	
5	5	$\overline{HK}$	Hook Switch Input. This input detects the state of the hook switch contact. $\overline{HK} = V_{DD}$: On-hook, chip unactivated $\overline{HK} = V_{SS}$: Off-hook, chip active
6	6	M/B	Make/Break Ratio Select Input. This input allows selection of the Make/Break ratio (33.3:66.7/40:60) $M/B = V_{DD}$: 33.3/66.6 $M/B = V_{SS}$: 40/60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Note: If the **[P]** key is not pressed as one of the series of digits before or after the mode is switched, the following condition will result:

- (1) If a Tone digit is pressed after the Pulse digits have finished going out, the DTMF mode will be implemented after the last Pulse signal has been transmitted in this mode. Tone digits will be transmitted from the Tone Out pin as a DTMF signal when the corresponding keys are depressed.
- (2) If Tone digits are keyed in while the Pulse signal is still being sent out, the DTMF mode will take over but will be put on hold until the last Pulse signal has gone out. **MODE OUT** will flash to indicate that you are now in the hold state (for UM91230C/D only). Tone digits will be stored in Redial memory as DTMF data, but will not be transmitted from **TONE OUT**. When the data is ready for transmission from Redial Memory, the **[T]** (for UM91230C/D only), **[R]** or **[P]** keys can be pressed to reset the Hold state and the DTMF data will be serially transmitted.

- b. Mode Switching by **[T]** key: (OPERATION SELECT = V_{DD} for UM91230C/D only)
 0-0f, Dp,.....Dp, P, T, Dt,.....Dt
 └─ Pulse mode ─┘ Tone mode┘

Note: If the **[P]** key is not pressed serially before or after the **[T]** key, the following conditions will result:

- (1) If a Tone digit is pressed after the digits in

the Pulse mode have finished going out, the DTMF mode will become operational after transmission of the last Pulse signal. In this mode, the Tone digits are transmitted from **TONE OUT** as DTMF signals when the corresponding keys are depressed.

(2) If a Tone digit is pressed while the Pulse signals are still going out, the DTMF mode will become operational but will remain in the Pause state after the last Pulse signal has been transmitted. **MODE OUT** will flash to indicate that you are in the Pause state and the remaining Tone digits will be stored in redial memory as DTMF data but will not be transmitted from **Tone Out**. When the chip is ready to transmit the DTMF data in Redial Memory, the **[T]**, **[R]**, or **[P]** keys can be depressed to reset the Pause state and the DTMF data will be serially transmitted.

7. Redial with the Pause State Cancelled 0-0f, **[R]**, **[P]**, or **[T]**

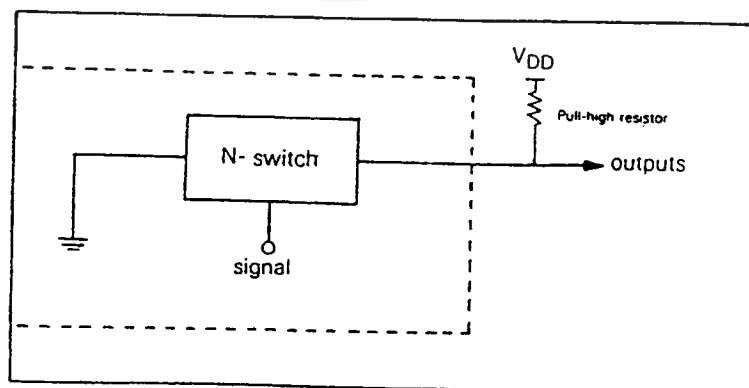
Note: (1) Pause time can be cancelled by pressing the **[P]**, **[R]** or **[T]** keys during pause time when redialing. Any other pause in the series is also cancelled.

(2) If a pause was not stored before or after the mode was switched, the chip will go into the Pause state when the DTMF mode is activated. **MODE OUT** will flash to indicate that you are in the Pause state. DTMF data will be stored in the Redial Memory and not transmitted from **Tone Out**. After **[R]**, **[P]** or **[T]** are depressed to reset the Pause state, DTMF data will be serially transmitted.

Functional Description

1. N-Channel Open Drain Output:

DP, MUTE, XMUTE, MODE OUT, KEY TONE



2 DTMF Generation

The DTMF signal is produced from the Tone Frequency Generator circuit with an NPN transistor-emitter-follower output buffer (Figure 1, below). The digitally synthesized sine wave is well designed, with an eight-level, 15-segment, fixed amplitude. It provides ($V_{DD}-1.8V$) a

reference voltage structure (Figure 2). The Total Harmonic Distortion (THD) of the DTMF output is 5% maximum. THD versus Operating Voltage and DTMF output amplitude versus Operating Voltage is shown in Figure 3 and Figure 4

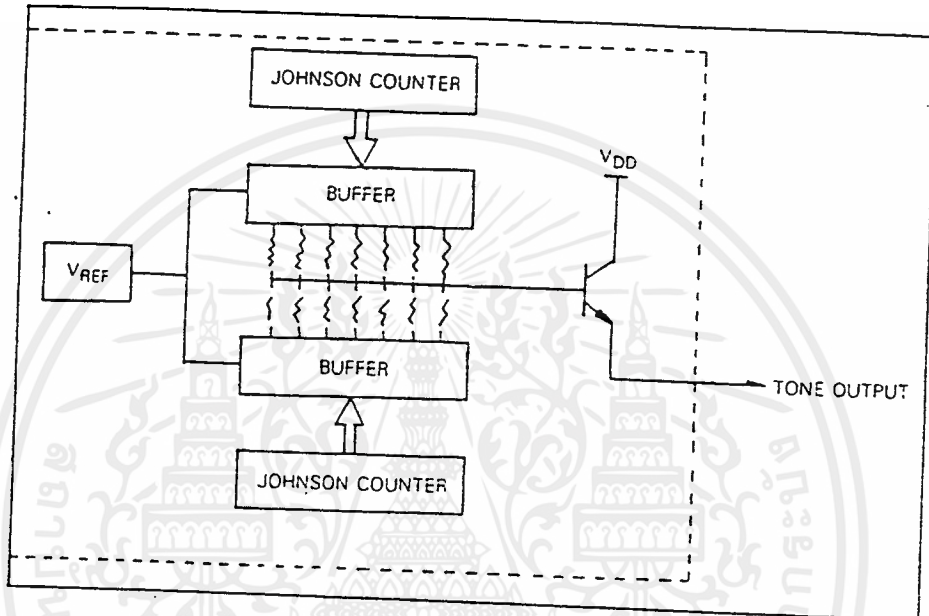


Figure 1

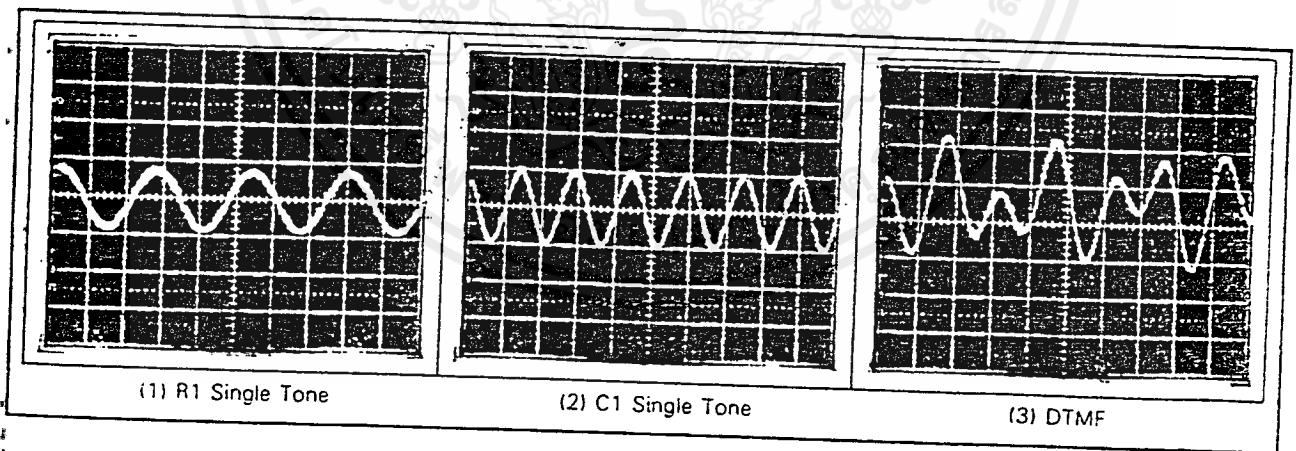


Figure 2: Waveforms

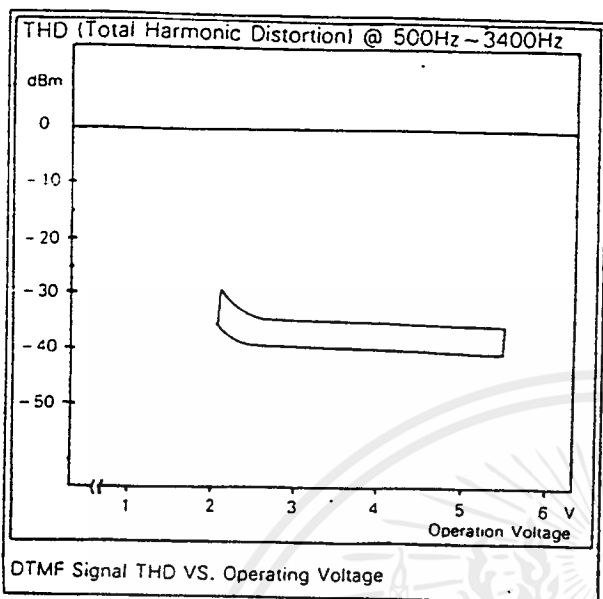


Figure 3

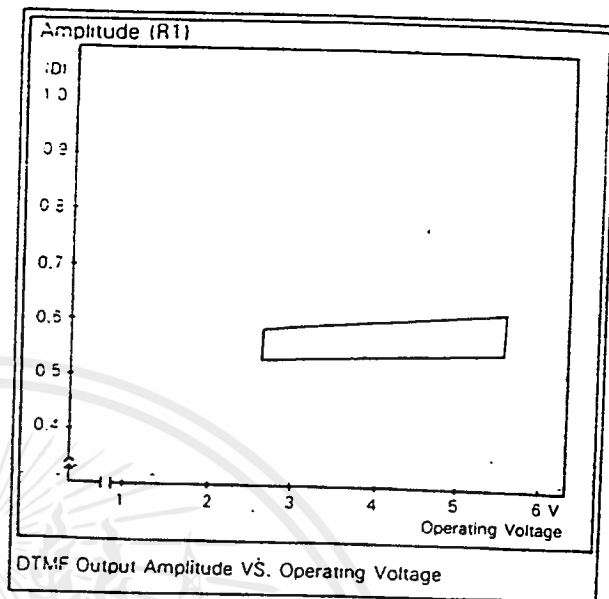


Figure 4

3. Single Tone Operation in DTMF Mode (Test Mode)

The ***** and **#** keys are used to trigger the chip into test mode by depressing them simultaneously during Off-Hook.

The single tone keyboard assignments are shown in the following table in contrast with normal mode.

Normal mode

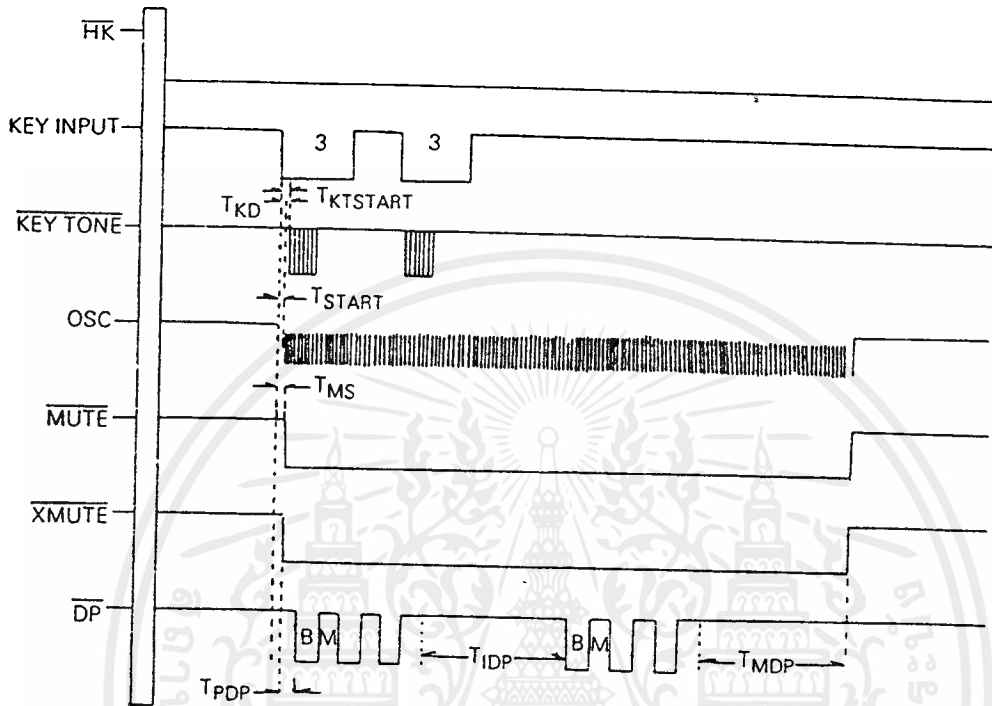
R ₁	1	2	3
R ₂	4	5	6
R ₃	7	8	9
R ₄	*	0	#
	C ₁	C ₂	C ₃

Single tone mode

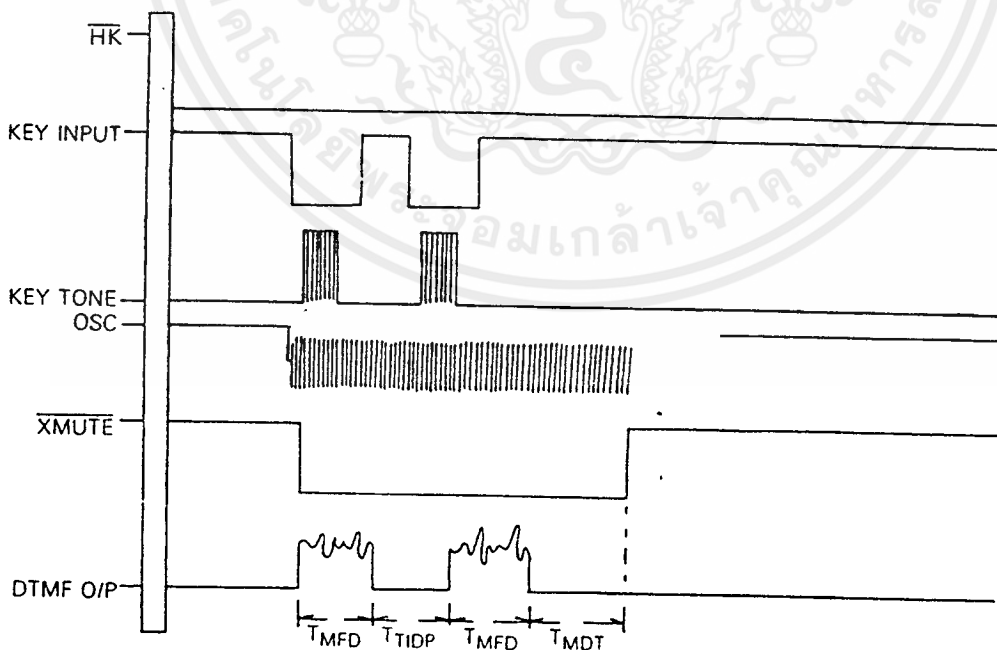
R ₁	R ₁	C ₂	C ₃
R ₂	C ₁	C ₂	R ₂
R ₃	R ₃	C ₂	C ₃
R ₄	C ₁	R ₄	C ₃
	C ₁	C ₂	C ₃

Timing Diagrams

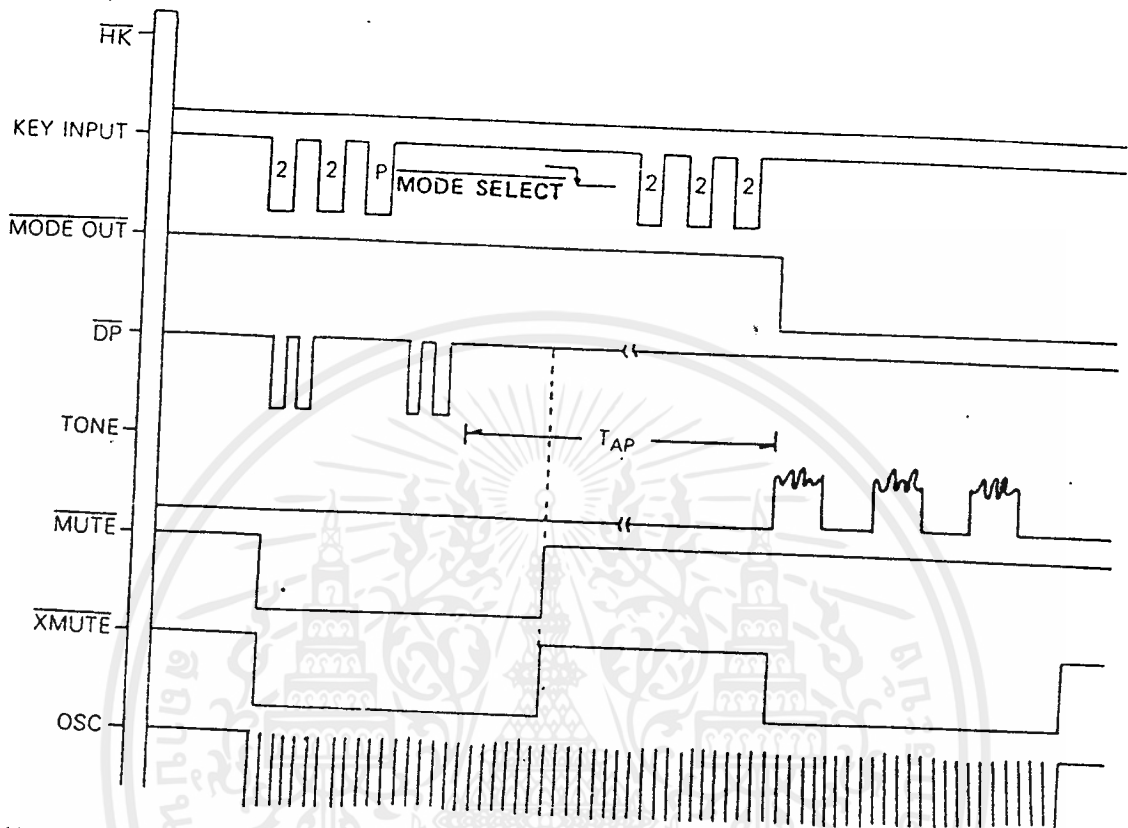
1. PULSE MODE TIMING DIAGRAM



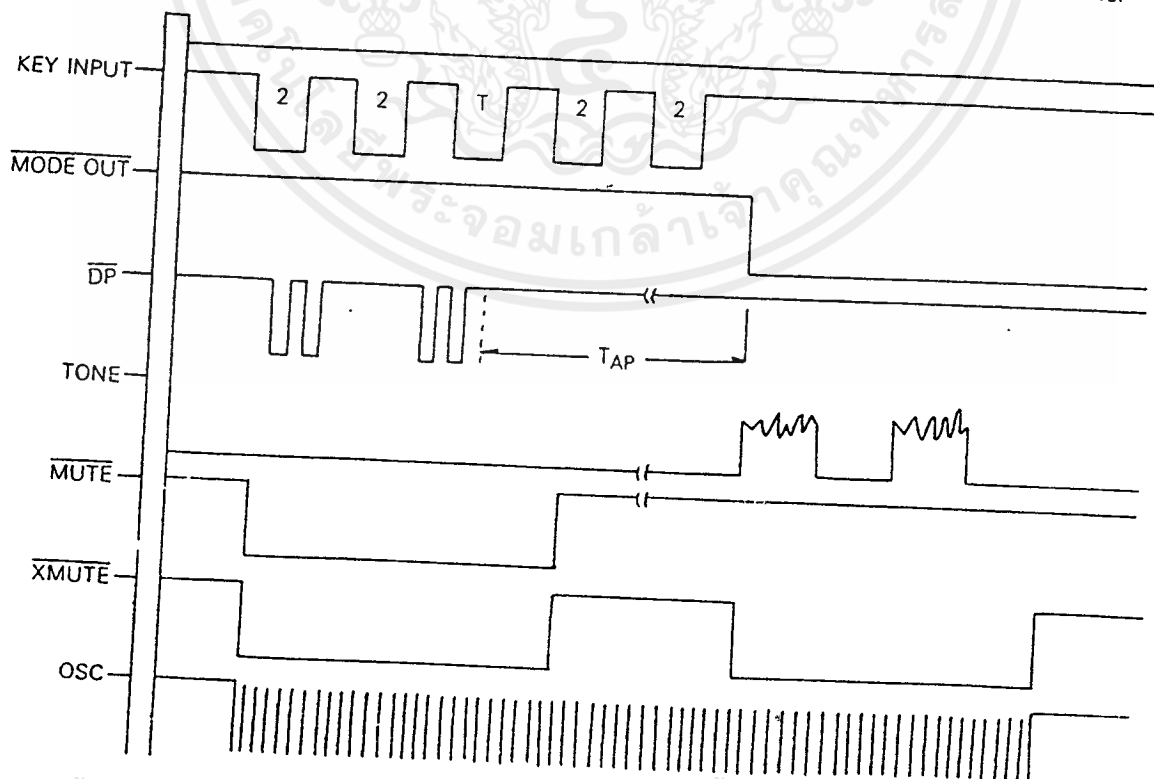
2. TONE MODE TIMING DIAGRAM



3. NORMAL PULSE to TONE MIXED DIALING VIA MODE SELECT SLIDE SWITCH (OPERATION SELECT = V_{SS} for UM91230C/D)



4. NORMAL PULSE to TONE MIXED DIALING VIA **T** KEY (OPERATION SELECT = V_{DD} THIS OPERATION for UM91230C/D ONLY.)

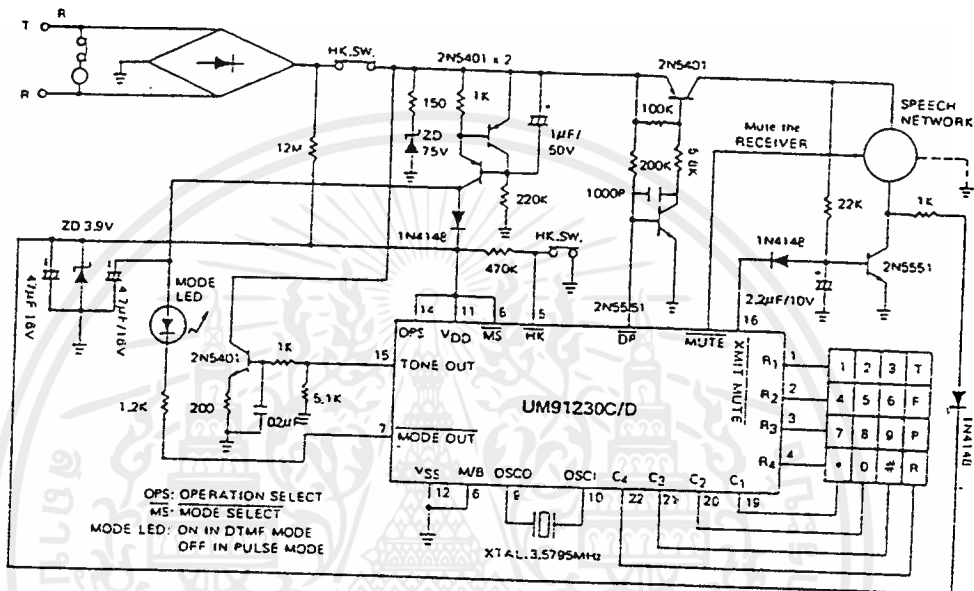


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

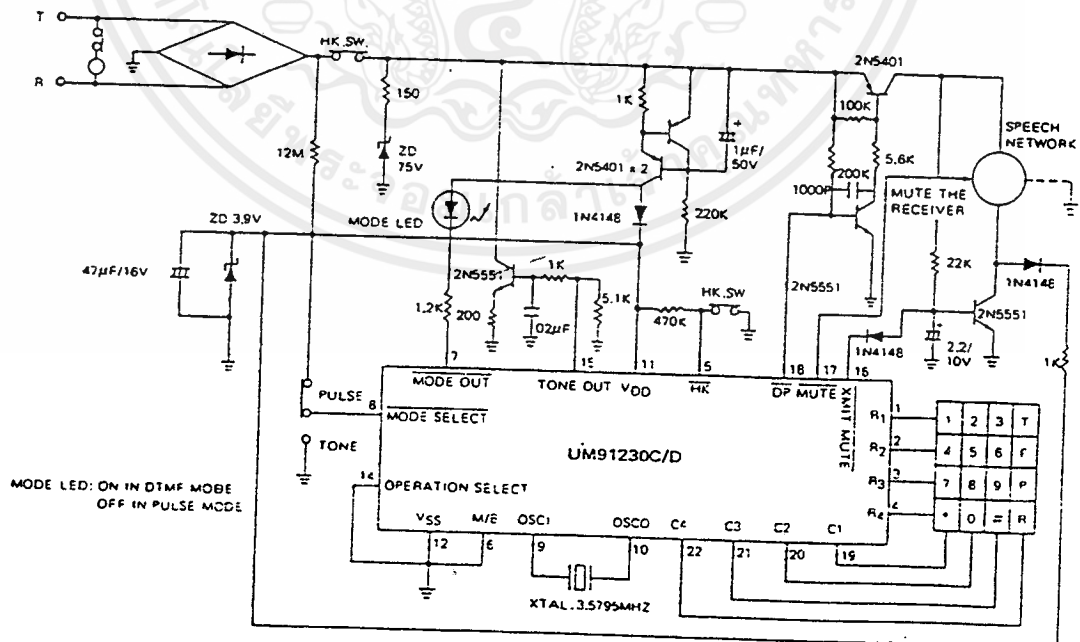
Application Circuits

1. UM91230C/D

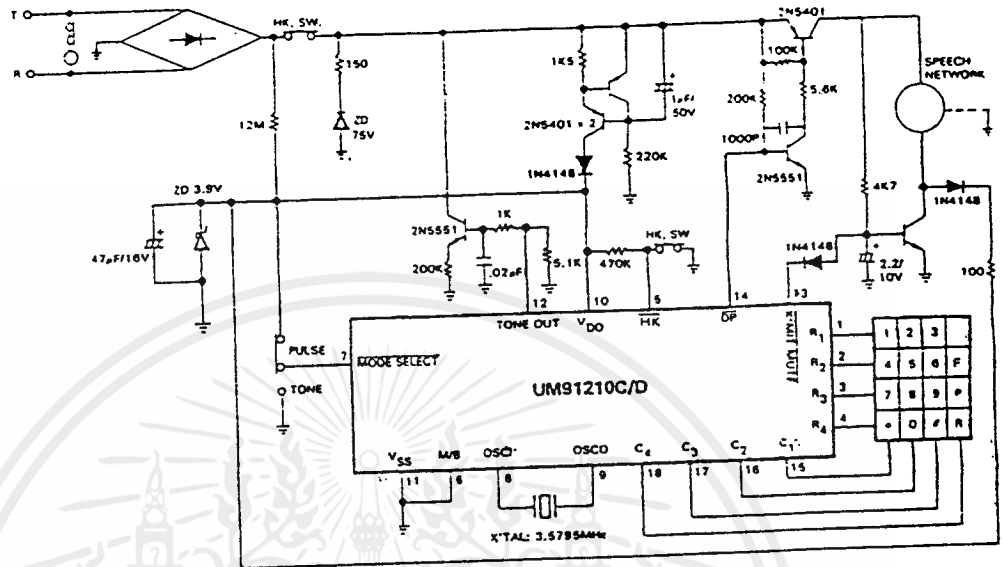
- 1) Switching mode by **T** key (MODE SELECT, OPERATION SELECT = V_{DD})



- 2) Switching mode by MODE SELECT (OPERATION SELECT = V_{SS})

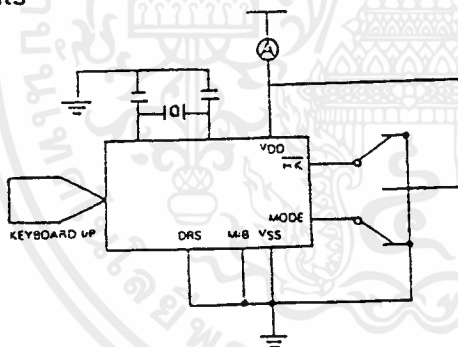


2. UM91210C/D

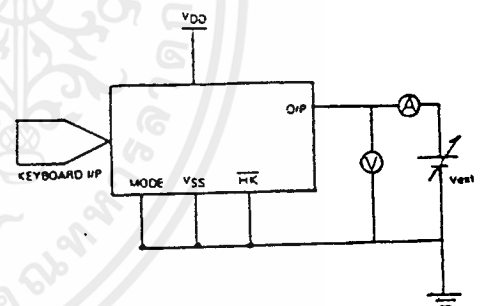


Test Circuits

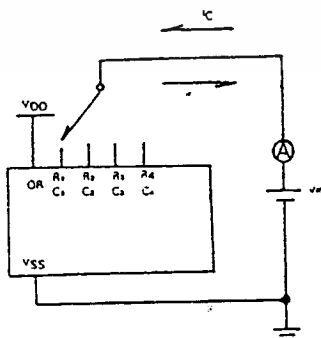
(A)



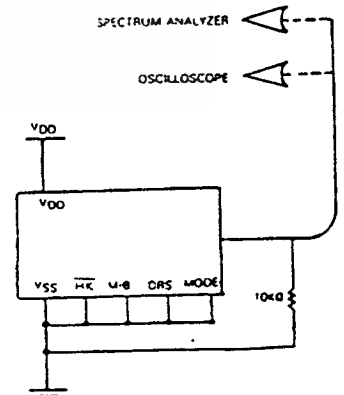
(B)



(C)



(D)



- OSCILLOSCOPE: TEKTRONIX 468
- SPECTRUM ANALYZER: HP 3585A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics SN54154/SN74154

recommended operating conditions

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range

Pin Assignment (Top View)



Function Table

H = high level, L = low level, X = irrelevant

Functional Block Diagram



NOTE: I_{CC} is measured with all inputs grounded and all outputs open.

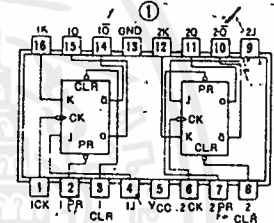
5476/7476 Dual J-K Master-Slave Flip-Flop with Preset and Clear

	Schottky TTL					High-Speed TTL					Low-Power Schottky TTL					Standard TTL					Low-Power TTL				
	Device Type		Package			Device Type		Package			Device Type		Package			Device Type		Package			Device Type		Package		
			C	P	M			CF	C	P			M	CF	C			P	M	CF			C	P	M
T.I.						SN54H76	JⓀ			WD	SN54LS76	JⓀ			WD	SN5476	JⓀ			WD					
						SN74H76	JⓀ	NⓀ			SN74LS76	JⓀ	NⓀ			SN7476	JⓀ	NⓀ							
FAIRCHILD						FMS4H76/FM9H76	CⓀ			FⓀ						FMS476/FM9N76	DⓀ			FⓀ					
						FC74H76/FC9H76	DⓀ	NⓀ			FⓀ					FC7476/FC9N76	DⓀ	PⓀ		FⓀ					
MOTOROLA																MC7476			PⓀ						
N.S.C.						DM54H76	JⓀ	NⓀ			DM54LS76			Ⓚ		DM5476	JⓀ	NⓀ		WD					
						DM74H76	JⓀ	NⓀ			DM74LS76			Ⓚ		DM7476	JⓀ	NⓀ							
PHILIPS						N74H76			Ⓚ		N74LS76			Ⓚ		FJ191/7476			Ⓚ						
SIGNETICS						S54H76			BⓀ							SN5476	FⓀ	BⓀ		WD					
						N74H76			BⓀ		N74LS76			AⓀ		SN7476	FⓀ	BⓀ							
SIEMENS																FL1131			Ⓚ						
FUJITSU																									
HITACHI											HD74LS76			PⓀ		HD7476/H02516			Ⓚ	PⓀ					
MITSUBISHI																MS3276			PⓀ						
NEC																μPB224			DⓀ	CⓀ					
TOSHIBA																TD7476			PⓀ						

Electrical Characteristics SN54LS76/SN74LS76							
absolute maximum ratings over operating free-air temperature range							
Supply voltage, V _{CC}	TV	Operating free-air temperature range	SN54LS	-55°C to 125°C			
Input voltage	5.5V		SN74LS	0°C to 70°C			
		Storage temperature range		-65°C to 150°C			
recommended operating conditions							
	SN54LS76			SN74LS76			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V _{CC}	4.5	5	5.5	4.75	5	5.25	V
High-level output current, I _{OH}			-400			-400	mA
Low-level output current, I _{OL}			4			8	mA
Pulse width, t _p	Onset high	20					
	Fall or clear low	25		25			nS
Input setup time, t _{su}	High-level data	20		20			
	Low-level data	201		20			nS
Input hold time, t _h		0		0			nS
Operating free-air temperature, T _a		-55	125	0	70		°C

electrical characteristics over recommended operating free-air temperature range					
PARAMETER*		TEST CONDITIONS †	MIN TYP ‡ MAX		UNIT
V _{IH}	High-level input voltage		2		V
V _{IL}	Low-level input voltage		0.8		V
V _I	Input clamp voltage	V _{CC} = MIN, I _I = -18 mA	-1.5		V
V _{OH}	High-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, V _{IL} = 0.8V, I _{OH} = MAX	2.7	3.4	V
V _{OL}	Low-level output voltage	V _{CC} = MIN, V _{IH} = 2V, V _{IL} = 0.8V, I _{OL} = 4mA	0.25	0.4	V
I _I	Input current at maximum input voltage	D, J, K, Clear	0.1		mA
		Preset	0.3		
		V _{CC} = MAX, V _I = 7V	0.3		
		Clock	0.4		
I _{IH}	High-level input current	D, J, K, Clear	20		μA
		Preset	60		
		V _{CC} = MAX, V _I = 2.7V	50		
		Clock	80		
I _{IL}	Low-level input current	D, J, K, Clear	-0.4		mA
		Preset	-0.8		
		V _{CC} = MAX, V _I = 0.4 V	-0.8		
		Clock	-0.3		
I _{OS}	Short-circuit output current ‡	Series-resistors	-20		mA
		Series-resistors	-100		
I _{CC}	Supply current (Average per flip-flop)	V _{CC} = MAX. See Note 1	4	8	mA
f _{max}	maximum clock frequency	V _{CC} = 5V, T _A = 25°C, C _L = 150 F, R _L = 2kΩ	30	45	MHz
t _{PLH}	from clear, preset or clock (as appropriate) to 0 or 1		15	20	ns
t _{PHL}			15	20	ns

Pin Assignment . (Top View)

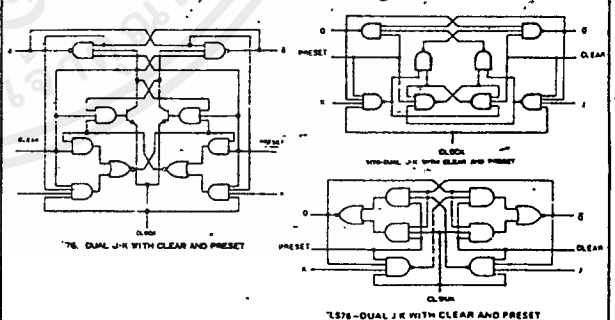


Function Tables (see Note 2)

INPUTS	
PRESET CLEAR	
L	H
H	L
L	L
H	H
H	H
H	H
H	H

IMPUTS					OUTPUTS	
PRESET	CLEAR	CLOCK	J	K	Q	Q̄
L	H	X	X	X	H	L
H	L	X	X	X	L	H
L	L	X	X	X	H	H
H	H	L	L	L	Q ₀	Q ₀
H	H	L	H	L	H	L
H	H	L	L	H	L	H
H	H	H	X	X	TOGGLE	
H	H	H	X	X	Q ₀	Q̄ ₀

Functional Block Diagrams



NOTES: 1 With all outputs open, I_{CC} is measured with the Q and Q outputs high in turn. At the time of measurement, the clock input is grounded.

2 H=high level (steady state), L=low level (state), X=relevant
↓=transition from high to low level
┐=high-level pulse: data inputs should be held constant while clock is high;
data is transferred to output on the falling edge of the pulse.

Q=the level of Q before the indicated input conditions were established.

TOGGLE: Each output changes to the complement of its previous level on each active transition (rising) of the clock.

* This configuration is nonstatic; that is, it will not persist when preset and clear inputs return to their inactive (high) level.

† For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.
 ‡ All typical values are at $V_{CC}=5V$, $T_A=25^{\circ}C$.
 * Not more than one output should be shorted at a time.
 † t_{PLH} = propagation delay time, low-to-high-level output.
 ‡ t_{PHL} = propagation delay time, high-to-low-level output.
 § 1: The arrow indicates the edge of the clock pulse used for reference: 1 for the rising edge, 1 for the falling edge.

SCL4528B



CMOS DUAL MONOSTABLE MULTIVIBRATOR

FEATURES

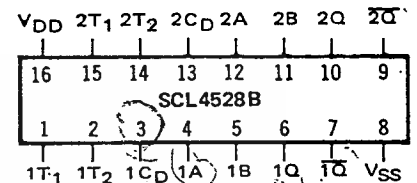
- ◆ Two Independent Multivibrators on One Chip
- ◆ Triggerable from Leading- or Trailing-Edge Pulse
- ◆ Retriggerable
- ◆ Resetable
- ◆ Q and $\bar{Q}$ Buffered Outputs Available
- ◆ Wide Range of Output Pulse Widths

DESCRIPTION

The SCL4528B Dual Multivibrator provides stable retriggerable/resettable one-shot operation for any fixed-voltage timing application. Timing for the circuit is controlled by an external resistor-capacitor combination (R_X - C_X). Adjustment of these components permits generation of output pulse widths from nanoseconds to minutes. Leading-edge and trailing-edge Trigger inputs are provided, and both positive-going and negative-going pulses are available from complementary outputs.

Timing pulses may be terminated at any time by applying a low logic level to the Reset input C_D .

CONNECTION DIAGRAM (all packages)



Add suffix for package:

- C 16-pin Cerdip
- D 16-pin Ceramic
- E 16-pin Epoxy
- F 16-pin Flat
- H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

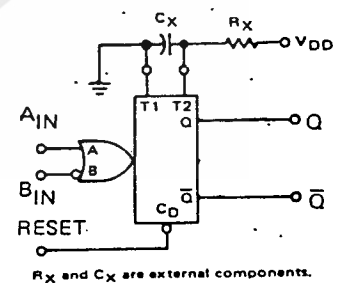
DC Supply Voltage	$V_{DD} - V_{SS}$	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T_A	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C
E Device			

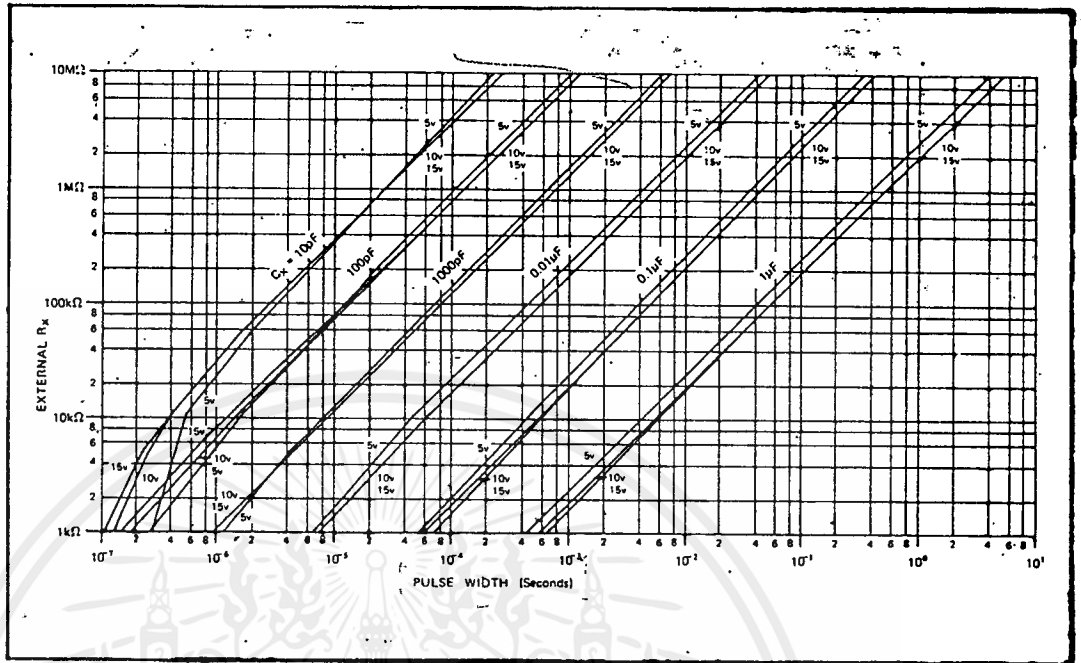
FUNCTION TABLE

INPUTS			OUTPUTS	
C_D	A	B	Q	$\bar{Q}$
L	X	X	L	H
X	H	X	L	H
X	X	L	L	H
H	↑	H	High Pulse	Low Pulse
H	L	↓	Low Pulse	High Pulse

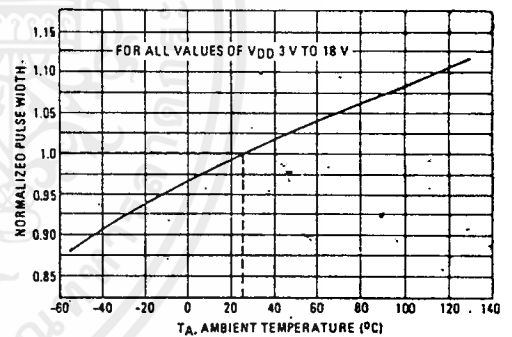
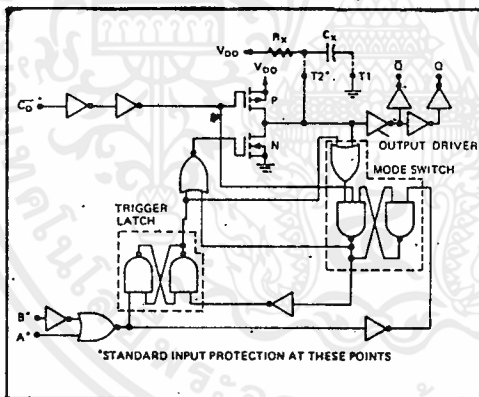
- H = High Level (Steady State)
- L = Low Level (Steady State)
- ↑ = Transition, Low-to-High
- ↓ = Transition, High-to-Low
- X = Irrelevant (Inc. Transitions)
- High Pulse = One High-Level Pulse
- Low Pulse = One Low-Level Pulse

BLOCK DIAGRAM (one of two devices)



SCL4528B PULSE WIDTH VS R_X , C_X , V_{DD} 

LOGIC DIAGRAM



Normalized Pulse Width versus Temperature

Notes:

There is no effective maximum limit on R_X ; recommended minimum value for R_X is 1K Ω . There are no restrictions on the value of C_X .

For proper operation all unused inputs should be tied to a logic level. The mode point (T2) of a unused half of device should be tied high through an external resistor to V_{DD} .

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

STATIC CHARACTERISTICS¹

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T _{LOW} ²		+25°C			T _{HIGH} ²		Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	
QUIESCENT DEVICE CURRENT	I _{DD}	V _{IN} = V _{SS} or V _{DD} All valid input combinations	—	5	—	0.05	5	—	150	μA _{dc}
			—	10	—	0.1	10	—	300	
			—	20	—	0.2	20	—	600	

NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".

² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.

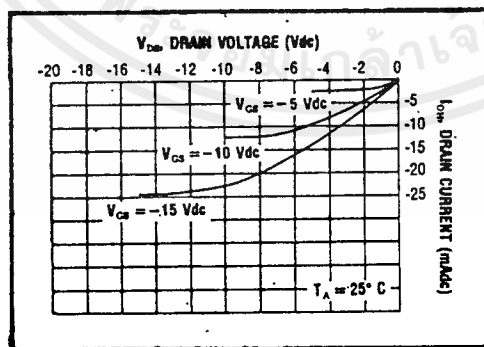
= -40°C for E device.

T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.

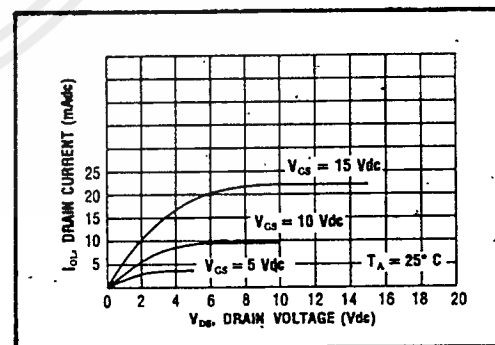
= + 85°C for E device.

DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER	C _x (pF)	R _x (kΩ)	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME From A or B	t _{PLH} , t _{PHL}	15	5	—	270	540	ns
			10	—	90	180	
			15	—	70	140	
	1000	10	5	—	510	1020	ns
			10	—	170	340	
			15	—	120	240	
From C _D	15	5	5	—	270	540	ns
			10	—	90	180	
			15	—	70	140	
	1000	10	5	—	550	1100	ns
			10	—	300	600	
			15	—	250	500	
OUTPUT TRANSITION TIME Note: $\bar{Q}$ Output	t _{TLH} , t _{THL}	—	5	—	130	260	ns
			10	—	65	130	
			15	—	50	100	
	t _{TLH}	15	5	—	130	260	ns
			10	—	65	130	
			15	—	50	100	
MINIMUM INPUT PULSE WIDTH A or B Input	PW _{in}	—	5	—	70	140	ns
			10	—	30	60	
			15	—	25	50	
OUTPUT PULSE WIDTH MATCH Same package	ΔPW _{out}	1000	5	—	± 7.5	±15	%
			10	—	±10	±20	
			15	—	±10	±20	
Different packages	1000	10	5	—	—	±50	%
			10	—	—	±50	
			15	—	—	±50	

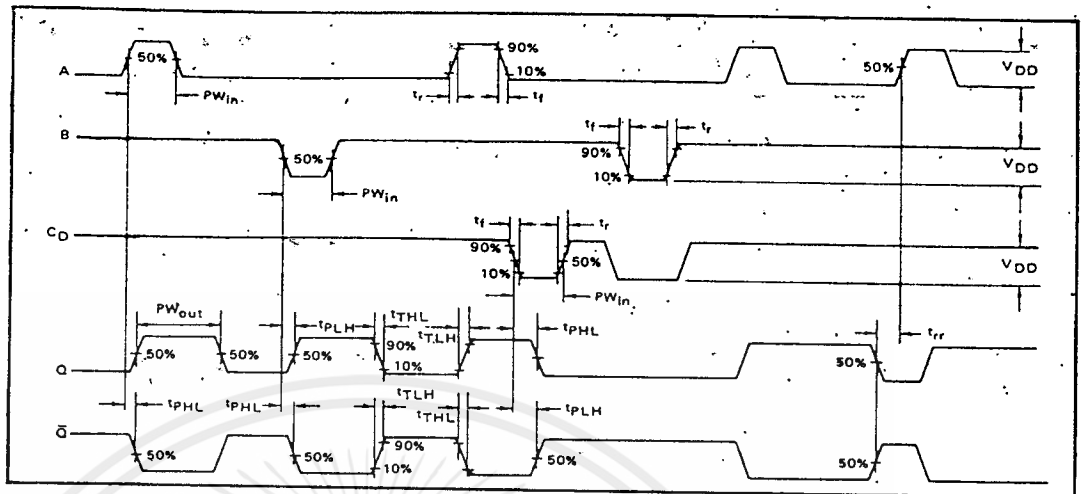


Typical P-Channel
Source Current Characteristics

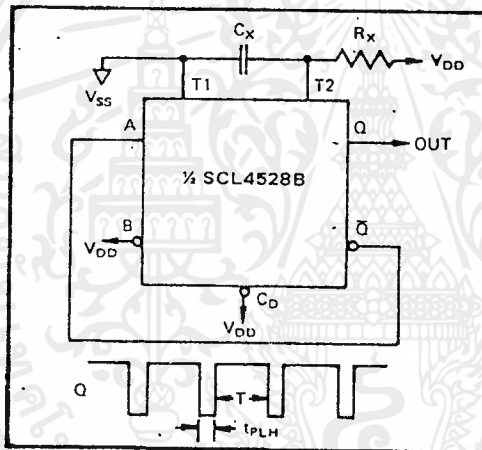


Typical N-Channel
Sink Current Characteristics

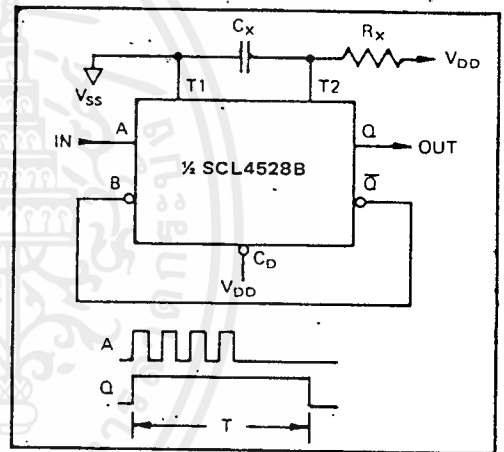
AC TEST WAVEFORMS



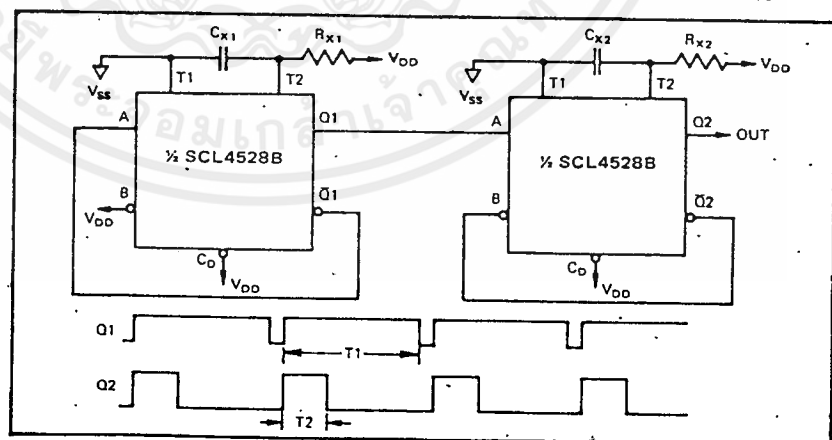
APPLICATIONS INFORMATION



Astable Operation



Connection for Non-Retriggerable Operation



Astable Multivibrator with Adjustable Period and Duty Cycle