

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การมัลติเพล็กซ์แบบดิจิทัล 24 ช่องสัญญาณ
24 CHANNEL DIGITAL MULTIPLEXING



เลขที่.....
เลขทะเบียน 72086
วันเดือนปี - 8 ส.ย. 2550

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

ภาควิชา
วิศวกรรมโทรคมนาคม

ผ่านการตรวจชิ้นงานแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ซ้ำในการค้า (ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่ลงเว็บไซต์ และต้องอยู่ในห้องคลังเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมัลติเพล็กซ์แบบดิจิทัล 24 ช่องสัญญาณ
24 CHANNEL DIGITAL MULTIPLEXING



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การมัลติเพล็กซ์แบบดิจิทัล 24 ช่องสัญญาณ

24 CHANNEL DIGITAL MULTIPLEXING

ผู้จัดทำ

1. นายธีรปรกรณ์ พิมมานนท์ 47015054

2. นายยิ่งยศ หุ่มจำปา 47015062

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร.พิเชฐ ม่วงนวล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.สมยศ จุลณะปิยะ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การมัลติเพล็กซ์แบบดิจิทัล 24 ช่องสัญญาณ
24 CHANNEL DIGITAL MULTIPLEXING

โดย นายธีรปรกรณ์ พิมมานนท์ 47015054
นายยิ่งยศ พุ่มจำปา 47015062

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.พิเชษฐ ม่วงนวล
รศ.สมยศ จุณณะปิยะ

บทคัดย่อ

โครงการปริญญานิพนธ์นี้เป็นการมัลติเพล็กซ์มาตรฐาน DS1 โดยใช้ทฤษฎีของการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา (TDM) ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงการนำเอาการมัลติเพล็กซ์มาใช้งานอย่างง่าย ๆ มีจุดทดสอบสัญญาณให้เห็น การมัลติเพล็กซ์และสัญญาณในการควบคุมการมัลติเพล็กซ์

ABSTRACT

This thesis project is the design and making DS1 Multiplexing Standard by using TDM (Time Division Multiplex). It is showing taking multiplex to work easily. It has the testing point of multiplex sign for controlling the multiplex.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญรูป	II
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 หลักการของการมัลติเพล็กซ์	2
2.2 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลา	3
2.3 ตัวเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลและตัวเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก	6
2.4 การมอดูเลตแบบแอมพลิจูดของพัลส์	17
2.5 สัญญาณอนาลอก	18
2.6 การส่งแบบอนาลอก	19
2.7 หลักการเบื้องต้นของโทรศัพท์	20
2.8 ประเภทของชุมสายโทรศัพท์	27
2.9 หลักการตรวจจับของลูป	27
2.10 วงจรเสียง	29
2.11 วงจรสร้างสัญญาณเรียกเข้า	31
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	33
3.1 การกำหนดรูปแบบและการทำงานของระบบการมัลติเพล็กซ์ในสายโทรศัพท์	33
3.2 การออกแบบวงจรมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์	34
3.3 การออกแบบวงจรจ่ายไฟ	43
3.4 การทำงานของระบบ	44
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	46
4.1 จุดทดสอบสัญญาณที่ 1	46
4.2 จุดทดสอบสัญญาณที่ 2	46
4.3 จุดทดสอบสัญญาณที่ 3-5	48
4.4 จุดทดสอบสัญญาณที่ 6	48
4.5 จุดทดสอบสัญญาณที่ 7	48
4.6 จุดทดสอบสัญญาณที่ 8	51
4.7 จุดทดสอบสัญญาณที่ 9	51
4.8 จุดทดสอบสัญญาณที่ 10	52
4.9 การทดลองการใช้งาน	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์

ภาคผนวก

บรรณานุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 หลักการของการมัลติเพล็กซ์	2
รูปที่ 2.2 ระบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลา	4
รูปที่ 2.3 บล็อกโคอะแกรมของการกรองสัญญาณเบสแบนด์	6
รูปที่ 2.4 แสดงบล็อกโคอะแกรมของตัวเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลและดิจิตอลเป็นอนาลอก	7
รูปที่ 2.5 แสดงสัญญาณอนาลอกที่เอาต์พุตของตัวเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก	7
รูปที่ 2.6 ตัวเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกแบบ N บิต โดยการใช้ตัวต้านทานแบบถ่วงน้ำหนักตามเลข รหัสฐานสองนำมาต่อเป็นวงจรแบบขั้นบันได	8
รูปที่ 2.7 ตัวเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลชนิดมีการป้อนกลับแบบง่าย	10
รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D Conversion)	11
รูปที่ 2.9 สัญญาณอนาลอกมอดูเลตกับสัญญาณพัลส์จะได้สัญญาณ PCM	11
รูปที่ 2.10 แถบความถี่ของสัญญาณ PAM ซึ่งผ่านการสุ่มค่าแล้ว	12
รูปที่ 2.11 ผลของความถี่สัญญาณสุ่มค่าและสัญญาณอนาลอกต่อสัญญาณ PAM	12
รูปที่ 2.12 ความถี่ของสัญญาณสุ่มค่า 8 กิโลเฮิรตซ์ สำหรับสัญญาณเสียง	13
รูปที่ 2.13 การแปลงสัญญาณ PAM ให้เป็นตัวเลข	14
รูปที่ 2.14 สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการแปลงตัวเลข	14
รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงตัวเลขกับสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลข	15
รูปที่ 2.16 การนำสัญญาณ PAM มาเข้ารหัส	15
รูปที่ 2.17 ระบบทวนสัญญาณแบบสร้างชิ้นใหม่	16
รูปที่ 2.18 การแปลงสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณอนาลอก	17
รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสัญญาณอินพุตและสัญญาณเสียงต่อสัญญาณรบกวน	17
รูปที่ 2.20 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส	18
รูปที่ 2.21 การส่งแบบอนาลอก	20
รูปที่ 2.22 สัญลักษณ์ของ เครื่องส่ง และ เครื่องรับ	20
รูปที่ 2.23 เครื่องส่งแบบคาร์บอน	21
รูปที่ 2.24 ส่วนประกอบของกระแสไฟสลับ และ ไฟตรง	21
รูปที่ 2.25 การแยกส่วนประกอบของกระแสไฟสลับกับกระแสไฟตรง	22
รูปที่ 2.26 เครื่องรับ	22
รูปที่ 2.27 ภารกิจของเครื่องรับโทรศัพท์	24
รูปที่ 2.28 ไดอัลพัลส์	25
รูปที่ 2.29 พัลส์ที่เกิดขึ้นเมื่อหมุนเลข 4	26
รูปที่ 2.30 แสดงหน้าปัดของเครื่องโทรศัพท์แบบกดปุ่ม และ ความถี่ที่ใช้	26
รูปที่ 2.31 การตรวจจับรูป	28

สารบัญญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.32 วงจรการตรวจจับรูป	28
รูปที่ 2.33 วงจรทรานส์ฟอเมอร์คัปเปิลไลน์แอมพลิไฟเออร์	29
รูปที่ 3.34 วงจรทรานส์ฟอเมอร์เลสไลน์ไครเวอร์แอมพลิไฟเออร์	29
รูปที่ 2.35 แสดงการต่อสัญญาณเรียกเข้ากับคู่สายโทรศัพท์	32
รูปที่ 2.36 รูปแบบของวงจรกำเนิดสัญญาณเรียกเข้า	32
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน	33
รูปที่ 3.2 วงจรมัลติเพล็กซ์/ดีมัลติเพล็กซ์และวงจรควบคุมการมัลติเพล็กซ์	35
รูปที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา	36
รูปที่ 3.4 วงจรซิงก์	37
รูปที่ 3.5 วงจรตรวจสอบการเรียกเข้า	37
รูปที่ 3.6 วงจรตอบสนองการยกหู	38
รูปที่ 3.7 วงจรตรวจจับสัญญาณเสียงจากสายโทรศัพท์	39
รูปที่ 3.8 วงจรพื้นฐานบีทเฟอร์	39
รูปที่ 3.9 วงจรขยายสัญญาณเสียง	40
รูปที่ 3.10 วงจรตรวจสอบการเรียกเข้า	40
รูปที่ 3.11 วงจรตอบสนองการเรียกเข้า	41
รูปที่ 3.12 วงจรตรวจจับสัญญาณเสียงจากสายโทรศัพท์	41
รูปที่ 3.13 วงจรขยายสัญญาณเสียง	42
รูปที่ 3.14 วงจรกำเนิดสัญญาณเรียก	43
รูปที่ 3.15 วงจรแหล่งจ่ายไฟ	43
รูปที่ 4.1 สัญญาณนาฬิกาจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 1	47
รูปที่ 4.2 สัญญาณนาฬิกา กับสัญญาณรีเซ็ทจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 2	47
รูปที่ 4.3 สัญญาณควบคุมการมัลติเพล็กซ์จากจุดทดสอบสัญญาณที่ 3	48
รูปที่ 4.4 สัญญาณควบคุมการมัลติเพล็กซ์จากจุดทดสอบสัญญาณที่ 4	49
รูปที่ 4.5 สัญญาณควบคุมการมัลติเพล็กซ์จากจุดทดสอบสัญญาณที่ 5	49
รูปที่ 4.6 สัญญาณกำหนดให้ไอซีมัลติเพล็กซ์ตัวที่ 1 ทำงานจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 6	50
รูปที่ 4.7 สัญญาณกำหนดให้ไอซีมัลติเพล็กซ์ตัวที่ 2 ทำงานจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 7	50
รูปที่ 4.8 สัญญาณทริกที่ได้จากจุดทดสอบสัญญาณ	51
รูปที่ 4.9 สัญญาณรีเซ็ทจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 9	52
รูปที่ 4.10 สัญญาณที่วัดได้ขณะไม่มีการยกหู โทรศัพท์จากจุดทดสอบสัญญาณที่ 10	53
รูปที่ 4.11 สัญญาณที่วัดได้ขณะยกหู โทรศัพท์ขึ้น 1 เครื่องจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 10	53
รูปที่ 4.12 สัญญาณที่วัดได้ขณะยกหู โทรศัพท์ขึ้น 2 เครื่องจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 10	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.13 สัญลักษณ์ที่วัด ไค้ขณะยกหูโทรศัพท์ขึ้น 3 เครื่องจากจุดทดสอบสัญลักษณ์ที่ 10	54
รูปที่ 4.14 สัญลักษณ์ที่วัด ไค้ขณะยกหูโทรศัพท์ขึ้น 4 เครื่องจากจุดทดสอบสัญลักษณ์ที่ 10	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ปัจจุบันการสื่อสารโทรคมนาคมเข้ามามีความสำคัญเป็นอย่างมากในชีวิตประจำวัน เพราะเป็นยุคโลกาภิวัตน์ หรือโลกแห่งการสื่อสารไร้พรมแดนทุกที่บนโลกสามารถติดต่อถึงกันภายในพริบตา ซึ่งในระบบการสื่อสารนั้นทรัพยากรต่างๆ (เช่น ความถี่ในการใช้งาน, ปริมาณคู่สาย ฯลฯ) ที่ถูกนำมาใช้งานนั้น ล้วนมีอยู่อย่างจำกัด เราจึงต้องใช้ทรัพยากรต่างๆ ที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุด การมัลติเพล็กซ์ก็เป็นเทคนิคอย่างหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว โครงการนี้จะแสดงถึงการส่งสัญญาณ โทรศัพท์จำนวน 24 ช่องสัญญาณ มัลติเพล็กซ์ส่งไปกับสายโทรศัพท์แค่ 1 เส้นและที่ด้านรับก็จะมีมัลติเพล็กซ์ออกเป็น 24 ช่อง ตามเดิม

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 ศึกษาหลักการการทำงานของระบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา
- 1.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพของการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลา เมื่อใช้ส่งสัญญาณโทรศัพท์

1.3 แนวคิดและขอบเขตของโครงการ

- 1.3.1 สร้างชุดมัลติเพล็กซ์ในสายโทรศัพท์ ประกอบด้วยภาคมัลติเพล็กซ์ และภาคดีมัลติเพล็กซ์
- 1.3.2 ชุดมัลติเพล็กซ์สามารถรับส่งสัญญาณ โทรศัพท์ได้ 24 ช่องสัญญาณ
- 1.3.3 ความสามารถในการใช้งานของโทรศัพท์ที่ผ่านชุดมัลติเพล็กซ์มีเหมือนเดิมทุกประการ

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการของการมัลติเพล็กซ์

ในระบบการสื่อสารนั้นทรัพยากรต่างๆ(เช่นความถี่ในการใช้งาน, ปริมาณคู่สาย ฯลฯ) ที่ถูกนำมาใช้งานนั้นล้วนมีอยู่อย่างจำกัด เราจึงต้องใช้ทรัพยากรต่างๆที่มีอยู่ให้คุ้มค่าที่สุด การมัลติเพล็กซ์ก็เป็นเทคนิคอย่างหนึ่งในการแก้ปัญหาดังกล่าว ความหมายของมัลติเพล็กซ์ก็คือ การรวมให้ช่องสัญญาณที่มีขนาดความจุของข่าวสารต่ำ สามารถใช้งานผ่านสื่อสัญญาณที่มีขนาดความจุสูงชุดเดียวกันได้ ทำให้ความจุของระบบสื่อสัญญาณนั้นถูกใช้งานอย่างคุ้มค่าที่สุด หลักการของการมัลติเพล็กซ์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการของการมัลติเพล็กซ์

จากรูปที่ 2.1 เราให้ n input data channel ถูกส่งเข้าไปยัง MUX ซึ่งมันจะทำหน้าที่ในการรวมช่องสัญญาณทั้งหมด แล้วส่งผ่านไป communication link ที่มีขนาดความจุขนาด n data channel ชุดหนึ่งเมื่อถึงปลายทางแล้วช่องสัญญาณที่ถูกรวมไปใน communication link นั้นก็จะถูกแยก (DEMUX) ออกมาเป็น n channel data output ตามเดิม

การที่หลักการ Multiplexing ได้รับการใช้งานอย่างกว้างขวางก็เนื่องจาก

- การที่สามารถทำให้ communication link มีความจุสูงมากขึ้นเท่าใด ก็จะเป็นการทำให้ต้นทุนของการใช้งาน transmission ต่ำลงเท่านั้น (More cost-effective) หมายถึงว่า เมื่อมีการใช้งาน application อย่างหนึ่งใน ระยะทางช่วงหนึ่ง ค่าใช้จ่ายในการสื่อสารต่อ kbps จะลดลงเมื่อ data rate ของ transmission facility เพิ่มสูงขึ้น ในทำนองเดียวกันก็คือ ราคาของ transmission และ receiving equipment ต่อ kbps จะถูกลงเมื่อ data rate เพิ่มสูงขึ้น

- ในการส่งข้อมูลทั่วไปนั้น อุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้งานเช่น data terminal equipment มักมีความเร็วไม่สูงนัก เช่นในการส่งข้อมูลที่มีขนาด file ไม่ใหญ่นัก data rate ระหว่าง 9,600 bps ถึง 64 kbps ก็มักเพียงพอแล้ว

- ความมืออยู่อย่างจำกัดของ transmission media ดังได้กล่าวแล้ว ทำให้ความต้องการส่งสัญญาณต่างๆไปใน transmission media ชุดเดียวกันมีความจำเป็นมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

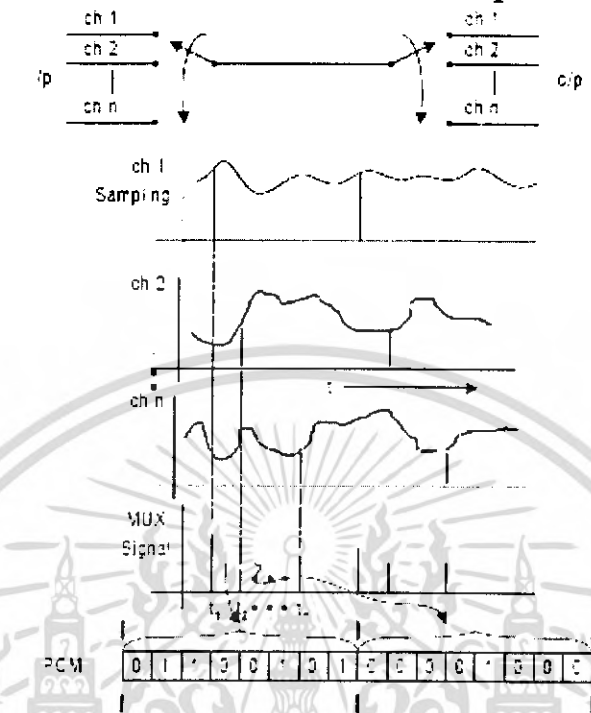
2.2 การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลา

ในระบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลา สัญญาณเสียงแต่ละช่องจะถูกสุ่มตัวอย่างด้วยอัตราความเร็วสม่ำเสมอ สัญญาณเสียงที่ถูกสุ่มตัวอย่างนี้ จะอยู่ในรูปของพัลส์ที่มีความกว้างแคบๆ และมีขนาดแอมพลิจูดเหมือนกับขนาดของสัญญาณเสียง ในขณะที่ทำการสุ่มตัวอย่างสัญญาณเสียงจากช่องสัญญาณอื่นก็ผ่านการสุ่มตัวอย่างเช่นเดียวกัน แล้วถูกแบ่งตามเวลา เวลาหนึ่งเป็นของสัญญาณพัลส์จากช่องหนึ่งตามด้วยสัญญาณพัลส์จากอีกช่องหนึ่งจนกว่าจะครบทุกช่อง โดยส่งเป็นอนุกรมด้วยความเร็วสูงกว่าความเร็วพัลส์ การสุ่มตัวอย่างตามวิธีข้างต้นเรียกว่า การสุ่มตัวอย่างตามธรรมชาติที่ปลายทาง ก็จะมีเครื่องมัลติเพล็กซ์ทำการแยกพัลส์ที่ผสมกัน ตอนส่งให้แยกออกเป็นพัลส์ ของแต่ละช่องแยกไปตามช่องของพัลส์อย่างถูกต้องเพื่อความถูกต้อง ในการแยกพัลส์ที่ปลายทางจึงต้องมีพัลส์สำหรับจับเวลาให้ตรงกันตามรูปที่ 2.2 จะแสดงการพิจารณาระบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลา จะเห็นได้ว่าทางภาคส่งที่เป็นมัลติเพล็กซ์ รวมสัญญาณพัลส์ แต่ละช่องที่มีความเร็วต่ำส่งผ่านสายที่มีความเร็วสูง ที่ปลายทางเครื่องมัลติเพล็กซ์จะแยกพัลส์ไปตามช่องต่างๆ อย่างถูกต้องตามต้องการ สัญญาณพัลส์ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างเรียกว่า พัลส์แอมพลิจูดมอดูเลตจะเห็นได้ว่าขนาดของพัลส์จะเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณมอดูเลต สัญญาณพัลส์จะเกิดในอัตราสม่ำเสมอ เวลาระหว่างพัลส์หนึ่งกับอีกพัลส์หนึ่ง จะห่างกันพอประมาณ เพื่อป้องกันมิให้พัลส์เกิดซ้อนกัน เมื่อผ่านเครื่องกรองความถี่ต่ำในภาครับ ระหว่างพัลส์ 2 พัลส์ เรียกว่า การ์ดไทม์

การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลายังถูกแบ่งรูปออกไปอีกเป็นจำนวนมากมาย ซึ่งในการสุ่มตัวอย่างค่าของสัญญาณข่าวสารสามารถนำมาเปลี่ยนเป็นระบบการมอดูเลตแบบช่วงกว้างพัลส์(PDM) การมอดูเลตแบบตำแหน่งพัลส์(PPM) , การมอดูเลตแบบเวลาพัลส์(PWM) , การมอดูเลตแบบรหัสพัลส์(PCM) , และส่ง โดยมีหรือไม่มีแคเรียร์ ซึ่งวิธีการของพีซีเอ็มเป็นวิธีที่เหมาะสมกับโทรศัพท์มากที่สุดในการลดสัญญาณรบกวนที่ระยะไกลได้ ซึ่งมีรายละเอียดอื่นๆ อีกมากมายทั้งการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลาและการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามความถี่นั้นจะมีจุดมุ่งหมายที่เหมือนกัน แต่ความหมายนั้นแตกต่างกัน โดยการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลาถูกแยกสัญญาณออกในรูปของบิตเชิงเวลา แต่รูปแบบสัญญาณรวมกันในรูปของความถี่ ในขณะที่การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามความถี่ ถูกแยกสัญญาณโดยขอบเขตเชิงความถี่ แต่รวมกันในรูปของเวลา ซึ่งสามารถจะแยกข้อแตกต่างได้ดังนี้

ก. การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลาจะต้องมีการจับแคเรียร์มอดูเลต, การกรองความถี่แบนด์พัลส์ และคิมมอดูเลตของแต่ละช่อง และพัลส์สำหรับจับเวลาให้ตรงกันระหว่างการส่งและรับมีความต้องการเพียงเล็กน้อยกว่าการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามความถี่

TDM : Time Division Multiplexing



รูปที่ 2.2 ระบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลา

ข. การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลาไม่มีผลต่อการใช้แหล่งจ่ายรวมกันซึ่งโดยปกติแล้วนั้นในการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลามีการฟิลเตอร์ และครอสคอสตอเรเตอร์ไม่เป็นค่าเชิงเส้น ในกรณีนี้จะไม่มีการรบกวนระหว่างช่องในระบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลา ซึ่งถ้ามีรูปของพัลส์อย่างสมบูรณ์จะไม่เกิดการซ้อนของสัญญาณให้แยกออกจากกัน กรณีใช้การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลาจะสามารถหลีกเลี่ยงปัญหานี้ได้ ถ้าในการตอบสนองช่วงกว้างของความถี่และการเกิดความคิดเพี้ยนนั้นมิสาเหตุเกิดมาจากการเลื่อนเฟสโดยการทำให้พัลส์แคบลงและอยู่ในขอบเขตส่วนการคิดเพี้ยนของเฟสจะไม่เกิดในการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามความถี่

2.2.1 การรบกวนระหว่างช่องในระบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลา

โดยธรรมชาติของพัลส์ จะมีลักษณะดังรูปที่ 2.3 และทำให้เกิดการเหลื่อมขึ้นอย่างไรก็ตามเราสามารถลดผลกระทบเกิดเหล่านี้ได้โดยการใช้การ์ดไทม์แทรกระหว่างพัลส์ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับการ์ดแบนด์ของมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามความถี่ ดังนั้นการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลา ก็จะมีการ์ดไทม์อยู่ 2 ข้างซึ่งโครงสร้างนี้สามารถลดการรบกวนระหว่างช่องได้ซึ่งในขั้นสุดท้ายก็จะง่ายต่อการทำให้กลับมาเป็นข่าวสารดั้งเดิมด้วยฟิลเตอร์

สำหรับค่าโดยประมาณของการรบกวนระหว่างช่องเราทราบว่าพัลส์จะลดลงตามสมการเอ็กโพเนนเชียล โดยจะขึ้นอยู่กับ $1/2 \pi B$ เมื่อ $B = 3\text{dB}$ ความกว้างของแถบในแต่ละช่อง เมื่อนำไปเทียบกับสัญญาณเบสแบนด์ของช่อง ถ้า T_g เป็น Guard Time Act - $AE^{-2\pi B t_g}$ เราจะสามารถหาค่าตัวประกอบการรบกวนระหว่างช่องได้คือ

$$K = (\text{Act})^2 = 1^{-2\pi B t_g} \quad (2.1)$$

$$K = -54.4 \text{ B } T_g \text{ dB} \quad (2.2)$$

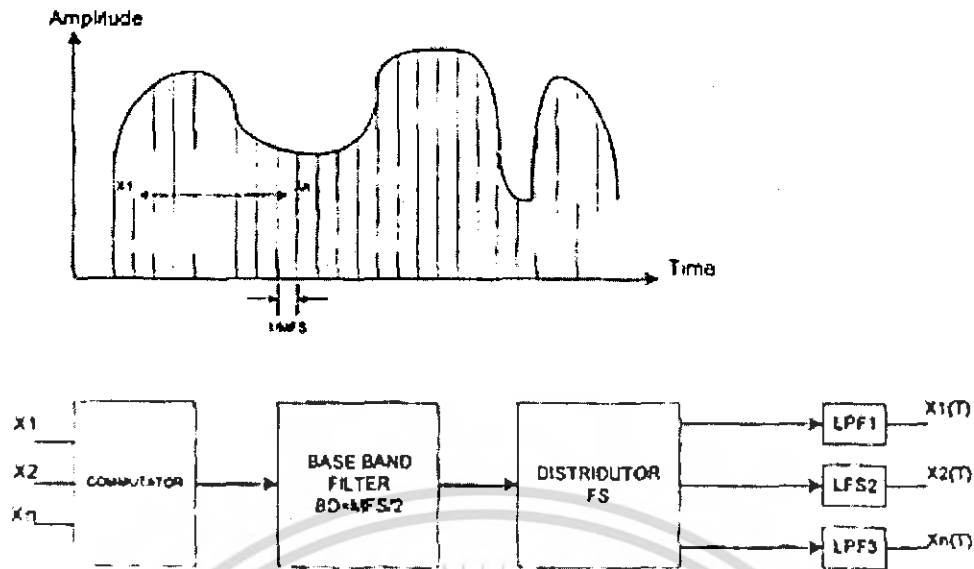
(ถ้าต้องการให้มีการรบกวนระหว่างช่องต่ำกว่า -30 dB เมื่อ $T_g > 1/2B$)

การ์ดใหม่มีความสำคัญมาก เมื่อใช้มัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลาที่มีการเคลื่อนย้ายพัลส์ไปมาระหว่างเฟรม

2.1.2 การกรองสัญญาณเบสแบนด์

เมื่อการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่มี M อินพุตความถี่ของแบนด์ = W ถ้าการ์ดแบนด์มีขนาดเล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับ W และใช้วิธีการส่งแบบไซด์แบนด์เดี่ยว ซึ่งทำให้ได้ความถี่ของแถบ = MW จากรูปเราพิจารณาในกรณีของการมอดูเลตแบบแอมพลิจูดของพัลส์ ซึ่งรูปแบบของสัญญาณเป็นการผสมความถี่ของแถบใหญ่กว่าค่าต่ำสุด ค่าความถี่ของพัลส์มีค่าเท่ากับ $\ll 1/W \text{ Hz}$ ดังนั้น การส่ง พัลส์อาร์เอฟ ต้องการความถี่ของแถบ $1/\Delta > MW$ ในการเปลี่ยนกลับมาของสัญญาณเราจะมีรูปคลื่นในลักษณะต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีลักษณะเหมือนขั้วสารเคมีแต่ไม่สมบูรณ์พอ ดังนั้นช่องว่างของเวลา $1/M\Delta$ ค่า $X_b(t)$ สามารถกำจัดความถี่ของแถบในรูปของ $B_d = M\Delta/2$ ซึ่ง $X_b(t)$ นั้นประกอบด้วยวงจรกรองแบบผ่านต่ำ แสดงในรูปที่ 2.3 ที่ภาครับตัวดิสทริบิวเตอร์จะนำสารเคมีออกจาก $X_b(t)$ เมื่อทำการสร้างรูปแบบขึ้นมาใหม่ให้เหมือนเดิม

ถ้ามีการกรองสัญญาณเบสแบนด์ความถี่ของสัญญาณซีกตัวอย่างจะมีค่าเป็นอัตราในควิสต์ ($f_s = 2W$) และถ้าค่าความถี่ของแถบความถี่ของเครื่องส่งการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลาจะกลายเป็น $M\Delta/2 = MW$ ภายใต้เงื่อนไขนี้ การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลาสามารถที่จะทำได้เช่นเดียวกับค่าต่ำสุดของความถี่ของแถบของการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งความถี่ แต่ค่าสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการรบกวนระหว่างช่องนั้นก็จะมีอยู่ในระบบ การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลาชนิดนี้ถูกออกแบบในลักษณะของพัลส์แอมพลิจูดมอดูเลตแบบไซด์แบนด์เดี่ยว



รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของการกรองสัญญาณเบสแบนด์

การกรองสัญญาณเบสแบนด์เป็นวิธีที่ง่ายที่สุดที่นำไปใช้ในระบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลา และการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามความถี่ ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของระบบที่ส่งเป็นระยะทางไกลๆ

2.1.3 ข้อดีของระบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลาเมื่อเปรียบเทียบกับ การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามความถี่

ก. การมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามเวลาจะต้องมีการซับแคเรียห์มอดูเลต, การกรองความถี่แบนด์พาส และคิมอดูเลตของแต่ละช่อง และพัลส์สำหรับจับเวลาให้ตรงกันระหว่างการส่งและรับมีความต้องการเพียงเล็กน้อยกว่าการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งตามความถี่

ข. เคเบิลที่มีคุณภาพต่ำ เช่น เคเบิลความถี่เสียงพูดสามารถใช้กับระบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาได้เพราะการทวนสัญญาณแบบสร้างใหม่ได้กำจัดผลเสียจากการรบกวน การบิดเบือนและการพูดแทรกออกแล้ว

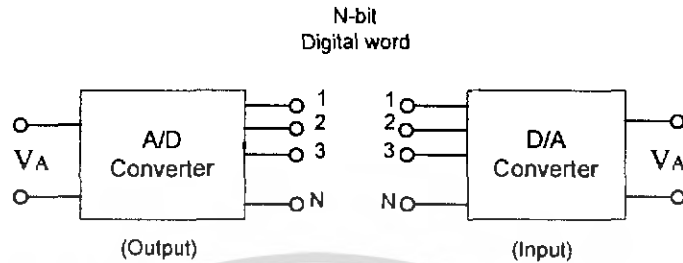
ค. ในการเปลี่ยนระดับขึ้นลงของช่องนั้นจะถูกควบคุมด้วยคุณสมบัติของอุปกรณ์ปลายทางแต่เพียงอย่างเดียว และไม่ขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงของการสูญเสียในสายส่งนั้น คือระบบนี้เป็นวงจรที่มีการสูญเสียสุทธิต่ำ

2.3 ตัวเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลและตัวเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก

สำหรับการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลและการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกในช่วงแรก จะเป็นการอธิบายถึงหลักการโดยทั่วและวงจรของการเปลี่ยนสัญญาณซึ่งการเปลี่ยนแปลงรูปแบบสัญญาณจะมีหลายชนิด เช่น พัลส์โคดมอดูเลชัน (Pulse Code Modulation) เคลตต้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

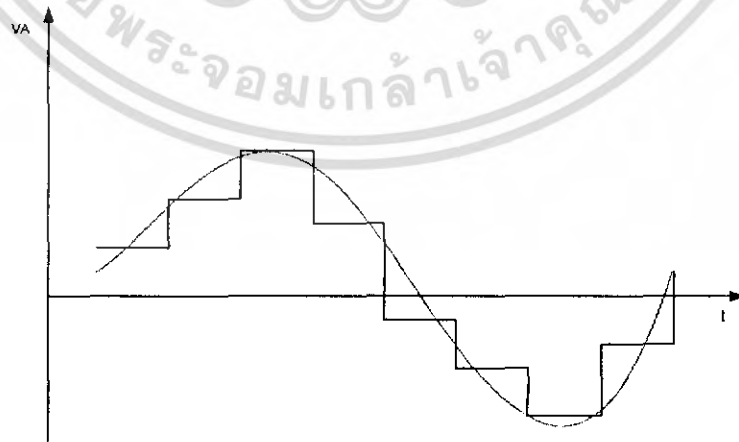
มอดูเลชัน (Delta Modulation) แอมพลิจูดมอดูเลชัน (Amplitude Modulation) ซึ่งสำหรับโครงการ
 ชั้นนี้ได้ใช้วิธีการแปลงสัญญาณแบบพัลส์โคดมอดูเลชันจึงได้มีการอธิบายหลักการและวิธีการแปลง
 สัญญาณโดยวิธีพัลส์โคดมอดูเลชันโดยละเอียดในตอนท้ายต่อไป



รูปที่ 2.4 แสดงบล็อกโคอะแกรมของตัวเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลและดิจิทัลเป็นอนาลอก

รูป 2.4 เป็นบล็อกที่ตัวเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (A/D Converter; ADC) และตัว
 เปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาลอก (D/A Converter; DAC) โดยตัวเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็น
 ดิจิทัลจะรับสัญญาณอนาลอก (V_A) และสร้างสัญญาณทางดิจิทัลที่มีความยาว n บิต

ในทางกลับกันสำหรับวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก จะรับสัญญาณดิจิทัลขนาด
 n บิต เพื่อที่จะสร้างสัญญาณอนาลอก สัญญาณเอาต์พุตของตัวเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกจะถูก
 นำไปเข้าสู่วงจรแซมปลิงและโฮลด์ (sample – and – hold) ต่อไป โดยเอาต์พุตของวงจรแซมปลิงและ
 โฮลด์จะเป็นแบบขั้นบันไดดังรูป 2.5 โดยรูปคลื่นดังกล่าวจะถูกทำให้เรียบขึ้น (smooth) โดยวงจรกรอง
 ผ่านความถี่ต่ำ (low pass filter) โดยสัญญาณที่เรียบขึ้น จะแสดงดังรูป 2.5 โดยวิธีนี้สัญญาณอนาลอกจะ
 ถูกสร้างขึ้นใหม่ โดยค่าผิดพลาดทางการควอนไทส์ (quantization error) ของตัวเปลี่ยนสัญญาณอนาลอก
 เป็นดิจิทัลจะมีค่าเท่ากับ $\pm 1/2$ ของบิต ที่มีค่าสำคัญน้อยที่สุด (least significant bit)



รูปที่ 2.5 แสดงสัญญาณอนาลอกที่เอาต์พุตของตัวเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก

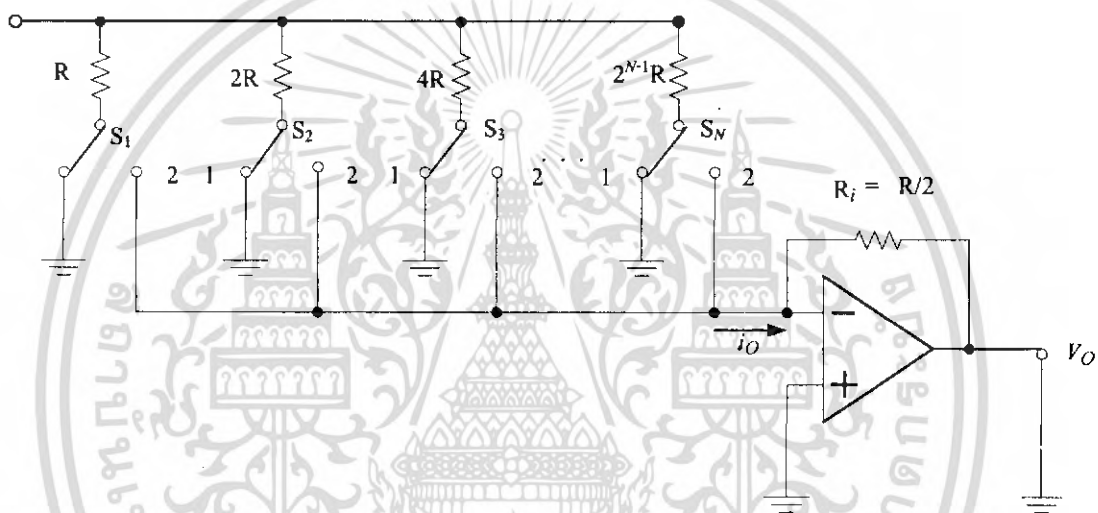
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติจะถูกป้อนเข้าไปที่วงจรแอมป์และโฮลด์ (sample – and – hold) เพื่อที่จะได้สัญญาณคลื่นรูปบันไดซึ่งสัญญาณนี้สามารถทำให้เรียบขึ้นได้โดยผ่านวงจรกรองสัญญาณ

2.3.1 วงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกแบบทั่วไป (D/A Converter Circuit)

2.3.1.1 วงจรตัวต้านทานแบบถ่วงน้ำหนักตามเลขรหัสฐานสองแบบพื้นฐาน

รูป 2.6 แสดงวงจรอย่างง่ายสำหรับตัวเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกแบบ N บิต ซึ่งวงจรจะประกอบด้วยแรงดันอ้างอิง (V_{ref}) ตัวต้านทานแบบถ่วงน้ำหนักตามเลขรหัสฐานสอง N บิต ประกอบด้วย $R, 2R, 4R, 8R, \dots, 2^{N-1}R$ สวิตช์ $S_1, S_2, S_3, \dots, S_N$ และออปแอมป์ที่มีค่าความต้านทานย้อนกลับ $R_f = R/2$



รูปที่ 2.6 ตัวเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกแบบ N บิต โดยการใช้ตัวต้านทานแบบถ่วงน้ำหนักตามเลขรหัสฐานสองนำมาคือเป็นวงจรแบบขั้นบันได

สวิตช์จะถูกควบคุมโดยสัญญาณทางดิจิทัลที่มีขนาด N บิต (D)

$$D = b_1/2^1 + b_2/2^2 + \dots + b_N/2^N \quad (2.3)$$

โดยค่า b_1, b_2, \dots, b_N เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของบิตซึ่งจะมีค่าเป็น 1 หรือ 0 โดยค่า b_N จะเป็นค่าที่มีความสำคัญน้อยที่สุด (least significant bit ; LSB) และ b_1 จะเป็นค่าที่มีความสำคัญมากที่สุด (most significant bit ; MSB) ค่า b_1 จะควบคุมสวิตช์ S_2 เป็นเช่นนี้ทุกตัว เมื่อค่า b_1 เป็น 0 สวิตช์ S_1 อยู่ตำแหน่ง 1 และเมื่อค่า b_1 เป็น 1 สวิตช์ S_1 อยู่ที่ตำแหน่ง 2

เพราะว่าตำแหน่ง 1 ของสวิตช์ทุกตัวจะต่อลงกราวด์ และตำแหน่ง 2 ต่อกับกราวด์เสมือน กระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานแต่ละตัวก็ยังคงมีค่าคงที่ ซึ่งสวิตช์แต่ละตัวควบคุมจุดที่จะให้กระแสไหลผ่านอย่างง่าย ๆ ถ้าไปที่กราวด์ (เมื่อค่าบิตเป็น 0) หรือไปที่กราวด์เสมือน (เมื่อค่าบิตเป็น 1) ค่ากระแสที่ไหลผ่าน

กราวด์เสมือนจะมีค่าเพิ่มขึ้นและผลรวมของกระแส จะไหลผ่านตัวต้านทานแบบป้อนกลับ R_f ผลรวมของกระแสทั้งหมด (i_o) จะกำหนดให้เป็น

$$\begin{aligned} i_o &= (v_{ref}/R)b_1 + (v_{ref}/2R)b_2 + \dots + v_{ref}/2^{N-1}R)b_N \\ &= 2 v_{ref}/R[b_1/2^1 + b_2/2^2 + \dots + b_N/2^N] \end{aligned} \quad (2.4)$$

ดังนั้นจึงได้ว่า

$$i_o = (2 v_{ref}/R)D \quad (2.5)$$

และแรงดันเอาต์พุต (v_o) จะถูกกำหนดให้เป็น

$$V_o = I_o R_f = -V_{ref} D \quad (2.6)$$

ซึ่งเราจะสังเกตเห็นได้ว่าค่า v_o แปรผันโดยตรงกับความยาวของข้อมูลทางดิจิทัล (D) ตามต้องการเราจะสังเกตได้ว่าค่าที่เที่ยงตรงของการเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกขึ้นอยู่กับ (1) ความเที่ยงตรงของแรงดันอ้างอิง (v_{ref}) (2) ค่าความละเอียดของตัวต้านทานแบบถ่วงน้ำหนักตามเลขฐานสองและ (3) ประสิทธิภาพของสวิตช์ เมื่อสังเกตข้อที่ 3 เราควรจะเห็นว่าสวิตช์เหล่านี้ ใช้ควบคุมสัญญาณอนาลอก ขณะที่ค่าแรงดันออฟเซต (offset voltage) และข้อกำหนดของตัวต้านทานไม่ใช่เป็นส่วนที่สำคัญของสวิตช์แบบดิจิทัลองค์ประกอบเหล่านี้เป็นเหตุผลสำคัญในสวิตช์แบบอนาลอก ซึ่งบางทีเราจะใช้ทรานซิสเตอร์แบบเฟต (FET) ซึ่งเราจะเห็นว่า ได้นำเฟตเป็นสวิตช์วงจร ในวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกในทางปฏิบัติทั่วไป โดยวิธีถ่วงน้ำหนักแบบรหัสฐานสองเกิดจากแหล่งกำเนิดกระแส ซึ่งในกรณีสวิตช์แบบอนาลอกจะถูกใช้จากวงจรดิฟเฟอเรนเชียลเพอร์ (differential – pair)

ข้อเสียของวงจรตัวต้านทานแบบถ่วงน้ำหนักตามรหัสเลขฐานสองคือถ้ามีจำนวนของบิตมาก ($N > 4$) ตัวต้านทานระหว่างตัวที่มีค่ามากที่สุดกับตัวที่มีค่าน้อยที่สุดจะมีจำนวนมาก ซึ่งจะทำให้ยุ่งยากในการรักษาค่าความต้านทานของตัวต้านทานให้คงที่

2.3.2 วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (A/D Converter Circuit)

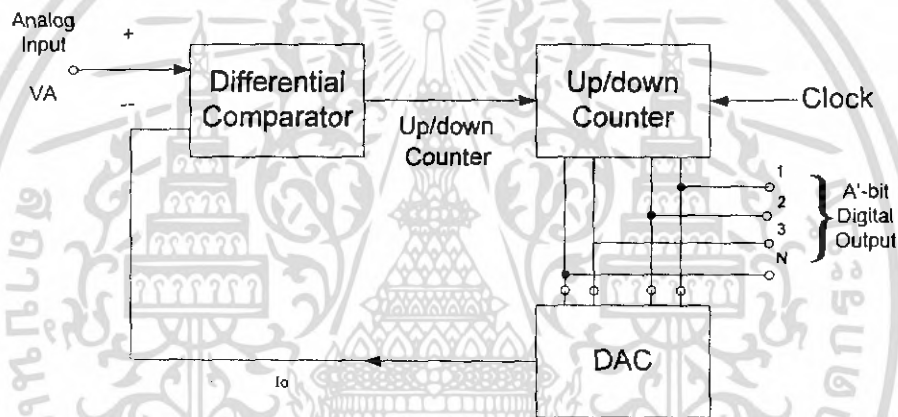
จำนวนของวิธีในการเปลี่ยนจากสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลจะเปลี่ยนแปลงไปตามความซับซ้อนและความเร็วของการเปลี่ยน ต่อจากนี้เราจะอธิบายถึงการส่งสองแบบนี้ แบบแรกจะซับซ้อน (ในรูปของความซับซ้อนของวงจร) แต่เป็นวิธีที่เร็วมาก และอีกชนิดหนึ่งเป็นวิธีแบบที่ใช้อุปกรณ์ชนิดมอส (MOS)

2.3.3 ตัวเปลี่ยนสัญญาณชนิดมีการป้อนกลับ

รูปที่ 2.6 แสดงการเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลแบบพื้นฐาน โดยการใช้วงจรคอมพาราเตอร์ (z (comparator) วงจรนับขึ้น – ลง และตัวเปลี่ยนจากสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอก วงจรคอมพาราเตอร์จะให้ค่าเอาต์พุตที่มีสองระดับที่แตกต่างกัน ให้เอาต์พุตเป็นบวกเมื่อค่าความแตกต่างของอินพุตเป็นบวก และให้ค่าเป็นลบเมื่อค่าความแตกต่างของสัญญาณเป็นลบ สำหรับวงจรนับขึ้น – ลง เป็นวงจรมับพื้นฐานซึ่งสามารถจะเลือกได้ว่าจะนับระดับค่าเลขฐานสองว่านับขึ้นหรือนับลง โดยถูกควบคุมจากอุปกรณ์

ที่ใช้สำหรับควบคุม เพราะว่าตัวเปลี่ยนจากสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอล ใช้ตัวเปลี่ยนจากสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอกในลูปแบบป้อนกลับ (feedback loop) ซึ่งถูกเรียกว่าตัวเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลชนิดมีการป้อนกลับ (feedback - type A/D Converter) ซึ่งมีการทำงานดังนี้ เมื่อมีการนับ 0 ในวงจรนับ เอาต์พุตของวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก (v_o) จะเป็น 0 และเอาต์พุตของคอมพาราเตอร์จะเป็นระดับสูง เพื่อบอกให้วงจรนับนับค่าสัญญาณนาฬิกาแบบนับขึ้น ซึ่งเอาต์พุตของวงจรเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกมีระดับสูงขึ้นขึ้นตอนดังกล่าวจะกระทำต่อเนื่องกันไปจนกระทั่งค่าเอาต์พุตของตัวเปลี่ยนจากดิจิตอลเป็นอนาลอกมีค่าสูงถึงระดับสัญญาณอนาลอกอินพุตที่เข้ามา ซึ่งจะทำให้คอมพาราเตอร์มีการเปลี่ยนค่าและหยุดการทำงานของวงจรนับ เอาต์พุตของวงจรนับจะเป็นค่าทางดิจิตอลที่สมมูลกับระดับแรงดันอนาลอกที่เข้ามา

การทำงานของตัวแปลงสัญญาณ (รูป 2.7) จะเข้าถ้าเราเริ่มต้นจากศูนย์ อย่างไรก็ตามตัวแปลงสัญญาณชนิดนี้จะติดตามการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นในสัญญาณอินพุตที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วได้ในระดับหนึ่ง



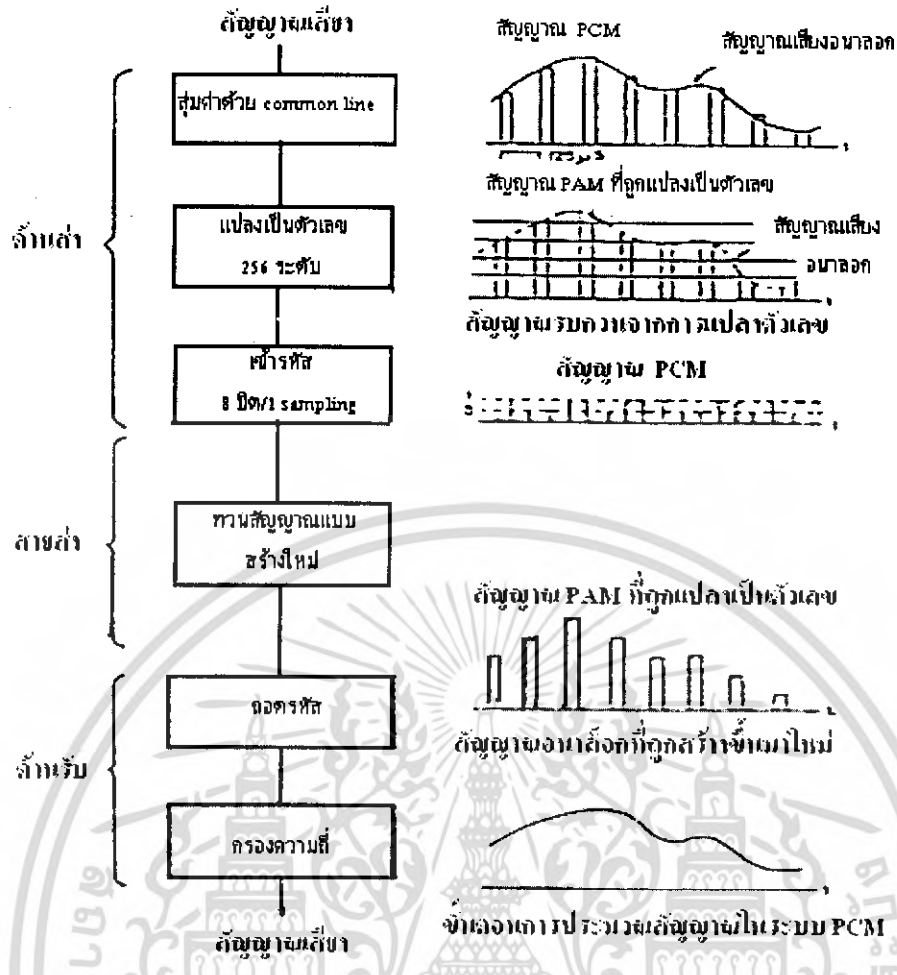
รูปที่ 2.7 ตัวเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลชนิดมีการป้อนกลับแบบง่าย

2.3.3 หลักการเบื้องต้นของระบบพัลส์โคดมอดูเลชัน (Pulse Code Modulation ; PCM)

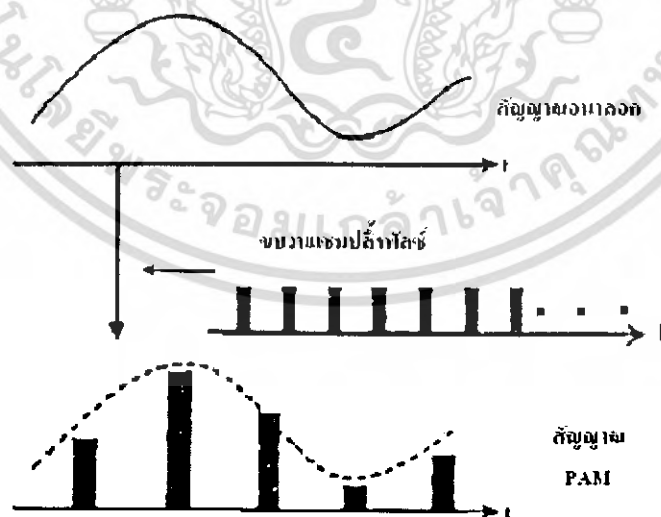
จากรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนในการแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล PCM และจะมีการแปลงกลับ สัญญาณเสียงอนาลอกจะถูกทำการสุ่มค่า (sampling) แปลงเป็นตัวเลข (quantizing) และเข้ารหัส (coding) ซึ่งทั้งสามขั้นตอนรวมกันเรียกว่า การเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล (A/D Conversion)

ปกติแล้วสัญญาณเสียงอนาลอกจะต่อเนื่องกันตลอดตามแกนเวลา การสุ่มค่าก็คือกระบวนการนำค่าแอมพลิจูดของสัญญาณอนาลอกบางค่าในช่วงเวลาซึ่งห่างกันคงที่มาเรียงต่อกัน วิธีนี้เปรียบเสมือนกับการมอดูเลตทางแอมพลิจูด โดยมีสัญญาณพาหะเป็นขบวนพัลส์ที่มีคาบเวลาคงที่ ซึ่งมอดูเลตกับสัญญาณเสียงอนาลอกนั่นเอง ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องตามแกนเวลา ซึ่งเรียกว่า PAM (Pulse Amplitude Modulation) (ดูรูปที่ 2.9)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D Conversion)

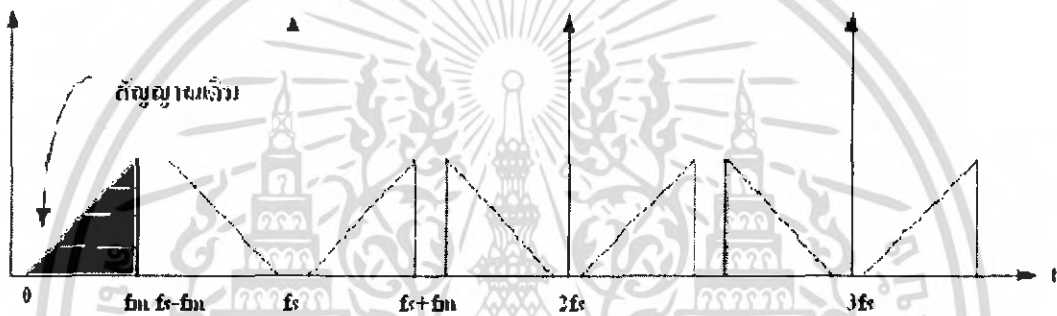


รูปที่ 2.9 สัญญาณอนาล็อกมอดูเลตกับสัญญาณพัลส์จะได้สัญญาณ PCM

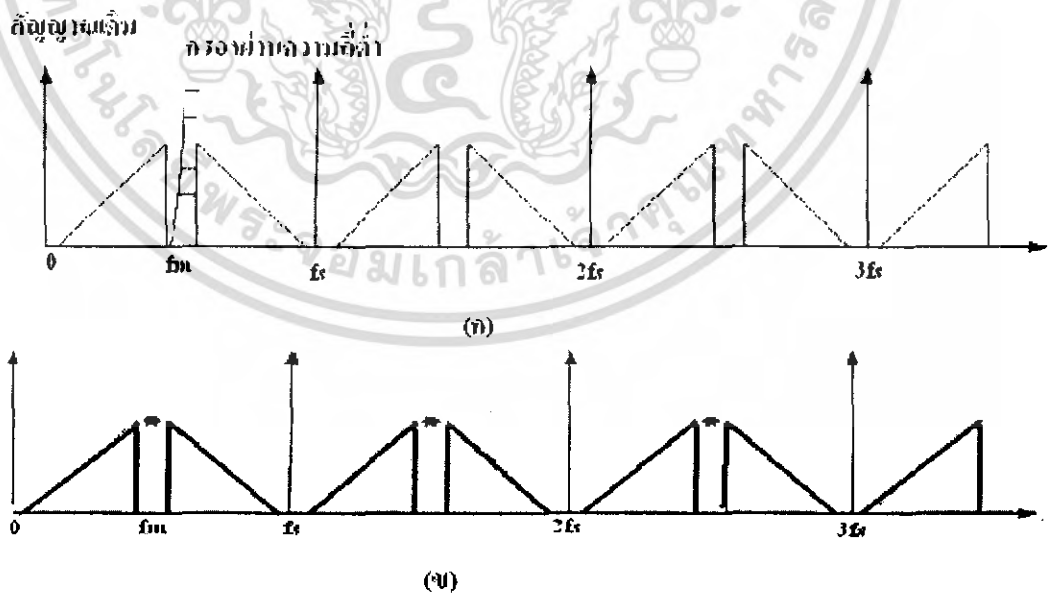
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการสุ่มค่าสัญญาณคือการใช้ความถี่ของพัลส์เท่าไรจึงจะเหมาะสม สิ่งนี้ได้ผ่านการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์และตั้งเป็นทฤษฎีเรียกว่า ทฤษฎีการสุ่มค่า (Sampling Theorem) ซึ่งกล่าวว่า สัญญาณที่มีแอมพลิจูดเป็นฟังก์ชันของเวลาถูกทำการสุ่มค่าทุก ๆ ช่วงเวลาที่ห่างกันที่ เมื่อทำการสุ่มค่าด้วยความถี่อย่างต่ำเป็น 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณนั้นแล้วก็จะสามารถเก็บข่าวสารหรือเนื้อหาของสัญญาณต้นแบบไว้ได้ทั้งหมด

ในรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นแถบความถี่ (frequency spectrum) ของสัญญาณ PAM ซึ่งได้ผ่านขั้นตอนการสุ่มค่าแล้ว โดยมีความถี่สูงสุดของสัญญาณอนาล็อก (f_m) และความถี่ของการสุ่มค่า (f_s) เมื่อนำขบวนสัญญาณพัลส์มาวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ด้วยอนุกรมฟูริเยร์ (fourier series) พบว่าประกอบด้วยฮาร์โมนิกของสัญญาณซายน์ (sine) ที่มีค่าเป็นทวีคูณของความถี่ขบวนพัลส์รวมกันอยู่ ($0, f_s, 2f_s, 3f_s, 4f_s, \dots$)



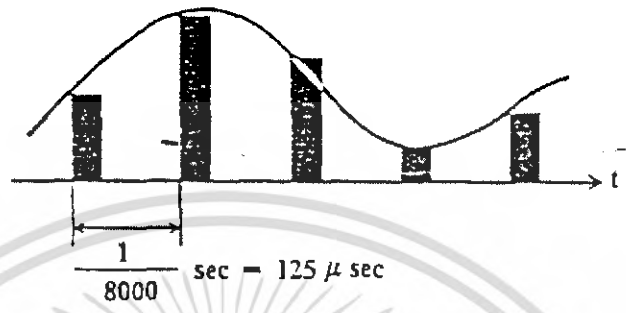
รูปที่ 2.10 แถบความถี่ของสัญญาณ PAM ซึ่งผ่านการสุ่มค่าแล้ว



รูปที่ 2.11 ผลของความถี่สัญญาณสุ่มค่าและสัญญาณอนาล็อกต่อสัญญาณ PAM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.11 (ก) จะเห็นว่าความถี่ f_s มีค่ามากกว่า 2 เท่าของค่าความถี่ f_m ความถี่แถบข้าง (side band) จะไม่ซ้อนทับกัน ซึ่งกรณีนี้สามารถนำสัญญาณอนาลอกกลับคืนมาได้โดยการผ่านวงจรกรองผ่านความถี่ต่ำ (low pass filter) ในทางตรงข้าม (ดูรูป 2.11 (ข) ประกอบ) ถ้าความถี่ f_s มีค่าน้อยกว่า 2 เท่าของความถี่ f_m ความถี่แถบข้าง จะซ้อนกันซึ่งไม่มีวิธีการใด ๆ ที่จะนำสัญญาณอนาลอกกลับคืนมาได้



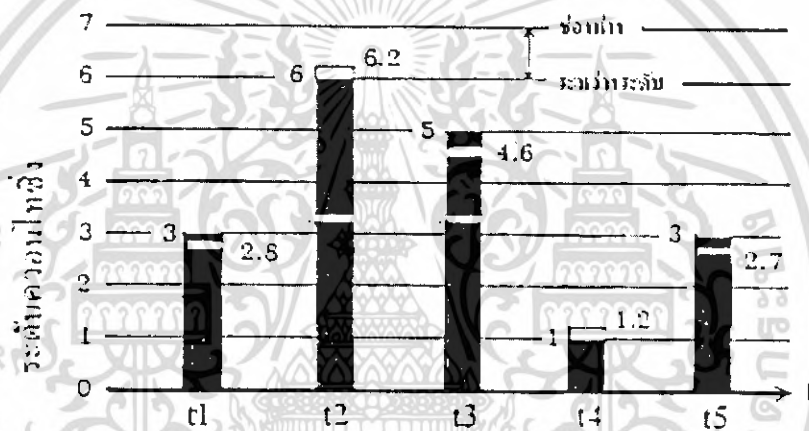
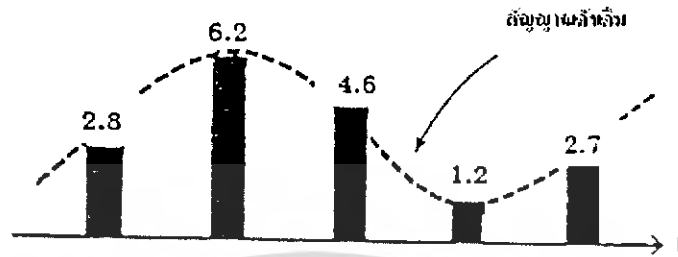
รูปที่ 2.12 ความถี่ของสัญญาณสุ่มค่า 8 กิโลเฮิร์ตซ์ สำหรับสัญญาณเสียง

CCITT (International Telephone & Telegraph Consultative Committee) แนะนำให้ใช้ความถี่ของการสุ่มค่า 8 กิโลเฮิร์ตซ์ สำหรับสัญญาณเสียง ซึ่งโดยปกติแล้วแถบความถี่สัญญาณเสียงที่ใช้ในระบบโทรศัพท์มีค่าจำกัดระหว่าง 0.3 ถึง 3.4 กิโลเฮิร์ตซ์ ดังนั้นค่าความถี่ f_s ตามทฤษฎีควรจะเป็น 2 เท่าของ 3.4 กิโลเฮิร์ตซ์ หรือเท่ากับ 6.8 กิโลเฮิร์ตซ์ อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติจะใช้ค่าความถี่เท่ากับ 8 กิโลเฮิร์ตซ์ ด้วยเหตุผลทางด้านเทคนิคในการสร้างวงจรกรองสัญญาณจะได้ง่ายขึ้น ช่วงเวลาที่ใช้ในการสุ่มค่าแต่ละครั้งเท่ากับ 1/8,000 วินาที หรือ 125 ไมโครวินาที (ดูรูปที่ 2.12)

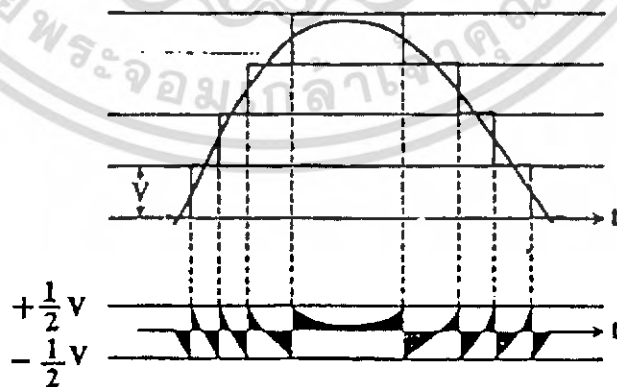
ในขั้นตอนต่อมาสัญญาณ PAM นั้นจะถูกส่งไปผ่านการแปลงเป็นตัวเลข โดยแบ่งขนาดของแอมพลิจูดออกเป็นช่วง ๆ (ดูในรูปที่ 2.13) ค่าของแต่ละช่วงที่ถูกแบ่งเรียกว่าระดับค่าตัวเลข (quantizing level) และระยะระหว่างช่วงที่ถูกแบ่งเรียกว่าช่วงของตัวเลข (quantizing interval) ขนาดของแต่ละสัญญาณสุ่มในสัญญาณ PAM จะถูกแทนด้วยระดับค่าตัวเลข (quantizing level) ที่ใกล้เคียงกับขนาดของมัน ตัวอย่างเช่นสัญญาณที่ถูกสุ่มที่เวลา t_1 มีขนาด 2.8 จะถูกแทนด้วยระดับ 3.0 หรือที่เวลาสัญญาณ t_2 สัญญาณสุ่มมีขนาด 6.2 จะถูกแทนด้วยระดับ 6.0 (ดูรูปที่ 2.13) ซึ่งเป็นการทำระดับของสัญญาณให้มีช่วงห่างที่แน่นอน เพื่อให้สามารถนำไปแปลงเป็นรหัสฐานสองที่สอดคล้องกับแต่ละระดับ

สัญญาณ PAM ที่ถูกแปลงเป็นตัวเลขแล้วจะเป็นเพียงค่าประมาณของสัญญาณอนาลอก ดังนั้นจึงทำให้เกิดมีค่าผิดพลาดระหว่างสัญญาณทั้งสองทางขนาดของแอมพลิจูด ค่าผิดพลาดนี้เรียกว่าสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลข (quantizing noise) หรือการผิดเพี้ยนจากการแปลงเป็นตัวเลข (quantizing distortion) (ดูรูปที่ 2.14) ขนาดของสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขจะกระจายสม่ำเสมอในระหว่างช่วงของตัวเลข และไม่ขึ้นอยู่กับแอมพลิจูดของสัญญาณอนาลอก นั่นคือระดับกำลังงานของสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขนั้นค่อนข้างจะคงที่และเป็นอิสระจากระดับกำลังงานของ

สัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขนั้นค่อนข้างจะคงที่และเป็นอิสระจากระดับกำลังงานของสัญญาณอนาล็อก จะเห็นได้ว่าสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขนี้เป็นสิ่งที่ไม่สามารถเลี่ยงได้ แต่สามารถทำให้ลดลง เพื่อรักษาระดับคุณภาพของเสียง (เช่นความชัดเจน)



รูปที่ 2.13 การแปลงสัญญาณ PAM ให้เป็นตัวเลข

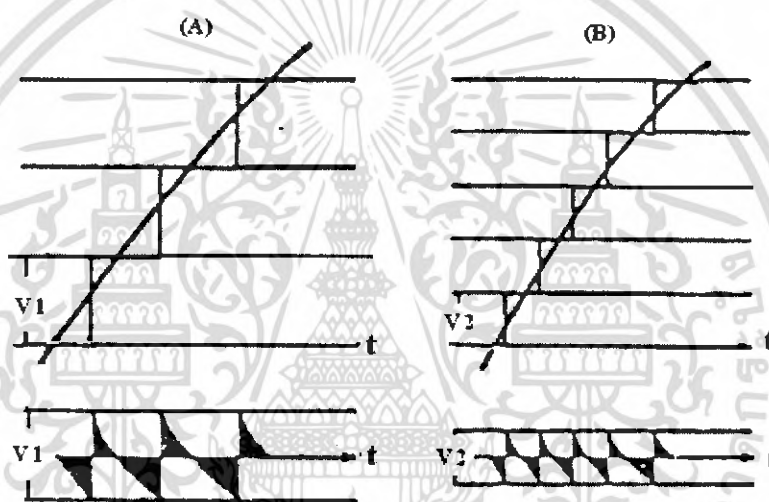


รูปที่ 2.14 สัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการแปลงตัวเลข

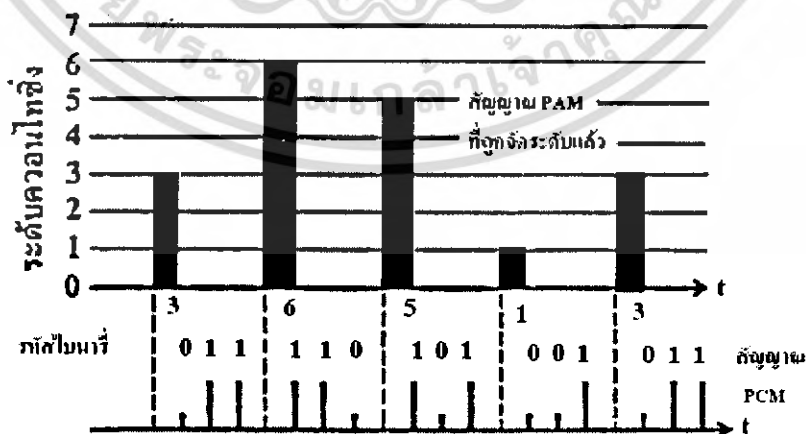
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยเหตุผลที่ว่าแอมพลิจูดของสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขไม่มีทางเกินกว่าช่วงของตัวเลข ดังนั้นสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขในรูปที่ 2.15 (A) จึงน้อยกว่าในรูปที่ 2.15 (B) หากเรากำหนดให้ช่วงของตัวเลขมีช่วงเล็กเพียงพอแล้ว สัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลขก็จะสามารถลดลงสู่ระดับที่เหมาะสมได้

หลังจากผ่านการแปลงเป็นตัวเลขแล้ว สัญญาณ PAM ที่ได้จะนำไปเข้ารหัสโดยเปลี่ยนเป็นรหัสฐานสอง จากรูปที่ 2.16 แต่ละค่าที่ผ่านการแปลงเป็นตัวเลขแล้วจะถูกแปลงเป็นเลขฐานสอง 3 บิต สัญญาณที่ได้นี้เรียกว่าสัญญาณ PCM (Pulse Code Modulation) ระดับค่าตัวเลขจะถูกกำหนดโดยจำนวนบิตของเลขฐานสอง ของแต่ละค่า เช่น ถ้าใช้ n บิต ในการเข้ารหัสต่อหนึ่งค่าจะได้จำนวนค่าตัวเลขเท่ากับ 2^n ระดับ ซึ่ง ทาง CCITT แนะนำให้ใช้การเข้ารหัส 8 บิต ต่อหนึ่งค่า หรือให้มีระดับของค่าตัวเลขเท่ากับ $2^8 = 256$ ระดับ



รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงตัวเลขกับสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็นตัวเลข



รูปที่ 2.16 การนำสัญญาณ PAM มาเข้ารหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีสายส่งสัญญาณทำให้เราทราบว่าหากทำการส่งสัญญาณ PCM ไปตามสายส่ง สัญญาณจะเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณได้เนื่องจากสัญญาณรบกวน การแทรกสอด (interference) ระหว่างทาง และการตอบสนองความถี่ (frequency response) ของสายส่งซึ่งมีการรบกวนมากสำหรับ สัญญาณความถี่สูง และลดทอนน้อยสำหรับสัญญาณความถี่ต่ำ เนื่องจากค่าของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บ ประจุที่กระจายอยู่ในสายส่ง จะประพฤติตัวเป็นวงจรกรองผ่านสัญญาณความถี่ต่ำ ทำให้สัญญาณ PCM ผิดเพี้ยนรูปทรงไป แต่ปัญหานี้ได้ถูกแก้ไขโดยการสร้างสัญญาณ PCM ขึ้นใหม่ที่ด้านรับ ทรานสโคดที่ เครื่องรับยังสามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้องว่าสัญญาณเพี้ยนที่ได้รับนั้นเป็นค่าบิตค่า 0 หรือค่า 1

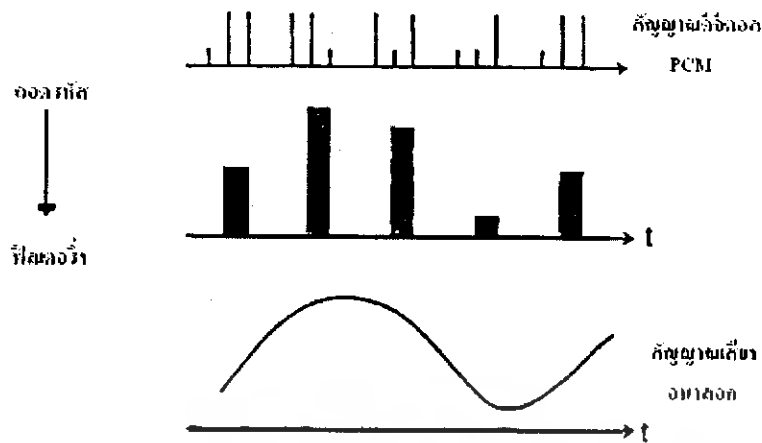
หากต้องการส่งสัญญาณ PCM ไปในระยะทางไกล ๆ โดยไม่ใช้โมเด็มก็จะต้องมีอุปกรณ์ทวน สัญญาณเรียกว่าเครื่องทวนสัญญาณแบบสร้างขึ้นมาใหม่ (regenerative repeater) ซึ่งจะสร้างสัญญาณ PCM ที่ผิดเพี้ยนไปขึ้นมาใหม่ และทำการส่งต่อไปยังเครื่องรับหรืออุปกรณ์ทวนสัญญาณอีกตัวหนึ่ง (ดังในรูปที่ 2.17) จะเห็นได้ว่าเราสามารถที่จะกำจัดผลของสัญญาณรบกวน การแทรกสอด และการผิดเพี้ยนรูปทรง เนื่องจากผลตอบสนองทางความถี่ของสายส่งลงได้ ดังนั้นการส่งสัญญาณระบบดิจิทัลจะไม่มีผลกระทบ ของสัญญาณรบกวนและสัญญาณแทรกสอด ดังเช่นที่พบเห็นในการส่งสัญญาณระบบอนาลอก ซึ่งเป็นข้อดี ที่เห็นได้ชัดของระบบดิจิทัลที่เหนือระบบอนาลอก



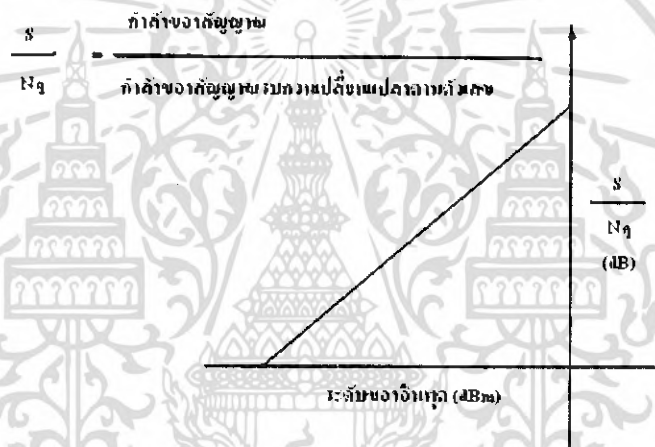
รูปที่ 2.17 ระบบทวนสัญญาณแบบสร้างขึ้นมาใหม่

ด้านรับเมื่อเครื่องรับได้สัญญาณดิจิทัล PCM ก็จะถูกแปลงกลับไปเป็นสัญญาณอนาลอก (ดูใน รูปที่ 2.17) โดยผ่านขั้นตอนการถอดรหัสและการกรองสัญญาณซึ่งเรียกขั้นตอนทั้งสองรวมกันว่าการ เปลี่ยนสัญญาณดิจิทัล ไปเป็นสัญญาณอนาลอก (D/A conversion)

การถอดรหัสนั้นก็ตรงข้ามกับการเข้ารหัส (ดูในรูปที่ 2.18) โดยเริ่มต้นจากรหัสฐานสองที่มาจากเครื่องรับสัญญาณ PCM จะถูกนำมาคำนวณและสร้างเป็นระดับค่าตัวเลข และสัญญาณสุ่มค่าจะถูกสร้าง ขึ้นใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับระดับที่คำนวณได้จากข้อมูลฐานสองที่ได้รับนี้ สัญญาณ PCM ที่ถูกแปลงเป็น ตัวเลขแล้วด้านส่งก็就会被สร้างขึ้นมาใหม่ที่ด้านรับ ซึ่งสัญญาณที่ได้ก็ยังคงมีสัญญาณรบกวนจากการแปลงเป็น ตัวเลขเช่นเดียวกับทางด้านส่ง สัญญาณ PCM ที่สร้างขึ้นมาใหม่ที่ด้านรับก็就会被ส่งผ่านไปยังวงจรกรองผ่าน ความถี่ต่ำ ก็จะได้สัญญาณเสียงอนาลอกต่อเนื่องตามแกนเวลา



รูปที่ 2.18 การแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณอนาล็อก



รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับสัญญาณอินพุตและสัญญาณเสียงต่อสัญญาณรบกวน

2.4 การมอดูเลตแบบแอมพลิจูดของพัลส์

รูปพัลส์ที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง เรียกว่า พัลส์แอมพลิจูดมอดูเลต จะเห็นได้ว่าขนาดของพัลส์เปลี่ยนแปลงไปตามสัญญาณมอดูเลตของสัญญาณพัลส์ที่เกิดขึ้นในอัตราที่สม่ำเสมอ โดยที่มีเวลาระหว่างพัลส์หนึ่งกับอีกพัลส์หนึ่งที่มีระยะห่างกันพอสมควร เพื่อป้องกันไม่ให้พัลส์เกิดซ้อนกันเมื่อผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านในภาครับ เวลาระหว่างพัลส์ 2 พัลส์นี้ เรียกว่า การ์ดไทม์

อัตราการสุ่มตัวอย่างนี้เป็นไปตาม อัตราการสุ่มตัวอย่างของไนควิสต์กล่าวว่า เวลาการสุ่มตัวอย่าง (t_s) มีค่าเท่ากับ $1/2$ เท่าของความถี่สูงสุด (fm) ของสัญญาณการมอดูเลต $t_s = 1/(2f_m)$ อัตราการสุ่มตัวอย่างของไนควิสต์ t_s เป็นอัตราการสุ่มตัวอย่างที่น้อยที่สุด ที่ให้สัญญาณกลับคืนครบถ้วนที่ภาครับ

พัลส์แอมพลิจูดมอดูเลตเป็นพัลส์มอดูเลตพื้นฐานที่จะนำไปใช้ในการสร้างพัลส์มอดูเลตชนิดอื่นๆ เช่น การมอดูเลตแบบช่วงกว้างพัลส์ (PDM), การมอดูเลตแบบตำแหน่งพัลส์ (PPM) และรวมถึงการ

มอดูเลตแบบรหัสพัลส์ (PCM) จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการศึกษาและทำความเข้าใจในหลักการของการสร้างพัลส์แอมพลิจูดมอดูเลตและยังสามารถสร้างความเข้าใจในหลักการสร้างพัลส์มอดูเลตชนิดอื่นๆ ได้ดียิ่งขึ้น

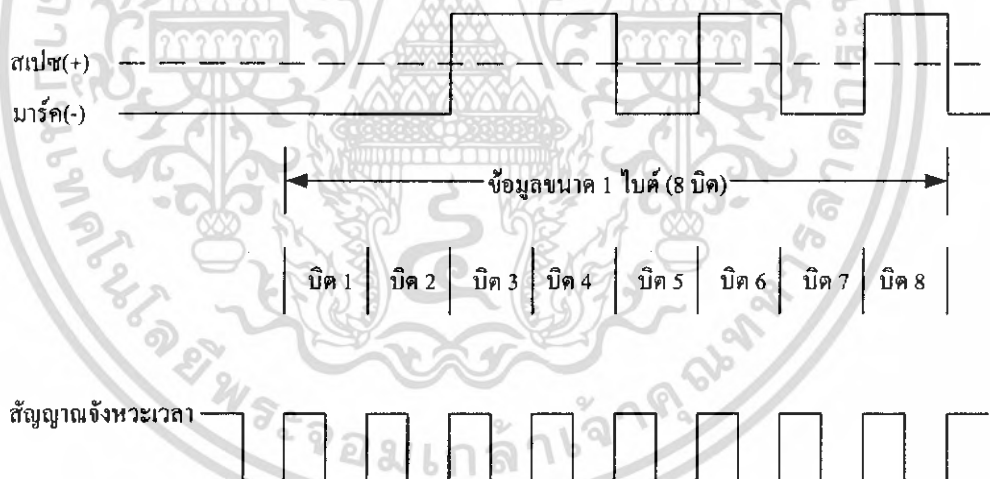
2.4.1 การชิงโครไนซ์ของระบบการมอดูเลตแบบพัลส์แอมพลิจูด

หมายถึง การที่ด้านรับอ่านข้อมูลเข้ามาในจังหวะเดียวกับด้านส่ง โดยใช้สัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนดจังหวะการทำงานของทั้งสองด้านให้ทำงานสัมพันธ์กัน(วงจรถ่ายโอนสัญญาณนาฬิกาจะถูกติดตั้งภายในด้านส่ง)

นอกจากนี้เมื่อจังหวะเวลาถูกตั้งให้ซิงก์กับด้านรับได้แล้ว ข้อมูลจะถูกส่งไปบนทางติดต่อในแบบบิตต่อบิตต่อเนื่องกันไปอาศัยช่วงเวลาระหว่างบิตต่อบิตมีค่าเท่ากัน โดยไม่ต้องมีบิตเริ่มส่งหรือบิตจบคอยกำกับ ทำให้ความเร็วในการส่งข้อมูลมีสูง

ข้อเสียของการส่งแบบชิงโครไนซ์คือ การที่ต้องมีสัญญาณนาฬิกาขนานไปกับข้อมูลทำให้ต้องการทางติดต่อช่องที่สองเพิ่ม โดยเฉพาะกรณีระยะทางไกลๆเป็นการยากที่จะจัดหาทางติดต่อแยกต่างหากสำหรับสัญญาณนาฬิกา

อาจกล่าวได้ว่า การส่งแบบชิงโครไนซ์ มีค่าใช้จ่ายสูงกว่าแบบอะชิงโครไนซ์ รูปที่ 2.20 แสดงตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบชิงโครไนซ์พร้อมสัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 2.20 การส่งข้อมูลแบบชิงโครไนซ์

2.5 สัญญาณอนาล็อก

สัญญาณอนาล็อกในรูปของไฟฟ้า คือ สัญญาณที่มีแอมพลิจูดแปรผันต่อเนื่องกันตามเวลา สัญญาณอนาล็อกที่ใช้กันในระบบส่งโดยทั่วไป ได้แก่

ก. สัญญาณ โทรศัพท์ (Speech Signal)

ข. สัญญาณวิทยุกระจายเสียง (Music หรือ Programmer Signal)

ค. สัญญาณโทรทัศน์ (Television Video Signal)

เมื่อวิเคราะห์รูปคลื่นของสัญญาณอนาลอกรูปหนึ่ง จะพบว่าประกอบไปด้วยรูปคลื่นไซน์ความถี่ต่างๆ ในย่านกว้าง สำหรับการรับส่งที่เหมาะสม ต้องการแถบความถี่ของสัญญาณอนาลอกต่างๆ ที่เหมาะสมดังนี้

ก. โทรศัพท์	: 300 – 3,400 Hz
ข. วิทยุกระจายเสียง (คุณภาพมาตรฐาน)	: 50 – 10,000 Hz
ค. วิทยุกระจายเสียง (คุณภาพสูง)	: 40 – 15,000 Hz
ง. โทรทัศน์ระบบ 625 เส้น	: ประมาณ 30 Hz ถึง 5 MHz

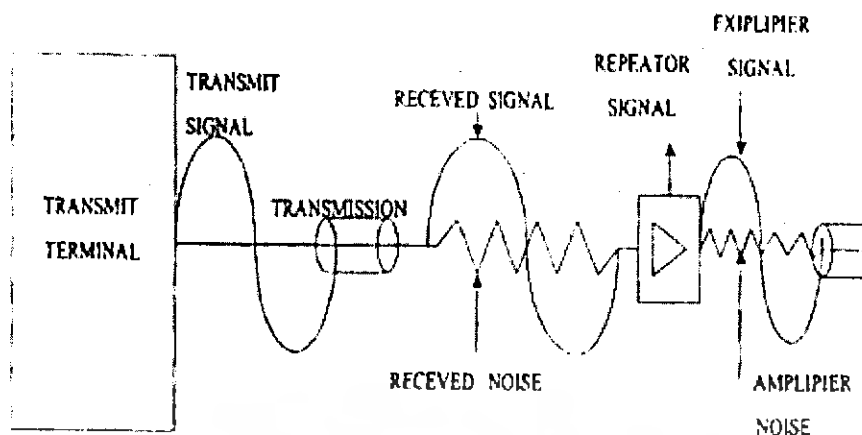
ได้กล่าวมาแล้วว่าแอมพลิจูดสัญญาณอนาลอกจะแปรผันต่อเนื่องกันตามเวลา แต่การส่งสัญญาณอนาลอกนั้นไม่จำเป็นต้องส่งข่าวสารทางแอมพลิจูดต่อเนื่องกันไปทั้งหมด จากการค้นคว้าพบว่าถ้าสุ่มตัวอย่างจาก สัญญาณอนาลอกเป็นช่วงๆ อย่างสม่ำเสมอในอัตราอย่างน้อยที่สุดต้องเป็น 2 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณนั้นแล้ว ดังนั้นตัวอย่างที่สุ่มมาได้บรรจุข่าวสารของสัญญาณเดิมครบถ้วน เช่น สัญญาณโทรศัพท์ ซึ่งมีความถี่สูงสุด 3,400 Hz ถ้าเราสุ่มตัวอย่างเป็นช่วงๆ ในอัตราอย่างน้อยที่สุด $2 \times 3,400 = 6,800$ ตัวอย่างต่อวินาทีแล้ว ตัวอย่างทางแอมพลิจูดที่สุ่มได้นั้น จะบรรจุข่าวสารเดิมของสัญญาณโทรศัพท์ได้ครบถ้วน วิธีการอันนี้นำไปใช้ในการมอดูเลตแบบรหัสพัลส์

2.6 การส่งแบบอนาลอก

การส่งสัญญาณอนาลอกอาจกระทำกันในรูปแบบของมัน เช่น การส่งสัญญาณโทรศัพท์ระหว่างผู้เช่าในชุมสายโทรศัพท์ เป็นต้น วิธีการส่งดังกล่าว จึงเป็นการส่งแบบอนาลอก

สำหรับการส่งในระยะทางไกลผ่านทางสายเคเบิล หรือทางวิทยุ นั้น จะต้องใช้กรรมวิธีของการมอดูเลต ซึ่งอาจเป็นแอมพลิจูด ความถี่ หรือเฟสของมอดูเลต ก็ได้ ในกรรมวิธีดังกล่าว แอมพลิจูดความถี่ หรือเฟสของความถี่แคเรียร์ จะถูกทำให้แปรผันไปตามแอมพลิจูดของการส่งแบบอนาลอกอยู่นั่นเอง

คุณลักษณะพื้นฐานของการส่งแบบอนาลอกก็คือ การลดทอนกำลัง หรือ การอ่อนกำลังของสัญญาณที่ส่งไป ในระยะทางไกล และสิ่งรบกวนที่เสริมเข้ามาตลอดเส้นทางของการส่ง เราจะต้องรักษาระดับกำลังสัญญาณให้สูงกว่าระดับกำลังของสิ่งรบกวนมากๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้กระทำได้โดยการขยายสัญญาณเป็นระยะๆ ตามเส้นทางของการส่ง อย่างไรก็ตามก็สิ่งรบกวนที่อินพุตของเครื่องขยายกำลังเครื่องๆ หนึ่งย่อมได้รับการขยายกำลังไปพร้อมกับตัวสัญญาณที่ได้เข้าไปด้วย ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นคุณลักษณะพื้นฐานของการส่งแบบอนาลอก ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 2.21

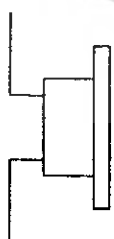


รูปที่ 2.21 การส่งแบบอนาล็อก

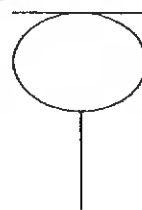
การส่งสัญญาณแบบอนาล็อกไปในระยะทางไกลๆ ผ่านสื่อกลาง (ทางสาย หรือ ทางวิทยุ) และเครื่องขยายกำลัง (ฉ. ที่นี้หมายถึงตัวทวนกำลัง) บ่อมจะเกิดการเพี้ยน (ทางแอมพลิฟูด หรือ ทางเฟส) อีกด้วย เพื่อให้ส่งรบกวน และ การเพี้ยนของสัญญาณอนาล็อกที่ได้รับ ฉ.ปลายทางนั้นให้อยู่ในขอบเขตที่จำกัด อันพึงยอมให้ได้นั้น ต้องเป็นการออกแบบที่ดี ทั้งในส่วนของระบบและอุปกรณ์ที่จะใช้งาน

2.7 หลักการเบื้องต้นของโทรศัพท์

เครื่องโทรศัพท์โดยทั่วไปประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญคือ เครื่องส่ง เครื่องรับ กระดิ่งสวิตซ์ขอเกี่ยวและหน้าปิดสำหรับหมุน/กดหมายเลขสำหรับเครื่องส่งและเครื่องรับรวมเรียกกันว่าปากพูดหูฟัง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานเสียงที่เกิดจากการพูดให้เป็นพลังงานไฟฟ้าและเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับให้กลับไปเป็นพลังงานเสียงอีกครั้งหนึ่ง โดยเราจะใช้เครื่องส่งเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานเสียงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า และที่เครื่องรับจะเป็นตัวเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสียง สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับเครื่องส่ง และ เครื่องรับ แสดงในรูปที่ 2.22



ก. สัญลักษณ์ของเครื่องส่ง



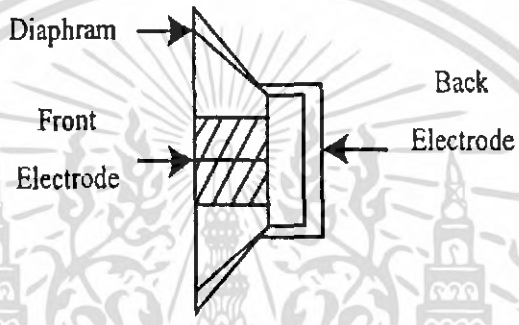
ข. สัญลักษณ์ของเครื่องรับ

รูปที่ 2.22 สัญลักษณ์ของ เครื่องส่ง และ เครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

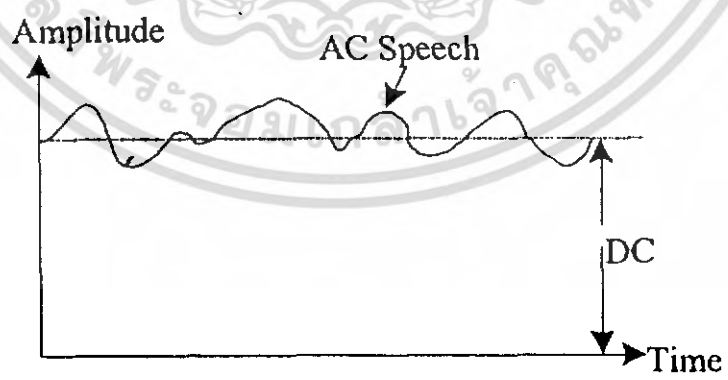
เครื่องโทรศัพทน์นั้นจำเป็นต้องใช้เครื่องส่งที่มีประสิทธิภาพและความไวสูง ดังนั้นจึงใช้เครื่องส่งแบบคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนเล็กๆ ของคาร์บอนเรียกว่า ผงถ่าน แผ่นอิเล็กโทรดคาร์บอน 2 แผ่นกับ ไดอะเฟรม ดังแสดงตามรูปที่ 2.23

หลักการทํางานของเครื่องส่งแบบคาร์บอน ซึ่งสามารถจะอธิบายได้ดังนี้คือ เมื่อมีคลื่นเสียงมากระทบกับแผ่นไดอะเฟรม แผ่นไดอะเฟรมก็จะสั่นไปมา พลังงานเสียงก็จะถูกเปลี่ยนให้เป็นพลังงานกล ในตำแหน่งที่แผ่นไดอะเฟรมถูกกดจะทำให้อิเล็กโทรดแผ่นหน้าเคลื่อนที่เข้าซึ่งเป็นผลทำให้ผงถ่านถูกอัดติดกันมากยิ่งขึ้น ทำให้ความต้านทานระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด ทั้งสองมีค่าลดลงแต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อแผ่นไดอะเฟรมเคลื่อนที่ออกก็จะทำให้อิเล็กโทรดแผ่นหน้าเคลื่อนที่ออกจึงทำให้ความต้านทานของเครื่องส่งเพิ่มขึ้น



รูปที่ 2.23 เครื่องส่งแบบคาร์บอน

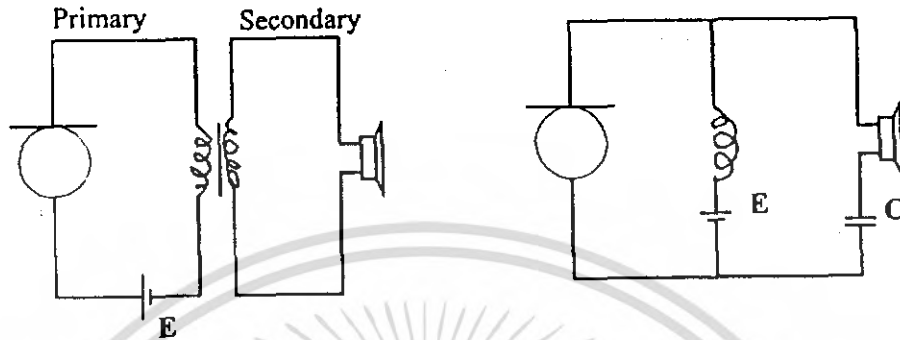
เมื่อเอาแบตเตอรี่ต่อเข้าขั้วระหว่างแผ่นอิเล็กโทรดทั้งสองกระแสไฟตรงจะไหลผ่านผงถ่านและเนื่องจากความต้านทานของเครื่องส่งมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับสัญญาณเสียงซึ่งทำให้กระแสที่ไหลผ่านเครื่องส่ง เปลี่ยนแปลงไปด้วยนั่นคือพลังงานเสียงสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้



รูปที่ 2.24 ส่วนประกอบของกระแสไฟสลับ และไฟตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

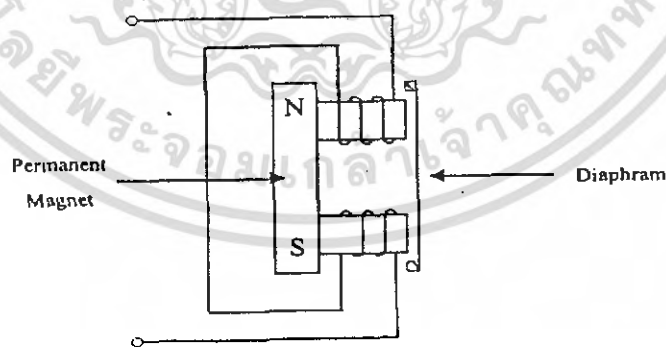
จากรูปที่ 2.24 จะเห็นว่ากระแสไฟสลับที่เกิดจากสัญญาณเสียงนั้นเป็นผลทำให้เกิดการซ้อนทับกับกระแสไฟตรง ซึ่งส่วนประกอบของกระแสไฟสลับนี้ จะถูกแยกออกจากกระแสไฟตรงได้โดยใช้หม้อแปลง หรือตัวคาปาซิเตอร์เป็นตัวแยกและถูกส่งไปยังเครื่องรับ แสดงได้ตามรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 การแยกส่วนประกอบของกระแสไฟสลับกับกระแสไฟตรง

รูปที่ 2.25 กระแสไฟสลับในขดปฐมภูมิของหม้อแปลง ก็ทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งเหนี่ยวนำให้เกิดกระแสไหลผ่านในขดทุติยภูมิ และสามารถที่จะทำให้มีกระแสไฟสลับไหลผ่านไปยังเครื่องรับ ส่วนกระแสไฟตรงจะไหลอยู่เฉพาะในขดปฐมภูมิเท่านั้น

รูปที่ 2.25 กระแสไฟตรงที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ ซึ่งมีค่าความต้านทานต่ำและไหลผ่านเครื่องส่ง แต่ไม่ไหลผ่านเครื่องรับ เนื่องจากตัวคาปาซิเตอร์กันไว้ ส่วนกระแสไฟสลับจะไหลผ่านเครื่องรับโดยผ่านเครื่องส่ง กับ ตัวคาปาซิเตอร์ ดังกล่าว แต่จะไม่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำ อันเนื่องจากมันมีความต้านทานสูง ในขณะที่สัญญาณเสียงที่รับได้จากสายโทรศัพท์นั้นมีค่าน้อยมาก ดังนั้นเครื่องรับที่ใช้ จึงควรออกแบบให้มีประสิทธิภาพที่จะทำให้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานเสียงให้มากที่สุด



รูปที่ 2.26 เครื่องรับ

หลักการทำงานของเครื่องรับ ดังแสดงตามรูปที่ 2.26 อธิบายได้ดังนี้คือ มีขดลวดพันอยู่ที่ขั้วทั้งสองของแม่เหล็กถาวรที่ต่อกันแบบอนุกรม แต่ขดลวดจะถูกพันกลับทิศทางกับแม่เหล็กถาวร โดยแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถาวรนี้จะมีอำนาจแม่เหล็กดึงดูดแผ่นไดอะเฟรมเข้ามา เมื่อมีกระแสไฟสลัปไหลผ่านขดลวด ก็จะมีผลทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้น ทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรถัดไปซึ่งอาจจะไปเสริมหรือต้านเส้นแรงแม่เหล็กของแม่เหล็กถาวร แผ่นไดอะเฟรมก็จะเคลื่อนที่เข้า หรือออกตามขนาดและความถี่ของกระแสไฟสลัป ที่ไหลเข้ามาในวงจร คลื่นเสียงที่เกิดขึ้นนั้นย่อมจะมีการสูญเสียไปบ้าง เนื่องจากมีการเปลี่ยนรูปพลังงานดังนั้นเอาต์พุต ของคลื่นเสียงจะน้อยกว่า อินพุตของพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับที่เครื่องรับ

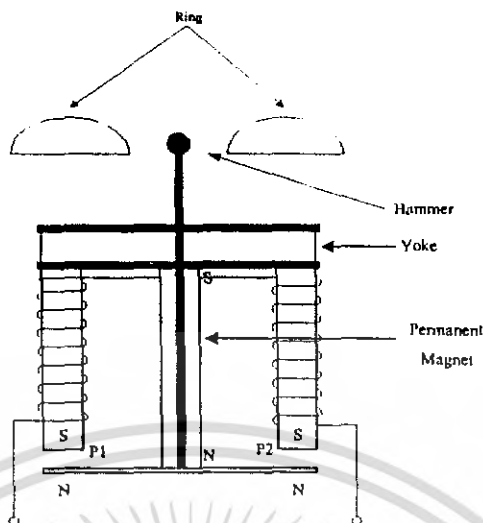
2.7.1 ภารกิจของเครื่องรับโทรศัพท์

เมื่อมีการเรียก ภารกิจที่เครื่องโทรศัพท์ของผู้ถูกเรียกจะดังขึ้น ซึ่งจะหมายถึง ขุมสายโทรศัพท์ได้ทำการส่งกระแสไฟสลัปไปป้อนที่ภารกิจของเครื่องโทรศัพท์ โดยทั่วไปแล้วแรงดันของสัญญาณภารกิจจะมีค่าประมาณ 75 – 90 โวลต์ 18 – 25 เฮิรตซ์

รูปที่ 2.27 เป็นภารกิจของเครื่องรับ โทรศัพท์ที่ประกอบไปด้วยขดลวด 2 ขด ต่อกันแบบอนุกรมพันอยู่บนแกนเหล็ก ซึ่งติดอยู่กับไค้ และมีแท่งแม่เหล็กถาวรติดอยู่ตรงกึ่งกลางของไค้ส่วนอาร์เมเจอร์จะวางอยู่ในลักษณะที่ตรงจุดกึ่งกลางของมัน ติดอยู่กับที่แกนของแม่เหล็กถาวร โดยมีสารที่ไม่ใช่แม่เหล็กบีคอยู่ และที่ปลายของอาร์เมเจอร์ทั้งสองข้างจะมีตัวรีซีควลสตับอยู่ ซึ่งอยู่ตรงข้ามกับขั้ว P_1 และ P_2

หลักการการทำงานของภารกิจเครื่องโทรศัพท์อธิบายได้คือ เส้นแรงแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรซึ่งทำให้เกิดขั้ว S ขึ้นที่ขั้ว P_1 และ P_2 และทำให้เกิดขั้ว N ขึ้นที่ปลายทั้งสองของอาร์เมเจอร์ในสภาวะปกติหรือไม่มีการเรียกจะไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวด จึงทำให้อาร์เมเจอร์ถูกดูดด้วยแรงเท่ากัน หรือมันอาจจะถูกดูดไปข้างใดข้างหนึ่งคือ ที่ขั้ว P_1 หรือ P_2 ก็ได้

เมื่อมีการเรียกจะมีกระแสไฟสลัปไหลผ่านขดลวดทั้งสองทำให้เกิดอำนาจแม่เหล็ก N และ S ขึ้นที่ขั้ว P_1 และ P_2 ซึ่งจะทำให้เกิดมีอำนาจแม่เหล็กมากที่ปลายขั้ว S (P_2) และที่ปลายอีกข้างหนึ่ง(P_1) หมดอำนาจแม่เหล็กลง อาร์เมเจอร์จึงถูกดูดกลับข้างกันไปตามอำนาจของแม่เหล็ก ก้านตีก็จะไปตีภารกิจทั้งสองข้างสลับกันทำให้ภารกิจดัง ดังนั้นเมื่อมีการเรียกจะทำให้เราได้ยินเสียงภารกิจที่เครื่องโทรศัพท์

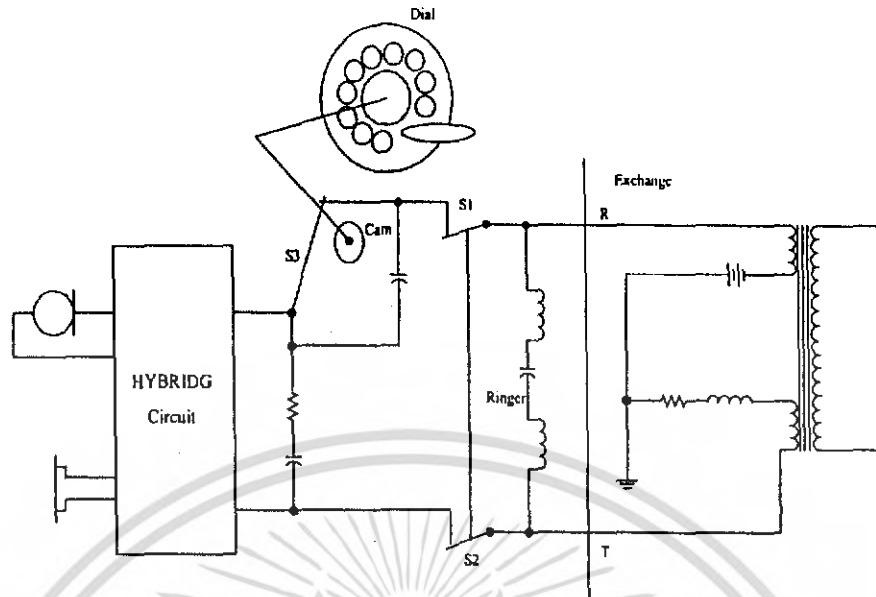


รูปที่ 2.27 กระดิ่งของเครื่องรับโทรศัพท์

2.7.2 หน้าปิดของเครื่องรับโทรศัพท์

หน้าปิดของเครื่องรับโทรศัพท์ที่ใช้กับชุมสายโทรศัพท์อัตโนมัติ ปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ คือแบบหมุน ซึ่งการหมุนจะทำให้เกิดพัลส์ เป็นจำนวนเท่ากับเลขหมายที่หมุน และแบบกดปุ่ม จะใช้กรรมวิธีของได้อัลโทนาสต์รีเฟววซี ในการส่งเลขหมายโทรศัพท์

ก. หน้าปิดแบบหมุน เมื่อมีผู้เรียกเข้า ปากพูดหูฟัง จะถูกยกขึ้นจากที่รองรับ เป็นผลทำให้สวิตช์ขอเกี่ยว (S_1 และ S_2 ตามรูปที่ 2.28) ปิดวงจรของสายเส้นทึบ (T) และริง (R) ซึ่งเป็นผลทำให้ครบวงจรของขดลวดรีเลย์ ในชุมสายโทรศัพท์อุปกรณ์สวิตช์ในชุมสายโทรศัพท์ที่จะส่งสัญญาณได้อัลโทนาสต์รีเฟววซี เครื่องโทรศัพท์ของผู้เรียก เพื่อเป็นสัญญาณแสดงให้ผู้เรียกหมุน เมื่อผู้เรียกหมุนหมายเลขใดหมายเลขหนึ่ง และปล่อยมือ หน้าปิดของเครื่องโทรศัพท์หมุนกลับที่เดิม มีผลคือทำให้ลูกเบี้ยวหมุนตาม การหมุนของลูกเบี้ยวนี้จะทำให้หน้าสัมผัส S_1 เปิดและปิดวงจรจำนวนครั้งเท่ากับเลขหมายที่หมุน การที่หน้าสัมผัส S_1 ปิดวงจรจะทำให้กระแสไหลได้ ซึ่งเรียกว่า กระแสเอิมพัลส์และเมื่อหน้าสัมผัส S_1 เปิดวงจรกระแสจะหยุดไหล การที่กระแสไหลและหยุดไหลนี้ มีผลทำให้เกิดพัลส์ขึ้น และจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นมีจำนวนเท่ากับเลขหมายที่หมุนเช่นหมุนหมายเลข 1 ก็เกิด 1 พัลส์ หมุนหมายเลข 5 ก็เกิด 5 พัลส์ หมุนหมายเลข 0 ก็เกิด 10 พัลส์ เป็นต้น



รูปที่ 2.28 ไดอัลพัลส์

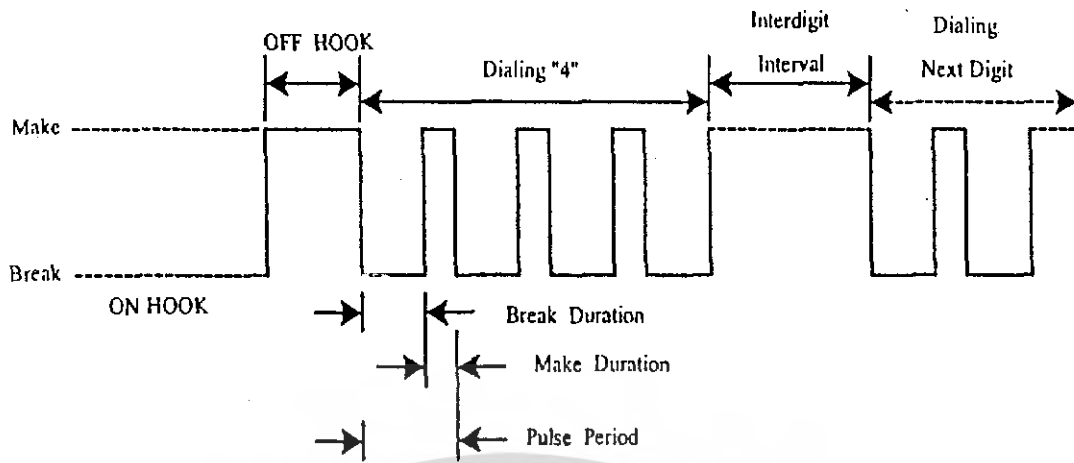
ความเร็วหน้าปัด ของเครื่องโทรศัพท์ ก็มีความสำคัญที่จะต้องกำหนดให้อยู่ในมาตรฐานซึ่งประกอบด้วยความเร็วของกระแสพัลส์อัตราส่วนการตัด-ต่อของหน้าสัมผัสและช่วงเวลาหยุดระหว่างเลขหมาย ตามปกติแล้วความเร็วกระแสพัลส์ มีใช้อยู่ 2 ค่า 10 และ 20 IPS (อิมพัลส์ต่อวินาที) ส่วนค่ามาตรฐาน สำหรับอัตราการตัด-ต่อจะมีค่าเท่ากับ 2:1 ซึ่งหมายความว่า หน้าสัมผัสจะต้องตัดวงจรเป็นเวลา 2 หน่วยเวลาและต้องต่อวงจรเป็นเวลา 1 หน่วยเวลา

ในกรณีที่ความเร็วของอิมพัลส์ เป็น 10 IPS ก็ทำให้ได้ค่าของพัลส์ เป็น 100 mS คือช่วงเวลาของการตัดวงจร = $100\text{mS} \times 2/3 = 66.6\text{mS}$ ช่วงเวลาในการต่อวงจร = $100\text{mS} \times 1/3 = 33.3\text{mS}$ ส่วนช่วงเวลาหยุดระหว่างเลขหมายโดยทั่วไปมีค่าเป็น 700 mS แต่ก็พอจะใช้ได้ในช่วงเวลาตั้งแต่ 600 mS ถึง 900 mS

ข. หน้าปัดแบบกดปุ่ม เครื่องโทรศัพท์ที่มีหน้าปัดแบบกดปุ่ม ซึ่งจะใช้กรรมวิธีของไดอัลโทนมัลติฟรีควอนซี ในการส่งเลขหมายโทรศัพท์นั้น โดยทั่วไปหน้าปัดจะมี 12 ปุ่ม แบ่งเป็น 4 แถว 3 คอลัมน์ และอาจจะมีคอลัมน์ ที่ 4 ขึ้นมาอีกก็ได้ ดังแสดงตามรูปที่ 2.29

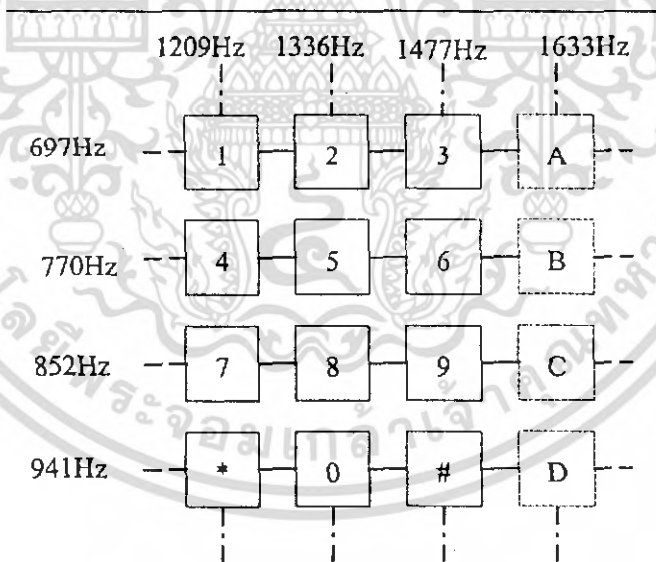
ความถี่ที่ใช้ในแต่ละแถว และ คอลัมน์ มีความถี่ต่างกัน ความถี่ของทั้ง 4 แถว เรียกว่าเป็นกลุ่มความถี่ต่ำ ความถี่ของทั้ง 3 หรือ 4 คอลัมน์ เรียกว่าเป็นกลุ่มความถี่สูง การกดปุ่มที่หมายเลขใดๆทำให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องโทรศัพท์ผลิตความถี่ออกมา 2 ความถี่เช่นเมื่อกดเลข 5 ความถี่ที่ผลิตออกมาคือ 770 เฮิรตซ์ และ 1336 เฮิรตซ์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 พัลส์ที่เกิดขึ้นเมื่อหมุนเลข 4

มาตรฐานของความถี่ที่ใช้ และตำแหน่งของเลขหมายต่างๆจะถูกจัดให้มีลักษณะดังแสดงตามรูปที่ 2.30 สำหรับความผิดพลาดที่ยอมให้เกิดขึ้นได้จะเป็น 1.5 % สำหรับการผลิตความถี่ และ 2 % สำหรับการรับเลขหมาย



รูปที่ 2.30 แสดงหน้าปัดของเครื่องโทรศัพท์แบบกดปุ่ม และความถี่ที่ใช้

ข้อดีของการใช้โทรศัพท์แบบกดปุ่ม คือ

- ก. สามารถลดเวลาในการหมุนหมายเลขลงได้ ซึ่งทำให้มีผลดี คือ เวลาเฉลี่ยที่ใช้โทรศัพท์ในแต่ละครั้ง ลดลงทำให้ชุมสายโทรศัพท์ มีความสามารถที่จะรับการติดต่อได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. สามารถใช้วงจรทางโซลิตสเตท แทนอุปกรณ์ทางด้านกลไก จึงทำให้มีความรวดเร็วและแม่นยำในการส่งเลขหมาย

ค. สามารถเพิ่มปุ่มกดได้อีก 4 ปุ่ม (คอลัมน์ที่ 4) เพื่อใช้ในการส่งสัญญาณการบริการประเภทอื่นๆ

ง. มีความเหมาะสมที่จะใช้กับชุมสายระบบ สดอเรนจ์โปรแกรมคอนโทรล

2.8 ประเภทของชุมสายโทรศัพท์

ชุมสายโทรศัพท์แบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

ประเภทแรก เป็นชุมสายโทรศัพท์ที่มีเครื่องโทรศัพท์ของผู้เช่าต่อเข้าโดยตรง ได้แก่ ชุมสายโทรศัพท์ท้องถิ่น (Local Exchange) และตู้สาขา (Private Automatic Branch Exchangeเขียนย่อว่า PABX)

ประเภทที่สอง เป็นชุมสายโทรศัพท์ที่ไม่มีเครื่องโทรศัพท์ของผู้เช่าต่อเข้าโดยตรง ได้แก่ ชุมสายโทรศัพท์ต่อผ่านท้องถิ่น (Tandem Exchange) และชุมสายโทรศัพท์ต่อผ่านทางไกล (Transit Exchange)

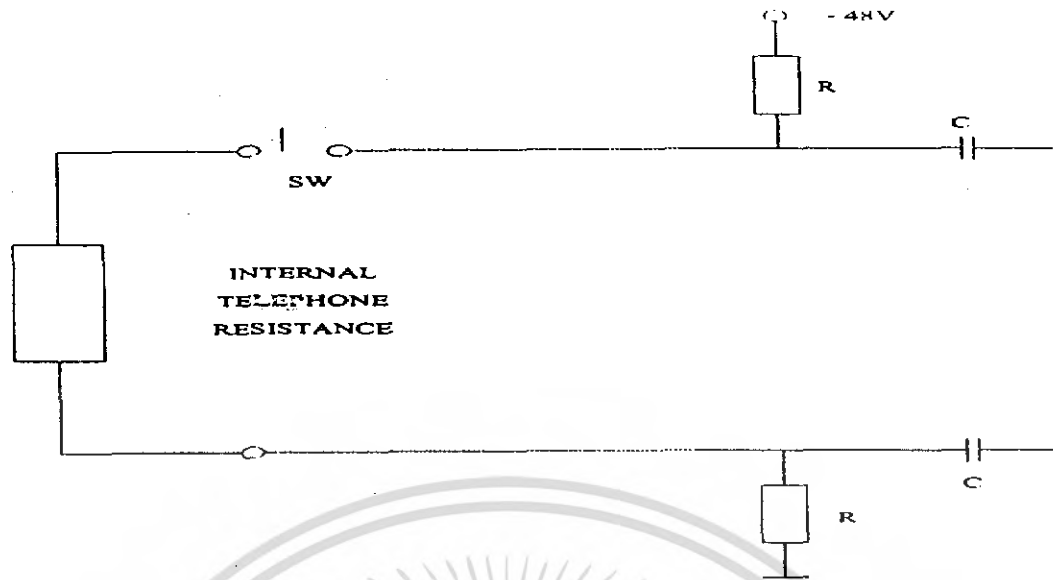
2.9 หลักการตรวจจับของรูป

ชุมสายโทรศัพท์สามารถรับรู้สภาพต่างๆ ของเครื่องโทรศัพท์ที่ได้โดยการยกหูและการวางหูของเครื่องโทรศัพท์ เมื่อยกหูสวิทช์ขอเกี่ยวจะตัดวงจรกระดิ่งไปที่วงจรถักพูด หูฟัง จะทำให้มีความต้านทานระหว่าง 200- 10,000 HMS-DC ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องโทรศัพท์ แต่ที่อิมพีแดนซ์ของเครื่องโทรศัพท์จะมีค่าประมาณ 600Ω เป็นส่วนใหญ่ จะเห็นว่าเครื่องโทรศัพท์เมื่อยกหูจะมีค่าความต้านทานและเมื่อยางหูจะไม่มีค่าความต้านทาน ค่าความต้านทานนี้หมายถึง ค่าความต้านทานทาง กระแสตรง จึงเปรียบเทียบเครื่องโทรศัพท์เสมือนความต้านทาน

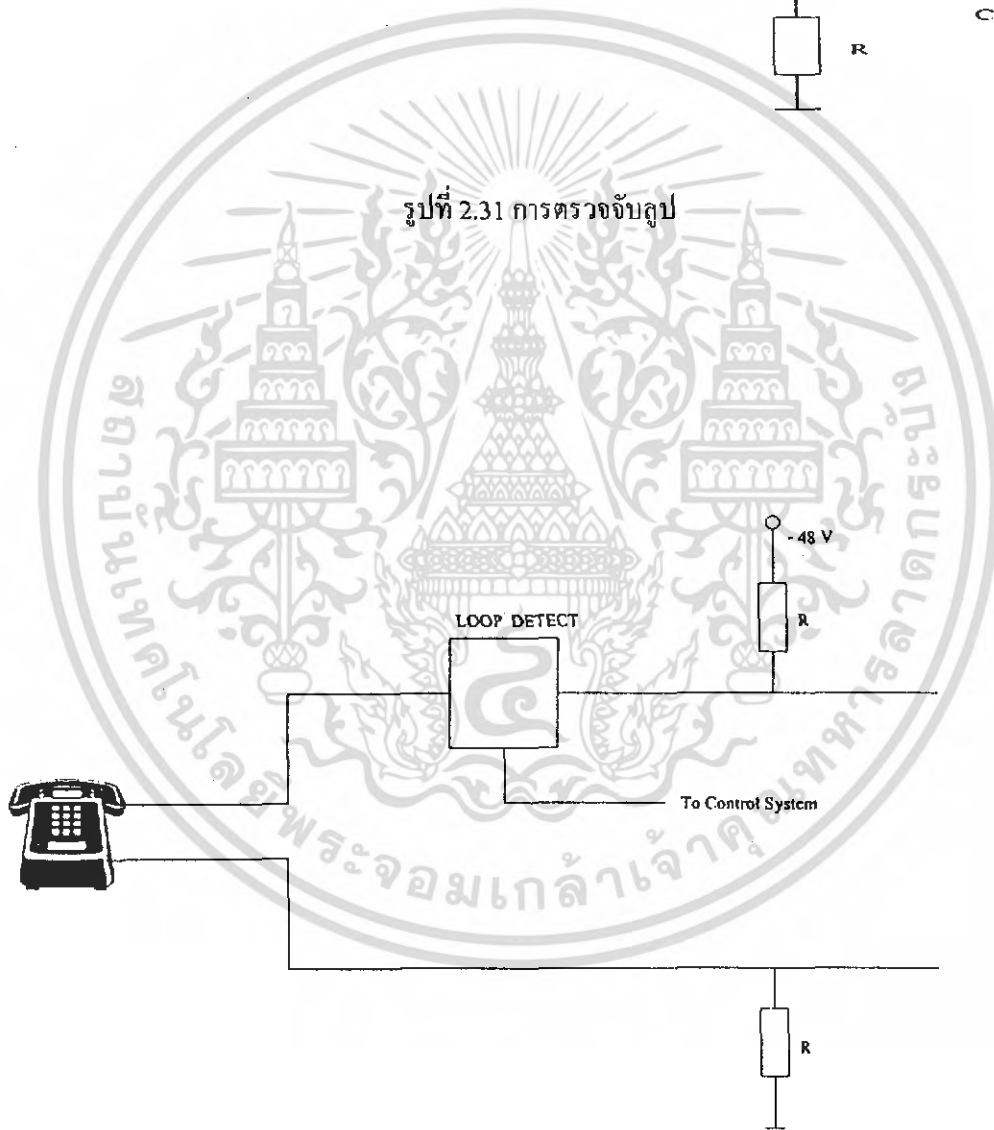
เมื่อยกหูโทรศัพท์รูปก็จะมีสภาพเหมือนเปิดวงจรเมื่อยางหูจะมีสภาพเหมือนเปิดวงจรกระแสไฟฟ้าจะไม่มีในสายจากหลักการนี้ทำให้เราสามารถรับรู้การยกหูหรือการวางหูได้โดยการตรวจจับกระแสที่ไหลในวงจร หรือเรียกว่าการตรวจจับรูป ทำให้สามารถรู้สภาพการใช้งานของเครื่องโทรศัพท์ได้

วงจรการตรวจจับของรูปนี้มีหลายลักษณะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของชุมสาย แต่โดยหลักการส่วนมากจะต่ออนุกรม กับสายโทรศัพท์

ทั้งนี้เพื่อตรวจจับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านคู่สายแล้วนำผลของการตรวจจับนี้ส่งไปให้ส่วนควบคุมรับรู้



รูปที่ 2.31 การตรวจจ็ับลูป



รูปที่ 2.32 วงจรการตรวจจ็ับลูป

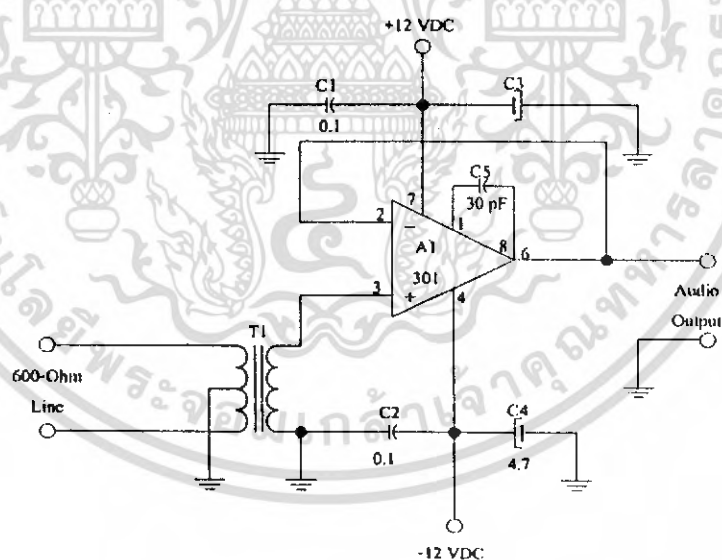
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 วงจรเสียง

สามารถแบ่งการวิเคราะห์วงจรได้ 2 วงจร คือ

2.10.1 วงจรถอดสัญญาณเสียงออกจากสายโทรศัพท์

โดยปกติ คู่สายโทรศัพท์จะมีสัญญาณเสียงประกอบมามีด้วยนั้นหมายถึงสัญญาณเสียงถูกส่งโดยปกติการฝากส่งมาที่สายโทรศัพท์ ฉะนั้นในการที่จะถอดสัญญาณเสียงออกจากสายโทรศัพท์นั้นจะต้องมีวงจรตรวจจับสัญญาณเสียงจากสายโทรศัพท์ เพื่อแปลงให้เป็นสัญญาณเสียงโดยสมบูรณ์แต่โดยปกติ คู่สายโทรศัพท์จากองค์การโทรศัพท์ จะมีอิมพีแดนซ์ 600Ω โดยประมาณดังนั้นวงจรที่มาตรวจจับและแปลงให้เป็นสัญญาณเสียงนั้น จะต้องมีอินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) 600Ω โดยประมาณเช่นกัน จากการทดลองพบว่าหม้อแปลงแมทซ์ซึ่ง เป็นอุปกรณ์ที่สมควรจะนำมาต่อกับคู่สายโทรศัพท์มากที่สุด เนื่องจากหม้อแปลงแมทซ์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่แสดงค่าอิมพีแดนซ์ได้สมบูรณ์ที่สุดซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เราสร้างขึ้นเพื่อทำให้ได้อินพุตอิมพีแดนซ์ (Z_i) 600Ω ปรากฏว่าสัญญาณเสียงที่ได้ทางเอาต์พุต ในวงจรที่ใช้หม้อแปลงแมทซ์ซึ่งนี้จะให้เสถียรภาพดีกว่า นั่นก็คือให้สัญญาณเสียงสมบูรณ์ที่สุดและปราศจากสัญญาณรบกวนอันเนื่องมาจากคู่สายโทรศัพท์เป็นต้นนอกจากนี้เมื่อเรานำวงจรที่ได้กล่าวถึงมาต่อกับคู่สายโทรศัพท์ แล้วปรากฏว่าวงจรที่องค์การโทรศัพท์ยอมรับได้เป็น 600Ω จริงๆ คือวงจรที่ใช้จะประกอบด้วยหม้อแปลงแมทซ์ซึ่งดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 วงจรทรานส์ฟอเมอร์คัปเปิลไลน์แอมพลิไฟเออร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบคู่สาย 600Ω (ของโทรศัพท์) จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นอุปกรณ์ตัวแรกที่กล่าวถึงคือ หม้อแปลงแมทซ์ซึ่ง ซึ่งมีอินพุตอิมพีแดนซ์ (ที่ขดลวดค้ำปฐมภูมิ) 600Ω เมื่อนำไปต่อกับ สายโทรศัพท์ 2 เส้น และส่วนทางด้านเอาต์พุต (ที่ขดลวดค้ำทุติยภูมิ) จะต้องเป็น 600Ω เช่นเดียวกันโดยที่ ขาข้างหนึ่งต่อลงกราวด์และที่เหลืออีกด้านหนึ่งต่อกับออปแอมป์เบอร์ 301 ขานอนอินเวอร์ตซึ่งเรามักจะ เรียกวงจรนี้ว่า ไลน์ไดรเวอร์แอมพลิไฟเออร์ซึ่งมันจะให้สัญญาณเสียงทางด้านเอาต์พุตโดยมีอัตรา การขยายเป็นไปเช่นเดียวกับระดับของสัญญาณของวงจรขยายขนาดเล็กโดยทั่วไปและที่ตัวหม้อแปลงแมทซ์ ซึ่ง จะมีจำนวนรอบของขดลวด เป็น 1 : 1 นั้นหมายถึงว่าเมื่อมีสัญญาณเข้าเท่าใดจะให้เอาต์พุต ที่ไปป้อน ให้ออปแอมป์ขนาดเท่านั้น

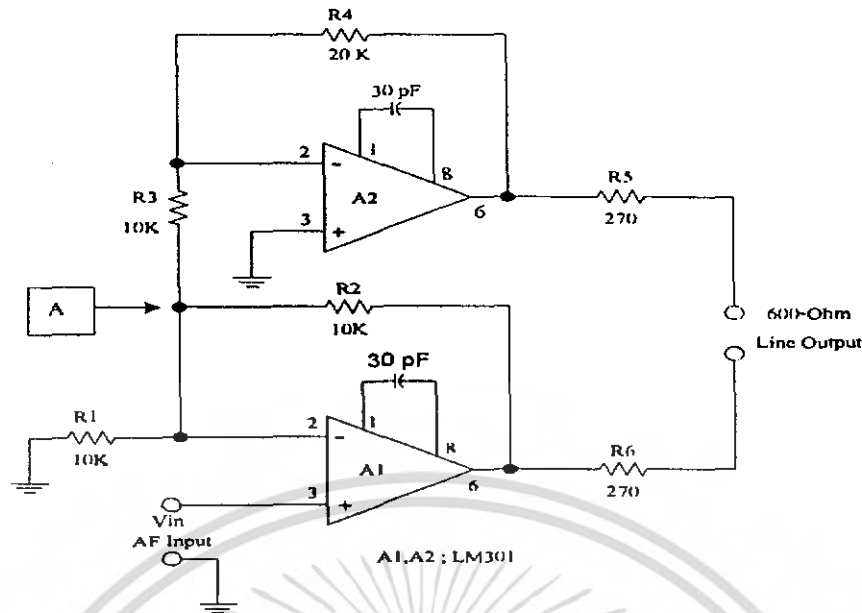
โดยปกติวงจรรูปที่ 2.33 ไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงแมทซ์ซึ่งอัตรา 1 : 1 ก็ได้ ดังตัวอย่างเช่น จำนวนรอบทางปฐมภูมิ 600Ω กับจำนวนรอบทางด้านทุติยภูมิ 10,000 Ω ดังนั้นอัตราจำนวนรอบหม้อแปลงแมทซ์ซึ่ง ก็คือ 10,000/600 หรือ 17:1 ซึ่งเมื่อป้อนให้อิมพุตของออปแอมป์แล้วจะให้แรงดันเอาต์พุต ขนาดโตกว่าสัญญาณอินพุต ที่มาจากสาย 600Ω ถึง 4.1 เท่า

จากวงจรรูปที่ 2.33 ออปแอมป์ ต้องการแหล่งจ่ายที่เป็นกระแสไฟตรง จำนวน 2 ชุด คือ +V และ -V ซึ่งจะมีตัวเก็บประจุ $0.1\ \mu\text{F}$ และ $4.7\ \mu\text{F}$ ต่อไว้ป้องกันความถี่ต่ำรบกวนจากแหล่งจ่ายไฟตรง วงจรนี้จะ ให้ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ ที่ต่ำมาก

ในทางกลับกัน ถ้าต้องการให้สัญญาณเสียงเข้าไปอยู่ในสายโทรศัพท์ (600Ω) เราจะต้องมีวงจร อีกวงจรหนึ่ง ทำหน้าที่แปลงสัญญาณเสียงให้เป็นเอาต์พุต 600Ω ซึ่งจะกล่าวดังต่อไปนี้

2.10.2 วงจรขยายสัญญาณเสียง

จากรูปที่ 2.34 แสดงวงจร ไลน์ไดรเวอร์แอมพลิไฟเออร์ การทำงานของวงจรนี้ทำงานโดยออปแอมป์ เบอร์ 301 2 ตัว ทำงานร่วมกันในลักษณะของพหุขลุ คือ ตัวหนึ่งทำการขยายซิกบวคและอีกตัวหนึ่ง ทำการขยายซิกลบ เพื่อขยายให้ได้สัญญาณทั้งด้านซิกบวค และซิกลบ โดยที่เอาต์พุตของวงจรนี้จะให้ สัญญาณสมดุลกัน เพราะว่าออปแอมป์ตัวหนึ่งนั้นจะให้เอาต์พุตที่ต่างองศา กับอีกตัวหนึ่ง และเนื่องจาก ออปแอมป์ให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ระดับต่ำ ดังนั้นถ้าตัวด้านทานค่า 270Ω อนุกรมกับวงจรทางด้านเอาต์พุต ของออปแอมป์ทั้งสองตัวจะทำให้เราได้ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์รวมทั้งหมด 600Ω โดยประมาณ



รูปที่ 2.34 วงจรทรานส์ฟอเมอร์เลสไลน์ไดรเวอร์แอมพลิไฟเออร์

2.10.3 ความจำเป็นในการใช้หม้อแปลงแมทซ์จิ้ง

หม้อแปลงแมทซ์จิ้งเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แมทซ์ระหว่างเอ็กเทนชันไลน์ (Extension Line) กับสปีดครอสพอยต์สวิตช์ (Speed Cross Point Switch) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สวิตช์ ซึ่งไม่สามารถทนแรงดันสูงได้ ต้องมีอุปกรณ์อสซิลเลตแรงดัน และยอมให้เสียงผ่านไป อุปกรณ์จำพวกนี้ได้แก่หม้อแปลง ซึ่งต้องเลือกใช้ตัวหม้อแปลงแมทซ์จิ้งที่มีอิมพีแดนซ์ ($Z_1 : Z_2$) = 600:600Ω ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการแมทซ์ระหว่างเครื่องโทรศัพท์กับ เอ็กเทนชันไลน์ และ ครอสพอยต์สวิตช์

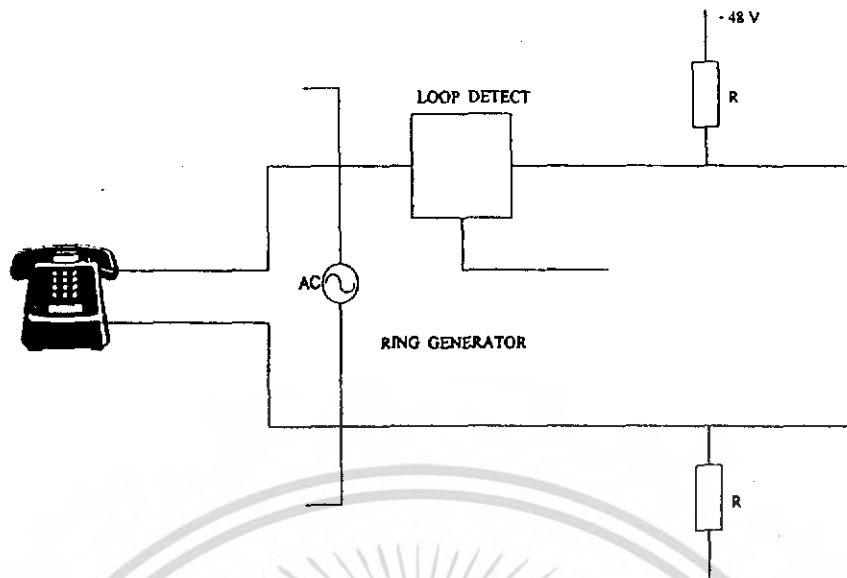
2.11 วงจรสร้างสัญญาณเรียกเข้า

วงจรสร้างสัญญาณเรียก สามารถสร้างได้จากวงจรออสซิลเลเตอร์ ซึ่งเป็นวงจรสร้างสัญญาณไฟสลับ ที่ให้ค่าแรงดันสูงโดยให้กำลังงานต่ำ

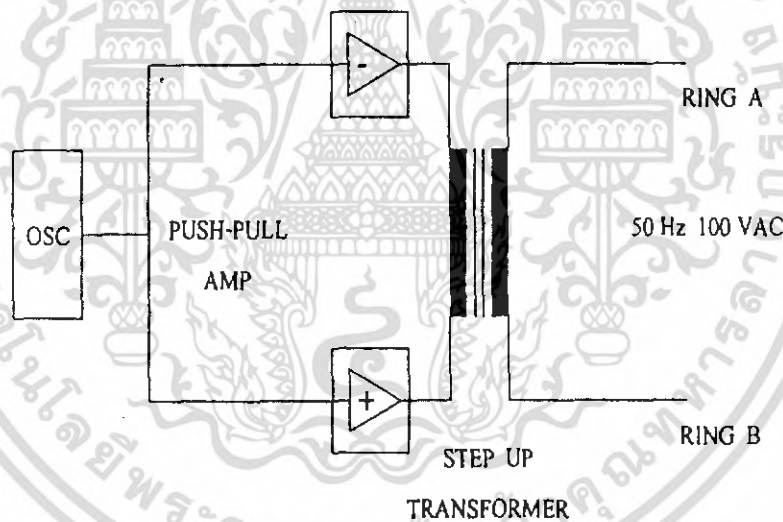
2.11.1 หลักการของวงจรเรียกเข้า

เมื่อชุมสายต้องการติดต่อกับเครื่องโทรศัพท์ ชุมสายจะต้องส่งสัญญาณเรียก มาเพื่อให้เราทราบ (สัญญาณเรียกเป็นสัญญาณไฟสลับ ความถี่ 20 – 25 เฮิรตซ์ แรงดัน 60 – 150 โวลต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณเรียก) เข้ามาที่เครื่องโทรศัพท์เป็นช่วงๆ จนกว่าเครื่องโทรศัพท์ ที่ถูกเรียกจะยกหูหรือ ผู้เรียกจะวางหูก่อน ส่วนมากสัญญาณเรียก จะถูกส่งเข้าไปในสายโทรศัพท์ โดยผ่านเข้าไปที่เครื่องโทรศัพท์ตามรูปที่ 2.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.35 แสดงการต่อสัญญาณเรียกเข้ากับคู่สายโทรศัพท์



รูปที่ 2.36 รูปแบบของวงจรกำเนิดสัญญาณเรียกเข้า

วงจรสร้างสัญญาณเรียกนั้นส่วนมากจะประกอบด้วยวงจรออสซิลเลเตอร์ และ วงจรขยาย ผ่านหม้อแปลงสเต็ปอัพ ดังรูปที่ 2.36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

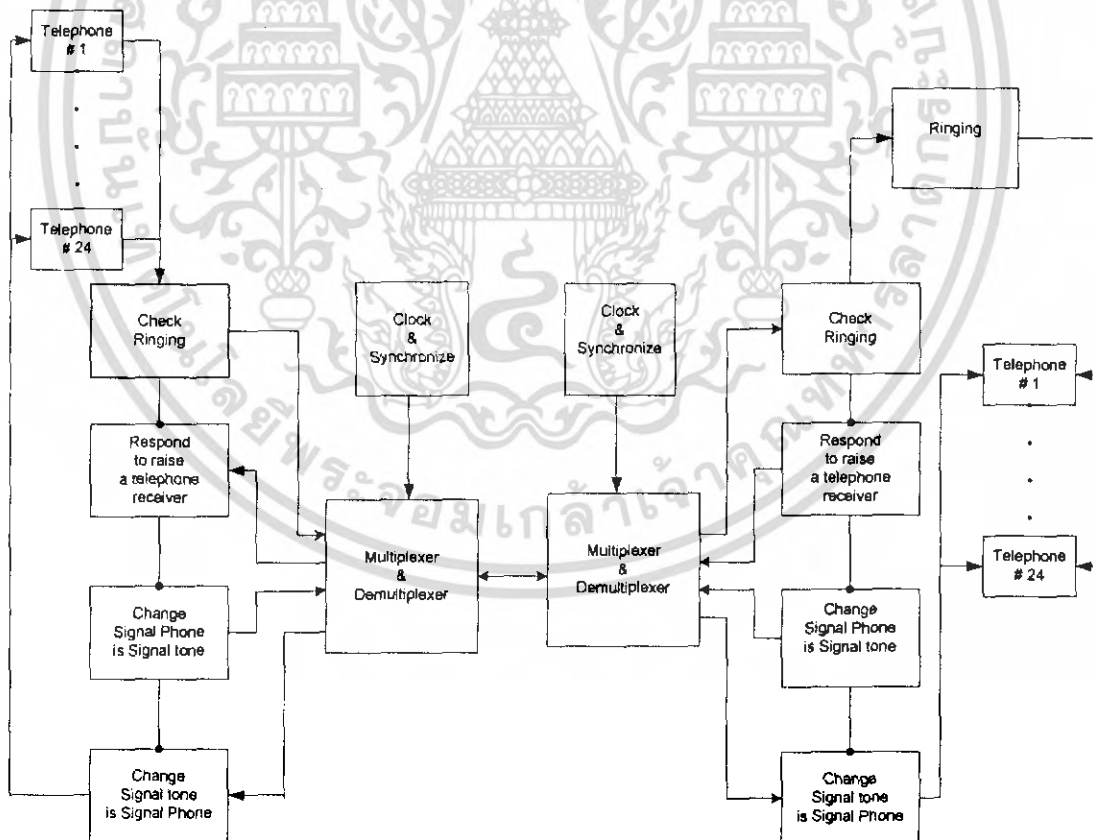
ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานของการมัลติเพล็กซ์ในสายโทรศัพท์สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนดังนี้

1. การกำหนดรูปแบบและการทำงานของระบบการมัลติเพล็กซ์ในสายโทรศัพท์
2. การออกแบบวงจรการมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์
3. การออกแบบวงจรภาคจ่ายไฟ
4. การทำงานทั้งระบบ

3.1 การกำหนดรูปแบบและการทำงานของระบบการมัลติเพล็กซ์ในสายโทรศัพท์

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาเนื้อหาข้อมูลต่างๆ แล้วจึงทำการกำหนดรูปแบบการทำงานของชุดมัลติเพล็กซ์ในสายโทรศัพท์ จะมีการรับ-ส่งโทรศัพท์ได้ 24 ช่องในแต่ละช่องสัญญาณ โทรศัพท์แต่ละสถานะ จะถูกตรวจสอบโดยวงจรต่างๆ ตามรูปที่ 3.1 แล้วส่งต่อไปยังวงจรมัลติเพล็กซ์เพื่อทำการมัลติเพล็กซ์ส่งไปยังวงจรมัลติเพล็กซ์ของอีกชุดหนึ่งเพื่อทำการดีมัลติเพล็กซ์แต่เราจะไม่กำหนดลงไปว่าภาคใดภาคหนึ่งเป็นภาครับหรือภาคส่งเสียทีเดียว เพราะเราสามารถเรียกออกได้ ทั้งนี้จะเป็นภาคใดก็ได้แล้วแต่เวลาเป็นการเรียกเข้า หรือเรียกออก



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การออกแบบวงจรมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์

วงจรมัลติเพล็กซ์ และ ดีมัลติเพล็กซ์ ข้อมูลเราจะออกแบบเป็นวงจรย่อยๆ ดังนี้

3.2.1 วงจรมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์

การมัลติเพล็กซ์ในสาย โทรศัพท์ ซึ่งก็คือ เรานำเอาสัญญาณจากโทรศัพท์มาเป็นข้อมูลในการมัลติเพล็กซ์ การติดต่อก็คือเป็นแบบ 2 ทาง ดังนั้นเพื่อความสะดวก เราจะเลือกใช้ไอซีเบอร์ MH88500 ซึ่งเป็น ไอซีมัลติเพล็กซ์ มีขาอินพุตและเอาต์พุตขาเดียวกัน

3.2.2 วงจรควบคุมการมัลติเพล็กซ์และดีมัลติเพล็กซ์

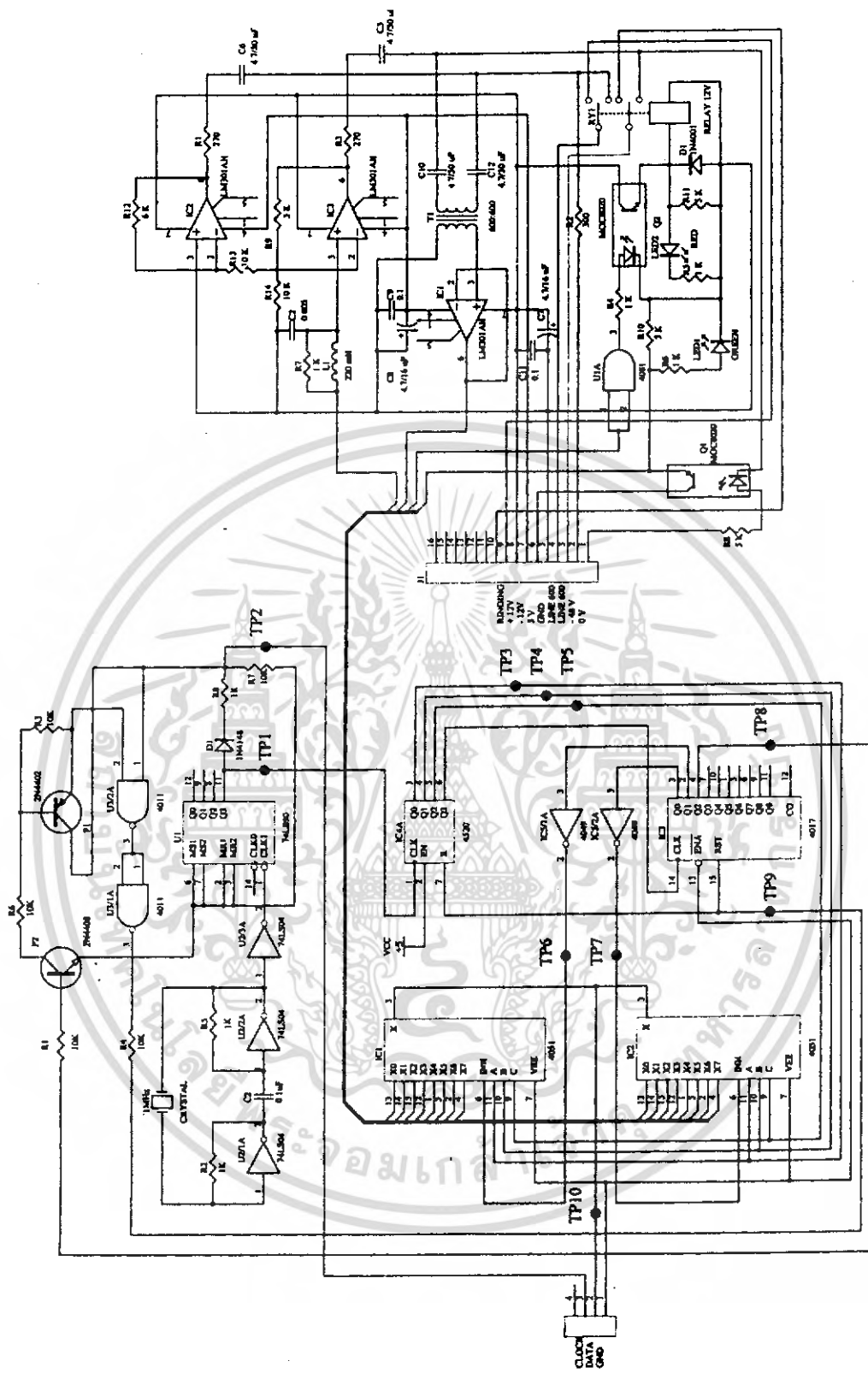
ในการออกแบบควบคุมให้ไอซี 4051 ทำงานจะแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

ลักษณะที่ 1 ให้อินพุต (มีจำนวน 8 อินพุต) ขาใดขาหนึ่งทำงาน เราเลือกใช้ไอซีเบอร์ 4520 ซึ่งเป็นวงจรนับไบนารี โดยเราจะได้รับสัญญาณอินพุตมาจากวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา และจะให้เอาต์พุตไปควบคุมให้ไอซี 4051 มีการทำงานเรียงตามลำดับ คือ 13, 14, 15, 12, 1, 5, 2 และ ขา 4

ลักษณะที่ 2 วงจรการทำงานเราใช้ไอซี 4051 จำนวน 2 ตัว เพราะฉะนั้น เราจึงต้องมีการควบคุมให้ตัวใดตัวหนึ่ง ทำงานก่อน และหลังตามลำดับ คือ ขณะที่ตัวหนึ่งทำงานอีกตัว จะต้องหยุดทำงาน โดยควบคุมการทำงานที่ขา INH (ขา 6) ของไอซี 4051 ซึ่งจะรับสถานะ “LOW” ในการทำงาน ให้การทำงานเรียงเป็นระบบ จากวงจรเลือกใช้ไอซีเบอร์ 4017 ซึ่งเป็น ไอซีนับสิบ มาควบคุมการทำงาน ให้สัญญาณควบคุมที่ขา 3 และขา 2 สถานะ “HIGH” จากนั้นส่งผ่านไอซีเบอร์ MH88500 เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสถานะ “LOW” แล้วป้อนให้ขา INH ของทุกตัว โดยในการทำงานของ IC # MH88500 จะต้องสัมพันธ์กับไอซี 4520 เนื่องจากเอาต์สัญญาณนาฬิกา จากเอาต์พุตขา 6 ของไอซี MH88500 มาป้อนเป็นอินพุตให้ขา 14 ของไอซี MH88500

หลังจากที่เราสามารถควบคุมการมัลติเพล็กซ์ให้ทำงานถูกต้องแล้ว เราสมารถที่จะทำการรับส่งข้อมูลระหว่างชุดส่ง และ ชุดรับ

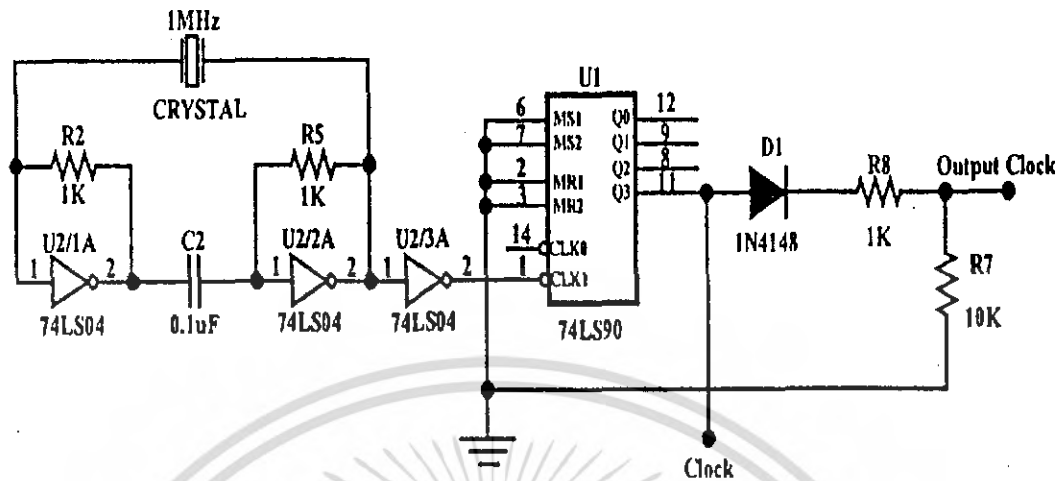
ต่อไปเราจะนำชุดมัลติเพล็กซ์ที่ได้ไปใช้งานในการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ โทรศัพท์ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.2 วงจรมัลติเพล็กซ์/ดีมัลติเพล็กซ์และวงจรควบคุมการมัลติเพล็กซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา



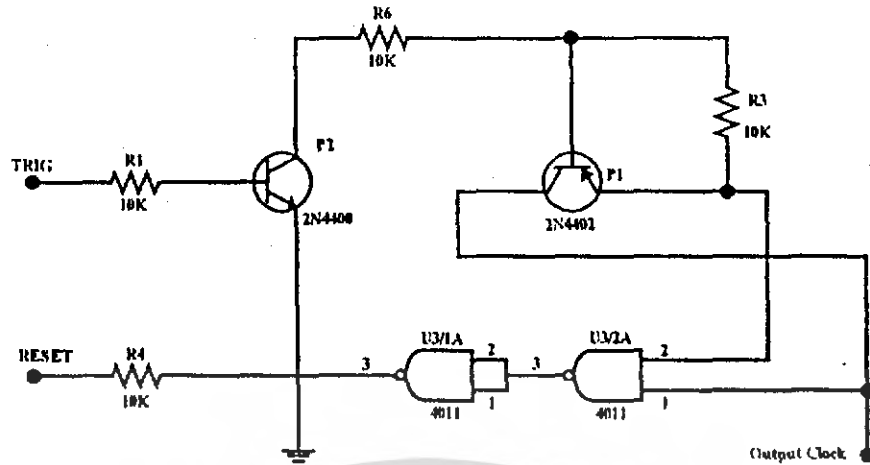
รูปที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาโดยใช้ตัวคริสตัล เป็นตัวกำหนดความถี่ขนาดของคริสตัล ที่ใช้มีขนาด 1 เมกะเฮิรตซ์ แสดงการออกแบบไว้ดังรูปที่ 3.3 ส่วนประกอบอื่นๆ ของวงจร เราใช้ไอซีเบอร์ 7404 เพื่อให้ความถี่ที่ได้จากคริสตัล ซึ่งเป็นสัญญาณความถี่ลักษณะเป็นคลื่นไซน์แปลงให้เป็นความถี่ที่มีลักษณะเป็นพัลส์ จากนั้นใช้ไอซีเบอร์ 7490 ทำการลดค่าความถี่ลง (ไอซี 7490 เป็นวงจรหาร 5) ซึ่งความถี่หลังจากผ่านการหารแล้วเหลือ 200 กิโลเฮิรตซ์นำความถี่ที่ผลิตขึ้นนี้ไปใช้งาน

3.2.4 วงจรซิงก์

แนวคิดในการส่งสัญญาณซิงก์ก็คือ ทางภาคส่งจะทำการเพิ่มขนาด (V_{p-p}) ของสัญญาณนาฬิกา ดูดดูดหนึ่ง ในทุกๆ ไซเคิลของการทำงาน แล้วส่งสัญญาณนาฬิกา ที่ได้นี้ไปที่ภาครับทางภาคส่งและภาครับ จะมีวงจรตรวจวัดระดับสัญญาณนาฬิกาที่มีขนาด (V_{p-p}) สูงผิด ไปจากปกติไปทำการรีเซ็ตอุปกรณ์ควบคุมการมัลติเพล็กซ์

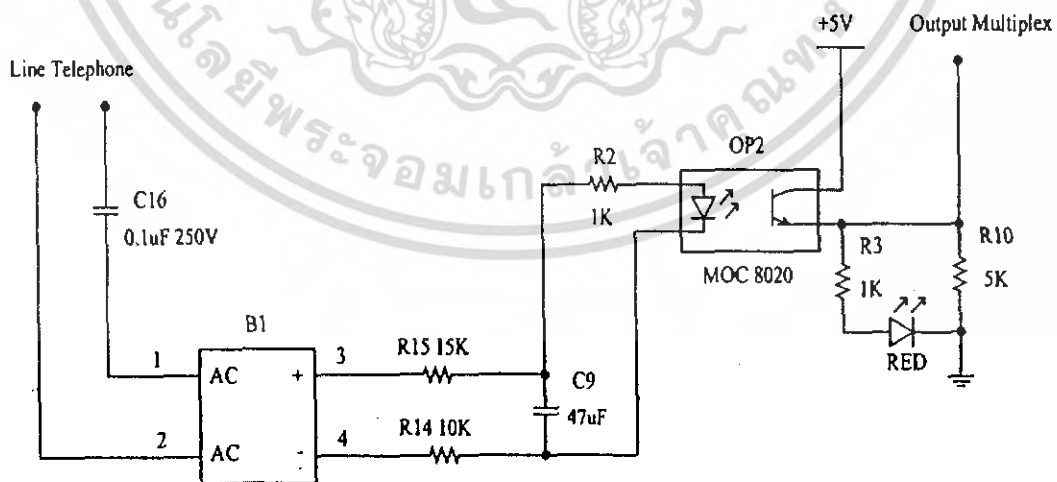
จากแนวความคิดข้างต้น เราสามารถออกแบบวงจรออกมาได้ แสดงไว้ดังรูปที่ 3.4 เรานำเอาสัญญาณพัลส์จากขา 4 ของไอซี MH88500 ในวงจรควบคุมการมัลติเพล็กซ์ มาทริกให้ทรานซิสเตอร์ 2N4400 ทำงานเป็นผลให้ทรานซิสเตอร์ 2N4402 เกิดการนำกระแสด้วยเนื่องจากขาเบส มีค่าความต้านทานลดลง ทำให้มีพัลส์ขนาด +12 โวลต์ ชี้ไปกับสัญญาณนาฬิกา เป็นช่วงๆ ขึ้นอยู่กับสัญญาณพัลส์ขา 4 ของไอซี MH88500 จากนั้นนำสัญญาณที่ได้นี้ ส่งไปยังวงจรตรวจวัด สัญญาณซิงก์ทั้งภาคส่งและภาครับ เพื่อนำเอาสัญญาณนาฬิกา ที่มีขนาด +12 โวลต์ ไปทำการรีเซ็ตตัวอุปกรณ์ควบคุมการมัลติเพล็กซ์



รูปที่ 3.4 วงจรซิงค์

3.2.5 วงจรการตรวจสอบการเรียกเข้า

สัญญาณคลื่นไซน์ ขนาด 100 โวลต์ 50 เฮิรตซ์ ส่งมาในสายโทรศัพท์จากชุมสายมาเป็นช่วงๆ เมื่อมีผู้ต้องการเรียกเข้า โดยเราจะใช้บริดจ์เรกติไฟร์ เป็นตัวแปลงให้เป็นสัญญาณไฟตรงแล้วทำการลดระดับสัญญาณลง (เป็นแรงดันต่ำ) โดยใช้หลักการแบ่งแรงดัน (R14 , R15) แล้วนำแรงดันที่ได้ป้อนให้ออปโต ไอโซเลเตอร์ (OP2) ที่ขา 1 โดยจะใช้ R2 มาเป็นตัวควบคุมกระแสที่ไหลผ่านตัวมัน ทำให้ OP2 นำกระแสและจะให้เอาต์พุต 5 โวลต์ ออกมาเป็นช่วงๆ ไปตามจังหวะของการส่งสัญญาณเรียกของชุมสาย จากนั้นส่งสัญญาณไปทำการมัลติเพล็กซ์ที่ขา 15 ของ ไอซีมัลติเพล็กซ์ด้านส่ง เพื่อส่งไปยังภาครับ เราแสดงการทำงานเมื่อเกิดสถานะนี้ด้วยแอลอีดี ที่ขาเอาต์พุตขา 4 ของ OP2



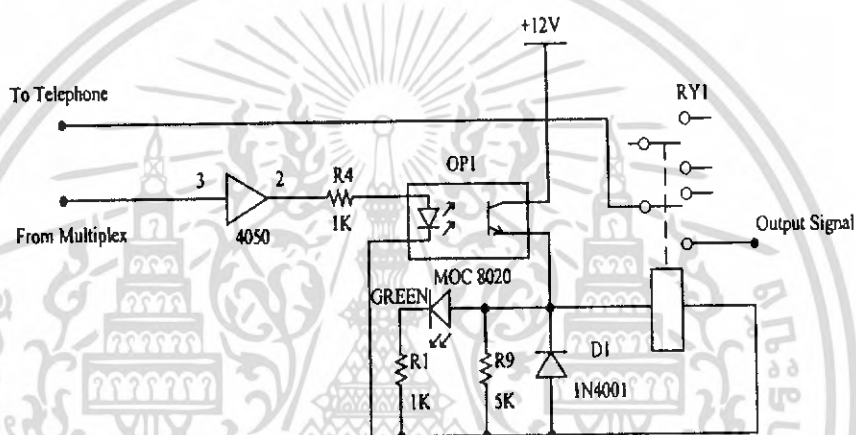
รูปที่ 3.5 วงจรตรวจสอบการเรียกเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 วงจรตอบสนองการยกหู

ออปโตไอโซเลเตอร์ (OPI) จะได้รับแรงดันขนาด 5 โวลต์ จากภาครับ ซึ่งนั่นก็คือโทรศัพท์ที่ภาครับได้ยกหูขึ้นแล้วเราจะใช้ R4 เป็นตัวควบคุมกระแสที่ไหลผ่านตัวมันตัวกำเนิดแสงจะทำงานโดยเปล่งแสงอินฟราเรด ทำให้ OPI นำกระแส และจะให้เอาต์พุตที่ขา4 ควบคุมให้รีเลย์ทำงาน ทำให้สายโทรศัพท์ต่อกับวงจรทรานส์ฟอเมอร์คัปเปิลไลน์แอมพลิไฟเออร์ เพื่อที่จะนำสัญญาณไปทำการมัลติเพล็กซ์ส่งต่อไปยังไอซีมัลติเพล็กซ์ที่ภาครับ

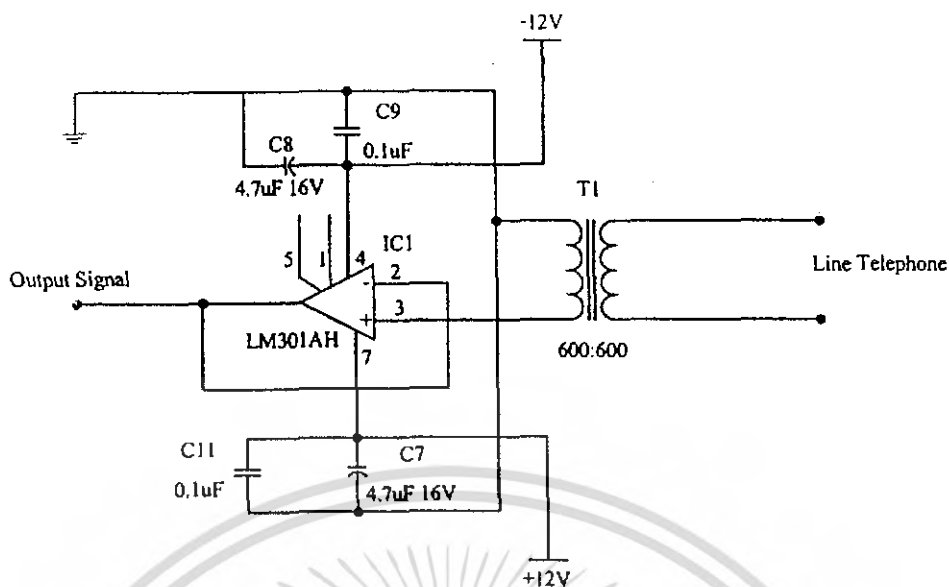
เมื่อรีเลย์ต่อสายโทรศัพท์เข้ากับวงจรขยายเสียงแล้วหลังจากภาครับยกหู โทรศัพท์สายโทรศัพท์เปรียบเสมือนมีอิมพีแดนซ์ 600Ω ทางชุมสายโทรศัพท์จะทำการเลิกส่งสัญญาณเรียกเข้า(ในกรณีเรียกเข้า) แล้วทำการต่อวงจรโทรศัพท์ให้ผู้เรียก



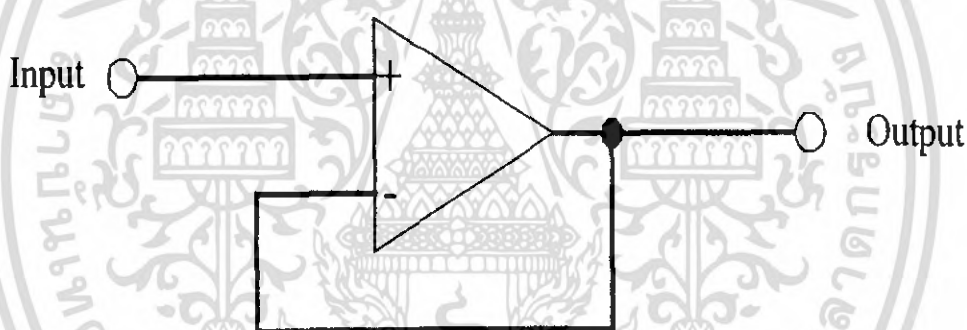
รูปที่ 3.6 วงจรตอบสนองการยกหู

3.2.7 วงจรตรวจจับสัญญาณเสียงจากสายโทรศัพท์

จากคู่สายโทรศัพท์ที่เข้ามา ซึ่งมีอิมพีแดนซ์ 600Ω เราต้องถอดสัญญาณเสียงออกจากสายโทรศัพท์โดยใช้หม้อแปลงแมกซิง (T1) ส่งผ่านเพื่อให้ได้สัญญาณเสียงที่สมบูรณ์ ส่งเข้าออปแอมป์ (ICI) ขยายแบบไม่กลับเฟส โดยต่อเป็นบัฟเฟอร์เพื่อทำการกรองสัญญาณเสียงที่รับมาส่งไปที่วงจรมัลติเพล็กซ์เพื่อส่งต่อไปยังภาครับ โดยวงจรพื้นฐานของบัฟเฟอร์ จะเป็นดังรูปข้างล่าง



รูปที่ 3.7 วงจรตรวจจับสัญญาณเสียงจากสายโทรศัพท์

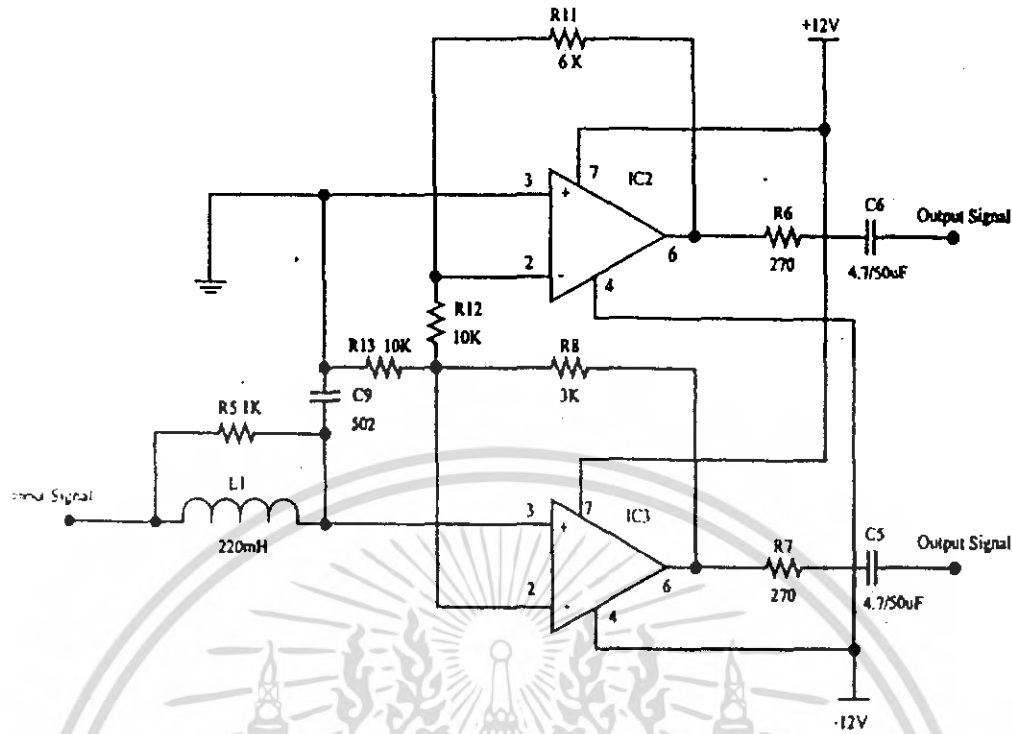


รูปที่ 3.8 วงจรพื้นฐานบัฟเฟอร์

3.2.8 วงจรขยายสัญญาณเสียง

สัญญาณเสียงที่เข้ามาเราจะขยายโดยใช้ออปแอมป์ (IC2 และ IC3) ให้เป็นวงจรขยายแบบบริดจ์ โดยสัญญาณส่งผ่าน L1, R5 และ C9 เพื่อให้เสียงมีคุณภาพดีขึ้น ซึ่งกรองสัญญาณรบกวนความถี่สูงให้เหลือแต่สัญญาณเสียง ส่งเข้าออปแอมป์ (IC3) ขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส โดยเอาต์พุตที่ได้จะป้อนกลับมาเป็นอินพุตให้กับ IC2 ซึ่งขยายแบบกลับเฟส และเนื่องจากออปแอมป์ให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ระดับต่ำ เราจึงต่อตัวต้านทานค่า 270Ω อนุกรมกับวงจรทางด้านเอาต์พุตของออปแอมป์ทั้งสองตัวจะทำให้ได้ค่าเอาต์พุตอิมพีแดนซ์ รวม 600Ω โดยอัตราขยายของ IC3 กำหนดโดย R8 และ R13 ส่วน IC2 กำหนดโดย R11 และ R12 แล้วนำเอาต์พุตของวงจรทั้งสองนี้ส่งผ่านสายโทรศัพท์

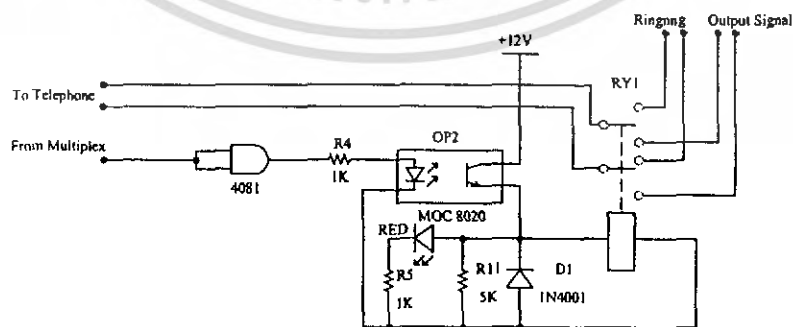
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 วงจรขยายสัญญาณเสียง

3.2.9 วงจรตรวจสอบการเรียกเข้า

แรงดันขนาด 5 โวลต์ถูกส่งเข้ามาที่ขา 15 ของ ไอซีมัลติเพล็กซ์ เราใช้ ไอซี MH88500 เพื่อเป็นตัวรักษาระดับของสัญญาณป้อนให้ขา 1 OP2 นำกระแส และจะให้เอาต์พุตขนาด 12 โวลต์ ที่ขา 4 เพื่อป้อนให้รีเลย์ หน้าสัมผัสของรีเลย์ในสภาวะปกติจะต่อเครื่องโทรศัพท์ไว้กับเอาต์พุตของวงจรทรานส์ฟอเมอร์เลส ไดรเวอร์แอมพลิไฟเออร์ เมื่อรีเลย์ทำงานหน้าสัมผัสจะจากออก และต่อโทรศัพท์ที่เข้าวงจรสร้างสัญญาณเรียก ซึ่งทำให้วงจรกระตุ้นภายในโทรศัพท์ได้รับสัญญาณอินพุตทำงานมีเสียงกระดิ่งดังขึ้น

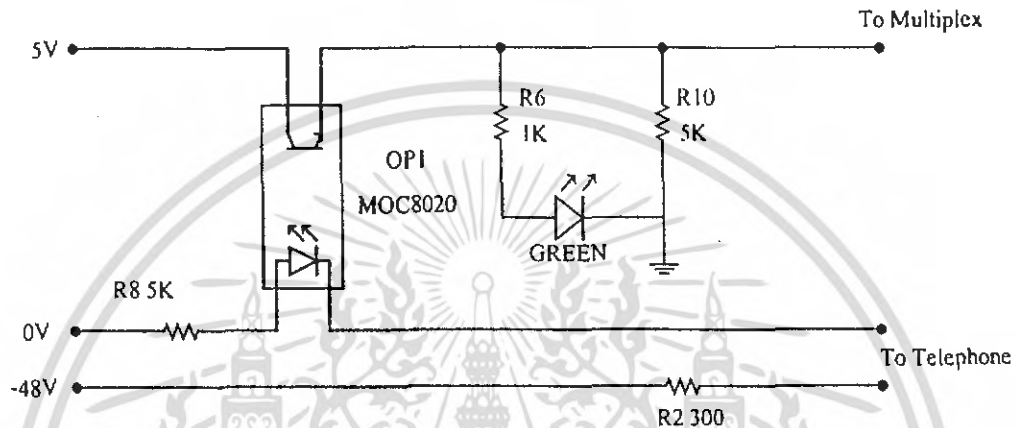


รูปที่ 3.10 วงจรตรวจสอบการเรียกเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.10 วงจรตอบสนองการเรียกเข้า

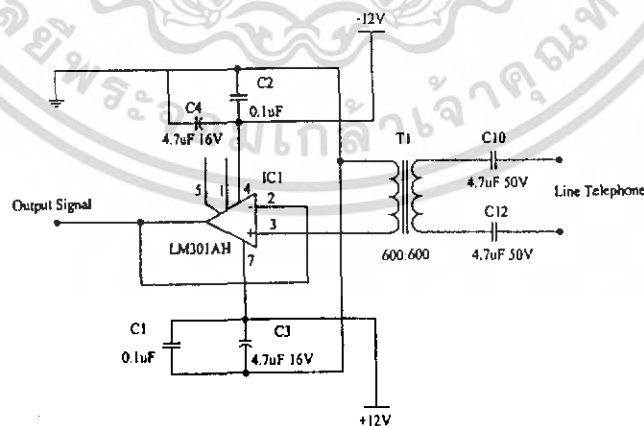
เมื่อมีการส่งสัญญาณผ่านที่ขา 12 แสดงว่ามีการยกหูโทรศัพท์ขึ้น (ตอบสนองการเรียกเข้าจากผู้เรียก) จากหลักการของการตรวจจับรูป เมื่อมีการยกหูโทรศัพท์ขึ้น จะทำให้เครื่องโทรศัพท์มีแรงดันลดลงเหลือ 12 โวลต์ (ตามหลักการของขุมสาย และชนิดของเครื่องโทรศัพท์) จากแรงดันขนาด -48 โวลต์ ทำให้มีกระแสไหลผ่าน OP1 ที่ขา 1 โดยมี R8 เป็นตัวควบคุมกระแส OP1 ทำงานให้เอาต์พุตขนาด 5 โวลต์ ป้อนให้ขา 12 ของไอซีมัลติเพล็กซ์ ส่งไปที่มัลติเพล็กซ์



รูปที่ 3.11 วงจรตอบสนองการเรียกเข้า

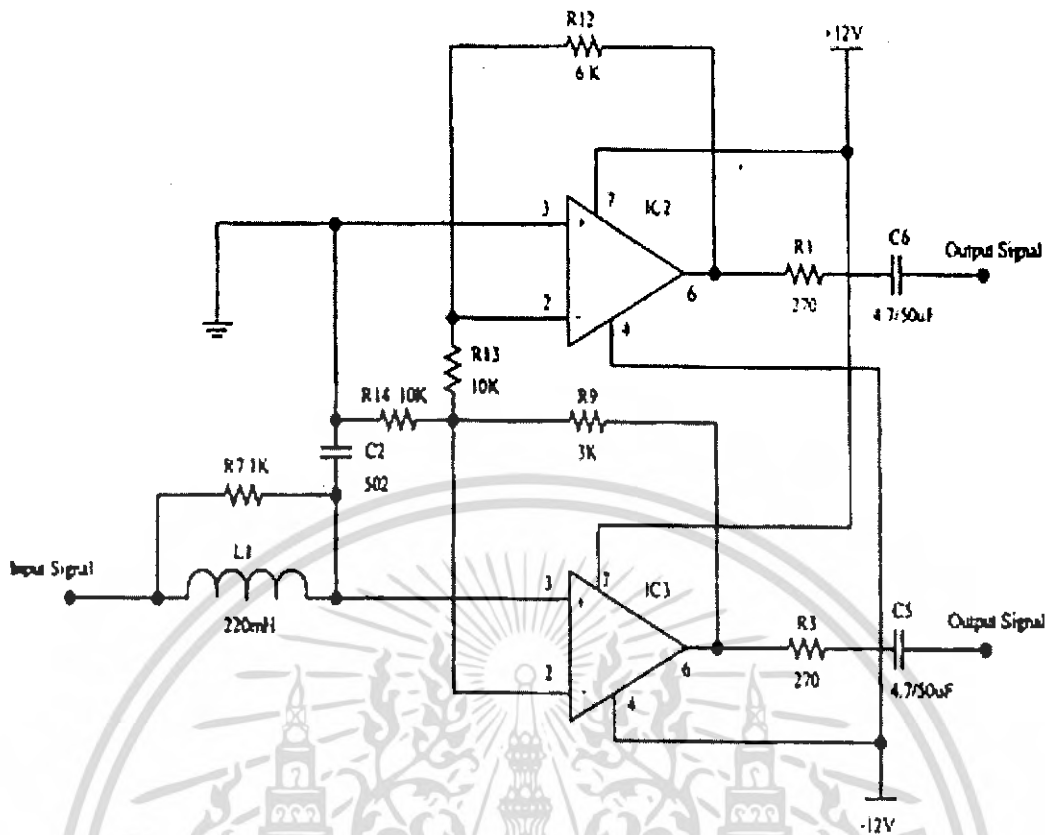
3.2.11 วงจรตรวจจับสัญญาณเสียงจากสายโทรศัพท์และวงจรขยายสัญญาณเสียง

ในการออกแบบและการทำงานของวงจรตรวจจับสัญญาณเสียงจากสายโทรศัพท์และวงจรขยายเสียงในภาครับ จะเหมือนกับวงจรทางด้านภาคส่ง



รูปที่ 3.12 วงจรตรวจจับสัญญาณเสียงจากสายโทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



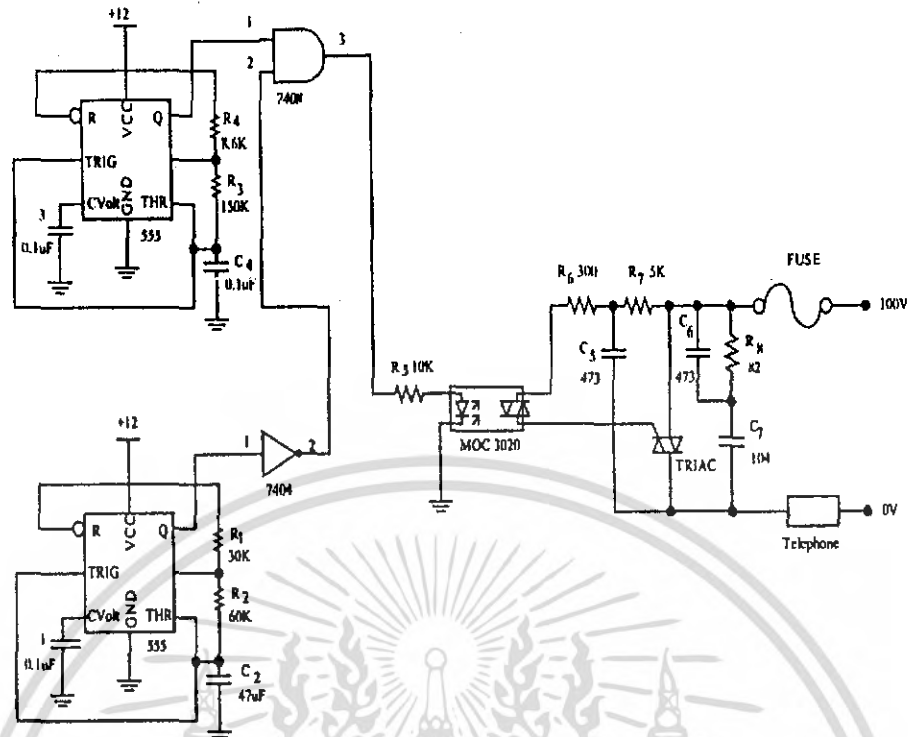
รูปที่ 3.13 วงจรขยายสัญญาณเสียง

3.2.13 วงจรกำเนิดสัญญาณเรียก

รูปที่ 3.14 เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณเรียกซึ่งประกอบด้วยวงจรอะอสเตเบิลิต 2 ชุด โดยใช้ ไอซี 555 เป็นตัวกำเนิดความถี่ที่ ชุดแรกจะกำเนิดสัญญาณความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ เพื่อเป็นสัญญาณอ้างอิง และอีกวงจรหนึ่งจะให้ความถี่ 0.2 เฮิร์ตซ์ ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมจังหวะการส่งสัญญาณเรียกแล้วนำสัญญาณทั้งสองมาเข้าแอนเกท จะได้เอาต์พุตออกเป็นสัญญาณเรียก โดยความถี่ที่ผลิตจากวงจระอสเตเบิลิต เราสามารถคำนวณได้จาก

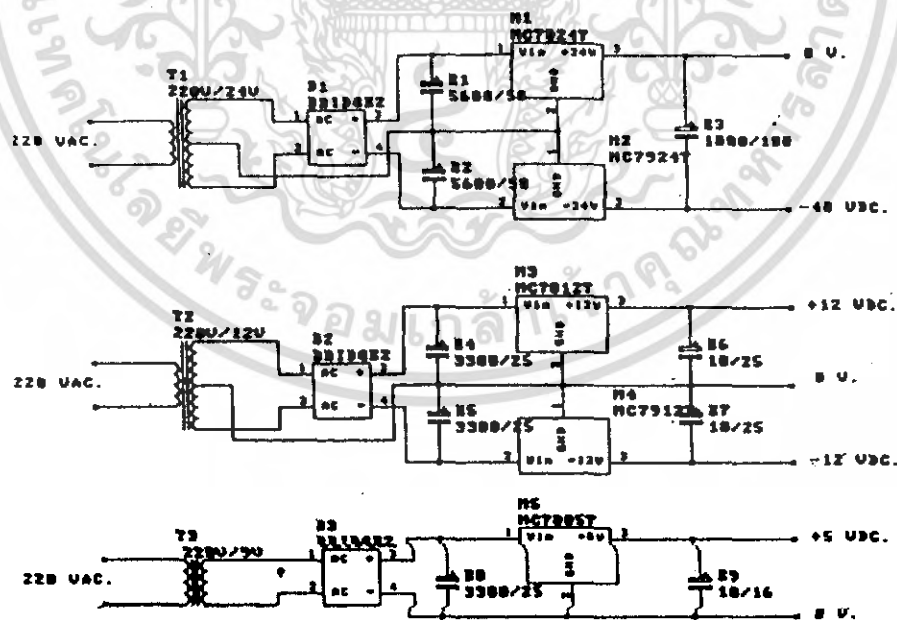
$$f = \frac{1.443}{(Ra + 2Rb)C1} \tag{3.1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 วงจรกำเนิดสัญญาณเรียก

3.3 การออกแบบวงจรจ่ายไฟ



รูปที่ 3.15 วงจรแหล่งจ่ายไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทำงานของระบบ

ในหัวข้อนี้ เป็นการอธิบายการทำงานทั้งระบบ โดยแบ่งการทำงานออกเป็น 3 สภาวะดังนี้ คือ

3.4.1 สภาวะปกติ

ภาคส่ง (TX) สภาวะปกติอุปกรณ์ทุกตัวพร้อมที่จะทำงาน (Stand by) แต่ยังไม่ทำงาน เช่น ชุดมัลติเพล็กซ์ พร้อมจะทำการมัลติเพล็กซ์ และดีมัลติเพล็กซ์ ถ้าสัญญาณอินพุตเข้ามาป้อน เป็นต้น

ที่ภาครับ (RX) ชุดมัลติเพล็กซ์ ก็พร้อมจะทำการรับอินพุตเข้าเช่นเดียวกับชุดของภาคส่งภาครับ ในสภาวะปกติรีเลย์ จะต่อสายโทรศัพท์ เข้ากับเครื่องโทรศัพท์ และ ต่อไฟ -48 โวลต์ เลี้ยงตัวเครื่องโทรศัพท์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทำงานจะถูกจำลองให้ใกล้เคียงกับชุมสายโทรศัพท์จริงๆ

3.4.2 เมื่อมีการเรียกเข้า

โดยทั่วไปในสายโทรศัพท์ เมื่อมีการเรียกเข้าในสายโทรศัพท์ จะปรากฏมีสัญญาณคลื่นไซน์ ขนาด 100 โวลต์ 20 – 50 เฮิรตซ์ (ตามทฤษฎี) ส่งมาจากชุมสายเป็นช่วงๆ ภาคส่งจะมีวงจรตรวจวัดสัญญาณไซน์ ขนาด 100 โวลต์ 20 เฮิรตซ์ เพื่อแปลงให้เป็นสัญญาณไฟตรง แรงดันต่ำ โดยใช้ไอโอดบริดจ์ จากนั้นทำการลดแรงดันลงอีกครั้งหนึ่ง โดยใช้หลักการของวงจรแบ่งแรงดัน แล้วนำโวลต์เตจที่ได้ไปป้อนให้กับ OP2 โดยมีตัวต้านทาน (R2) เป็นตัวควบคุมกระแสที่ไหล ผ่านตัวมัน ตัวกำเนิดแสงจะทำงานโดยเปล่งแสงอินฟราเรด และเป็นผลทำให้ตัวรับแสง (Photo Transister) มีความต้านทานต่ำที่บริเวณขาเบส ทำให้ OP2 นำกระแสและจะให้ได้อาต์พุตขนาด 5 โวลต์ แล้วทำการมัลติเพล็กซ์ ที่ขา 15 ทางภาครับจะทำการมัลติเพล็กซ์ ที่ขา 15 ได้สัญญาณขนาด 5 โวลต์เป็นช่วงๆ ไปป้อนให้รีเลย์ เมื่อรีเลย์ได้รับ 12 โวลต์แล้ว (โดยปกติแล้วรีเลย์ จะต่อกับวงจรในสภาวะที่ให้ตัวเครื่องโทรศัพท์ต่อกับ -48 โวลต์ อยู่) หน้าสัมผัสจะเปลี่ยนไปต่อกับวงจรสร้างสัญญาณเรียก เป็นผลทำให้เครื่องโทรศัพท์ที่มีสัญญาณเรียกเข้า ทำให้เครื่องโทรศัพท์ทำงาน คือ มีเสียงเรียกดังขึ้น เป็นช่วงๆ ตามจังหวะสัญญาณการเรียกที่ชุมสายส่งมา และ เมื่อมีการยกหู (ตอบสนองการเรียกเข้าจากผู้เรียก) จากหลักของการตรวจจับรูปจะทำให้เครื่องโทรศัพท์มีขนาดของแรงดันลดลงเหลือ 12 โวลต์ ตามทฤษฎี จะมีแรงดันขนาด 0 โวลต์ ป้อนให้กับ OP1 เมื่อมีการยกหู OP1 ทำงานซึ่งจะให้แรงดันขนาด 5 โวลต์ ป้อนให้ที่ขา 12 ส่งไปภาคส่ง เพื่อทำการมัลติเพล็กซ์ที่ขา 12 จากนั้นนำสัญญาณที่ได้ป้อนให้ OP1 มีกระแสไหลผ่านตัวมันที่ขา 1 ให้เอาต์พุตที่ขา 4 ขนาด 12 โวลต์ นำไปป้อนให้รีเลย์ เมื่อรีเลย์ได้รับแรงดันขนาด 12 โวลต์ ก็จะดึงหน้าสัมผัสให้สายโทรศัพท์ข้างหนึ่งต่อกับหม้อแปลงแม่ทซ์ซึ่งในขณะนี้แสดงว่าปลายสายโทรศัพท์มีอิมพีแดนซ์ 600Ω ทางชุมสายจะรับทราบ ว่า เครื่องโทรศัพท์ถูกยกหูขึ้นแล้ว ซึ่งในกรณีที่มีการเรียกเข้านี้ชุมสายก็จะเลิกส่งสัญญาณเรียก ให้กับคู่สาย และจะต่อโทรศัพท์ให้กับผู้เรียก ขณะนี้รีเลย์ ที่ภาครับก็จะไม่มีแรงดันเกิดขึ้น (เสมือน 0 โวลต์) ฉะนั้น รีเลย์ที่ภาครับก็จะเปลี่ยนหน้าสัมผัส ซึ่งต่ออยู่กับสัญญาณเรียกเดิมแล้วกลับมาต่อที่ -48 โวลต์ ดังเดิม ขณะนี้ผู้ที่เรียกเข้า สามารถที่จะสนทนากับผู้เรียกได้แล้ว โดยการสนทนาที่ผู้เรียกจะส่งสัญญาณเสียงโดยผ่านทางขา 13 และสัญญาณเสียงของผู้ถูกเรียกจะถูกส่งผ่านขา 14 เมื่อการสนทาลิ้นสุด

ลง ถ้าทางผู้เรียกวางหูโทรศัพท์ล่วงหน้าทางผู้ถูกเรียก ผู้ถูกเรียกจะได้รับสัญญาณไม่ว่าง (Busy Tone) ทันทีและ ถ้าผู้ถูกเรียกวางหูโทรศัพท์ก่อน วงจรของโทรศัพท์มีลติเพิล็กซ์ก็จะกลับสู่สภาวะปกติ

3.4.3 สภาวะเมื่อต้องการโทรออก

ในการโทรออกของผู้ใช้โทรศัพท์ โดยปกติจะต้องมีการขงหนู และ จากที่เรากล่าวมาแล้วข้างต้น เมื่อมีการขงหนูโทรศัพท์รีเลย์จะทำการต่อวงจรให้คู่สายโทรศัพท์ต่อกับหม้อแปลงแมทซ์ซึ่ง 600 Ω ผู้ขงหนูก็จะได้ยินสัญญาณโทรศัพท์จากนั้นก็สามารทที่จะกดหมายเลขตามต้องการในขณะที่กดหมายเลขสัญญาณจะถูกส่งผ่านไปทีขา 14 จากนั้นเป็นการทำงานตามขั้นตอนเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์

ระบบการมัลติเพล็กซ์แบบแบ่งเวลาเป็นระบบการสื่อสารที่สามารถส่งสัญญาณข้อมูลได้หลายๆ ช่องโดยใช้เวลาเป็นตัวกำหนดการส่ง สัญญาณโทรศัพท์ที่เข้ามาในแต่ละช่องจะผ่านวงจรตรวจสอบสัญญาณในแต่ละสภาวะ และส่งไปมัลติเพล็กซ์ผ่านกระบวนการมอดูเลตแบบแอมพลิจูดพัลส์แล้วส่งไปให้กับวงจรภาครับ ส่วนภาครับจะทำการดีมัลติเพล็กซ์ เพื่อแยกสัญญาณแต่ละช่องแล้วส่งต่อให้กับวงจรตรวจสอบสภาวะของแต่ละช่องเพื่อบอกให้โทรศัพท์แต่ละคู่สายรับรู้ ซึ่งทั้งภาคส่งและภาครับจะถูกควบคุมการทำงานให้สอดคล้องกันโดยสัญญาณซิงค์

โครงการนี้เป็นการมัลติเพล็กซ์ในสายโทรศัพท์สามารถรับและส่งโทรศัพท์ที่ได้ 24 ช่องซึ่งเราสามารถเพิ่มช่องในการรับส่งได้อีก โดยเราใช้ไอซี 4051 เป็นตัวมัลติเพล็กซ์ ซึ่งไอซี 1 ตัวสามารถรับส่งการมัลติเพล็กซ์ได้ 2 ช่องส่วนความถี่ที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างเราต้องลดค่าความถี่ลงตามความเหมาะสม และให้ได้ความชัดเจนที่สุด จากทฤษฎีเราทราบว่าอัตราในการสุ่มตัวอย่างต้องมากกว่าอัตราค่าต่ำสุด โดยที่อัตราค่าต่ำสุดจะเท่ากับ 2 เท่าของความถี่สูงสุดในสัญญาณต่อเนื่อง ซึ่งสัญญาณเสียงพูดในสายโทรศัพท์เท่ากับ 3,400 เฮิรตซ์ ดังนั้นเราจึงต้องสุ่มด้วยอัตราที่สูงกว่าตั้งแต่ $3,400 * 2 = 6,800$ เฮิรตซ์ขึ้นไป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

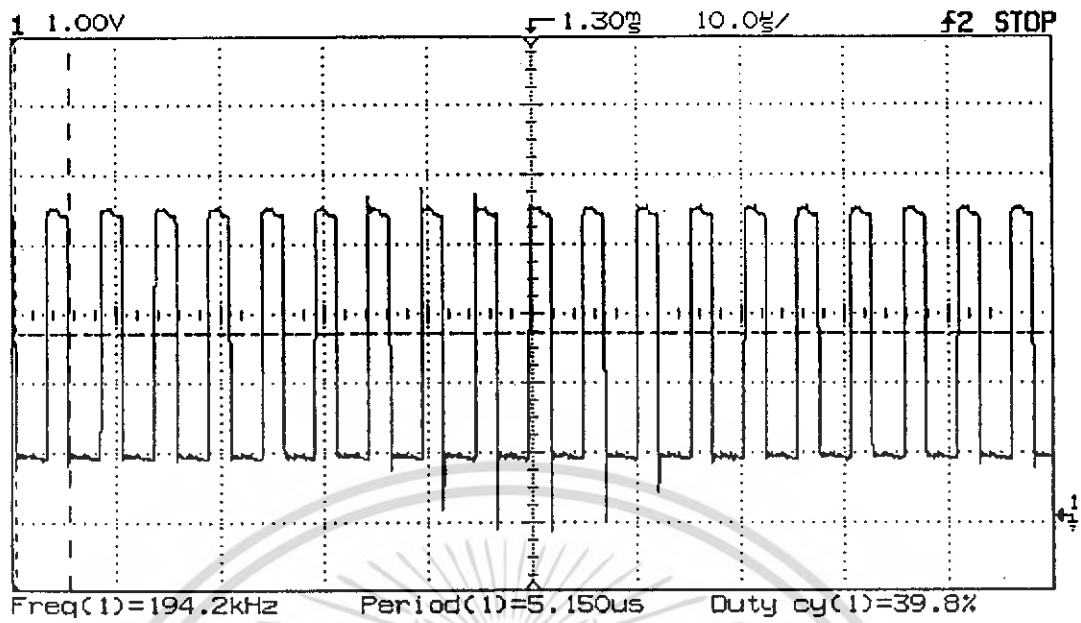
ในบทนี้จะเป็นผลการทดลองวงจรที่ออกแบบและสร้างขึ้น โดยการทดลองจะทำการป้อนสัญญาณโทรศัพท์จำนวน 4 คู่สายและตรวจวัดสัญญาณแต่ละจุดจากเอาต์พุตของวงจร โดยจะทำการออกแบบให้สามารถนำเอาออสซิลโลสโคปมาตรวจจับสัญญาณจากจุดทดสอบสัญญาณ (Test Point) เพื่อคุณลักษณะสัญญาณที่จุดต่างๆ ของจุดทดสอบ ซึ่งทั้งด้านภาคส่ง และภาครับเราจะกำหนดให้จุดทดสอบเป็นหมายเลขตรงกันเพื่อเปรียบเทียบว่าแต่ละจุดของทั้งภาคส่งและภาครับทำงานสัมพันธ์กัน ซึ่งแสดงให้เห็นจุดทดสอบต่างๆ ได้ดังนี้

4.1 จุดทดสอบสัญญาณที่ 1 (TP1)

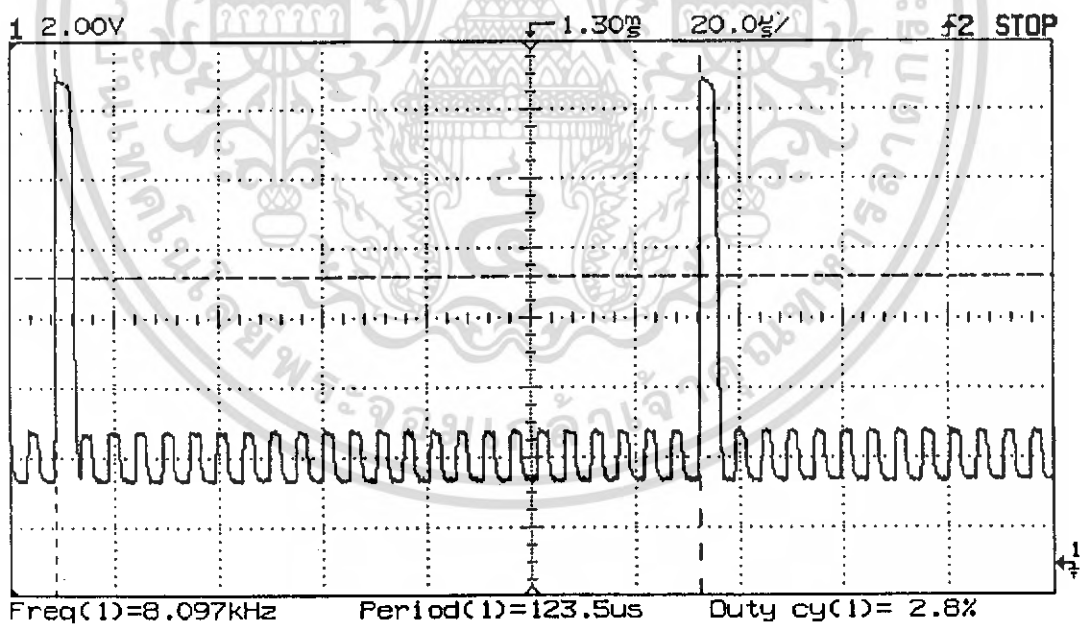
จากรูปที่ 4.1 เป็นสัญญาณนาฬิกาที่มีความกว้างของพัลส์คงที่ ซึ่งจะทำการผลิตได้จากวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา เพื่อส่งไปให้กับวงจรควบคุมการมัลติเพล็กซ์ จะเห็นได้ว่ารูปสัญญาณนาฬิกายังไม่สมบูรณ์ซึ่งเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้และวงจรที่ออกแบบยังไม่ดีเท่าที่ควร แต่ค่าความถี่ที่ได้อยู่ประมาณ 200 กิโลเฮิร์ตซ์ตามที่เราร้องการ

4.2 จุดทดสอบสัญญาณที่ 2 (TP2)

จากรูปที่ 4.2 เป็นสัญญาณที่รวมกันระหว่างสัญญาณนาฬิกาและสัญญาณรีเซ็ทเพื่อส่งไปให้กับทางภาครับ เพื่อควบคุมการมัลติเพล็กซ์ให้เป็นไปอย่างถูกต้อง ถ้าหากสัญญาณนี้ไม่ตรงกันจะทำให้การมัลติเพล็กซ์เกิดการผิดพลาดการติดต่อยจะไม่ตรงช่องกัน จะเห็นได้ว่าสัญญาณนาฬิกาที่รวมมากับสัญญาณรีเซ็ทนั้นมีขนาดเล็กลง ถ้าหากว่าสัญญาณนาฬิกามีขนาดเล็กมากจะทำให้อุปกรณ์ควบคุมไม่สามารถตรวจจับระดับสัญญาณนาฬิกาได้ ก็จะไม่มีการทำงาน แต่จากรูปสัญญาณยังมีขนาดใหญ่พอที่จะไปป้อนให้กับวงจรควบคุมการมัลติเพล็กซ์ด้านรับทำงานได้



รูปที่ 4.1 สัญญาณนาฬิกาจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 1

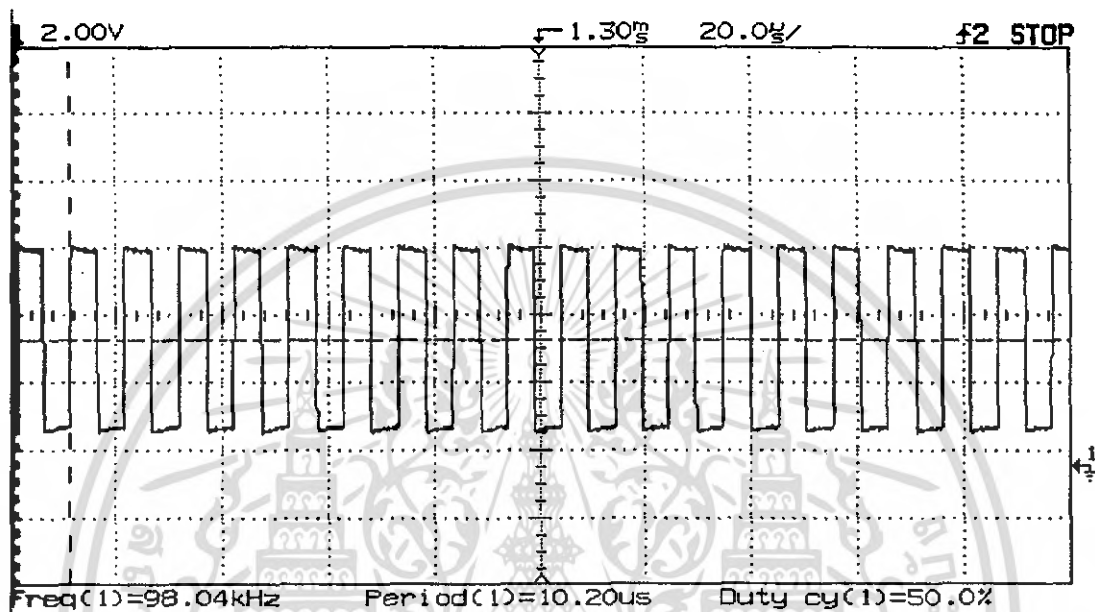


รูปที่ 4.2 สัญญาณนาฬิกา กับสัญญาณรีเซ็ตจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 จุดทดสอบสัญญาณที่ 3-5 (TP3-5)

จากรูปที่ 4.3 – 4.5 เป็นสัญญาณที่ได้จากขา 3,4 และ 5 ของไอซี 4520 ตามลำดับ ซึ่งเป็นการนับแบบไบนารีที่จะนำไปควบคุมขา A,B, และ C ของไอซีมัลติเพล็กซ์ให้ทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณให้เรียงไปตามลำดับทั้ง 8 ช่องตามลำดับอย่างถูกต้อง ถ้าสัญญาณตรงจุดทดสอบนี้ไม่มีหรือไม่ตรงกันระหว่างภาคส่งและภาครับจะทำให้การมัลติเพล็กซ์ของทั้ง 8 ช่องไม่สัมพันธ์กันซึ่งทำให้การติดต่อไม่ตรงช่อง



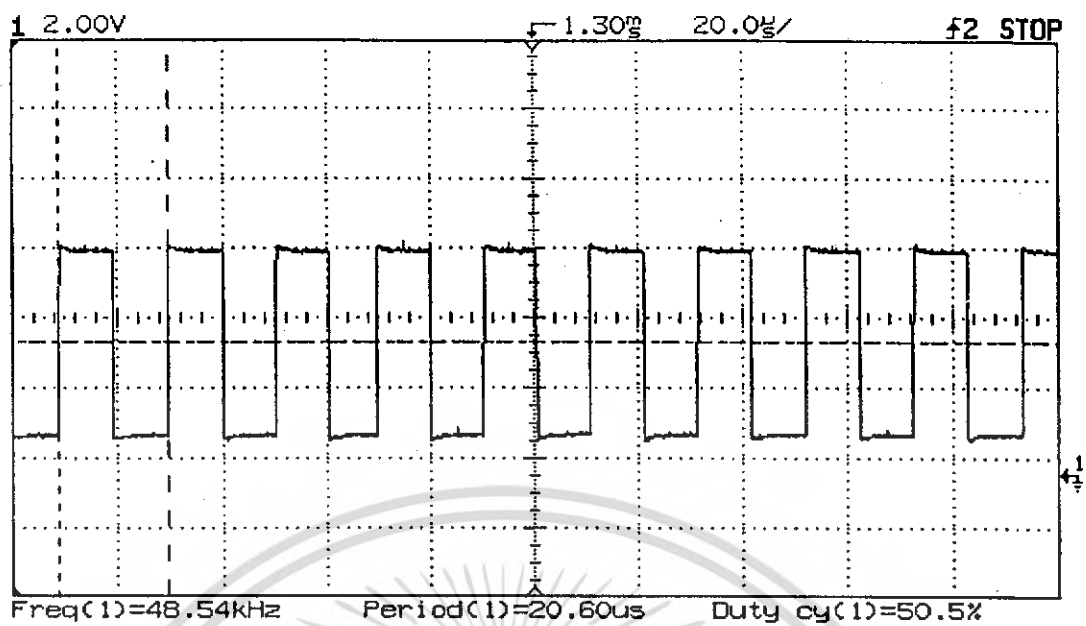
รูปที่ 4.3 สัญญาณควบคุมการมัลติเพล็กซ์จากจุดทดสอบสัญญาณที่ 3

4.4 จุดทดสอบสัญญาณที่ 6 (PT6)

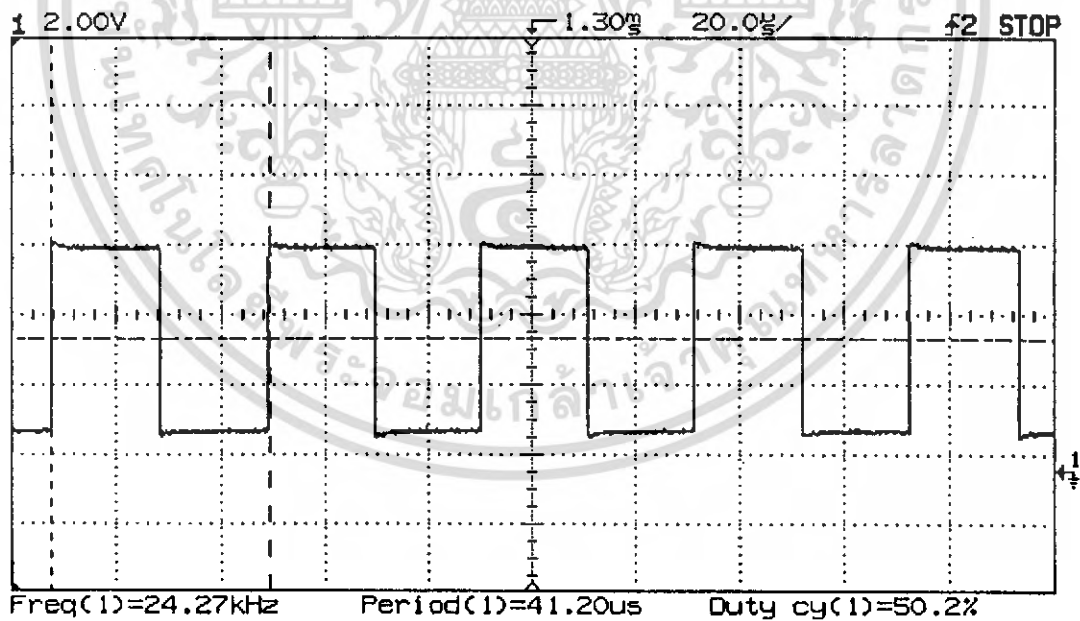
จากรูปที่ 4.6 เป็นสัญญาณที่ได้จากขา 3 ของไอซี 4071 เป็นสัญญาณที่จะนำไปกำหนดให้ไอซีมัลติเพล็กซ์ตัวที่ 1 ทำงานทำการมัลติเพล็กซ์สัญญาณ 8 ช่องแรก

4.5 จุดทดสอบสัญญาณที่ 7 (PT7)

จากรูปที่ 4.7 เป็นสัญญาณที่ได้จากขา 2 ของไอซี 4017 ซึ่งเป็นสัญญาณที่นับต่อจากขาที่ 3 ในหัวข้อที่ 4.6 ซึ่งจะนำไปควบคุมให้ไอซีมัลติเพล็กซ์ตัวที่ 2 ทำงานต่อ หลังจากตัวที่ 1 ได้ทำการมัลติเพล็กซ์ทั้ง 8 ช่องเรียบร้อยแล้ว

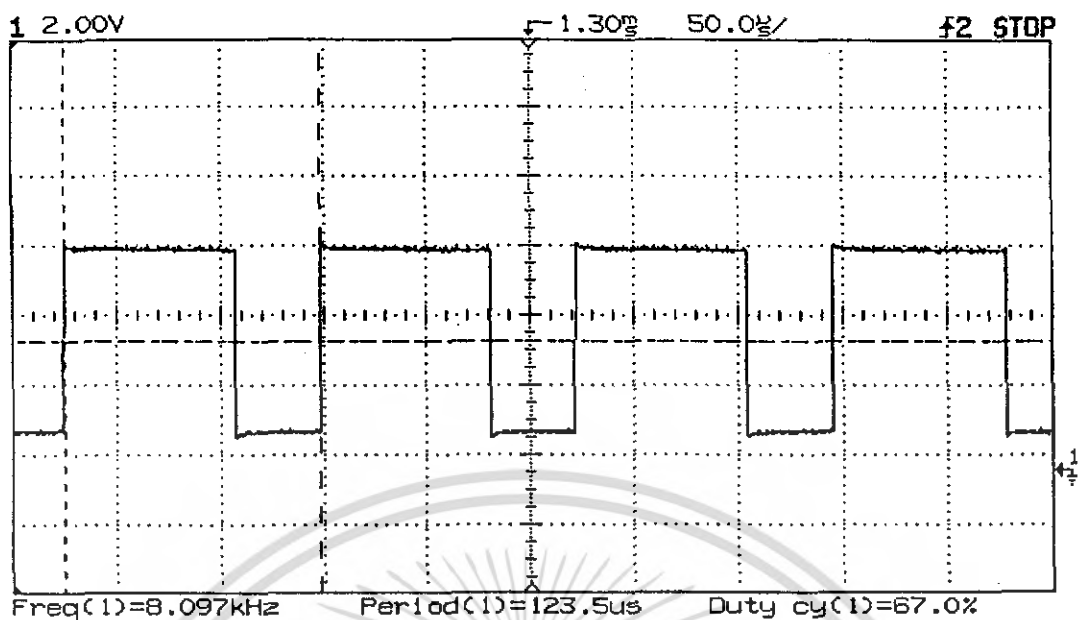


รูปที่ 4.4 สัญญาณควบคุมการมัลติเพล็กซ์จากจุดทดสอบสัญญาณที่ 4

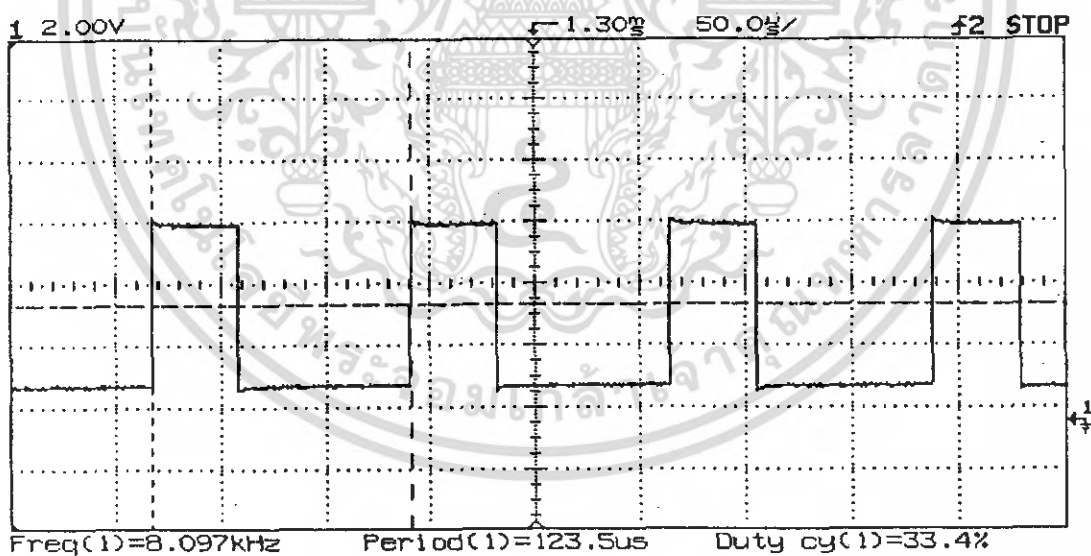


รูปที่ 4.5 สัญญาณควบคุมการมัลติเพล็กซ์จากจุดทดสอบสัญญาณที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สัญญาณกำหนดให้ไอซีมัลติเพล็กซ์ตัวที่ 1 ทำงานจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 6

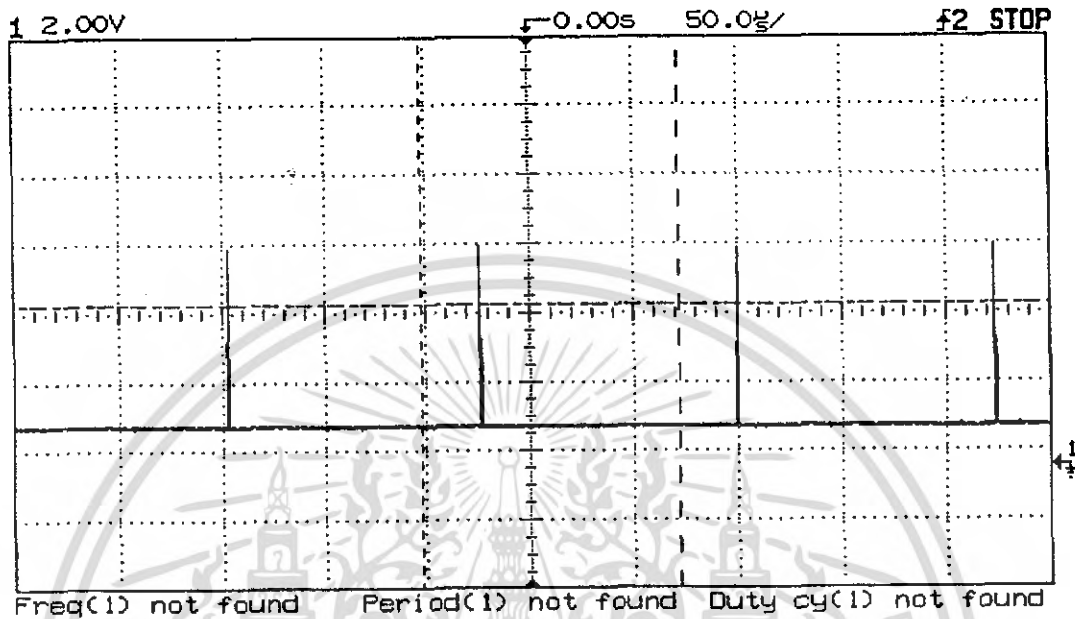


รูปที่ 4.7 สัญญาณกำหนดให้ไอซีมัลติเพล็กซ์ตัวที่ 2 ทำงานจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 จุดทดสอบสัญญาณที่ 8 (TP8)

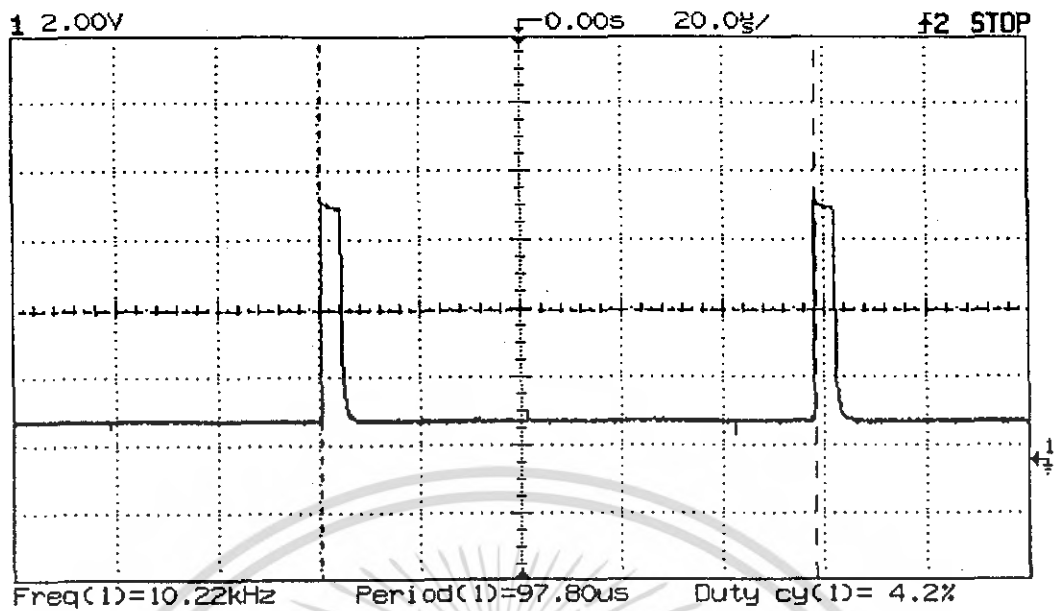
จากรูปที่ 4.8 เป็นสัญญาณที่ได้จากขา 4 ของไอซี 4017 ที่ส่งไปเป็นสัญญาณเพื่อทริกให้กับวงจรสร้างสัญญาณรีเซ็ตทำงาน หลังจากที่ยังวงจรการมัลติเพล็กซ์ได้ทำงานครบทั้งสองตัวแล้ว



รูปที่ 4.8 สัญญาณทริกที่ได้จากจุดทดสอบสัญญาณ

4.7 จุดทดสอบสัญญาณที่ 9 (TP9)

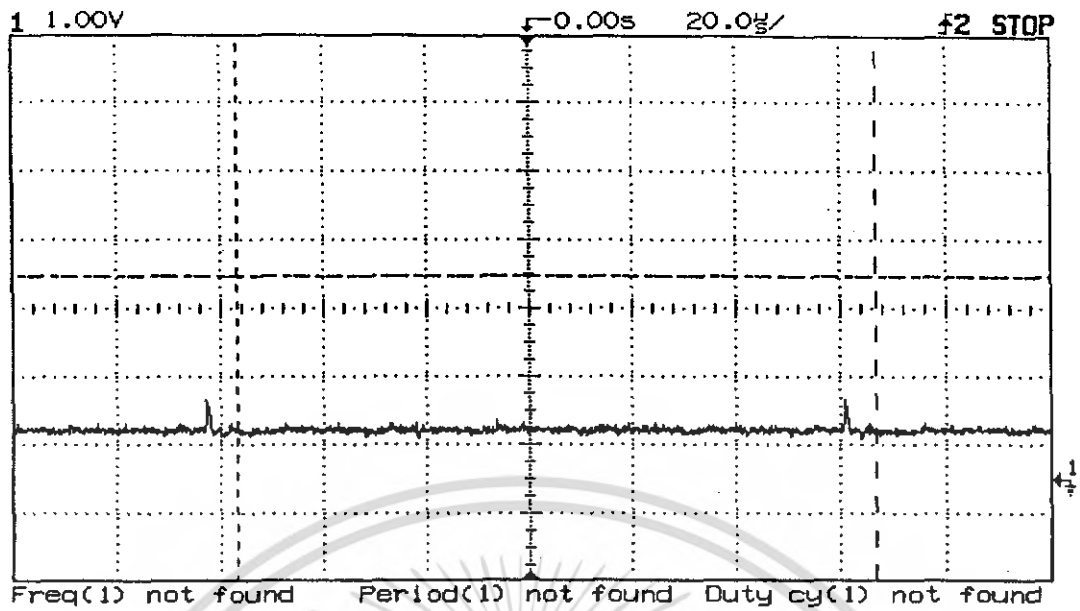
จากรูปที่ 4.9 เป็นสัญญาณที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณรีเซ็ตเพื่อนำไปทำการรีเซ็ตวงจรควบคุมการมัลติเพล็กซ์เมื่อวงจรมัลติเพล็กซ์ทำการมัลติเพล็กซ์ครบทุกช่อง ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกส่งไปทางภาครับพร้อมกับสัญญาณนาฬิกาด้วย เพื่อกำหนดจังหวะการมัลติเพล็กซ์ให้ทำงานพร้อมกันทั้งภาคส่งและภาครับ เพราะถ้าหากการทำงานไม่พร้อมกัน พัลส์จะเกิดการซ้อนทับกันหรือเกิดเลื่อนสลับกันจะทำให้การติดต่อสื่อสารมีการผิดพลาด



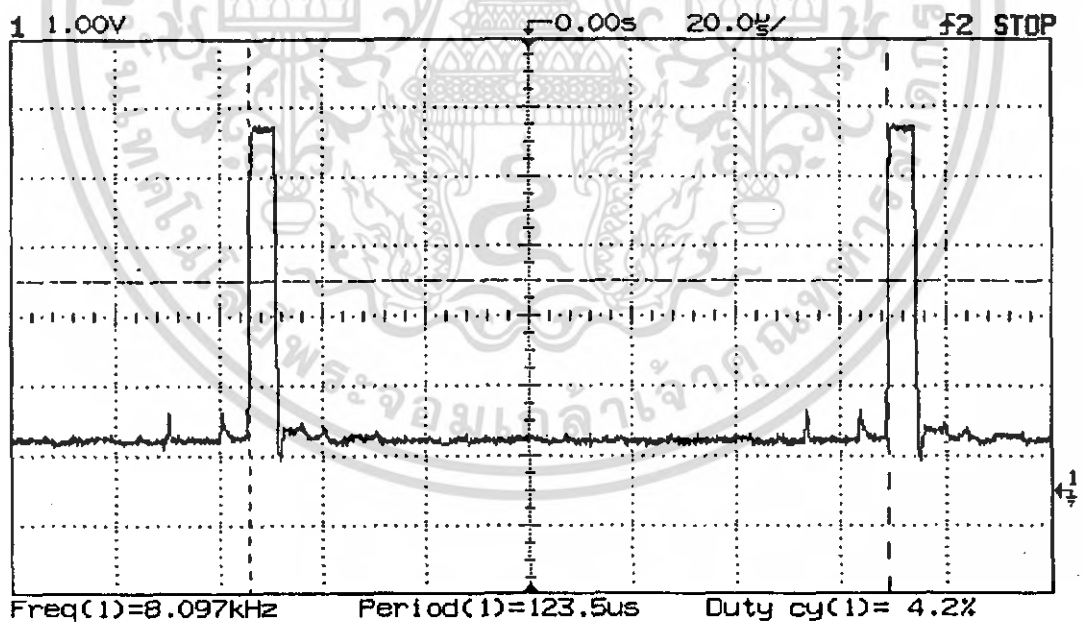
รูปที่ 4.9 สัญญาณรีเซ็ตจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 9

4.8 จุดทดสอบสัญญาณที่ 10

จากรูปที่ 4.10 เป็นสัญญาณที่วัดได้จากสายสัญญาณข้อมูลในขณะที่ไม่มีการยกหูโทรศัพท์ที่จะเห็นได้ว่ามีสัญญาณรบกวนเข้ามาซึ่งอาจเกิดจากการรบกวนของอุปกรณ์ในวงจร แต่ก็เพียงเล็กน้อย ส่วนในรูปที่ 4.11 เป็นสัญญาณที่วัดได้ขณะที่เรายกหูโทรศัพท์ขึ้น 1 เครื่อง พัลส์ที่มีลติเพิล็กซ์ได้จะเกิดขึ้น 1 ช่องจากสัญญาณที่ได้จากวงจรตรวจสอบการยกหู จะเห็นว่าพัลส์ที่ได้มีเกิดในช่วงเวลาที่แน่นอน แต่มีการรบกวนเกิดขึ้นที่ช่องข้างๆ ซึ่งอาจเกิดจากวงจรมีลติเพิล็กซ์ที่ยังออกแบบไม่ดีพอแต่น้อยมาก ส่วนในรูปที่ 4.12 เป็นสัญญาณที่วัดได้เมื่อเรายกหูโทรศัพท์ขึ้น 2 เครื่องมีพัลส์เกิดขึ้น 2 ช่องและยังเกิดขึ้นในช่วงเวลาที่แน่นอน ส่วนสัญญาณรบกวนก็ยังมียู่ ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุให้มีการรบกวนกันระหว่างช่องในขณะที่มีการพูดคุยติดต่อกัน ในรูปที่ 4.13 เป็นสัญญาณที่วัดได้ในขณะยกโทรศัพท์ 3 เครื่อง พัลส์ที่มีลติเพิล็กซ์ได้จะเกิดขึ้น 3 พัลส์ในช่วงเวลาที่แน่นอนอยู่ แต่สัญญาณรบกวนจะเกิดมากขึ้นเป็นสาเหตุทำให้สัญญาณเสียงที่ได้เบาลงและเกิดเสียงก้องขึ้นขณะที่พูดคุย รูปที่ 4.14 เป็นสัญญาณที่วัดได้ขณะยกโทรศัพท์ขึ้น 4 เครื่องพร้อมกันพัลส์ที่ได้ในสายข้อมูลจะเกิดขึ้น 4 พัลส์ตามช่วงเวลาของตัวเอง

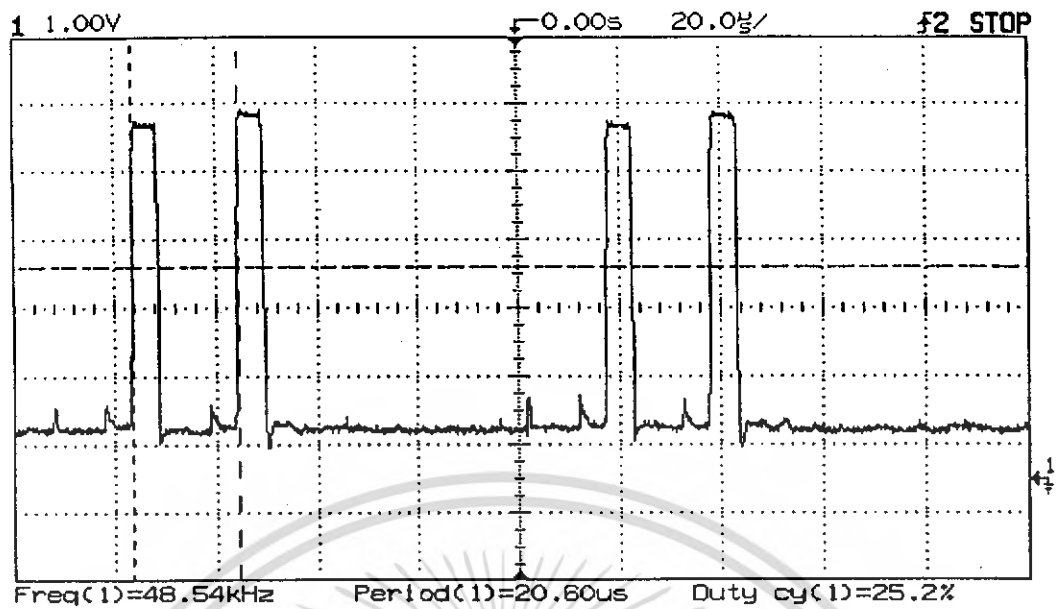


รูปที่ 4.10 สัญญาณที่วัดได้ขณะไม่มีการขงหูโทรศัพท์จากจุดทดสอบสัญญาณที่ 10

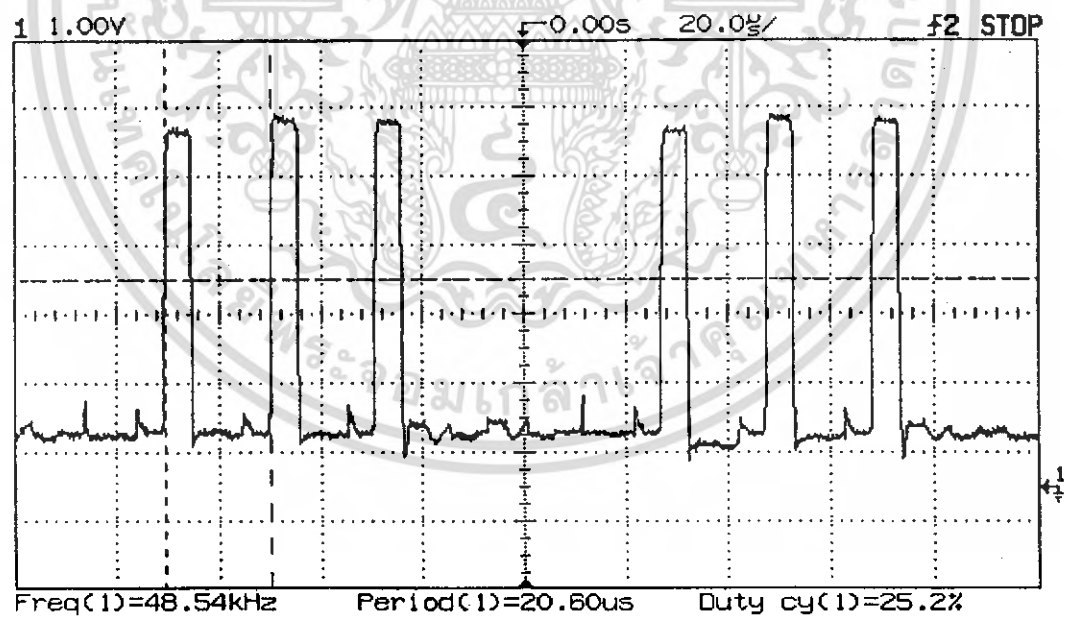


รูปที่ 4.11 สัญญาณที่วัดได้ขณะขงหูโทรศัพท์ขึ้น 1 เครื่องจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

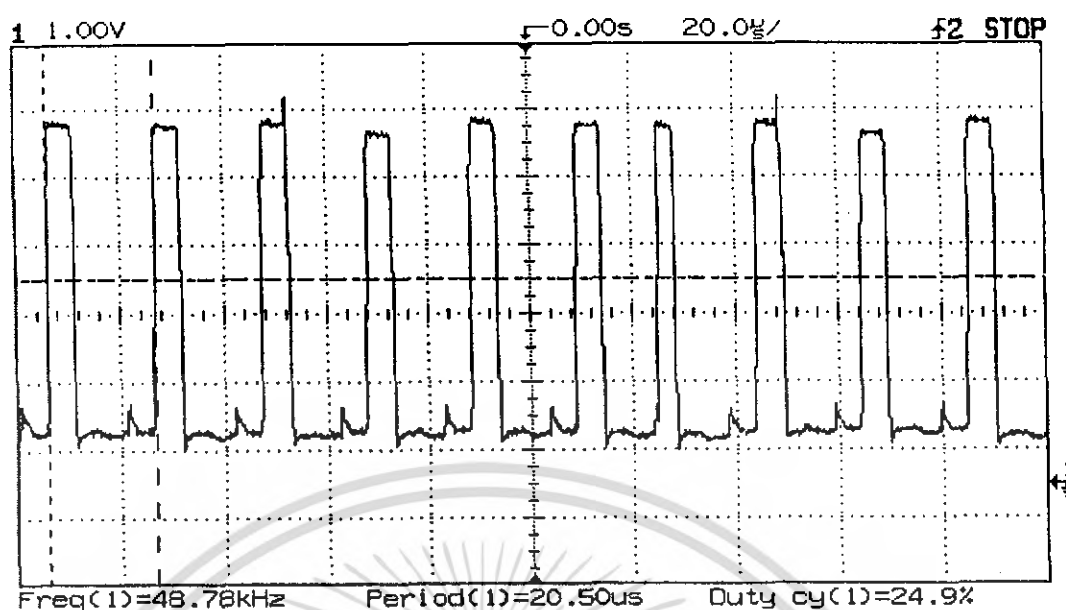


รูปที่ 4.12 สัญญาณที่วัดได้ขณะยกหูโทรศัพท์ขึ้น 2 เครื่องจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 10



รูปที่ 4.13 สัญญาณที่วัดได้ขณะยกหูโทรศัพท์ขึ้น 3 เครื่องจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 สัญญาณที่วัดได้ขณะยกหูโทรศัพท์ขึ้น 4 เครื่องจากจุดทดสอบสัญญาณที่ 10

4.9 การทดลองการใช้งาน

จากชุดสาริต เมื่อทำการทดลองใช้งานเพียง 1 เครื่อง อัตราการสุ่มที่ 200 กิโลเฮิร์ตซ์จะให้สัญญาณเสียงที่มีความคมชัดเจามาก แต่เมื่อทดลอง 2 เครื่องสัญญาณเสียงจะเริ่มเบาลง และเมื่อทำการทดลองติดต่อกัน 2 เครื่องในขณะที่ 2 เครื่องก็คู่กันอยู่สัญญาณเสียงจะเบาลงอีกแต่ก็ยังได้ยินแต่จะเกิดปัญหาการรบกวนระหว่างช่องขึ้น

บรรณานุกรม

บริษัท ซีอีดูเคชั่น จำกัด. “คู่มือการใช้ CMOS 4000 SERIES”. พิมพ์ที่ หจก เอช-เอน การพิมพ์

บริษัทยูเคชั่น จำกัด. กทม. 2528.

วิสันต์ อาชาเดโชพล. “ระบบโทรศัพท์ดิจิทัล”. พิมพ์ที่ หจก สำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์. กทม.

2537.

รวิรัช เลื่อนฉวี. “เทคโนโลยีโทรศัพท์”. พิมพ์ครั้งที่ 3. พิมพ์ที่ โรงพิมพ์ สุภาลัย. กทม. 2527.

ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคล. “หลักการระบบสื่อสาร”. พิมพ์ที่ หจก เอช-เอน การพิมพ์. บริษัท

ซีอีดูเคชั่น จำกัด. กทม. 2533.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

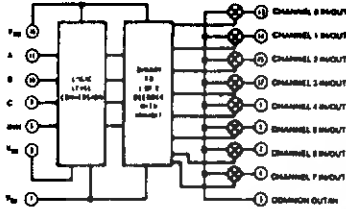
ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

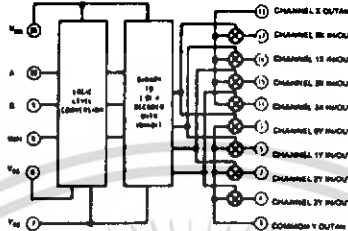
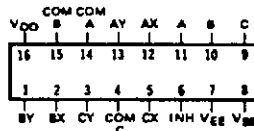
SCL4051B

SINGLE 8 CHANNEL MULTIPLEXER/DEMULTIPLEXER



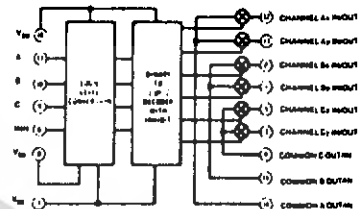
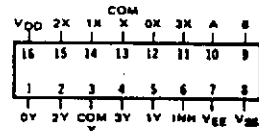
SCL4052B

DIFFERENTIAL 4 CHANNEL MULTIPLEXER/DEMULTIPLEXER



SCL4053B

TRIPLE 4 CHANNEL MULTIPLEXER/DEMULTIPLEXER



STATIC CHARACTERISTICS: (V_{SS} = 0 V)

PARAMETER	CONDITIONS	V _{SS} (Vdc)	V _{DD} (Vdc)	V _{EE} (Vdc)	T _{LOW} * (°C)		+25°C			T _{HIGH} ** (°C)		UNIT
					MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
QUIESCENT DEVICE CURRENT I _{DD}	V _{IN} = V _{SS} OR V _{DD}	0	5	0		5	0.05	5		150	μA _{dc}	
		0	10	0		10	0.1	10		300		
		0	5	-5								
		0	15	0		29	0.2	20		600		
INPUT HIGH VOLTAGE MINIMUM V _{IH} (CONTROL/INHIBIT INPUT)	V _{IS} = V _{EE} V _{OS} = V _{DD} I _{OS} = 10μA	0	5	0		3.5	2.75	3.5		3.5	Vdc	
		0	10	0		7	5.5	7		7		
		0	15	0		11	8.25	11		11		
INPUT LOW VOLTAGE MAXIMUM V _{IL} (CONTROL/INHIBIT INPUT)	V _{IS} = V _{EE} V _{OS} = V _{DD} I _{OS} = 10μA	0	5	0	1.5		1.5	2.25		1.5	Vdc	
		0	10	0	3		3	4.5		3		
		0	15	0	4		4	6.75		4		
SWITCH INPUT/OUTPUT LEAKAGE I _{off} ANY CHANNEL OFF ALL CHANNELS OFF V _{IS} = ±7.5Vdc I _{inh} = 7.5 Vdc	V _{IN} = V _{SS} OR V _{DD} V _{IS} = ±7.5Vdc	0	7.5	-7.5		±100	±0.01	±100		±1000	nA _{dc}	
						±400	±0.08	±400	±1000			
		0	7.5	-7.5		±200	±0.04	±200	±1000			
						±100	±0.02	±100	±1000			
ON RESISTANCE R _{ON}	V _{IS} = V _{SS} OR V _{DD} V _{EE} ≤ V _{IS} ≤ V _{DD} R _L = 10kΩ	-7.5	7.5	-7.5		220	125	280		400	Ω	
		0	15	0						580		
		-5	5	-5		310	180	400				
		0	10	0								3600
		-2.5	2.5	-2.5		2000	470	2500				
ON RESISTANCE MATCH DELTA R _{ON} (SAME PACKAGE)	V _{IS} = V _{SS} OR V _{DD} V _{EE} ≤ V _{IS} ≤ V _{DD} R _L = 10kΩ	-7.5	7.5	-7.5			5				Ω	
		0	15	0			10					
		-5	10	-5								
		0	10	0								
		-2.5	2.5	-2.5				50				

Note: *T_{LOW} = -55°C for C / H devices, -40°C for E / S devices, **T_{HIGH} = +125°C for C and H devices, +85°C for E / S devices.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4051B

SINGLE 8 CHANNEL MULTIPLEXER/DEMULTIPLEXER

SCL4052B

DIFFERENTIAL 4 CHANNEL MULTIPLEXER/DEMULTIPLEXER

SCL4053B

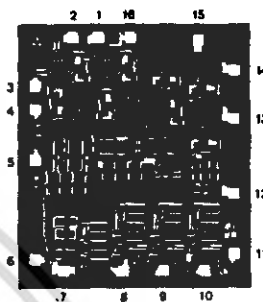
TRIPLE 4 CHANNEL MULTIPLEXER/DEMULTIPLEXER

DYNAMIC CHARACTERISTICS: ($C_L = 50\text{pF}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)

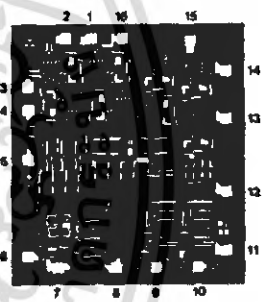
PARAMETER	CONDITIONS	V_{SS} (Vdc)	V_{DD} (Vdc)	V_{EE} (Vdc)	MINIMUM	TYPICAL	MAXIMUM	UNIT
PROPAGATION DELAY TIME (SIGNAL IN TO OUT)	$V_C = V_{DD}$ $R_L = 10\text{k}\Omega$	0	5	0		30	60	ns
	$V_{IS} = \text{SQ. WAVE}$	0	10	0		15	30	
	$V_{IN} = V_{SS}$ or V_{DD}	0	15	0		12.5	25	
BANDWIDTH (-3dB) (SINEWAVE) BW	$R_L = 1\text{k}\Omega$					54		MHz
	$R_L = 10\text{k}\Omega$	0	5	-5		40		
	$R_L = 100\text{k}\Omega$					38		
	$R_L = 1\text{M}\Omega$					37		
INSERTION LOSS $= 20 \log_{10} \frac{V_{OS} + V_{IS}}{V_{IN}}$	$R_L = 1\text{k}\Omega$					2.3		dB
	$R_L = 10\text{k}\Omega$	0	5	-5		0.2		
	$R_L = 100\text{k}\Omega$					0.1		
	$R_L = 1\text{M}\Omega$					0.05		
SIGNAL DISTORTION (SINEWAVE)	$V_{IN} = V_{SS}$ or V_{DD} $f_{IS} = 1.0\text{kHz}$	-7.5	7.5	-7.5		0.1		%
	$R_L = 10\text{k}\Omega$	-5	5	-5		0.2		
	CENTERED @ 0.0Vdc	-2.5	2.5	-2.5		1		
FEEDTHROUGH (-50dB)	$R_L = 1\text{k}\Omega$					1250		kHz
	$R_L = 10\text{k}\Omega$	0	5	-5		140		
	$R_L = 100\text{k}\Omega$					18		
	$R_L = 1\text{M}\Omega$					2		
CROSSTALK (-50dB) (BETWEEN 2 SWITCHES)	$V_{IN} = V_{SS}$ or V_{DD} $R_L = 1\text{k}\Omega$	0	5	-5		1		MHz
CAPACITANCE	INPUT							pF
	COMMON							
	COMMON							
	COMMON							
	FEEDTHROUGH							
CONTROL INPUT PROPAGATION DELAY TIME (TURN ON)	$V_{IN} = V_{SS}$ $V_{EE} \leq V_{IS} \leq V_{DD}$ $R_L = 10\text{k}\Omega$	0	7.5	-7.5		160	320	ns
		0	15	0		120	240	
		0	5	-5		225	450	
		0	10	0		160	320	
		-2.5	2.5	-2.5		400	800	
		0	5	0		360	720	
INHIBIT INPUT PROPAGATION DELAY TIME (TURN ON)	$V_{IN} = V_{SS}$ or V_{DD} $V_{IS} = V_{DD}$ $R_L = 10\text{k}\Omega$	0	7.5	-7.5		160	320	ns
		0	15	0		120	240	
		0	5	-5		200	400	
		0	10	0		160	320	
		-2.5	2.5	-2.5		400	800	
		0	5	0		360	720	
INHIBIT RECOVERY TIME	$V_{IN} = V_{SS}$ or V_{DD} $V_{EE} \leq V_{IS} \leq V_{DD}$ $R_L = 10\text{k}\Omega$	0	7.5	-7.5		150	300	ns
		0	15	0		80	160	
		0	5	5		200	400	
		0	10	0		105	210	
		-2.5	2.5	-2.5		300	600	
		0	5	0		225	450	

DIE DRAWINGS

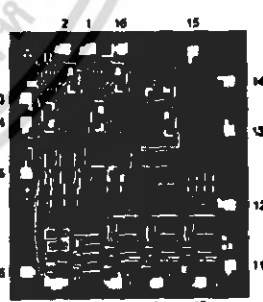
SCL4051B
81 x 89 mils



SCL4052B
81 x 89 mils



SCL4053B
81 x 89 mils



Note: Refer to "SCL4000B SERIES FAMILY SPECIFICATIONS" for remaining Dynamic & Static Characteristics, and, for recommended and maximum operating conditions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CMOS AND GATES

4081B - Quad 2-Input AND
 4082B - Dual 4-Input AND
 4073B - Triple 3-Input AND

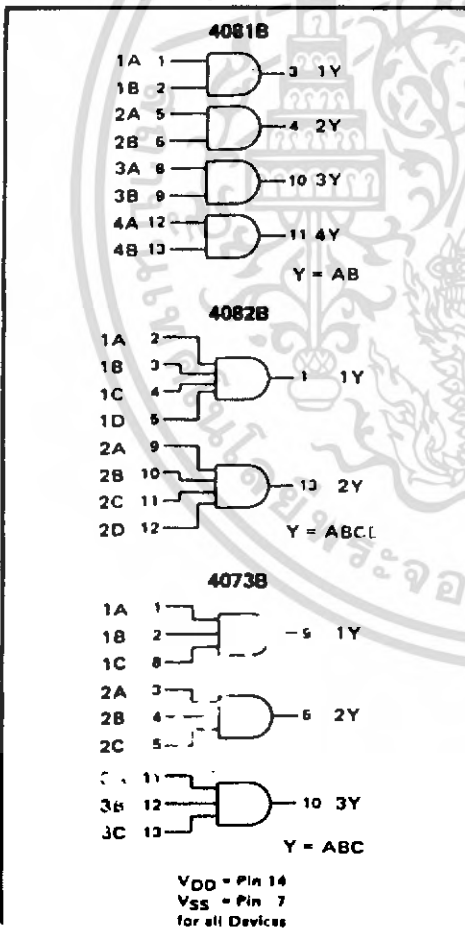
FEATURES

- ◆ Buffered Outputs
- ◆ Diode Protection on all Inputs
- ◆ Fully "B"-Series Compatible

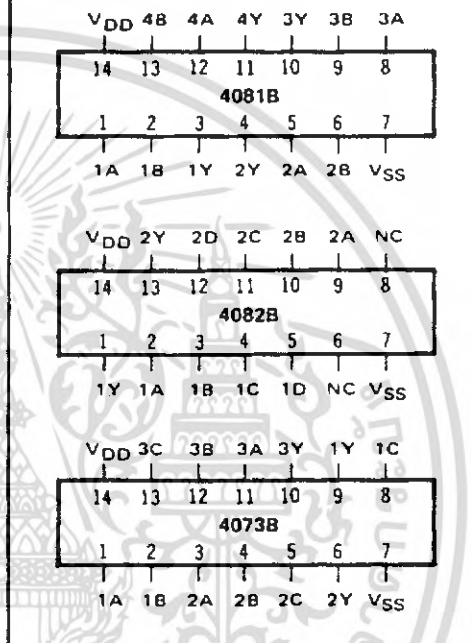
TRUTH TABLE

Inputs	Output
1 1 ... 1	1
All other combinations	0

FUNCTION DIAGRAMS



CONNECTION DIAGRAMS
 (all packages)



RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

DC Supply Voltage	VDD - VSS	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T _A		
C, D, F, H Device		-55 to +125	°C
E Device		-40 to +85	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

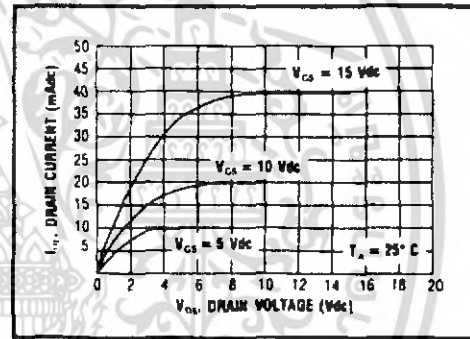
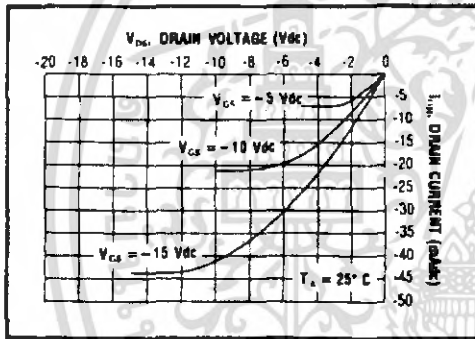
STATIC CHARACTERISTICS^{1, 2}

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 _{CC} or V _{DD} All valid input combinations	-	0.05	-	0.0005	0.05	-	1.5	μA _{dc}
			-	0.10	-	0.001	0.10	-	3.0	
			-	0.20	-	0.002	0.20	-	6.0	

NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "4000B 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)

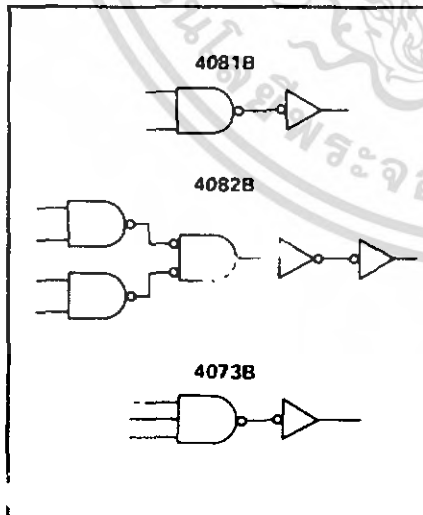
PARAMETER		V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PLH} , t _{PHL}	5	-	120	240	ns
		10	-	60	120	
		15	-	45	90	
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{TLH} , t _{THL}	5	-	100	200	ns
		10	-	50	100	
		15	-	40	80	



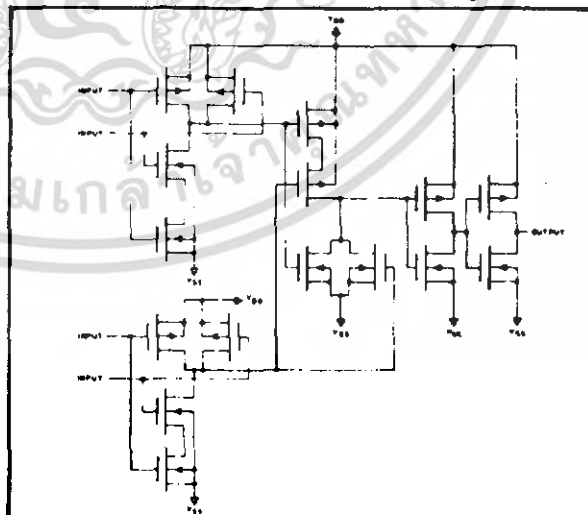
Typical P-Channel Source Current Characteristics

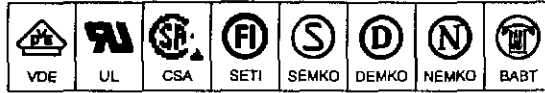
Typical N-Channel Sink Current Characteristics

LOGIC DIAGRAMS



SCHEMATIC DIAGRAM - 4082B (1 of 2 gates)





6-Pin DIP Optoisolators Transistor Output

The 4N25/A, 4N26, 4N27 and 4N28 devices consist of a gallium arsenide infrared emitting diode optically coupled to a monolithic silicon phototransistor detector.

- Most Economical Optoisolator Choice for Medium Speed, Switching Applications
- Meets or Exceeds All JEDEC Registered Specifications
- *To order devices that are tested and marked per VDE 0884 requirements, the suffix "V" must be included at end of part number. VDE 0884 is a test option.*

Applications

- General Purpose Switching Circuits
- Interfacing and coupling systems of different potentials and impedances
- I/O Interfacing
- Solid State Relays

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

Rating	Symbol	Value	Unit
--------	--------	-------	------

INPUT LED

Reverse Voltage	V_R	3	Volts
Forward Current — Continuous	I_F	60	mA
LED Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Output Detector Derate above 25°C	P_D	120	mW
		1.41	mW/ $^\circ\text{C}$

OUTPUT TRANSISTOR

Collector-Emitter Voltage	V_{CE0}	30	Volts
Emitter-Collector Voltage	V_{ECO}	7	Volts
Collector-Base Voltage	V_{CBO}	70	Volts
Collector Current — Continuous	I_C	150	mA
Detector Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ with Negligible Power in Input LED Derate above 25°C	P_D	150	mW
		1.76	mW/ $^\circ\text{C}$

TOTAL DEVICE

Isolation Surge Voltage ⁽¹⁾ (Peak ac Voltage, 60 Hz, 1 sec Duration)	V_{ISO}	7500	Vac(pk)
Total Device Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	250	mW
		2.94	mW/ $^\circ\text{C}$
Ambient Operating Temperature Range ⁽²⁾	T_A	-55 to +100	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range ⁽²⁾	T_{stg}	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
Soldering Temperature (10 sec, 1/16" from case)	T_L	260	$^\circ\text{C}$

1. Isolation surge voltage is an internal device dielectric breakdown rating. For this test, Pins 1 and 2 are common, and Pins 4, 5 and 6 are common.
2. Refer to Quality and Reliability Section in Opto Data Book for information on test conditions.

Preferred devices are Motorola recommended choices for future use and best overall value.
GlobalOptoisolator is a trademark of Motorola, Inc.

REV 5

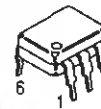
© Motorola, Inc. 1995



4N25*
4N25A*
4N26*
[CTR = 20% Min]
4N27
4N28
[CTR = 10% Min]

*Motorola Preferred Devices

STYLE 1 PLASTIC



STANDARD THRU HOLE
CASE 730A-04

SCHEMATIC



- PIN 1. LED ANODE
2. LED CATHODE
3. N.C.
4. EMITTER
5. COLLECTOR
6. BASE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)⁽¹⁾

Characteristic	Symbol	Min	Typ ⁽¹⁾	Max	Unit
INPUT LED					
Forward Voltage ($I_F = 10\text{ mA}$)	V_F	—	1.15	1.5	Volts
			1.3	—	
			1.05	—	
Reverse Leakage Current ($V_R = 3\text{ V}$)	I_R	—	—	100	μA
Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$)	C_J	—	18	—	pF
OUTPUT TRANSISTOR					
Collector–Emitter Dark Current ($V_{CE} = 10\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	I_{CEO}	—	1	50	nA
			1	100	
($V_{CE} = 10\text{ V}$, $T_A = 100^\circ\text{C}$)	I_{CEO}	—	1	—	μA
Collector–Base Dark Current ($V_{CB} = 10\text{ V}$)	I_{CBO}	—	0.2	—	nA
Collector–Emitter Breakdown Voltage ($I_C = 1\text{ mA}$)	$V_{(BR)CEO}$	30	45	—	Volts
Collector–Base Breakdown Voltage ($I_C = 100\text{ }\mu\text{A}$)	$V_{(BR)CBO}$	70	100	—	Volts
Emitter–Collector Breakdown Voltage ($I_E = 100\text{ }\mu\text{A}$)	$V_{(BR)ECO}$	7	7.8	—	Volts
DC Current Gain ($I_C = 2\text{ mA}$, $V_{CE} = 5\text{ V}$)	h_{FE}	—	500	—	—
Collector–Emitter Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{CE} = 0$)	C_{CE}	—	7	—	pF
Collector–Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{CB} = 0$)	C_{CB}	—	19	—	pF
Emitter–Base Capacitance ($f = 1\text{ MHz}$, $V_{EB} = 0$)	C_{EB}	—	9	—	pF
COUPLED					
Output Collector Current ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CE} = 10\text{ V}$)	I_C (CTR) ⁽²⁾				$\text{mA} (\%)$
		2 (20)	7 (70)	—	
		1 (10)	5 (50)	—	
Collector–Emitter Saturation Voltage ($I_C = 2\text{ mA}$, $I_F = 50\text{ mA}$)	$V_{CE(sat)}$	—	0.15	0.5	Volts
Turn–On Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾	t_{on}	—	2.8	—	μs
Turn–Off Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾	t_{off}	—	4.5	—	μs
Rise Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾	t_r	—	1.2	—	μs
Fall Time ($I_F = 10\text{ mA}$, $V_{CC} = 10\text{ V}$, $R_L = 100\text{ }\Omega$) ⁽³⁾	t_f	—	1.3	—	μs
Isolation Voltage ($f = 60\text{ Hz}$, $t = 1\text{ sec}$) ⁽⁴⁾	V_{ISO}	7500	—	—	$V_{ac(pk)}$
Isolation Resistance ($V = 500\text{ V}$) ⁽⁴⁾	R_{ISO}	10^{11}	—	—	Ω
Isolation Capacitance ($V = 0\text{ V}$, $f = 1\text{ MHz}$) ⁽⁴⁾	C_{ISO}	—	0.2	—	pF

1. Always design to the specified minimum/maximum electrical limits (where applicable).

2. Current Transfer Ratio (CTR) = $I_C/I_F \times 100\%$.

3. For test circuit setup and waveforms, refer to Figure 11.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TYPICAL CHARACTERISTICS

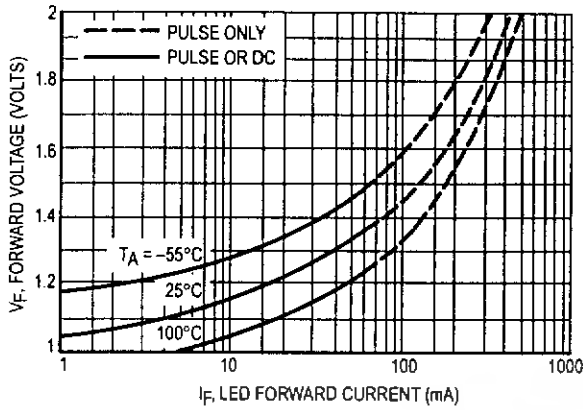


Figure 1. LED Forward Voltage versus Forward Current

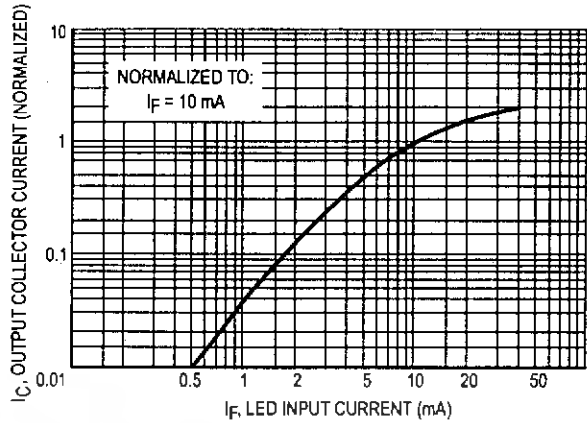


Figure 2. Output Current versus Input Current

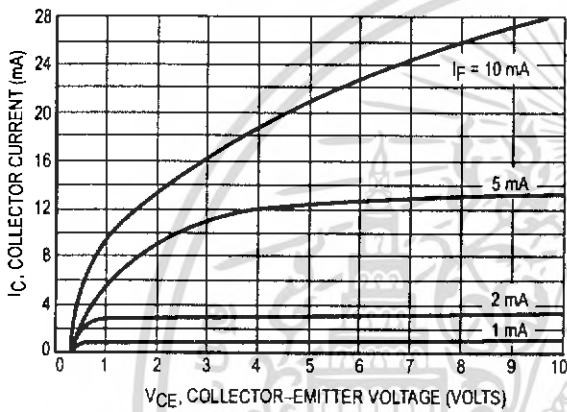


Figure 3. Collector Current versus Collector-Emitter Voltage

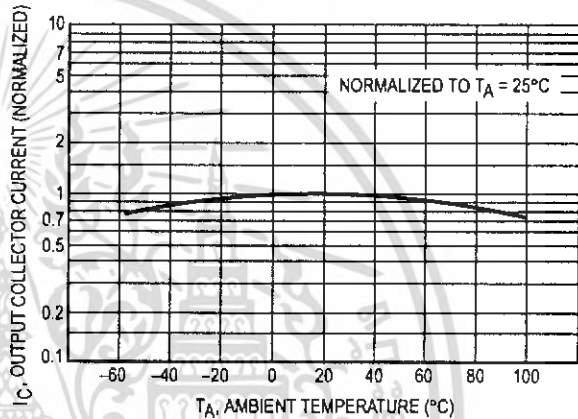


Figure 4. Output Current versus Ambient Temperature

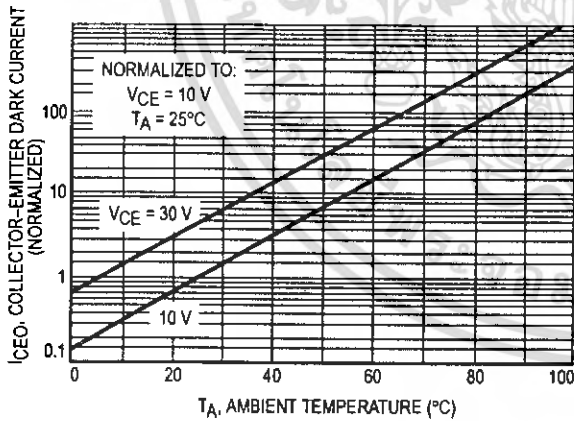


Figure 5. Dark Current versus Ambient Temperature

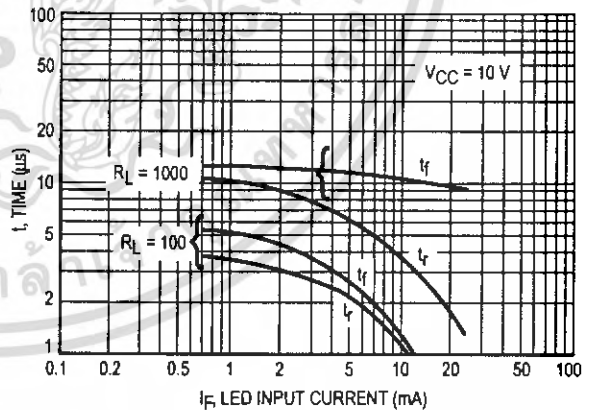


Figure 6. Rise and Fall Times (Typical Values)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

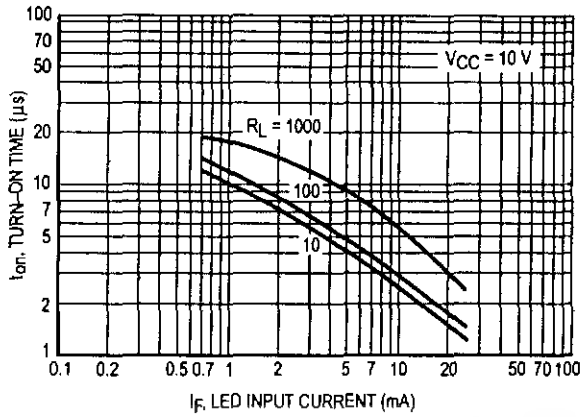


Figure 7. Turn-On Switching Times (Typical Values)

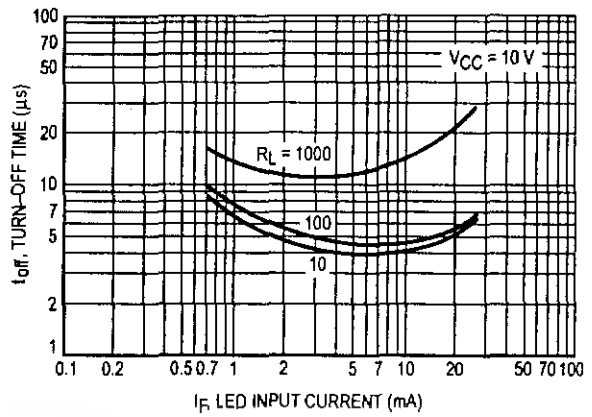


Figure 8. Turn-Off Switching Times (Typical Values)

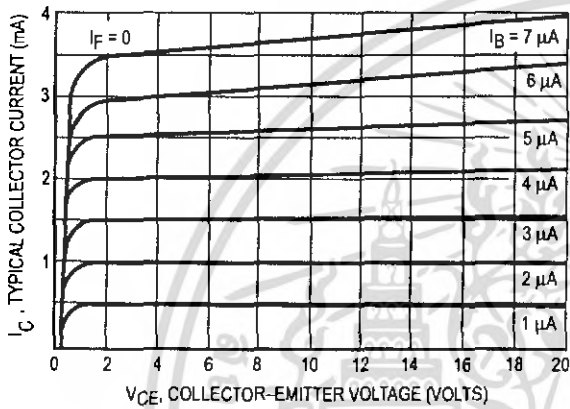


Figure 9. DC Current Gain (Detector Only)

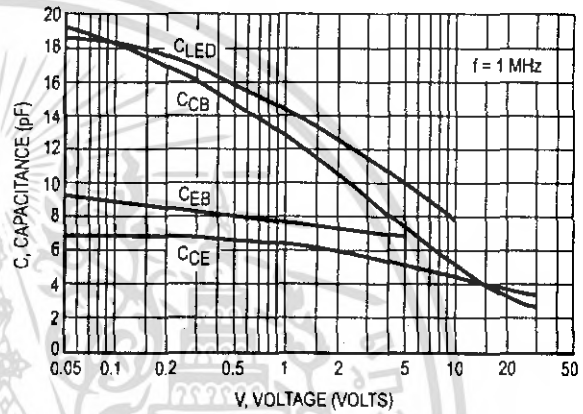


Figure 10. Capacitances versus Voltage

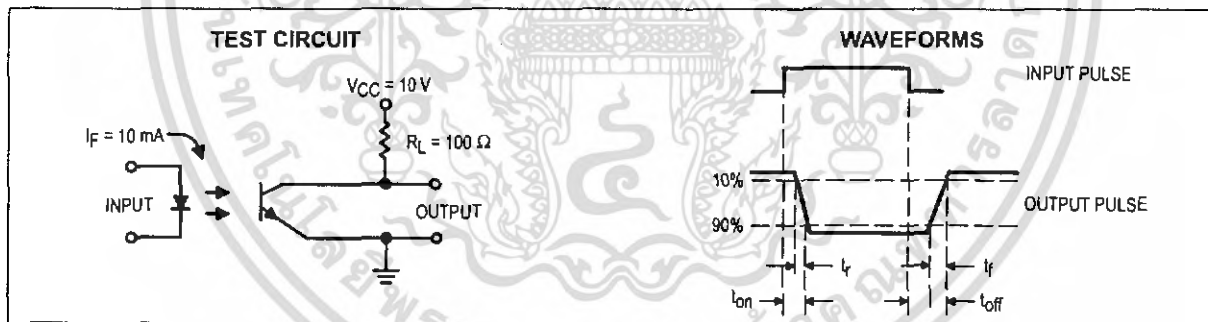
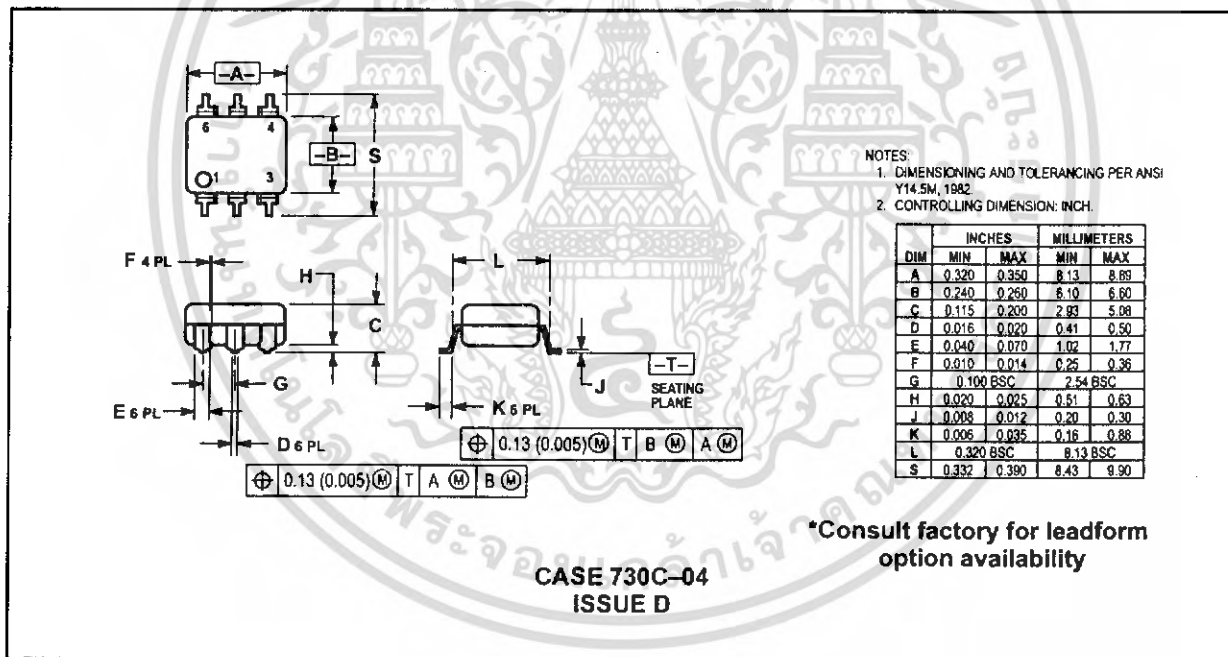
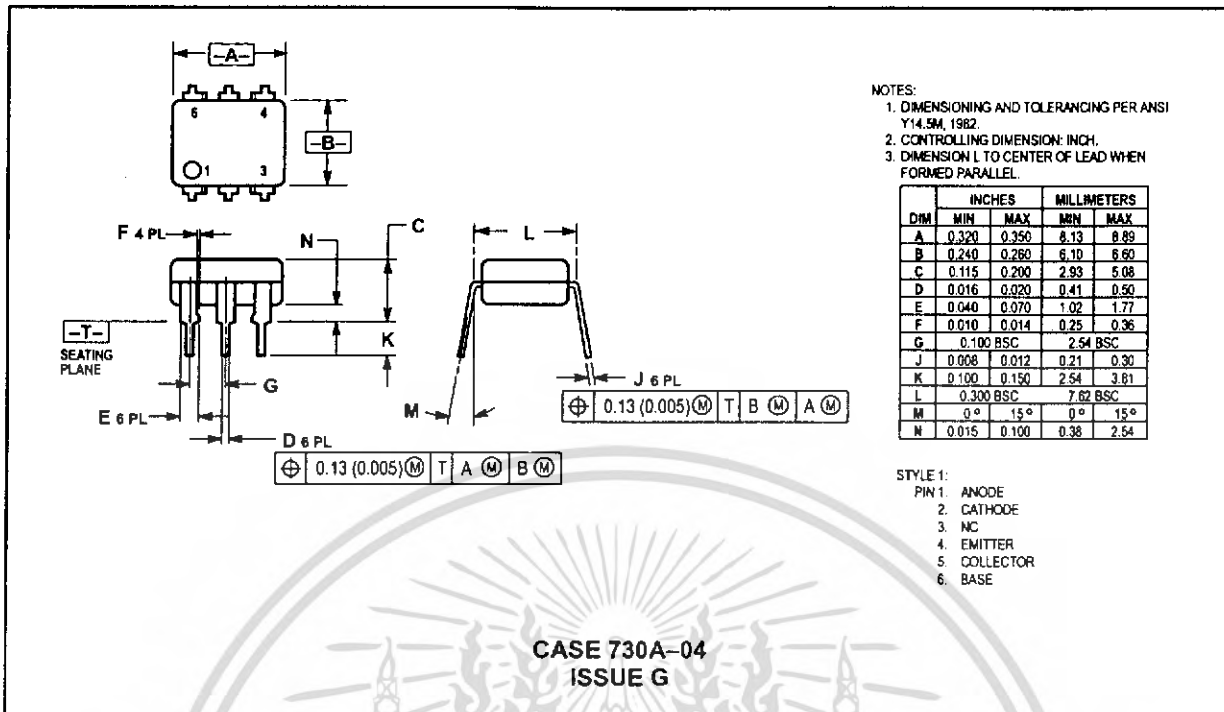


Figure 11. Switching Time Test Circuit and Waveforms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE DIMENSIONS



4N25 4N25A 4N26 4N27 4N28

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

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.320	0.350	8.13	8.89
B	0.240	0.260	6.10	6.60
C	0.115	0.200	2.93	5.08
D	0.016	0.020	0.41	0.50
E	0.040	0.070	1.02	1.77
F	0.010	0.014	0.25	0.36
G	0.100	BSC	2.54	BSC
J	0.008	0.012	0.21	0.30
K	0.100	0.150	2.54	3.81
L	0.400	0.425	10.16	10.80
N	0.015	0.040	0.38	1.02

***Consult factory for leadform option availability**

**CASE 730D-05
ISSUE D**



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

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

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

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

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



0

4N25/D



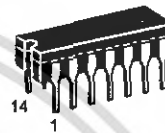
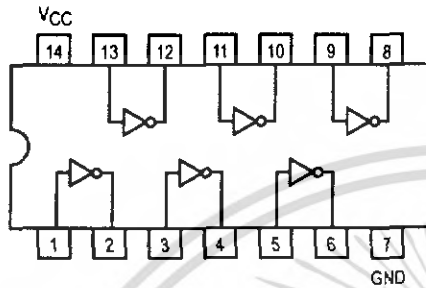
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



HEX INVERTER

SN54/74LS04

**HEX INVERTER
LOW POWER SCHOTTKY**



**J SUFFIX
CERAMIC
CASE 632-08**



**N SUFFIX
PLASTIC
CASE 646-06**



**D SUFFIX
SOIC
CASE 751A-02**

ORDERING INFORMATION

SN54LSXXJ Ceramic
SN74LSXXN Plastic
SN74LSXXD SOIC

GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V _{CC}	Supply Voltage	54	4.5	5.0	5.5	V
		74	4.75	5.0	5.25	
T _A	Operating Ambient Temperature Range	54	-55	25	125	°C
		74	0	25	70	
I _{OH}	Output Current — High	54, 74			-0.4	mA
I _{OL}	Output Current — Low	54			4.0	mA
		74			8.0	

FAST AND LS TTL DATA

5-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SN54/74LS04

DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V _{IH}	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V _{IL}	Input LOW Voltage	54		0.7	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
		74		0.8		
V _{IK}	Input Clamp Diode Voltage		-0.65	-1.5	V	V _{CC} = MIN, I _{IN} = -18 mA
V _{OH}	Output HIGH Voltage	54	2.5	3.5	V	V _{CC} = MIN, I _{OH} = MAX, V _{IN} = V _{IH} or V _{IL} per Truth Table
		74	2.7	3.5	V	
V _{OL}	Output LOW Voltage	54, 74		0.25	V	I _{OL} = 4.0 mA
		74		0.35	V	I _{OL} = 8.0 mA
I _{IH}	Input HIGH Current			20	μA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 2.7 V
				0.1	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 7.0 V
I _{IL}	Input LOW Current			-0.4	mA	V _{CC} = MAX, V _{IN} = 0.4 V
I _{OS}	Short Circuit Current (Note 1)	-20		-100	mA	V _{CC} = MAX
I _{CC}	Power Supply Current Total, Output HIGH Total, Output LOW			2.4	mA	V _{CC} = MAX
				6.6	mA	

Note 1: Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

AC CHARACTERISTICS (T_A = 25°C)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
t _{PLH}	Turn-Off Delay, Input to Output		9.0	15	ns	V _{CC} = 5.0 V C _L = 15 pF
t _{PHL}	Turn-On Delay, Input to Output		10	15	ns	

FAST AND LS TTL DATA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DM74LS90 Decade and Binary Counters

General Description

Each of these monolithic counters contains four master-slave flip-flops and additional gating to provide a divide-by-two counter and a three-stage binary counter for which the count cycle length is divide-by-five for the DM74LS90.

All of these counters have a gated zero reset and the DM74LS90 also has gated set-to-nine inputs for use in BCD nine's complement applications.

To use their maximum count length (decade or four bit binary), the B input is connected to the Q_A output. The input count pulses are applied to input A and the outputs are as described in the appropriate truth table. A symmetrical divide-by-ten count can be obtained from the DM74LS90 counters by connecting the Q_D output to the A input and applying the input count to the B input which gives a divide-by-ten square wave at output Q_A.

Features

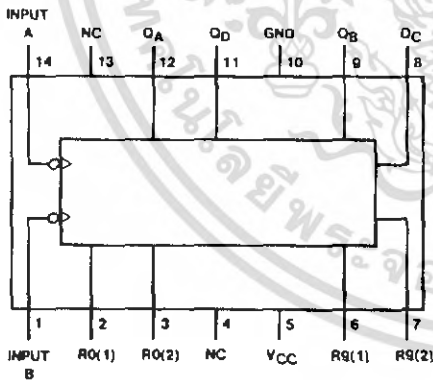
- Typical power dissipation 45 mW
- Count frequency 42 MHz

Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
DM74LS90M	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
DM74LS90N	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

Connection Diagram



Reset/Count Truth Table

Reset inputs				Output			
R0(1)	R0(2)	R9(1)	R9(2)	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
H	H	L	X	L	L	L	L
H	H	X	L	L	L	L	L
X	X	H	H	H	L	L	H
X	L	X	L	COUNT			
L	X	L	X	COUNT			
L	X	X	L	COUNT			
X	L	L	X	COUNT			

Function Tables

BCD Count Sequence (Note 1)

Count	Output			
	Q _D	Q _C	Q _B	Q _A
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H

Bi-Quinary (5-2) (Note 2)

Count	Q _A	Q _D	Q _C	Q _B
	0	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	H	L	L	L
6	H	L	L	H
7	H	L	H	L
8	H	L	H	H
9	H	H	L	L

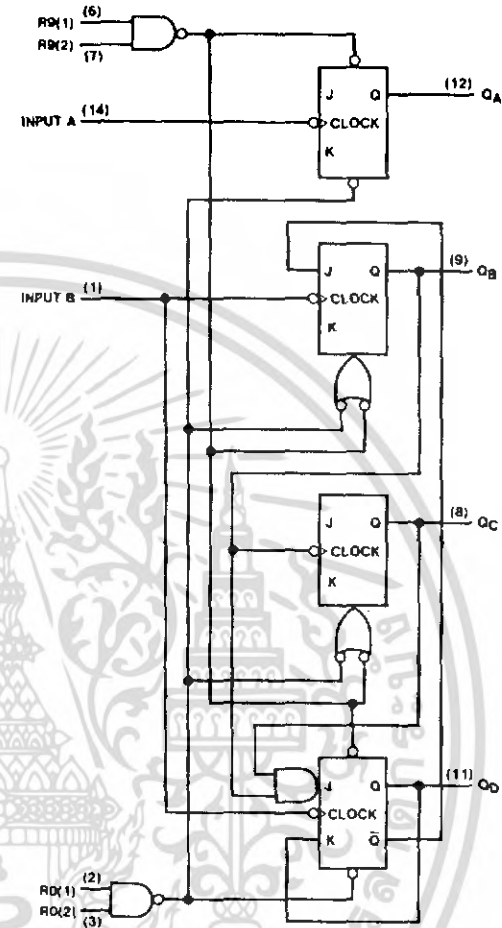
H = HIGH Level
L = LOW Level
X = Don't Care

Note 1: Output Q_A is connected to input B for BCD count.

Note 2: Output Q_D is connected to input A for bi-quinary count.

Note 3: Output Q_A is connected to input B.

Logic Diagram



The J and K inputs shown without connection are for reference only and are functionally at a high level.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 4)

Supply Voltage	7V
Input Voltage (Reset)	7V
Input Voltage (A or B)	5.5V
Operating Free Air Temperature Range	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Note 4: The "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. The device should not be operated at these limits. The parametric values defined in the "Electrical Characteristics" table are not guaranteed at the absolute maximum ratings. The "Recommended Operating Conditions" table will define the conditions for actual device operation.

Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Nom	Max	Units
V _{CC}	Supply Voltage	4.75	5	5.25	V
V _{IH}	HIGH Level Input Voltage	2			V
V _{IL}	LOW Level Input Voltage			0.8	V
I _{OH}	HIGH Level Output Current			-0.4	mA
I _{OL}	LOW Level Output Current			8	mA
f _{CLK}	Clock Frequency (Note 5)	A to Q _A	0	32	MHz
		B to Q _B	0	16	
f _{CLK}	Clock Frequency (Note 6)	A to Q _A	0	20	MHz
		B to Q _B	0	10	
t _w	Pulse Width (Note 5)	A	15		ns
		B	30		
		Reset	15		
t _w	Pulse Width (Note 6)	A	25		ns
		B	50		
		Reset	25		
t _{REL}	Reset Release Time (Note 5)	25			ns
t _{REL}	Reset Release Time (Note 6)	35			ns
T _A	Free Air Operating Temperature	0		70	°C

Note 5: C_L = 15 pF, R_L = 2 kΩ, T_A = 25°C and V_{CC} = 5V.

Note 6: C_L = 50 pF, R_L = 2 kΩ, T_A = 25°C and V_{CC} = 5V.

Electrical Characteristics

over recommended operating free air temperature range (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ (Note 7)	Max	Units
V _I	Input Clamp Voltage	V _{CC} = Min, I _I = -18 mA			-1.5	V
V _{OH}	HIGH Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OH} = Max V _{IL} = Max, V _{IH} = Min	2.7	3.4		V
V _{OL}	LOW Level Output Voltage	V _{CC} = Min, I _{OL} = Max V _{IL} = Max, V _{IH} = Min (Note 8)		0.35 0.25	0.5 0.4	V
I _I	Input Current @ Max Input Voltage	V _{CC} = Max, V _I = 7V V _{CC} = Max V _I = 5.5V			0.1 0.2 0.4	mA
I _{IH}	HIGH Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 2.7V			20 40 80	μA
I _{IL}	LOW Level Input Current	V _{CC} = Max, V _I = 0.4V			-0.4 -2.4 -3.2	mA
I _{OS}	Short Circuit Output Current	V _{CC} = Max (Note 9)	-20		-100	mA
I _{CC}	Supply Current	V _{CC} = Max (Note 7)		9	15	mA

Note 7: All typicals are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

Note 8: Q_A outputs are tested at $I_{OL} = \text{Max}$ plus the limit value of I_{IL} for the B input. This permits driving the B input while maintaining full fan-out capability.

Note 9: Not more than one output should be shorted at a time, and the duration should not exceed one second.

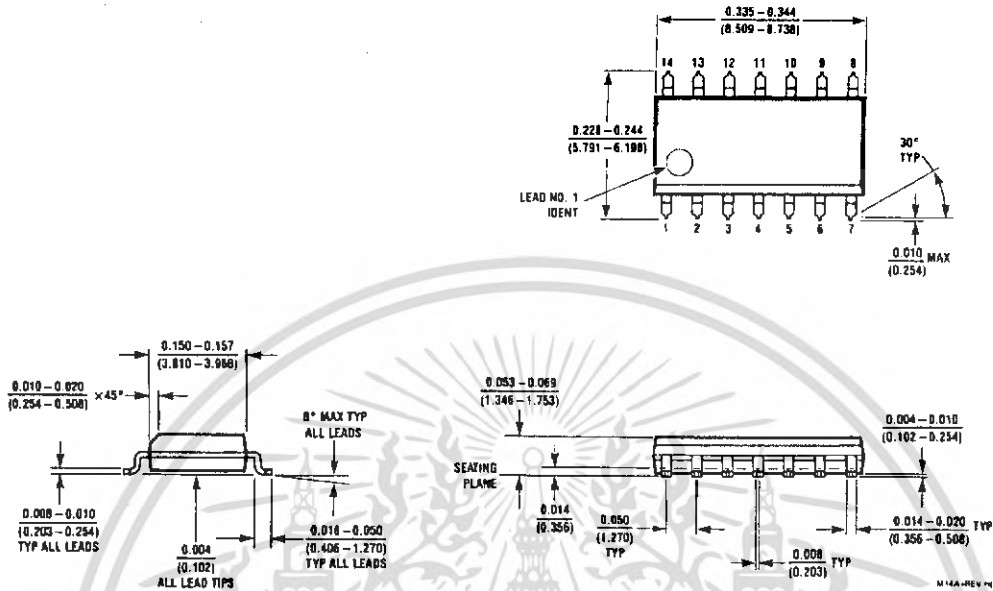
Note 10: I_{CC} is measured with all outputs open, both RO inputs grounded following momentary connection to 4.5V and all other inputs grounded.

Switching Characteristics at $V_{CC} = 5V$ and $T_A = 25^\circ C$

Symbol	Parameter	From (Input) To (Output)	$R_L = 2\text{ k}\Omega$				Units
			$C_L = 15\text{ pF}$		$C_L = 50\text{ pF}$		
			Min	Max	Min	Max	
f_{MAX}	Maximum Clock Frequency	A to Q_A B to Q_B	32 16		20 10		MHz
t_{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	A to Q_A		16		20	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	A to Q_A		18		24	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	A to Q_D		48		52	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	A to Q_D		50		60	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	B to Q_B		16		23	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	B to Q_B		21		30	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	B to Q_C		32		37	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	B to Q_C		35		44	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	B to Q_D		32		36	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	B to Q_D		35		44	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level Output	SET-9 to Q_A, Q_D		30		35	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	SET-9 to Q_B, Q_C		40		48	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level Output	SET-0 to Any Q		40		52	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150 Narrow
Package Number M14A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)

14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300 Wide Package Number N14A

Fairchild does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and Fairchild reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

www.fairchildsemi.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วารณิใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FEATURES

- 30 Volt Differential Input Range
- 75 nA Input Bias Current
- Wide Common Mode Voltage Range

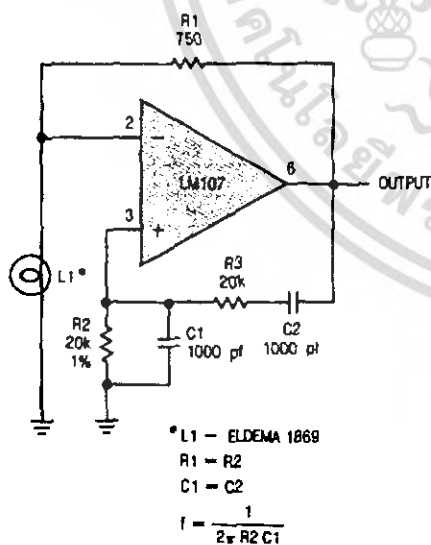
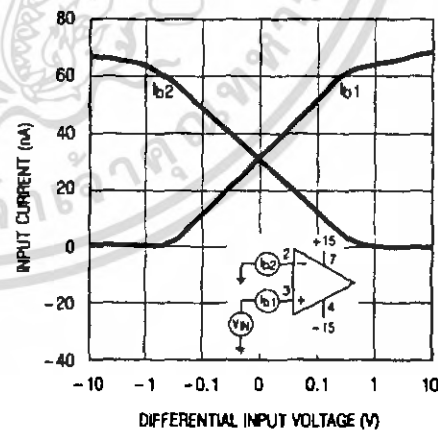
APPLICATIONS

- Signal Conditioning Amplifiers
- Voltage Followers
- Comparators

DESCRIPTION

The LM101A and LM107 are general purpose operational amplifiers, featuring low bias current and the ability to operate with high input differential voltages up to 30 Volts. Unlike many FET input amplifiers, the output of the LM101A/107 does not reverse if the common mode range is exceeded, making them particularly useful in comparator and oscillator circuits.

The LM101A uses external compensation, allowing the frequency response and slew rate to be optimized for the application. The LM107 is identical to the LM101A with the exception that the compensation capacitor is internal. Linear's LM101A and LM107 include improved design and processing techniques resulting in superior long term stability and reliability over previous devices. The curve of bias current versus differential input voltage indicates that a minimal change in input current occurs over a wide range of input signal, which is important in many applications.

2
Wein Bridge Sine Wave Oscillator

Bias Current vs Differential Input Voltage


LM101A/LM301A LM107/LM307

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage

LM101A/LM107 ±22 Volts
LM301A/LM307 ±18 Volts

Differential Input Voltage ±30 Volts

Input Voltage, Note 2 ±15 Volts

Output Short Circuit Duration, Note 3..... Indefinite

Operating Temperature Range

LM101A/LM107 -55°C to 125°C
LM301A/LM307 0°C to 70°C

Maximum Junction Temperature

LM101A/LM107 150°C
LM301A/LM307 100°C

Storage Temperature Range

All Devices -65°C to 150°C

Lead Temperature (Soldering, 10 sec.)..... 300°C

PACKAGE/ORDER INFORMATION

	ORDER PART NUMBER
<p>METAL CAN H PACKAGE * PINS 1, 5, 8 NO CONNECTION ON LM107/307</p>	LM101AH LM301AH LM107H LM307H
<p>J8 PACKAGE HERMETIC DIP * PINS 1, 5, 8 NO CONNECTION ON LM107/307</p>	LM101AJ8 LM301AJ8 LM107J8 LM307J8

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 1)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	LM101A/LM107			LM301A/LM307			UNITS
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{OS}	Input Offset Voltage	$R_S < 50K\Omega$, $T_A = 25^\circ C$ $R_S < 50K\Omega$	●	0.7	2.0	2.0	7.5	mV	
$\frac{\Delta V_{OS}}{\Delta Temp}$	Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage	$R_S < 50K\Omega$	●	3.0	15	6.0	30	$\mu V/^\circ C$	
I_{OS}	Input Offset Current	$T_A = 25^\circ C$	●	1.5	10	3.0	50	nA	
$\frac{\Delta I_{OS}}{\Delta Temp}$	Average Temperature Coefficient of Input Offset Current	$25^\circ C < T_A < T_{MAX}$ $T_{MIN} < T_A < 25^\circ C$	●	0.01	0.1	0.01	0.3	nA/°C	
I_B	Input Bias Current	$T_A = 25^\circ C$	●	30	75	70	250	nA	
A_{VOL}	Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ C$, $V_S = \pm 15V$, $V_{OUT} = \pm 10V$, $R_L > 2K\Omega$ $V_S = \pm 15V$, $V_{OUT} = \pm 10V$, $R_L > 2K\Omega$	●	50	160	25	160	V/mV	
CMRR	Common Mode Rejection Ratio	$R_S < 50K\Omega$	●	80	96	70	90	dB	
PSRR	Power Supply Rejection Ratio	$R_S < 50K\Omega$	●	80	96	70	96	dB	
	Input Voltage Range	$V_S = \pm 20V$	●	±15				V	
		$V_S = \pm 15V$	●	+15	-13	±12	+15	V	
			●				-13	V	
V_{OUT}	Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15V$, $R_L = 10K\Omega$ $R_L = 2K\Omega$	●	±12	±14	±12	±14	V	
			●	±10	±13	±10	±13	V	
R_{IN}	Input Resistance	$T_A = 25^\circ C$	●	1.5	4.0	0.5	2.0	M Ω	
I_S	Supply Current	$T_A = 25^\circ C$, $V_S = \pm 20V$ $T_A = 125^\circ C$, $V_S = \pm 20V$	●	1.8	3.0	1.8	3.0	mA	
			●	1.2	2.5			mA	

The ● denotes the specifications which apply over the full operating temperature range.

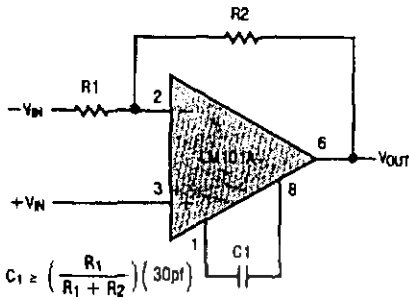
Note 1: Unless otherwise noted; all measurements are made with unity gain compensation ($C_1 = 30pF$ for the LM101A/301A); these specifications apply for $\pm 5V \leq V_S \leq \pm 20V$ for the LM101A/LM107; and $\pm 5V \leq V_S \leq \pm 15V$ for the LM301A/LM307.

Note 2: For supply voltages less than ±15 Volts, the maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 3: The output may be shorted to ground or either power supply indefinitely, provided the case temperature is below 125°C for the LM101A/107 and below 70°C for the LM301A/307.

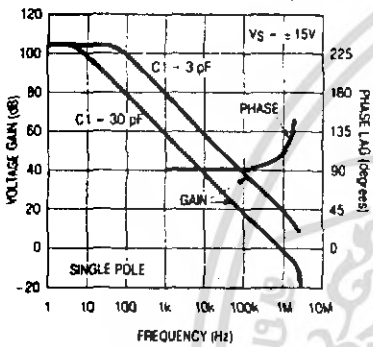
TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (LM101A)

Single Pole Compensation

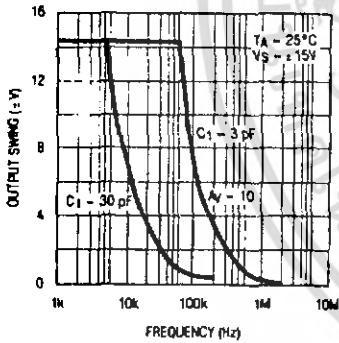


$C_1 = 30 \text{ pF}$ for unity gain stability. At gains above 1 frequency response can be maximized by decreasing C_1 .

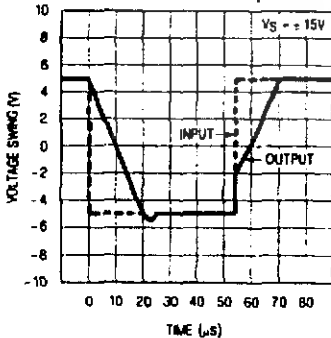
Open Loop Frequency Response



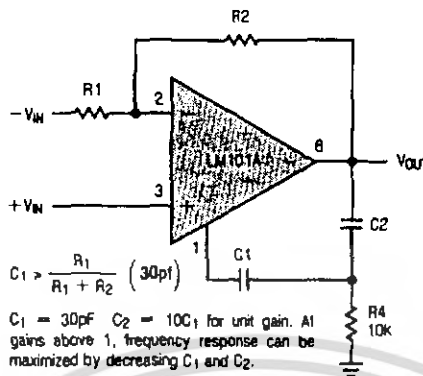
Single Pole Large Signal Frequency Response



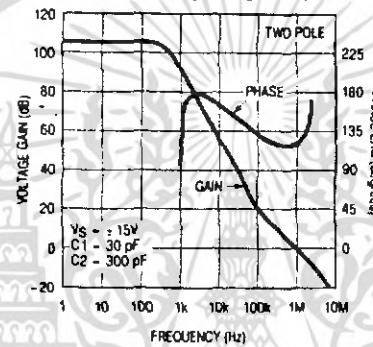
Single Pole Voltage Follower Pulse Response



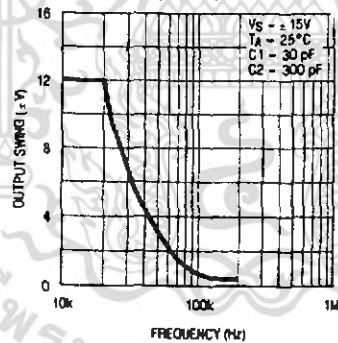
Two Pole Compensation



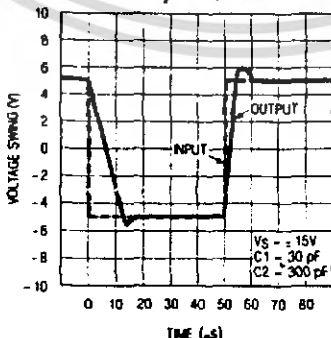
Open Loop Frequency Response



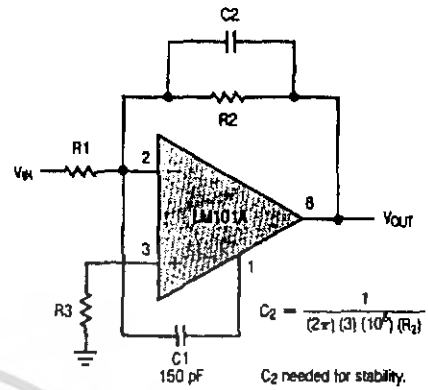
2 Pole Large Signal Frequency Response



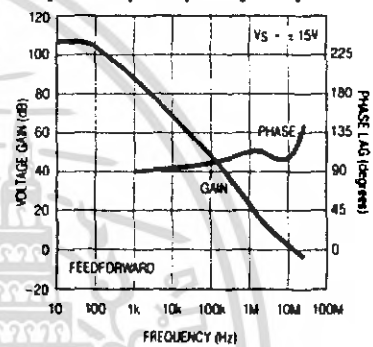
2 Pole Voltage Follower Pulse Response



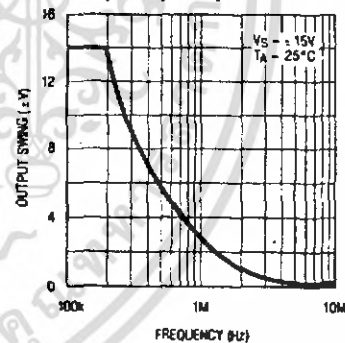
Feedforward Compensation



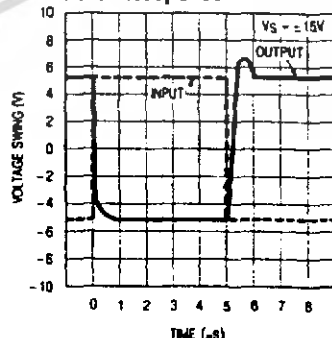
Open Loop Frequency Response



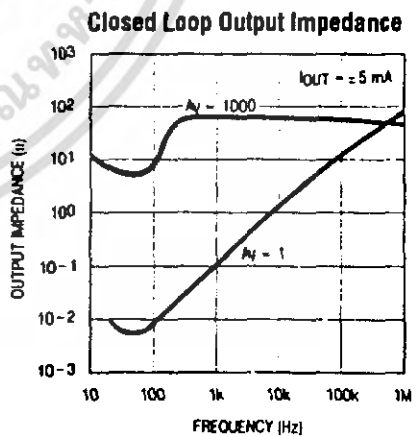
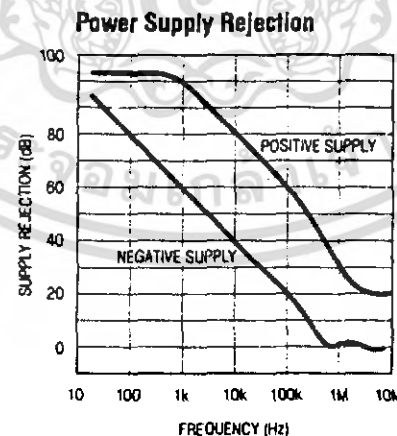
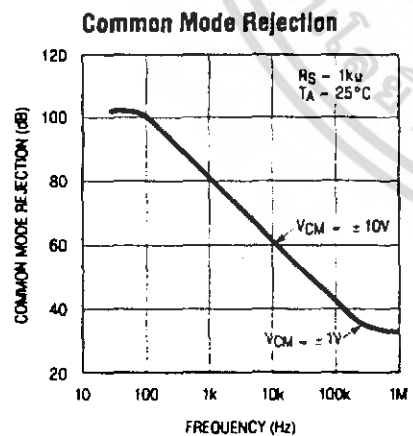
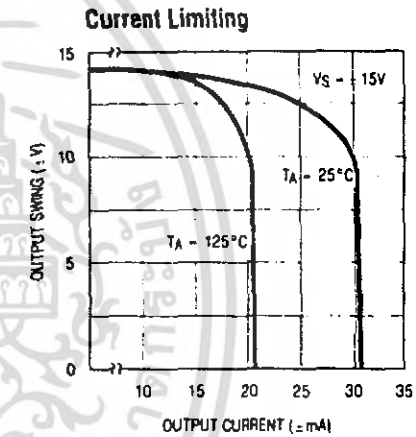
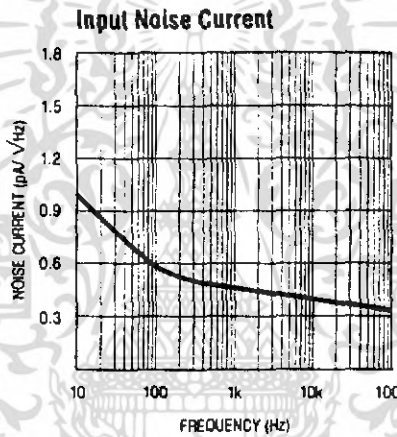
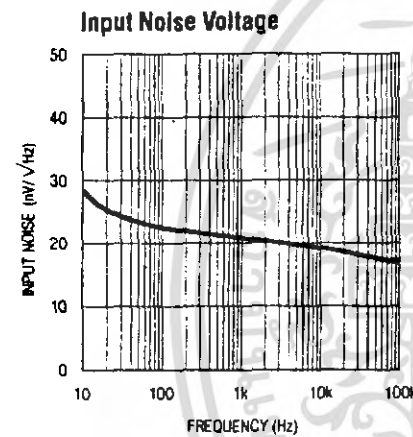
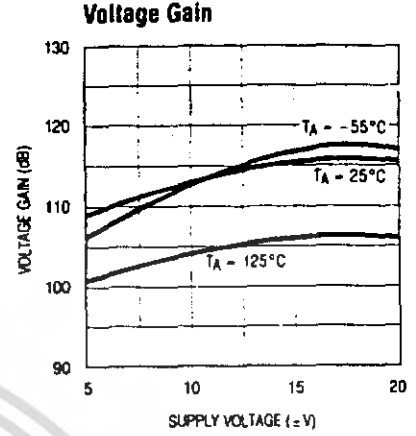
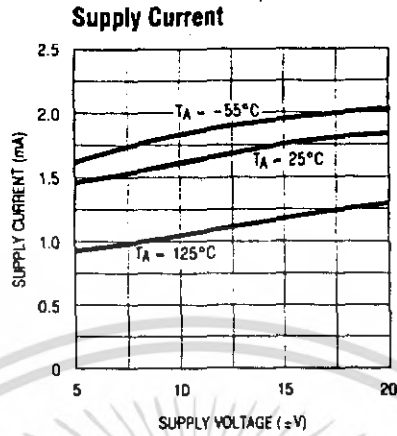
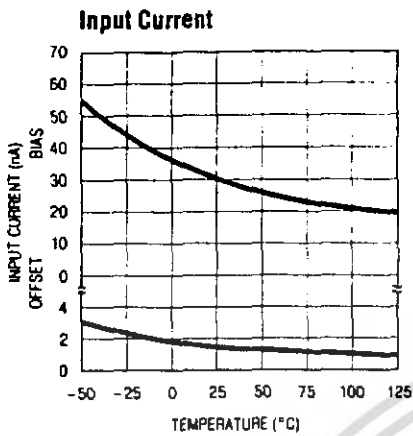
Feedforward Large Signal Frequency Response



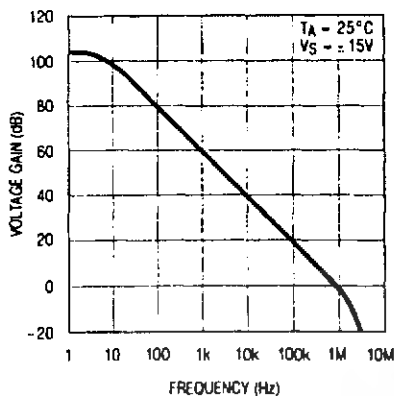
Feedforward Inverter Pulse Response



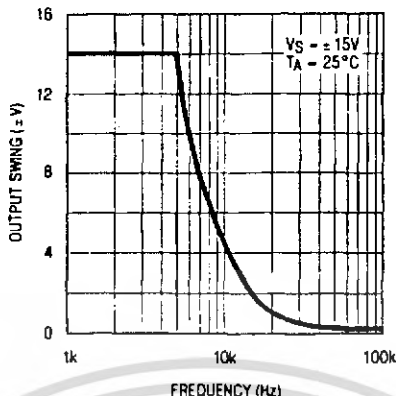
TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (LM101A/LM107)



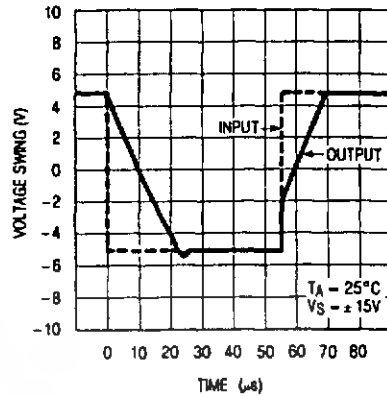
LM107
Open Loop Frequency Response



LM107
Large Signal Frequency Response

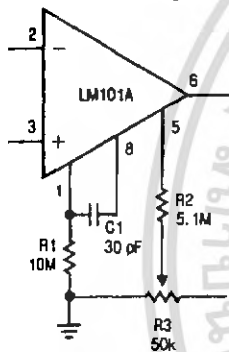


LM107
Voltage Follower Pulse Response

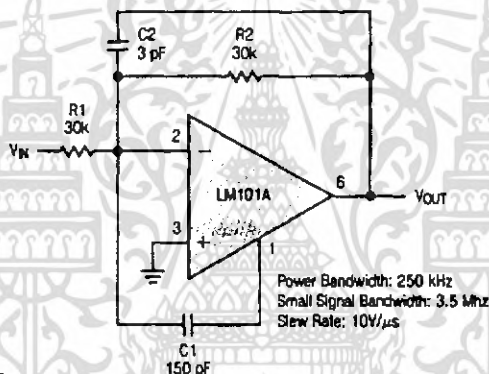


TYPICAL APPLICATIONS

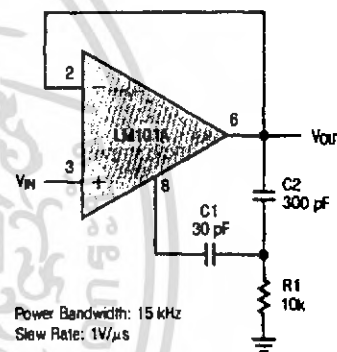
Standard Compensation and Offset Balancing Circuit



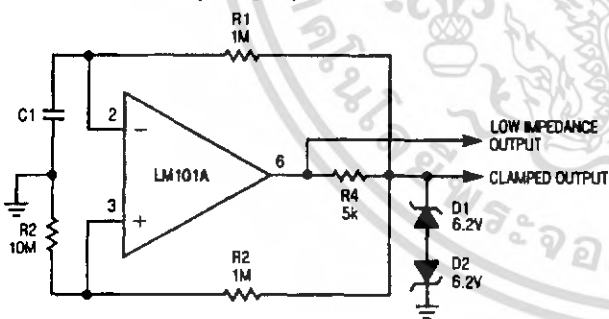
Fast Summing Amplifier



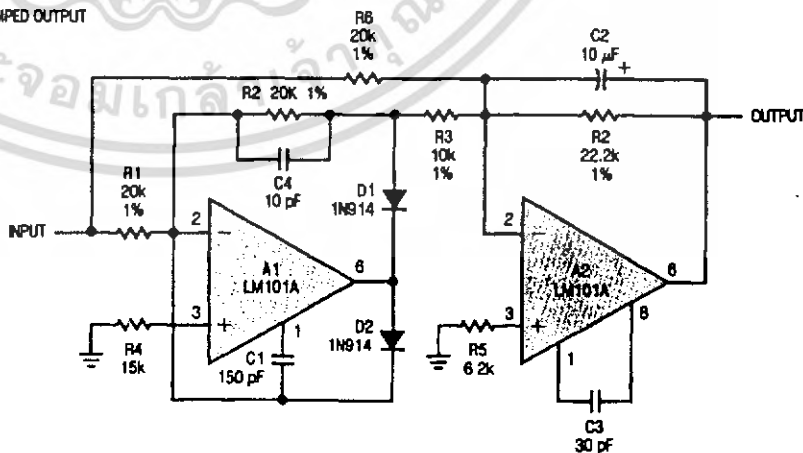
Fast Voltage Follower



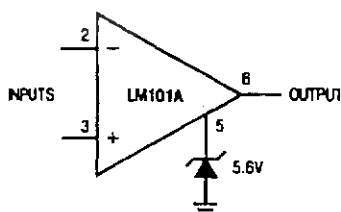
Low Frequency Square Wave Generator



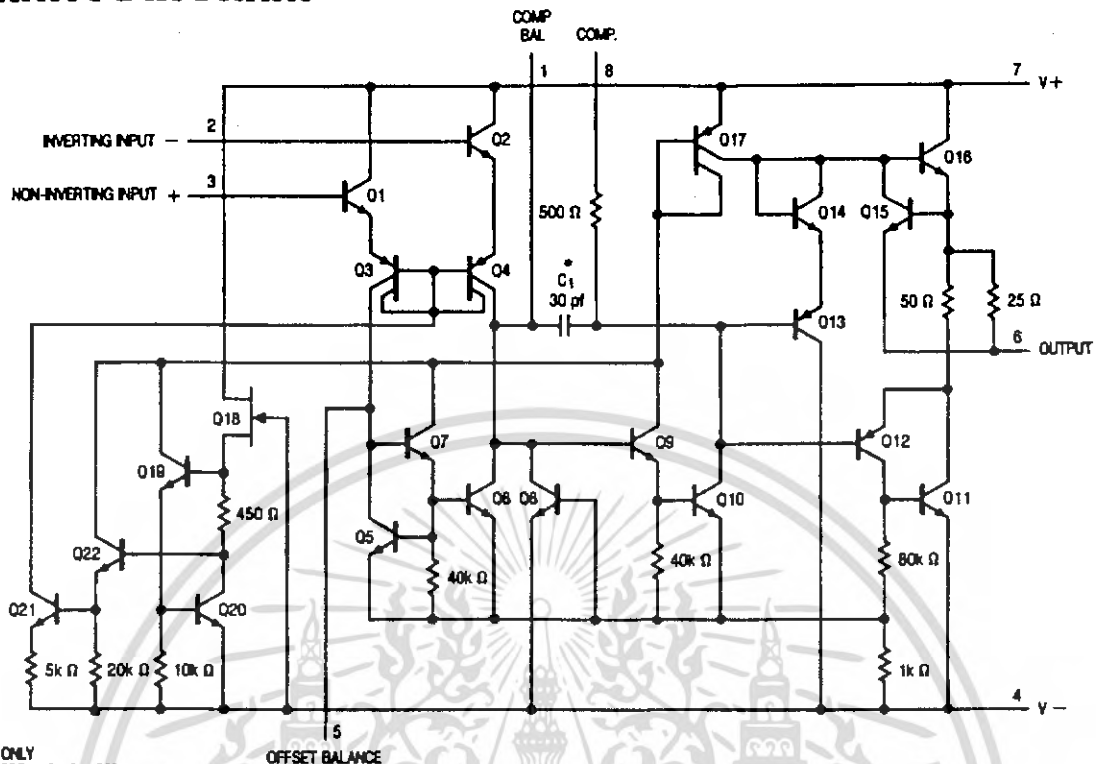
Precision Rectifier



Voltage Comparator with Clamp

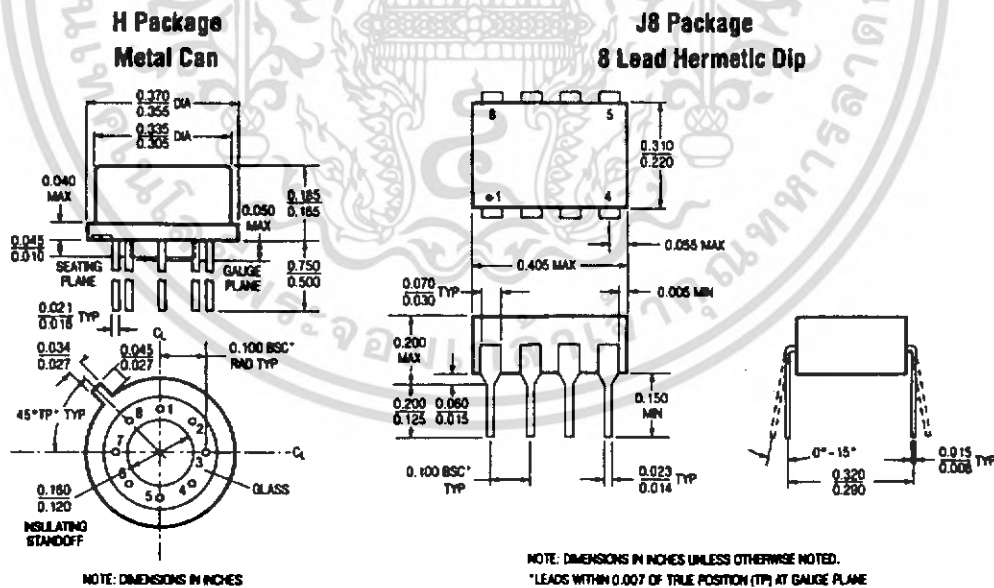


SCHEMATIC DIAGRAM



* C1 FOR LM107 ONLY
FOR LM107, THERE ARE NO INTERNAL
CONNECTIONS TO PINS 1, 5 AND 8

PACKAGE DESCRIPTION

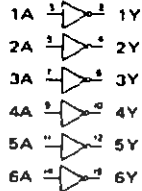
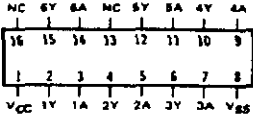


T_{jmax}	θ_{ja}	θ_{jc}
150°C	150°C/W	45°C/W

T_{jmax}	θ_{ja}
150°C	100°C/W

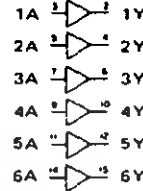
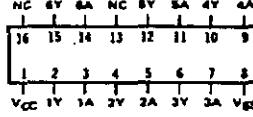
SCL4049UB

INVERTING HEX BUFFER



SCL4050B

NON-INVERTING HEX BUFFER



STATIC CHARACTERISTICS: (V_{SS} = 0 V)

PARAMETER	CONDITIONS	V _{DD} (Vdc)	T _{LOW} *		+25°C			T _{HIGH} **		UNIT
			MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
QUIESCENT DEVICE CURRENT I _{DD}	V _{IN} = V _{SS} OR V _{DD}	5		1		0.005	1		30	μA _{dc}
		10		2		0.01	2		60	
		15		4		0.02	4		120	
OUTPUT LOW (SINK) CURRENT I _{OL}	V _{OL} = 0.4V V _{OL} = 0.5V V _{IN} = V _{SS} OR V _{DD} V _{OL} = 1.5V	5	3.7		3	6.4		2.1		mA _{dc}
		10	10		8	18		5.6		
		15	30		24	40		16.8		

Note: *T_{LOW} = -55°C for C / H devices, -40°C for E / S devices. **T_{HIGH} = +125°C for C / H devices, +85°C for E / S devices.

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

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	V _{CC} (Vdc)	MINIMUM	TYPICAL	MAXIMUM	UNIT
PROPAGATION DELAY TIME t _{PLH} (4049UB)	5	5		60	120	ns
	10	10		32	65	
	15	15		25	50	
	10	5		45	90	
	15	5		45	90	
PROPAGATION DELAY TIME t _{PLH} (4050B)	5	5		70	140	ns
	10	10		40	80	
	15	15		30	60	
	10	5		45	90	
	15	5		40	80	
PROPAGATION DELAY TIME t _{PHL} (4049UB)	5	5		32	65	ns
	10	10		20	40	
	15	15		15	30	
	10	5		15	30	
	15	5		10	20	
PROPAGATION DELAY TIME t _{PHL} (4050B)	5	5		55	110	ns
	10	10		27	55	
	15	15		15	30	
	10	5		50	100	
	15	5		50	100	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SCL4049UB
INVERTING HEX BUFFER

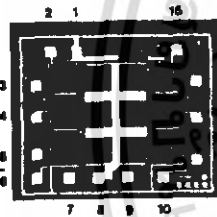
SCL4050B
NON-INVERTING HEX BUFFER

DYNAMIC CHARACTERISTICS: ($C_L = 50\text{pF}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)

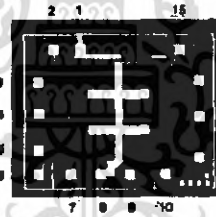
PARAMETER	V _{DD} (V _{dc})	V _{CC} (V _{dc})	MINIMUM	TYPICAL	MAXIMUM	UNIT
OUTPUT TRANSITION TIME t_{TLH}	5	5		80	160	ns
	10	10		40	80	
	15	15		30	60	
OUTPUT TRANSITION TIME t_{THL}	5	5		30	60	ns
	10	10		20	40	
	15	15		15	30	
INPUT CAPACITANCE (4049UB)	C _{IN}	C _{IN}		15	22.5	pF

DIE DRAWING

SCL4049UB
71 x 59 mils

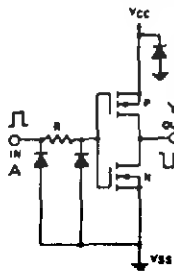


SCL4050B
71 x 59 mils

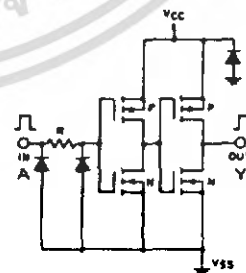


SCHEMATIC DIAGRAMS

SCL4049UB



SCL4050B

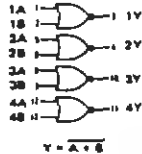
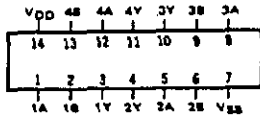


Note: Refer to "SCL4000B SERIES FAMILY SPECIFICATIONS" for remaining Dynamic & Static Characteristics, and, for recommended and maximum operating conditions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

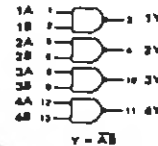
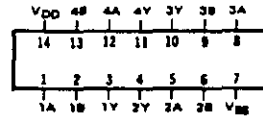
SCL4001UB

UNBUFFERED QUAD TWO INPUT NOR GATE



SCL4011UB

UNBUFFERED QUAD TWO INPUT NAND GATE



STATIC CHARACTERISTICS: (V_{SS} = 0 V)

PARAMETER	CONDITIONS	V _{DD} (Vdc)	T _{LOW} **		+25°C			T _{HIGH} **		UNIT
			MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
QUIESCENT DEVICE CURRENT I _{DD}	V _{IN} = V _{SS} OR V _{DD}	5		0.05		0.0005	0.05		1.5	μA _{dc}
		10		0.1		0.001	0.1		3.0	
		15		0.2		0.002	0.2		6.0	

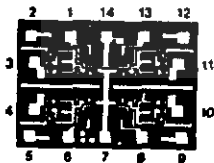
Note: *T_{LOW} = -55°C for C / H devices, -40°C for E / S devices. **T_{HIGH} = +125°C for C / H devices, +85°C for E / S devices.

DYNAMIC CHARACTERISTICS: (CL = 50pF, TA = 25°C)

PARAMETER	V _{DD} Vdc	MINIMUM	TYPICAL	MAXIMUM	UNIT
PROPAGATION DELAY TIME t _{PLH} , t _{PHL}	5		60	120	ns
	10		30	60	
	15		25	50	
OUTPUT TRANSITION TIME t _{TLH} , t _{THL}	5		100	200	ns
	10		50	100	
	15		40	80	

DIE DRAWING

SCL4001UB
62 x 44 mils



DIE DRAWING

SCL4011UB
43 x 52 mils



Note: Refer to "SCL4000B SERIES FAMILY SPECIFICATIONS" for remaining Dynamic & Static Characteristics, and, for recommended and maximum operating conditions.

CMOS DUAL UP COUNTERS

FEATURES

- ◆ Two Independent 4-Bit Counters
- ◆ Internally Synchronous for High Speed
- ◆ Dual BCD (4518B) and Dual Binary (4520B) Configurations
- ◆ Direct Reset
- ◆ Logic Edge-Clocked Design
- ◆ Trigger from either Edge of Clock Signal
- ◆ Static Operation— DC to 5MHz @ 10Vdc

DESCRIPTION

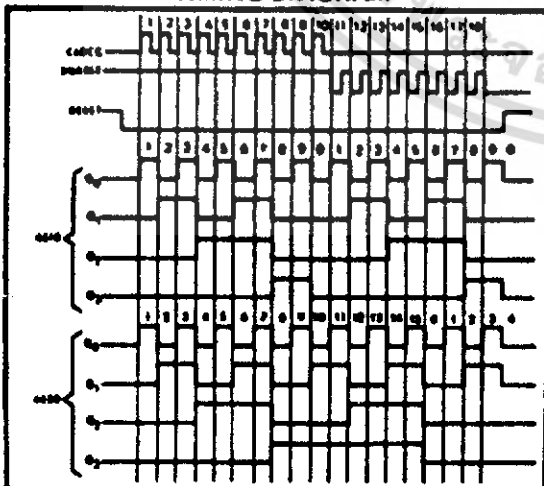
The 4518B Dual BCD Counter and the 4520B Dual Binary Counter are constructed with MOS P-channel and N-channel enhancement-mode devices in a single monolithic structure. Each consists of two identical, independent, internally synchronous 4-stage counters. The counter stages are type-D flip-flops, with interchangeable Clock and Enable lines for incrementing on either the positive-going or negative-going transition as required when cascading multiple stages. Each counter can be cleared by applying a high level on the Reset line. In addition, the 4518B will count out of all undefined states within two clock periods. These complementary MOS up counters find primary use in multi-stage synchronous or ripple counting applications requiring low power dissipation and/or high noise immunity.

TRUTH TABLE

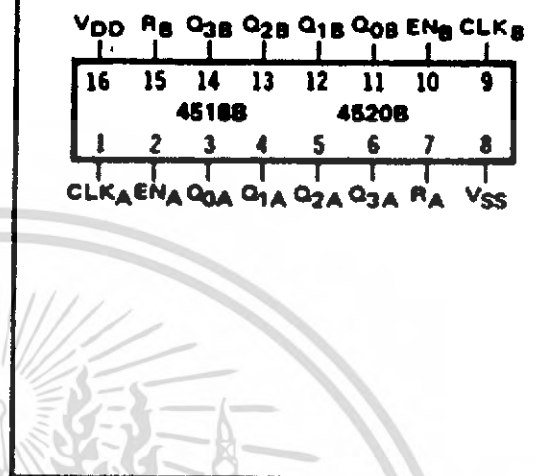
CLOCK	ENABLE	RESET	ACTION
	1	0	Increment Counter
0		0	Increment Counter
	X	0	No Change
X		0	No Change
	0	0	No Change
1		0	No Change
X	X	1	Q0 thru Q3 = 0

X = Don't Care

TIMING DIAGRAM



CONNECTION DIAGRAM (all packages)



RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

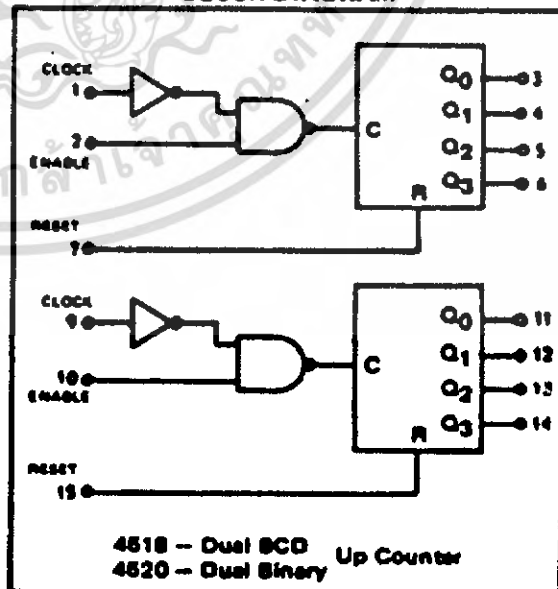
DC Supply Voltage $V_{DD} - V_{SS}$ 3 to 15 Vdc

Operating Temperature T_A

C -55 to +125 °C

E -40 to +85 °C

BLOCK DIAGRAM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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}	5	V _{DD} = V _{ES} or V _{DD} All valid input combinations	-	5	-	0.04	5	-	150	μA/dc
	10		-	10	-	0.1	10	-	300	
	15		-	20	-	0.2	20	-	600	

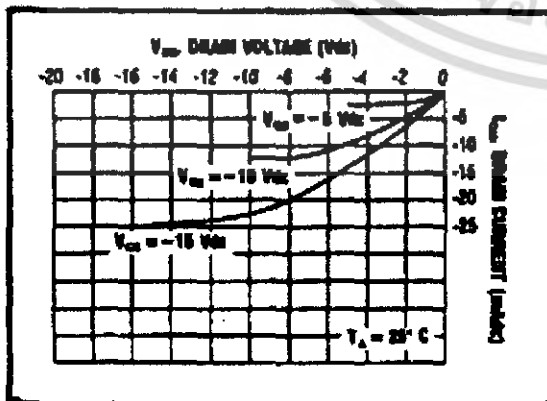
NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "4000B Series Family Specifications".

² T_{LOW} = -55°C for C
 = -40°C for E
 T_{HIGH} = +125°C for C
 = +85°C for E

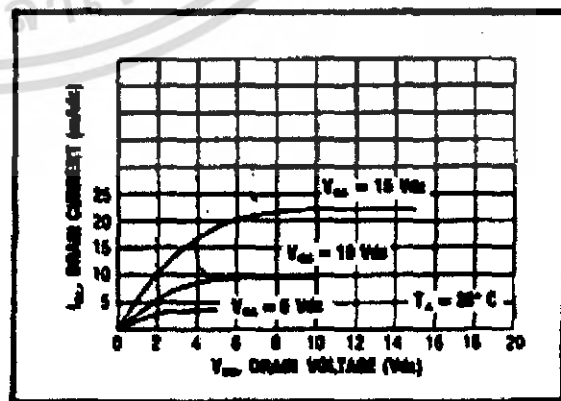
DYNAMIC CHARACTERISTICS (C_L = 50pF, T_A = 25°C)

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units	
CLOCKED OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME From Clock or Clock Enable	t _{PLH} , t _{PML}	5	-	225	450	ns
		10	-	100	200	
		15	-	80	160	
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{FLM} , t _{TML}	5	-	100	200	ns
		10	-	50	100	
		15	-	40	80	
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW _{CL}	5	-	100	200	ns
		10	-	50	100	
		15	-	35	70	
MINIMUM CLOCK ENABLE PULSE WIDTH	PW _{CE}	5	-	200	400	ns
		10	-	100	200	
		15	-	70	140	
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f _{CL}	5	1.5	3.0	-	MHz
		10	3.0	6.0	-	
		15	4.0	8.0	-	
MAXIMUM CLOCK OR CLOCK ENABLE RISE & FALL TIME ³	t _{CL} , t _{CEL}	5	15	-	-	ns
		10	5	-	-	
		15	5	-	-	
RESET OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME	t _{MHL}	5	-	225	450	ns
		10	-	100	200	
		15	-	80	160	
MINIMUM RESET PULSE WIDTH	PW _R	5	-	120	240	ns
		10	-	50	100	
		15	-	40	80	
RESET REMOVAL TIME	t _{RM}	5	-	100	200	ns
		10	-	50	100	
		15	-	40	80	

³ When units are exceeded, the maximum rise and fall times of the clock input should be equal to or less than the transition times of the data outputs driving data inputs, plus the propagation delay of the output driving stage for the output capacitive load.



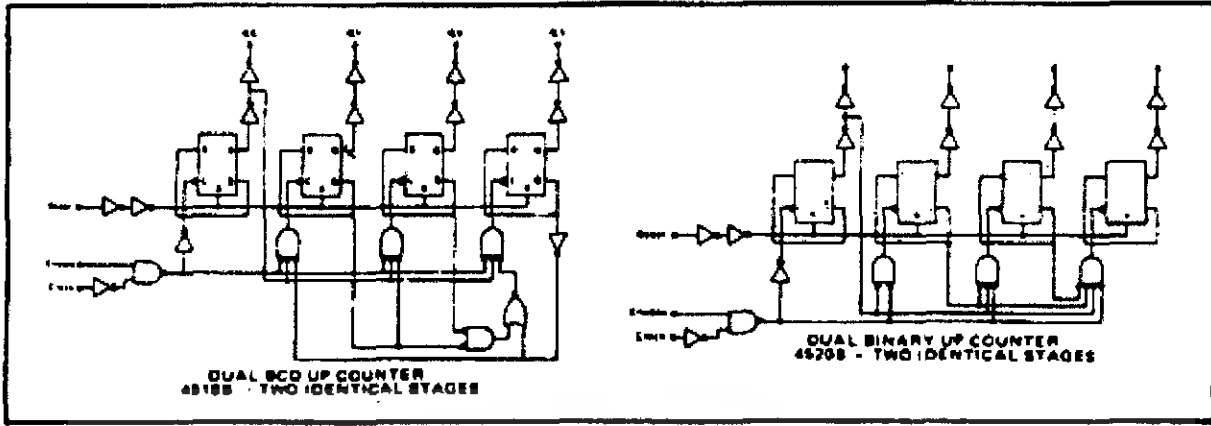
Typical P-Channel Source Current Characteristics



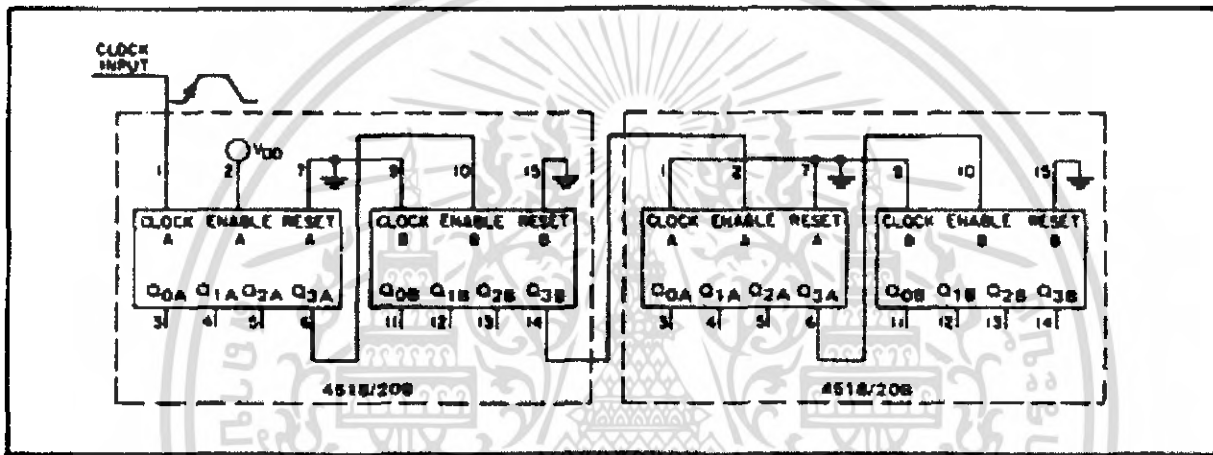
Typical N-Channel Sink Current Characteristics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

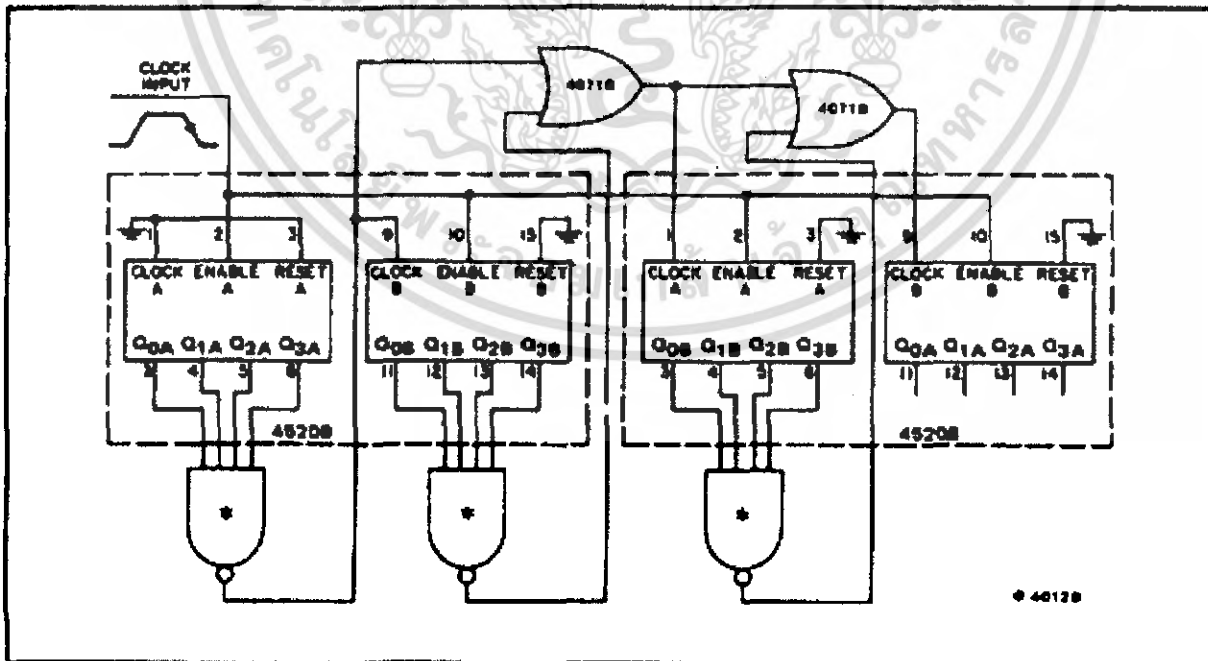
LOGIC DIAGRAMS



APPLICATIONS INFORMATION



Ripple cascading of four counters with positive-edge triggering.



Synchronous cascading of four binary counters with negative-edge triggering.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้