



กล้องโทรทัศน์วงจรปิดไร้สายควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล

CLOSED-CIRCUIT TELEVISION CAMERA WITH WIRELESS REMOTE CONTROL

โดย

นาย จำเนียร วงษ์ประเสริฐ รหัส 37013006
นาย เฉฉิมพล คล้ายสำริด รหัส 37013008

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ. เกรียงไกร วงศ์โรจน์ภรณ์

วัน เดือน ปี..... 18 ต.ค. ๒5๖๐
เลขทะเบียน..... 037314
เลขเรียกหนังสือ..... ๐๓๐๒5/๖๕๖๐

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

ปริญญาโทปีการศึกษา 2539

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง กล้องโทรทัศน์วงจรปิดไร้สายควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล

CLOSED-CIRCUIT TELEVISION CAMERA WITH WIRELESS REMOTE CONTROL

ผู้จัดทำ

1. นายจำเนียร วงศ์ประเสริฐ รหัสประจำตัว 37013006
2. นายเฉลิมพล คล้ายสาริต รหัสประจำตัว 37013008


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์เกรียงไกร วงศ์โรจน์ภรณ์)

กล้องโทรทัศน์วงจรปิดไร้สายควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรล

CLOSED-CIRCUIT TELEVISION CAMERA WITH WIRELESS REMOTE CONTROL

โดย นายจำเนียร วงษ์ประเสริฐ
นาย เฉลิมพล คล้ายสังริด
อาจารย์ที่ปรึกษา อ. เกียรติโกกร วงศ์โรจนภรณ์

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาและออกแบบระบบการทำงานของระบบรักษาความปลอดภัย โดยการตรวจสอบภาพที่ได้รับจากจอภาพควบคุม ภาพที่ได้จากกล้องและเครื่องส่งสัญญาณภาพจะถูกส่งมายังจอภาพ โดยการส่งภาพจะถูกส่งมาด้วยวิธีที่เรียกว่าการมอดูเลทชั่น คือ สัญญาณภาพจะถูกส่งมาพร้อมกับสัญญาณคลื่นพาห์ ที่มีความถี่สูงในย่าน UHF เพื่อหลีกเลี่ยงและรบกวนการใช้โทรทัศน์ทั่วๆไปที่มีอยู่ในปัจจุบัน ทางด้านเครื่องรับจะอาศัยเครื่องรับโทรทัศน์ที่มีใช้ตามบ้านทั่วๆไป มาเป็นจอร์รับสัญญาณภาพ ส่วนเทคนิคที่ใช้ในการตรวจดูภาพคือวิธีการควบคุมระยะไกล รีโมทคอนโทรล ด้วยการส่งสัญญาณควบคุมไปกับสัญญาณคลื่นพาห์เพื่อไปยังคียบ์ทิศทางการหมุนของสเตปปีงมอเตอร์ ให้ทำการหมุนตัวกล้องไปในทิศทางที่ต้องการ

ABSTRACT

This project is to study and design for security system using close-circuit TV. This system is working by checking and observed by the control display. The video signal that sent from the camera will be transit to the display by modulation method. Video signal will be transfer include with the high-frequency carrier wave in from of UHF to avoid the frequency that used in the present normal television. And in the receiver unit . We will used the normal television to show the picture. But for the technical. that we used to saw the picture by using remote control that will sending the control signal include with in the high frequency carrier wave to control the direction of stepping motor of cause the turning of the direction to the camera .

สารบัญ

บทที่ 1	บทนำ แนวความคิด	1
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการ 2.1 กล้องโทรทรรศน์วงจรมืด 2.2 การมอดูเลททางขนาด (amplitude modulation) 2.3 สเตปป์มอดูเลเตอร์ 2.4 วงจรออสซิลเลเตอร์ 2.5 ระบบพัลส์มอดูเลชัน	3 8 23 34 45
บทที่ 3	การคำนวณและการสร้าง 3.1 ส่วนรีโมทคอนโทรล 3.2 ส่วนการหมุนของสเตปป์มอดูเลเตอร์ 3.3 ส่วนการส่งสัญญาณภาพ	49 52 53
บทที่ 4	ผลการทดลอง 4.1 ส่วนรีโมทคอนโทรล 4.2 ส่วนการหมุนของสเตปป์มอดูเลเตอร์ 4.3 ส่วนการส่งสัญญาณภาพ	60 71 73
บทที่ 5	บทวิจารณ์และสรุป 5.1 การใช้งานและปัญหาอุปสรรคและการพัฒนาการต่อ	

สารบัญรูปรภาพ

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

กล้องโทรทัศน์วงจรมืด

รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของกล้องโทรทัศน์วงจรมืด	3
รูปที่ 2.2 แสดงการเชื่อมโยงของตัวกล้อง	4
รูปที่ 2.3 กล้องแบบปกปิดสามารถควบคุมได้	6
รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างทั่วไปและหลักการทํางานของ ซีซีดี การมอดูเลททางขนาด	7
รูปที่ 2.5 รูปแสดงความถี่ด้านเดียวและแสดงความถี่สองด้าน	8
รูปที่ 2.6 รูปร่างของสัญญาณเบสแบนด์และสัญญาณ เอ เอ็ม	8
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างของสัญญาณ DSB	9
รูปที่ 2.8 สเปกตรัมของสัญญาณ DSB	9
รูปที่ 2.9 สเปกตรัมของสัญญาณ SSB	11
รูปที่ 2.10 คุณสมบัติของฟิลเตอร์ VSB	12
รูปที่ 2.11 สัญญาณ VSB ในระบบโทรทัศน์	13
รูปที่ 2.12 การมอดูเลทแบบผลคูณ	13
รูปที่ 2.13 วงจรวาริเอเบิลทรานสคอนดักแตนซ์	14
รูปที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมของวงจรมอดูเลทสัญญาณ AM	14
รูปที่ 2.15 สเปกตรัมของสัญญาณขาออกของ AM	15
รูปที่ 2.16 บล็อกไดอะแกรมของวงจรมอดูเลทสัญญาณแบบบาลานซ์	16
รูปที่ 2.17 หลักการทํางานของมอดูเลทแบบสวิตชิง	16
รูปที่ 2.18 การสร้างสัญญาณ SSB โดยการมอดูเลท 2 ชั้น	17
รูปที่ 2.19 ระบบการแปลงความถี่ของสัญญาณที่ใช้วงจรมอดูเลท	18
รูปที่ 2.20 ตัวอย่างวงจรเฮ็นเวลโลปดีเทคชั่น	19
รูปที่ 2.21 การรับสัญญาณ AM	19
รูปที่ 2.22 บล็อกไดอะแกรมวงจรโครนัสดีเทคชั่น	20
รูปที่ 2.23 สเปกตรัมของสัญญาณในระบบ VSB	21
รูปที่ 2.24 บล็อกไดอะแกรมของการมอดูเลทแบบดับเบิลซูปเปอร์เฮเทอโรไดน์ สเตปป์มอดูเลท	21
รูปที่ 2.25 วงจรกระตุ้นสเตปป์มอดูเลท 3 เฟส	23
รูปที่ 2.26 ไดอะแกรมของระบบกับสเตปป์มอดูเลท	24
รูปที่ 2.27 โครงสร้างวาริเอเบิลรีดักแตนซ์ มอดูเลท	25
รูปที่ 2.28 พลั๊กซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่มอดูเลท	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.29 โรเตอร์และสเตเตอร์	26
รูปที่ 2.30 หน้าตัดของมอเตอร์ 4 เฟส มีพื้นโรเตอร์ 50 ซี มุมสเตป 1.8 องศา	26
รูปที่ 2.31 โครงสร้างของสเตปिंगมอเตอร์ 4 เฟส	27
รูปที่ 2.32 โครงสร้างของสเตปिंगมอเตอร์แบบไฮบริด	27
รูปที่ 2.33 การวางแม่เหล็กตามยาวเพื่อสร้างสนามขั้วเดียวกัน	28
รูปที่ 2.35 ชนิดของการขับสเตปिंगมอเตอร์	29
รูปที่ 2.36 การพันแบบไบโพลาร์	30
รูปที่ 2.37 การพันแบบโมโนโพลาร์	30
รูปที่ 2.38 วงจรสมบรูณ์ของสเตปिंगมอเตอร์	31
รูปที่ 2.39 วงจร Diode Suppressor	32
รูปที่ 2.40 วงจร Diode/Resistor Suppressor	32
รูปที่ 2.41 วงจร Zener Diode Suppressor	33
รูปที่ 2.42 วงจร Condensor Suppressor	33
วงจรรอชิลเลเตอร์	
รูปที่ 2.43 วงจรรอชิลเลเตอร์บีคอนกลับแบบบวก	34
รูปที่ 2.44 วงจร LC รอชิลเลเตอร์	36
รูปที่ 2.45 วงจรสมบรูณ์ของ C	38
รูปที่ 2.46 แสดงความเหมาะสมของการเลือกใช้ C	40
รูปที่ 2.47 แสดงความหมายของ a และ b ของขดลวด	41
รูปที่ 2.48 ตารางแสดงคุณสมบัติ ของลวดเคลือบน้ำยาเบอร์ต่างๆ	42
รูปที่ 2.49 โมโนกราฟหาค่า L สำหรับการพันขั้วเดียวกันบนแกนอากาศ ระบบพัลส์มอดูเลชั่น	43
รูปที่ 2.50 หลักการ PAM	45
รูปที่ 2.51 สัญญาณแบบแมนติจิตอล	46
รูปที่ 2.52 สัญญาณ Amplitude Shift Keying	47
รูปที่ 2.53 สัญญาณ Frequency Shift Keying	47
รูปที่ 2.54 สัญญาณ Phase Shift Keying	48
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของส่วนต่างๆ	49
รูปที่ 3.2 แสดงขาต่างๆของไอซีเข้ารหัสและถอดรหัส	49
รูปที่ 3.3 วงจรรอชิลเลเตอร์	51
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรควบคุมการปิดเปิดการจ่ายไฟ	52

รูปที่ 3.6	วงจรเข้ารหัสวีโมทคอนโทรล	54
รูปที่ 3.7	วงจรถอดรหัสวีโมทคอนโทรล	55
รูปที่ 3.8	วงจรควบคุมสแตปิ้งมอเตอร์หมุน ขึ้นและลง	56
รูปที่ 3.9	วงจรควบคุมสแตปิ้งมอเตอร์หมุน ซ้ายและขวา	57
รูปที่ 3.10	วงจรคอนโทรลการหมุน	58
รูปที่ 3.11	วงจรการส่งสัญญาณภาพ	59
บทที่ 4 ผลการทดลอง		
รูปที่ 4.1	รูปสัญญาณเอาต์พุทของไอซีเข้ารหัส MC 145026 ที่ขา 15 channel ที่ 1	60
รูปที่ 4.2	รูปสัญญาณเอาต์พุทของไอซีเข้ารหัส MC 145026 ที่ขา 15 channel ที่ 2	61
รูปที่ 4.3	รูปสัญญาณเอาต์พุทของไอซีเข้ารหัส MC 145026 ที่ขา 15 channel ที่ 3	61
รูปที่ 4.4	รูปสัญญาณเอาต์พุทของไอซีเข้ารหัส MC 145026 ที่ขา 15 channel ที่ 4	62
รูปที่ 4.5	รูปสัญญาณเอาต์พุทของไอซีเข้ารหัส MC 145026 ที่ขา 15 channel ที่ 5	62
รูปที่ 4.6	รูปสัญญาณเอาต์พุทของไอซีเข้ารหัส MC 145026 ที่ขา 15 channel ที่ 6	63
รูปที่ 4.7	รูปสัญญาณเอาต์พุทของไอซีเข้ารหัส MC 145026 ที่ขา 15 channel ที่ 7	63
รูปที่ 4.8	รูปสัญญาณอินพุทของไอซีถอดรหัส MC 145027 ที่ขา 9 channel ที่ 1	64
รูปที่ 4.9	รูปสัญญาณอินพุทของไอซีถอดรหัส MC 145027 ที่ขา 9 channel ที่ 2	64
รูปที่ 4.10	รูปสัญญาณอินพุทของไอซีถอดรหัส MC 145027 ที่ขา 9 channel ที่ 3	65
รูปที่ 4.11	รูปสัญญาณอินพุทของไอซีถอดรหัส MC 145027 ที่ขา 9 channel ที่ 4	65
รูปที่ 4.12	รูปสัญญาณอินพุทของไอซีถอดรหัส MC 145027 ที่ขา 9 channel ที่ 5	66
รูปที่ 4.13	รูปสัญญาณอินพุทของไอซีถอดรหัส MC 145027 ที่ขา 9 channel ที่ 6	66
รูปที่ 4.14	รูปสัญญาณอินพุทของไอซีถอดรหัส MC 145027 ที่ขา 9 channel ที่ 7	67
รูปที่ 4.15	รูปสัญญาณที่ผลิตขึ้นจากไอซี 555	67
รูปที่ 4.16	รูปสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ขา 12 ของ MC 145026	68
รูปที่ 4.17	รูปสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ขา 10 ของ MC 145027	68
รูปที่ 4.18	รูปสัญญาณสเปกตรัมของเครื่องส่งวีโมท	69
รูปที่ 4.19	รูปสัญญาณสเปกตรัมของเครื่องส่งสัญญาณภาพ	69
รูปที่ 4.20	วงจรภายในของเครื่องส่งวีโมท	70
รูปที่ 4.21	วงจรภายในตัวรับและตัวควบคุม	70
รูปที่ 4.22	รูปชิ้นงานที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว	71
รูปที่ 4.23	การหมุนของตัวกลิ้งเมื่อกดรีโมทให้หมุนซ้าย	71
รูปที่ 4.24	การหมุนของตัวกลิ้งเมื่อกดรีโมทให้หมุนขวา	72
รูปที่ 4.25	การหมุนของตัวกลิ้งเมื่อกดรีโมทให้หมุนขึ้น	72

ในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ ซึ่งมนุษย์ต้องดิ้นรน และ ต่อสู้เพื่อจะได้มีชีวิตรอดต่อไปในสังคม จึงทำให้เกิดมีอาชญากรรมเกิดขึ้นมาเป็นเงาตามตัว ดังนั้นจึงได้เกิดการคิดค้นและ การหาแนวทางป้องกันอาชญากรรมในเบื้องต้น และสามารถที่จะนำมาใช้ในชีวิตประจำวันได้ ซึ่งวิธีการป้องกันนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี โดยวิธีที่จะเสนอต่อไปนี้เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะนำไปใช้ป้องกันและ แก้ไขอาชญากรรมเบื้องต้นที่อาจจะเกิดขึ้น ในชีวิตประจำวันได้ เพื่อให้เกิดความมั่นใจในทรัพย์สินที่มีอยู่ จึงต้องมีระบบป้องกันแจ่งภัยในรูปแบบต่างๆให้เรารู้เพื่อที่จะหาแนวทางป้องกันอื่นๆ ให้ปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินสูงสุด

ดังนั้นจึงได้มีการคิดแนวทางป้องกัน เบื้องต้นมาประยุกต์ กับการสื่อสารในด้านโทรคมนาคม มาเป็นประโยชน์ในการป้องกัน ดังนั้นจึงมีการศึกษาทฤษฎีการส่งสัญญาณซึ่งปัจจุบันนี้การสื่อสารมีด้วยกันหลายรูปแบบ ซึ่งสามารถแยกรูปแบบตามหลักใหญ่ๆได้ดังนี้

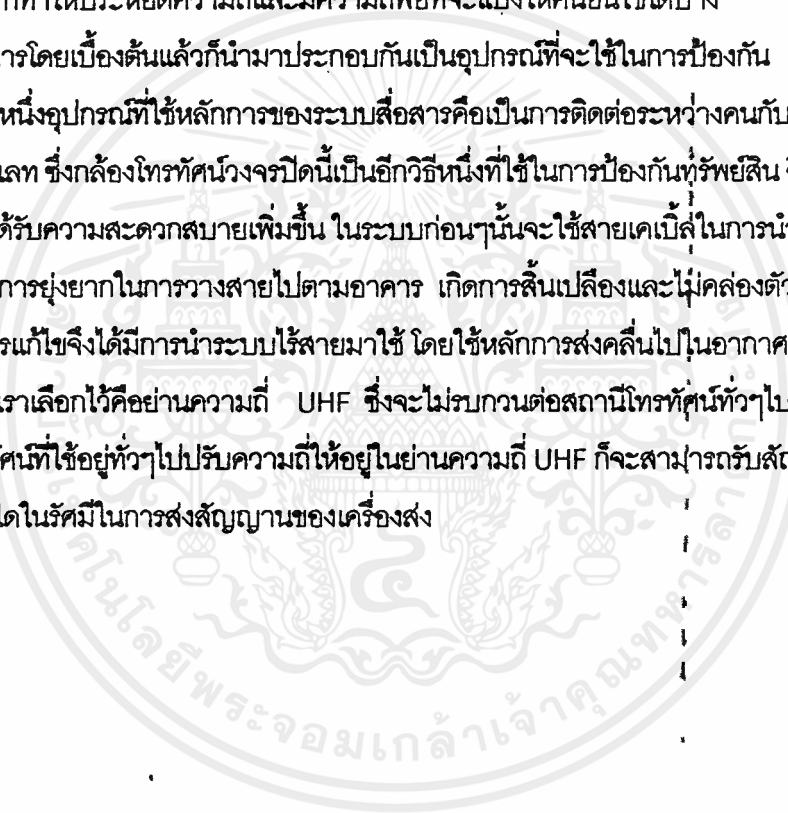
1. การสื่อสารระหว่างคนกับคน เป็นการสื่อสารโดยใช้สัญญาณไฟฟ้าที่แปลงจากสัญญาณเสียงเพื่อติดต่อกันระหว่างคนกับคนมีการใช้มานาน และมีความสำคัญยิ่งตราบเท่าทุกวันนี้ ตัวอย่างของระบบการสื่อสารระหว่างคนกับคนนี้ ได้แก่ โทรศัพท์ และวิทยุ
2. การสื่อสารระหว่างคนกับเครื่อง การสื่อสารนี้มีความสำคัญมากสำหรับสังคมทันสมัยที่ต้องการความรวดเร็วในการที่ได้มาซึ่งข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจของนักบริหาร และในการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรโดยมีคนเป็นผู้ออกคำสั่ง เพื่อที่จะให้ได้มาตามวัตถุประสงค์สูงสุด
3. การสื่อสารระหว่างเครื่องกับเครื่องเป็นการสื่อสารข้อมูลในลักษณะย้ายข้อมูลหรือแฟ้มข้อมูล (transaction or file transfer) จากเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องหนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่ง ที่ต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลสูง วัตถุประสงค์ของการสื่อสารระหว่างเครื่องกับเครื่องนี้ มุ่งที่จะใช้ทรัพยากรร่วมกัน (resources sharing) ทั้งทางฮาร์ดแวร์ (hardware) และซอฟต์แวร์ (software)

ระบบสื่อสารดังกล่าวข้างต้นสามารถอธิบายการทำงานอย่างง่าย ๆ ข่าวสารจากแหล่งข่าวจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าที่เรียกว่า สัญญาณมอดูเลตติ้ง (modulating signal) สัญญาณโมดูเลตติ้งนี้จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของโค๊ดตามวิธีการสื่อสารแบบดิจิตอลหรือส่งตรงเข้าเครื่องส่ง (transmitter) ตามวิธีการสื่อสารแบบอนาล็อกก็ได้ ในเครื่องส่งจะมีเครื่องมอดูเลเตอร์ (modulator) ที่ทำหน้าที่มอดูเลตสัญญาณมอดูเลตติ้งเข้ากับคลื่นพาหะ (carrier) ตัวพานี้จะต้องมีกำลังส่งสูงพอที่จะพาสัญญาณโมดูเลตติ้งไปที่ไกลๆ ได้ด้วยความถี่สูงตามกระบวนการมอดูเลชั่น (modulation) จากนั้นสัญญาณจะถูกคับปลิง (coupling) ออกอากาศโดยเสาอากาศหรือส่งตามสายก็ได้ สัญญาณที่ผ่านมีชเนิม (channel) ซึ่งไม่ว่าจะเป็นอากาศหรือสายอากาศก็ตามจะถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวน (noise) หรือสัญญาณแทรกที่ไม่พึงปรารถนา (undesired interference) เมื่อสัญญาณไปถึงเครื่องรับของผู้ใช้ที่อยู่ปลายทาง เสาอากาศของเครื่องรับจะแปลงสัญญาณที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นกระแสไฟฟ้า แต่ถ้าส่งตามสายเครื่องรับจะรับสัญญาณในรูปแบบของกระแสไฟฟ้าหรือแรงดันได้ทันที จากนั้นเครื่องตีมอดูเลเตอร์ (demodulator) ในเครื่องรับสัญญาณจะแปลงสัญญาณที่มีความถี่สูงให้มีความถี่

ต่ำลงและแยกสัญญาณมอดูเลตออกจากตัวพาตามกระบวนการดีมอดูเลชัน (demodulation) และถูกถอด
 โค้ด (decode) กลับเป็นสัญญาณ อนุาล็อกตามเดิม ตามวิธีการสื่อสารแบบดิจิทัล
 ความถี่ของสัญญาณที่ใช้ในการสื่อสารจะค่อยๆ ขยายสูงขึ้น เพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนกัน ฉะนั้นเมื่อมีคนใช้กัน
 มากๆ ความถี่ที่ใช้ในการสื่อสารก็จะสูงขึ้นเป็นเงาตามตัว จนในที่สุดบางย่านความถี่เช่น VHF หรือ UHF มีคน
 ใช้กันมากจนไม่สามารถมีความถี่หรือแถบความถี่ (bandwidth) เหลือเพียงพอที่จะรับภาระงานทางด้าน
 การสื่อสาร จึงต้องมีการวิจัยหาค้นพหุที่มีความถี่สูงๆ ขึ้นไป เช่นเปลี่ยนจาก UHF ไปย่านความถี่ไมโครเวฟ
 และเปลี่ยนจากย่านความถี่ไมโครเวฟไปเป็น ย่านความถี่คลื่นซึบมิลลิเมตร (submillimeter wave) โดยใช้ แสง
 เลเซอร์เป็นแหล่งกำเนิดตัวพาเป็นต้น นอกจากการหาค้นความถี่ที่สูงๆ แล้ว การุ่อกแบบระบบสื่อสารที่ใช้
 แถบความถี่แคบ ก็ทำให้ประหยัดความถี่และมีความถี่พอที่จะแบ่งให้คนอื่นใช้ได้บ้าง

เมื่อเรารู้ถึงหลักการโดยเบื้องต้นแล้วก็นำมาประกอบกันเป็นอุปกรณ์ที่จะใช้ในการป้องกัน และกลล้งโทรทัศน์
 วงจรปิดก็เป็นอีกหนึ่งอุปกรณ์ที่ใช้หลักการของระบบสื่อสารคือเป็นการติดต่อระหว่างคนกับเครื่อง และใช้หลัก
 การของการมอดูเลท ซึ่งกลล้งโทรทัศน์วงจรปิดนี้เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการป้องกันที่รัพย์สิน จึงได้นำเอาทฤษฎี
 นี้มาปรับปรุงให้ได้รับความสะดวกสบายเพิ่มขึ้น ในระบบก่อนๆ นั้นจะใช้สายเคเบิลในการนำสัญญาณภาพเป็น
 ส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นการยุ่งยากในการวางสายไปตามอาคาร เกิดการสิ้นเปลืองและไม่คล่องตัวในการเคลื่อนย้าย

การแก้ไขจึงได้มีการนำระบบไร้สายมาใช้ โดยใช้หลักการส่งคลื่นไปในอากาศด้วยความถี่คลื่นที่
 เหมาะสม ตามที่เราเลือกไว้คือย่านความถี่ UHF ซึ่งจะไม่รบกวนต่อสถานีโทรทัศน์ทั่วๆ ไปสัญญาณภาพที่ส่ง
 เข้ามาจะใช้โทรทัศน์ที่ใช้อยู่ทั่วๆ ไปปรับความถี่ให้อยู่ในย่านความถี่ UHF ก็จะสามารถรับสัญญาณภาพได้ไม่ว่า
 เครื่องรับจะอยู่ที่ใดในรัศมีในการส่งสัญญาณของเครื่องส่ง



บทที่ 2

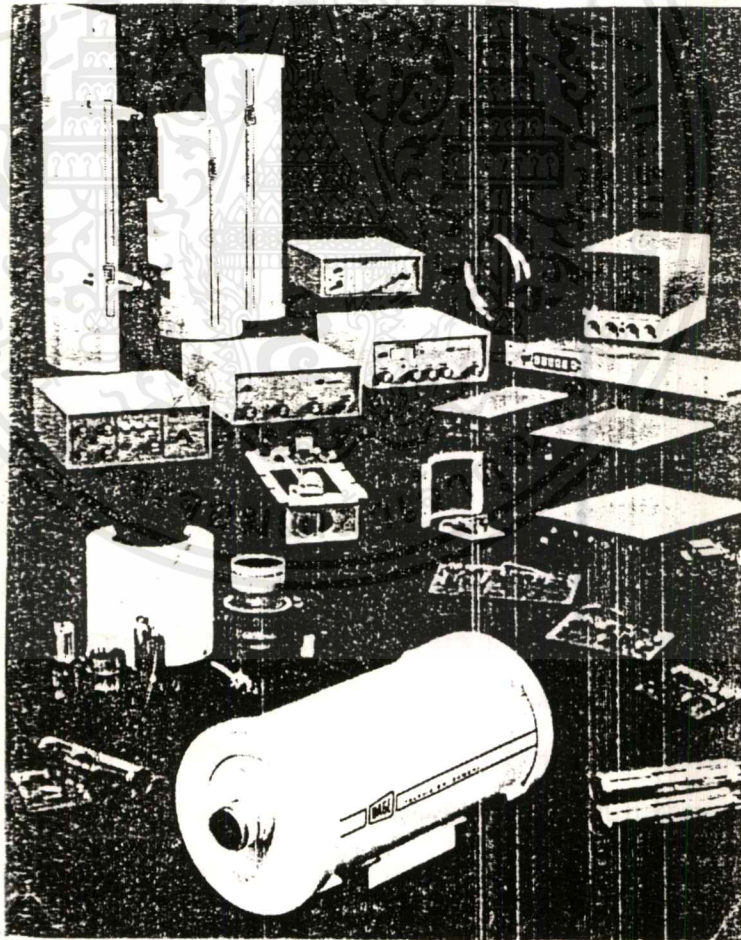
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล้องโทรทัศน์วงจรปิด

ทุกคนอาจจะคุ้นเคยกับโทรทัศน์ที่ใช้อยู่ตามบ้านแต่นี้ คืออีกชนิดหนึ่งของโทรทัศน์ที่สามารถใช้ได้ทุกที่ด้วยคนๆหนึ่ง โทรทัศน์วงจรปิดมีด้วยกันสองแบบคือแบบขาว-ดำ และแบบสี สามารถส่งโดยใช้สายเคเบิลหรือแบบไร้สาย ซึ่งที่นั่นอาจจะไม่อนุญาตให้ใครเข้าไปหรือเป็นที่เฉพาะบุคคล

ในสถานที่ใหม่ๆปรากฏการใช้ cctv (closed-circuit television) ซึ่งสถานที่ต่างๆนั้นได้แก่ โรงงาน โรงพยาบาล ห้องสรรพสินค้า ร้านขายทอง เป็นต้น

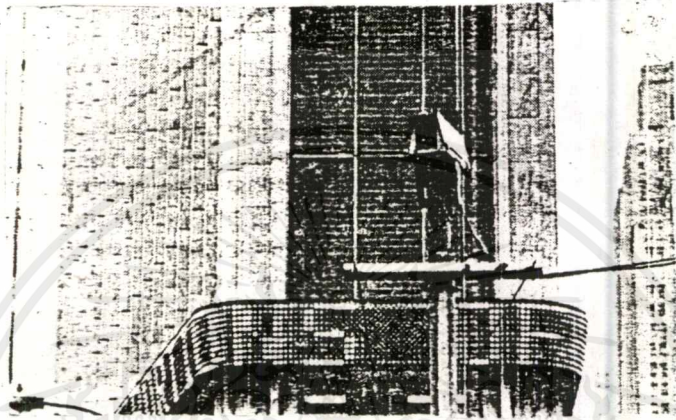
สินค้าใหม่ของ cctv นั้นเริ่มมีขนาดเล็กลง มีเลนส์ชนิดพิเศษ ราคาถูกลงทำให้เป็นที่แพร่หลายในวงการอุตสาหกรรม ซึ่งในระบบ cctv นั้นจะประกอบด้วย ตัวกล้อง เลนส์ จอรับภาพ และอุปกรณ์เพิ่มเติม ที่จะใช้ในการประกอบกันของระบบส่วนประกอบของระบบอยู่ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบต่างๆของกล้องโทรทัศน์วงจรปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แน่นอนในการติดตั้งตัวกล้องนั้น จะต้องติดตั้งในที่ไกลจากส่วนควบคุม หรือ ที่ๆต้องการจะทำการติดตั้ง ตัวอย่างของการติดตั้งตัวกล้อง และจอภาพขึ้นอยู่กับภารกิจและสภาวะการใช้งาน เช่น การใช้งานในโรงพยาบาลซึ่งต้องคุณใช้พิเศษหรือ การจราจรที่ต้องตรวจดู ความเรียบร้อยและป้องกันการเกิดอาชญากรรม ในที่ๆมีความเสี่ยงสูง เช่นในธนาคาร ที่จอดรถ สวนสาธารณะ ในร้านทอง เป็นต้น ตัวอย่างการแสดงสภาวะการ เคลื่อนไหวของกล้องแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการเคลื่อนไหวของกล้อง

การควบคุมภาพโทรทัศน์ถูกใช้ในที่ๆมีอาชญากรรมเกิดขึ้นนั้นจะมีการป้องกันสองแบบคือ

1. การป้องกันแบบปกปิด (covert)
2. การป้องกันแบบเปิดเผย (overt)

การป้องกันแบบปกปิดคือระบบที่นำกล้องไปซ่อนไว้ และ การป้องกันแบบเปิดเผยคือระบบที่นำกล้องไปติดตั้งในที่ๆเห็นเด่นชัดการป้องกันแบบเปิดเผยนั้นมีความคิดจากการตรวจดูใน ที่ส่วนบุคคลและป้องกันการโจมตีใช้สำหรับตรวจตราดูความเรียบร้อยเพื่อที่จะได้ค้นหาในระยะใกล้ๆ

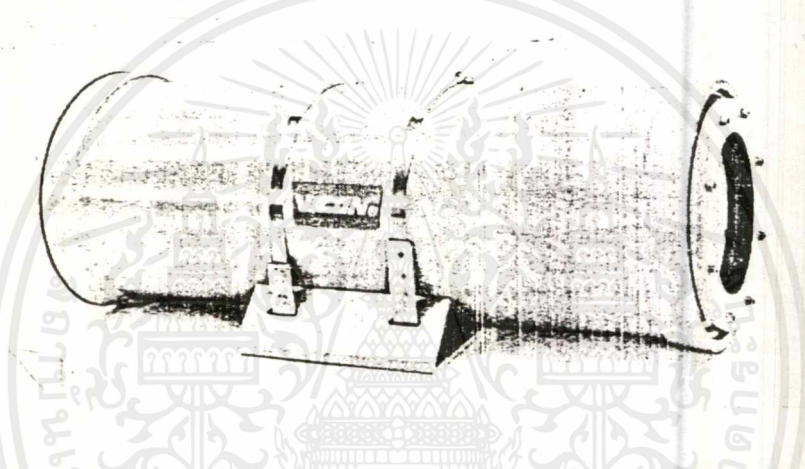
การหมุนของกล้องนั้นสามารถแบ่งออกเป็นทั้งแบบคงที่และแบบเคลื่อนที่ได้ซึ่ง จะเรียกแบบเคลื่อนที่ได้ว่า การสแกน (scanner) คือ การสามารถเคลื่อนที่ได้โดยใช้มอเตอร์เล็กๆช่วยในการหมุน ซึ่งกล้องที่ทำการหมุนจะทำการหมุนจากด้านใดด้านหนึ่ง ไปสุดที่อีกด้านหนึ่ง การหมุนของกล้องนั้นสามารถปรับหมุนถึง 350 องศา โดยหมุนอย่างต่อเนื่องติดต่อกันซึ่งจะเรียกว่า การสแกนอัตโนมัติ (auto scanner) การสแกนสามารถที่จะสั่งให้สแกน หยุดการสแกน หมุนซ้าย หรือหมุนขวาโดยการใช้ คำสั่งที่สั่งจากห้องควบคุม การสแกนที่หมุนตามทางแนวนอน (horizontal) เรียกว่าการแพนนิ่ง (panning) และการหมุนในทางแนวตั้ง (vertical) เรียกว่า การทิลต์ (tilt) และการหมุนได้ทั้งสองแกนในตัวเดียวกันเราจะเรียกว่า แพนน์ แอน ทิลต์ ไดรฟ์ (pan and tilt drive)

การป้องกันตัวกล้องจากสภาพแวดล้อม ในการใช้กล้องในสภาพแวดล้อมนั้นต้องการป้องกันจากการใช้งานมากมายหลายๆที่ ซึ่งจะมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างกลิ้งที่ติดไว้สังเกตคนและสังเกตสภาพต่างๆภายนอก นั้นจะต้องมีการป้องกันจากความร้อนและความเย็นจากสภาพของอากาศ เพราะฉะนั้น กลิ้งที่ต้องติดตั้งภายนอกจะต้องมีส่วนป้องกัน เราสามารถแบ่งส่วนป้องกันออกตามสภาพแวดล้อมได้แก่

1. ป้องกันจากฝุ่นละออง เศษผง ไม่ให้เข้าไปในตัวกลิ้ง
2. ป้องกันจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ
3. ป้องกันจากความร้อนจัดและความเย็นจัด
4. ป้องกันจากการระเบิด
5. ป้องกันจากการขโมยและจิตไม่ปรกติ
6. ป้องกันจากไฟฟ้าแรงสูง
7. ป้องกันจากรังสีต่างๆที่เป็นอันตรายกับตัวกลิ้ง



รูปที่ 3.3 แสดงรูปร่างของกลิ้งที่มีโครงสร้างป้องกันการระเบิด

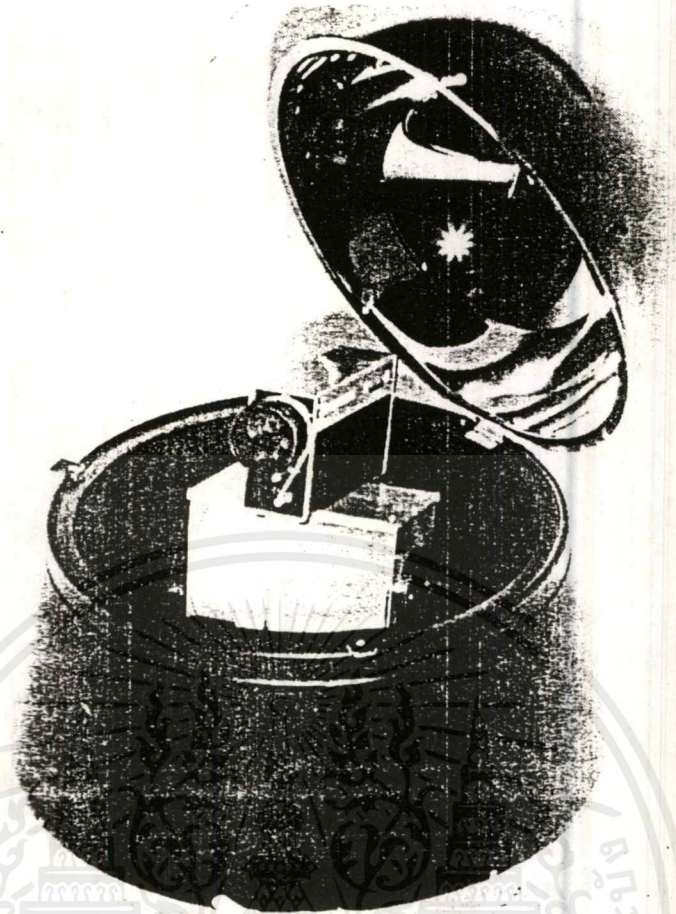
สิ่งที่ใช้ในการป้องกันจึงต้องนำมาคิด แต่ในกลิ้งระบบที่หมุนได้ทั้งสองแกน คือทั้งแกนนอนและแกนตั้ง สิ่งป้องกันและ ใช้ในการห่อหุ้มจะต้องคำนึงถึงน้ำหนักของสิ่งที่จะนำมาทำเป็นส่วนประกอบ สิ่งป้องกันตามธรรมดากำหนดให้มีหน้าต่างเล็กๆสำหรับเลนส์ การติดตั้งภายนอกจะต้องมีข้อกำหนดของการล้างและการเช็ดการเสียหายจากน้ำแข็งและหมอก กลิ้งที่มีการป้องกันโดยสิ่งที่ห่อหุ้ม สิ่งที่ห่อหุ้มนั้นจะต้องไม่มีน้ำหนักมากและไม่ใหญ่จนเกินไปแต่มีความแข็งแรง ส่วนการห่อหุ้มกลิ้งที่ใช้ภายในอาจจะไม่ต้องมีการป้องกันจากส่วนประกอบของสภาพอากาศ โดยส่วนมากจะใช้ กับกลิ้งที่หลบซ่อนอยู่ และเพื่อที่จะไม่นำเก็ยจากกลิ้งที่อยู่กับที่จะต่ออยู่กับสายไฟ จึงต้องร้อยสายผ่านท่อร้อยสาย ทั้ง ระบบภายในและภายนอกจะต้องมีสิ่งป้องกันและห่อหุ้ม แต่ที่ห่อหุ้มในระบบภายในที่ไม่เหมือนกับระบบภายนอกคือ

1. การหนาวจัด การระบายอากาศ การป้องกันจากแสงอาทิตย์
2. ความร้อน ขนาดและน้ำหนัก
3. ความสูงของกลิ้ง การสแกนภาพ
4. ความปลอดภัย

เพราะฉะนั้นสิ่งห่อหุ้มภายนอกนั้นจะต้องออกแบบเป็นพิเศษเพื่อป้องกันแสงจากพระอาทิตย์และความ

ร้อนเป็นประการสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

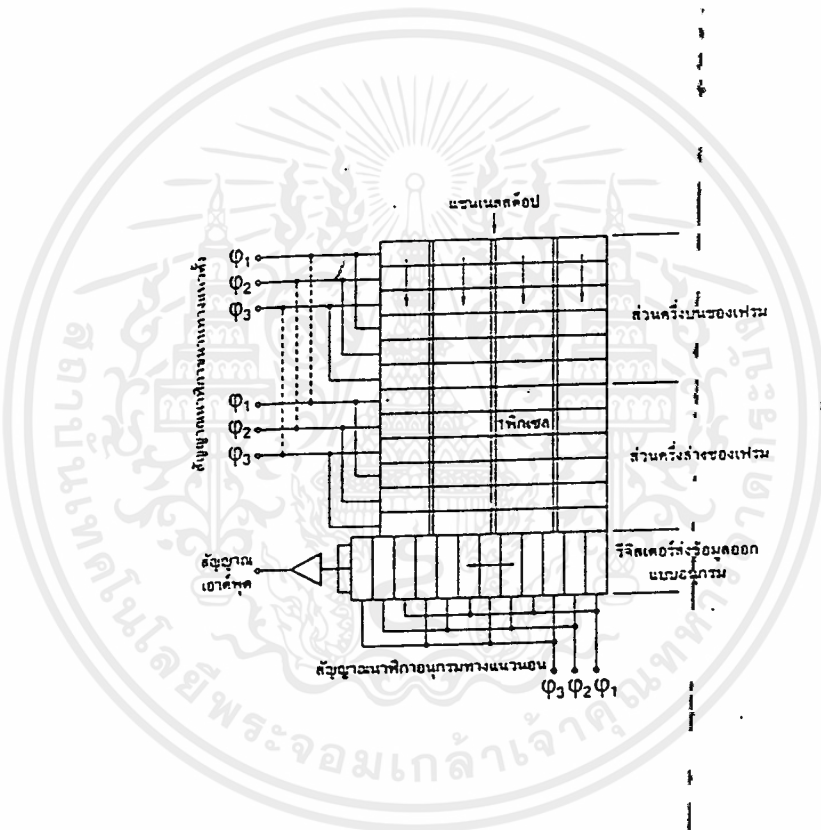


รูปที่ 2.3 กล้องแบบปกปิดซึ่งสามารถควบคุมได้

อุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่จะนิยมนำมาทำกล้องคือ ซีซีดี (charge-coupled device) อุปกรณ์ ซีซีดี ถือกำเนิดมาเมื่อประมาณ 20 ปีที่แล้ว ซึ่งขณะนั้นยังอยู่ในรูปแบบของอุปกรณ์หน่วยความจำ (random access memory) แต่ ซีซีดี มีประโยชน์การใช้งานมากกว่านั้น ซึ่งเป็นได้ทั้งดีเลย์ไลน์ ส่วนประมวลผลสัญญาณ และที่สำคัญที่สุดคือ เป็นอุปกรณ์ตรวจจับแสงประสิทธิภาพสูง อุปกรณ์นี้ทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปเข้าสู่ระบบอิมเมจโปรเซสซึ่ง ซึ่งถ้าพิจารณาดูแล้วอุปกรณ์ประเภทนี้มีอยู่มากมาย แต่ ซีซีดี มีคุณสมบัติที่ไม่ธรรมดา รวมถึงการทำงานที่ไม่ธรรมดา ไม่มีการใช้ป็นอิเล็กทรอนิกส์เป็นส่วนประกอบแต่เป็นการใช้เฟสควบคุมการทำงานแทน ปัจจุบันจึงมีการนำมาใช้งานด้านถ่ายภาพอย่างแพร่หลาย เช่น ในกล้องถ่ายรูป กล้องโทรทัศน์ จนกระทั่งกล้องวีดีโอขนาดเล็ก ซีซีดีมีความพิเศษจากอุปกรณ์อื่นในตระกูลเดียวกันหลายประการ เช่น มีย่านตอบสนองต่อคลื่นยาวได้กว้าง มีช่วงไดนามิกเรนจ์กว้าง และเก็บรายละเอียดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากรูป 2.4 แสดงให้เห็นถึงโครงสร้างทั่วไป และการคัปปลิงสัญญาณของอุปกรณ์ตัวนี้ จะเห็นได้ทันทีว่ามีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนเล็กๆมากมายซึ่งแต่ละชิ้นเรียกว่า พิกเซล (pixel) และถ้าสังเกตจากโครงสร้างแล้วจะเห็นได้ว่าไม่มีการแบ่งแต่ละพิกเซลออกเป็นตำแหน่งแอดเดรสเหมือนในหน่วยความจำชนิดอื่นๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่จะมีการแบ่งออกเป็นแถว (row) และหลัก (column) แต่มีส่วนคั่นกลางที่เรียกว่า แชนแนลสโตป (channel stop) คั่น ระหว่างแต่ละหลัก ภายในแต่ละพิเซลจะมีประจุอยู่ตัวหนึ่งที่ทำให้เกิดภาพ และจะมีการถ่ายเทเมื่อมีแสงมาตกกระทบ การถ่ายเทก็ย่อมมีตัวพาหรือยึดเหนี่ยว ซึ่งซีซีดีจะใช้หลักการหมุนเฟส (phase clock voltages) มาใช้ ในแต่ละแถวจะมีการกำหนดสถานะทางไฟฟ้า ด้วยการหมุนเฟส 3 เฟสที่มีความสัมพันธ์กันของช่วงเวลาและแรงดัน ด้วยการทำงานเช่นนี้ประจุแต่ละพิเซลจึงมีการถ่ายเทจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ เมื่อประจุเคลื่อนมาถึงขอบของแถว ก็จะมีการส่งผ่านให้รีจิสเตอร์ เพื่อที่จะนำสัญญาณออกไปยังภายนอก โดยการทยอยข้อมูลแบบอนุกรมของรีจิสเตอร์และ ถูกควบคุมโดยการหมุนเฟสเช่นเดียวกัน ดังนั้นผลรวมของการหมุนเฟสทั้งแนวอนและแนวตั้งจึงสามารถนำประจุออกภายนอกได้ เพื่อใช้ในการประมวลผลและสร้างภาพต่อไป



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างทั่วไปและการทำงานของ ซีซีดี

สำหรับความละเอียดของภาพและความไวต่อแสงสว่างน้อยๆ ขึ้นอยู่กับจำนวนพิเซลบนตัว ซีซีดี ซึ่งมีให้เลือกหลายขนาดตามต้องการ ยิ่งจำนวนพิเซลมากเท่าไรประสิทธิภาพก็จะสูงขึ้นเท่านั้น

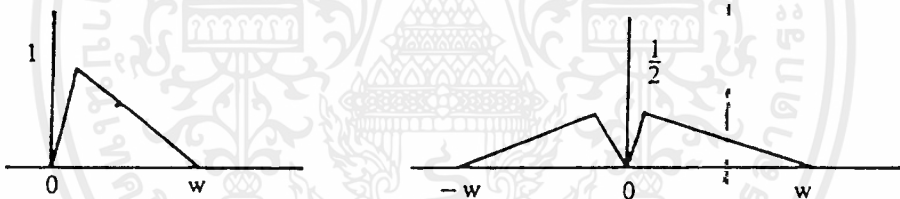
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การมอดูเลตเชิงขนาด

การมอดูเลตสัญญาณอนาล็อก ซึ่งปัจจุบันนี้ก็ยังมีที่ใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วไป เช่น ระบบวิทยุกระจายเสียง AM ระบบวิทยุกระจายเสียง FM และระบบโทรทัศน์ เป็นต้น การมอดูเลตเชิงขนาด ซึ่ง หมายถึง การนำสัญญาณเบสแบนด์ ที่ต้องการส่งผสมเข้าไปกับสัญญาณคลื่นพาห์โดยทำให้ขนาดของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงตามขนาดของสัญญาณเบสแบนด์นั้น ระบบมอดูเลตเชิงขนาดนี้ถึงแม้การสร้างสัญญาณ จะต้องใช้ อุปกรณ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น แต่ ถ้าพิจารณาระบบโดยส่วนรวมแล้วจะเป็นระบบเชิงเส้น การมอดูเลตเชิงขนาดนี้ จะทำได้หลายแบบด้วยกัน ในที่นี้จะกล่าวถึง วิธีมอดูเลตแบบ AM, แบบ DSB (double sideband suppressed carrier) แบบ SSB (single sideband) และแบบ VSB (vestigial sideband) โดยจะกล่าวถึง คุณสมบัติในเชิงแบบแบนด์วิดท์ที่ต้องการกำลังส่งที่ต้องการ และวิธีสร้างและตีเทคสัญญาณนั้น

การมอดูเลตแบบ AM (amplitude modulation)

โดยทั่วไปสัญญาณอนาล็อกเบสแบนด์ที่ทำการส่งนั้นจะมีความถี่สูงสุดที่มีค่าจำกัด เช่น สัญญาณออดิโอที่หูคนเรารับฟังได้อาจจะสูงเพียง 15 kHz และถ้าเป็นสัญญาณเสียงที่คนเราพูดกันโดยทั่วไปก็มักจะมีค่าไม่เกิน 4 kHz เป็นต้น เมื่อเป็นเช่นนี้ถ้าเราให้ความถี่สูงสุดของสัญญาณเบสแบนด์เป็น W Hz เมื่อเขียนสเปกตรัมของสัญญาณนั้นแบบแสดงความถี่ด้านบวกด้านเดียว และแบบแสดงความถี่ ทั้งสองด้านจะเป็นดังที่แสดงได้ในรูปที่ 2.5 ในกรณีที่แสดงความถี่สองด้านนั้น

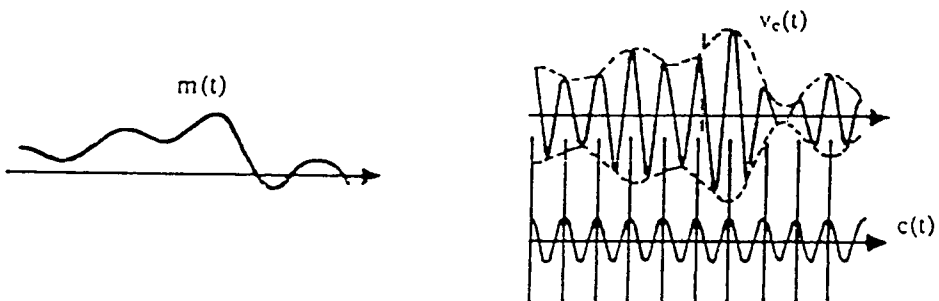


แสดงความถี่ด้านเดียว

แสดงความถี่สองด้าน

รูปที่ 2.5 ตัวอย่างสเปกตรัมของสัญญาณอนาล็อกที่มีความถี่สูงสุดต่ำกว่า W

นั้น สเปกตรัมทางด้านบวกและด้านลบจะสมมาตรกัน และมีขนาดเป็น $1/2$ ของสเปกตรัมที่แสดงความถี่บวกด้านเดียว การมอดูเลตแบบ AM ที่ใช้ในวิทยุ AM โดยทั่วไปนั้นจะเป็นการสร้างสัญญาณที่มีลักษณะเหมือนกับที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 กล่าวคือ เหมือนกับนำสัญญาณเบสแบนด์ไปซ้อนบนสัญญาณคลื่นพาห์



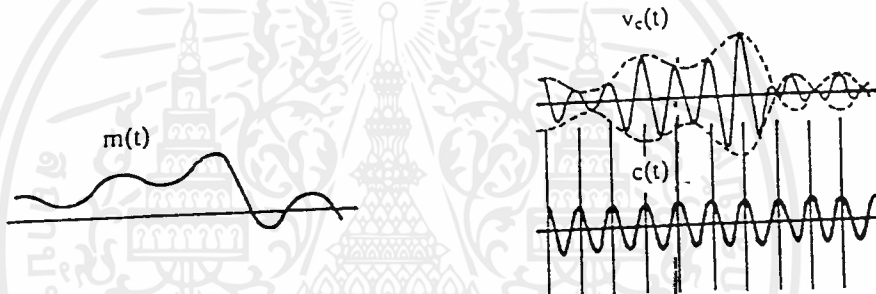
รูปที่ 2.6 รูปร่างของสัญญาณเบสแบนด์และสัญญาณ AM

2.2.1 การมอดูเลตแบบ DSB

การมอดูเลตแบบ DSB ซึ่งมีชื่อเต็มว่า Double-sideband suppressed carrier modulation (บางครั้งอาจใช้ตัวย่อว่า DSB - SC หรือ DSSC) นั้นตามความหมายก็คือการมอดูเลตที่ให้สัญญาณที่มอดูเลตเรียบร้อยแล้วมีไซด์แบนด์ทั้งสองด้าน และสกัดเอาสัญญาณคลื่นพาห่ออกไป วัตถุประสงค์หลักของการมอดูเลตแบบนี้ก็คือต้องการลดกำลังส่งในส่วน ที่เป็นสัญญาณคลื่นพาห่ออกจากสัญญาณ AM ที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่แล้ว เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพด้านกำลังส่ง เมื่อทำการสกัดสัญญาณคลื่นพาห่ออก สัญญาณ DSB ที่ได้ก็จะเขียนได้ดังนี้

$$V_c(t) = A_c m(t) \cos \omega_c t \tag{1}$$

ตามลักษณะของสมการ (1) นี้ $V_c(t)$ จะมีค่ากลับเฟสทันทีตรงตำแหน่งที่ $m(t) \cong 0$ ดังนั้นค่ายอดคลื่นของสัญญาณหรือเอ็นเวลโลปที่ได้ก็จะเป็น $m(t)$ แทนที่จะเป็น $|m(t)|$ ในสภาพเช่นนี้เอ็นเวลโลปดีเทคชันก็จะใช้ไม่ได้ผล รูปที่ 2.7 แสดงตัวอย่างของสัญญาณ DSB นี้

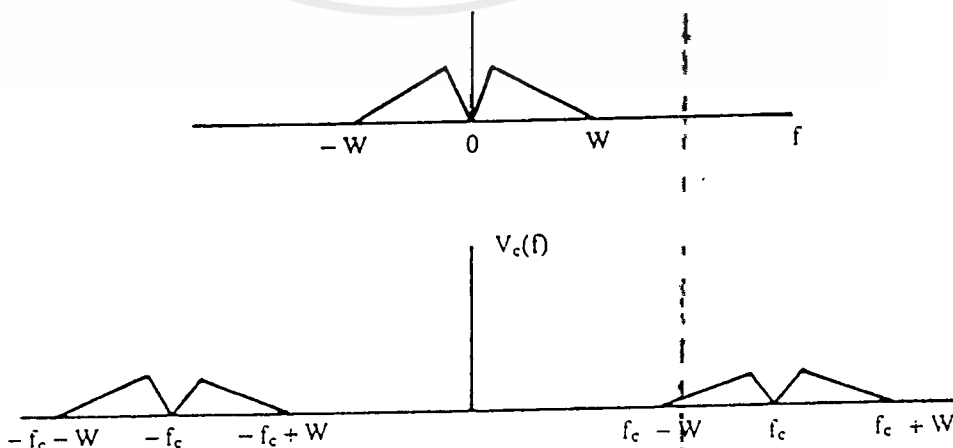


รูปที่ 2.7 ตัวอย่างของสัญญาณ DSB

เมื่อทำการหาสเปกตรัมของสัญญาณ DSB ตามสมการ (1) นี้ ก็จะได้ผลดังนี้

$$V_c(f) = A/2 [M(f+f_c) + M(f-f_c)] \tag{2}$$

ซึ่งรูปร่างของสเปกตรัมก็จะเหมือนกับของสัญญาณ AM ยกเว้นว่าไม่มีสเปกตรัมของสัญญาณคลื่นพาห่ออยู่เท่านั้น เพราะฉะนั้นเมื่อนำไปเขียนเป็นรูปของสเปกตรัมก็จะดังที่แสดงไว้รูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 สเปกตรัมของสัญญาณ DSB

เมื่อทำการพิจารณากำลังส่งสัญญาณ DSB นี้ เนื่องจากไม่ต้องส่งสัญญาณคลื่นพาห์ออกไปด้วย ดังนั้นกำลังส่งก็จะเหลือเพียงกำลังที่อยู่ในไซด์แบนด์ทั้งสองข้างดังนี้

$$P_{DSB} = 2P_{sb} = AC/2 \text{ [m (t)]} \quad \dots\dots\dots(3)$$

กำลังส่งที่ต้องใช้ในกรณีนี้เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีของสัญญาณ AM เราจะพบว่า การที่ไม่ต้องส่งสัญญาณคลื่นพาห์ออกไปด้วยจะทำให้ประหยัดกำลังส่งลงไปได้อย่างน้อยก็ครึ่งหนึ่งของกำลังส่ง ที่ใช้ในสัญญาณ AM การพิจารณาเรื่องเกี่ยวกับกำลังส่งนี้ในทางปฏิบัติยังต้องคำนึงถึงเงื่อนไขที่สำคัญอีกประการหนึ่ง คือ ค่ากำลังส่งสูงสุดที่เครื่องส่งจะทำงานได้ตามปกติ ค่ากำลังส่งสูงสุดนี้จะถูกกำหนดจากคุณสมบัติของเครื่องขยายกำลังที่ใช้อยู่เพราะเครื่องขยายกำลังจะเกิดการอิ่มตัว (Saturation) และทำให้สัญญาณขาออกผิดเพี้ยนไปจากสัญญาณขาเข้าเมื่อเราใส่สัญญาณขาเข้าที่มี ค่าสูงเกินไป ถ้าให้ ค่ากำลังส่งสูงสุดดังกล่าวนี้เป็น $A_{2max}/2$ แล้วทำการเปรียบเทียบกำลังที่จะใส่เข้าไปในไซด์แบนด์ของสัญญาณ DSB และสัญญาณ AM ได้ ก็จะเป็นการเปรียบเทียบกำลังของไซด์แบนด์ของสัญญาณทั้งสองภายใต้เงื่อนไขกำลังสูงสุดได้ ก่อนอื่นจะพิจารณากรณีของสัญญาณ DSB เนื่องจาก $[m^2(t)] < 1$ เพราะฉะนั้นจะสามารถให้ $A_c = A_{max}$ ได้ ซึ่งทำให้ P_{sb} ในกรณีนี้เท่ากับ $A_{2max}/4$ สำหรับกรณีของสัญญาณ AM เราจะพบว่าค่า A_c สูงสุดที่เป็นไปได้มันจะเท่ากับ $A_{max}/2$ ซึ่งจะพบว่า $P_{sb} = A_{2max}/16$ โดยสรุปแล้วจะได้

$$\text{กรณีของ DSB} \quad P_{sb} = A_{max}/4$$

$$\text{กรณีของ AM} \quad P_{sb} = A_{max}/16 \quad \dots\dots\dots(4)$$

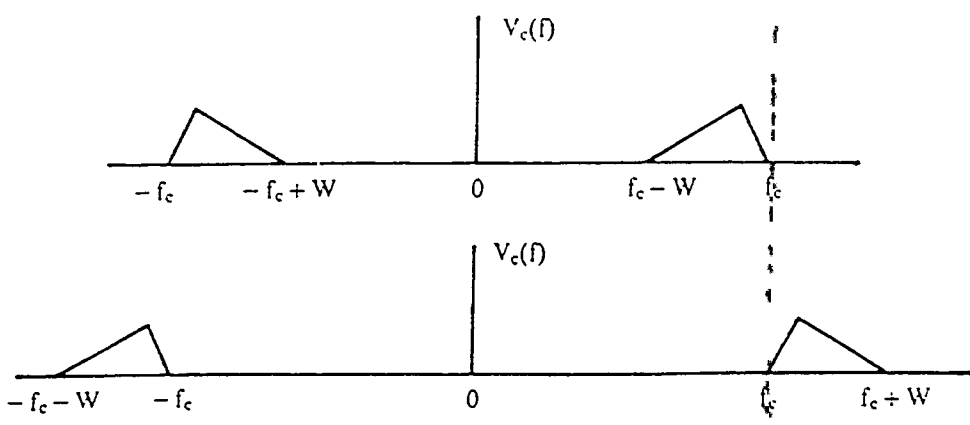
ซึ่งก็หมายความว่า ถ้ากำหนดกำลังส่งสูงสุดให้ ก็จะสามารถใส่กำลังให้กับสัญญาณไซด์แบนด์ของสัญญาณ DSB ได้สูงกว่าของสัญญาณ AM ถึง 4 เท่าตัวสัญญาณ DSB จึงมีการใช้กำลังมีประสิทธิภาพสูงกว่าของสัญญาณ AM 4 เท่าตัว แต่ก็มีข้อเสียเปรียบที่ไม่สามารถดีเทคสัญญาณแอมพลิจูดกลับมาได้โดยใช้วิธีเอนเวลโลปดีเทคชัน

2.2.2 การมอดูเลตแบบ SSB

การมอดูเลตแบบ SSB หรือ Single - sideband suppressed carrier modulation นี้ เป็นการมอดูเลตที่ จะให้สัญญาณที่มอดูเลตเรียบร้อยแล้วมีไซด์แบนด์ด้านเดียว และสัญญาณคลื่นพาห์ถูกสกัดออกเช่นเดียวกับการมอดูเลตแบบ DSB เมื่อเป็นเช่นนี้สัญญาณ SSB ก็จะต้องกำหนดวิดท์ เท่ากับแบนด์วิดท์ของสัญญาณแอมพลิจูดเท่านั้นคือ W ในขณะที่เดียวกันก็ไม่ส่งสัญญาณคลื่นพาห์อยู่ด้วย สัญญาณ SSB นี้จึงจัดว่าประสิทธิภาพทั้งในด้านของการใช้ แบนด์วิดท์ และการใช้ กำลังส่ง อย่างไรก็ตามอุปกรณ์เครื่องส่งและเครื่องรับก็จะยุ่งยากขึ้น ระบบนี้ในปัจจุบันก็ยังถูกใช้งานอย่างกว้างขวางในระบบสื่อสารที่ใช้ คลื่นสั้น (short wave communications) ซึ่งจะต้องส่งกันเป็นระยะทางไกล

ในการพิจารณาสเปกตรัมของสัญญาณ SSB นั้น ถ้าเขียนออกมาเป็นรูปก็จะได้รูปที่ 2.9 ซึ่งเหมือนกับของสัญญาณ DSB ที่กรองเอาไซด์แบนด์ด้านต่ำ หรือไซด์แบนด์ด้านสูงออกไปด้านหนึ่ง

เอกรินทร์ วัฒนวิทย์, อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 สเปกตรัมของสัญญาณ SSB

การเขียนสเปกตรัมของสัญญาณ SSB จากสเปกตรัมของสัญญาณแบบแบนด์นั้นถึงแม้จะทำได้ทันทีดังที่แสดงไว้ใน รูป 2.9 แต่การเขียนรูปของสัญญาณในอาณาจักรของเวลานั้น จะเขียนไม่ได้ง่าย ๆ เหมือนกรณีของสัญญาณ AM หรือสัญญาณ DSB กล่าวคือจะไม่สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสัญญาณแบบแบนด์คู่กับสัญญาณคลื่นพาห้ได้ เพราะถ้าเขียนในรูปนั้นก็จะมีไซด์แบนด์ออกมาทั้งสองด้านเสมอ อย่างไรก็ตาม ถ้าเราพิจารณาให้ถี่จะเห็นได้ว่าสัญญาณ SSB นั้นเป็นการเลื่อนความถี่ของสัญญาณแบบแบนด์ให้สูงขึ้น ดังนั้นถ้าเราพิจารณาเฉพาะความถี่ใดความถี่หนึ่งในสัญญาณแบบแบนด์เช่นความถี่ W_m เราจะสามารถเขียนสัญญาณ SSB ในอาณาจักรของเวลาส่วนประกอบความถี่ W_m ได้ดังนี้

$$V_c(t) = 1/2A_c A_m \cos(W_c + W_m) t \dots\dots\dots(5)$$

โดยที่เครื่องหมาย + แสดงถึงไซด์แบนด์ด้านสูง และเครื่องหมาย - แสดงถึงไซด์แบนด์ด้านต่ำ และถ้าเราพิจารณาสมการ (1) ให้ถี่จะเป็นได้ว่าสัญญาณที่มอดูเลตเข้ามาเป็นสัญญาณไซด์ที่มีความถี่เป็น W_m แต่จะมีขนาดของยอดคลื่นที่มีค่าคงที่ ในลักษณะของรูปคลื่นแบบนี้ เราจะไม่สามารถใช้การตีเทคแบบเอ็นเวลโลปตีเทคชันได้อย่างแน่นอน

เมื่อเราพิจารณาในด้านของกำลังส่ง ก็จะพบว่าสัญญาณ SSB นี้จะใช้ กำลังส่งเป็นครึ่งหนึ่งของสัญญาณ DSB กล่าวคือจากสมการ (3) ในหัวข้อ 2.2.1 จะได้กำลังส่งของสัญญาณ SSB ในรูปต่อไปนี้

$$P_{SSB} = 1/2P_{DSB} = P_{SB} = A_c^2/4 [m^2(t)] \dots\dots\dots(6)$$

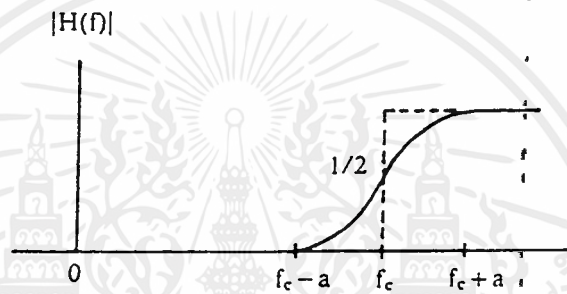
เมื่อกล่าวโดยสรุปแล้วสัญญาณ SSB ก็จะเป็นสัญญาณที่มีประสิทธิภาพในเชิงของการใช้กำลังส่งและในเชิงของการใช้แบนด์วิดท์มากที่สุด แต่มันก็มีความยุ่งยากในการสร้างเครื่องส่งและเครื่องรับ นอกจากนั้นจะไม่สามารถส่งส่วนประกอบของกระแสดรงได้ โดยที่ไม่มีไซด์แบนด์ของอีกด้านหนึ่งพ่วงเข้ามาด้วย

2.2.3 การมอดูเลตแบบ VSB

การมอดูเลตแบบ VSB นี้ย่อมาจากคำว่า Vestigial sideband modulation ซึ่งหมายถึงวิธีมอดูเลตที่จะให้สัญญาณไซด์แบนด์ด้านหนึ่งส่งออกไปได้อย่างเกือบเต็มที่แต่ไซด์แบนด์อีกด้านหนึ่งจะส่งออกไปเพียงส่วนน้อยแต่ทำให้สามารถรู้ร่องรอยของข่าวสารที่อยู่ในไซด์แบนด์นั้นได้ การมอดูเลตแบบ VSB นี้จะ

เหมือนกับเป็นการประนีประนอมระหว่างการมอดูเลตแบบ DSB กับการมอดูเลตแบบ SSB กล่าวคือ การมอดูเลตแบบ DSB นั้นจะสามารถส่งผ่านสัญญาณที่มีส่วนประกอบกระแสตรงและความถี่ต่ำได้ดี แต่ต้องกาแบนด์วิดท์ $2W$ ในขณะที่การมอดูเลตแบบ SSB นั้นต้องการแบนด์วิดท์แคบคือ W แต่ไม่สามารถส่งผ่านสัญญาณที่มีส่วนประกอบกระแสตรงและความถี่ต่ำได้ดี ตัวอย่างของสัญญาณที่มีส่วนประกอบกระแสตรงและความถี่ต่ำที่มีความหมายก็ได้แก่ สัญญาณวีดิโอ สัญญาณโทรสารและสัญญาณข้อมูลเป็นต้น การมอดูเลตแบบ VSB นี้จะมีอยู่ 2 แบบด้วยกัน คือ แบบที่ไม่มีสัญญาณคลื่นพาห์อยู่ กับแบบที่มีสัญญาณคลื่นพาห์อยู่ แบบแรกนั้นจะสร้างได้จากสัญญาณ DSB ในขณะที่แบบหลังสร้างได้จากสัญญาณ AM

การสร้างสัญญาณ VSB นี้จะทำได้โดยใช้ฟิลเตอร์ที่มี คุณสมบัติสมมาตรเชิงครึ่งรอบความถี่คลื่นพาห์ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.10 กล่าวคือส่วนที่ถูกรองออกจากไซด์แบนด์หลักจะเท่ากับส่วนที่เหลือ

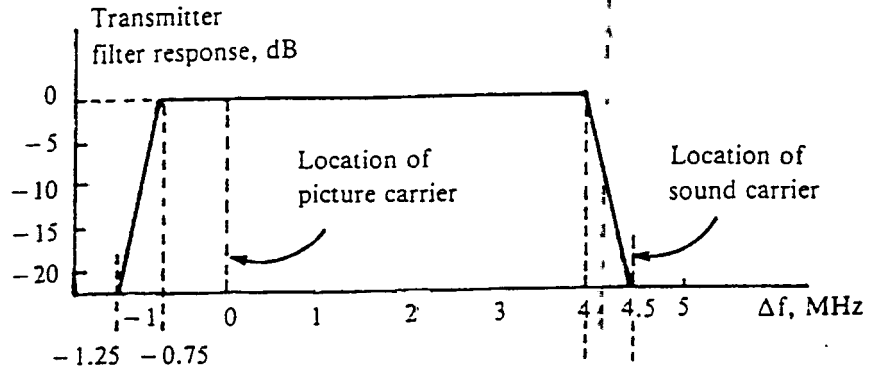


รูปที่ 2.10 คุณสมบัติของฟิลเตอร์ที่ใช้สร้างสัญญาณ VSB

จากการถูกรองในอีกไซด์แบนด์หนึ่ง ถ้าช่วงความถี่ที่ฟิลเตอร์เริ่มตัดสัญญาณหมดกับเริ่มปล่อยสัญญาณหมดเป็น $2a$ แบนด์วิดท์ที่สัญญาณ VSB ต้องการก็จะเท่ากับ $W+a$ อย่างไรก็ตามในกรณีนี้ $2a$ มีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับ W แบนด์วิดท์ที่ต้องการนั้นอาจประมาณได้ว่าเท่ากับ W

ในการพิจารณารูปร่างของสัญญาณ VSB ในอาณาจักรของเวลา นั้นจะยุ่งยากกว่าของสัญญาณ SSB ขึ้นไปอีก เพราะจะต้องมีคุณสมบัติในการตอบสนองความถี่ของฟิลเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นในที่นี้จะไม่ขอกล่าวถึงรายละเอียดในส่วนนี้ การพิจารณากำลังส่งของสัญญาณ VSB นี้จะต้องแยกออกเป็น 2 กรณีตามชนิดของสัญญาณ VSB นั้น กล่าวคือถ้าเป็นสัญญาณ VSB แบบไม่มีสัญญาณคลื่นพาห์ จากคุณสมบัติของฟิลเตอร์ที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี จะเห็นได้ว่ากำลังส่งของสัญญาณแบบนี้จะไม่ต่างไปจากกำลังส่งของสัญญาณ SSB มากนัก ถ้าเป็นกรณีที่มีสัญญาณคลื่นพาห์อยู่ด้วยก็ยิ่งขึ้น อยู่กับว่าสัญญาณคลื่นพาห์นั้นถูกฟิลเตอร์ออกไปบางส่วนด้วยหรือไม่ ถ้าไม่ถูกฟิลเตอร์ออกไปเลย เช่น สัญญาณโทรทัศน์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน กำลังส่งของสัญญาณก็จะสูงขึ้นคือมีกำลังของสัญญาณคลื่นพาห์และกำลังของไซด์แบนด์ ส่วนที่เหลือในอีกด้านหนึ่งบวกเข้ามาด้วย เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วเราอาจสรุปได้ว่ากำลังส่งของสัญญาณ VSB จะอยู่ในช่วงระหว่างกำลังส่งของสัญญาณ SSB กับกำลังส่งของสัญญาณ AM รูปที่ 2.11 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณ VSB ที่ใช้ส่งในระบบโทรทัศน์ในปัจจุบัน สัญญาณนี้ได้จากการจัดการกับสเปกตรัมของสัญญาณ AM ซึ่งสัญญาณคลื่นพาห์จะถูกคงไว้เพื่อให้งจรทางเครื่องรับสามารถใช้วิธีเอนเวลโลปดิเทคชันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่โดยนโยบายด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



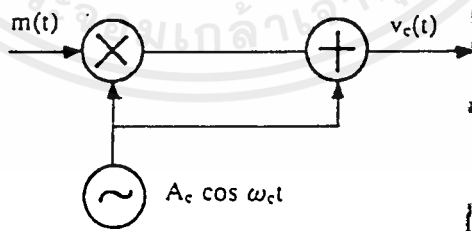
รูปที่ 2.11 สัญญาณ VSB ที่ใช้ส่งในระบบโทรทัศน์ระบบ NTSC

2.3 การสร้างสัญญาณมอดูเลตเชิงขนาด

สัญญาณที่มีการมอดูเลตเชิงขนาดที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้แก่ สัญญาณ AM สัญญาณ DSB สัญญาณ SSB และสัญญาณ VSB นั้น ถ้าพิจารณาที่สเปกตรัมของสัญญาณเหล่านี้ จะเห็นได้ว่ามีความถี่เปลี่ยนไปจากสัญญาณเบสแบนด์เดิม หรือถ้าพิจารณาสัญญาณในอาณาจักรของเวลา ก็จะพบว่ามีเทอมที่เป็นผลคูณของสัญญาณเบสแบนด์กับสัญญาณคลื่นพาห้อยู่ การที่ความถี่ของสัญญาณที่มอดูเลตแล้วเปลี่ยนไปจากความถี่เบสแบนด์ ของสัญญาณนั้นเป็นการบ่งบอกว่าวงจรมอดูเลตจะไม่ใช้ระบบเชิงเส้นที่ไม่มี การเปลี่ยนแปลงตามเวลา เพราะระบบเชิงเส้นที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เพราะระบบเชิงเส้นที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา จะไม่สามารถให้กำเนิดสัญญาณขาออกที่มีความถี่เปลี่ยนไปจากสัญญาณขาเข้า ดังนั้นวงจรที่ให้กำเนิดสัญญาณดังกล่าวข้างต้นนั้นจึงเป็นวงจรแบบไม่เป็นเชิงเส้น ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงหลักการในการสร้างสัญญาณเหล่านี้ซึ่งสิ่งที่เป็นหัวใจ สำคัญก็คือวงจรสร้างผลคูณของสัญญาณนั่นเอง

2.3.1 มอดูเลเตอร์แบบผลคูณ (product modulation)

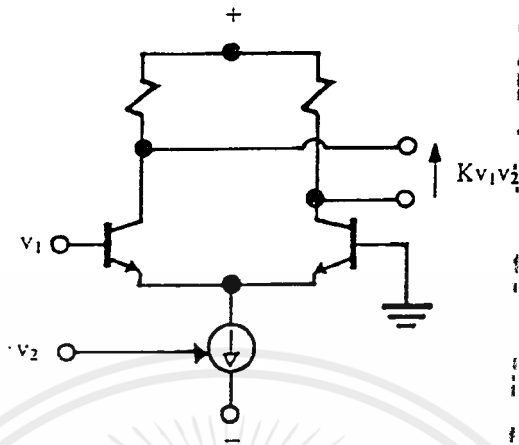
มอดูเลเตอร์แบบผลคูณ จะเป็นวงจรที่สร้างผลคูณของสัญญาณเบสแบนด์กับสัญญาณคลื่นพาห้ ถ้าเขียนเป็นบล็อกไดอะแกรมก็จะเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.12 ในรูปได้แสดงบล็อกไดอะแกรมของกรณีนี้



รูปที่ 2.12 มอดูเลเตอร์แบบผลคูณ

เป็นการสร้างสัญญาณ AM ถ้าเป็นสัญญาณ DSB ก็จะต้องการแต่งวงจรคูณอย่างเดียวไม่ต้องมีวงจรวก การสร้างวงจรมอดูเลตนั้นจะทำได้หลายแบบ และแบบที่นิยมใช้แบบหนึ่งก็คือ วงจรคูณแบบแวลูทรานสคอนดักแตนซ์ (variable transconductance multiplier) ซึ่งแสดงไว้ในรูปที่ 2.13 ลักษณะของวงจรจะเป็นวงจรเป็นวงจรมอดูเลตแบบดิฟเฟอเรนเชียล ซึ่งอัตราขยายของวงจรจะขึ้นอยู่กับค่าทรานสคอนดักแตนซ์ทรานซิสเตอร์ ดังนั้น V_2 จะเป็นสัญญาณที่ควบคุมอัตราขยายของวงจรเพราะจะเป็นตัวที่ทำให้กระแสโวลเตจเปลี่ยน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อป้อน V_1 เข้าที่ขั้วเบสของทรานซิสเตอร์ และอัตราขยายเปลี่ยนแปลงตามค่า V_2 สัญญาณขาออกที่ได้ก็จะมีรูปร่างเป็น Kv_1v_2 ซึ่งจะได้ผลคูณของสัญญาณทั้งสองออกมาตามต้องการ

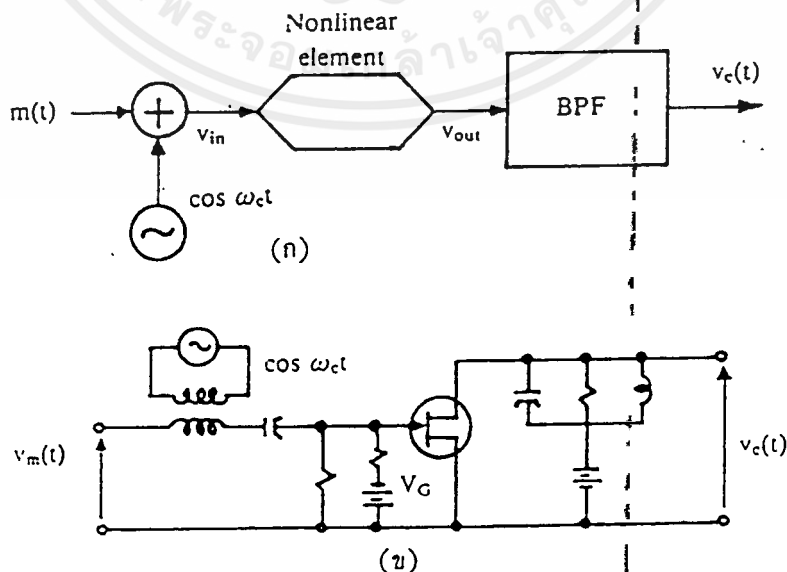


รูปที่ 2.13 วงจรแวลูเอเบิลทรานสคอนดักแตนซ์

สำหรับวงจรพวกนั้นจะสร้างได้โดยใช้ขอปแอมป์วงจรที่ยกตัวอย่างมานี้เป็นวงจรที่ง่าย และทำเป็นไอซีได้ง่าย แต่ก็มีข้อจำกัดที่กำลังของสัญญาณที่จัดการได้นั้นจะมีค่าต่ำ

2.3.2 มอดูเลเตอร์แบบกฎกำลังสองและมอดูเลเตอร์แบบบาลานซ์

มอดูเลเตอร์แบบกฎกำลังสองเป็นมอดูเลเตอร์ที่ใช้ประโยชน์จากความไม่เป็นเชิงเส้นของชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ทรานซิสเตอร์ หรือไดโอด เป็นต้น รูปที่ 2.14 แสดงบล็อกไดอะแกรมและตัวอย่างวงจรที่ใช้ทรานซิสเตอร์ในการสร้างสัญญาณ AM โดยมีวงจร LC เป็นวงจรฟิลเตอร์ที่จะกรองเอาเฉพาะความถี่ช่วงที่ต้องการออกมา ตามกฎกำลังสองนั้นเราจะสมมุติว่า ความไม่เป็นเชิงเส้นของวงจรทำให้สัญญาณขาออกสามารถเขียนอยู่ในรูปของสัญญาณขาเข้าในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 2.14 บล็อกไดอะแกรมและตัวอย่างของวงจรมอดูเลตสัญญาณ AM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวคือ สัญญาณขาออกจะมีเทอมที่แปรตามกำลังสองของสัญญาณขาเข้าพร้อม ๆ กับเทอมที่แปรตามสัญญาณขาเข้า ดังนั้นถ้าสัญญาณขาเข้าเป็น $V_m(t) + \cos Wct$ ก็จะเขียนสัญญาณขาออกได้ในรูปต่อไปนี้

$$V_o = A_1V_m(t) + A_2V_m(t) + A_2\cos Wct + A_1[1+2A_2/A_1 V_m(t)] \cos Wct \dots\dots\dots(7)$$

จะเห็นได้ว่าเทอมสุดท้ายเป็นเทอมที่เป็นสัญญาณ AM ที่ต้องการ เพราะฉะนั้นถ้าสามารถกรองเอาเทอมอื่นออกได้หมดก็จะได้สัญญาณ AM เหลือออกมาเท่านั้น การพิจารณาว่าจะสามารถกรองเทอมอื่นออกได้หรือไม่ นั้นจะสามารถทำได้โดยพิจารณาที่สเปกตรัมของแต่ละเทอมว่ามาซ้อนทับกับสเปกตรัมของสัญญาณ AM หรือไม่ ถ้าไม่มาซ้อนทับ และห่างกันพอสมควรก็จะสามารถกรองเอาเฉพาะสัญญาณ AM ออกมาได้ ถ้าพิจารณาสัญญาณขาออกในสมการ (7) จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมของสัญญาณเทอมอื่น ๆ นั้นชัดเจนอยู่แล้ว ยกเว้นเทอมที่สองคือ

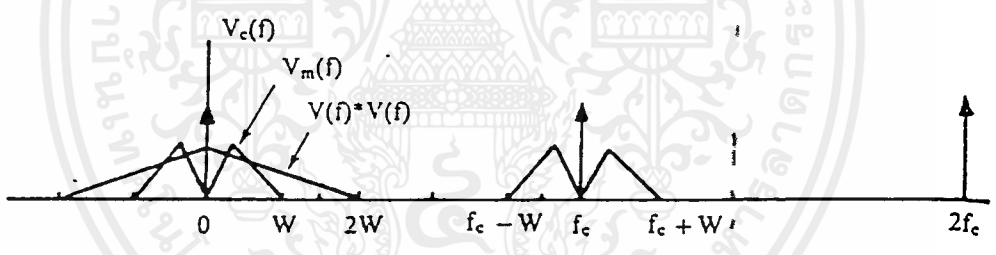
การหาฟูเรียร์ทรานสฟอร์มของเทอมนี้จะทำได้โดยอาศัยหลักการหาฟูเรียร์ทรานสฟอร์มของคอนโวลูชัน ของสัญญาณกล่าวคือ ถ้า $h(t) \rightarrow H(f)$ และ $x(t) \rightarrow X(f)$ จะได้

$$h(t)*x(t) \longleftrightarrow H(f)X(f)$$

และ $h(t)x(t) \longleftrightarrow H(f)*X(f) \dots\dots\dots(8)$

เพราะฉะนั้น ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มของ $a_2V_m(t)$ ก็จะเขียนได้เป็น

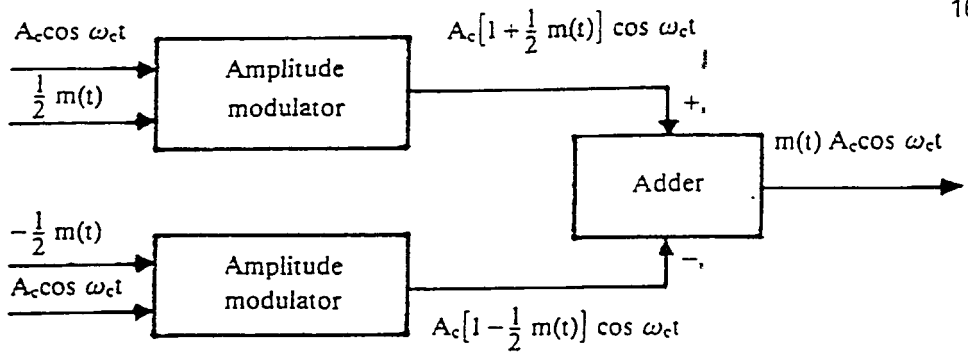
$$A_2V_m(t) \longleftrightarrow A_2V(f)*V(f) \dots\dots\dots(9)$$



รูปที่ 2.15 สเปกตรัมของสัญญาณขาออกตามสมการ (7)

ซึ่งหมายความว่าถ้าสัญญาณ $V_m(t)$ มีแบนด์วิดท์เป็น W สัญญาณ $V_2m(t)$ ก็จะมีแบนด์วิดท์กว้างได้เป็น $2W$ รูปที่ 2.15 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณขาออกทั้งหมดในสมการ (7) ตามรูปจะเป็นได้ว่าถ้าสัญญาณแบนด์วิดท์มีแบนด์วิดท์เป็น W ความถี่ของสัญญาณคลื่นพาหือคือ f_c จะต้องสูงกว่า $3W$ เป็นอย่างน้อยเมื่อใช้ f_c สูงเพียงพอ ก็จะสามารถกรองเอาเฉพาะสัญญาณ AM ออกมาได้โดยใช้ฟิลเตอร์ผ่านแถบความถี่ที่มีแบนด์วิดท์เป็น $2W$ และมีความถี่ศูนย์กลางอยู่ที่ f_c

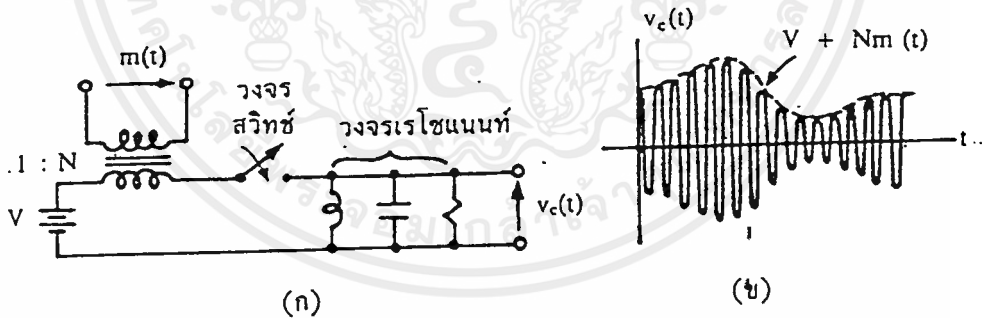
จากสมการ (7) และรูปสเปกตรัมในรูปที่ 2.15 จะเห็นได้ว่า $a_1 \neq 0$ สัญญาณขาออก $V_c(t)$ ก็จะมีเทอมที่แปรตามกำลังสองของสัญญาณขาเข้าเท่านั้น ซึ่งจะทำให้ไม่มีสเปกตรัมของ f_c เกิดขึ้นสัญญาณขาออกที่ได้ก็จะกลายเป็นสัญญาณ DSB ไป อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ นั้นจะหาวงจรที่มีการตอบสนองตามที่ต้องการนี้ลำบากมาก ดังนั้นโดยทั่วไปจึงมักจะใช้มอดูเลเตอร์แบบ AM ที่เหมือนกัน 2 ชุด มาสร้างสัญญาณ AM ที่มีรูปร่างเป็น $A_c[1+1/2m(t)] \cos Wct$ และ $A_c[1-1/2m(t)] \cos Wct$ ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 บล็อกไดอะแกรมของมอดูเลเตอร์แบบบาลานซ์ที่ใช้สร้างสัญญาณ DSB

2.3.3 มอดูเลเตอร์แบบสวิตชิง (switching modulator)

ในกรณีส่งสัญญาณ AM ด้วยกำลังส่งสูง ๆ เช่น ในสถานีวิทยุกระจายเสียง AM นั้น อาจทำได้โดยใช้วงจรขยายกำลังที่ความถี่ที่จะส่งออก อย่างไรก็ตามวงจรขยายกำลังสูงนั้นมักจะมีปัญหาในเรื่องของความเป็นเชิงเส้น ซึ่งจะทำให้สัญญาณผิดเพี้ยนไป และทำให้เกิดสเปกตรัมของความถี่อื่น ๆ นอกแถบความถี่ของสัญญาณได้ ดังนั้นในระยะหลังนี้ จึงมักจะใช้วิธีขยายสัญญาณแบบแบนด์พาสที่มีขนาดใหญ่ความต้องการเสียบก่อนแล้วจึงมอดูเลตเข้ากับสัญญาณคลื่นพาห์โดยใช้วิธีสวิตชิง รูปที่ 2.17 แสดงหลักการทำงานของมอดูเลเตอร์แบบนี้ สัญญาณที่ผ่านการสวิตช์นั้นตอนแรกจะเป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม แต่เมื่อผ่านวงจรเทงคซึ่งเป็นวงจรเรโซแนนท์ RLC แบบขนานก็จะได้คลื่นรูปไซน์ออกมา เมื่อเราตั้งความถี่ของสวิตช์ให้เป็น f_c และตั้งความถี่เรโซแนนท์ของวงจรเรโซแนนท์ให้ตรงกัน สัญญาณขาออกจากมอดูเลเตอร์ก็จะเป็นสัญญาณ AM ที่มีคลื่นพาห์ความถี่ f_c

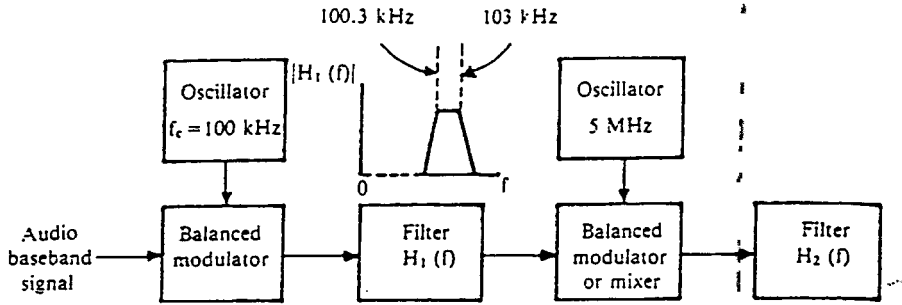


รูปที่ 2.17 หลักการทำงานของมอดูเลเตอร์แบบสวิตชิง

2.3.4 การสร้างสัญญาณ SSB และ VSB

ในการสร้างสัญญาณ SSB นั้น โดยหลักการแล้วจะสามารถสร้างจากสัญญาณ DSB ได้ โดยทำการกรองเฉพาะไซด์แบนด์ ด้านใดด้านหนึ่งออกมา อย่างไรก็ตามเนื่องจากสัญญาณที่ส่งเช่นสัญญาณเสียงพูดจะมีความถี่ที่ต่ำได้ถึงประมาณ 70 Hz ดังนั้นจะเป็นการยากลำบากมากที่จะหาฟิลเตอร์ที่สามารถกรองความถี่ได้คมถึงขนาดนี้ ในทางปฏิบัตินั้นเราจะช่วยให้การสร้างสัญญาณ SSB ทำให้ง่ายขึ้น โดยการมอดูเลตแบบบาลานซ์ 2 ชั้น ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.18 และอาจจะช่วยอีกอย่างหนึ่ง โดยการจำกัดความถี่ต่ำโดย

สัญญาณเสียงให้เป็น 300 Hz เพื่อให้การกรองสัญญาณทำได้ง่ายขึ้น การมอดูเลต 2 ชั้นตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.18 นี้จะช่วยให้การสร้างสัญญาณ SSB ง่ายขึ้นดังนี้คือ ถ้าให้สัญญาณ



รูปที่ 2.18 การสร้างสัญญาณ SSB โดยการมอดูเลต 2 ชั้น

เบสแบนด์มีความถี่ 300-3,000 Hz สัญญาณที่ผ่านการมอดูเลตขั้นที่ 1 จะมีความถี่ไซด์แบนด์ต่ำเป็น 97-99.7 kHz และไซด์แบนด์ด้านสูงเป็น 100.3-103 kHz ซึ่งจะเห็นได้ว่าในขั้นแรกนี้ความถี่ห่างกัน ระหว่างไซด์แบนด์ทั้งสองจะเป็น 600 Hz ซึ่งจะใช้ฟิลเตอร์กรองได้ดีระดับหนึ่ง เมื่อผ่านฟิลเตอร์ขั้นที่หนึ่งกรองเฉพาะความถี่ในไซด์แบนด์สูงไปมอดูเลตขั้นที่สองต่อไป สัญญาณ DSB ที่ได้ออกมาจะมีความถี่ในไซด์แบนด์ต่ำเป็น 4,897-4,899.7 kHz และมีความถี่ในไซด์แบนด์สูงเป็น 5,100.3-5,103 kHz ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่วงห่างของไซด์แบนด์ทั้งสองจะขยายกว้างขึ้นเป็น 200.6 kHz ซึ่งก็จะสามารถกรองเอาเฉพาะไซด์ ด้านในด้านหนึ่งออกไปได้ง่ายขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับทำการมอดูเลตเพียงชั้นเดียวโดยใช้ $f_c = 5000$ kHz ซึ่งจะได้ช่วงห่างของไซด์แบนด์สูงและไซด์แบนด์ต่ำเพียง 600 Hz ก็นับว่าการสร้างฟิลเตอร์ก็จะง่ายขึ้นมาก อนึ่งการตีมอดูเลตก็ทำได้โดยการย้อนขั้นตอนในรูปที่ 2.18

สำหรับการสร้างสัญญาณ VSB นั้นถ้าเป็นแบบที่มีคลื่นพาห้อยู่ด้วย ก็สร้างจากสัญญาณ AM โดยใช้ฟิลเตอร์กรองเป็นสเปกตรัมไซด์แบนด์ด้าน ที่ไม่ต้องการออกเป็นส่วนใหญ่ ตัวอย่างของสัญญาณ VSB ที่ใช้มากที่สุดก็คือสัญญาณที่ใช้ส่งโทรทัศน์ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.11 สำหรับสัญญาณ VSB แบบไม่มีคลื่นพานั้นจะสร้างได้จากสัญญาณ DSB แต่จะไม่มีใช้มากนัก เพราะสัญญาณนี้จะใกล้เคียงกับสัญญาณ SSB มาก

2.4 การตีมอดูเลตสัญญาณที่มีการมอดูเลตเชิงขนาด

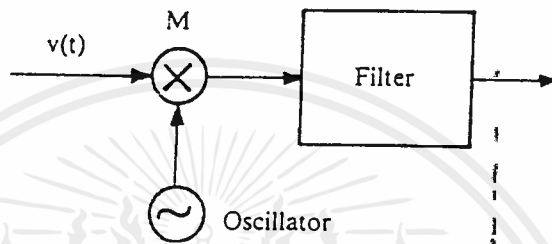
สัญญาณที่ได้รับการมอดูเลตเชิงขนาดนั้น จะเป็นสัญญาณแบบเบสแบนด์ที่ถูกเลื่อนความถี่ให้สูงขึ้น ดังที่กล่าวมา ดังนั้นการตีมอดูเลตสัญญาณก็จะเป็นกระบวนการในการเลื่อนความถี่นั้นให้กลับมาอยู่ที่ความถี่เบสแบนด์อย่างเดิม ซึ่งอาจจะทำได้หลายวิธี เช่น ทำการตีเทคเป็นความถี่เบสแบนด์เลย หรือทำการแปลงเป็นความถี่ที่ต่ำลงขั้นหนึ่งก่อน แล้วค่อยขยายแล้วตีเทคสัญญาณเบสแบนด์ต่อไป การแปลงความถี่จึงจัดว่าเป็นกระบวนการพื้นฐานในการตีมอดูเลตสัญญาณ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงขอกล่าวถึงการแปลงความถี่ก่อน แล้วจึงต่อด้วยการตีมอดูเลตแบบเอ็นเวลโลปตีเทคขึ้น และซิงโครไนส์ตีเทคขึ้นต่อไป

2.4.1 การแปลงความถี่ของสัญญาณเราได้กล่าวไว้ว่าในการสร้างสัญญาณ AM หรือสัญญาณ DSB นั้น เรา

อาจทำได้โดยใช้วงจรคูณ เพราะวงจรคูณ จะทำการคูณสัญญาณเบสแบนด์กับสัญญาณคลื่นพาหุทำให้
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สงวนการนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดการเลื่อนความถี่สูงขึ้นได้ ในทำนองเดียวกันถ้าเรามีสัญญาณ AM หรือสัญญาณแบบอื่นเข้ามา เราก็สามารถใช้วงจรคูณในการเลื่อนสัญญาณที่กล่าวถึงนี้ ถ้าให้สัญญาณขาเข้าเป็นสัญญาณ AM ที่เขียนได้เป็น เมื่อเราคูณสัญญาณจากซิลเลเตอร์ที่มีความถี่เป็น W_o เราก็จะได้สัญญาณผลคูณที่เขียนได้ในรูปต่อไปนี้

$$\begin{aligned} V(t)\cos W_o t &= A_c [1+V_m(t)] \cos W_c t \cos W_o t \\ &= A_c/2 [1+V_m(t)] \cos(W_c + W_o)t \\ &\quad + A_c/2 [1+V_m(t)] \cos(W_c - W_o)t \end{aligned} \dots\dots\dots(10)$$



รูปที่ 2.19 ระบบแปลงความถี่ของสัญญาณที่ใช้วงจรคูณ

ซึ่งจะเห็นได้ว่ารูปร่างของสัญญาณก็ยังคงเป็นสัญญาณ AM อยู่ แต่ขนาดจะลดลงครึ่งหนึ่ง และความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห้จะถูกแปลงได้อยู่ที่ W_c+W_o และ W_c-W_o ถ้า W_o ใหญ่กว่าแบนด์วิดท์ของสัญญาณเบสแบนด์เราก็จะใช้ฟิลเตอร์กรองเอาเฉพาะความถี่ด้านสูงหรือความถี่ต่ำด้านใดด้านหนึ่งออกมาได้ ถ้าฟิลเตอร์เอาสัญญาณด้านความถี่สูงขึ้นออกมาก็จะเป็นการแปลงความถี่ให้สูงขึ้น และเรียกกงจรที่แปลงความถี่นี้ว่าอัพคอนเวอร์เตอร์ (up-converter) ในทำนองเดียวกันถ้ากรองเอาสัญญาณด้านความถี่ต่ำลงออกมา เราก็เรียกกงจรนั้นว่าดาวน์คอนเวอร์เตอร์ (down - converter) ในกรณีของเครื่องรับทั่วไปนั้น เรามักใช้ดาวน์คอนเวอร์เตอร์มากกว่าอัพคอนเวอร์เตอร์ เพราะการจัดการกับความถี่ที่ต่ำลงมักจะง่ายกว่าการจัดการกับความถี่ที่สูงขึ้น กระบวนการที่เราแปลงความถี่นี้เรียกกันทั่วไปว่า มิกซิง (Mixing) หรือการทำเฮเทอโรไดน์ (heterodyning) เครื่องรับที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ส่วนใหญ่จะใช้วิธีการที่กล่าวมานี้ ;

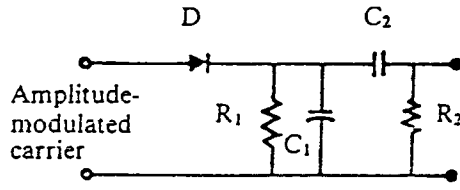
การแปลงความถี่ที่กล่าวมา นอกจากจะใช้ประโยชน์ในการตีמודูเลตสัญญาณสื่อสารแล้วยังสามารถใช้ประโยชน์ทางด้านอื่นได้อีกมากมาย เช่น ใช้ในเครื่องวิเคราะห์ความถี่ (spectrum analyzer) ใช้ในการสแกนเบสสัญญาณเสียง ใช้ในการสร้างฮอสซิลเลเตอร์ เป็นต้น

2.4.2 เอ็นเวลโลปต์เทคชัน

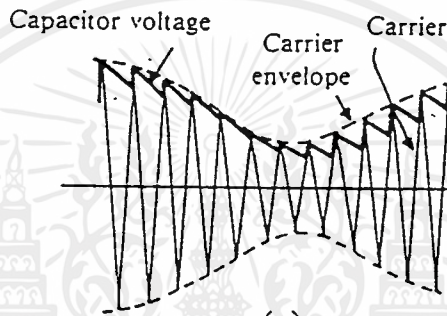
ดังที่ได้กล่าวไว้บ้างแล้วในตอนต้นของบทนี้ เอ็นเวลโลปต์เทคชันซึ่งหมายถึงการกรองเอาเอ็นเวลโลปของสัญญาณ AM ออกมาเป็นวิธีการที่ง่ายและสะดวกในการสร้างวงจรมาก ตัวอย่างวงจรง่าย ๆ ที่สามารถทำหน้าที่นี้คือ วงจรที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.20 โดโอดในวงจรจะกรองสัญญาณด้านบวกให้ผ่านไปได้ ในขณะที่ $R1C1$ ซึ่งทำหน้าที่เป็นฟิลเตอร์ผ่านความถี่ต่ำจะกรองเอาส่วนที่เป็นเอ็นเวลโลปออกมา การที่วงจร $R1C1$ จะทำงานได้นั้นไทม์คอนสแตนท์ (time constant) ของวงจรหรือ $R1C1$ นั้น เมื่อเทียบกับคาบของ

สัญญาณคลื่นพาทจะต้องยาวกว่ามาก ๆ ในขณะเดียวกันเมื่อเทียบกับสัญญาณเบสแบนด์ก็จะต้องสั้นกว่า หรือมีการเปลี่ยนแปลงที่เร็วกว่า ถ้าเขียนในรูปของความถี่กระแจะงอนไขออกมามดังนี้

$$W \ll 1/R_1C_1 \ll f_c \dots\dots\dots(11)$$



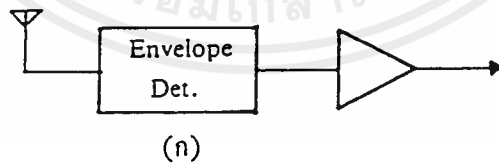
(ก)



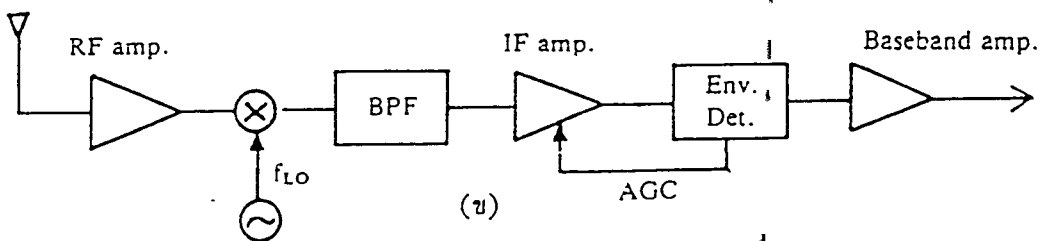
(ข)

รูปที่ 2.20 ตัวอย่างวงจรเอนเวลโปลดีเทคชั่น

สำหรับ R2C2 นั้นจะทำหน้าที่สกัดส่วนประกอบกระแสตรงออก และมักจะสกัดความถี่ต่ำ ๆ ออกด้วย ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เอนเวลโปลดีเทคชั่นไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในงานที่ส่วนประกอบความถี่ต่ำ มีความหมายมาก



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.21 การรับสัญญาณ AM (ก) แบบเอนเวลโปลดีเทคชั่น (ข) แบบซูเปอร์เฮเตอร์ไรโด

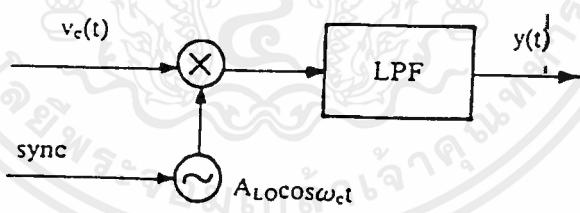
ในเครื่องรับของสัญญาณ AM นั้น เราอาจจะนำคลื่นที่รับได้จากสายอากาศมาทำเป็นเวโลปดีเทคชันโดยตรง แล้วนำสัญญาณที่ดีเทคได้ไปขยายออกลำโพงดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.21(ก) แต่โดยทั่วไปสัญญาณที่รับมาได้ จากสายอากาศมักจะมีกำลังต่ำ ถ้านำไปดีเทคชันที่ก็อาจจะมีความถี่เกินไปที่จะนำไปขยายต่อให้มี คุณภาพดี ได้ ดังนั้นโดยทั่วไปจึงมักจะใช้วิธีแสดงไว้ในรูปที่ 2.21 (ข) คือ ใช้วงจรขยายทำวงจรขยายสัญญาณที่รับมาได้ ขึ้นหนึ่งก่อน และเพื่อให้คุณสมบัติของการรับดีขึ้น เรามักจะใช้มิกเซอร์แปลงความถี่ให้ต่ำลงเป็นความถี่ IF (intermediate frequency) แล้วทำการขยายสัญญาณในย่านความถี่ IF อีกขึ้นหนึ่งก่อน แล้วจึงทำการเป็น เวโลปดีเทคชัน การรับสัญญาณในลักษณะที่กล่าวมานี้ เราเรียกว่า แบบซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ (super-heterodyne) อนึ่งวิทยุ AM ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นมีความถี่ IF เป็น 455 kHz

2.4.3 ซิงโครนัสดีเทคชัน (synchronous detection)

ซิงโครนัสดีเทคชัน หรือบางครั้งเรียกว่า โคฮีเรนต์ดีเทคชัน (coherent detection) คือวิธีการดี เทคสัญญาณโดยใช้สัญญาณจากโลคอลออสซิลเลเตอร์ (local oscillator) คูณเข้ากับสัญญาณที่รับเข้ามา โดยที่สัญญาณจากโลคอลออสซิลเลเตอร์จะซิงโครไนซ์กับสัญญาณคลื่นพาห้ทั้งความถี่และเฟส จากหลัก การแปลงความถี่ของสัญญาณที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4.1 ถ้าพิจารณาสมการ (10) จะเห็นได้ว่า ถ้าความถี่ของ โลคอลออสซิลเลเตอร์คือ ω_o เท่ากับ ω_c เราจะได้สัญญาณผลคูณออกมาในรูปต่อไปนี้

$$V(t)\cos\omega_c t = A_c/2[1+V_m(t)] + A_c/2[1+V_m(t)] \cos 2\omega_c t \dots\dots\dots(12)$$

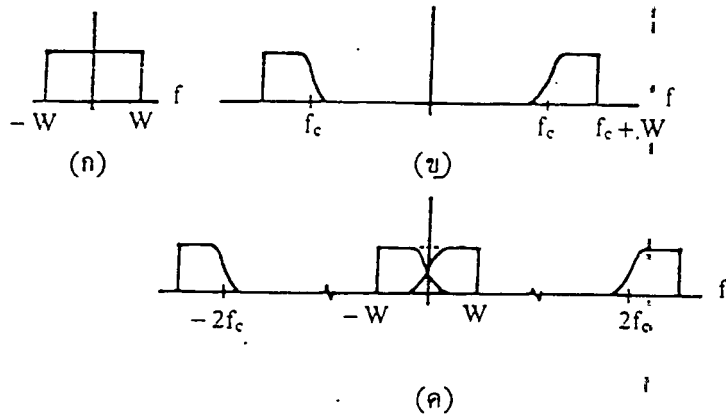
ซึ่งจะประกอบด้วยสัญญาณเบสแบนด์กับสัญญาณ AM ที่มีความถี่ คลื่นพาห้เป็น $2\omega_c$ เราก็จะสามารถกรอง เอาเฉพาะส่วนที่เป็นสัญญาณเบสแบนด์ ออกมาได้โดยใช้ฟิลเตอร์ผ่านความถี่ต่ำที่มี แบนด์วิดท์เป็น ω หรือ ใหญ่กว่า ω เล็กน้อย รูปที่ 2.22 แสดงบล็อกไดอะแกรมของหลักการที่อธิบายมานี้



รูปที่ 2.22 บล็อกไดอะแกรมของซิงโครนัสดีเทคชัน

ถึงแม้สมการ (12) จะแสดงกรณีของสัญญาณในระบบ AM ในกรณีของสัญญาณ DSB ก็จะมีเห็นได้ว่าใช้ได้ เช่นเดียวกัน โดยที่เทอมที่เป็น $A_c/2$ และ $(A_c \cos 2\omega_c t)/2$ จะไม่ปรากฏออกมาเท่านั้นเอง สำหรับสัญญาณ แบบ VSB ที่มี คลื่นพาห้อยู่ด้วย ก็จะสามารถใช้วิธีซิงโครนัสดีเทคชันได้เช่นเดียวกัน เราจะพิจารณาได้จาก การเลื่อนตำแหน่งของสเปกตรัมของสัญญาณในอาณาจักรของความถี่ดังที่แสดงไว้ในรูป 2.23 รูป(ค) แสดง สเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากการคูณสัญญาณ VSB ด้วยสัญญาณจากโลคอลออสซิลเลเตอร์ ซึ่งจะเห็นได้ ว่าสเปกตรัมของสัญญาณเบสแบนด์ นั้นจะมาซ้อนกันที่บริเวณความถี่ใกล้ ω_0 และเมื่อพิจารณาจาก คุณสมบัติของสัญญาณ VSB ในรูป (ข) จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมส่วนที่ต่ำกว่า f_c ที่ตัดออกไม่หมด กับสเปก ตรัมส่วนที่สูงกว่า f_c ที่ถูกตัดเกินไป จะสมมาตรกันเชิงคี่ ดังนั้นสเปกตรัมของสัญญาณเบสแบนด์ที่มาซ้อนกัน อยู่ก็จะบวกกันทำให้ได้สเปกตรัมของสัญญาณเดิมออกมา

เขาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

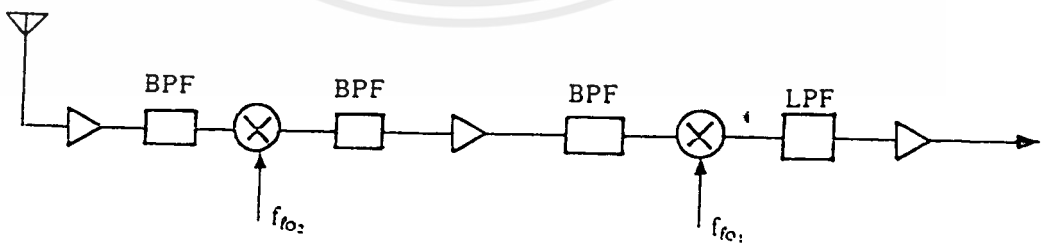


รูปที่ 2.23 สเปกตรัมของสัญญาณในระบบ VSB (ก) สัญญาณเบสแบนด์ (ข) สัญญาณ VSB

(ค) สัญญาณที่ได้จากซิงโครไนส์ตีเทคนิค

ในกรณีของสัญญาณ VSB ที่ไม่มีคลื่นพาห้หรือสัญญาณ SSB นั้น เพื่อให้ ซิงโครไนส์ตีเทคนิคทำงานได้ ทางด้านส่งมักจะใส่สัญญาณคลื่นพาห้ไพล็อต (pilot carrier) เข้าไปในสัญญาณที่จะส่งออก ทั้งนี้เพื่อให้วงจรทางภาครับสามารถกรองเอาสัญญาณคลื่นพาห้ไพล็อตนี้ออกไปใช้ในการซิงโครไนส์ระบบต่อไปได้ วิธีตีมอดูเลตแบบนี้เรียกว่าโฮโมไดน์ตีเทคนิค (homodyne detection)

อนึ่งการตีมอดูเลตสัญญาณ SSB ที่มีการมอดูเลต 2 ชั้น ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.3 นั้น เราจะทำได้โดยการย้อนขั้นตอนของการมอดูเลตที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.18 วิธีการจะเป็นดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.24 กล่าวคือเมื่อรับสัญญาณจากสายอากาศมาก็จะทำการขยายสัญญาณเสร็จแล้วจะ ผ่านมอดูเลเตอร์ที่ใช้โลคอลลอซซิลเลเตอร์ที่มีความถี่เท่ากับความถี่คลื่นพาห้ชั้นที่สองในรูปที่ 2.18 แล้วทำการกรองสัญญาณเอาด้านความถี่ต่ำ (หรืออาจเรียกว่าความถี่ IF) ไปทำการขยายด้วยวงจรขยายความถี่ IF เสร็จแล้วให้ผ่านมอดูเลเตอร์ที่ใช้โลคอลลอซซิลเลเตอร์ที่มีความถี่เท่ากับคลื่นพาห้ชั้นที่หนึ่งในรูปที่ 2.17 และเมื่อให้สัญญาณที่ได้ออกมา นี้ผ่านวงจรฟิลเตอร์กรองเฉพาะความถี่เบสแบนด์ไว้ ก็จะได้สัญญาณเบสแบนด์ออกมา วิธีการตีมอดูเลตตามที่กล่าวมานี้จะเรียกว่าดับเบิลซูเปอร์เฮเทอโรไดน์ตีเทคนิค (double super heterodyne detection)



รูปที่ 2.24 บล็อกไดอะแกรมของการตีมอดูเลตแบบดับเบิลซูเปอร์เฮเทอโรไดน์

ในลำดับสุดท้ายเราจะพิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณจาก โลคอลลอซซิลเลเตอร์มีความถี่หรือมีเฟสต่างจากสัญญาณคลื่นพาห้ เพื่อความสะดวกจะพิจารณารณที่สัญญาณที่รับเข้ามาเป็นสัญญาณ DSB โดยที่ความถี่ของคลื่นพาห้เป็น ω_c และมีสัญญาณเบสแบนด์เพียงความถี่เดียวคือ ω_m

ซึ่งจะเขียนได้เป็น $X(t) = A \cos \omega_m t \cos \omega_c t$ เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้สัญญาณจากโคคออลอสซิลเลเตอร์เป็น $\cos(W_m t + W_d t + \phi_d)$ ซึ่ง ϕ_d จะแสดงความถี่และเฟสของโคคออลอสซิลเลเตอร์ ที่เคลื่อนย้ายไปจากความถี่ และ เฟสของคลื่นพาห์ ในสภาพเช่นนี้สัญญาณที่ผ่านมิกเซอร์แล้วจะรองเอาความถี่ด้านต่ำออก

$$\begin{aligned} y(t) &= A \cos W_m \cos(W_d t + \phi_d) \\ &= A/2[\cos((W_m + W_d)t + \phi_d) + \cos((W_m - W_d)t - \phi_d)] \\ &= A/2[\cos(W_m + W_d)t + \cos(W_m - W_d)t] \quad ; \quad \phi_d = 0 \\ &= A \cos W_m t \cos \phi_d \quad ; \quad W_d = 0 \end{aligned}$$

ผลกระทบบ้างนี้คือ ในกรณีที่ $\phi_d = 0$ สัญญาณที่ตีเทคออกมาได้นั้นจะมีความถี่ต่ำและสูงกว่าสัญญาณจริง หรือแตกเป็น 2 สเปกตรัม ถ้า $W \gg W_d$ เสียงที่ได้กลับมากก็จะเหมือนเสียงที่ส่งอยู่ แต่ถ้า W_d มีค่าใหญ่ เสียงที่ได้ก็จะกลายเป็นเสียงที่มี ความถี่ที่ แยกกันออกได้ชัด ค่า f_d ที่ยอมรับได้ในภาคปฏิบัติ นั้นจะอยู่ในช่วง $\pm 10\text{Hz}$ สำหรับผลกระทบจากการเคลื่อนย้ายของเฟสนั้นก็ จะทำให้ขนาดของสัญญาณที่ตีเทคได้เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา และถ้าการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นไปอย่างช้า ๆ ลักษณะก็จะเหมือนกับการเกิดเฟดดิ้ง (fading)

ในกรณีของสัญญาณแบบ SSB นั้น สัญญาณที่รับเข้ามาได้จะเขียนได้เป็น $X(t) = A \cos(W_c + W_m)t$ ซึ่งเมื่อผ่านมิกเซอร์โดยโคคออลอสซิลเลเตอร์มีการเคลื่อนย้ายของความถี่และเฟสอย่าง เดิม จะพบว่าสัญญาณที่ผ่านการตีเทคจะเขียนได้ดังนี้

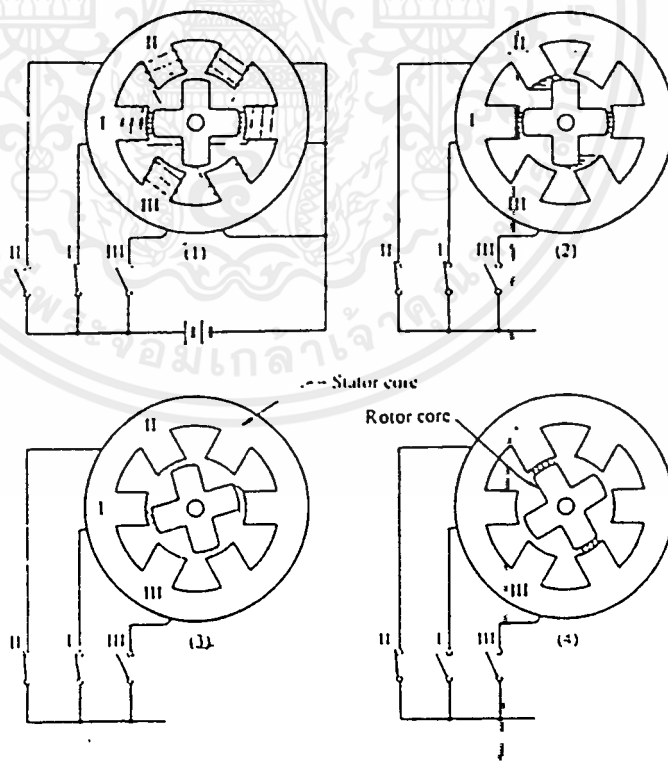
$$\begin{aligned} y(t) &= A \cos[W_m t + (W_d t \pm \phi_d)] \\ &= A \cos(W_m \pm W_d)t \quad \phi_d = 0 \\ &= A \cos(W_m t \pm \phi_d) \quad W_d = 0 \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่าในกรณีที่ความถี่ไม่ตรง เสียงที่ได้จะมีความถี่เปลี่ยนไปจากเดิม ซึ่งถ้า W_d ใหญ่ ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงที่น่าสังเกต สำหรับกรณีที่เฟสเคลื่อนย้ายนั้นเนื่องจากหูของคนเราจับได้แต่ความถี่และระดับเสียง โดยที่ไม่สามารถจับความแตกต่างของเฟสได้ เพราะฉะนั้นถ้าสัญญาณที่ส่งมามี W_m เพียงความถี่เดียว ก็จะไม่มียผลกระทบใด ๆ ทั้งสิ้น แต่ถ้าสัญญาณที่ ϕ_d ทำให้ค่าการหน่วงเวลาของแต่ละความถี่ไม่เท่ากัน ผลก็คือสัญญาณที่ตีเทคได้จะเกิดการผิดเพี้ยนเชิงเวลาหน่วงขึ้น อย่างไรก็ตาม ถ้าพิจารณาว่าสัญญาณที่ส่งอยู่เป็นสัญญาณเสียงซึ่งมีความถี่ต่ำ และการตีเทคในขั้นสุดท้ายคือใช้หูคนฟัง เวลาหน่วงที่แตกต่างกันไม่มากนัก ก็จะไม่มียผลกระทบอย่างน่าสังเกต

2.5 สเตปปี้งมอเตอร์

สเตปปี้งมอเตอร์และลักษณะโดยทั่วไป

การทำงานของสเตปปี้งมอเตอร์ ดูจากรูปที่ 2.25 เป็นสเตปปี้งมอเตอร์แบบวาริเอเบิลรีลักแตนซ์ (Variable Reluctance) แกนเหล็กสเตเตอร์ (Stator Core) มีซี่ฟัน (Teeth) 6 ซี่ ขณะที่โรเตอร์ (Rotor) มีฟัน 4 ซี่ ทั้งโรเตอร์และสเตเตอร์เป็นเหล็กอ่อน ขดลวด (Coil) 3 ชุด ถูกต่ออยู่ดังรูป แต่ละขดลวดมี 2 ขดลวดต่ออนุกรมกัน เรียกแต่ละชุดว่า เฟส (Phase) และผลจากการต่อแบบนี้เรียกว่ามอเตอร์ 3 เฟส (3 Phase Motor) กระแสถูกจ่ายไปยังขดลวด แต่ละขดโดยผ่านสวิตช์ I, II และ III ในสภาวะ (1) ขดลวดของเฟส 1 ได้รับกระแส โดยผ่านสวิตช์ I หรือเฟส 1 ถูกกระตุ้น เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นในช่องอากาศ (Air Gap) เกิดขึ้นเนื่องจากการกระตุ้น ซึ่งแสดงด้วยลูกศรในสภาวะนี้ สเตเตอร์ 2 ขั้วของเฟส 1 จะอยู่ในแนวเดียวกับ 2 ซี่ที่อยู่ตรงข้ามกันของโรเตอร์ นี่เป็นสภาวะดุลย์ ซึ่งอยู่ในเทอมของไดนามิค (Dynamics) เมื่อสวิตช์ II ปิดเพื่อกระตุ้นเฟส 2 กับเฟส 1 เส้นแรงแม่เหล็กจะถูกสร้างขึ้นที่ขั้วของสเตเตอร์ของเฟส 2 ในลักษณะซึ่งแสดงในสภาวะ (2) ทอร์ก (Torque) ทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะถูกสร้างขึ้นจากความเครียด (Tension) ในฟลักซ์แม่เหล็กเอียงไปยังแกนมอเตอร์ที่อยู่ใกล้ หลังจากนั้น โรเตอร์จะมาอยู่ในสภาวะ (3)



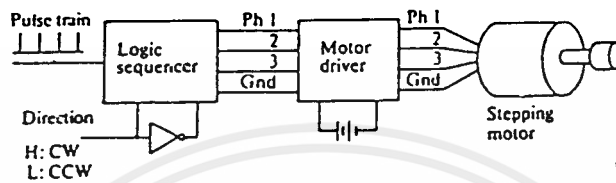
รูปที่ 2.25 วงจรกระตุ้นสเตปปี้งมอเตอร์ 3 Phase

ดังนั้นโรเตอร์จะหมุนจะหมุนไปด้วยการเปลี่ยนแปลงครั้งที่ ซึ่งเรียกว่ามุมสเตป (Step angle) ในที่นี้คือ 15 องศา

ขณะที่สวิตช์จะมีการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งหนึ่งคือ สวิตช์ I จะถูกเปิด เพื่อลดพลังงานในเฟส 1 โดยโรเตอร์จะ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โรเตอร์จะหมุนไป 15 องศา มาอยู่ในสภาวะ (4) ตำแหน่งมุมของโรเตอร์ จะถูกควบคุมโดยการเปิด-ปิดสวิตช์ ถ้าสวิตช์ถูกเปิด-ปิดเป็นลำดับ โรเตอร์จะหมุนไปในลักษณะที่สลับ ความเร็วเฉลี่ยจะสามารถควบคุมได้ด้วยการเปิด-ปิดสวิตช์ ดังแผนภาพรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.26 โดอะแกรมของระบบขับเคลื่อนมอเตอร์

จากที่กล่าวพอที่จะกล่าวถึงคุณสมบัติของสเต็ปมิ่งมอเตอร์ได้ว่า

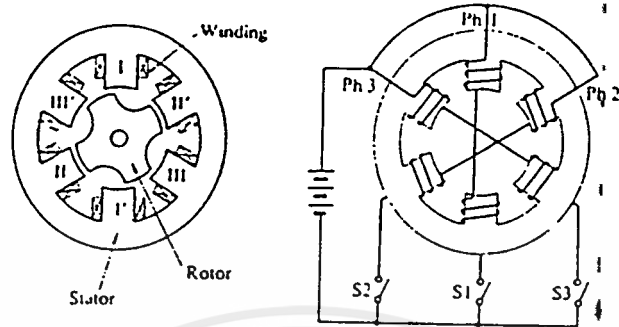
1. การหมุนของมอเตอร์จะเป็นสเต็ป (เป็นขั้น ๆ) สเต็ปละกี่องศาขึ้นอยู่กับชนิดขั้วมอเตอร์
2. ความเร็วในการหมุนขึ้นอยู่กับสัญญาณพัลส์ที่ให้เข้ามาทางอินพุทของมอเตอร์ (ความถี่)
3. ความผิดพลาดในการหมุน 1 สเต็ปมีค่าน้อยมาก แต่ต้องจำกัดอยู่ในความเร็วที่พอดีด้วย
4. คุณสมบัติของการตอบสนองสัญญาณในขณะที่มอเตอร์เริ่มทำงานและหยุดทำงานดีมาก
5. เนื่องจากไม่มีแปรงถ่าน (Commutator) เหมือนมอเตอร์ในระบบดีซี ดังนั้นจึงมีความแน่นอนในการทำงาน
6. แหล่งจ่ายแรงดันไฟที่ใช้ในการขับเคลื่อนมีค่าไม่มาก
7. ไม่ทำให้เกิดเสียงรบกวนขับเคลื่อนมี ค่าไม่มาก
8. ทำงานแบบ โอเพนลูป (Open loop)

สเต็ปมิ่งมอเตอร์ที่ใช้กันส่วนมากมี 3 ชนิด

1. วารีเอเบิลลิคแทนซ์สเต็ปมิ่งมอเตอร์ (Variable Stepping Motor)
2. สเต็ปมิ่งมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร (Permanent magnetic Stepping Motor)
3. สเต็ปมิ่งมอเตอร์แบบไฮบริด (Hybrid Stepping Motor)

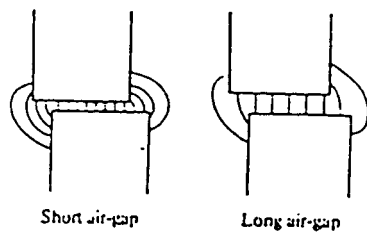
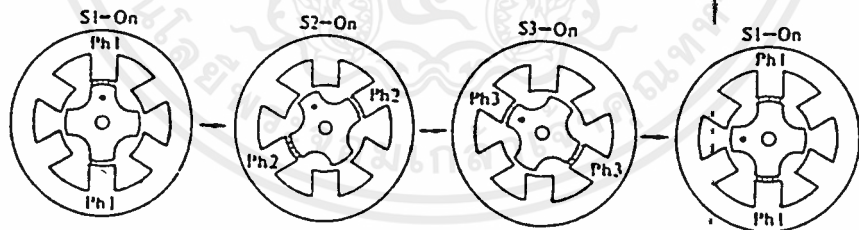
2.5.1 วารีเอเบิลลิคแทนซ์สเต็ปมิ่งมอเตอร์

มอเตอร์แบบนี้โรเตอร์ ทำด้วยเหล็กอ่อน ซึ่งค่าซึมซาบแม่เหล็ก (Permeability) สูงและสามารถให้ฟลักซ์แม่เหล็กผ่านได้มาก โดยโรเตอร์จะติดอยู่กับแกนมอเตอร์ และสเตเตอร์ติดอยู่กับโครงของตัวมอเตอร์ จากรูป 2.27 เป็นภาพตัดขวางของสเต็ปมิ่งมอเตอร์แบบนี้ ซึ่งเป็นมอเตอร์ 3 เฟส มีซี่ฟัน 6 ซี่ ฟันของสเตเตอร์จะอยู่ตรงข้ามจะต่อกันเป็นอนุกรม หรือขนานก็ได้ (ในที่นี้คือแบบอนุกรม)



รูปที่ 2.27 โครงสร้างวาริเอเบิลรีลัคแทนซ์มอเตอร์

เราจะเห็นได้ว่าฟันของสเตเตอร์ 2 ซี่ ที่มีเฟสเดียวกัน จะมีขั้วแม่เหล็กตรงข้ามกันและกันดังแสดงดังรูป สมมุติว่าฟัน I, II, และ III มีขั้วเป็นขั้วเหนือ ฟัน I, II และ III จะเป็นขั้วใต้เมื่อถูกกระตุ้นกระแสแต่ละเฟสจะถูกกระตุ้น ฟลักซ์แม่เหล็กก็จะเกิดดังรูป 2.28 ฟันของโรเตอร์ก็จะมีตำแหน่งในแนวเดียวกันกับฟันของสเตเตอร์ ซึ่งจะมีผลให้แมกเนติกรีลัคแทนซ์ (Magnetic Reluctance) น้อยที่สุด สถานะนี้คือตำแหน่งสมดุล



รูปที่ 2.28 ฟลักซ์แม่เหล็กที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในองค์กรเดียว ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างเบื้องต้น ของมอเตอร์แบบนี้ จะมีลักษณะดังนี้

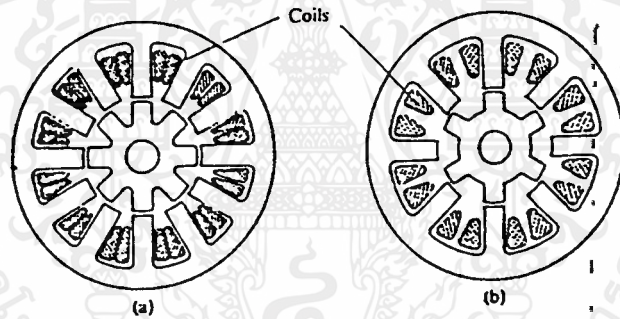
1. ช่องว่างอากาศควรจะเล็กที่สุด เท่าที่จะเป็นไปได้ ช่องว่างอากาศระหว่างฟันของโรเตอร์กับฟันของสเตเตอร์ควรมีค่าความห่างกันน้อยมาก เพื่อที่จะได้ทอร์คสูง และตำแหน่งที่แน่นอนขึ้น

2. สำหรับมอเตอร์เล็ก ๆ จากรูป 2.5a แสดง 3 เฟสมอเตอร์ที่สเตเตอร์มีฟัน 12 ซี่ และฟันมีโรเตอร์ 8 ซี่ รูป 2.5b เป็นรูป 4 เฟส มอเตอร์ที่สเตเตอร์มีฟัน 8 ซี่ และโรเตอร์มีฟัน 6 ซี่ ซึ่งทั้งสองรูปนี้มีมุมสเตปเท่ากับ 15 องศา

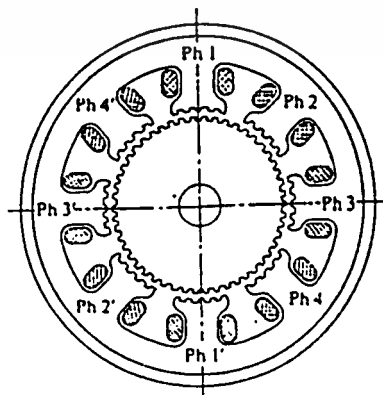
ความสัมพันธ์ระหว่างมุมสเตป s , จำนวนเฟส m , โดยจำนวนฟันของโรเตอร์ N_r และจำนวนสเตปใน 1 รอบ S จะหาได้โดย

$$S = 360 / s = m(N_r)$$

นั่นคือ เราสามารถลดมุมสเตปลงได้โดยเพิ่มจำนวนฟันบนโรเตอร์ ดังแสดงในรูป 2.30



รูปที่ 2.29 โรเตอร์และสเตเตอร์



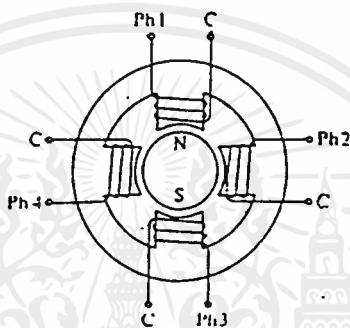
รูป 2.30 หน้าตัดของ 4 เฟส มอเตอร์มีฟันโรเตอร์ 50 ซี่ มุมสเตป 1.8 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในองค์กรเท่านั้น ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 สเตปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวร

สเตปป์มอเตอร์แบบนี้ใช้ แม่เหล็กแบบถาวร รูปที่ 2.31 เป็นตัวอย่างของสเตปป์มอเตอร์แบบถาวรแบบ 4 เฟส โรเตอร์ เป็นทรงกระบอก สเตเตอร์มีฟัน 4 ซี่ โดยที่แต่ละซี่มีขดลวดพันรอบ ถ้าจำนวนซี่บนสเตเตอร์และซี่แม่เหล็กบนโรเตอร์เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า มุมแต่ละสเตปป์ลดลงจากเดิมครึ่งหนึ่ง ดังนั้นเพื่อที่จะลดมุมสเตปป์ลงไปอีก ในสเตปป์มอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรจะต้องเพิ่มจำนวนแม่เหล็กและซี่ฟัน อย่างไรก็ตาม ซี่แม่เหล็กที่จะเพิ่มขึ้นได้นั้นมีจำนวนจำกัด

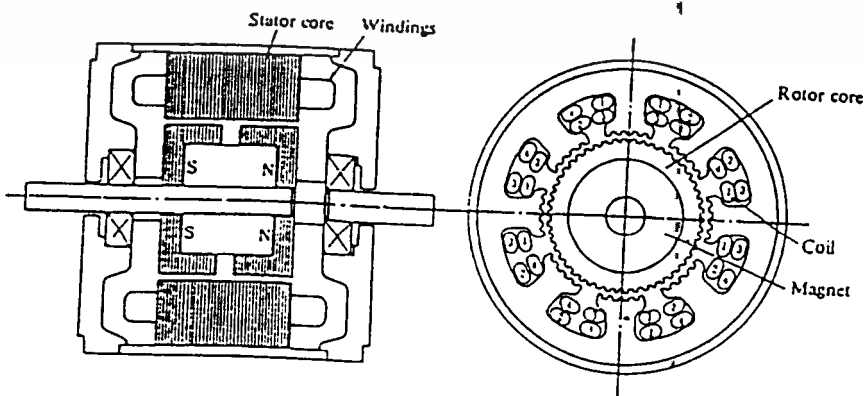
ลักษณะทั่วไปของมอเตอร์แบบนี้คือ โรเตอร์จะถูกยึดติดอยู่กับที่ แม้ว่าไม่มี การกระตุ้นเฟสลักษณะเช่นนี้เรียกว่า ดีเทนท์ แมคคาไนซึม (DETENT MECANISM)



รูปที่ 2.31 โครงสร้างของสเตปป์มอเตอร์ 4 เฟส

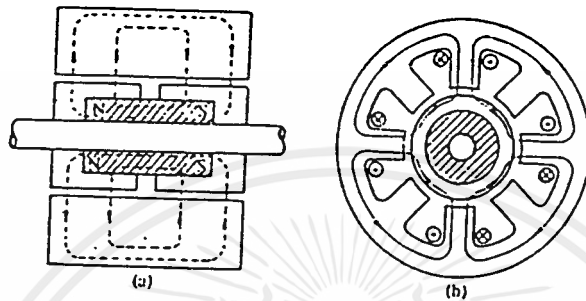
2.5.3 สเตปป์มอเตอร์แบบไฮบริด

เป็นสเตปป์มอเตอร์แบบหนึ่ง ที่มีโรเตอร์เป็นแบบแม่เหล็กถาวรการใช้ชื่อไฮบริดได้มาจากการรวมหลักสำคัญของมอเตอร์ แบบแม่เหล็กถาวรและแบบวารีเอเบิลรีลัคแทนซ์ โครงสร้างแกนของสเตเตอร์จะคล้ายกับแบบ วารีเอเบิลรีลัคแทนซ์ แต่การพันและการต่อขดลวดจะต่างจากแบบวารีเอเบิลรีลัคแทนซ์มอเตอร์ ซึ่งมีเพียง 1 ขดจาก 2 ขด ของ 1 เฟส ที่ถูกพันบนซี่เดียว ในขณะที่ 4 เฟส ไฮบริดมอเตอร์ ขดขดลวด 2 เฟส ที่แตกต่างกันจะถูกพันเป็นซี่เดียวกันแบบไบฟีลา(Bifilar Winding) ซึ่งจะทำให้ซี่แม่เหล็กต่างกันขณะมีการกระตุ้น



รูปที่ 2.32 โครงสร้างของสเตปป์มอเตอร์แบบไฮบริด

ลักษณะที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของไฮบริดมอเตอร์คือ โรเตอร์นั้น จะเป็นแม่เหล็กรูปร่างทรงกระบอกอยู่ในแกนเหล็กของโรเตอร์ มันถูกทำให้เป็นแม่เหล็กตามยาวเพื่อสร้างสนามขั้วเดียวดังรูปที่ 2.33 แต่ละขั้วของแม่เหล็กจะถูกล้อมรอบด้วยฟันเหล็กอ่อน ซึ่งฟันของโรเตอร์กับสเตเตอร์อยู่เหลื่อมกันอยู่ครึ่งช่วงฟัน



รูปที่ 2.33 การวางแม่เหล็กตามยาวเพื่อสร้างสนามขั้วเดียวกัน

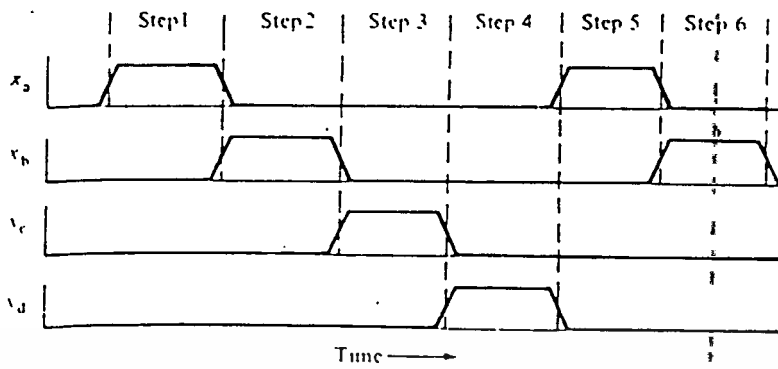
การทำงานพื้นฐาน

สเตปป์มอเตอร์เป็นมอเตอร์ที่ถูกใช้ทำงานโดยสัญญาณอินพุตที่เป็นพัลส์ ทุก ๆ สัญญาณพัลส์ที่เข้ามาจะทำให้การเปลี่ยนแปลงสถานะสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้น และให้การหมุนของมอเตอร์เป็นมุมที่คงที่ ซึ่งจะแตกต่างกับการหมุนของมอเตอร์แบบธรรมดาในระบบควบคุม ที่ใช้สัญญาณดิจิตอลนี้ เช่น ในการส่งข้อมูลการควบคุมข้อมูลโดยที่ปริมาณค่าของสัญญาณดิจิตอลทั้งหมด จึงทำให้การควบคุมการทำงานของสเตปป์มอเตอร์โดยตรงได้เป็นอย่างดี การทำงานพื้นฐานของสเตปป์มอเตอร์แสดงในรูปที่ 2.34 ซึ่งแสดงบล็อกของวงจรขับเคลื่อนสเตปป์มอเตอร์ ทำให้กระแสไฟ ดีซี เรียงลำดับเข้าไปตามเฟสต่าง ๆ ของมอเตอร์ หมุนไปตามองศาที่กำหนดไว้การที่จะทำให้กระแสไฟ ดีซี เรียงลำดับเข้าไปที่มอเตอร์ได้ ทำได้ด้วยการใช้งานของสวิตช์ และเพื่อให้มอเตอร์หมุน จำเป็นต้องมีวงจรขับเคลื่อนสเตปป์มอเตอร์ที่จะควบคุมการไหลของกระแสไฟ คือสวิตช์ 1 และสวิตช์ 2 ถ้าให้การทำงานของสวิตช์ ตามตารางการทำงาน ที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.35 ถ้าให้การทำงานโดยใช้รีเลย์ (Relay) หรือมือโยก สเตปมอเตอร์ก็จะหมุนเหมือนกันแต่หมุนช้า เนื่องจากรีเลย์หรือมือโยกให้การเปลี่ยนแปลงของสวิตช์ช้า ซึ่งจะได้เร็วเท่ากับความเร็วสูงสุดของสัญญาณพัลส์ที่มอเตอร์ทำงานสามารถทำงานได้ (เป็นจำนวนพัลส์ต่อวินาที)

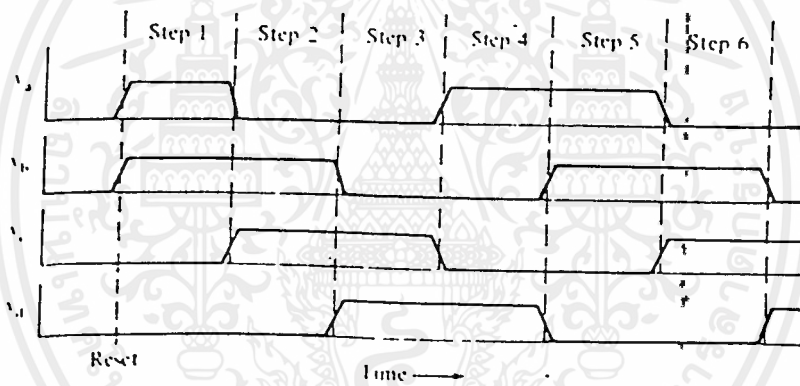
วงจรขับเคลื่อนสเตปป์มอเตอร์มีหลายชนิด ขึ้นอยู่กับชนิดสเตปป์มอเตอร์ที่มีอยู่ 3 ระบบคือ

1. ระบบการกระตุ้นสนามแม่เหล็กเฟสเดียว (Single Phase Excitation)
2. ระบบการกระตุ้นสนามแม่เหล็ก 2 เฟส (2-Phase Excitation)
3. ระบบการกระตุ้นสนามแม่เหล็ก 1-2 เฟส (Half-Step Excitation)

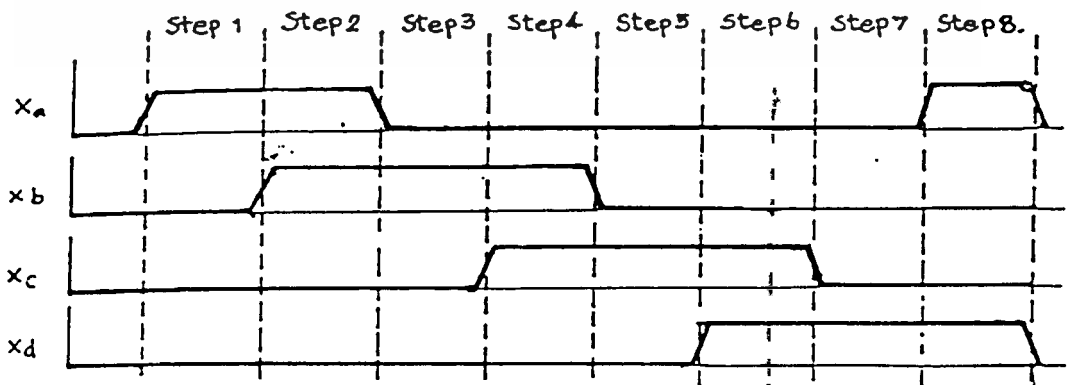
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ก่อนเพื่อการใช้งานที่ถูกต้องของหน่วยงาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Single Phase Excitation



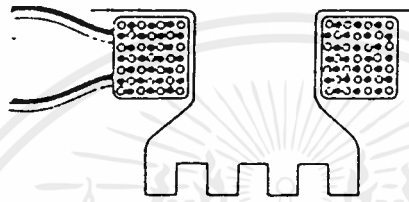
2-Phase Excitation



Haft-Step Excitation

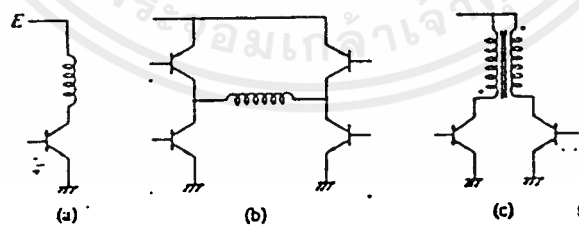
การพันลวดแบบโมโนฟิลาและไบฟิลา (monofilar and Bifilar Winding)

แบบโมโนฟิลา มีการพันลวดเส้นเดียว ส่วนแบบไบฟิลา เส้นลวดทั้ง 2 เส้นนี้จะถูกพันเหมือนกับเส้นเดียวกันชั่วดั่งรูปที่ 2.37 และขดลวดทั้งสองเส้นนี้จะแยกกันที่ปลายเป็นลักษณะ 2 เส้นแยกกัน ถ้าขดลวดเป็นของเฟส 1 อีกขดหนึ่งเป็นของเฟส 3 และทำนองเดียวกัน ถ้าขดหนึ่งเป็นของเฟส 2 หนึ่งของเฟส 4 (กรณีมอเตอร์ 4 เฟส)



รูปที่ 2.36 การพันแบบไบฟิลา

จุดประสงค์ของการพันแบบไบฟิลา ก็คือ เพื่อให้จะให้พลังงานกับขั้วแม่เหล็กสเตเตอร์ โดยการสลับขั้วแม่เหล็ก การกระตุ้นแต่ละเฟสอาจเป็นแบบใดแบบหนึ่งใน 3 แบบในรูป



รูปที่ 2.37 การพันแบบโมโนฟิลา

ในวงจรรูปที่ 2.37a เป็นโมโนฟิลา ขั้วแม่เหล็กจะถูกกระตุ้นเป็นขั้วเหนือขั้วใต้เสมอซึ่งแสดงว่าไม่สามารถกลับขั้วแม่เหล็กได้ การกระตุ้นแบบนี้เป็นการกระตุ้นแบบขั้วเดียว(Unipolar Excited) ।

ในวงจรรูปที่ 2.37b ทิศทางของกระแสในขดลวดสามารถสลับได้เนื่องจากเป็นวงจรคู่บริดจ์(Bridge Excited)

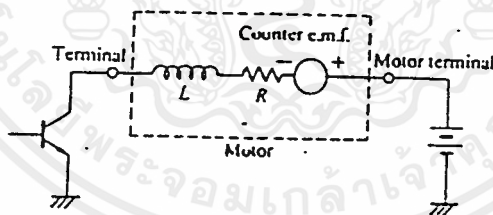
อย่างไรก็ตามจะต้องใช้ทรานซิสเตอร์ถึง 4 ตัวต่อขดลวด 1 ขด แบบนี้จะทำให้ทอร์คที่ความเร็วต่ำมากกว่าแบบไบฟิลา แต่ก็มีโอกาสที่ทรานซิสเตอร์จะพังได้เนื่องจากจัดเวลาผิดพลาดให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรรูปที่ 2.37c เกี่ยวกับคู่สายไมฟีลา และทรานซิสเตอร์ 2 ตัว โดยทำให้ สเตเตอร์ถูกกระตุ้นเป็น ขั้วแบบไมฟีลา ก็จะเกิดสนามแม่เหล็กดับปลิง (Coupling) เมื่อขั้วใดขั้วหนึ่งถูกกระตุ้น ถ้าแทนการพันแบบ ไมฟีลา ด้วยเส้นลวด 2 เส้น ที่แยกจากกันความแตกต่างของอินดักแทนซ์ (Inductance) จะปรากฏระหว่าง ขด 2 ขด ทำให้ตำแหน่งผิดไปโดยทั่วไปประสิทธิภาพ ของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรกับแบบไฮบริด ที่ใช้แบบ ฟีลานั้นจะได้ประสิทธิภาพดีกว่าแบบ ไมโนฟีลา

2.5.4 วงจรขับมอเตอร์ (MOTOR DRIVE CIRCUIT)

จุดประสงค์ของวงจรขับคือ เพื่อให้จะได้โวลต์เตจ และกระแสที่ถูกต้องไปยังมอเตอร์ในช่วงเวลาที่ สั้นและลักษณะที่มีประสิทธิภาพทิศทางของกระแสในขดลวดของมอเตอร์แบบแม่เหล็กถาวรและแบบไฮบริดมี ความสำคัญ เพราะจะต้องใช้ในทิศทางที่เหมาะสมในเวลาต่าง ๆ สำหรับก้ารมอเตอร์แบบวาริเอเบิล รีลัคแทนซ์ จะไม่ขึ้นกับทิศทางของกระแสที่ไหลในขดลวดเนื่องจากไม่มีแม่เหล็กอยู่ในตัวมันเลย

วงจรขับมอเตอร์จะรับสัญญาณควบคุมมาจากวงจรจัดลำดับลจิก ในการสร้างวงจรขับมอเตอร์จะมี ปัญหาเกี่ยวกับ อินดักแทนซ์และรีซิสแทนซ์ (Resistance) อนุกรมกันในวงจรสมมูลย์ของมอเตอร์ ดังรูปที่ 2.38 อีกทั้งในการหมุนยังมีปัญหาเพิ่มขึ้นเกี่ยวกับแรงดันไฟกลับ (BACKEMF) นอกจากนี่ยังต้องคำนึงถึงแหล่งจ่ายไฟ ดีซี และการใช้การป้องกัน Power ทรานซิสเตอร์ด้วย

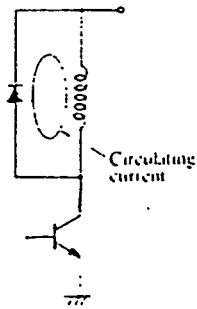


รูปที่ 2.38 วงจรสมมูลย์ของสเตปป์มอเตอรื

จากรูปที่ 2.38 เมื่อทรานซิสเตอร์หยุดทำงานจะเกิดสไปดโวลต์เตจ (Spilk Voltage) เนื่องจากขดลวด (ตัว เหนี่ยวนำ) ซึ่งอาจทำให้ทรานซิสเตอร์พังได้ จึงต้องมีวงจรป้องกันและลดลักษณะแบบนี้อย่างรวดเร็ว โดยวิธี ต่อไปนี้

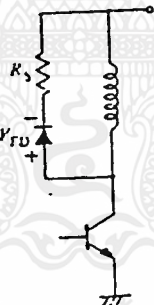
1. ลดโดยใช้ไดโอด (DIODE SUPPRESSOR) ใช้ไดโอดต่อคร่อมขนานกับขดลวด ดังรูปที่ 2.39 กระแสจะไหลอยู่ในวงจรขดลวดกับไดโอด หลังจากทรานซิสเตอร์หยุดทำงาน ซึ่งกระแสนี้จะลดลงไปตามเวลา แต่ใช้เวลาานานมากจึงยังเกิดความร้อนอยู่

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.39 วงจร Dilde Suppressor

2. โดยใช้ไดโอดและตัวต้านทาน (DIODE AND RESISTOR SUPPRESSOR) โดยการต่อความต้านทานอนุกรมกับไดโอดแล้วต่อขนาบคร่อมขดลวด ดังรูปที่ 2.16 วิธีนี้จะช่วยลดเวลาในการที่ จะทำให้กระแสหยุดไหลจน ยิ่งใช้ตัวต้านทานค่ามาก กระแสก็จะหยุดไหลเร็วขึ้น แต่ทรานซิสเตอร์ต้องทนโวลต์เดจคร่อม คอลเลคเตอร์-อีมีเตอร์ เพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 2.40 วงจร Diode/Resistor Suppressor

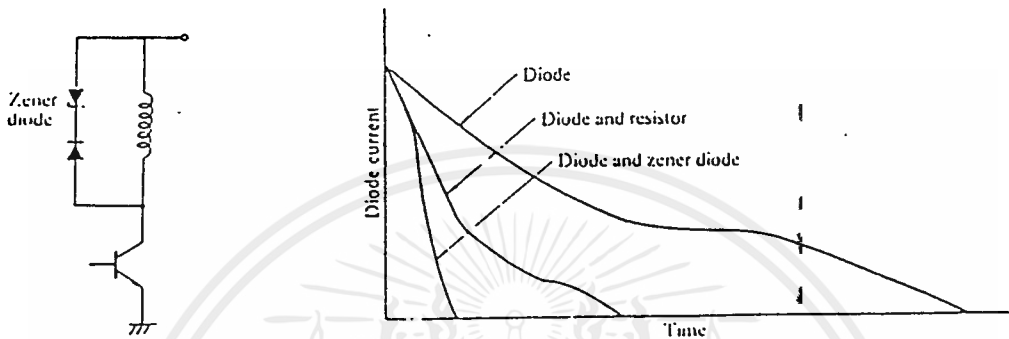
3. โดยใช้ซีเนอร์ไดโอด (ZENER DIODE SUPPRESSOR) โดยการต่อซีเนอร์ไดโอด ดังรูปที่ 2.41 การต่อแบบนี้เมื่อเปรียบเทียบกับ 2 แบบแรก แล้วจะมีประสิทธิภาพมากกว่า ซึ่งสามารถลดกระแสที่เกิดขึ้นได้เร็วกว่า

4. โดยใช้ คอนเดนเซอร์ (CONDENSER SUPPRESSOR) วิธีนี้มักจะใช้กับสแตปป์มอเตอร์แบบ ไบเฟลา การต่อวงจรดังรูป 2.18 ของมอเตอร์ 4 เฟส ตัวคอนเดนเซอร์ที่ต่ออยู่ระหว่างเฟส 1 กับเฟส 3 และเฟส 2 กับเฟส 4 จะทำหน้าที่ดังนี้ ในตอนที่ทรานซิสเตอร์ T1 หยุดทำงาน ในการทำงานแบบกระตุ้นเฟสเดียว T2 หรือ T4 เริ่มทำงาน แต่ T3 ยังไม่เริ่มทำงาน เนื่องจากเฟส 1 และเฟส 3 ต่ออยู่ในลักษณะ ไบเฟลา กระแสที่เกิดขึ้นหลังจากที่ T1 หยุดทำงานจะไหลวนไปตามเส้นไขปลาตง

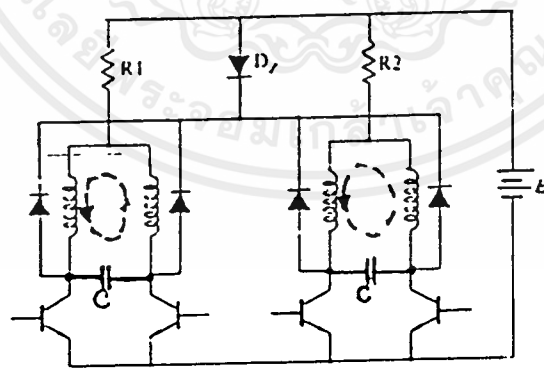
แสดงในรูป ถ้า T3 หรือ T4 เริ่มทำงานแต่ T3 ยังไม่เริ่มทำงานประจุที่ซาร์จ (charge) เก็บไว้ใน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอนเดนเซอร์จะช่วยเพิ่มทอร์คให้ โดยการปล่อยกระแสไหลผ่านเฟส 1 ทั้งนี้การต่อคอนเดนเซอร์สามารถใช้กับการกระตุ้นแบบ 2 เฟสได้ด้วย สำหรับค่า R_1 , R_2 ใ้ไว้เพื่อปรับกระแสให้เหมาะสม นอกจากนั้นคอนเดนเซอร์ยังช่วยลดการสั่นของมอเตอร์ โดยเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานความร้อนแทน



รูปที่ 2.41 วงจร Zener Diode Suppressor



รูปที่ 2.42 วงจร Condenser Suppressor

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

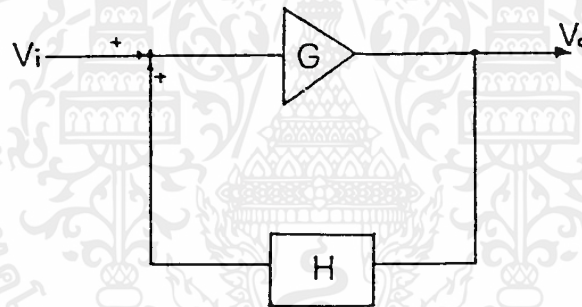
2.6 วงจรออสซิลเลเตอร์ป้อนกลับแบบบวก

การป้อนกลับแบบบวก (POSITIVE FEEDBACK) เป็นพื้นฐานของวงจรออสซิลเลเตอร์ โดยทั่ว ๆ ไปที่ใช้กันอยู่ รูปที่ 2.43 แสดงวงจรถึงวงจรรขยายแบบป้อนกลับ (FEED BACK AMPLIFIER) ภายใต้สถานะอันหนึ่ง สามารถทำให้วงจรนี้มีการป้อนกลับแบบบวก และกลายเป็นวงจรผลิตความถี่ (OSCILLATOR CIRCUIT) ขึ้นมา

ข้อแม้ของวงจรที่จะทำให้เกิดการออสซิลเลตได้นั้นจะต้องมี (1) อัตราการขยายในลูปป้อนกลับจะต้องมากกว่า 1 (2) เฟสที่เปลี่ยนไป (PHASE SHIFT) ในลูปนี้จะต้องเป็นเฟสบวก คูณด้วย 2π เรเดียน หรือ 360 องศา ข้อหนึ่งและข้อสองจะต้องเกิดขึ้นในเวลาเดียวกันจึงจะทำให้เกิดการออสซิลเลตได้

$$\text{อัตราขยายในลูป (LOOP GAIN)} = |GH|$$

$$\text{กำหนดให้ } n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad \Theta = n360 \text{ องศา และ } |GH| \geq 1$$



รูปที่ 2.43 วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ในการป้อนกลับแบบบวก

วงจรรขยายโดยทั่ว ๆ ไปจะมีเฟสของสัญญาณเอาต์พุตตรงข้าม กับสัญญาณอินพุต 180 องศา และมีอัตราขยายมากกว่า 1 สมมติให้ G ตามรูป คือการขยายวงจรและ H คือการป้อนกลับของลูป ดังนั้นอัตราขยายของวงจรภายในลูป นี้ คือ ผลคูณของ G และ H และการขยายทั้งหมดของวงจร (OVERALL - GAIN) ที่มีการป้อนกลับคือ

$$A_v = G/(1-GH)$$

กำหนดให้

$$A_v = \text{การขยายทั้งหมดของวงจร}$$

$$G = \text{ส่วนการขยายของวงจร}$$

$$H = \text{ส่วนการขยายของการป้อนกลับ}$$

$$GH = \text{การขยายของลูป}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

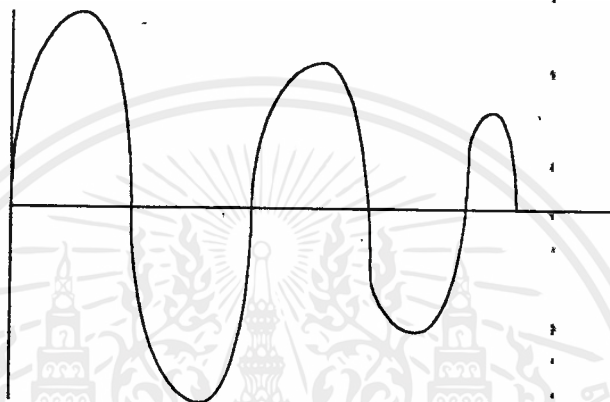
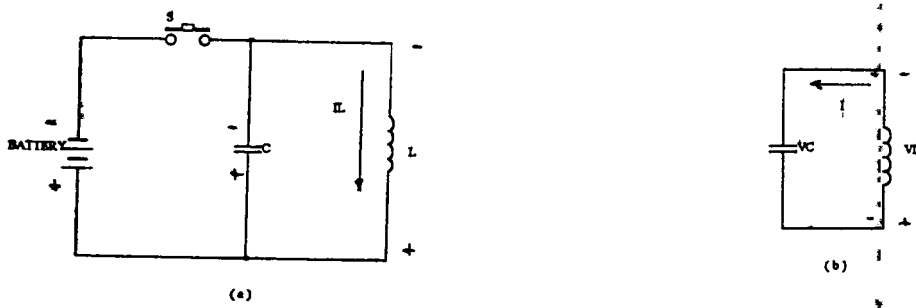
ความถี่ค่าที่กำหนดทั้งหมดนี้เป็นค่าคอมเพล็กซ์ (COMPLEX) ซึ่งหมายถึงขนาดและเฟส (MAGNITUDE ของ ออสซิลเลเตอร์นี้ ถูกกำหนดโดยส่วนประกอบของ H ซึ่งทำให้เฟสเปลี่ยนไป 180 องศา การเลือกค่าขององค์ประกอบเหล่านี้ต้องเลือกด้วยความระมัดระวังเพื่อให้เกิดเฟสชิฟ 180 องศาที่ความถี่เดียวกันนี้ และความถี่นี้คือความถี่ของออสซิลเลเตอร์ที่นำไปใช้ วงจรออสซิลเลเตอร์แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ LC
2. วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ KC
3. วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ก้อนผลึก (CRYSTAL)

2.6.1 - วงจร LC ออสซิลเลเตอร์

วงจร LC เกิดออสซิลเลทได้อย่างไร จากรูปที่ 2.44 (ก) แบตเตอรี่จ่ายพลังงานให้แก่ คาปาซิเตอร์ C ซึ่งต่อขนานอยู่กับอินดักเตอร์ L ในลักษณะนี้ยังไม่มีการ ออสซิลเลทใด ๆ เกิดขึ้นแบตเตอรี่จะชาร์จประจุให้แก่ คาปาซิเตอร์จนถึงระดับแรงดันไฟฟ้า V_c และเกิดไฟฟ้ากระแสตรง I_c ไหลภายในคอยล์ ดังนั้นจะเกิดพลังงานสะสมภายในตัวคาปาซิเตอร์และเกิดพลังงานแม่เหล็กภายในคอยล์ขึ้นจากรูปที่ 2.44 (ข) สวิตช์ S ถูกเปิดวงจร ทำให้วงจรของแบตเตอรี่ V_A ถูกตัดขาดออกจากวงจร LC ทันที ในสภาวะเช่นนี้ จึงสามารถที่จะพิจารณาการทำงานของวงจร LC ได้เมื่อปราศจากแบตเตอรี่ ระดับของกระแส I_c จะค่อย ๆ ลดลง ดังนั้นจึงเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า V_L ขึ้นในขณะนั้นคอยล์ L จึงเสมือนกับเป็นแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า LC แต่อย่างไรก็ตามขั้วของแรงดันไฟฟ้ามี V_L จะต้องอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้ L_c ไหลในทิศทางเดียวกันเพื่อที่ C จะสามารถดีสชาร์จประจุได้แต่ที่จริงแล้ว V_L จะชาร์จประจุให้แก่ C ด้วยขั้วที่ตรงข้ามเมื่อ C_c เปลี่ยนไปจนมีค่ามากกว่า V_L คาปาซิเตอร์จะจ่ายกระแสดีสชาร์จประจุ I_c ออกมาซึ่งมีทิศทางที่ตรงกันข้ามกับ I_c ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงพลังงานระหว่างอินดักเต้นซ์ และคาปาซิเต้นซ์เกิดการเปลี่ยนแปลงระหว่าง V กับ I ด้วยความถี่ไซแนมที่ธรรมชาติของวงจร LC ขึ้นดังรูปที่ 2.13 (ค) ขณะใดก็ตาม I_c มีค่าเปลี่ยนเป็นศูนย์ก็จะเกิดการเหนี่ยวนำ V_L ขึ้นและขณะใดก็ตามที่ V_c มีค่าเป็นศูนย์ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นกระแส I_c ขึ้นสลับกันอยู่อย่างนี้เรื่อยไป ทำให้เกิดเป็นคลื่น SINE ที่มีลักษณะต่อเนื่องตลอดเวลาซึ่งจะสังเกตได้ว่า V และ I จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้อย่างทันทีทันใด

แอมพลิจูดของการออสซิลเลทค่า V และ I จะค่อย ๆ ลดลงเรื่อย ๆ เนื่องจากเกิดการสูญเสียพลังงานที่ความต้านทานของวงจร จนกระทั่งแอมพลิจูดของคลื่นไซน์จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ในที่สุดดังรูปที่ 2.13 (ค) การทำงานของวงจร LC ในการออสซิลเลทให้เกิดคลื่นไซน์ จากพลังงานที่สะสมอยู่ในในวงจรเราเรียกว่า "ริงกิง" (ringing) ซึ่งที่จริงแล้วคอยล์ในวงจรใด ๆ ก็ตามสามารถเกิดริงกิงได้จากค่าคาปาซิเต้นซ์ตกค้าง (stray capacitance) ที่ต่อขนานอยู่สำหรับลักษณะของคลื่นที่ค่า I มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจะเกิดขึ้นได้ ในคอยล์ที่มีค่า Q สูง ๆ วงจร LC อาจจะมีอีกชื่อหนึ่งคือ วงจรแทงค์ (Tank circuit) เนื่องจากสามารถเก็บสะสมพลังงานเพื่อก่อให้เกิดการออสซิลเลท ได้คุณสมบัติของวงจรแทงค์ในการผลิตคลื่นไซน์ซึ่งมีอินพุตเป็นไฟตรงหรือเป็นพัลส์ก็ได้เรียกว่าฟลายวีล เอฟเฟ็ค (Flywheel Effect)



รูปที่ 2.44 วงจร LC ออสซิลเลเตอร์ที่ความถี่รีโซแนนท์

- (ก) ในขณะที่สวิตช์เปิดวงจรแบตเตอรี่จะชาร์จประจุให้แก่ C และผลิตกระแสให้ไหลภายใน L
- (ข) ในขณะที่สวิตช์เปิดวงจร วงจรแบตเตอรี่จะถูกตัดขาดออกจากวงจร LC ในวงจร LC ขณะนี้เกิดการเปลี่ยนพลังงานระหว่าง L กับ C
- (ค) คลื่นไซน์ (Sinusoidal wave)

วงจรออสซิลเลเตอร์ในทางปฏิบัตินั้น โดยทั่วไปการขยายสัญญาณจะใช้ทรานซิสเตอร์หรือหลอดสุญญากาศก็ได้เช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถที่จะปรับปรุงวงจรให้เป็นวงจรป้อนกลับโดยป้อนสัญญาณเอาต์พุตกลับไปยังอินพุตเพื่อรักษาสมภาวะการออสซิลเลตให้คงอยู่ พลังงานที่ใช้เพื่อคงสมภาวะการออสซิลเลตให้อยู่ได้นั้น ได้จากแหล่งจ่ายไฟตรงสำหรับวงจรขยายสัญญาณนั่นเอง วงจรออสซิลเลเตอร์ LC นี้ส่วนใหญ่ใช้สำหรับผลิตคลื่นไซน์ที่มีความถี่ RF ซึ่งมีความถี่สูงถึง 300 MHz ที่ความถี่ RF ค่าอุปกรณ L และ C ที่ใช้จะมีค่าสูงมาก ดังนั้นจึงแก้ปัญหาดังกล่าวด้วยการปรับปรุงวงจรให้มีการใช้งานในย่านความถี่สูงกว่า 300 MHz, ย่าน UHF และเป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ในวงจรไมโครเวฟ เป็นต้น

ความถี่ออสซิลเลเตอร์
 ในวงจรออสซิลเลเตอร์แบบจูน RF สัญญาณที่เอาต์พุตจะต้องมีความถี่เป็นความถี่ รีโซแนนของวงจร LC ซึ่งจะมีสมการดังนี้

$$F_r = 1/(2\pi\sqrt{LC})$$

สำหรับค่าที่ใช้ในทางปฏิบัติในวงจร RF, L มีขนาดเป็นไมโครเฮนรี่, C มีขนาดเป็นพิโคฟารัด จะได้ความถี่ของ F_r มีหน่วยเป็นกิกะเฮิรตซ์ (GHz) เอกสารนี้เป็นการให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังตัวอย่าง ถ้า $L = 80 \mu\text{H}$ และ $C = 20 \text{ pF}$ จะได้

$$f_r = 1/(2\pi\sqrt{80 \times 20}) = 1/(2\pi\sqrt{1600})$$

$$= 1/2\pi \times 40 = 1/80\pi$$

$$f_r = 0.004 \text{ GHz, or } 4 \text{ MHz}$$

ในวงจรที่มีเสถียรภาพดี ๆ นั้น วงจรจูนจะต้องมีค่า Q สูง เพื่อป้องกันกำเริบของคลื่นของความถี่สัญญาณ นอกจากนั้นทั้ง L และ C ยังจะต้องมีคุณภาพดีนั่นคือมีค่าคงที่แม้ว่าอุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม และการปรับปรุงให้แหล่งจ่ายไฟ มีเอาท์พุทที่คงที่ตลอดเวลาเป็นการช่วยปรับปรุงเสถียรภาพของความถี่ได้อีกทางหนึ่ง

2.6.2 ระบบการสื่อสารย่านความถี่ UHF

ความหมายของ UHF นักวิทยาศาสตร์ได้มีการแบ่งคลื่นวิทยุตลอดทุกค่าความถี่ ในสเปกตรัมจอยของความถี่ออกเป็นช่วง ๆ อย่างต่อเนื่องและมีการกำหนดชื่อให้แต่ละช่องของความถี่เหล่านั้นดังเช่น

VHF (VERY HIGH FREQUENCY) อยู่ในช่องความถี่ 30-300 MHz

UHF (ULTRA HIGH FREQUENCY) อยู่ในช่องความถี่ 300-3000 MHz

SHF (SUPER HIGH FREQUENCY) อยู่ในช่องความถี่ 3-30 GHz

ความสัมพันธ์ระหว่าง NOISE และความต้องการในการสื่อสารความถี่สูง การทำงานของอุปกรณ์หรือระบบสื่อสาร ต่างมีขอบเขตในการทำงาน โดยขึ้นอยู่กับระดับของ NOISE และ INTERFERENCE ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ที่ส่งผลให้มารบกวนต่อระบบสื่อสารเป็นตัวกำหนด เป็นที่แน่นอนแล้ววาระบบสื่อสารหนึ่ง ๆ ย่อมได้รับการรบกวนจากภายนอก แต่ระบบสื่อสารยังใช้งานได้หากระดับสัญญาณรบกวนอยู่ในระดับที่ไม่ทำให้ ระบบสื่อสารต้องสูญเสียความถูกต้อง หรือชัดเจนในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐานทั้งนี้มีการกำหนดระดับสัญญาณรบกวนที่ยอมให้เกิดขึ้นได้มากที่สุดในรูปแบบของ SIGNAL TO NOISE RATIO

NOISE ในประเภทต่าง ๆ ในระบบสื่อสาร

1. ATMOSPHERIC NOISE อันได้แก่ NOISE ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ในบรรยากาศซึ่งหมายถึง การก่อกวนฟ้าผ่า ระดับของสัญญาณ NOISE จะเป็นฟังก์ชัน กับความถี่ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการเคลื่อนที่ของประจุ โดยปกติแล้วการเคลื่อนที่ของประจุจะทำให้เกิดความถี่โดยเฉลี่ย 10 MHz และค่า NOISE ชนิดนี้จะลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้นและลดรวดเร็วที่ความถี่ 50 MHz และมากกว่า

2. MAN MADE NOISE เป็น NOISE ที่เกิดจากอุปกรณ์ไฟฟ้า NOISE ประเภทนี้มี ค่าลดลงเมื่อความถี่สูงขึ้นประมาณ 100-200 MHz และที่ระดับสูงขึ้นไป noise ชนิดนี้จะมีค่าคงที่ระดับต่ำ

3. RECIVER NOISE จะมีค่าเพื่อขึ้นเมื่อความถี่สูงขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์หรือระบบสื่อสารที่ใช้

จากตัวอย่างของ NOISE ทั้งสามประเภทที่กล่าวมาพบว่าอุปกรณ์ หรือระบบสื่อสารมีประสิทธิภาพในการส่งและรับดีขึ้น เมื่อระบบมีการใช้งานที่ความถี่สูง ทั้งนี้เพราะการลดลงของ NOISE นั้นเอง เหตุที่มีการพัฒนาระบบสื่อสาร UHF เพราะในช่วงหลังสงครามมีการพัฒนาไปมากมีการใช้ความถี่วิทยุทุกความถี่อย่างเต็มที่ ในขณะที่ยังมีความต้องการมีใช้คลื่นวิทยุในการส่ง โทรทัศน์ หรือระบบ FM ดังนั้นจึงจำเป็นต้องขยายการใช้งานของคลื่นวิทยุให้กว้างออกไปอีกที่ความถี่สูงขึ้น ในปัจจุบันการสื่อสารย่านความถี่ UHF มีการใช้

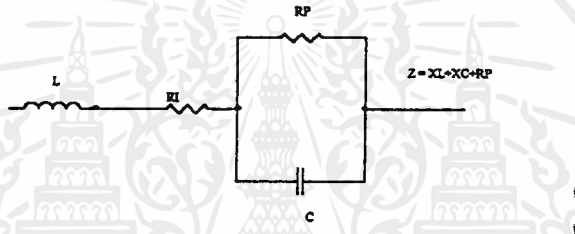
2.6.3 การคำนวณค่า C และ L ในวงจรความถี่สูง

ตัวเก็บประจุ (C)

ในงานด้านความถี่วิทยุ (RF) ตัวเก็บประจุถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางไม่ว่าจะ ใช้ในการคัปปลิง สัญญาณระหว่างภาคต่าง ๆ ในวงจรรีโซแนนซ์หรือวงจรกรองความถี่แต่ละชนิดก็มีความสมบัติแตกต่างกันไป ดังนั้นในการออกแบบใช้ตัวเก็บประจุให้เหมาะสมกับการใช้งาน

ค่าคาปาซิเตอร์ที่ความถี่สูง

การใช้คาปาซิเตอร์ที่ความถี่สูงนั้น จำเป็นต้องศึกษาให้ดีเพราะคาปาซิเตอร์นั้นมีหลายแบบด้วยกัน เช่น แบบแผ่นขนาน แบบไมก้า แบบเซรามิค แบบเททาลัม แบบไมล่า แต่ละแบบก็ให้คุณสมบัติที่แตกต่างกันไปตามความถี่ และที่สำคัญคือ จะไม่ปรากฏว่า C ที่แท้จริง แต่จะปรากฏทั้ง L, R, และ C ไปด้วยกัน ดังรูปที่ 2.45



รูปที่ 2.45 แสดงวงจรสมมูลย์ของ C

คาปาซิเตอร์ที่ง่ายที่สุดก็คือ คาปาซิเตอร์แบบให้แผ่นขนานกัน (PARALLEL PLATE CAPACITOR) บางแบบก็มีตัวกลางเป็นแกนอากาศ เช่น พวกคาปาซิเตอร์แบบทริมเมอร์ ที่ปรับค่าได้ที่ใช้ในเครื่องรับวิทยุทั่วไปบางแบบก็มีพลาสติกหรือตัวไดอิเล็กทริก (DIELECTRIC) แบบต่าง ๆ ค่าคาปาซิเตอร์แบบแผ่นขนานนี้หาได้จากสมการที่

$$C = Q/V$$

C = ค่าคาปาซิแตนซ์ หน่วยเป็นฟารัด (FARAD)

Q = ค่าประจุไฟฟ้า หน่วยเป็นคูลอมบ์ (COULOMBS)

V = ความต่างศักย์ของทั้ง 2 ขั้ว หน่วยเป็นโวลท์ (VOLTS)

ค่าตามสมการบางครั้งไม่สะดวกในการใช้งาน เพราะไม่รู้ค่าของประจุไฟฟ้า จึงได้มีการแปลงจากสูตรในสมการที่ ให้เป็นสูตรในสมการที่

$$C = 0.2249 \frac{A}{d_{\text{A0}}} \quad (\text{pF})$$

C = ค่าคาปาซิแตนซ์หน่วยเป็นพิโคฟารัด (pF)

d = ระยะห่างของเพลท หน่วยเป็นนิ้ว

A = พื้นที่ของเพลท หน่วยเป็นตารางนิ้ว

Δ = เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของตัวกลาง (FARAD/M)

Δ_0 = เป็นค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของอากาศ (ฟารัดต่อเมตร)

$$= 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ (f/m)}$$

ค่าของไดอิเล็กตริกที่ใช้กันมาก คือ DIELECTRIC-CONSTANT (k)

อากาศ = 1

โพลีเทรน. = 2.5

กระดาษ = 4

ไม้ก้ำ = 5

เซรามิคอ่อน = 10

เซรามิคแข็ง = 100-10000

ในการนำคาปาซิเตอร์ไปใช้งานนั้นจะต้องทราบคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น ค่าของอุณหภูมิที่ทนได้ค่าของ R_s ค่า R_p และ L ทั้งหมดนี้จะทำให้ทราบถึงค่าของเพาเวอร์แฟคเตอร์ (POWER FACTOR) ที่แน่นอนได้โดยทั่วไปค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของคาปาซิเตอร์แท้ ๆ จะมีค่าคือ

$$PF = \cos$$

โดยค่าของ จะเป็นเฟสที่นำหน้าอยู่ 90 องศา ใน C แท้ ๆ

ภายในของคาปาซิเตอร์จะมีค่าของ R_s และ R_p ค่อยๆรวมอยู่ ซึ่งเป็นค่าความต้านทานทาง AC ของคาปาซิเตอร์ เราเรียกกันว่า เอฟเฟคทีฟ ซีรีส์แดนซ์ (EFFECTIVE SERIES RESISTANCE) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า ESR ค่าของ ESR สามารถหาได้ดังนี้

$$ESR = PF/2 \cdot FC (1 \cdot 10)$$

คุณสมบัติของคาปาซิเตอร์อีกอันหนึ่งก็คือ ค่าของ ดิสซิเปชัน แฟคเตอร์ (DISSIPATION FACTOR) หรือเรียกย่อ ๆ ว่า DF ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

$$DF = (ESR/Xc) \cdot 100\%$$

ค่าของ DF นี้เป็นอัตราส่วนของความต้านทาน AC ต่อค่าของรีแอคแตนซ์ (REACTANCE) และอีกค่าหนึ่งที่จะลืมไม่ได้ก็คือค่าของควอลิตี้ แฟคเตอร์ (QUALITY FACTOR) หรือเรียกย่อว่า Q สามารถหาได้จากสูตร

$$Q = 1/DF = Xc/ESR$$

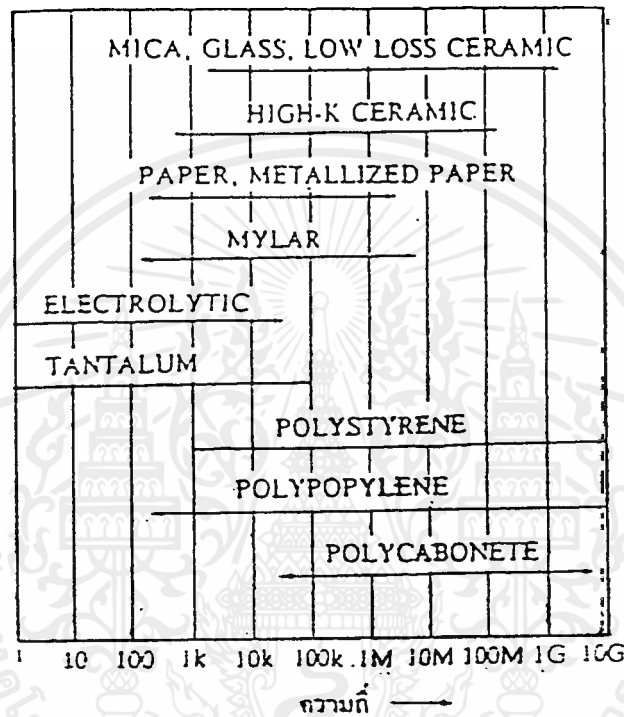
ค่า Q นี้ยิ่งสูงยิ่งดี เพราะจะปรากฏว่า Xc เต้นชัดขึ้นนั่นเอง

ชนิดของคาปาซิเตอร์

คาปาซิเตอร์มีหลายชนิดด้วยกัน โดยมากถือกันตามค่าของไดอิเล็กตริก เช่น อีเล็กโตรไลต์ เปเปอร์ เซรามิค ไม้ก้ำ โพลีโพลีเอทิลีน โพลีโพลีเอทิลีน โพลีคาร์บอนเนต เทฟลอน แทนทาลัม เป็นต้น ความเหมาะสมในการใช้ คาปาซิเตอร์ในช่วงความถี่สูงต่าง ๆ จะเห็นว่าคาปาซิเตอร์ที่ใช้ได้ดีที่ความถี่สูงเกิน 100 MHz มีด้วยกัน 5 แบบ คือ พวกไม้ก้ำ เซรามิค โพลีโพลีเอทิลีน โพลีคาร์บอนเนต ทั้ง 5 แบบนี้นิยมใช้เซรามิคกันมาก เพราะราคาถูก และยังทำให้เสถียรต่ออุณหภูมิได้ง่าย โดยใช้สารสองชนิดในการทำคาปาซิเตอร์ ชนิดแรกเป็นแมกนีเซียมไดรอกไซด์ ซึ่งมีสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิเป็นบวก ชนิดที่สองเป็นแคลเซียมไดรอกไซด์ ซึ่งมีสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิ

เอกสารนี้มีลิขสิทธิ์ต่อคุณหมอบุญรอด กรุณาอย่าเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นบวก ชนิดที่สอง เป็นแคลเซียมไดรอนาเนต ซึ่งมีสัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิเป็นลบ เมื่อใช้ทั้งสองชนิดผสมกัน เป็นคาปาซิเตอร์ แบบเซรามิกแบบเซรามิกก็จะ ทำให้สัมประสิทธิ์ต่ออุณหภูมิเป็นศูนย์ หรือ เรียกว่า NPO (NEGATIVE POSITIVE ZERO)



รูปที่ 2.46 แสดงความเหมาะสมในการเลือกใช้คาปาซิเตอร์แบบต่าง ๆ ที่ความถี่ต่าง ๆ

การพันคอยล์ให้ได้ค่า L ตามต้องการ

ลวดตัวนำที่พันหรือขดขึ้นเป็นคอยล์นั้น มักจะใช้ในวงจรที่มี ความถี่ไฟสลับ ทำหน้าที่เป็นตัวที่ทำให้เกิดอินดัคแตนซ์ในวงจรเราเรียกอุปกรณ์พวกนี้ว่า อินดัคเตอร์ (inductor) หรือ บางที่เรียกว่า ไข้ด (choke) หรือ คอยล์ก็ได้ แกนของอินดัคเตอร์ที่มีทั้งที่ทำจากสารแม่เหล็ก เช่น พลาสติก หรือ เบ็ดโลหะสำหรับเป็นโครงยึด ขดลวดในกรณีที่พันด้วยเส้นด้วยเส้นลวดเล็ก ๆ หรือเป็นลวดเส้นโต ๆ ก็พันตัวเปล่า ๆ โดยไม่ต้องมีแกนเหล่านี้ว่าอินดัคเตอร์แกนอากาศ (air coil inductor)

ในตัวย่อมมีค่าอินดัคแตนซ์เสมอแม้ว่าตัวนำนั้นไม่อยู่ในรูปของคอยล์ ก็ตามลวดตัวนำที่เป็นเส้นตรงสั้น ๆ จะมีค่าอินดัคแตนซ์น้อยมาก แต่ถ้ามีกระแสที่เปลี่ยนแปลงไหลผ่านตัวมันมากพอ ก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นได้ ถ้าอยู่ในวงจรความถี่ต่ำ แต่ในกรณีที่ความถี่สูงกว่า 100 MHz ขึ้นไป เส้นลวดอินดัคแตนซ์จะมีผลความถี่ในวงจรได้ ค่าอินดัคแตนซ์โดยประมาณของขดลวดที่พันขึ้นเดี่ยวนบนแกนอากาศ คำนวณได้จาก สูตร

เอ็กส์ ปรนเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกริรเชิง นเพื่อกริรทักษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

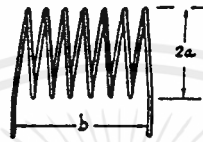
$$\text{อินดักแตนซ์ (L)} = a^2 n^2 / (9a + 10b)$$

โดยที่ L คือ ค่าอินดักแตนซ์มีหน่วยเป็น μH

a คือ รัศมีของแกน มีหน่วยเป็นนิ้ว

b คือ ความยาวของถาดพันขดลวด มีหน่วยเป็นนิ้ว

n คือ จำนวนรอบของขดลวด



รูปที่ 2.47 แสดงความหมายของ a และ b ของขดลวด

หรือหาจำนวนรอบของขดลวดได้ โดยการจัดสูตรใหม่ หาจำนวนรอบ

$$N = L(9a + 10b) / (a)^2$$

อย่างไรก็ตามสูตรที่ให้ไว้ จะมีค่าใกล้เคียงกับความจริงมากเมื่อความยาวของการพันขดลวด (b) มีค่าไม่น้อยกว่า $0.8a$ และถ้าความยาวของขดลวดมีจำกัด เช่น ต้องการให้มีความยาวของขดลวดน้อยที่สุด ค่า L จะสูงสุดก็ต่อเมื่อ $b = 0.8a$ พอดี ถ้าไม่สะดวกจะคำนวณ ก็อาจหาจำนวนรอบโดยประมาณได้โดยโมโนกราฟที่ให้ไว้

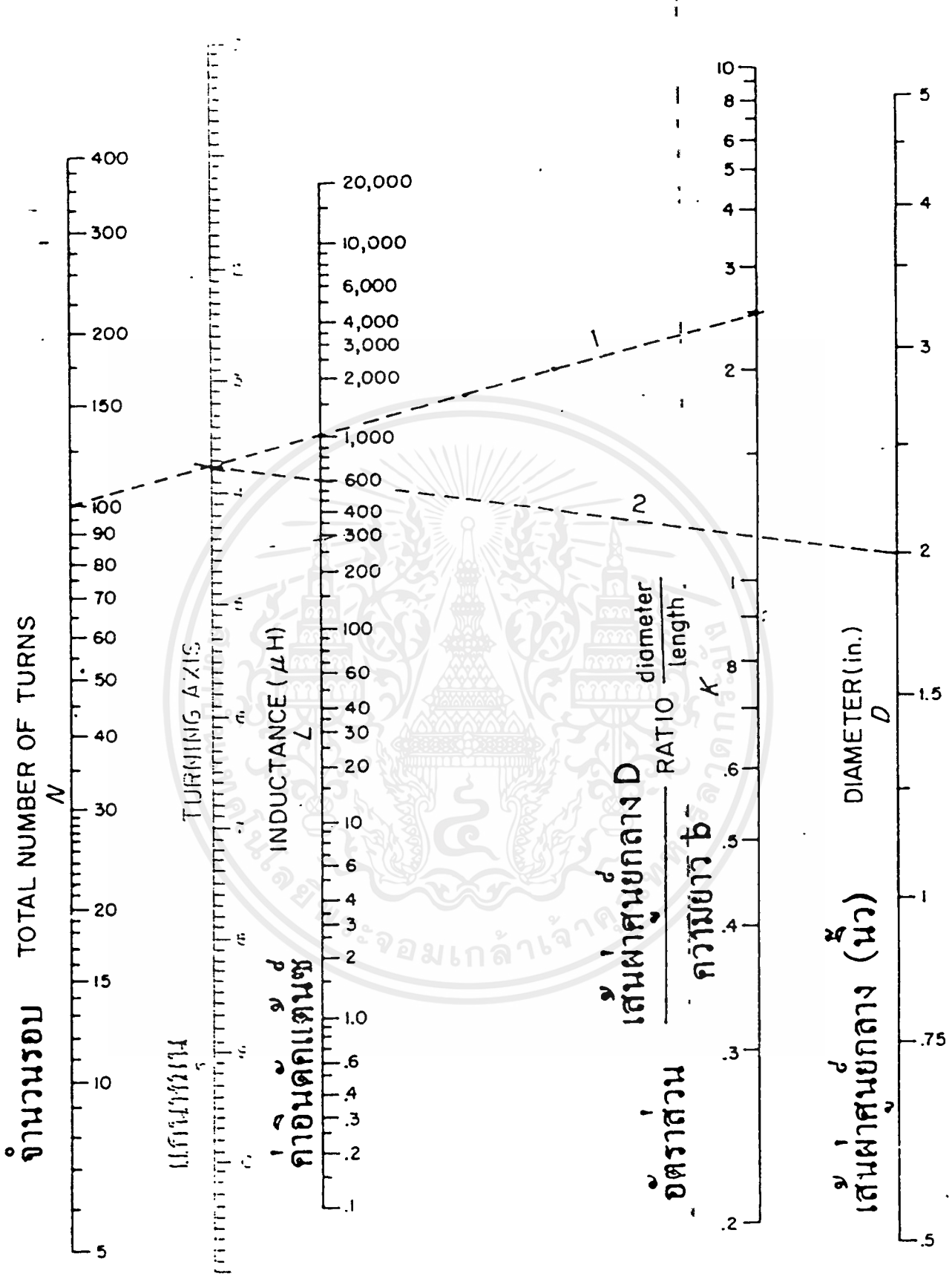
ขั้นตอนแรกให้ลากเส้นตรงจากชนดเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) ของแกนที่จะใช้ ไปยังค่า L ที่ต้องการ ลากเส้นเลยไปจนถึงแกนร่วม

ขั้นตอนที่สอง ลากเส้นตรงจากค่า K ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่าศูนย์กลาง และความยาวของถาดพัน ลากไปตัดกับเส้นแรกที่แกนร่วม แล้วลากเลยไปตัดแกน n. ถ้ อ่านค่าได้จากจำนวนรอบที่ได้จากแกน n นี้ ตามรูปโมโนโนกราฟ แสดงว่าถ้ากำหนดเส้นผ่าศูนย์กลางของแกน (2a) เป็น 1 นิ้ว ความยาวของถาดพัน (b) เป็น 1.5 นิ้ว และต้องการค่า L เป็น 32 μH จะต้องพันประมาณ 49 รอบ

หลังจากที่รู้จำนวนรอบแล้วสิ่งต่อไปก็คือจะต้องหาว่าควรใช้ลวดเบอร์อะไร เทคนิคในการเลือกขนาด (เบอร์) ขดลวด คือ ต้องดูว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดที่ใช้อย่างมากจนไม่สามารถพัน จำนวนรอบที่ต้องการลงบนแกนที่ยาวจำกัดได้หรือไม่ ดังนั้นเราจึงต้องคำนวณหา จำนวนรอบต่อนิ้วที่จะต้องลงบนแกนเสียก่อน แล้วจึงดูช่องที่ 4 ในตารางที่ 1 หาเบอร์ลวดในมาตรฐานที่ต้องการที่สามารถพันได้จำนวนรอบ/นิ้วมากกว่าที่ต้องการ แต่ถ้ามากเกิดไปขนาดเส้นลวดอาจเล็กเกินไปจนค่าความต้านทานของลวดอาจทำให้ค่า Q ของขดลวดน้อยเกินไป

เบอร์ลวด AWG	เบอร์ลวด SWG ที่ใกล้เคียง	เส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)	จำนวนรอบ/นิ้ว	จำนวนรอบ ต่อ ค.ร. นว	ค่า $\Omega/1000$ ฟุต ที่ 25 °ซ
1	1	7.348	-	-	0.1264
2	3	6.544	-	-	0.1593
3	4	5.827	-	-	0.2009
4	5	5.189	-	-	0.2533
5	7	4.621	-	-	0.3195
6	8	4.115	-	-	0.4028
7	9	3.665	-	-	0.5080
8	10	3.264	7.6	57	0.6405
9	11	2.906	8.6	72	0.8077
10	12	2.588	9.6	90	1.018
11	13	2.305	10.7	113	1.284
12	14	2.053	12.0	141	1.619
13	15	1.828	13.5	177	2.042
14	16	1.628	15.0	221	2.575
15	17	1.450	16.8	277	3.247
16	18	1.291	18.9	348	4.094
17	18	1.150	21.2	437	5.163
18	19	1.024	23.6	548	6.510
19	20	0.912	26.4	681	8.210
20	21	0.812	29.4	852	10.35
21	22	0.723	33.1	1065	13.05
22	23	0.644	37.0	1340	16.46
23	24	0.573	41.3	1665	20.76
24	25	0.511	46.3	2100	26.17
25	26	0.455	51.7	2630	33.00
26	27	0.405	58.0	3320	41.62
27	29	0.361	64.9	4145	52.48
28	30	0.321	72.7	5250	66.17
29	31	0.286	81.6	6510	83.44
30	33	0.255	90.5	8175	105.2
31	34	0.227	101	10,200	132.7
32	36	0.202	113	12,650	167.3
33	37	0.180	127	16,200	211.0
34	38	0.160	143	19,950	266.0
35	38-39	0.143	158	25,000	335
36	39-40	0.127	175	31,700	423
37	41	0.113	198	39,600	533
38	42	0.101	224	49,100	673
39	43	0.090	248	62,600	848
40	44	0.080	282	77,600	1070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นโดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ของลวดเคลือบน้ำยาเบอร์ต่างๆ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.49 โนโมกราฟหาค่า L สำหรับการพันชั้นเดียวบนแกนอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรนำออกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง สมมติว่าขดลวดขดหนึ่งมี 48 รอบ พันด้วยความถี่ 32 รอบต่อ 1 นิ้ว และมีเส้นผ่าศูนย์กลาง พ นิ้ว ค่า L จะเป็นเท่าไร

$$\text{วิธีทำ} \quad a = (3/4) * (1/2) = 0.375 \text{ นิ้ว}$$

$$b = 948/320 = 1.5 \text{ นิ้ว}$$

$$\text{และ} \quad n = 48$$

$$L = \frac{0.375 * 0.375 * 48 * 48}{(9 * 0.375) + (10 * 1.5)}$$

$$= 17.6 \quad \text{H}$$

ตัวอย่าง ต้องการพันขดลวดให้ได้ค่า 10 uH โดยแกนที่จะใช้มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว และยาวพอที่จะพันลวดได้ยาว 1 (1/4) นิ้ว จะต้องพันสักกี่รอบ

$$\text{วิธีทำ} \quad a = 0.5, \quad b = 1.35 \text{ และ } L = 10 \text{ จะได้}$$

$$n = \sqrt{\frac{10(4.5+1.25)}{0.5*0.5}} = 680$$

$$= 26.1 \text{ รอบ}$$

เวลาพันจริงก็พัน 26 รอบก็ใกล้เคียงพอแล้ว เนื่องจากการพันทั้งหมดยาว 1.25 นิ้ว ดังนั้นจำนวนรอบต่อนิ้วจะเป็น $26.1/1.25 = 20.9$ รอบต่อนิ้ว ดูจากช่องที่ 4 ในตารางที่ 1 จะเห็นว่าลวดเคลือบน้ำยาเบอร์ 17 AWG หรือลวดเบอร์ 18SWG ใช้ได้เพราะสามารถพันได้แน่นถึง 21.2 รอบต่อนิ้ว แต่อาจจะใช้ลวดขนาดเล็กกว่าบ้างก็ได้ (หมายถึงใช้เบอร์สูงขึ้น)

คุณสมบัติอีกข้อหนึ่งของลวดตัวนำก็คือ เมื่อกระแสไหลผ่านลวดตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ลวดตัวนำ โดยมีค่าคงที่ตลอดเวลาแต่จะไม่มีผลต่อลวดตัวนำถ้าเป็น กระแสไฟตรง แต่ถ้าหากกระแสนั้นเปลี่ยนแปลงตามเวลา (กระแสสลับ) สนามแม่เหล็กก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามกระแสไฟฟ้าด้วย โดยจะพุ่งตัวและยุบตัวลงตามการเพิ่มและลดลงของกระแสไฟฟ้า สนามแม่เหล็กนี้จะเคลื่อนที่ตัดผ่านเนื้อโลหะของสายไฟทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้นใน สายไฟฟ้า โดยจะทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ปฏิกิริยาการเหนี่ยวนำนี้เรียกว่า ความเหนี่ยวนำตัวเอง (self-inductance) และอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติเช่นนี้ก็คือ ตัวเหนี่ยวนำ (inductor) และถ้านำสายไฟฟ้ามาขดเป็นวงกลมเป็นหลาย ๆ ชั้นก็กลายเป็นขดลวดหรือคอยล์ และค่าความเหนี่ยวนำ (inductance) ที่เกิดขึ้นในสายไฟธรรมดาจะมีค่าน้อยมากจนไม่มีผลอะไรที่ความถี่สูง ๆ สำหรับค่าความเหนี่ยวนำและค่าความเข้าสนามแม่เหล็ก (magnetic flux density) ของสายไฟ หาได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$L = (0.002)l(2.3) \log(4)/d - 0.075) \dots\dots\dots(\mu\text{H})$$

โดยที่

$$L = \text{ค่าความเหนี่ยวนำ (ไมโครเฮนรี)}$$

$$l = \text{ความยาวของสายไฟ (เซนติเมตร)}$$

$$d = \text{เส้นผ่าศูนย์กลางของสายไฟ (เซนติเมตร)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

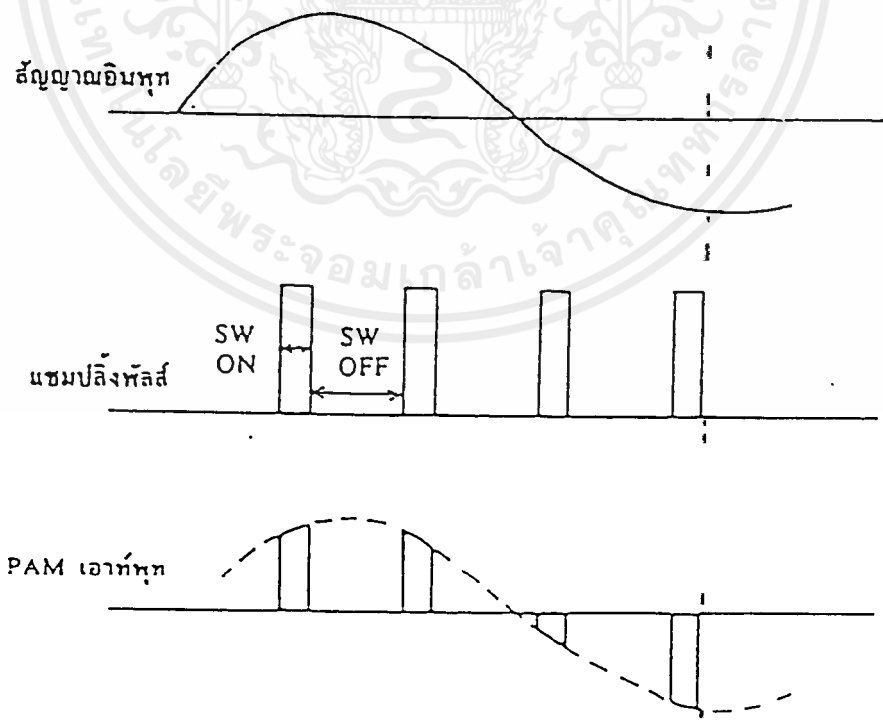
2.6.4 ระบบพัลส์มอดูเลชัน

เมื่อจำแนกระบบต่างๆ ของพัลส์มอดูเลชันแล้วจะมีสองระบบกว้างๆ คือ ระบบพัลส์อนาล็อกมอดูเลชัน และ ระบบพัลส์ดิจิทัลมอดูเลชัน ซึ่งแบบแรกจะได้จากการแรมปลิงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นค่าดิจิทัล ในช่วงเวลาที่เท่ากันอย่างสม่ำเสมอ แล้วทำการส่งในหลายรูป โดยยังรักษาสัญญาณอนาล็อกเดิมไว้ อย่างเช่นในระบบ PAM (PULSE AMPLITUDE MODULATION), PWM (PULSE WIDTH MODULATION), PPM (PULSE PHASE MODULATION) และ PFM (PULSE FREQUENCY MODULATION) ส่วนในแบบที่สองนั้นจะใช้แบบ ดิจิทัลทั้งเวลาและแอมปลิจูดโดยผ่านกระบวนการควอนไทซิง (QUANTIZING) และการเข้ารหัส (CODING)

ในระบบอนาล็อก ปริมาณที่เป็นอนาล็อกเช่น PAM และ PWM นั้น เมื่อมันถูกส่งออกไปยังด้านรับ ถ้ามี noise ปนอยู่ในช่องสัญญาณใดๆ ก็จะไม่สามารถแยกสัญญาณเดิมได้ออกมาอย่างเด่นชัด ซึ่งระบบต่างๆ เหล่านี้จะมี noise มากกว่าแบบดิจิทัลพัลส์มอดูเลชัน

พัลส์แอมปลิจูดมอดูเลชัน (PAM)

หลักการเบื้องต้นของการมอดูเลทและการดีมอดูเลทแบบ (PAM) นี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.50 ตามรูป สวิตช์จะปิดเฉพาะเวลาแรมปลิงเท่านั้นขนาดของพัลส์ ที่ได้รับจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแอมปลิจูดของสัญญาณเดิม



(ข) กระบวนการมอดูเลท

การมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลจะมีเทคนิคการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลนี้ 3 แบบด้วยกันคือ

1. AMPLITUDE SHIFT KEYING (ASK)
2. FREQUENCY SHIFT KEYING (FSK)
3. PHASE SHIFT KEYING (PSK)

คลื่นพาหะในย่านความถี่วิทยุ กำหนดได้โดย คลื่นพาหะ = $A \cos(\omega t + \Phi)$

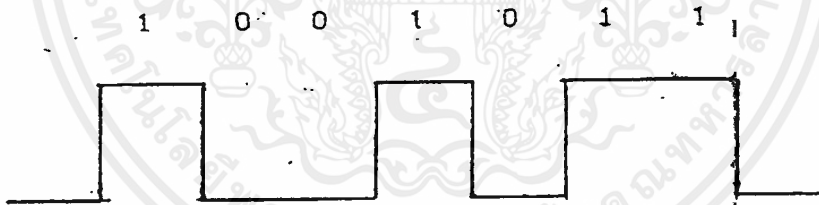
ในที่นี้กำหนดให้

A = แอมพลิจูดของคลื่นพาหะ

ωt = ความถี่ของคลื่นพาหะ

Φ = INITIAL PHASE

สัญญาณดิจิทัลแบบแบนด์เป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม แสดงรหัสไบนารี 1 และ 0 ในการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลนี้ หนึ่งในสามพารามิเตอร์คือ แอมพลิจูด ความถี่ และเฟสของคลื่นพาหะจะเปลี่ยนไปตามสถานะ 1 และ 0

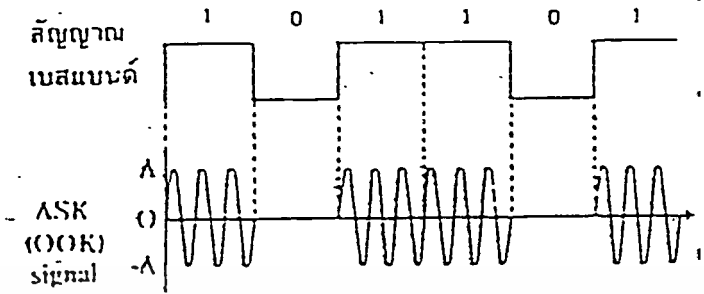


รูปที่ 2.51 รูปสัญญาณแบบแบนด์ดิจิทัล

1. AFK (AMPLITUDE SHIFT KEYING) บางครั้งเราอาจจะเรียกว่า OOK (ON OFF KEYING) เพราะว่าคลื่นพาหะถูกสวิตช์ ON/OFF ตามสัญญาณที่เป็น 1 หรือ 0 ถ้าคลื่นพาหะกำหนดโดย $A = \cos \omega t$ ดังนั้นสัญญาณของ ASK จะถูกกำหนดได้เป็น

$$S(t) = \begin{cases} A \sin \omega t, & \text{เมื่อสัญญาณเป็น 1} \\ 0 & \text{เมื่อสัญญาณเป็น 0} \end{cases}$$

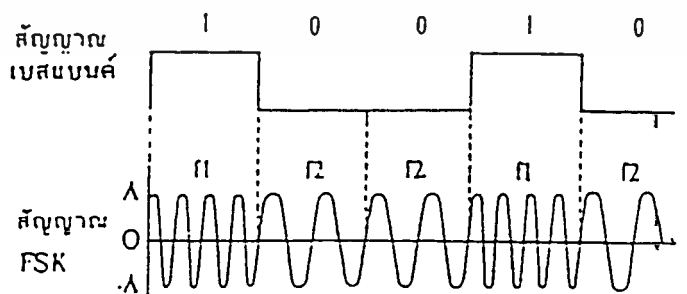
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.52 แสดงสัญญาณ AMPLITUDE SHIFT KEYING

2. FREQUENCY SHIFT KEYING (FSK) ในระบบนี้ความถี่คลื่นพาหจะมี 2 ความถี่ เช่น ความถี่ f_1 สำหรับสัญญาณที่เป็น 1 และความถี่ f_2 สำหรับสัญญาณที่เป็น 0

$$S(t) = \begin{cases} A \sin \omega c_1 t & \text{สำหรับสัญญาณที่เป็น 1} \\ A \sin \omega c_2 t & \text{สำหรับสัญญาณที่เป็น 0} \end{cases}$$

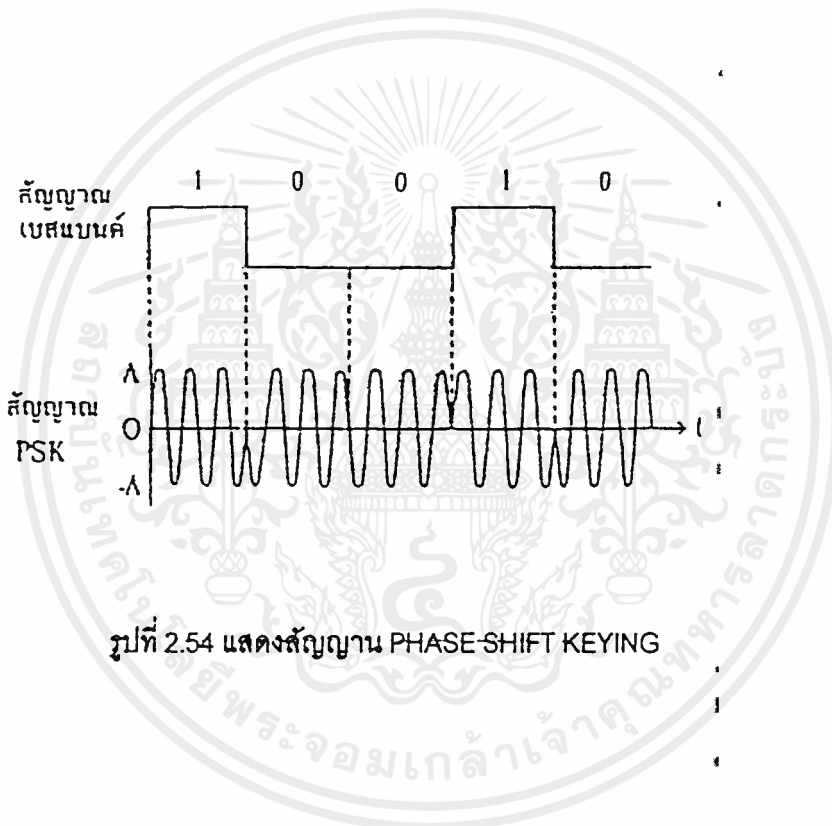


รูปที่ 2.53 แสดงสัญญาณ FREQUENCY SHIFT KEYING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะวิธีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. PHASE SHIFT KEYING (PSK) ในระบบนี้แอมพลิจูดและความถี่ จะคงที่ แต่ INITIAL PHASE จะต่างกัน สำหรับสัญญาณที่เป็น 0 และเป็น 1 คือเฟสของคลื่นพาห้ $A \cos(\omega ct + \theta)$ จะเปลี่ยนไปตามสถานะของสัญญาณ เช่น เฟส เป็น 0 และเฟสเป็น 1

$$S(t) = \begin{cases} A \sin \omega ct & \text{กรณีที่สัญญาณที่เป็น 1} \\ A \sin \omega ct + \theta & \text{กรณีที่สัญญาณที่เป็น 0} \end{cases}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

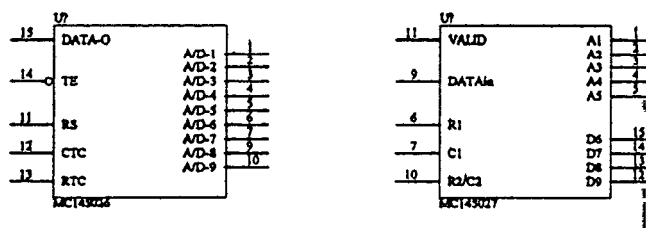
การทำงานของระบบนี้จะประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 ซึ่งจะแสดงถึงบล็อกไดอะแกรมของส่วนต่างๆ ส่วนประกอบที่สำคัญแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. ส่วนของภาครีโมทคอนโทรล
2. ส่วนของการหมุนของสเตปป์มอเตอร์
3. ส่วนของการส่งสัญญาณภาพ

3.1 ส่วนรีโมทคอนโทรล

หลักการจะใช้คลื่นวิทยุความถี่สูงย่าน UHF อยู่ในช่วงระหว่าง 450 - 550 MHz หัวใจสำคัญอยู่ที่ชุดเข้ารหัสและชุดถอดรหัส ที่จะนำสัญญาณรหัสความแตกต่างนี้ ไปทำการแยกออกมาเพื่อที่จะนำมาทำสัญญาณควบคุมต่อแชนแนล ในการควบคุมแต่ละแชนแนลตัวที่สำคัญคือ ไอซีเข้ารหัสเบอร์ 145026 เป็นตัวกำหนดรหัสข้อมูลและแอดเดรส และไอซีถอดรหัสเบอร์ 145027

การทำงานของภาคส่งจะประกอบด้วย ภาคเข้ารหัส และภาคส่งซึ่งใช้ความถี่คลื่นวิทยุ (RF) ส่วนของวงจรเข้ารหัสอาศัยการทำงานของ ไอซีเบอร์ MC 145026 คุณสมบัติของไอซีตัวนี้ที่สำคัญคือ มีการรับข้อมูลมาทำการเข้ารหัสแบบขนาน และจะส่งข้อมูลออกแบบอนุกรม รหัสทางอินพุทของไอซีตัวนี้ สามารถเข้ารหัสได้ 3 สถานะ คือ "0", "1", และสภาวะอิมพีแดนซ์สูง คือ ลักษณะการปล่อยขาลอยไว้ โดยโครงสร้างของไอซีนี้จะมีขาอินพุทเข้าทั้งหมด 9 ขา ซึ่งจะแบ่งออกเป็น ขาแอดเดรส 5 ขา และขาข้อมูลอีก 4 ขา การทำงานเพื่อทำการรับข้อมูล และส่งข้อมูลของไอซีทั้งสองตัวนี้จะต้อง มีการกำหนดแอดเดรสให้ตรงกันเสียก่อน ก็คือกำหนดสถานะของขา A0 - A5 ของไอซีเบอร์ 145026 ให้ตรงกับสถานะของขา A0 - A5 ของไอซีเบอร์ 145027 คุณสมบัติในการเข้ารหัสข้อมูลคือขา D0 - D3 ดังนั้นจะสามารถเข้ารหัสได้เท่ากับ $2^4 = 16$ ความแตกต่าง ในส่วนของการทำสวิทช์เข้ารหัสเพื่อจะเลือกในแต่ละช่องสัญญาณ เราจะใช้ไอซีเบอร์ 74C922 รับสัญญาณมาจากเมตริกซ์ สวิทช์ เข้ามาทำเป็น DATA CODE ขนาด 4 บิต ซึ่งจะเป็นตัวกำหนด CODE ให้กับไอซี 145026 และจะส่งสัญญาณ DATA CODE ออกมาทางเอาต์พุท ที่ขา 15 เป็น สัญญาณอนุกรมที่ส่งต่อกันมาด้วยความถี่ที่กำหนดขึ้นมาในตัวมันเองที่ ขา 11, 12, 13, ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงขาต่างๆของไอซีและการต่อของขากำเนิดความถี่

การคำนวณค่ากำหนดความถี่ในตัวไอซี สามารถคำนวณได้จากสูตร

ตัวเข้ารหัส (MC14026)

$$f_{osc} = \frac{1}{2.3 R_{tc} C_{tc}}$$

จาก DATA SHEET กำหนดให้ $C_{tc} = 20 \text{ PF}$ และให้ค่า $R_s = 2 R_{tc}$

กำหนดให้ ค่าของ C_{tc} ต้องมีค่าอยู่ระหว่าง $100 \text{ PF} - 15 \mu\text{F}$ และ R_{tc} มีค่าไม่ต่ำกว่า $10 \text{ K}\Omega$

ตัวถอดรหัส (MC 14027)

$$R_1 C_1 = 3.95 R_{tc} C_{tc} \text{ และ } R_2 C_2 = 77 R_{tc} C_{tc}$$

คำนวณการใช้งานจริง

ตัวเข้ารหัส (MC14026) กำหนดให้ $R_{tc} = 15 \text{ K}\Omega$ และ $C_{tc} = 4.7 \text{ nF}$ เพราะฉะนั้นจะได้ความถี่ ออสซิลเลเตอร์เท่ากับ

$$\begin{aligned} f_{osc} &= \frac{1}{2.3 * (15 * 10^3) * (4.7 * 10^{-9} + 20 * 10^{-12})} \\ &= 6.140 \text{ KHz} \\ R_s &= 2 R_{tc} \\ &= 30 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

ใช้ R_s เท่ากับ $33 \text{ K}\Omega$ แทน ทางด้านเครื่องรับจะต้องทำการคำนวณให้ MATCH กันกับค่าที่กำหนดไว้จาก

$$\begin{aligned} R_1 C_1 &= 3.95 R_{tc} C_{tc} \\ &= 3.95 * (15 * 10^3) * (4.7 * 10^{-9} + 20 * 10^{-12}) \\ &= 0.000278 \end{aligned}$$

กำหนดให้ R_1 เท่ากับ $33 \text{ K}\Omega$ เพราะฉะนั้น $C_1 = 0.0847 \mu\text{F}$ (ใช้ C_1 เท่ากับ $0.022 \mu\text{F}$)

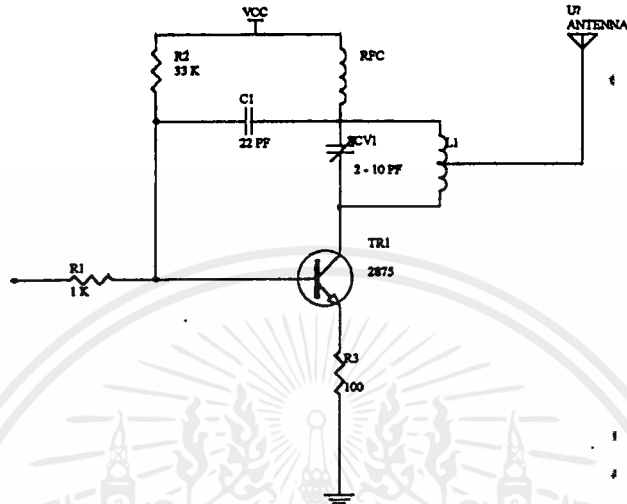
$$\begin{aligned} R_2 C_2 &= 77 R_{tc} C_{tc} \\ &= 77 * (15 * 10^3) * (4.7 * 10^{-9} + 20 * 10^{-12}) \\ &= 0.00545 \end{aligned}$$

กำหนดให้ R_2 เท่ากับ $100 \text{ K}\Omega$ เพราะฉะนั้น $C_2 = 0.545 \mu\text{F}$ (ใช้ C_2 เท่ากับ $0.1 \mu\text{F}$)

สัญญาณที่ได้จาก ไอซีเบอร์ 145026 ที่ขา 15 เราจะนำไปทำการผสมกับคลื่นวิทยุความถี่สูงในส่วนต่อไป ส่วนเครื่องกำเนิดสัญญาณวิทยุ จะประกอบด้วย ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2N2875 กำเนิดความถี่ร่วมกับ L และ C ประกอบขึ้นเป็นวงจรแทงค์เซอร์กิต กำเนิดความถี่ 450 - 550 MHz และสามารถปรับความถี่ได้ที่ค่าความจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของ คอนเดนเซอร์ของวงจรทางค้ วงจรที่ใช้กำเนิดความถี่เราเรียกว่า วงจร LC ออสซิลเลเตอร์ ซึ่งเราใช้เป็น วงจร ฮาร์ทเลย์



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์

เราจะคำนวณหาค่า L และ C ถ้าเรากำหนดความถี่ที่ต้องการขึ้นมา โดยจะหาได้จากสูตร

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

กำหนดให้ $f = 500 \text{ MHz}$

$c = 2 - 10 \text{ PF}$

$$500 \cdot 10^6 = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L \cdot (6 \cdot 10^{-12})}}$$

จะได้ค่า $L = 0.016 \mu\text{H}$

ทางด้านภาครับของรีโมทจะประกอบด้วยภาคแรกจะเป็นตัว DEMODULATE สัญญาณให้ออกมาเป็นสัญญาณเดิมซึ่งก็จะประกอบด้วยภาคขยายสัญญาณ RF เพื่อทำการขยายสัญญาณที่รับได้ให้มีความแรงขึ้น และภาคจูนเนอร์เพื่อทำการขยายลักษณะ

จากสูตรการคำนวณ

$$\begin{aligned} \phi &= \text{COS } \omega ct f (t) \\ &= \text{COS } \omega ct f (t) \cdot \text{COS } \omega ct \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$= f(t) \{1/2 + 1/2 \cos 2\omega ct\}$$

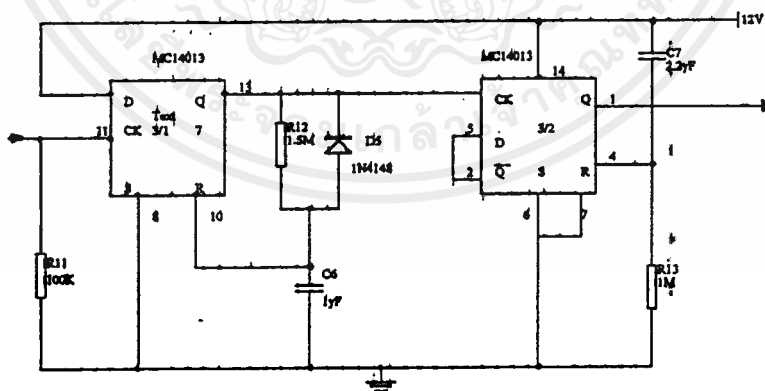
$$= 1/2 f(t) + 1/2 f(t) \cos 2\omega ct$$

จะเห็นว่าเมื่อ $1/2 f(t) + 1/2 f(t) \cos 2\omega ct$ ผ่าน lowpass filter แล้วก็จะทำให้ได้สัญญาณที่เป็นสัญญาณเดิมกลับมา โดยที่ $1/2 f(t) \cos 2\omega ct$ จะถูกตัดทิ้งโดยวงจร lowpass filter แล้วทำการนำสัญญาณที่ได้จากการตีมอดูเลทเข้าวงจรสมิททริกเกอร์ เพื่อทำการจัดระดับสัญญาณดิจิตอลให้กลับคืนมา เมื่อได้สัญญาณดิจิตอลมาแล้ว ก็จะถูกส่งต่อไปทำการถอดรหัสที่อินพุทที่เข้าทางขา 9 ของไอซี เบอร์ 145027 ตัวไอซีตัวนี้ จะทำการรับสัญญาณอินพุทแบบอนุกรม และจะให้สัญญาณเอาต์พุทเป็น แบบขนาน ซึ่งจะให้สัญญาณข้อมูลออกมาจำนวน 4 เส้น สัญญาณที่ได้นี้จะถูกนำมาแยกออกหรือถูกนำมาเพื่อทำเป็นเซนแนลต่าง โดยไอซีเบอร์ 14028 ซึ่งเป็นไอซีถอดรหัสขนาด 10 เซนแนล แต่ในที่นี้จะเลือกนำมาใช้งานจริงแค่จำนวน 6 เซนแนล

การควบคุมที่กำหนดไว้หรือ ฟังก์ชันการทำงาน

1. ควบคุมการเปิดและปิดการจ่ายไฟทั้งหมด
2. ควบคุมทิศทางการหมุนส่วนต่างๆ
3. ควบคุมการหมุน

การควบคุมการเปิด-ปิดการจ่ายไฟทั้งหมด หลักการก็คือ นำเอาเซนแนลที่ 6 ของวงจรถอดรหัสมาทำการควบคุม เมื่อทำการกดปุ่มรีโมทคอนโทรลที่เซนแนลนี้ หนึ่งครั้งวงจรจ่ายไฟก็จะจ่ายไฟให้กับวงจรตามส่วนต่างๆ และถ้ากดปุ่มรีโมทที่เซนแนลนี้อีกครั้งหนึ่ง วงจรจ่ายไฟก็จะทำการหยุดจ่ายไฟให้กับวงจรส่วนต่างๆ วงจรนี้จะประกอบไปด้วย ไอซี เบอร์ 4013 จัดเป็นวงจรฟลิปฟลอป ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แสดงวงจรควบคุมการเปิดและปิดการจ่ายไฟ

การทำงานของไอซี 4013 นั้นเป็น ดี ฟลิปฟลอป ซึ่งภายในจะประกอบด้วย ดี ฟลิปฟลอปจำนวน 2 ตัว โดยตัวที่หนึ่ง จัดวงจรเป็น ไมโนสเตเบิล กำหนดการหน่วงเวลา ด้วย R และ C ที่ต่ออยู่กับขา ของไอซี เพื่อขจัดปัญหา ของสวิตช์ ซึ่งวงจรโมดเดนสเตเบิล ก็จะทำให้การค้างสถานะไว้ชั่วขณะให้กับฟลิปฟลอป เพื่อที่จะให้การ ทำงานเป็นในลักษณะ toggle คือ เมื่อขาของ ดีฟลิปฟลอปถูกกระตุ้นให้เป็นหนึ่ง หรือระดับแรงดันไฟบวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอาที่พุทที่ได้จะเป็นหนึ่ง ทำการขับทรานซิสเตอร์ให้นำกระแส จ่ายไฟให้กับวงจรต่างๆ และถ้าขาของ ดี ฟลิป ฟลอปถูกกระตุ้นด้วยหนึ่งหรือระดับแรงไฟบวกอีกครั้ง ก็จะทำการกลับสถานะเอาที่พุทของ ดี ฟลิปฟลอป เป็น 0 ส่งผลทำให้ไม่มีสัญญาณไปขับทรานซิสเตอร์ ก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์ไม่ทำงาน วงจรควบคุมก็จะไม่ทำงาน การควบคุมทิศทางการหมุนส่วนต่างๆแบ่งออกเป็น 2 แชนแนล คือ ส่วนกำหนดการหมุน หรือปุ่มควบคุมทิศ ทางและแชนแนลการสั่งให้หมุน โดยการนำเอาวงจรถอดรหัสที่เหลืมาทำการควบคุม ปุ่มที่ใช้ในการบังคับทิศ ทางเมื่อเราทำการกดที่ปุ่มนี้หนึ่งครั้ง ทิศทางการหมุนก็จะไปในทิศทางหนึ่ง และเมื่อกดปุ่มนี้ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ทิศ ทางการหมุนก็จะหมุนกลับทิศกัน (ทิศตรงข้ามกับครั้งแรก) โดยปุ่มนี้จะถูกใช้งานในลักษณะฟลิปฟลอป เช่น เดียวกับภาคจ่ายไฟ สัญญาณ 0 และ 1 ที่ได้จากวงจรฟลิปฟลอปนี้จะไปคอนโทรลการหมุนที่ไอซีเบอร์ MC 14510 เพื่อไปทำการนับขึ้นและนับลง ปุ่มสั่งให้หมุน หลังจากกำหนดทิศทางหมุนแล้วจากปุ่มควบคุมทิศ ทางแล้วปุ่มนี้จะไปสั่งงาน ให้สัญญาณนาฬิกาที่ผลิตจากไอซีเบอร์ 555 เข้าไปในวงจรมับ วงจรมับก็จะทำ การสัญญาณนาฬิกาที่ได้ และส่งสัญญาณเอาที่พุทออกมาเป็นรหัส BCD เข้าวงจรถอดรหัส เพื่อนำไปขับวงจร ไตรฟลเดบปี้งมอเตอร์เพื่อที่จะทำให้สเตปปี้งมอหมุนไปในทิศทางที่ต้องการ

3.2 ส่วนการหมุนของสเตปปี้งมอเตอร์

ในการที่จะทำให้สเตปปี้งมอเตอร์หมุนได้นั้น จะต้องมีการกระตุ้น เฟสของสเตปปี้งมอเตอร์ เรียงกันไปตาม ลำดับ ถ้าเกิดการกระตุ้น เฟสไม่เรียงตามลำดับ จะเกิดการหยุดอยู่กับที่ เพราะฉะนั้นการที่จะกระตุ้นเฟสให้ เรียงกัน ไม่ว่าจะเดินหน้า หรือถอยหลัง จะต้องมึวงจรที่จะทำการนับขึ้น หรือลง และก็จะต้องมีตัวกำเนิดพัลส์ ซึ่งวงจรมกำเนิดพัลส์นั้น เราใช้ ไอซี เบอร์ 555 ทำการกำเนิดพัลส์แบบอะสโตเบิ้ล ที่จะให้ รูปคลื่นพัลส์สี่เหลี่ยม และสามารถที่จะกำหนดความถี่ และช่วงกว้างของสัญญาณได้ เมื่อเราได้สัญญาณพัลส์แล้ว ก็ทำการส่งต่อไป ให้ วงจรมับ ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ MC 14510 ที่ขา 15 เพื่อจะนำไปทำการนับ แล้วให้สัญญาณออกมาเป็นแบบรหัส BCD จากนั้นก็นำสัญญาณรหัส BCD มาทำการถอดรหัสดอกมาเป็นแชนแนลต่างๆ เพื่อนำไปขับทรานซิสเตอร์ เบอร์ BD 682 เพื่อนำไปกระตุ้นเฟสต่างๆ ของสเตปปี้งมอเตอร์ต่อไป สเตปปี้งมอเตอร์จะมีการหมุนที่ 1.8 องศาต่อหนึ่งสเตป เรียงกันไป เพราะฉะนั้นในหนึ่งรอบจะหมุนไปทั้งหมด $360/1.8 = 200$ แสดงว่าจะต้องใช้ สัญญาณพัลส์จำนวน 200 ลูกในการหมุนครบรอบ

3.3 ส่วนส่งสัญญาณภาพ

ในวงจรส่งสัญญาณภาพเราจะส่งสัญญาณในย่าน UHF ที่ความถี่ประมาณ 450 - 550 MHz โดยการสร้างความถี่คลื่นพาห้ด้วยวงจรออสซิลเลเตอร์ เราสามารถคำนวณหาค่าความถี่ออสซิลเลเตอร์ได้จากสูตร

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}}$$

กำหนดให้ $f = 550 \text{ MHz}$

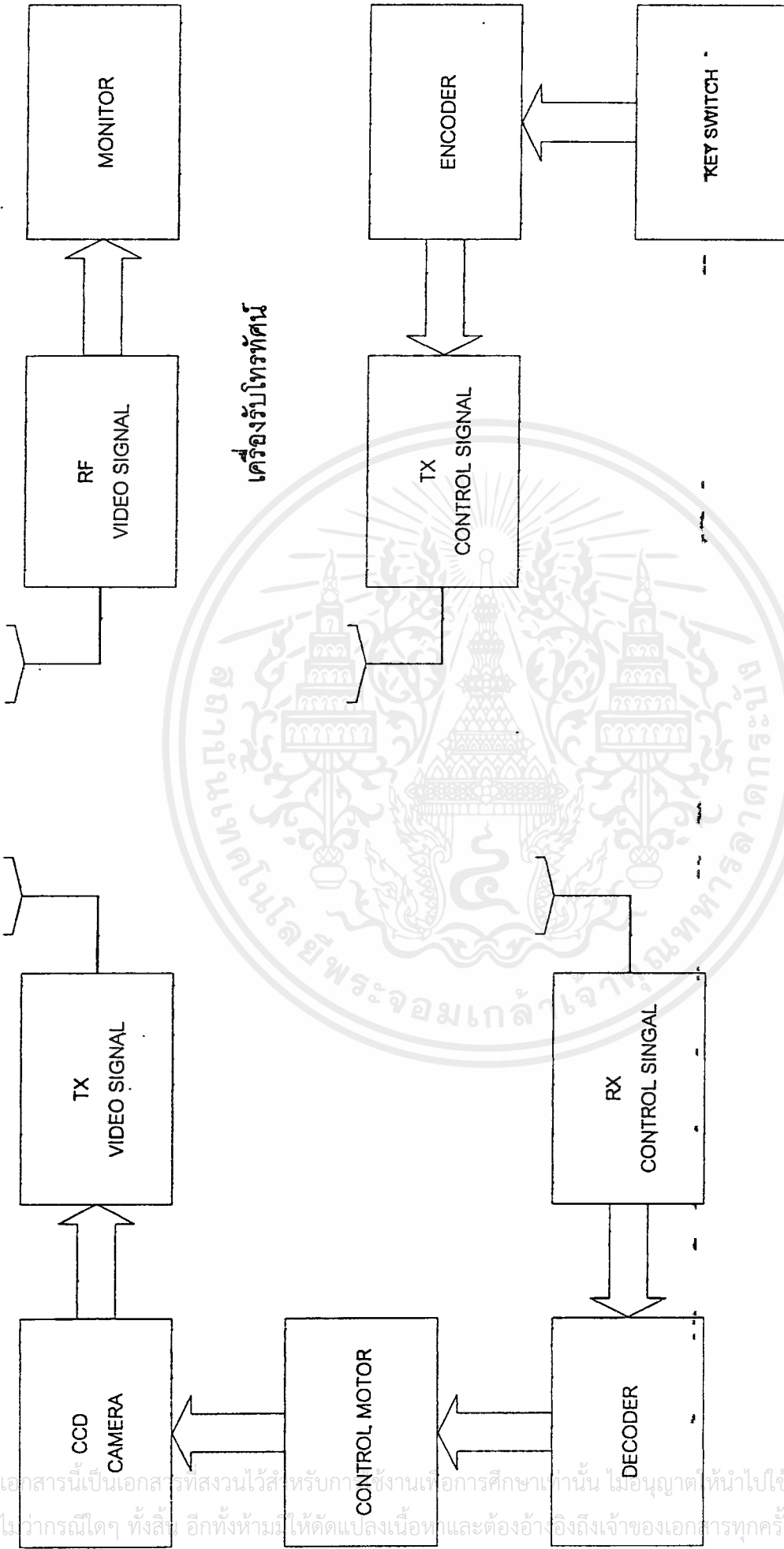
$c = 2 - 10 \text{ PF}$

$$550 \cdot 10^6 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot (6 \cdot 10^{-12})}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

จะได้ค่า $L = 0.013 \mu\text{H}$

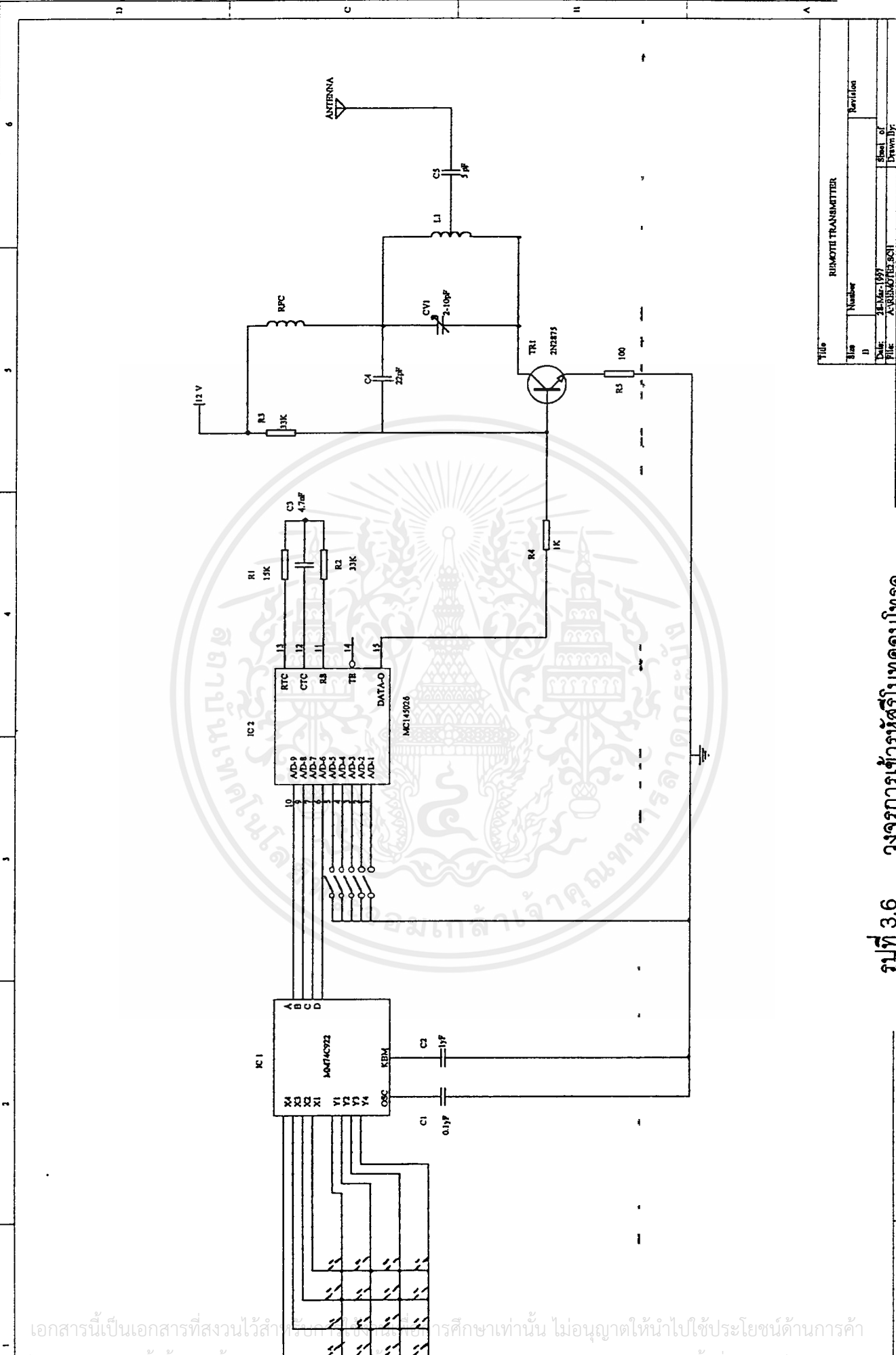
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคควบคุมมอเตอร์และภาคส่งสัญญาณภาพ

REMOTE CONTROL

รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของส่วนต่างๆ

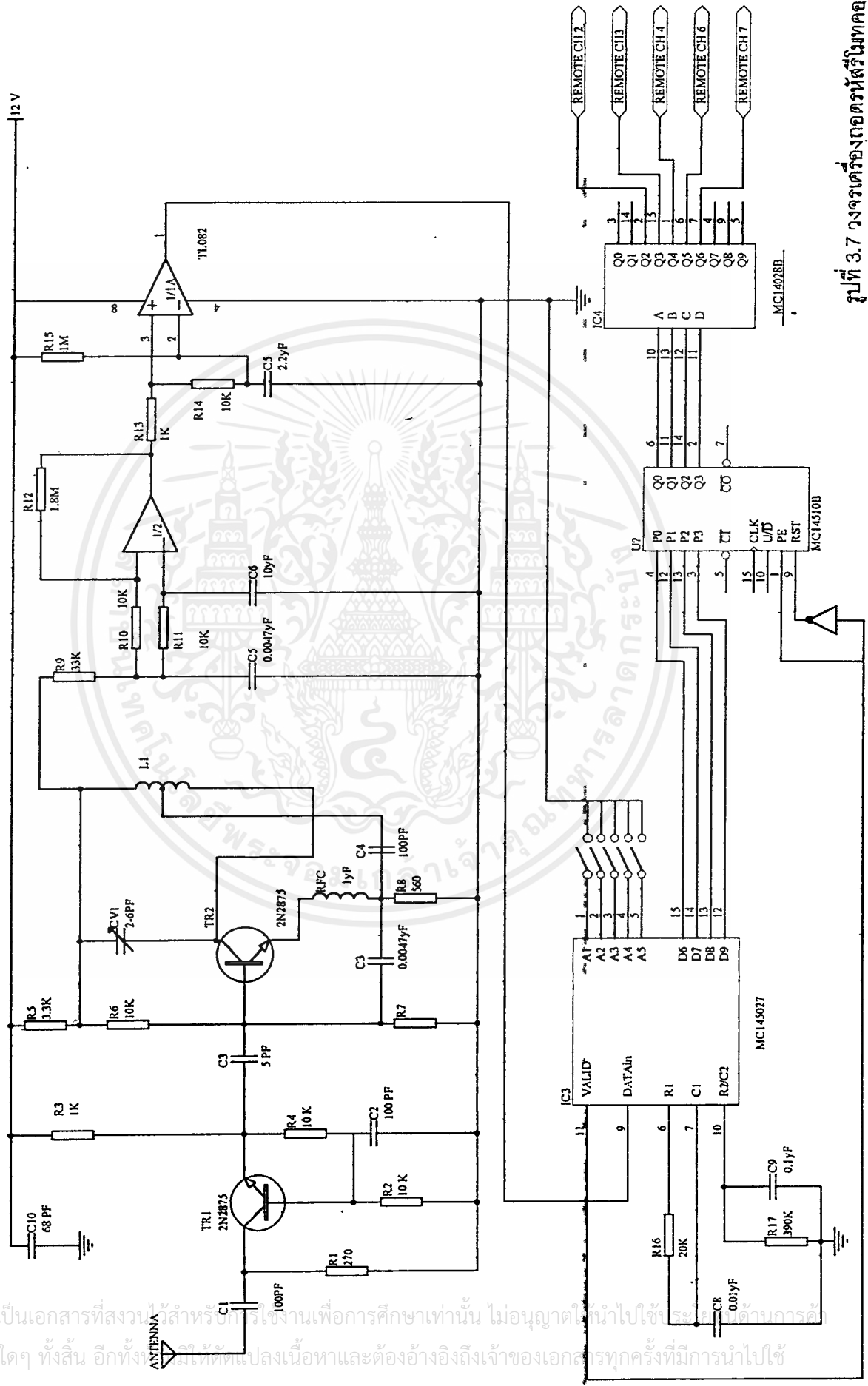


Title		REMOTE TRANSMITTER	
Blot	Number	Revision	
ID			
Date	24 Mar 1971	Sheet of 6	
File	AVR14092E.SCH	Drawn by	

รูปที่ 3.6 วงจรการเข้ารหัสรีโมทคอนโทรล

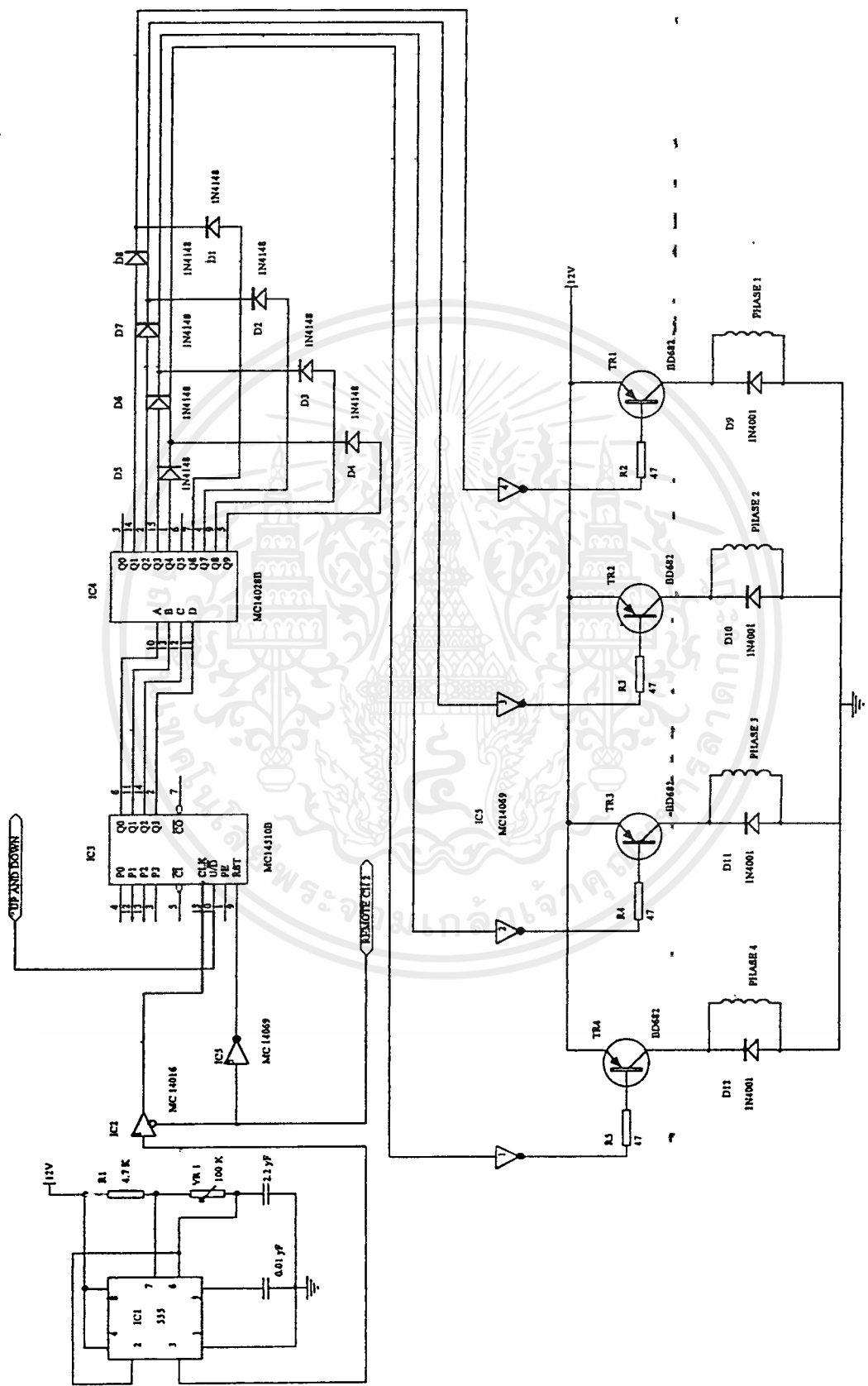
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 2 3 4



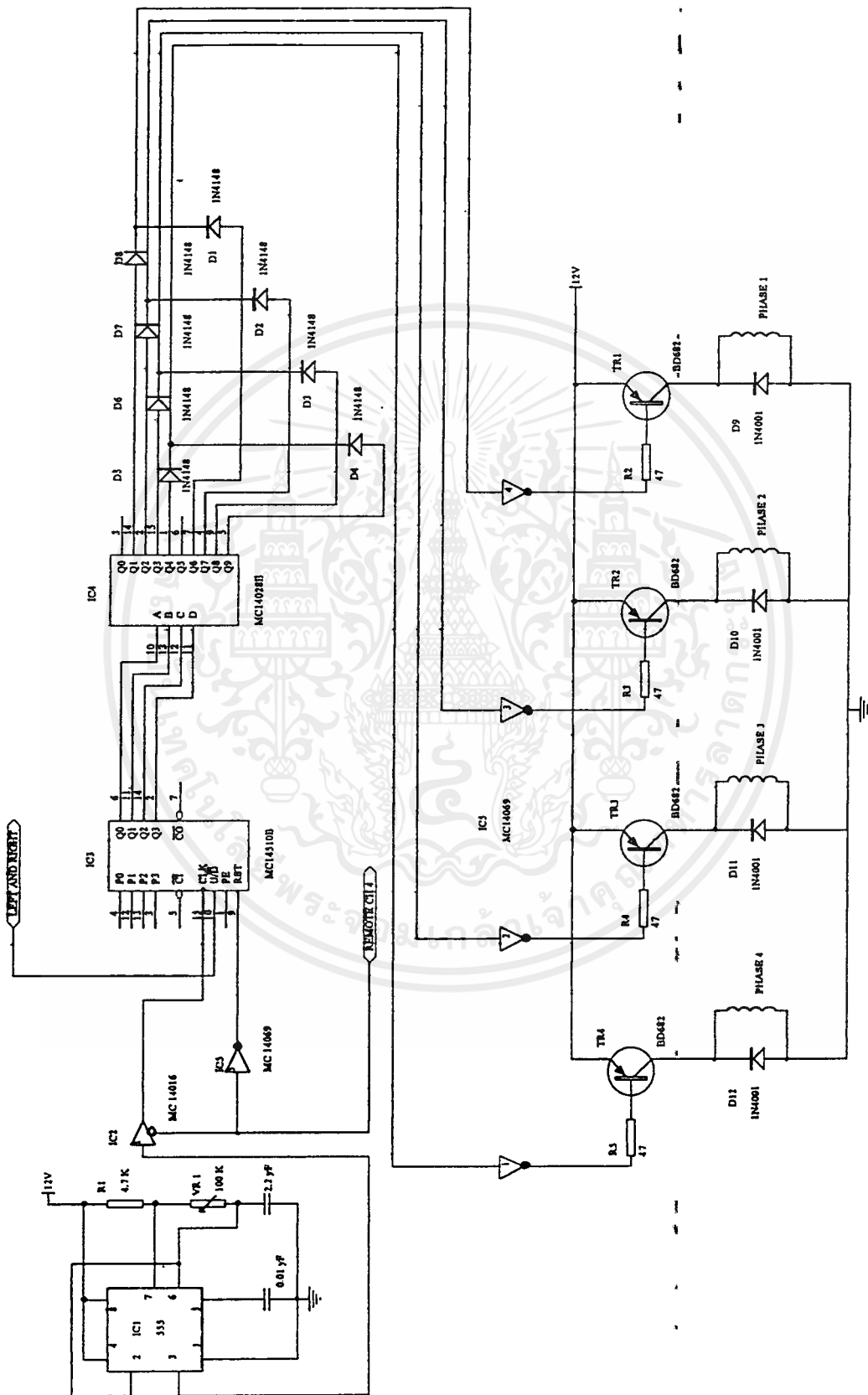
รูปที่ 3.7 วงจรเครื่องถอดรหัสรีโมทคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังขอสงวนสิทธิ์ในการเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

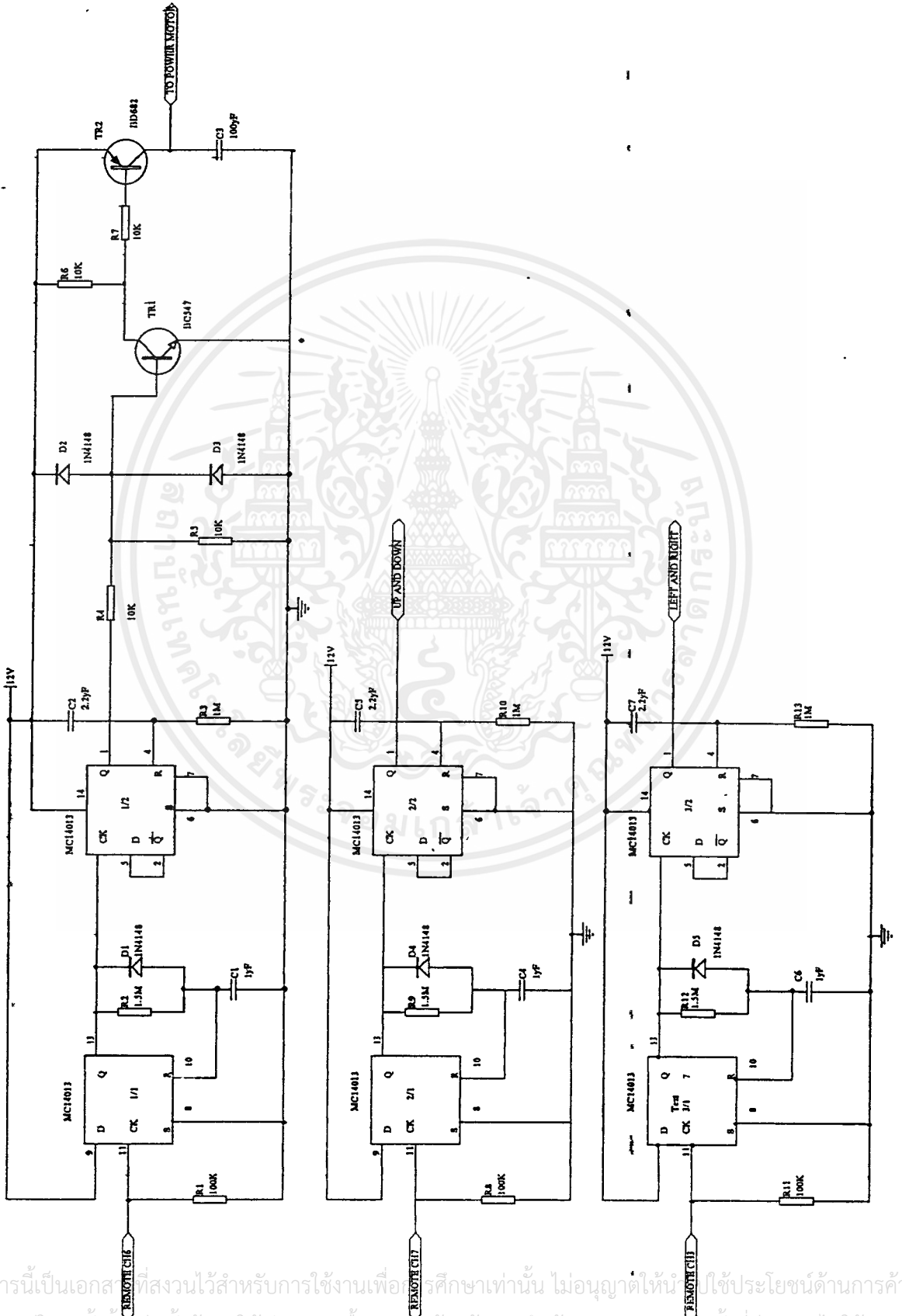


รูปที่ 3.8 วงจรควบคุมความเร็วมอเตอร์ หมุนขึ้นและหมุนลง

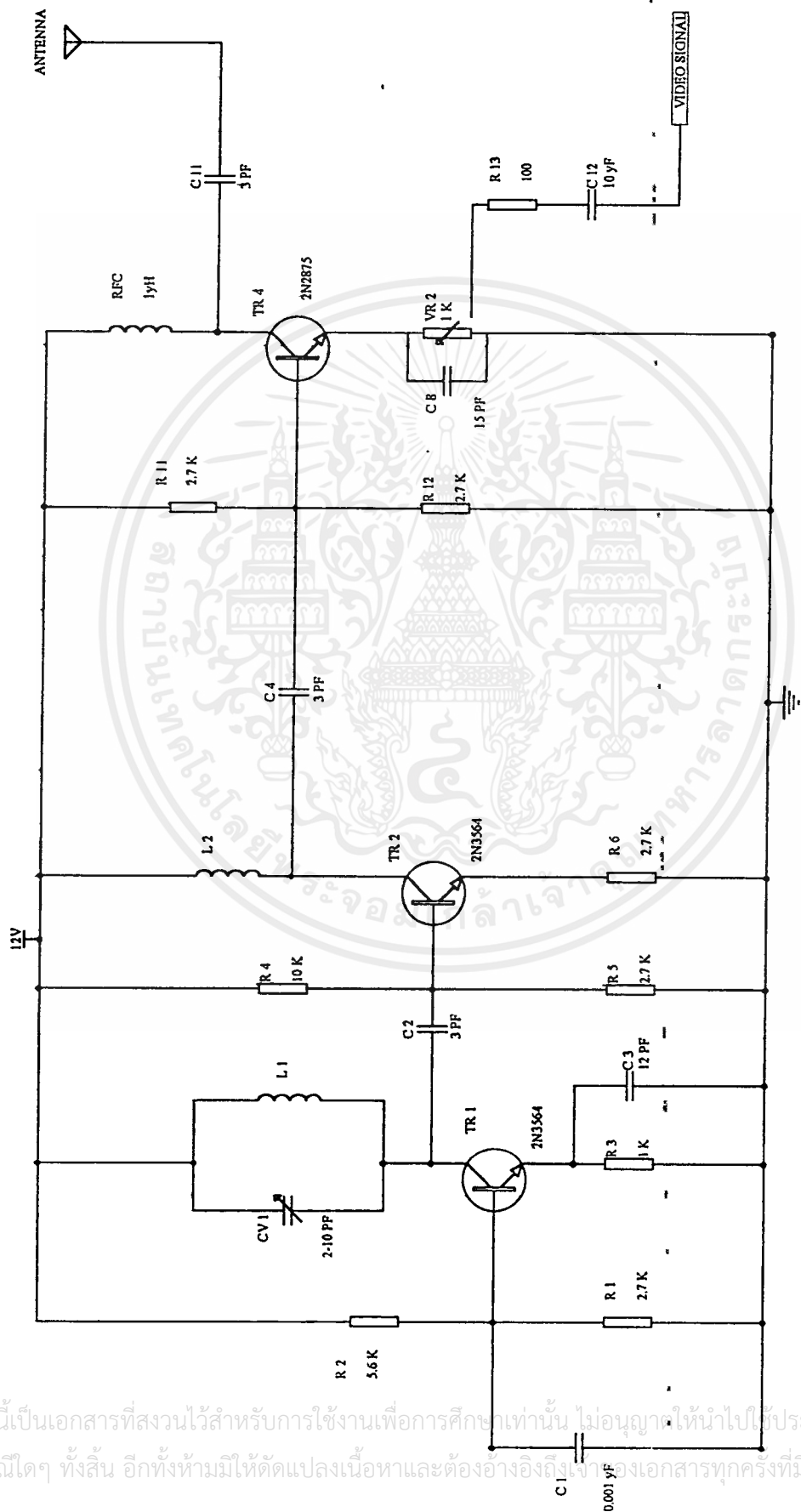
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
มีวิธีการใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

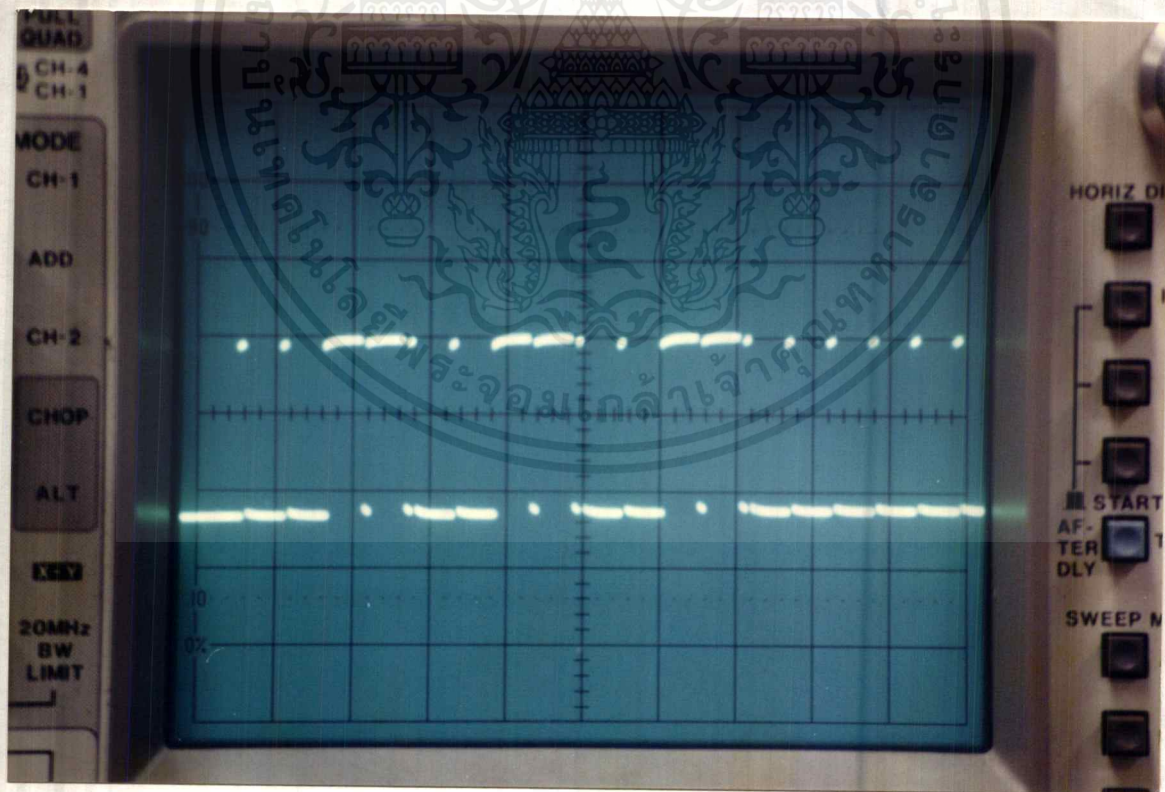


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงแหล่งที่มาของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

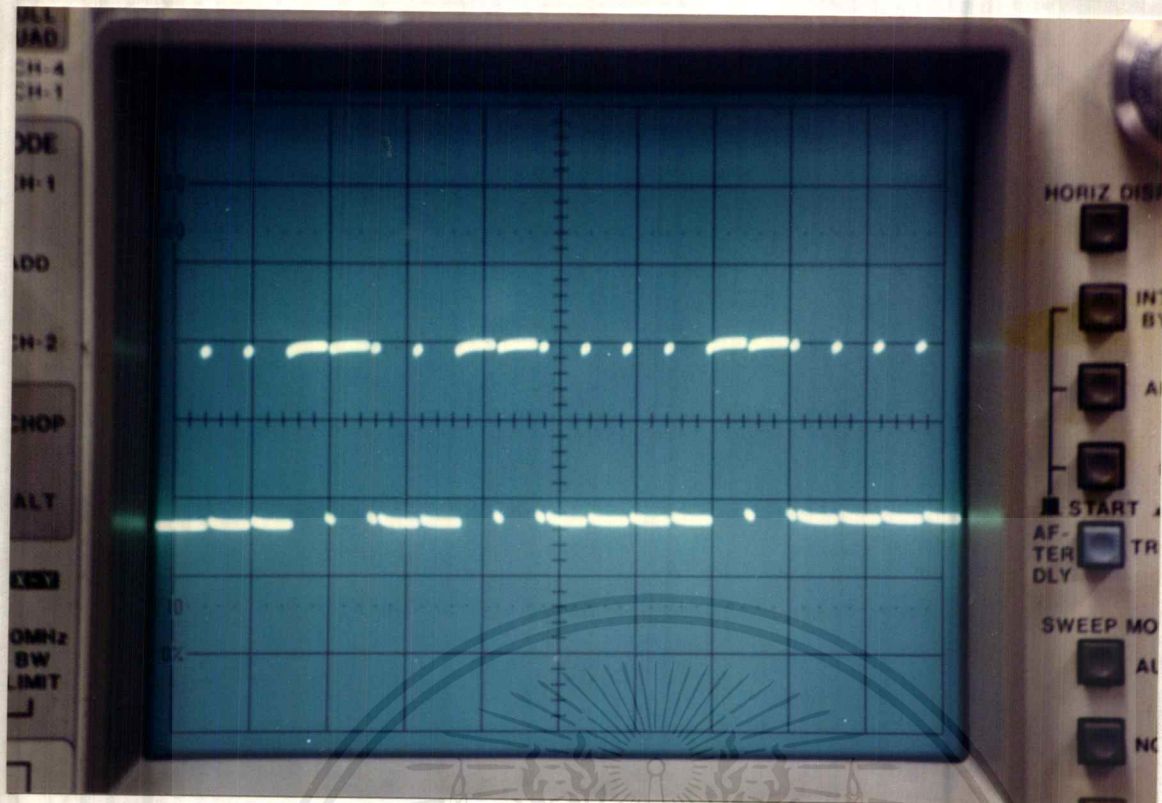
บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

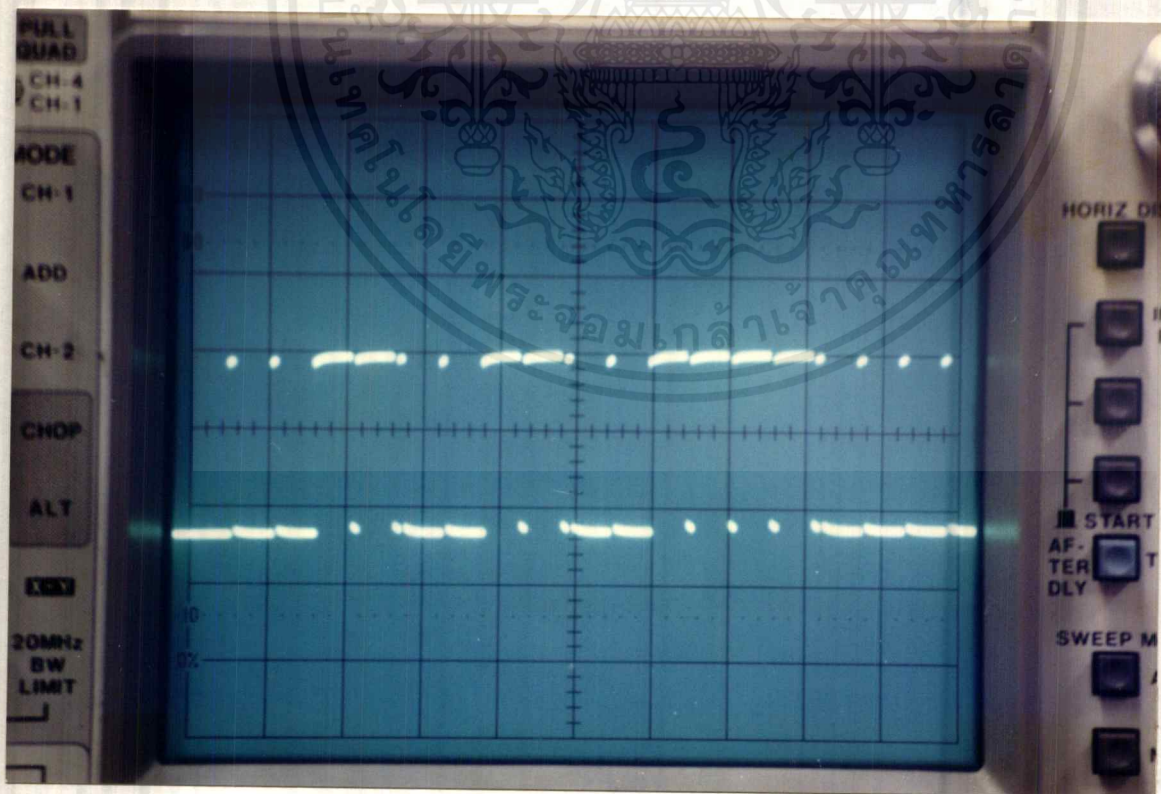
จากวงจรจะเห็นว่าในการส่งและรับข้อมูลนั้น เราใช้การเข้ารหัส และถอดรหัสจากไอซีเบอร์ MC145026 เป็นตัวเข้ารหัส และ ไอซี เบอร์ MC 145027 เป็นตัวถอดรหัส ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้ คู่กัน ในรี โมทคอนโทรล เพราะฉะนั้นการทดลองและผลการทดลองนั้นจะดูสัญญาณที่ไอซี ทั้งสองตัวนี้เป็นสำคัญ ซึ่งผลการทดลองนั้นจะต้องเช็คว่าภาคส่งนั้นส่งไปแล้ว ภาครับนั้นทำการรับสัญญาณที่ส่งมาได้นั้นถูกต้องหรือไม่ ส่วนภาคอื่นนั้นก็ทำการเช็คว่าทำงานได้ถูกต้อง ตามที่เราต้องการหรือไม่ ขั้นตอนแรกเราก็จะทำการวัดสัญญาณที่ตัวไอซีทั้งสองตัวก่อน จากวงจรการเข้ารหัสเราใช้การเข้ารหัสด้วยไอซีเบอร์ MM74922 ทำเป็นเมตริกซ์ สวิตช์ เข้าสัญญาณที่ขา X1 ,X2 , X3, X4 เป็นจำนวนทั้งหมด 4 เส้น และเข้าสัญญาณที่ Y1 และ Y2 เป็นจำนวนทั้งหมด 2 เส้น ซึ่งจะทำให้มีสัญญาณเข้ารหัสทั้งหมดเป็นจำนวนเท่ากับ 8 ช่องสัญญาณ เพราะฉะนั้นผลการทดลองเราจะทำการวัดสัญญาณการเข้ารหัสและถอดรหัสทั้ง 8 ช่องสัญญาณ ซึ่งวงจรเข้ารหัสจะทำการวัดสัญญาณที่ขา 15 ส่วนทางด้านรับจะทำการวัดสัญญาณออกมาจากภาคดีมอดูเลทมาเข้าที่ขา 9 ของไอซีเบอร์ MC 145027



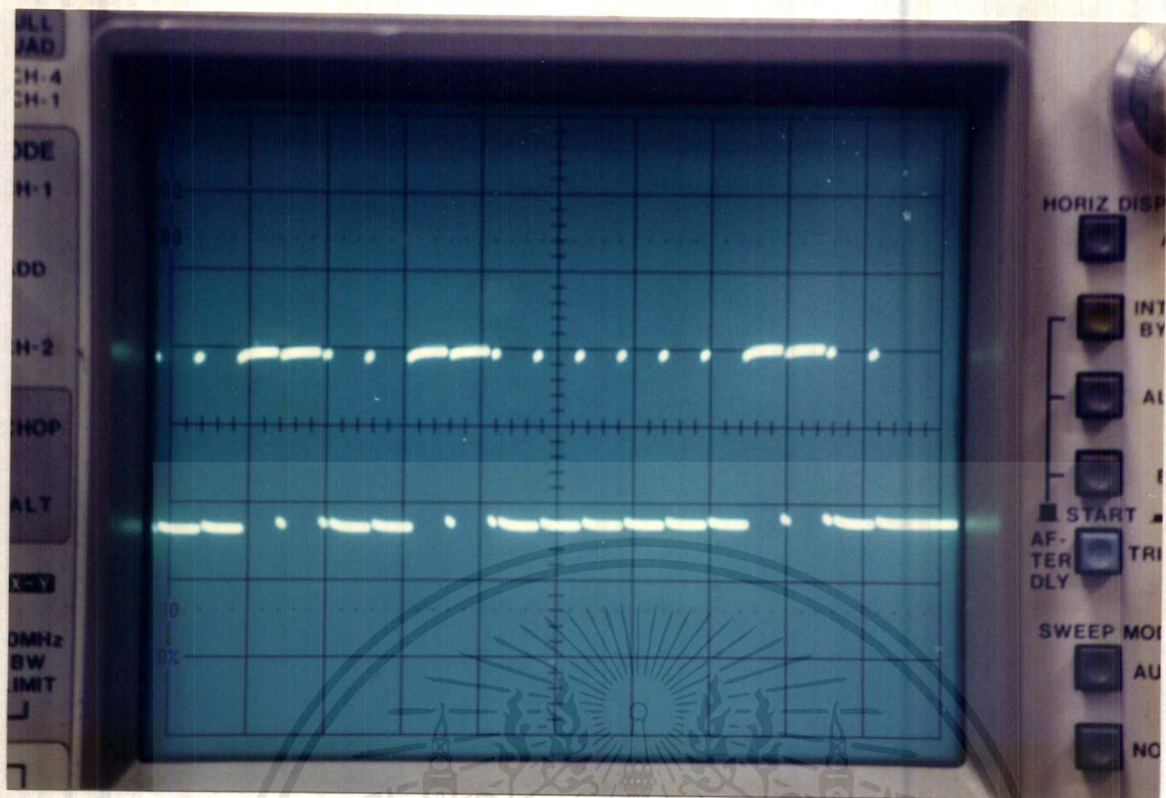
รูปที่ 4.1 รูปสัญญาณเอาต์พุตของไอซีเข้ารหัส MC 145026 ที่ขา 15 channel ที่ 1
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น เมื่อผู้ใดคัดลอกไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



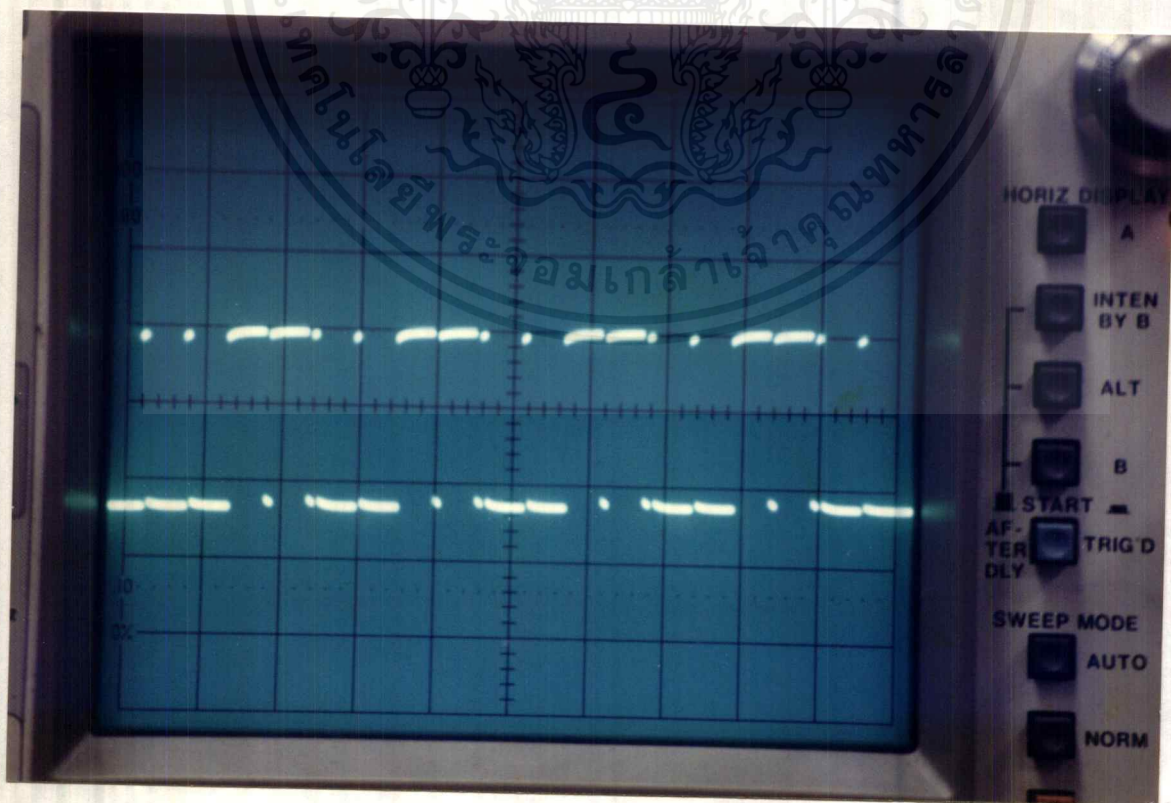
รูปที่ 4.2 รูปสัญญาณเอาต์พุตของไอซีเข้ารหัส MC 145026 ที่ขา 15 channel ที่ 2



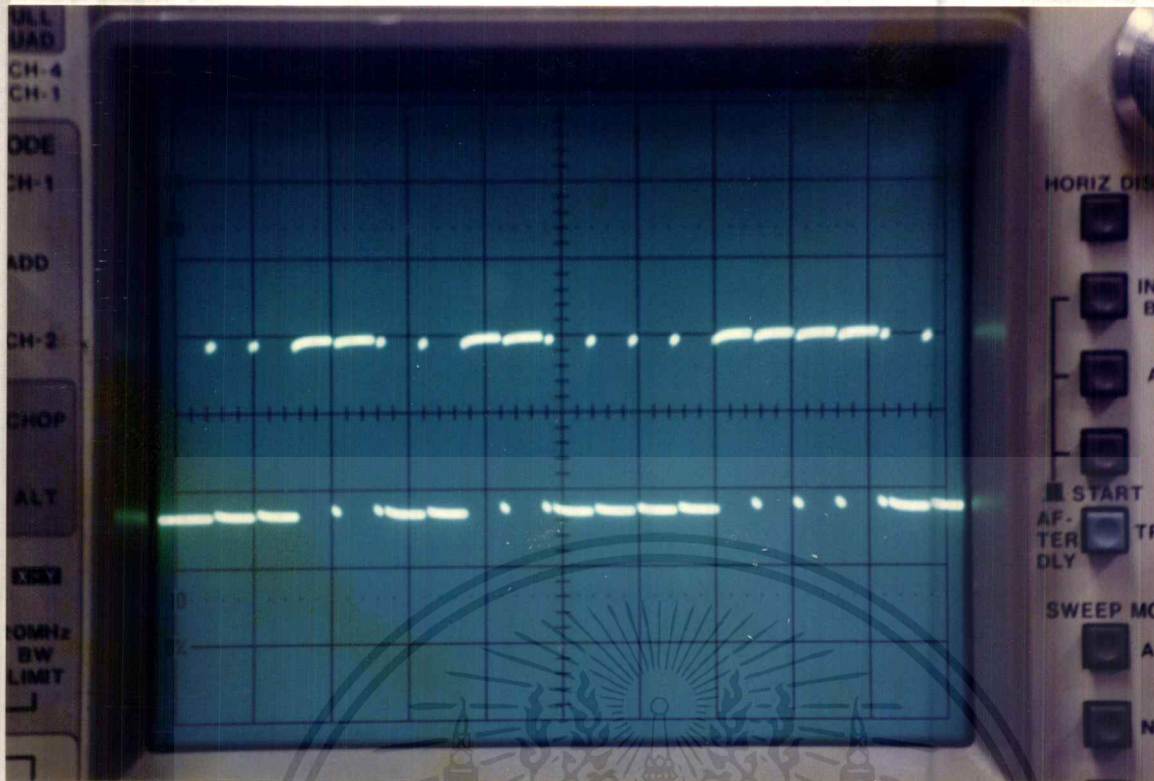
เอกสารนี้รูปที่ 4.3 รูปสัญญาณเอาต์พุตของไอซีเข้ารหัส MC 145026 ที่ขา 15 channel ที่ 3
 ไม่ว่าจะตีพิมพ์หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ไว้ได้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะตีพิมพ์หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ไว้ได้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะตีพิมพ์หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ไว้ได้ประโยชน์ด้านการค้า



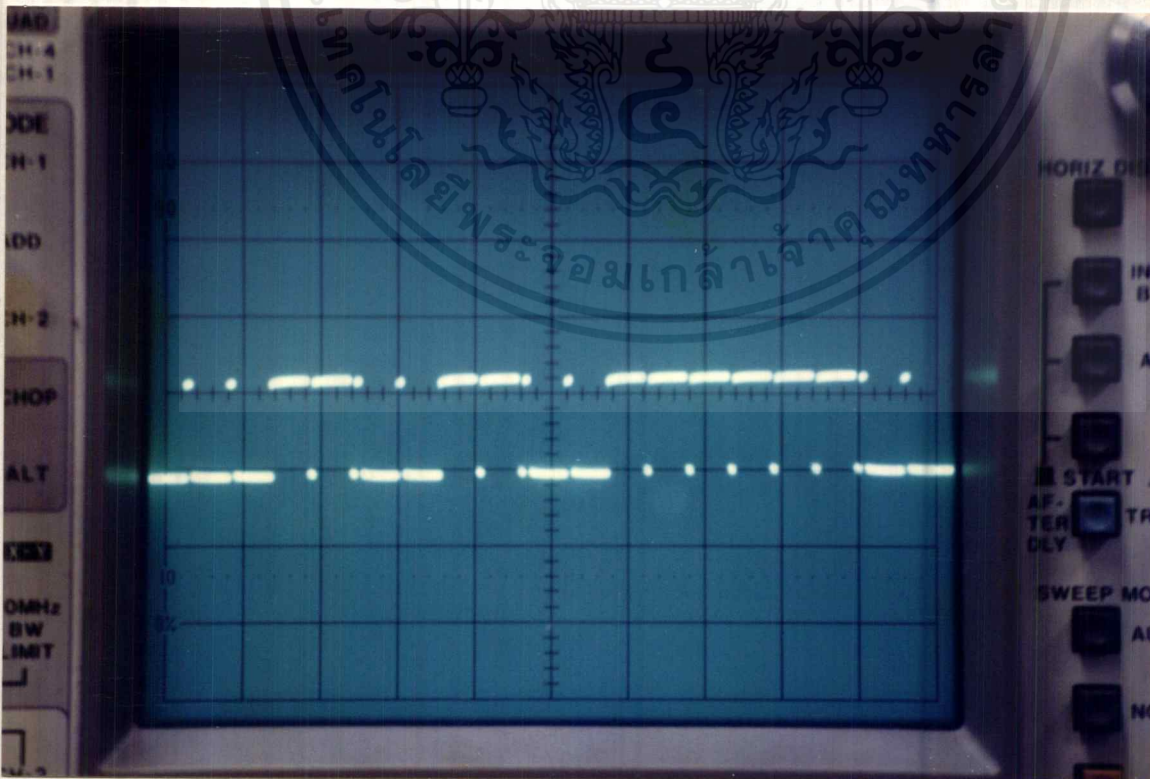
รูปที่ 4.4 รูปสัญญาณเอาต์พุตของไอซีเข้ารหัส MC 145026 ที่ขา 15 channel ที่ 4



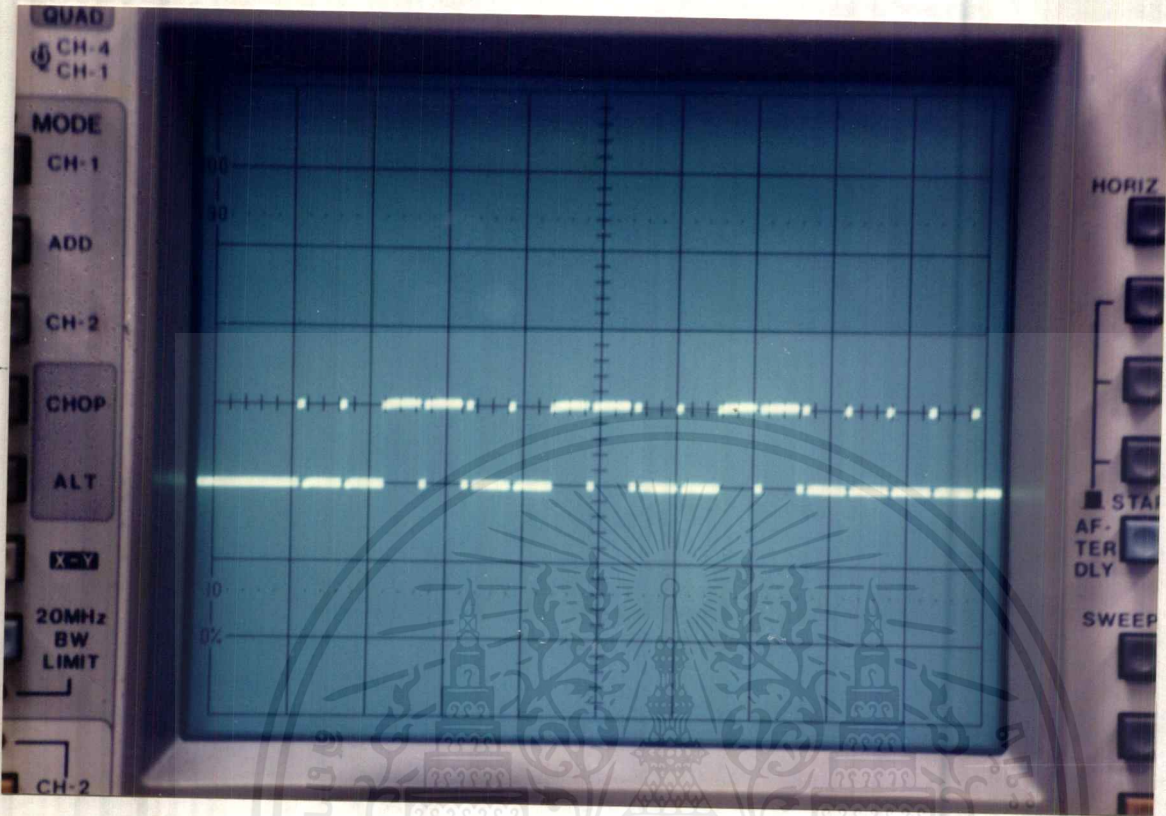
เอกสารนี้รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณเอาต์พุตของไอซีเข้ารหัส MC 145026 ที่ขา 15 channel ที่ 5 วัตถุประสงค์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



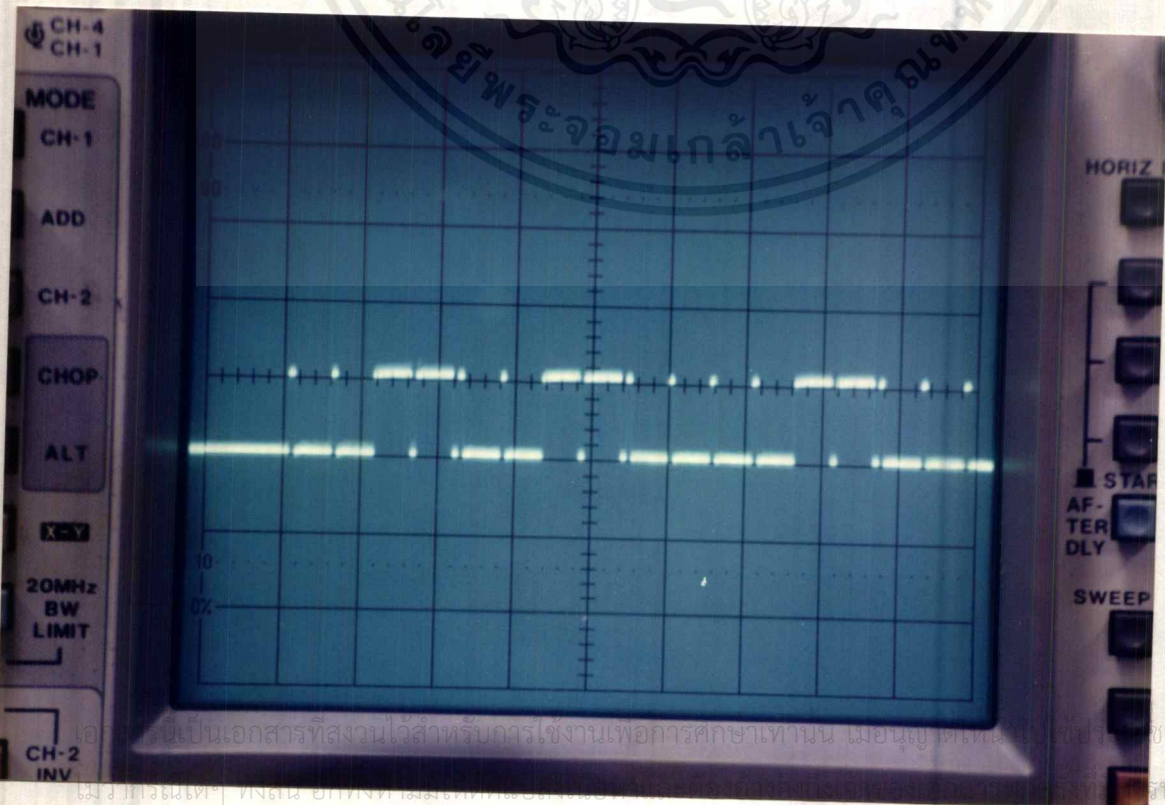
รูปที่ 4.6 รูปสัญญาณเอาต์พุตของไอซี เข็มรหัส MC 145026 ที่ขา 15 channel ที่ 6



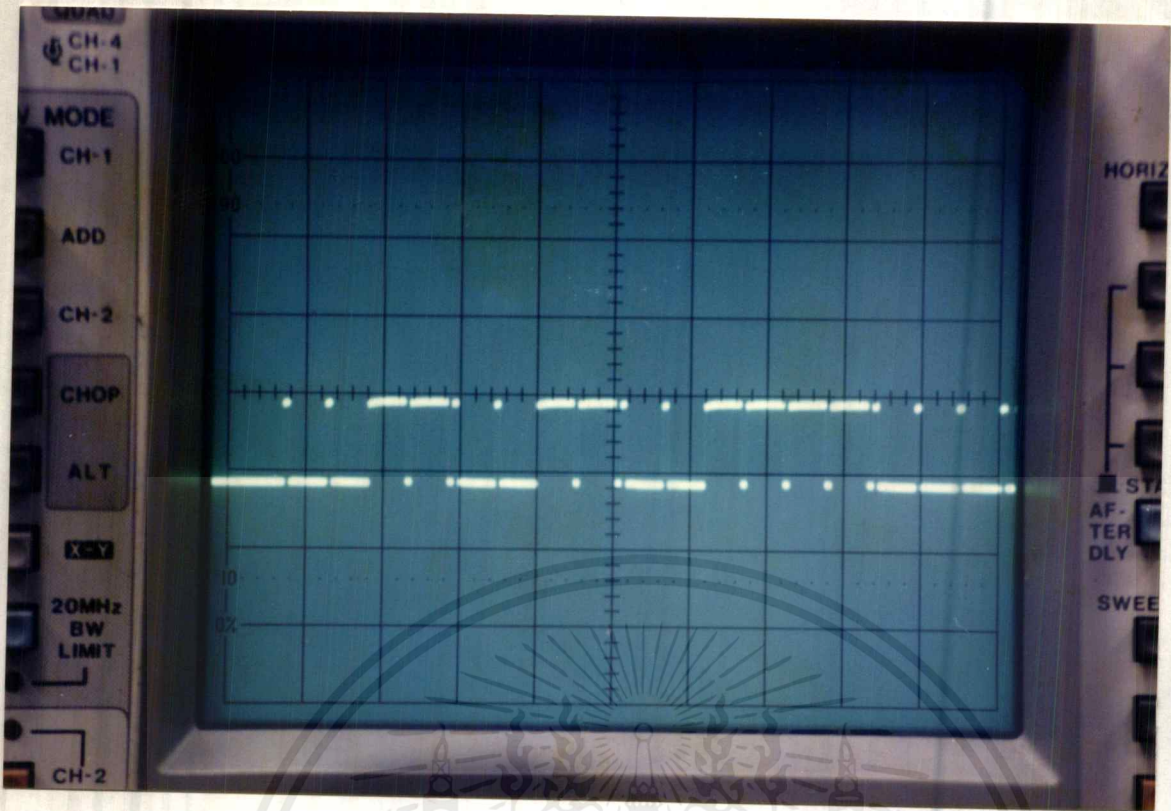
เอกสารนี้รูปที่ 4.7 รูปสัญญาณเอาต์พุตของไอซีเข็มรหัส MC 145026 ที่ขา 15 channel ที่ 7 ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



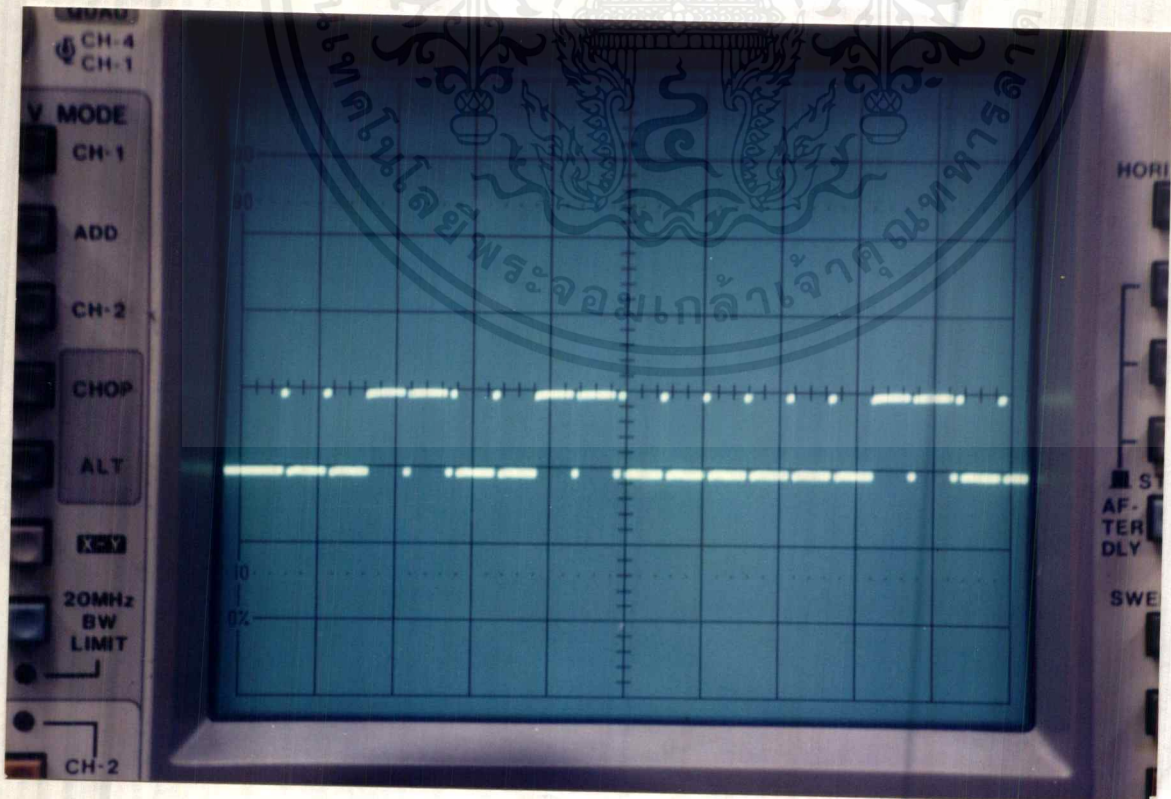
รูปที่ 4.8 รูปสัญญาณอินพุทของไอซีถดถอย MC145027 ที่ขา 9 เมื่อกด channel ที่ 1



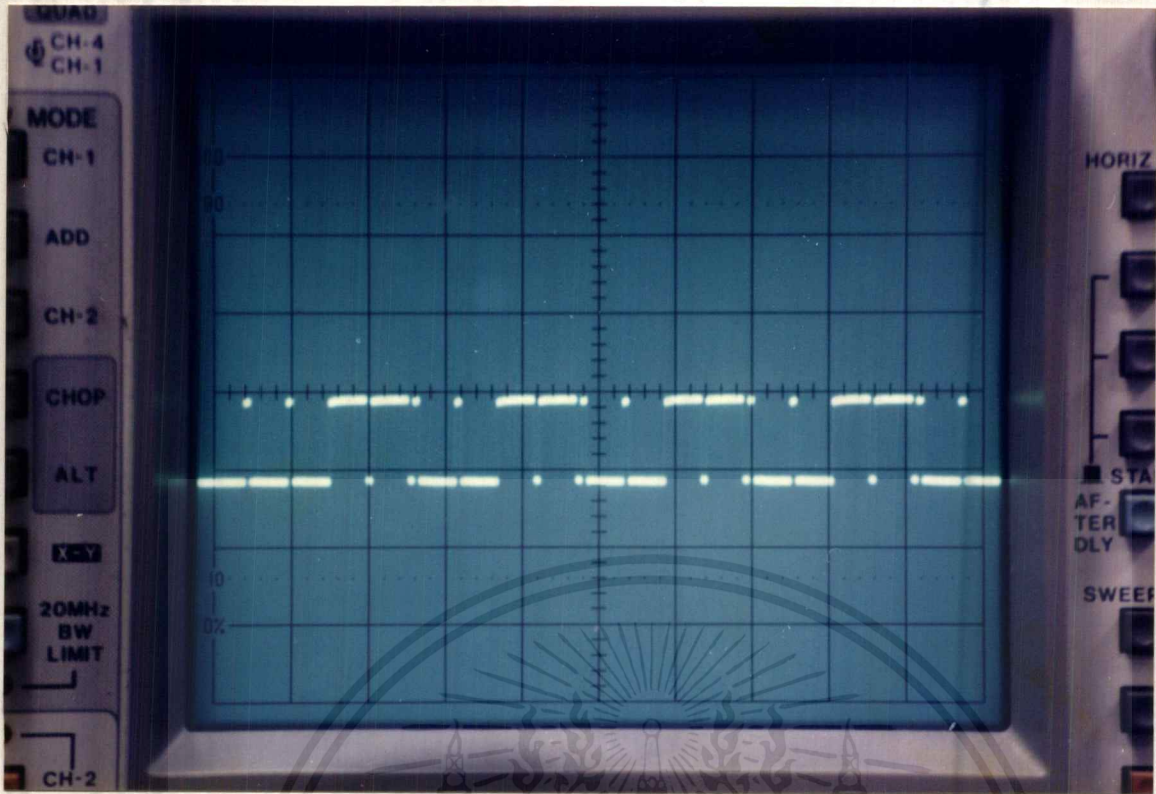
รูปที่ 4.9 รูปสัญญาณอินพุทของไอซีถดถอย MC145027 ที่ขา 9 เมื่อกด channel ที่ 2



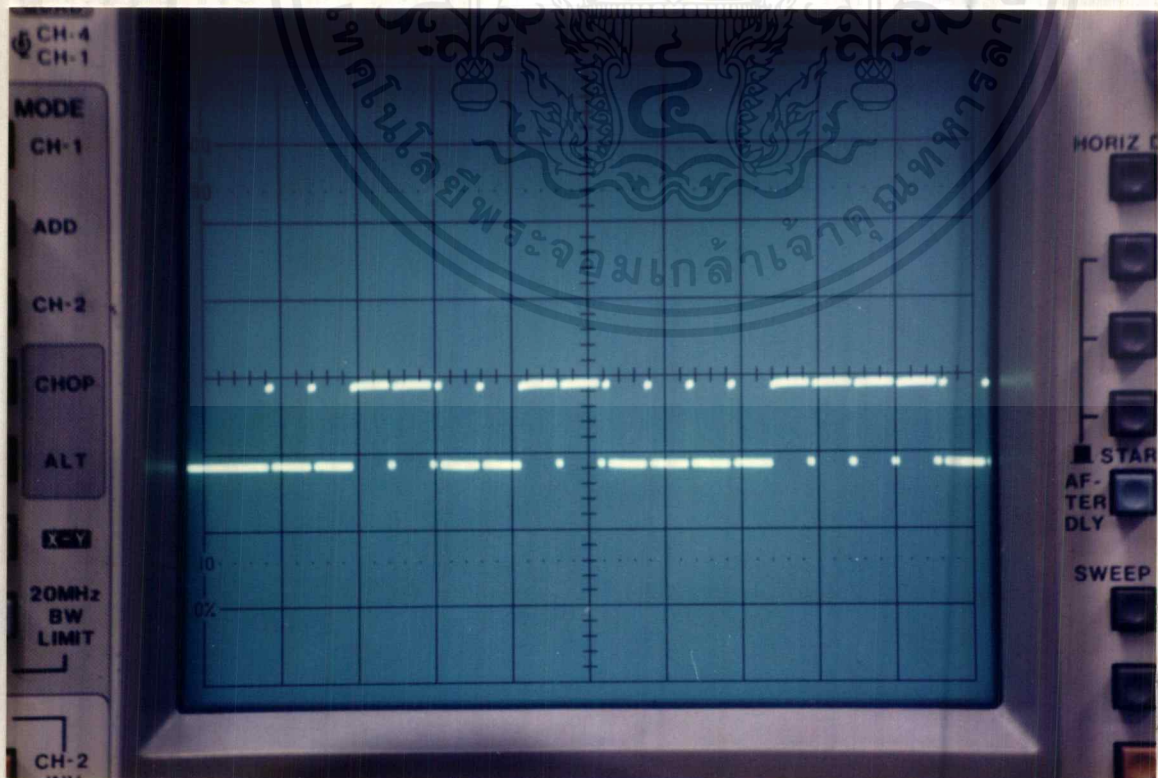
รูปที่ 4.10 รูปสัญญาณอินพุทของไอซีถอดรหัส MC145027 ที่ขา 9 เมื่อกด channel ที่ 3



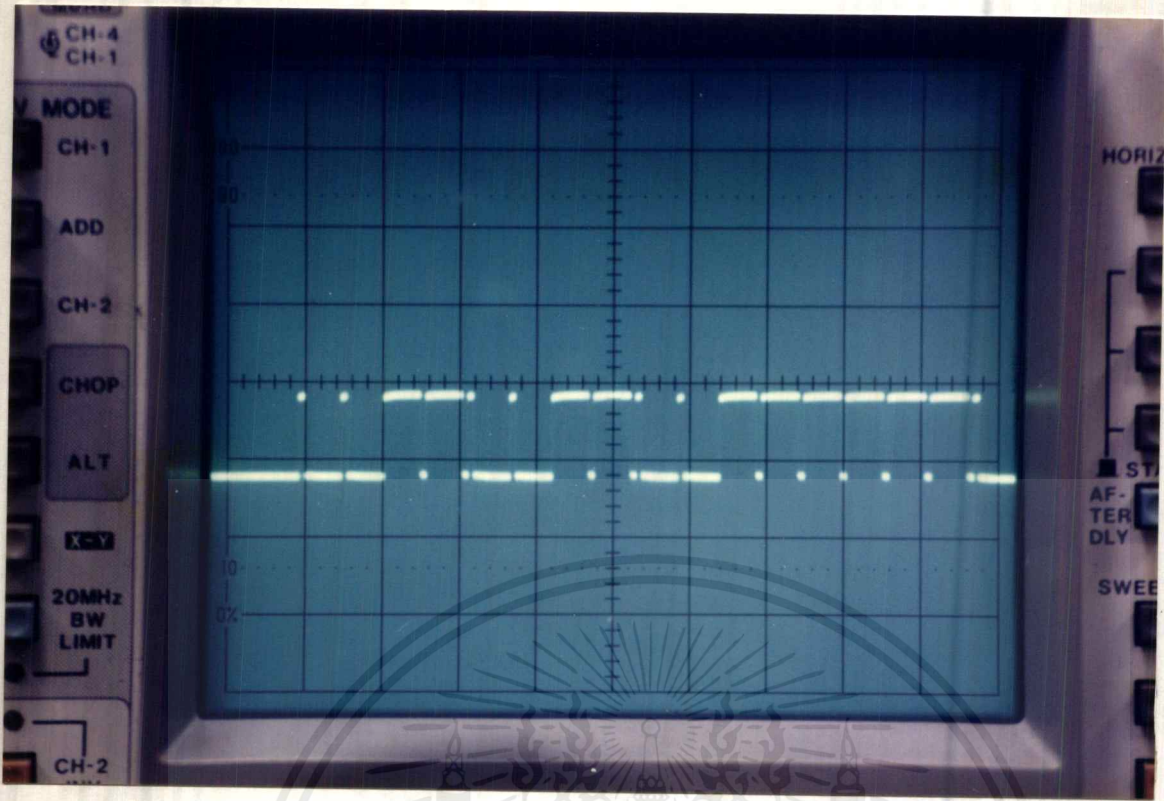
รูปที่ 4.11 รูปสัญญาณอินพุทของไอซีถอดรหัส MC145027 ที่ขา 9 เมื่อกด channel ที่ 4 ประโยชน์ด้านการค้าเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



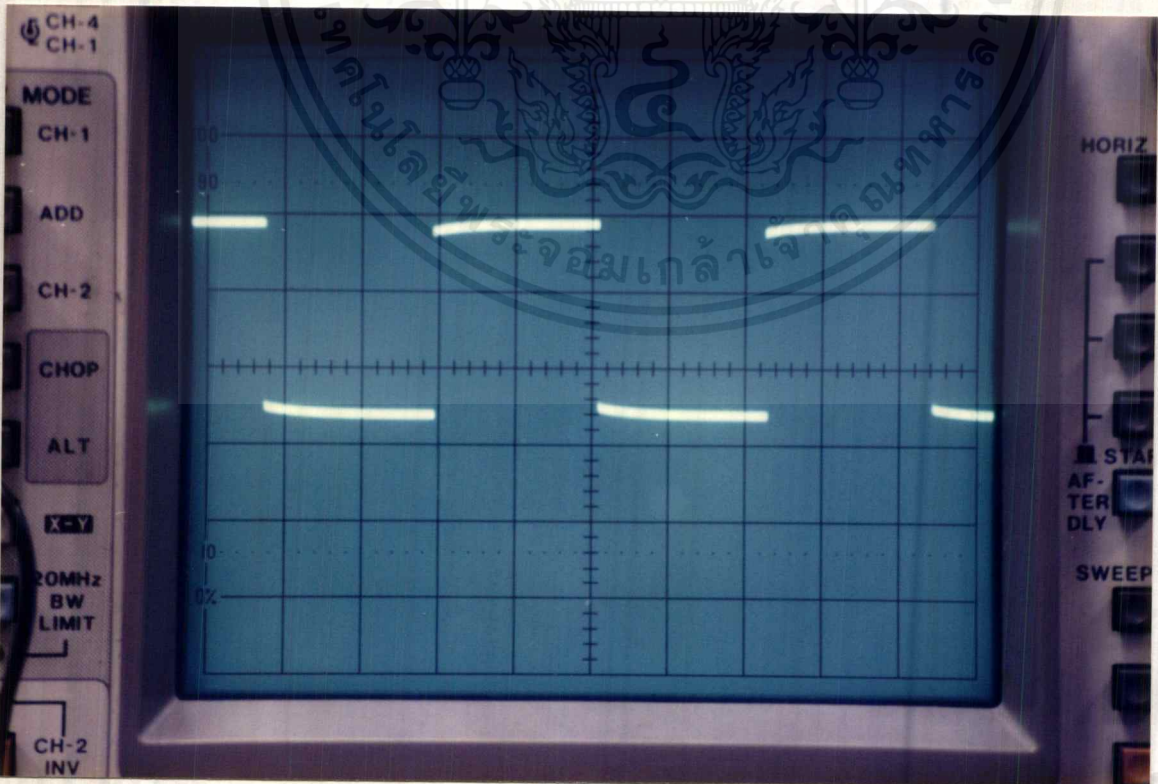
รูปที่ 4.12 รูปสัญญาณอินพุทของไอซีถอดรหัส MC145027 ที่ขา 9 เมื่อกด channel ที่ 5



เอกสารรูปที่ 4.13 รูปสัญญาณอินพุทของไอซีถอดรหัส MC145027 ที่ขา 9 เมื่อกด channel ที่ 6 โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

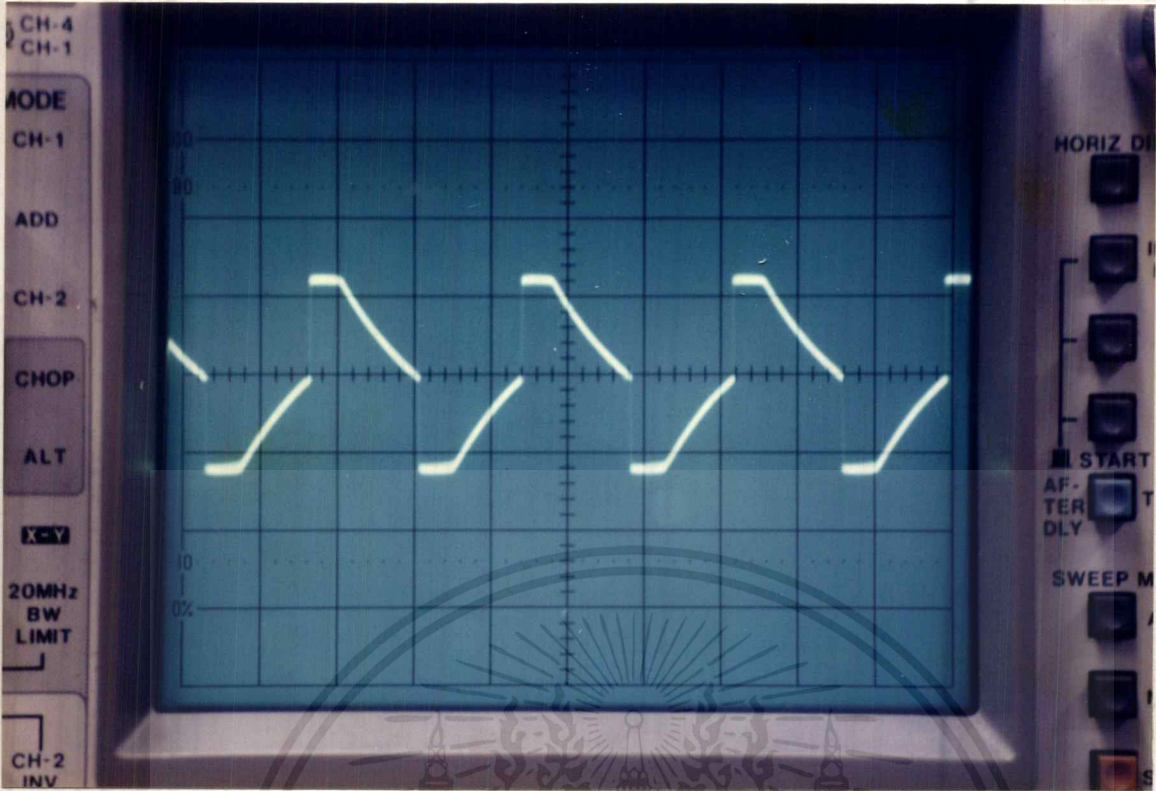


รูปที่ 4.14 รูปสัญญาณอินพุทของไอซีถอดรหัส MC145027 ที่ขา 9 เมื่อกด channel ที่ 7

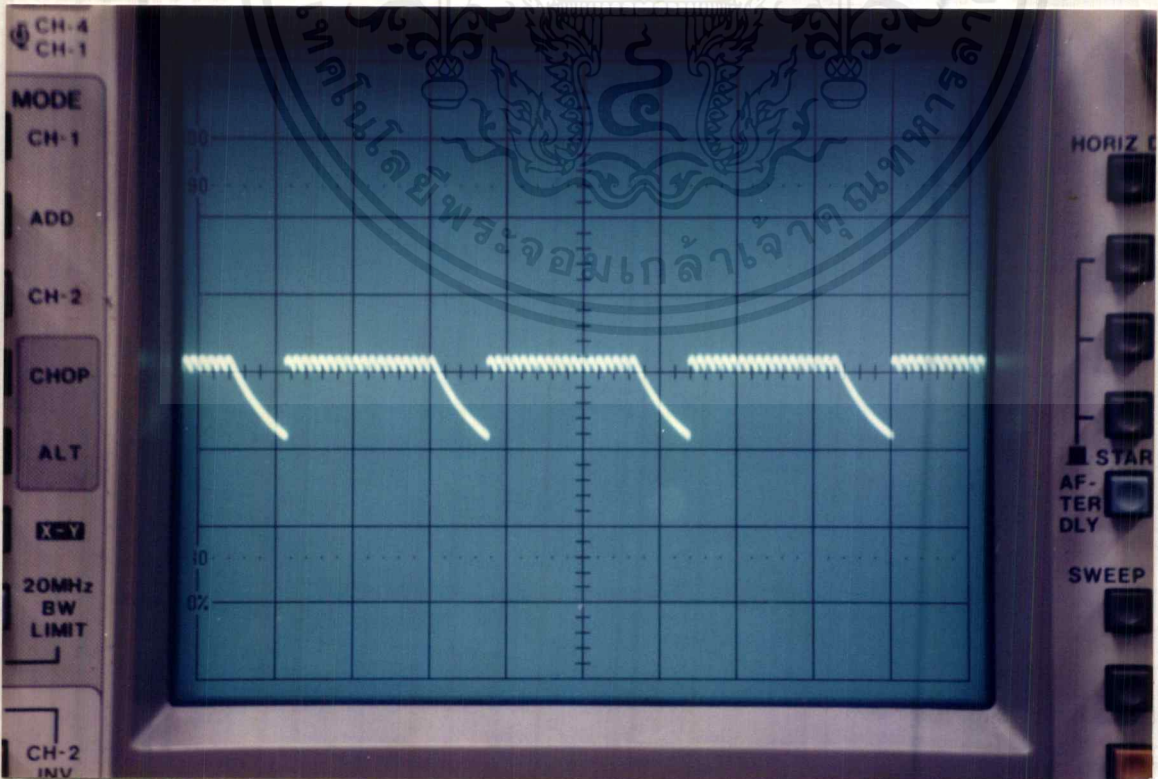


รูปที่ 4.15 รูปสัญญาณที่ผลิตจากไอซีเบอร์ 555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

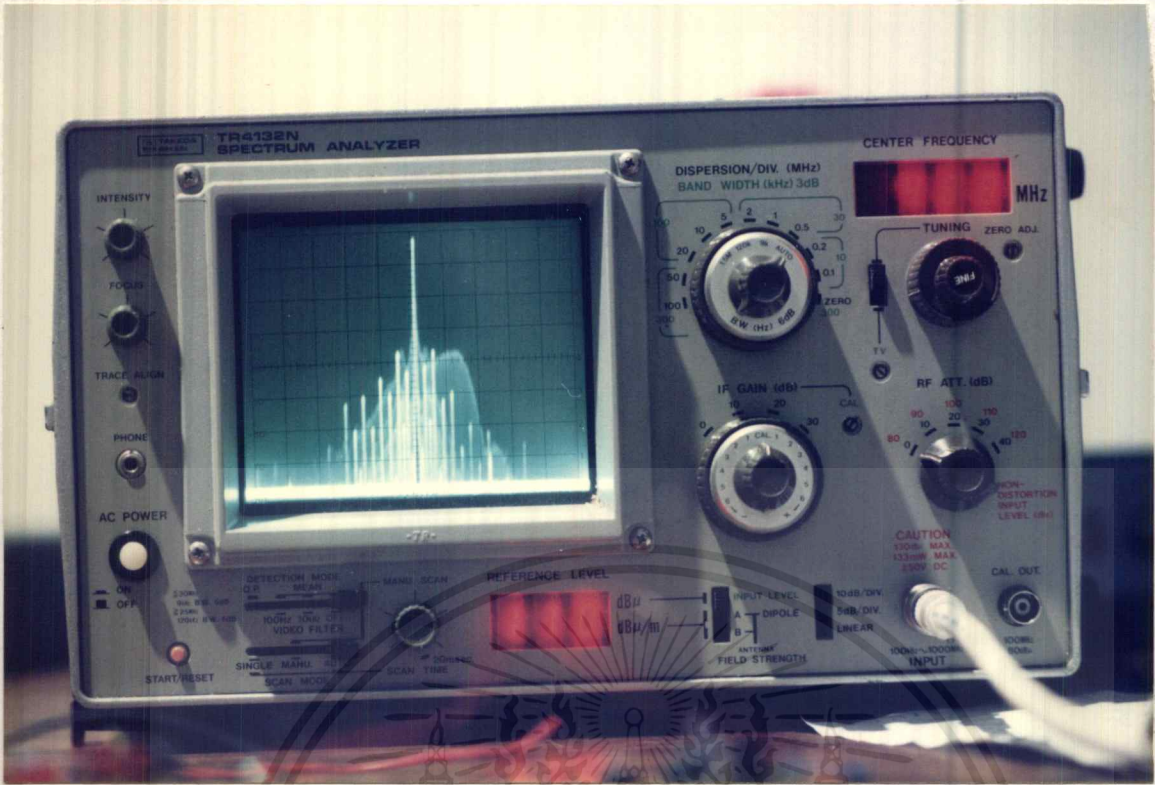


รูปที่ 4.16 รูปสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ขา 12 ของ MC 145026



รูปที่ 4.17 รูปสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ขา 10 ของ MC 145027

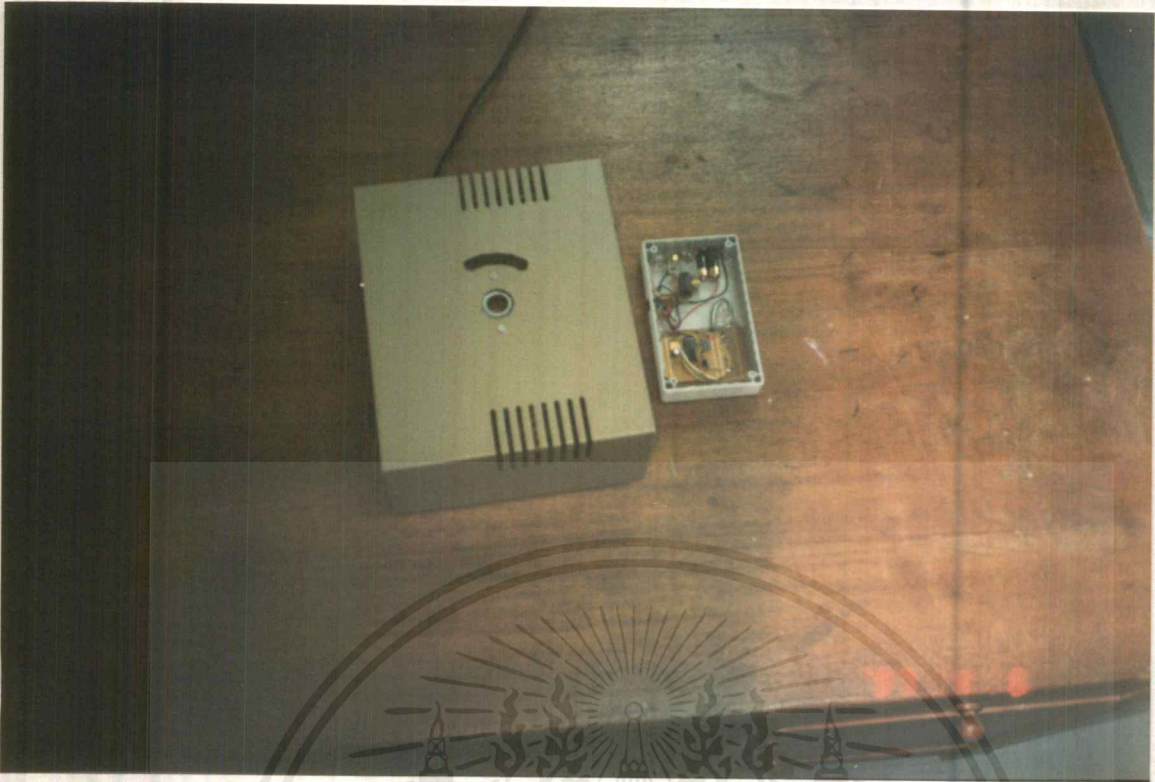
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



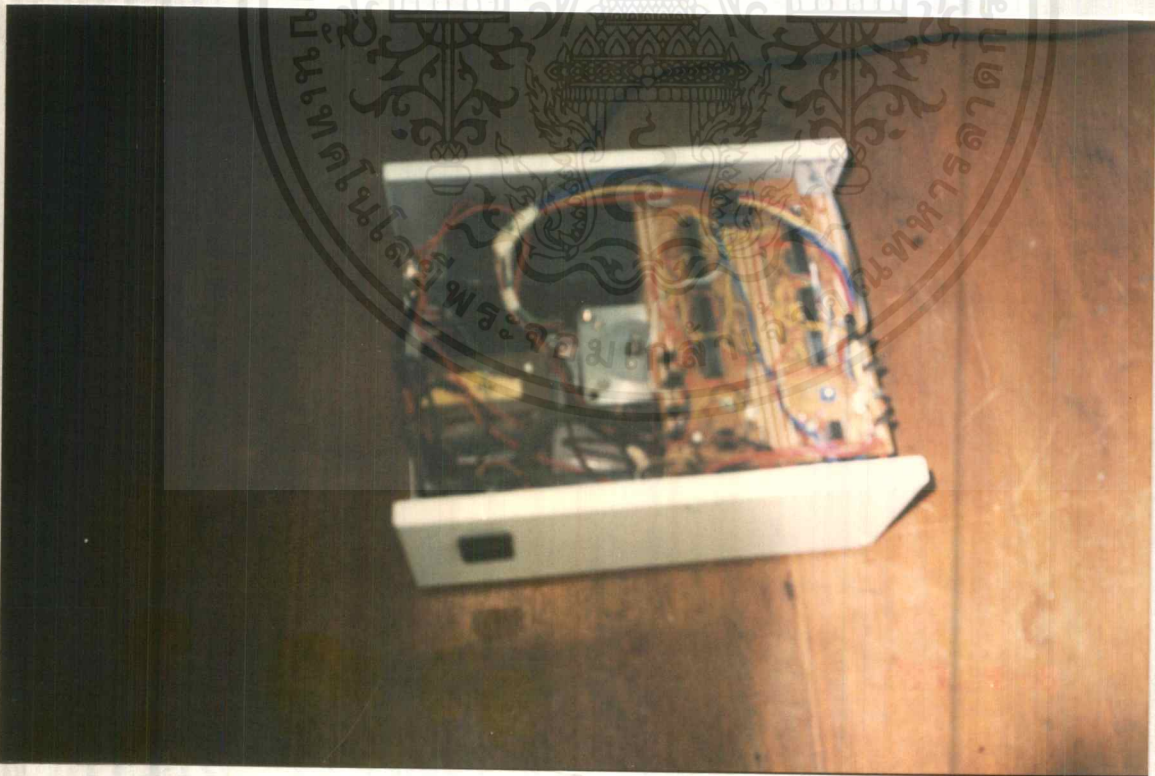
รูปที่ 4.18 รูปสัญญาณสเปกตรัมของเครื่องส่งรีโมท



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

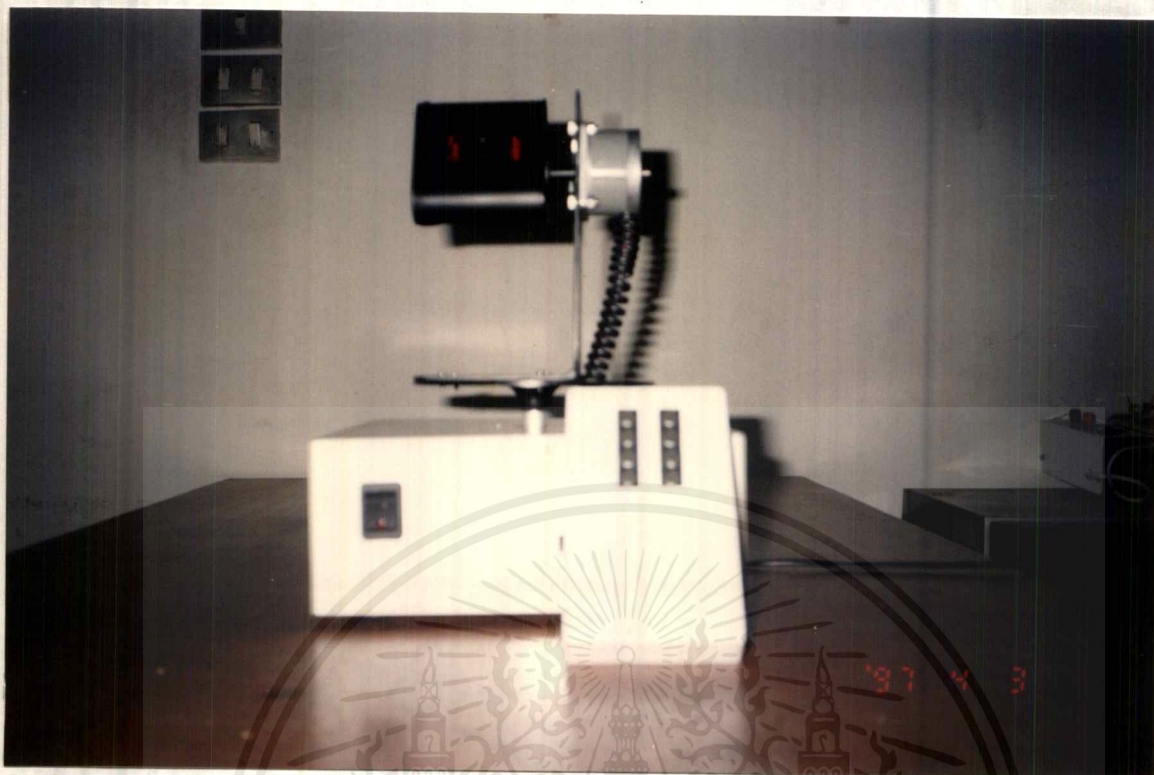


รูปที่ 4.20 รูปวงจรภายในเครื่องส่งรีโมท



รูปที่ 4.21 วงจรภาพเครื่องรับและตัวควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

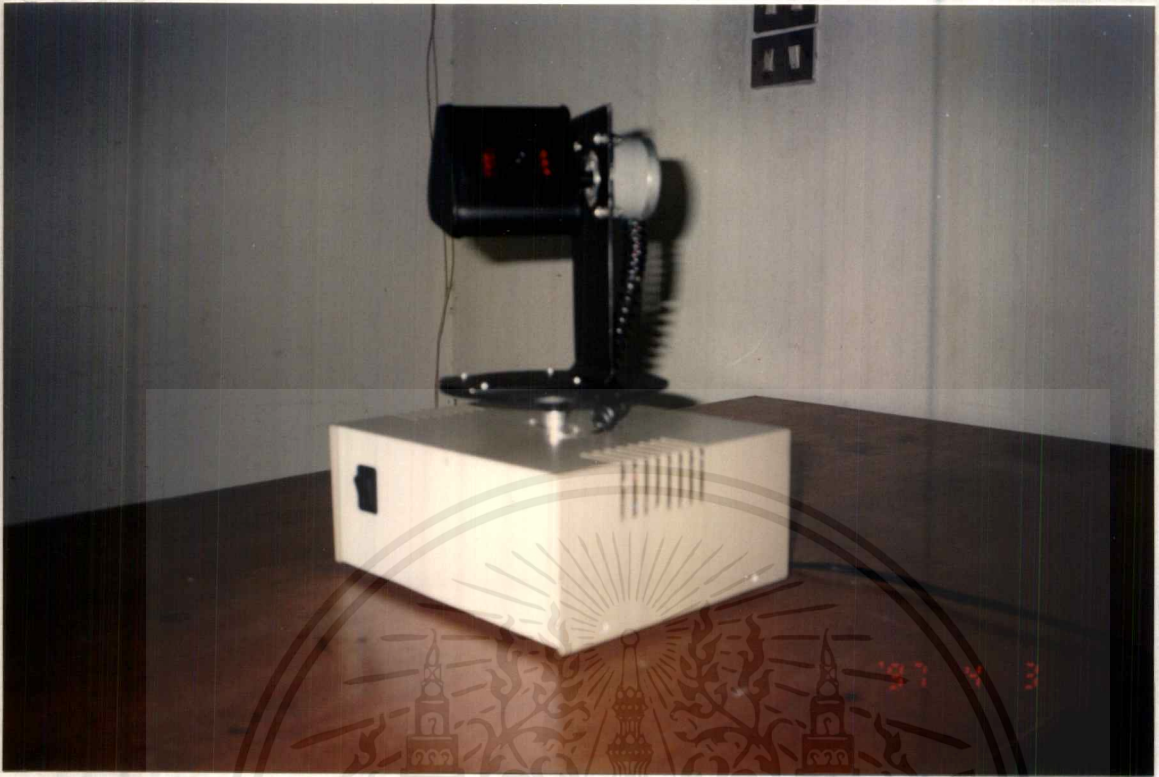


รูปที่ 4.22 รูปชิ้นงานที่ประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้ว

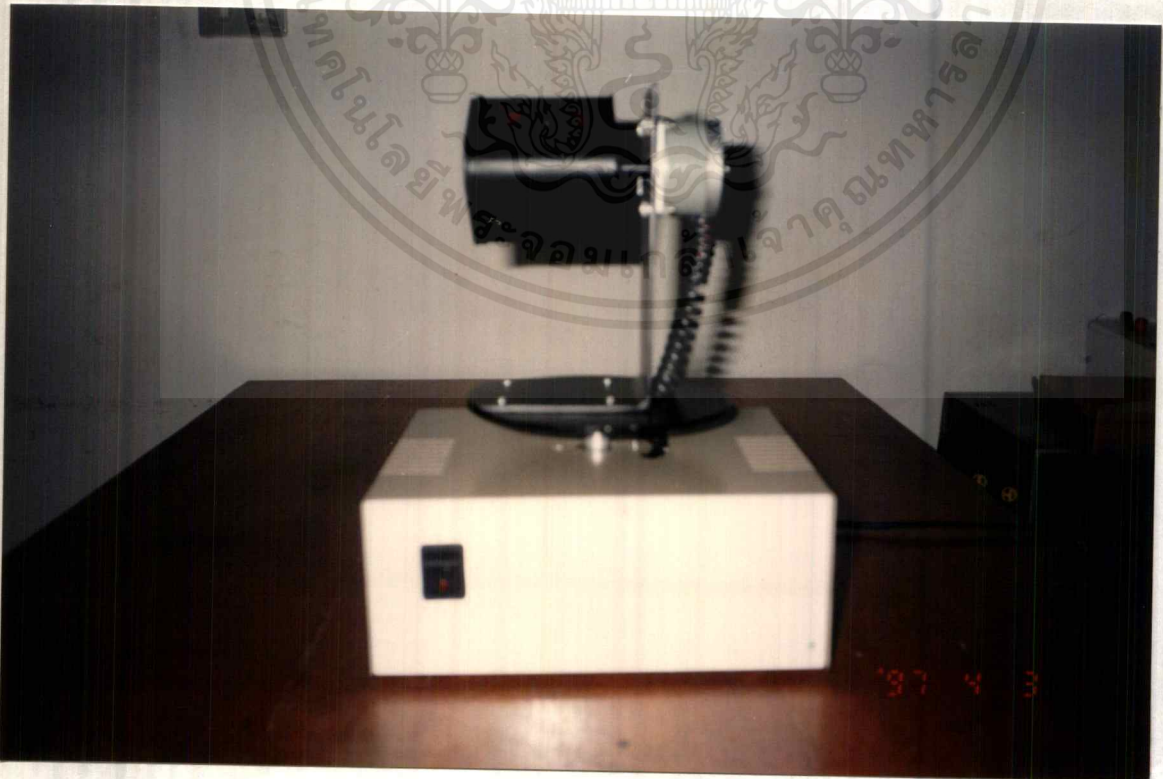


รูปที่ 4.23 การหมุนของตัวกล่องเมื่อกดรีโมทให้หมุนซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

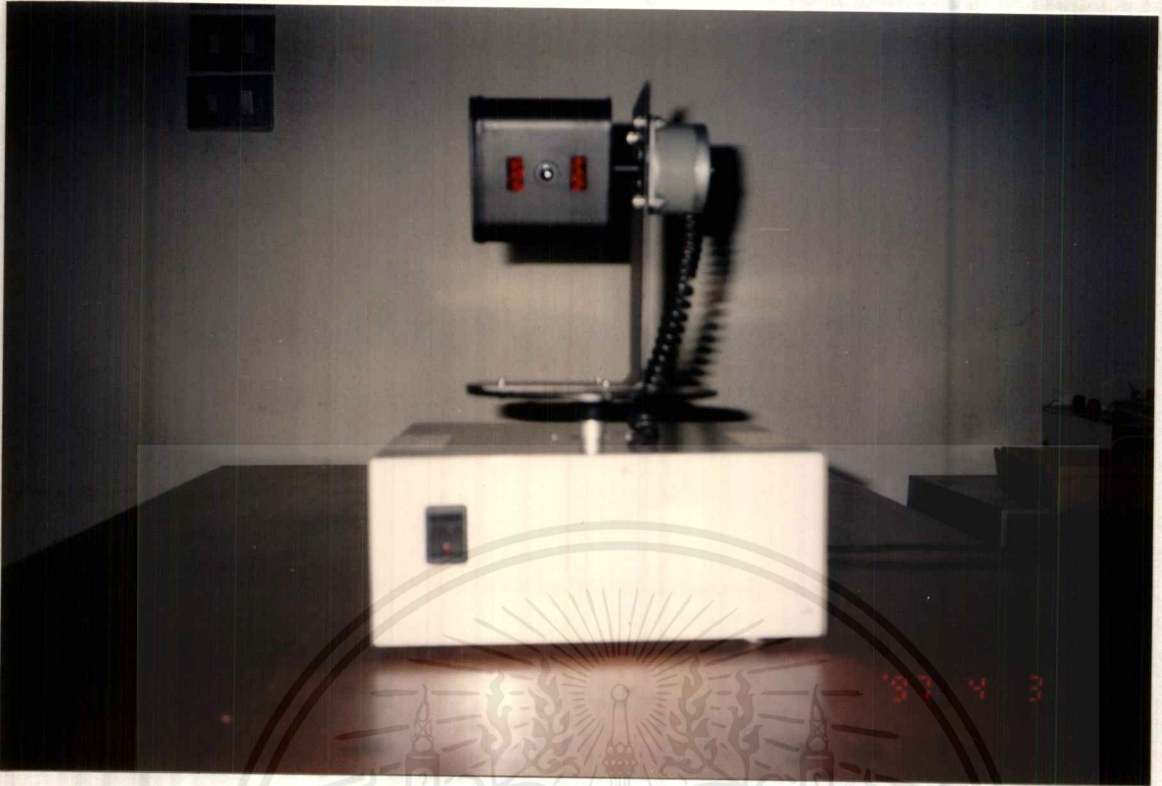


รูปที่ 4.24 การหมุนของตัวกล้องเมื่อกดรีโมทให้หมุนขวา



รูปที่ 4.25 การหมุนของตัวกล้องเมื่อกดรีโมทให้หมุนขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสำนักงานเพื่อสิทธิทางปัญญาที่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.26 การหมุนของตัวกลิ้งเมื่อกดรีโมทให้หมุนลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 4.27 ภาพที่ได้จากตัวกลิ้งไปแสดงที่เครื่องรับโทรทัศน์ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และสรุป

การทำงาน PROJECT นี้ ทำให้ทราบถึงการทำงานต่างๆ ซึ่งทุกสิ่งทุกอย่างนั้น จะต้องมีคามยากง่ายในตัวเอง ซึ่งเราจะต้องเข้าใจ ถึงในปัญหาต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น และจะต้องหาวิธีที่จะนำมาแก้ไข ซึ่งแล้วแต่งานแต่ละบุคคล งานที่ทำใน PROJECT นี้ จะเน้นถึงการประยุกต์ใช้วงจรต่างๆ ในด้านคลื่นวิทยุ ที่มี ความถี่ ที่อยู่ในย่าน UHF (300 MHz - 3 GHz) เพื่อใช้ในการสื่อสารที่ไม่ไกลนัก งานที่ทำก็คือ

1. การใช้ความถี่ย่าน UHF ในการทำการส่งสัญญาณภาพ
2. การใช้ความถี่ย่าน UHF ในการส่งข้อมูลเพื่อไปทำการควบคุม

ในการทำเครื่องส่งสัญญาณภาพ ใช้วิธีการอย่างง่าย ๆ โดยการส่งสัญญาณภาพแบบ แอมพลิจูด มอดูเลชัน เพื่อส่งเข้าออกอากาศไป แล้วทำการรับสัญญาณด้วยโทรทัศน์ทั่วๆ ไป โดยการจูนเครื่องรับให้อยู่ในย่าน UHF ซึ่งจากการทดลองแล้วดูผล สามารถส่งสัญญาณไปได้ไกลพอสมควร ในการส่งแบบ A.M. ที่เป็นแบบ DOUBLE SIDE BAND ซึ่งส่งได้ประมาณ 10 - 15 เมตร

ปัญหาและอุปสรรค เกิดจากการที่เราไม่สามารถมองเห็นคลื่นได้ ทำให้เราไม่รู้ถึงว่าชุดอนึ่งวงจรทำงานหรือไม่ การจูนความถี่เป็นไปได้อย่างทุกอย่างของตัวอุปกรณ์มีผลต่อความถี่หมด อุปกรณ์ที่ใช้วัดในย่านความถี่สูงๆ นั้นมีน้อยมาก หามาทำการวัดลำบากและมีราคาแพง ปัญหาของระบบเกิดจากเราไม่สามารถทำการตัดไฮด์แบนด์ที่ไม่จำเป็นออกไปได้ เพราะจากการที่เรามอดูเลทแบบเอ เอ็ม นั้นจะให้ ไฮด์แบนด์ออกมาสองข้างซึ่งไม่จำเป็น เพราะเราใช้แค้ไฮด์แบนด์ก็พอ แต่ถ้าเราจะทำการตัดก็จะต้องใช้วงจรที่ยุ่งยาก สลับซับซ้อนมากไม่สามารถทำได้ และก็มีราคาแพงด้วย ที่สำคัญการส่งแบบดับเบิลไฮด์แบนด์นั้นเป็นการสิ้นเปลืองกำลังงาน ในการส่งที่ต้องหมดไปกับคลื่นพาห้ ทำให้ประสิทธิภาพลดลงมีผลต่อระยะทางในการส่งสัญญาณภาพด้วย ในการส่งสัญญาณควบคุม เราส่งข้อมูลเป็นแบบดิจิตัล ดอลมีลักษณะเป็นแบบพัลส์มอดูเลท มีประสิทธิภาพเป็นที่น่าพอใจเพราะเครื่องส่งและเครื่องรับ รับส่งข้อมูลได้ถูกต้อง ได้รัศมีการควบคุมประมาณ 30 - 50 เมตรซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานในห้อง

ปัญหาและอุปสรรค ในรีโมท คอนโทรล ใช้ ไอซีเป็นหลักที่เรานำมาใช้ ในการส่งและรับข้อมูลซึ่งมีการใช้งานตัวของไอซีที่ยุ่งยากพอสมควร เพราะต้องทำให้เครื่องรับและเครื่องส่งติดต่อกันได้ ปัญหาอื่นๆก็จะคล้ายๆกับเครื่องส่งสัญญาณภาพ คือเรื่องของการจูนความถี่ที่ทำได้ยาก อุปกรณ์ในการทำการวัดมีน้อย มีการผิดพลาดของข้อมูลก็จะทำให้รับไม่ได้เลย

แนวทางในการพัฒนาต่อไป เราสามารถใช้รีโมทควบคุมตัวกล้องได้หลายตัว โดยการใช้ รีโมทเพียงตัวเดียว เพราะสามารถควบคุมได้ถึง $2^4 = 16$ ช่องสัญญาณ และโดยการกำหนด ขา address ให้แตกต่างกันออกไปในแต่ละตัวของเครื่องรับแต่ละตัว หลักการก็คือ ตั้งค่าแอดเดรสให้ตรงกัน ซึ่งจะมีการรับส่งโดยการกำหนด ขา แอดเดรส จำนวน 5 ขา ฉะนั้นจะได้เครื่องรับที่สามารถควบคุมได้จำนวนเท่ากับ $2^5 = 32$ เครื่อง แนวความคิดการพัฒนา คือเครื่องส่งหนึ่งเครื่องสามารถปรับเปลี่ยน แอดเดรสได้ ตั้งแอดเดรสประจำเครื่องรับแต่ละเครื่อง ให้แตกต่างกัน ตามจำนวนที่เราต้องการ การควบคุมทั้งหมดก็อยู่ที่เครื่องส่งเพียงตัวเดียว เมื่อต้องการให้เครื่องรับเครื่องไหนทำงาน ก็ส่งแอดเดรสเครื่องนั้นไปให้ถูกอันและให้ตรงกัน เพราะฉะนั้นเครื่องที่มีแอดเดรสไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดรสไม่ตรงกันก็ไม่สามารถที่จะรับข้อมูลที่ส่งไปได้ หรืออาจจะใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการตัดดูภาพในแต่ละกล้องโดยการเขียนโปรแกรมต่างๆ เข้ามาช่วยหรือ ให้แสดงออกจคอมพิวเตอร์เลยก็ได้ โดยอาจจะใช้คีย์บอร์ดเป็นตัวควบคุมแทน และก็จะสามารถพัฒนาต่อไปถึงการเก็บรวบรวมรูปภาพต่างๆ ที่แสดงไว้หน้าจอเก็บไว้ใน วีดีโอเทป หรือแปลงสัญญาณภาพที่เป็นระบบของสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิตอล แล้วเก็บไว้ในรูปของข้อมูลทางดิจิตอล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MM54C922/MM74C922 16-Key Encoder MM54C923/MM74C923 20-Key Encoder

general description

These CMOS key encoders provide all the necessary logic to fully encode an array of SPST switches. The keyboard scan can be implemented by either an external clock or external capacitor. These encoders also have on-chip pull-up devices which permit switches with up to 50 k Ω on resistance to be used. No diodes in the switch array are needed to eliminate ghost switches. The internal debounce circuit needs only a single external capacitor and can be defeated by omitting the capacitor. A Data Available output goes to a high level when a valid keyboard entry has been made. The Data Available output returns to a low level when the entered key is released, even if another key is depressed. The Data Available will return high to indicate acceptance of the new key after a normal debounce period; this two key roll over is provided between any two switches.

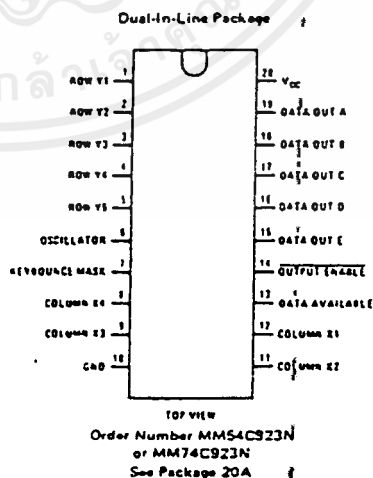
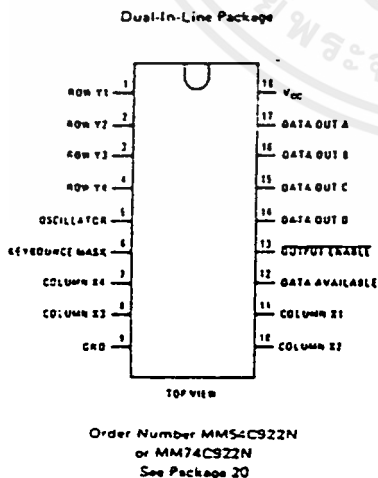
An internal register remembers the last key pressed even after the key is released. The TRI-STATE[®] outputs

provide for easy expansion and bus operation and are LPTTL compatible.

features

- 50 k Ω maximum switch on resistance
- On or off chip clock
- On chip row pull-up devices
- 2 key roll-over
- Keybounce elimination with single capacitor
- Last key register at outputs
- TRI-STATE outputs LPTTL compatible
- Wide supply range 3V to 15V
- Low power consumption

connection diagrams



absolute maximum ratings

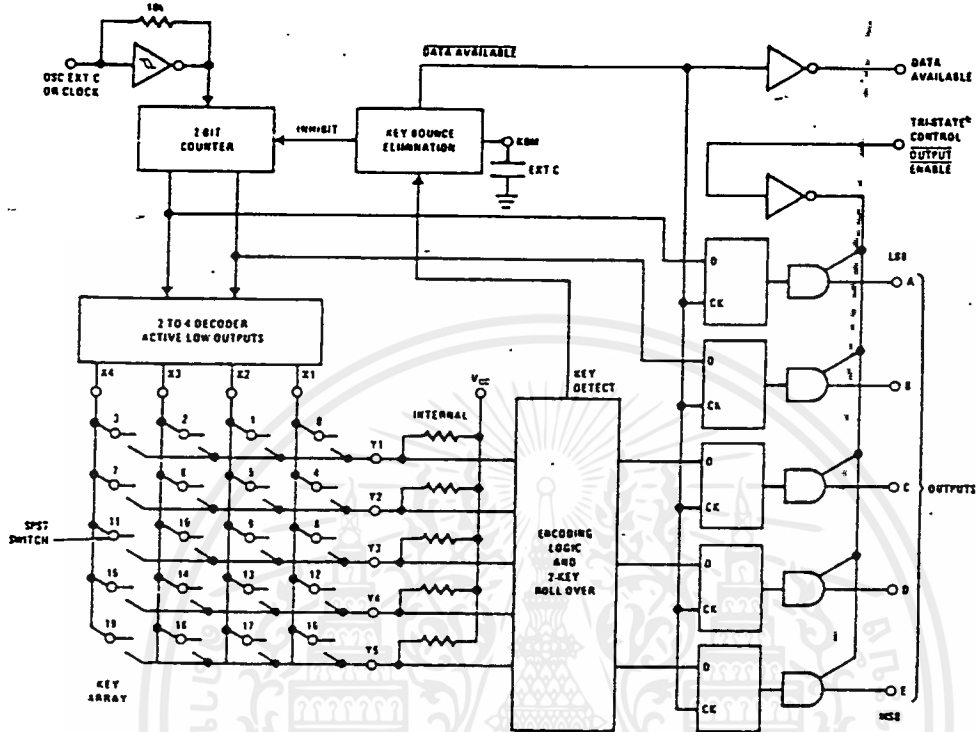
Voltage at Any Pin	VCC - 0.3V to VCC + 0.3V	Package Dissipation	500 mW
Operating Temperature Range		Operating VCC Range	3V to 15V
MM54C922, MM54C923	55°C to +125°C	VCC	18V
MM74C922, MM74C923	-40°C to +85°C	Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C		

dc electrical characteristics

Min./max limits apply across temperature range unless otherwise noted

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CMOS TO CMOS					
VT+ Positive-Going Threshold Voltage at Osc and KBM Inputs	VCC = 5V, IIN ≥ 0.7 mA	3	3.6	4.3	V
	VCC = 10V, IIN ≥ 1.4 mA	6	6.8	8.6	V
	VCC = 15V, IIN ≥ 2.1 mA	9	10	12.9	V
VT- Negative-Going Threshold Voltage at Osc and KBM Inputs	VCC = 5V, IIN ≥ 0.7 mA	0.7	1.4	2	V
	VCC = 10V, IIN ≥ 1.4 mA	1.4	3.2	4	V
	VCC = 15V, IIN ≥ 2.1 mA	2.1	5	6	V
VIN(1) Logical "1" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	VCC = 5V	3.5	4.5		V
	VCC = 10V	8	9		V
	VCC = 15V	12.5	13.5		V
VIN(0) Logical "0" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	VCC = 5V		0.5	1.5	V
	VCC = 10V		1	2	V
	VCC = 15V		1.5	2.5	V
IPD Row Pull-Up Current at Y1, Y2, Y3, Y4 and Y5 Inputs	VCC = 5V, VIN = 0.1 VCC		-2	5	μA
	VCC = 10V		-10	-20	μA
	VCC = 15V		-22	-45	μA
VOUT(1) Logical "1" Output Voltage	VCC = 5V, IO = -10μA	4.5			V
	VCC = 10V, IO = -10μA	9			V
	VCC = 15V, IO = -10μA	13.5			V
VOUT(0) Logical "0" Output Voltage	VCC = 5V, IO = 10μA			0.5	V
	VCC = 10V, IO = 10μA			1	V
	VCC = 15V, IO = 10μA			1.5	V
RON Column "ON" Resistance at X1, X2, X3 and X4 Outputs	VCC = 5V, VO = 0.5V		500	1400	Ω
	VCC = 10V, VO = 1V		300	700	Ω
	VCC = 15V, VO = 1.5V		200	500	Ω
ICC Supply Current	VCC = 5V, Osc at 0V		0.55	1.1	mA
	VCC = 10V		1.1	1.9	mA
	VCC = 15V		1.7	2.6	mA
IIN(1) Logical "1" Input Current at Output Enable	VCC = 15V, VIN = 15V		0.005	1.0	μA
IIN(0) Logical "0" Input Current at Output Enable	VCC = 15V, VIN = 0V	1.0	-0.005		μA
CMOS/LPTTL INTERFACE					
VIN(1) Logical "1" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	54C, VCC = 4.5V	VCC - 1.5			V
	74C, VCC = 4.75V	VCC - 1.5			V
VIN(0) Logical "0" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	54C, VCC = 4.5V			0.8	V
	74C, VCC = 4.75V			0.6	V
VOUT(1) Logical "1" Output Voltage	54C, VCC = 4.5V, IO = -360μA	2.4			V
	74C, VCC = 4.75V, IO = -360μA	2.4			V
VOUT(0) Logical "0" Output Voltage	54C, VCC = 4.5V, IO = -360μA			0.4	V
	74C, VCC = 4.75V, IO = -360μA			0.4	V

block diagram

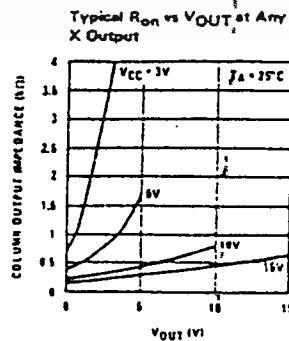
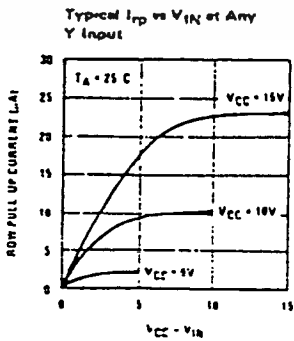


truth table

SWITCH POSITION	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	Y1,X1	Y1,X2	Y1,X3	Y1,X4	Y2,X1	Y2,X2	Y2,X3	Y2,X4	Y3,X1	Y3,X2	Y3,X3	Y3,X4	Y4,X1	Y4,X2	Y4,X3	Y4,X4	Y5,X1	Y5,X2	Y5,X3	Y5,X4
A	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
B	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
C	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
D	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
ENABLE*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

*Omit for MM54C922/MM74C922

typical performance characteristics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

dc electrical characteristics (con't)

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
OUTPUT DRIVE (See 54C/74C Family Characteristics Data Sheet)					
I _{SOURCE} Output Source Current (P-Channel)	V _{CC} = 5V, V _{OUT} = 0V, T _A = 25°C	-1.75	-3.3		mA
I _{SOURCE} Output Source Current (P-Channel)	V _{CC} = 10V, V _{OUT} = 0V, T _A = 25°C	-8	-15		mA
I _{SINK} Output Sink Current (N-Channel)	V _{CC} = 5V, V _{OUT} = V _{CC} , T _A = 25°C	1.75	3.6		mA
I _{SINK} Output Sink Current (N-Channel)	V _{CC} = 10V, V _{OUT} = V _{CC} , T _A = 25°C	8	16		mA

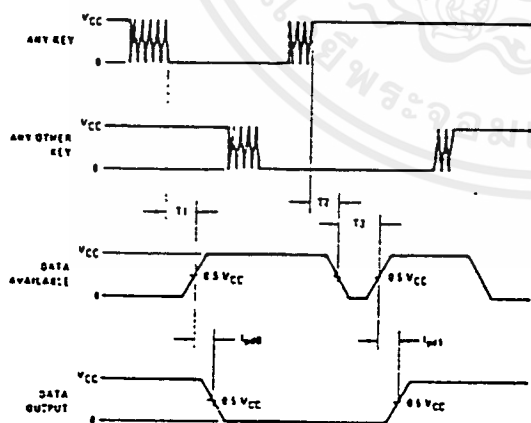
ac electrical characteristics T_A = 25°C

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
t _{pd0.tpd1} Propagation Delay Time to Logical "0" or Logical "1" from D.A.	C _L = 50 pF, (Figure 1) V _{CC} = 5V V _{CC} = 10V V _{CC} = 15V		60 35 25	150 80 60	ns ns ns
t _{QH.t1H} Propagation Delay Time from Logical "0" or Logical "1" into High Impedance State	R _L = 10k, C _L = 5 pF, (Figure 2) V _{CC} = 5V R _L = 10k V _{CC} = 10V C _L = 10 pF V _{CC} = 15V		80 65 50	200 150 110	ns ns ns
t _{H0.tH1} Propagation Delay Time from High Impedance State to a Logical "0" or Logical "1"	R _L = 10k, C _L = 50 pF, (Figure 2) V _{CC} = 5V R _L = 10k V _{CC} = 10V C _L = 50 pF V _{CC} = 15V		100 55 40	250 125 90	ns ns ns
C _{IN} Input Capacitance	Any Input, (Note 2)		5	7.5	pF
C _{OUT} TRI-STATE Output Capacitance	Any Output, (Note 2)		10		pF

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. Except for "Operating Temperature Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: Capacitance is guaranteed by periodic testing.

switching time waveforms



T₁ > T₂ = RC, T₃ = 0.7 RC where R = 10k and C is external capacitor at KBA1 input.

FIGURE 1

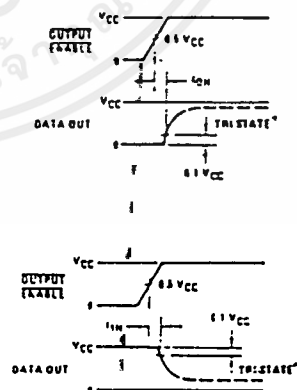
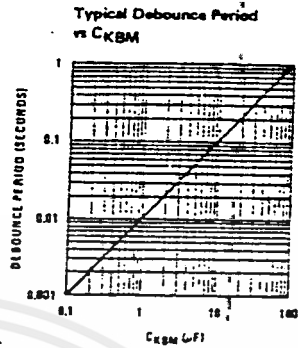
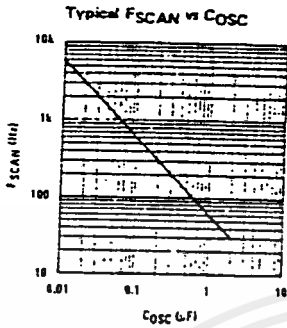


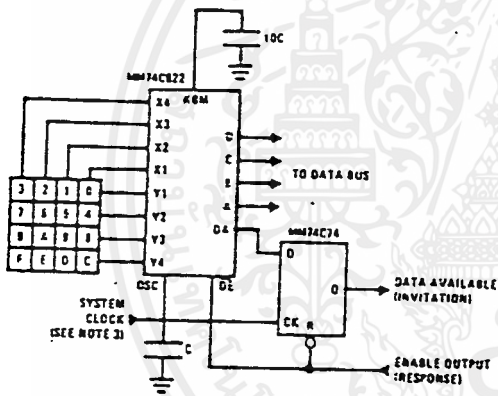
FIGURE 2

typical performance characteristics (con't)

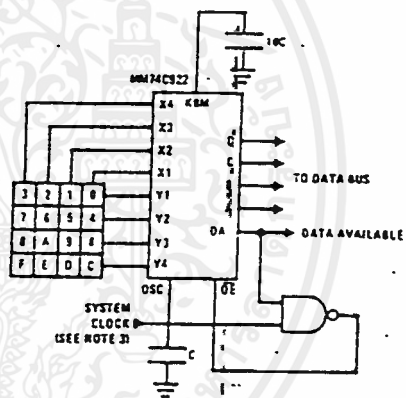


typical applications

Synchronous Handshake (MM74C92Z)

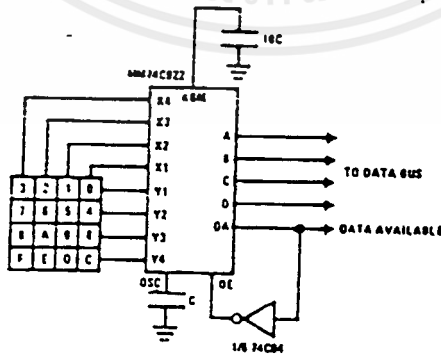


Synchronous Data Entry Onto Bus (MM74C92Z)



Outputs are enabled when valid entry is made and go into TRI-STATE when key is released.

Asynchronous Data Entry Onto Bus (MM74C92Z)



Outputs are in TRI-STATE until key is pressed, then data is placed on bus. When key is released, outputs return to TRI-STATE.

Keyboard Suppliers
Mini Key Series KL
Digitron Company
Pasadena, California
Comptronics Engineering
7235 Hollywood Blvd
Hollywood, California 90046

Note 3: The keyboard may be synchronously scanned by omitting the capacitor at osc. and driving osc. directly if the system clock rate is lower than 10 kHz.



FEATURES

- ◆ Internally Synchronous for High Speed
- ◆ Asynchronous Preset Enable
- ◆ Asynchronous Reset
- ◆ Logic Edge-Clocked Design
- ◆ 6MHz Counting Rate @ 10Vdc
- ◆ Carry Output for Cascading Stages

DESCRIPTION

The SCL4510B consists of a four-stage Up/Down Counter with provisions for "look-ahead" carry in both counting modes. The inputs consist of a single Clock, Carry-in (Clock Enable), Reset, Up/Down, Preset Enable, and four individual Jam signals. Four separate buffered Q signals and a Carry out signal are provided as outputs.

A high Preset Enable signal allows information on the Jam inputs to preset the counter to any state asynchronously with the Clock. A high on the Reset line resets all stages to the "zero" state. The counter is advanced one count at the positive transition of the Clock when the Carry-in and Preset Enable signals are low. Advancement is inhibited when the Carry-in or Preset Enable signals are high. The Carry-out signal is normally high and goes low when the counter reaches its maximum count in the Up mode or the minimum count in the Down mode, provided the Carry-in signal is low. The Carry-in signal in the low state can thus be considered a "Clock Enable." The Carry-in terminal must be connected to V_{SS} when not in use.

The counter counts Up when the Up/Down input is high, and Down when the Up/Down input is low. Multiple packages can be connected in either a parallel-clocking or a ripple-clocking arrangement. Parallel clocking provides synchronous control and hence faster response from all counting outputs. Ripple-clocking allows for longer clock input rise and fall times.

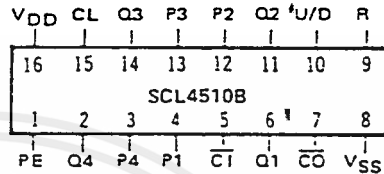
This counter finds primary use in up/down and differential counting and frequency synthesizer applications. It is also useful in A/D and D/A conversion and for magnitude and sign generation.

TRUTH TABLE

CARRY IN	UP/DOWN	PRESET ENABLE	RESET	ACTION
1	X	0	0	No Count
0	1	0	0	Count Up
0	0	0	0	Count Down
X	X	1	0	Preset
X	X	X	1	Reset

X = Don't Care

CONNECTION DIAGRAM
(all packages)



Add suffix for package:

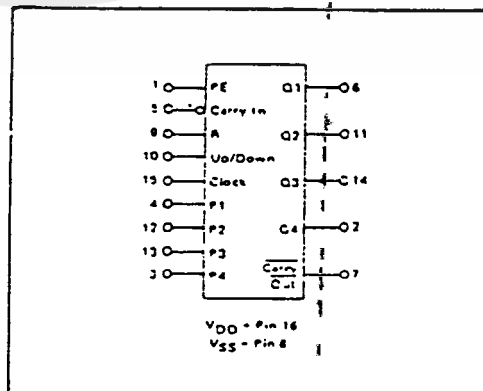
- C 16-pin Cerdip
- D 16-pin Ceramic
- E 16-pin Epoxy
- F 16-pin Flat
- H Chip

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

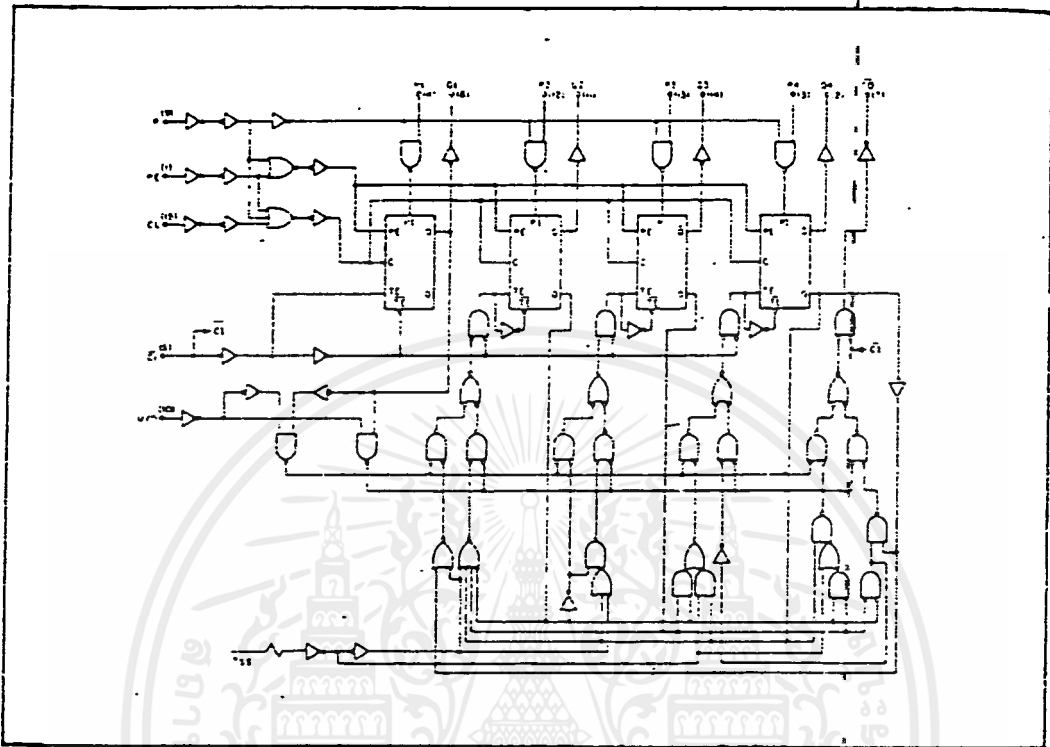
For maximum reliability:

DC Supply Voltage	V _{DD} - V _{SS}	3 to 15	Vdc
Operating Temperature	T _A	-55 to +125	°C
C, D, F, H Device		-40 to +85	°C

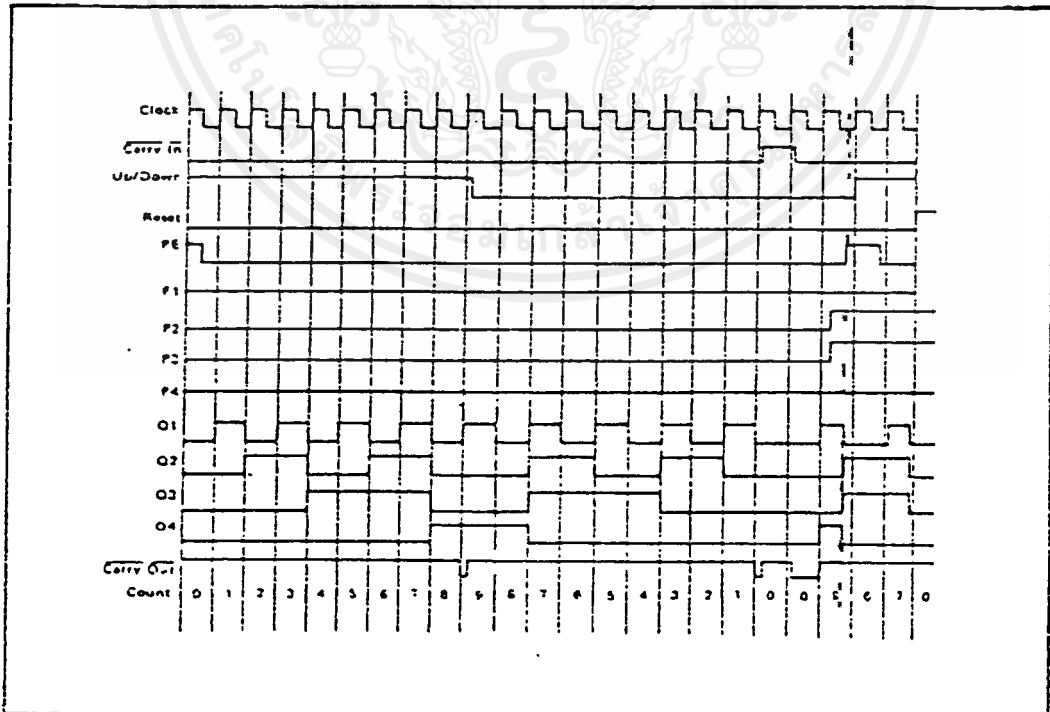
BLOCK DIAGRAM



LOGIC DIAGRAM



TIMING DIAGRAM



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 _{IN} = V _{SS} or V _{DD} All valid input combinations	—	5	—	0.05	5	—	150	μA _{dc}
	10		—	10	—	0.1	10	—	300	
	15		—	20	—	0.2	20	—	600	

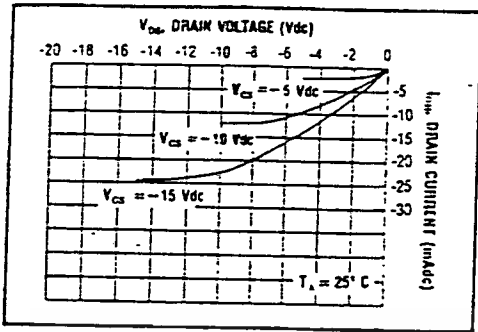
NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".
² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
 = -40°C for E device.
 T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
 = + 85°C for E device.

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

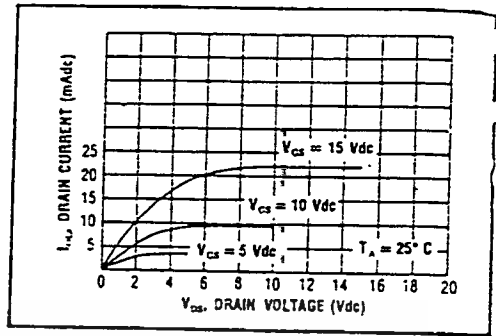
PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units	
CLOCKED OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME Clock to Q	t _{PLH} , t _{PML}	5	—	325	650	ns
		10	—	125	250	
		15	—	100	200	
Clock to <u>Carry Out</u>		5	—	325	650	ns
		10	—	125	250	
		15	—	100	200	
<u>Carry In</u> to <u>Carry Out</u>		5	—	175	350	ns
		10	—	75	150	
		15	—	55	110	
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{FLH} , t _{FHL}	5	—	130	260	ns
MINIMUM CLOCK PULSE WIDTH	PW _{CL}	5	—	170	340	ns
		10	—	85	170	
		15	—	70	140	
MAXIMUM CLOCK FREQUENCY	f _{CL}	5	1.5	3.0	—	MHz
		10	3.0	5.0	—	
		15	4.0	8.0	—	
MAXIMUM CLOCK RISE AND FALL TIME ¹	t _{CL} , t _{fCL}	5	15	—	—	μs
		10	15	—	—	
		15	15	—	—	
MINIMUM SETUP TIME Carry In	t _{setup}	5	—	130	260	ns
		10	—	65	130	
		15	—	50	100	
Up/Down		5	—	250	500	ns
		10	—	100	200	
		15	—	75	150	
PRESET OR RESET OPERATION						
PROPAGATION DELAY TIME Preset Enable or Reset to Q	t _{PLH} , t _{PML}	5	—	325	650	ns
		10	—	125	250	
		15	—	100	200	
Preset Enable or Reset to <u>Carry Out</u>		5	—	410	820	ns
		10	—	165	330	
		15	—	130	260	
MINIMUM PRESET ENABLE OR RESET PULSE WIDTH	PW _{PE} , PW _{RE}	5	—	100	200	ns
		10	—	50	100	
		15	—	40	80	
PRESET ENABLE OR RESET REMOVAL TIME	t _{rem}	5	—	325	650	ns
		10	—	110	220	
		15	—	90	180	

¹ When units are cascaded, 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

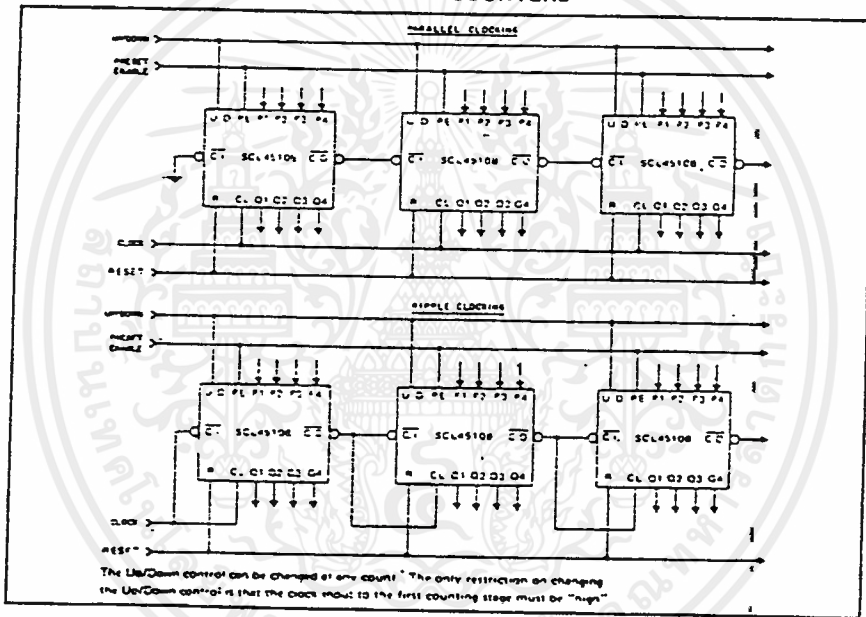


Typical P-Channel Source Current Characteristics

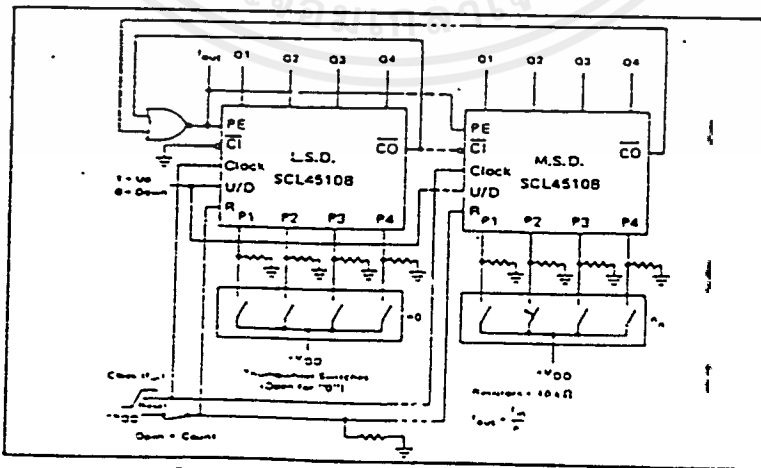


Typical N-Channel Sink Current Characteristics

APPLICATIONS INFORMATION
CASCADING COUNTERS



Cascading Counter Packages



Programmable Cascaded Frequency Divider

SCL4028B



CMOS BCD-TO-DECIMAL DECODER

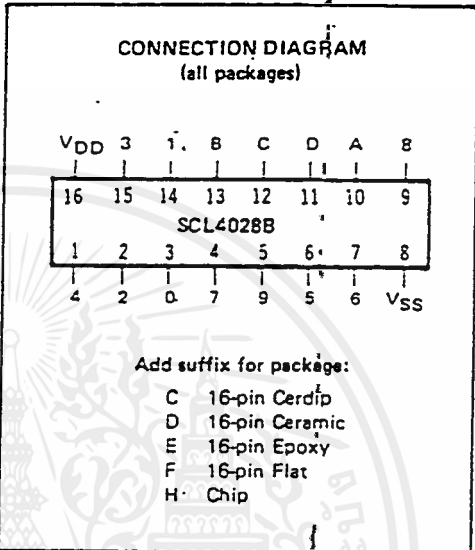
FEATURES.

- ◆ BCD-to-Decimal or Binary-to-Octal Decoding
- ◆ Buffered Outputs go High on Selection
- ◆ Low Outputs for all Illegal Input Combinations
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

DESCRIPTION

The SCL4028B types are BCD-to-Decimal or Binary-to-Octal Decoders consisting of pulse shaping circuits on all 4 inputs, decoding/logic gates, and 10 output buffers. A BCD code applied to the four inputs, A to D, results in a high level at the selected one of 10 decimal decoded outputs. Similarly, a 3-bit binary code applied to inputs A through C is decoded in octal code at output 0 to 7. A high-level signal at the D input inhibits octal decoding and causes outputs 0 through 7 to go low. If unused, the D input must be connected to V_{SS}.

Expanded decoding such as binary-to-hexadecimal (1-of-16), etc., can be achieved by using other SCL4028B devices. This part is useful for code conversion, address decoding, memory selection control, demultiplexing, and readout decoding.



TRUTH TABLE

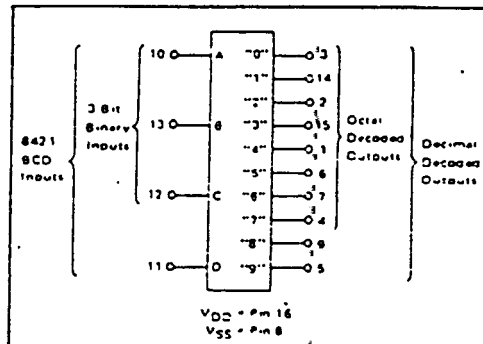
Input				Output									
D	C	B	A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

For maximum reliability:

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

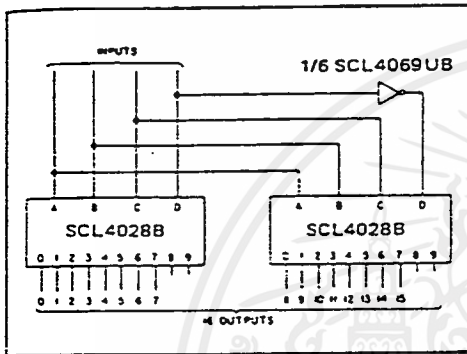
BLOCK DIAGRAM



APPLICATIONS INFORMATION

CODE CONVERSION CIRCUIT

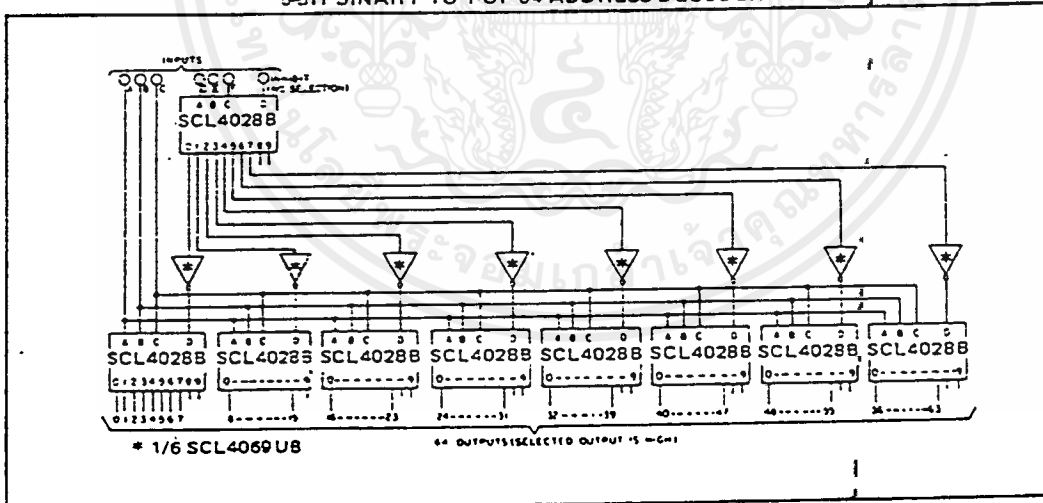
The circuit shown here converts any 4-bit code to a decimal or hexadecimal code. The table shows a number of codes and the decimal or hexadecimal number in these codes which must be applied to the input terminals of the SCL4028B to select a particular output. For example: in order to get a "high" on output No. 8 the input must be either an 8 expressed in 4-Bit Binary code, a 15 expressed in 4-Bit Gray code, or a 5 expressed in Excess-3 code.



INPUTS	INPUT CODES				OUTPUT NUMBER
	Binary	Gray	Excess-3	Decimal	
0	0000	0000	0011	0	0
1	0001	0001	0100	1	1
2	0010	0010	0101	2	2
3	0011	0011	0110	3	3
4	0100	0100	0111	4	4
5	0101	0101	1000	5	5
6	0110	0110	1001	6	6
7	0111	0111	1010	7	7
8	1000	1000	1011	8	8
9	1001	1001	1100	9	9
10	1010	1010	1101	10	10
11	1011	1011	1110	11	11
12	1100	1100	1111	12	12
13	1101	1101	0000	13	13
14	1110	1110	0001	14	14
15	1111	1111	0010	15	15

Code Conversion Chart

5-BIT BINARY TO 1-OF-64 ADDRESS DECODER



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 _{SS} or V _{DD}	—	5	—	0.05	5	—	150	μA _{dc}
		All valid input combinations	—	10	—	0.1	10	—	300	
			—	20	—	0.2	20	—	600	

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

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

= -40°C for E device.

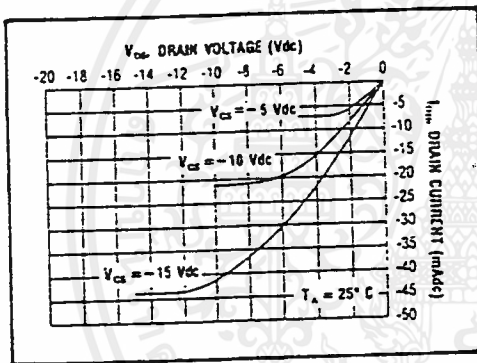
T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.

= + 85°C for E device.

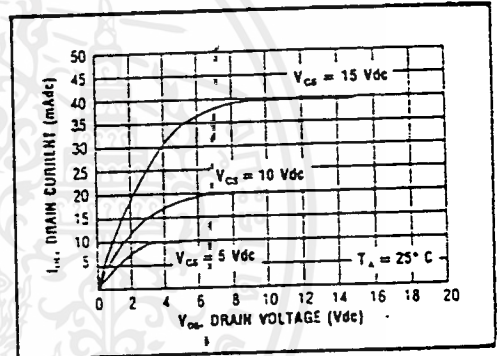
³ This device has been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

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

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PLH} , t _{MHL}	5	—	225	ns
		10	—	100	
		15	—	70	
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{TLH} , t _{TML}	5	—	100	ns
		10	—	50	
		15	—	40	

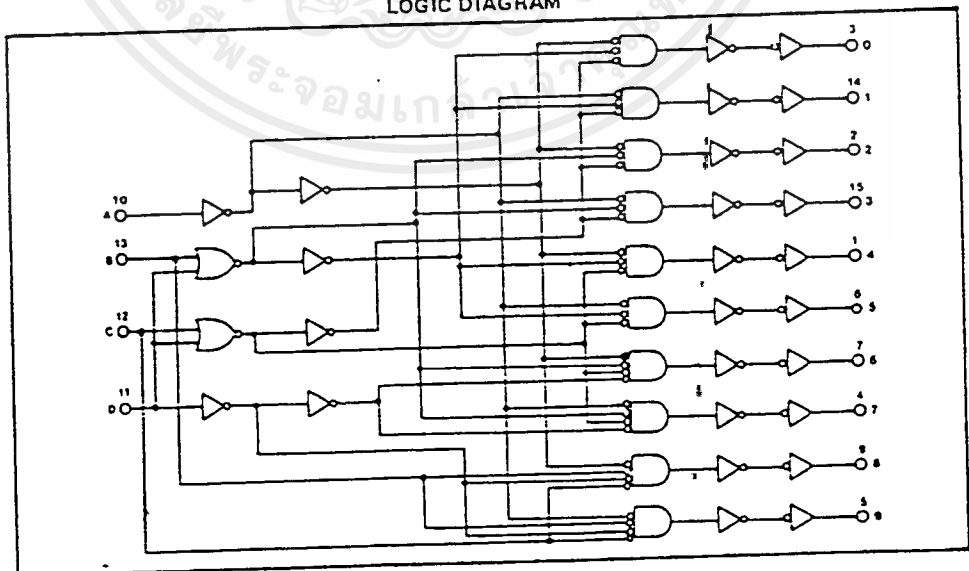


Typical P-Channel Source Current Characteristics



Typical N-Channel Sink Current Characteristics

LOGIC DIAGRAM



CD4069UBM/CD4069UBC Inverter Circuits

General Description

The CD4069UB consists of six inverter circuits and is manufactured using complementary MOS (CMOS) to achieve wide power supply operating range, low power consumption, high noise immunity, and symmetric controlled rise and fall times.

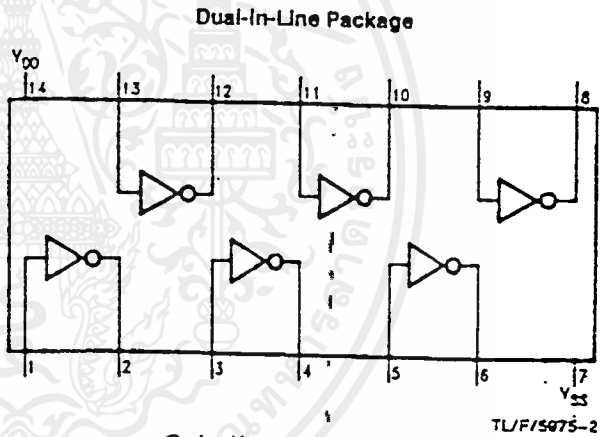
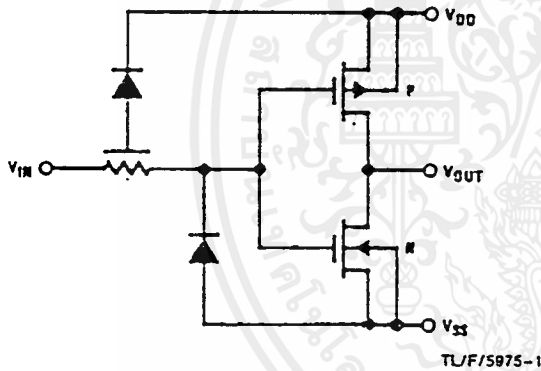
This device is intended for all general purpose inverter applications where the special characteristics of the MM74C901, MM74C903, MM74C907, and CD4049A Hex Inverter/Bufferers are not required. In those applications requiring larger noise immunity the MM74C14 or MM74C914 Hex Schmitt Trigger is suggested.

All inputs are protected from damage due to static discharge by diode clamps to V_{DD} and V_{SS} .

Features

- Wide supply voltage range 3.0V to 15V
- High noise immunity 0.45 V_{DD} typ.
- Low power TTL compatibility Fan out of 2 driving 74L or 1 driving 74LS
- Equivalent to MM54C04/MM74C04

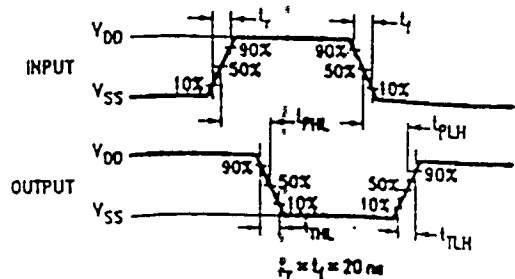
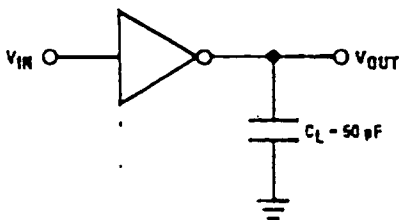
Schematic and Connection Diagram



Order Number CD4069UB*

*Please look into Section 8, Appendix D for availability of various package types.

AC Test Circuits and Switching Time Waveforms



TL/F/5975-4

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

If Military/Aerospace specified devices are required, contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

DC Supply Voltage (V_{DD})	-0.5V to +18 V_{DC}
Input Voltage (V_{IN})	-0.5V to V_{DD} + 0.5 V_{DC}
Storage Temperature Range (T_S)	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temperature (T_L)	
(Soldering, 10 seconds)	260°C

Recommended Operating Conditions (Note 2)

DC Supply Voltage (V_{DD})	3V to 15 V_{DC}
Input Voltage (V_{IN})	0V to V_{DD} V_{DC}
Operating Temperature Range (T_A)	
CD4069UBM	-55°C to +125°C
CD4069UBC	-40°C to +85°C

DC Electrical Characteristics CD4069UBM (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-55°C		+25°C			+125°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$, $V_{IN} = V_{DD}$ or V_{SS}		0.25			0.25		7.5	μA
		$V_{DD} = 10V$, $V_{IN} = V_{DD}$ or V_{SS}		0.5			0.5		15	μA
		$V_{DD} = 15V$, $V_{IN} = V_{DD}$ or V_{SS}		1.0			1.0		30	μA
V_{OL}	Low Level Output Voltage	$ I_O < 1 \mu A$ $V_{DD} = 5V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05		0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 15V$		0.05		0	0.05		0.05	V
V_{OH}	High Level Output Voltage	$ I_O < 1 \mu A$ $V_{DD} = 5V$	4.95	4.95	5		4.95			V
		$V_{DD} = 10V$	9.95	9.95	10		9.95			V
		$V_{DD} = 15V$	14.95	14.95	15		14.95			V
V_{IL}	Low Level Input Voltage	$ I_O < 1 \mu A$ $V_{DD} = 5V, V_O = 4.5V$		1.0			1.0		1.0	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9V$		2.0			2.0		2.0	V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$		3.0			3.0		3.0	V
V_{IH}	High Level Input Voltage	$ I_O < 1 \mu A$ $V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$	4.0	4.0				4.0		V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$	8.0	8.0				8.0		V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	12.0	12.0				12.0		V
I_{OL}	Low Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V$	0.64		0.51	0.88		0.36		$m A$
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$	1.6		1.3	2.25		0.9		$m A$
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$	4.2		3.4	8.8		2.4		$m A$
I_{OH}	High Level Output Current (Note 3)	$V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V$	-0.64		-0.51	-0.88		-0.36		$m A$
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$	-1.6		-1.3	-2.25		-0.9		$m A$
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$	-4.2		-3.4	-8.8		-2.4		$m A$
I_{IN}	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.10		-10 ⁻⁵	-0.10		-1.0	μA
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.10		10 ⁻⁵	0.10		1.0	μA

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not intended to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provide guidance for actual device operation.

Note 2: $V_{SS} = 0V$ unless otherwise specified.

Note 3: I_{OH} and I_{OL} are tested one output at a time.

DC Electrical Characteristics CD4069UBC (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°C			+85°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max	
I _{DD}	Quiescent Device Current	V _{DD} = 5V, V _{IN} = V _{DD} or V _{SS}		1.0			1.0		7.5	μA
		V _{DD} = 10V, V _{IN} = V _{DD} or V _{SS}		2.0			2.0		15	μA
		V _{DD} = 15V, V _{IN} = V _{DD} or V _{SS}		4.0			4.0		30	μA
V _{OL}	Low Level Output Voltage	I _O < 1 μA V _{DD} = 5V		0.05		0	0.05		0.05	V
		V _{DD} = 10V		0.05		0	0.05		0.05	V
		V _{DD} = 15V		0.05		0	0.05		0.05	V
V _{OH}	High Level Output Voltage	I _O < 1 μA V _{DD} = 5V	4.95		4.95			4.95		V
		V _{DD} = 10V	9.95		9.95			9.95		V
		V _{DD} = 15V	14.95		14.95			14.95		V
V _{IL}	Low Level Input Voltage	I _O < 1 μA V _{DD} = 5V, V _O = 4.5V		1.0			1.0		1.0	V
		V _{DD} = 10V, V _O = 9V		2.0			2.0		2.0	V
		V _{DD} = 15V, V _O = 13.5V		3.0			3.0		3.0	V
V _{IH}	High Level Input Voltage	I _O < 1 μA V _{DD} = 5V, V _O = 0.5V	4.0		4.0			4.0		V
		V _{DD} = 10V, V _O = 1V	8.0		8.0			8.0		V
		V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V	12.0		12.0			12.0		V
I _{OL}	Low Level Output Current (Note 3)	V _{DD} = 5V, V _O = 0.4V	0.52		0.44	0.88		0.36		mA
		V _{DD} = 10V, V _O = 0.5V	1.3		1.1	2.25		0.9		mA
		V _{DD} = 15V, V _O = 1.5V	3.6		3.0	8.8		2.4		mA
I _{OH}	High Level Output Current (Note 3)	V _{DD} = 5V, V _O = 4.6V	-0.52		-0.44	-0.88		-0.36		mA
		V _{DD} = 10V, V _O = 9.5V	-1.3		-1.1	-2.25		-0.9		mA
		V _{DD} = 15V, V _O = 13.5V	-3.6		-3.0	-8.8		-2.4		mA
I _{IN}	Input Current	V _{DD} = 15V, V _{IN} = 0V		-0.30		-10 ⁻⁵	-0.30		-1.0	μA
		V _{DD} = 15V, V _{IN} = 15V		0.30		10 ⁻⁵	0.30		1.0	μA

AC Electrical Characteristics*

T_A = 25°C, C_L = 50 pF, R_L = 200 kΩ, t_r and t_f ≤ 20 ns, unless otherwise specified

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t _{PHL} or t _{PLH}	Propagation Delay Time from Input to Output	V _{DD} = 5V		50	90	ns
		V _{DD} = 10V		30	60	ns
		V _{DD} = 15V		25	50	ns
t _{THL} or t _{TLH}	Transition Time	V _{DD} = 5V		80	150	ns
		V _{DD} = 10V		50	100	ns
		V _{DD} = 15V		40	80	ns
C _{IN}	Average Input Capacitance	Any Gate		6	15	pF
C _{PD}	Power Dissipation Capacitance	Any Gate (Note 4)		12		pF

*AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. They are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for normal device operation.

Note 2: V_{SS} = 0V unless otherwise specified.

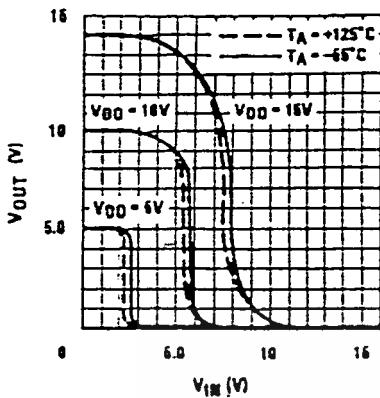
Note 3: I_{OH} and I_{OL} are tested one output at a time.

Note 4: C_{PD} determines the no load AC power consumption of any CMOS device. For complete explanation, see 54C/74C Family Characteristic Application Note—AN-90.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

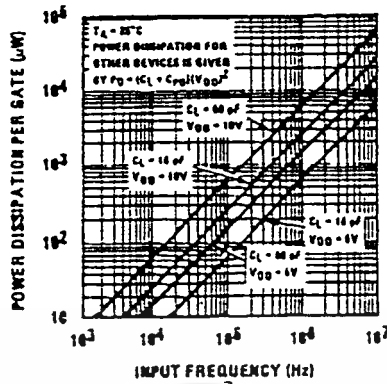
Typical Performance Characteristics

Gate Transfer Characteristics



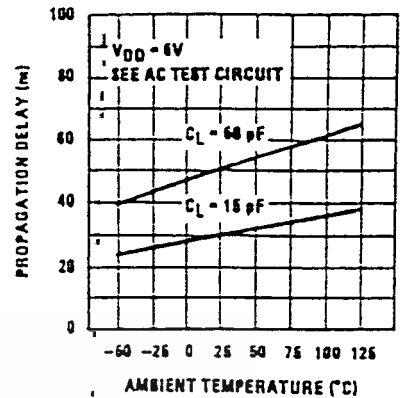
TL/F/5975-5

Power Dissipation vs Frequency



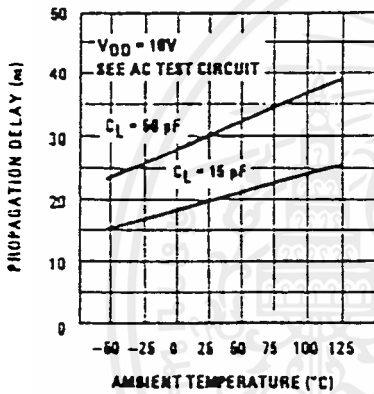
TL/F/5975-6

Propagation Delay vs Ambient Temperature



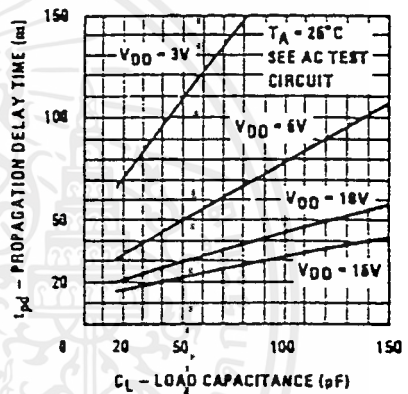
TL/F/5975-7

Propagation Delay vs Ambient Temperature



TL/F/5975-8

Propagation Delay Time vs Load Capacitance



TL/F/5975-9

SCL4028B



CMOS BCD-TO-DECIMAL DECODER

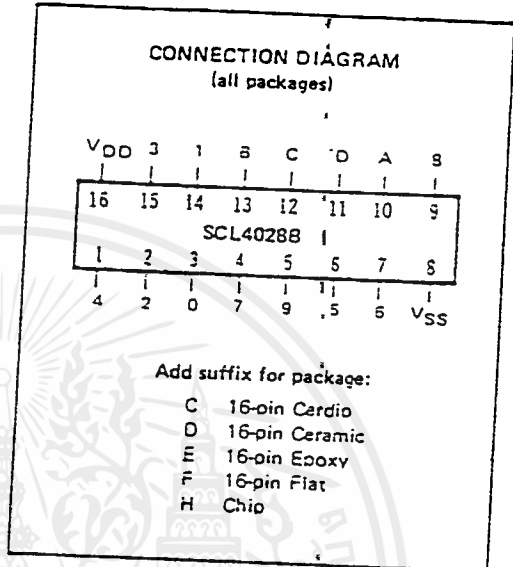
FEATURES

- ◆ BCD-to-Decimal or Binary-to-Octal Decoding
- ◆ Buffered Outputs go High on Selection
- ◆ Low Outputs for all Illegal Input Combinations
- ◆ Balanced Output Drive Current Specifications

DESCRIPTION

The SCL4028B types are BCD-to-Decimal or Binary-to-Octal Decoders consisting of pulse shaping circuits on all 4 inputs, decoding/logic gates, and 10 output buffers. A BCD code applied to the four inputs, A to D, results in a high level at the selected one of 10 decimal decoded outputs. Similarly, a 3-bit binary code applied to inputs A through C is decoded in octal code at output 0 to 7. A high-level signal at the D input inhibits octal decoding and causes outputs 0 through 7 to go low. If unused, the D input must be connected to VSS.

Expanded decoding such as binary-to-hexadecimal (1-of-16), etc., can be achieved by using other SCL4028B devices. This part is useful for code conversion, address decoding, memory selection control, demultiplexing, and recout decoding.



RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

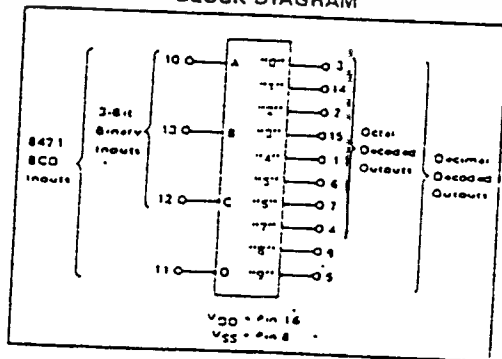
For maximum reliability:

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

TRUTH TABLE

Input				Output									
D	C	B	A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

BLOCK DIAGRAM



ELECTRICAL CHARACTERISTICS

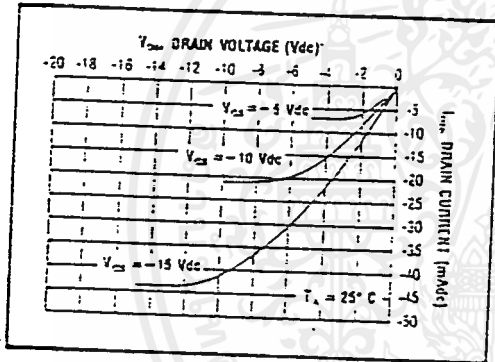
STATIC CHARACTERISTICS 1.1

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	CONDITIONS	T _{LOW} ¹					+25°C					T _{HIGH} ²					Units
			Min.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.					
QUIESCENT DEVICE CURRENT	5	V _{IN} = V _{DD} or V _{DD} All valid input combinations	5	5	—	0.05	5	—	150	μA								
			10	10	—	0.1	10	—	300	μA								
			15	20	—	0.2	20	—	600	μA								

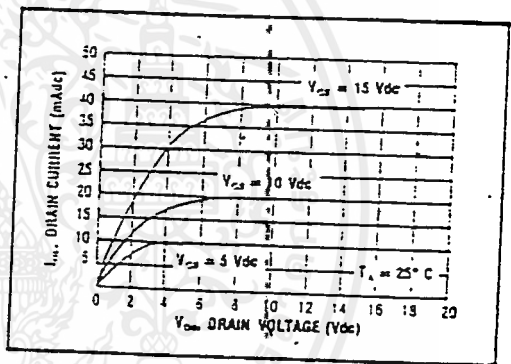
- NOTES: ¹ Remaining Static Electrical Characteristics are listed under "SCL4000B Series Family Specifications".
² T_{LOW} = -55°C for C, D, F, H device.
 = -40°C for E device.
 T_{HIGH} = +125°C for C, D, F, H device.
 = +35°C for E device.
³ This device has been designed for balanced output drive current specifications. Consult Family Specifications.

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

PARAMETER	V _{DD} (Vdc)	Min.	Typ.	Max.	Units
PROPAGATION DELAY TIME	t _{PLH, LPHL}	5	225	450	ns
	10	—	100	200	ns
	15	—	70	140	ns
OUTPUT TRANSITION TIME	t _{FLM, FTHL}	5	100	200	ns
	10	—	50	100	ns
	15	—	40	30	ns

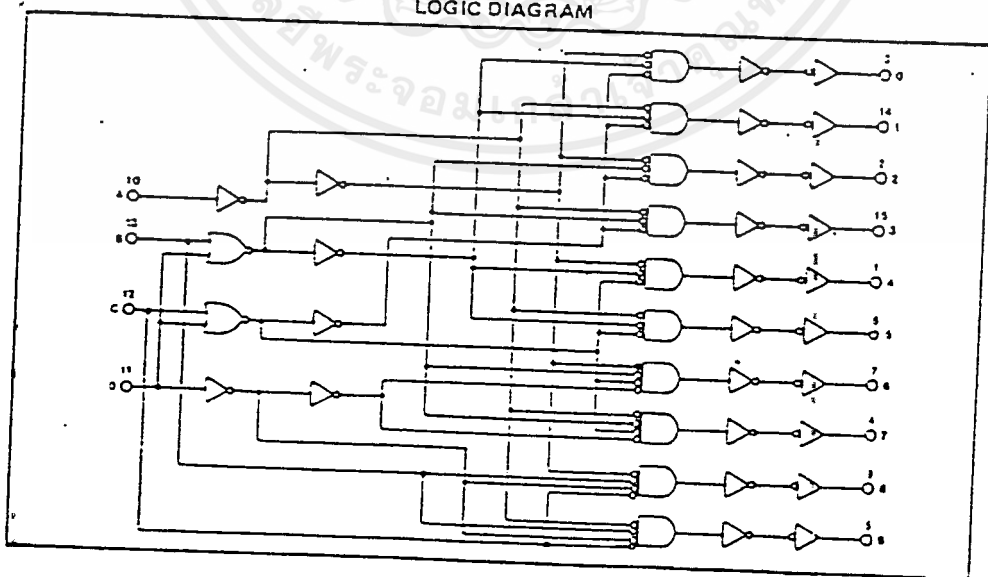


Typical P-Channel
Source Current Characteristics



Typical N-Channel
Sink Current Characteristics

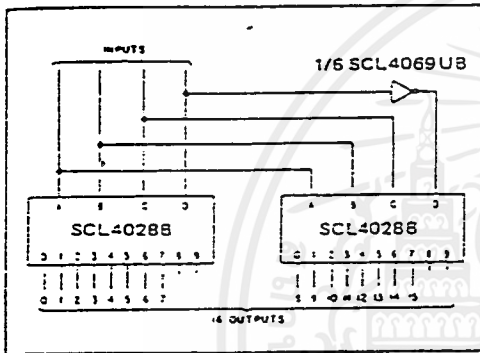
LOGIC DIAGRAM



APPLICATIONS INFORMATION

CODE CONVERSION CIRCUIT

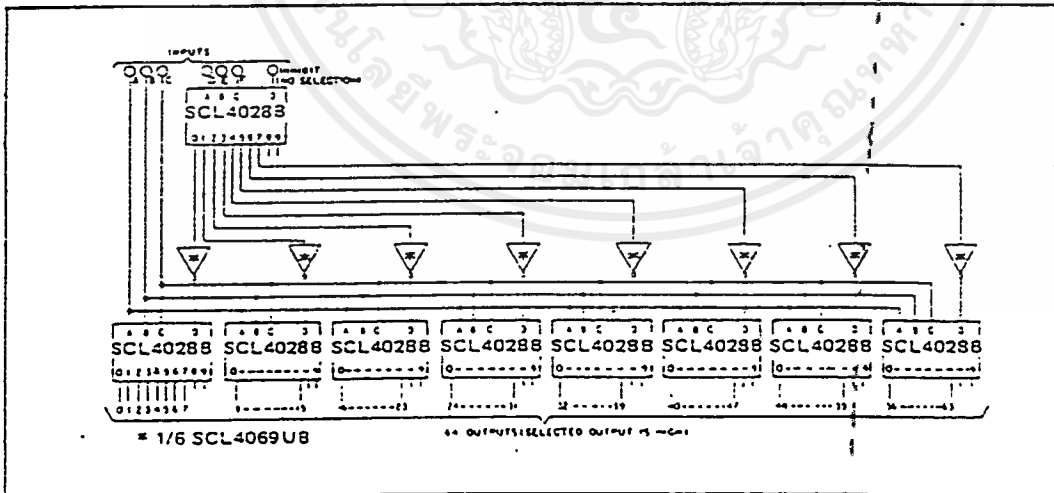
The circuit shown here converts any 4-bit code to a decimal or hexadecimal code. The table shows a number of codes and the decimal or hexadecimal number in these codes which must be applied to the input terminals of the SCL40288 to select a particular output. For example: in order to get a "high" on output No. 8 the input must be either an 8 expressed in 4-Bit Binary code, a 15 expressed in 4-Bit Gray code, or a 5 expressed in Excess-3 code.



INPUTS	INPUT CODES				OUTPUT NUMBER
	Binary	Gray	Excess-3	Excess-3	
010111	0	1	1	0	0
010110	1	0	1	1	1
010101	2	1	0	0	2
010100	3	0	1	1	3
010011	4	1	1	0	4
010010	5	0	0	1	5
010001	6	1	1	0	6
010000	7	0	0	1	7
001111	8	1	0	0	8
001110	9	0	1	1	9
001101	10	1	0	0	10
001100	11	0	1	1	11
001011	12	1	0	0	12
001010	13	0	1	1	13
001001	14	1	0	0	14
001000	15	0	1	1	15
000111	16	1	0	0	16
000110	17	0	1	1	17
000101	18	1	0	0	18
000100	19	0	1	1	19
000011	20	1	0	0	20
000010	21	0	1	1	21
000001	22	1	0	0	22
000000	23	0	1	1	23

Code Conversion Chart

6-BIT BINARY TO 1-OF-64 ADDRESS DECODER





MOTOROLA

MC145026 MC145027 MC145028

Advance Information

MC145026 ENCODER, MC145027/MC145028 DECODERS

The MC145026 will encode nine bits of information and serially transmit this information upon receipt of a transmit enable, \overline{TE} , active low signal. Nine inputs may be encoded with binary data (0, 1) or ternary to allow 3^9 (19,683) different codes.

Two decoders are presently available. Both use the same transmitter — the MC145026. The decoders will receive the 9-bit word and will interpret some of the bits as address codes and some as data. The MC145027 will interpret the first five transmitted bits as address and the last four bits as data. The MC145028 will treat all nine bits as address. If no errors are received, the MC145027 will output the four data bits when the transmitter sends address codes that match that of the receiver. A valid transmission output will go high on both decoders when they recognize an address that matches that of the decoder. Other receivers can be produced with different address/data ratios.

- May be Addressed in either Binary or Ternary
- Ternary Addressing Maximizes Number of Codes
- Interfaces with RF, Ultrasonic, or Infrared Transmission Media
- Double Transmissions for Error Checking
- 4.5 V to 18 V Operation
- On-Chip R/C Oscillator; No Crystal Required
- High External Component Tolerance. Can use 5% Components
- Standard E-Series Input and Output Characteristics

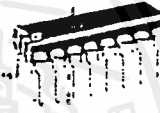
CMOS MSI

LOW-POWER COMPLEMENTARY MOSI

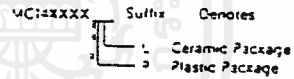
REMOTE CONTROL ENCODER/DECODER PAIRS



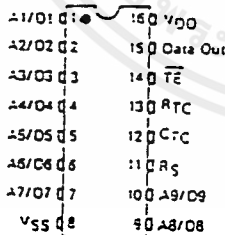
L SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 620



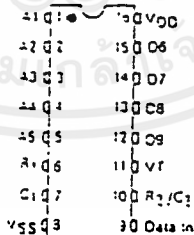
P SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 548



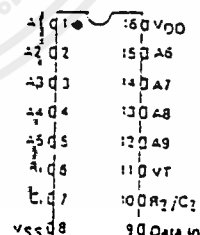
PIN ASSIGNMENTS



MC145026
Encoder



MC145027
Decoder



MC145028
Decoder

This is advance information and specifications are subject to change without notice.

MC145026 • MC145027 • MC145028

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

Characteristic	Symbol	V _{DD}	Min	Typ	Max	Unit
Output Rise and Fall Time	t _{PLH} t _{PHL}	5.0	-	100	200	ns
		10	-	50	100	
		15	-	25	50	
Data In Rise and Fall Time (MC145027, MC145028)	t _{PLH} t _{PHL}	5.0	-	-	15	ns
		10	-	-	15	
		15	-	-	15	
Encoder Clock Frequency	f _{clk}	5.0	0.1	-	2	MHz
		10	0	-	5	
		15	0	-	10	
Maximum Decoder Frequency (Referenced to Encoder Clock) (See Figure 3)	f _{dec}	5.0	-	-	240	MHz
		10	-	-	410	
		15	-	-	450	
T _E Pulse Width	t _{EWL}	5.0	35	-	-	ns
System Propagation Delay (T _E to Valid Transmission)	-	-	-	182	-	Clock Cycles
				-	-	
				-	-	
Tolerance on Timing Components (ΔA ₁ = ΔC ₁ = ΔA ₁ = ΔC ₁) (ΔA ₂ = ΔC ₂)	-	-	-	-	±25	%
					±25	
					±25	

OPERATING CHARACTERISTICS

MC145026

The encoder will serially transmit nine bits of binary data as defined by the state of the A1/D1-A9/O9 input pins. These pins can be in either of three states (0, 1, open) allowing 3⁹ = 19683 possible codes. The transmit sequence will be initiated by a low level of the T_E input pin. Each time the T_E input is forced low the encoder will output two identical data words. This redundant information is used by the receiver to reduce errors. If the T_E input is kept low, the encoder will continuously transmit the data words. The transmitted words are self-compensating (two words will be transmitted for each T_E pulse).

Each transmitted data bit is encoded into two data pulses. A logic zero will be encoded as two consecutive short pulses, a logic one by two consecutive long pulses, and an open as a long pulse followed by a short pulse. The input state is determined by using a weak output device to try to force each input first low, then high. If only a high state results from the two tests, the input is assumed to be hard wired to V_{DD}. If only a low state is obtained, the input is assumed to be hard wired to V_{SS}. If both a high and a low can be forced at an input, it is assumed to be open and is encoded as such.

The transmit sequence is enabled by a logic zero on the T_E input. This input has an external pullup device so that a simple switch may be used to force the input low. While T_E is high the encoder is completely disabled, the oscillator is inhibited and the current drain is reduced to quiescent current. When T_E is brought low, the oscillator is started, and an internal reset is generated to initialize the transmit sequence. Each input is then sequentially selected and a determination is made as to input logic state. This information is serially transmitted via the Data Out output pin.

MC145027

The decoder will receive the serial data from the encoder, check it for errors and output data if valid. The transmitted data consisting of two identical data words is examined bit by bit as it is received. The first five bits are assumed to be

address bits and must be encoded to match the address inputs at the receiver. If the address bits match, the next four (data) bits are stored and compared to the last valid data stored. If this data matches, the V_T pin will go high on the 2nd rising edge of the 9th bit of the first word. Between the two data words no signal is sent for three data bit times. As the second encoded word is received, the address must again match, and if it does, the data bits are checked against the previously stored data bits. If the two words of data (four bits each) match, the data is transferred to the output data latches and will remain until new data replaces it. At the same time, the Valid Transmission output pin is brought high and will remain high until an error is received or until no input signal is received for four data bit times.

Although the address information is encoded in binary fashion, the data information must be either a one or a zero. A (binary) open will be decoded as a logic one.

MC145028

This receiver operates in the same manner as the MC145027 except that nine address bits are used and no data output is available. The Valid Transmission output is used to indicate that a valid signal has been received.

Although address information normally is encoded in binary, the designer should be aware that, for the MC145028, the ninth address bit (A9) must be either a one or a zero. This bit, therefore, can accept only 2 × 3⁸ = 13,122 different codes. A (binary) open on A9 will be interpreted as a logic 1. However, if the transmitter sends a (binary) logic 1 and the receiver address is a logic 1 for (binary) respectively, the valid transmission output will be shortened to the R1 × C1 time constant.

DOUBLE TRANSMISSION DECODING

Although the encoder sends two words for error checking, a decoder does not necessarily wait for two transmitted words to be received before issuing a valid transmission output. Refer to the flowcharts in Figures 7 and 8.

MC145026 • MC145027 • MC145028

MAXIMUM RATINGS (Voltages Referenced to V_{SS})

Rating	Symbool	Value	Unit
DC Supply Voltage	V _{DD}	-0.5 to +18	V
Inout Voltage, All Inouts	V _{in}	-0.5 to V _{DD} -0.5	V
DC Current Drain Per Pin	I _D	10	mA
Operating Temperature Range	T _{op}	-40 to +85	°C
Storage Temperature Range	T _{stg}	-55 to +150	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbool	V _{DD} V	-40°C		25°C		+85°C		Unit		
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min		Max	
Output Voltage V _{in} = V _{DD} or 0	VOL	5.0	-	0.05	-	0	0.05	-	0.05	V	
		10	-	0.05	-	0	0.05	-	0.05		
		15	-	0.05	-	0	0.05	-	0.05		
V _{in} = 0 or V _{DD}	VOH	5.0	4.95	-	4.95	5.0	-	4.95	-	V	
		10	9.95	-	9.95	10	-	9.95	-		
		15	14.95	-	14.95	15	-	14.95	-		
Inout Voltage (V _{DD} = 4.5 or 0.5 V) (V _{DD} = 3.0 or 1.0 V) (V _{DD} = 13.5 or 1.5 V)	V _{IL}	5.0	-	1.5	-	2.25	1.5	-	1.5	V	
		10	-	3.0	-	4.50	3.0	-	3.0		
		15	-	4.0	-	6.25	4.0	-	4.0		
	V _{IH}	5.0	3.5	-	3.5	2.75	-	3.5	-	V	
		10	7.0	-	7.0	5.50	-	7.0	-		
		15	11.0	-	11.0	8.25	-	11.0	-		
Output Drive Current	Source	I _{OH}	5.0	-1.31	-	-2.1	-4.2	-	-1.7	-	mA
			10	-2.52	-	-4.4	-8.68	-	-3.36	-	
			15	-3.73	-	-6.6	-12.25	-	-5.04	-	
	Sink	I _{OL}	5.0	0.52	-	0.88	0.68	-	0.56	-	mA
			10	1.03	-	1.76	1.25	-	1.12	-	
			15	1.56	-	2.64	1.88	-	1.68	-	
Inout Current - TE (MC145026, Pullup Device)	I _{in}	5.0	-	-	3.0	4.0	7.0	-	-	mA	
		10	-	-	6.0	8.0	14.0	-	-		
		15	-	-	9.0	12.0	21.0	-	-		
Inout Current R _S (MC145026) Data in (MC145027, MC145028)	I _{in}	15	-	-0.3	-	0.00001	0.3	-	0	mA	
Inout Current ΔI/O1-Δ9/O9 (MC145026) Δ1-Δ5 (MC145027) Δ1-Δ9 (MC145028)	I _{in}	5.0	-	-	-	55	90	-	-	mA	
		10	-	-	-	100	140	-	-		
		15	-	-	-	150	210	-	-		
Inout Capacitance (V _{in} = 0)	C _{in}	5.0	-	-	-	5.0	7.5	-	-	pF	
		10	-	-	-	10	15	-	-		
Quiescent Current - MC145026	I _{DD}	5.0	-	-	-	0.0050	0.10	-	-	mA	
		10	-	-	-	0.0100	0.20	-	-		
		15	-	-	-	0.0150	0.30	-	-		
Quiescent Current - MC145027, MC145028	I _{DD}	5.0	-	-	-	20	50	-	-	mA	
		10	-	-	-	50	100	-	-		
		15	-	-	-	80	150	-	-		
Total Supply Current - MC145026 (I _{DD} = 20 kHz)	I _T	5.0	-	-	-	100	200	-	-	mA	
		10	-	-	-	200	400	-	-		
		15	-	-	-	300	600	-	-		
Total Supply Current - MC145027, MC145028 (I _{DD} = 20 kHz)	I _T	5.0	-	-	-	200	400	-	-	mA	
		10	-	-	-	400	800	-	-		
		15	-	-	-	600	1200	-	-		

MC145026 • MC145027 • MC145028

FIGURE 2 - DECODER BLOCK DIAGRAM MC145027

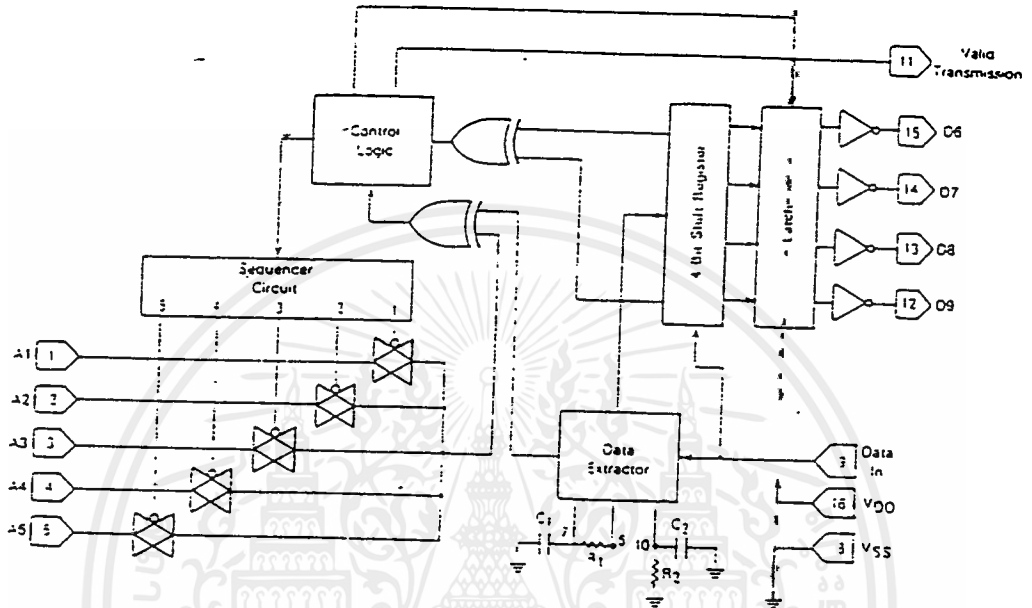
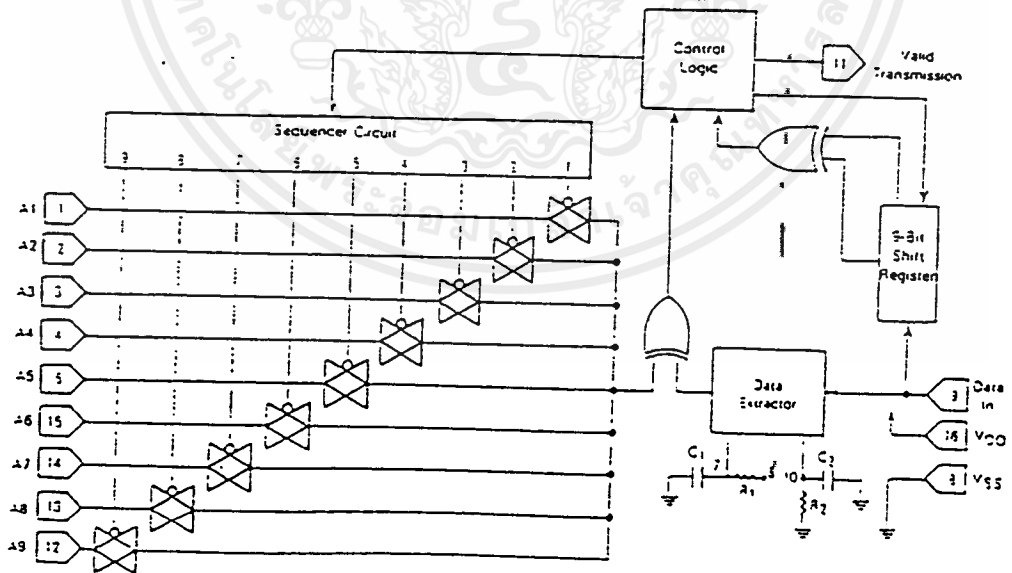


FIGURE 3 - DECODER BLOCK DIAGRAM MC145028



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MC145026 • MC145027 • MC145028

FIGURE 5 — ENCODER DATA WAVEFORMS (MC145026)

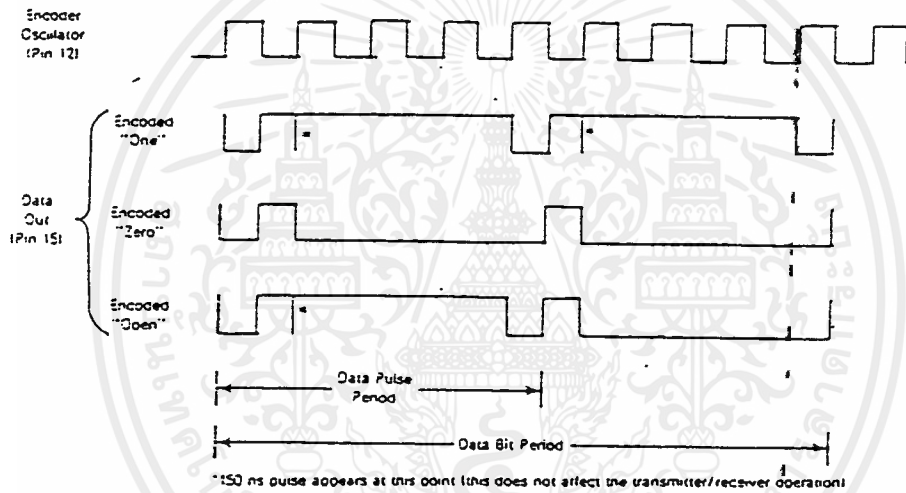
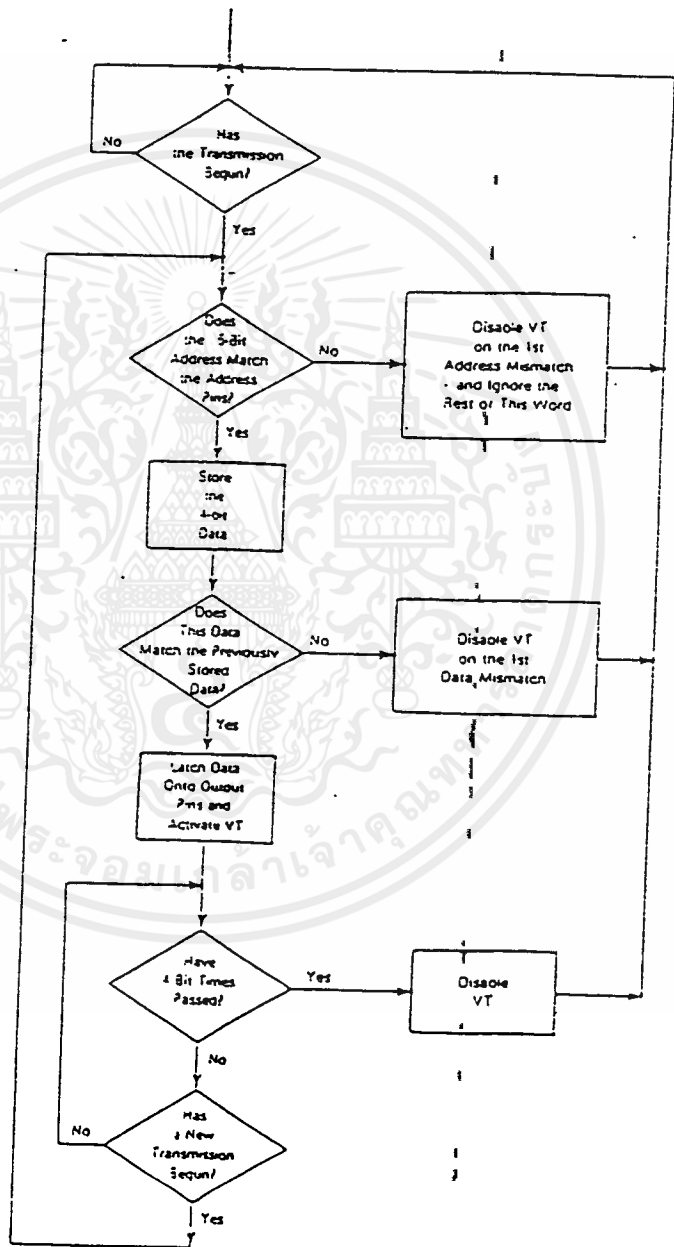


FIGURE 7 - MC145027 FLOWCHART



MC145026 • MC145027 • MC145028

FIGURE 3 - MC145027/MC145028
 I_{max} vs Clevout

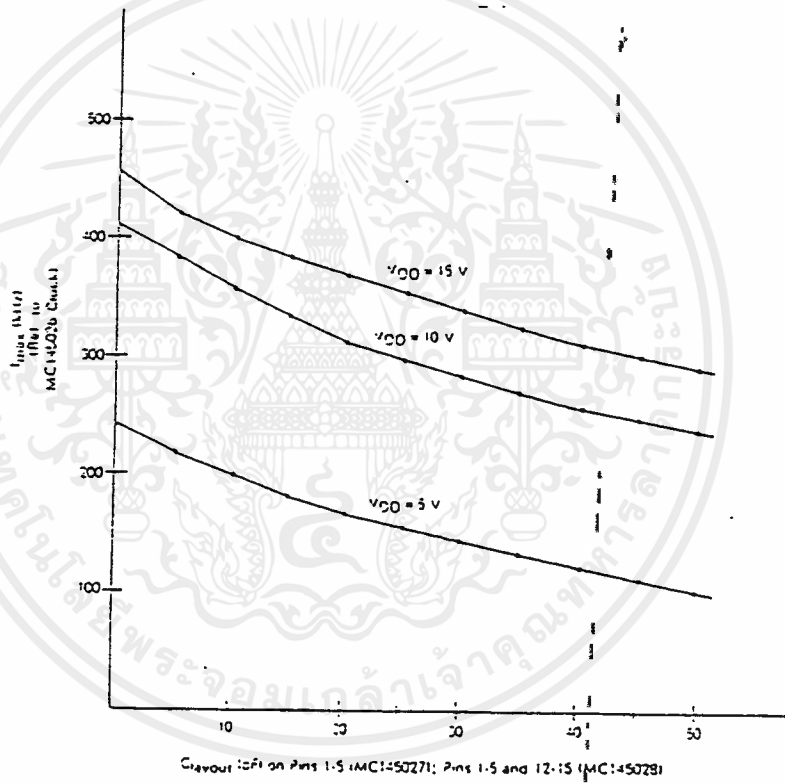
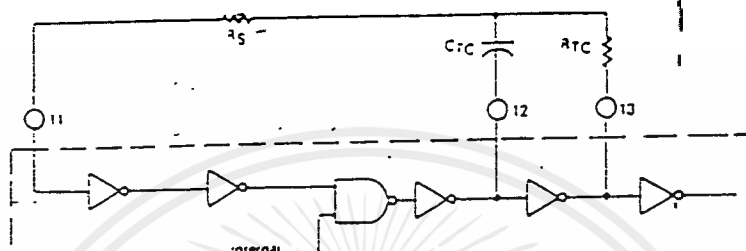


FIGURE 4 - ENCODER OSCILLATOR INFORMATION



This oscillator will operate at a frequency determined by the external RC network, i.e.,

$$f = \frac{1}{2.3 R7C C7C} \text{ (Hz)}$$

for 1 kHz ≤ f ≤ 400 kHz

where C7C = C7C - C_{leak} + 12 pF

$$R5 = 2 R7C$$

$$R5 \geq 20 k$$

$$R7C \geq 10 k$$

$$400 \text{ pF} < C7C < 15 \mu\text{F}$$

The value for R5 should be chosen to be about 2 times R7C. This range will ensure that current through R5 is insignificant compared to current through R7C. The upper limit for R5 must ensure that R5 × 5 pF (input capacitance) is small compared to R7C × C7C.

For frequencies outside the indicated range, the formula will be less accurate. The actual oscillation range of this circuit is from less than 1 Hz to over 1 MHz.

FIGURE 5 - ENCODER/DECODER TIMING DIAGRAM

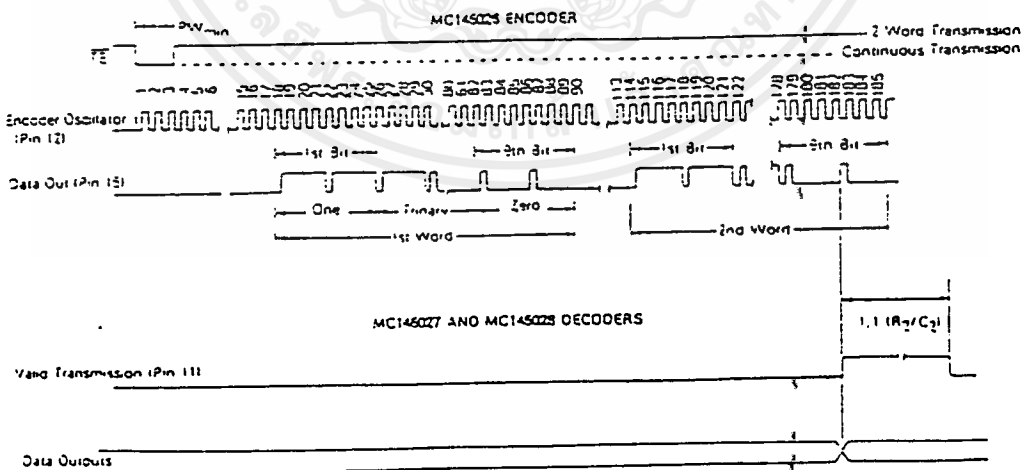
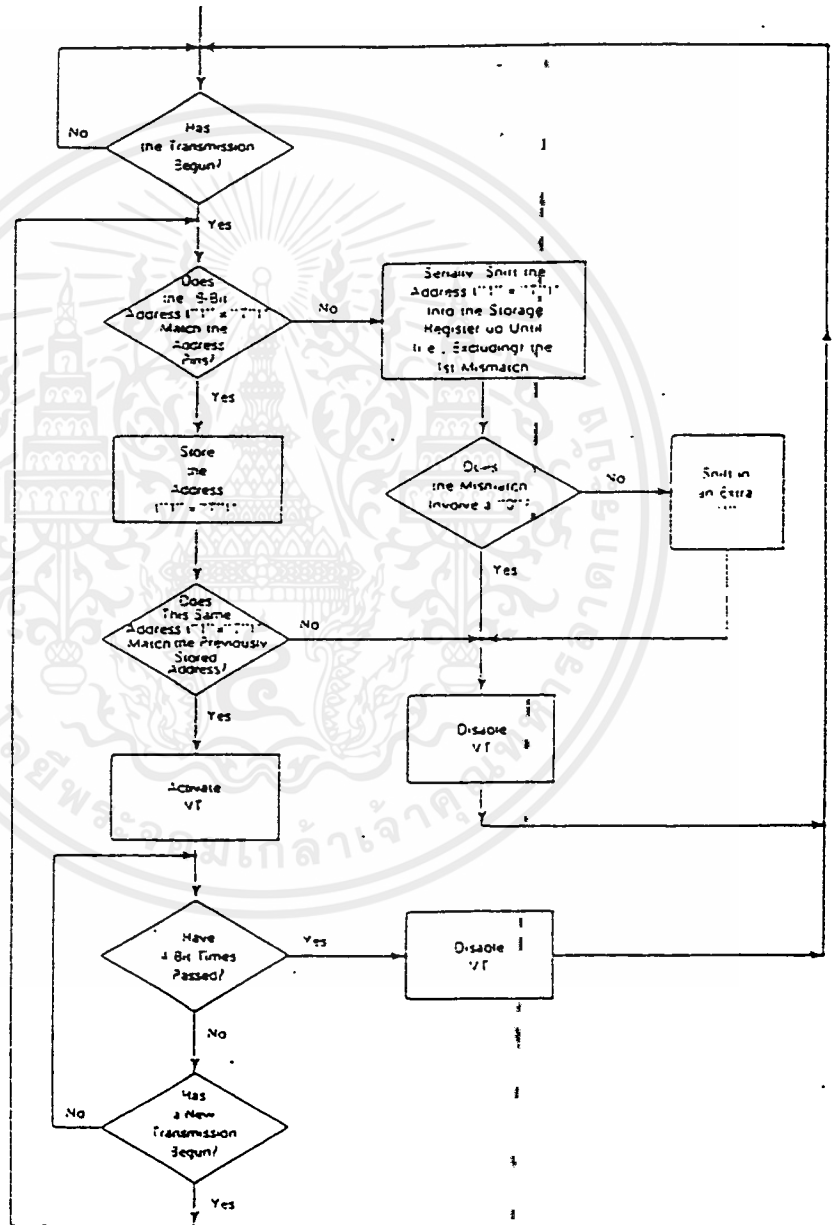
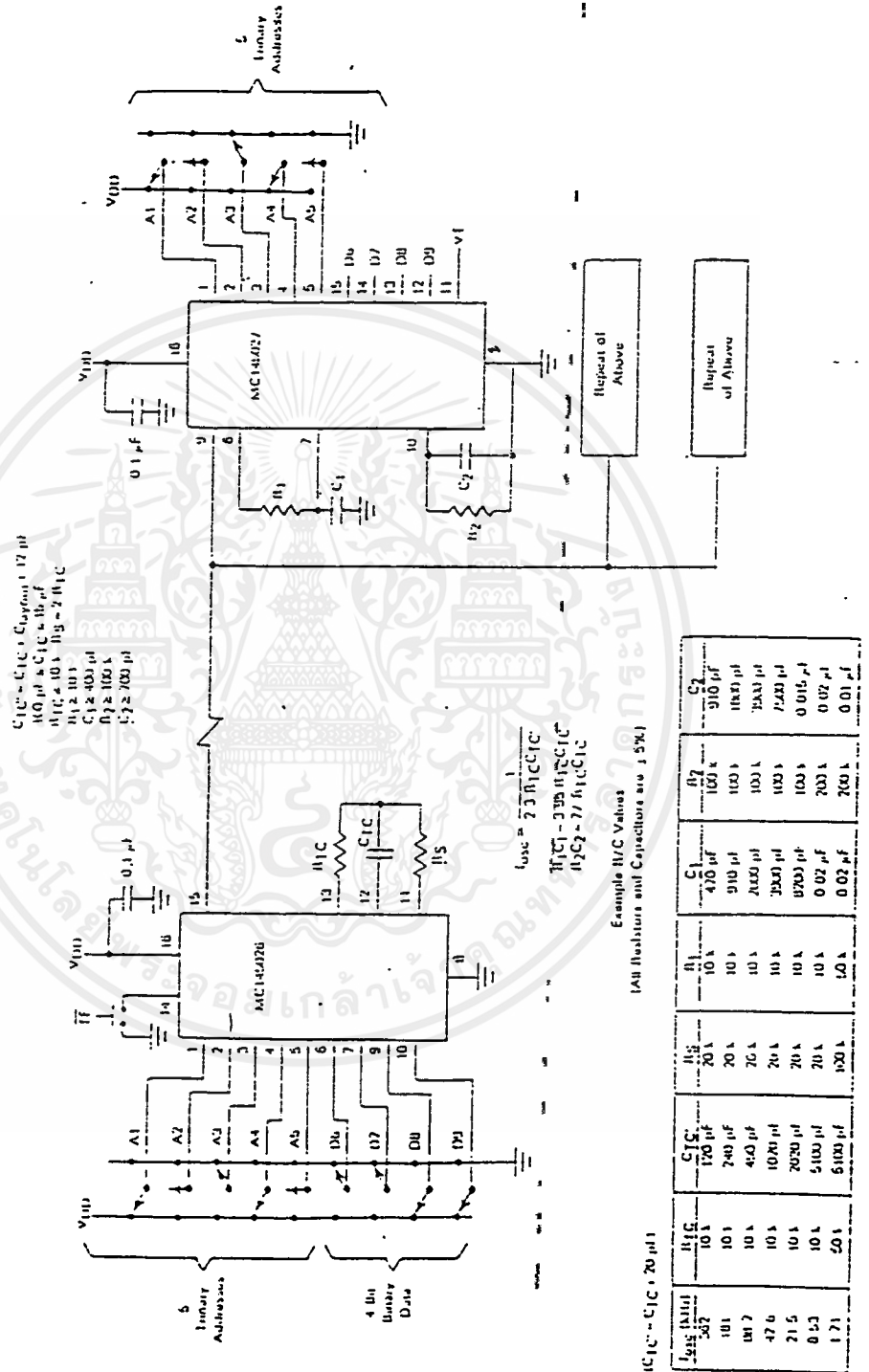


FIGURE 8 — MC145028 FLOWCHART



*For shift register comparisons, a "1" is stored as a "0"

FIGURE 10 -- TYPICAL APPLICATION



กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาบัตรนี้จะไม่สำเร็จขึ้นมาได้ ถ้าไม่มีบุคคลเหล่านี้คอยให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆ ซึ่งการทำงานใดๆ ก็ตามจะต้องเกี่ยวข้องกับบุคคลรอบๆด้าน และปริญญาบัตรนี้ก็เช่นเดียวกัน ดังนั้น

ขอขอบพระคุณ อ. เกียรติกร วงศ์โรจน์ภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ในฐานะที่ให้ความกรุณาเกี่ยวกับ คำแนะนำต่างๆ และช่วยเหลือในทุกๆด้าน และขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกๆ ท่าน ที่ได้กรุณา สั่งสอน และให้ความรู้ต่างๆ ตลอดมา

ขอขอบคุณ องค์การสื่อสารมวลชนกรุงเทพฯ บางไผ่ ที่อนุเคราะห์ทางด้านอุปกรณ์ และสถานที่ในการทำปริญญาบัตรนี้

ขอขอบคุณ คุณสโรช มโนเวชพันธ์ ที่ให้ความช่วยในด้านความคิด ออกแบบต่างๆ ขอขอบคุณเพื่อนๆที่ให้ความช่วยเหลือด้านต่างๆ และให้ความสนใจ ทำให้มีความตั้งใจทำงานสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้จัดทำ



หนังสืออ้างอิง

1. รศ. ดร. สิทธิชัย โกโดยอุดม รศ. ดร. พีรศักดิ์ วรสุนทรโรสก และ โตะมิโอะ อิวะสึเกกิ , ทฤษฎีและคำนวณวงจรมัลติพอร์นิคส์ , สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.
2. ผศ. ถวิล พึ่งมา, การออกแบบวงจรถ่ายทอดสัญญาณ ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. โยชิโน เปรมปราณีรัตน์, ระบบเซอร์โว และ อิเล็กทรอนิกส์คอนโทรลมอเตอร์, ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. เหมิคอนดักเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ , สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด
5. ผศ. ถวิล กิ่งทอง, ทฤษฎีและระบบสื่อสาร ตำราชุดวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง