เครื่องส่งสัญญาณวีดีโอสำหรับโทรทัศน์วงจรปิดไร้สาย

MULTICHANNEL VIDEO SENDER FOR CLOSE T.V.

โดย

นายสุรพันธ์ ไชยมหาพฤกษ์

นายอธิป กีรติพิชญ์

นางสาวอรวรรณ ชิตสมบัติ

วัน เดือน ปี ๑ ส.ค. ๒๕๔๐

เลขทะเบียน ๐๓๗๑๐๔

เลขเรียกหนังสือ T ๓๘๑๙๗ ส ๒๕๓ ค

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

037104

เครื่องส่งสัญญาณวีดีโอสำหรับโทรทัศน์วงจรปิดไร้สาย
(MULTICHANNEL VIDEO SENDER FOR CLOSE T.V.)

โดย

นายสุรพันธ์	ไชยมหาพฤกษ์	เลขประจำตัว 35104497
นายอธิป	กีรติพิชญ์	เลขประจำตัว 35104517
นางสาวอรวรรณ	ชิตสมบัติ	เลขประจำตัว 35104541

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์ สุชาติ คุณทวีเทพ

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2538

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องส่งสัญญาณวีดีโอสำหรับโทรทัศน์วงจรปิดไร้สาย

ผู้จัดทำ

1 นายสุรพันธ์ ไชยมหาพฤกษ์ เลขประจำตัว 35104497

2 นายอธิป กีรติพิชญ์ เลขประจำตัว 35104517

3 นางสาวอรวรรณ ชิตสมบัติ เลขประจำตัว 35104541

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(.....)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องส่งสัญญาณวีดีโอสำหรับโทรทัศน์วงจรปิดไร้สาย

สุรพันธ์ ไชยมหาพฤกษ์
อธิป กีรติพิชญ์
อรวรรณ ชิตสมบัติ
อ.สุชาติ คูณทวีเทพ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2538

บทคัดย่อ

ในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการกล่าวถึงการออกแบบและ หลักการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณวีดีโอในระบบโทรทัศน์วงจรปิดแบบไร้สายซึ่งในตัวโครงงานนี้ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วนคือส่วนแรกเป็นส่วนของเครื่องส่งสัญญาณวีดีโอไร้สาย ซึ่งความถี่พาหะของการส่งจะผลิตจากโคพิตออสซิเลเตอร์โดยจะใช้ความถี่ฮาร์โมนิกที่สอง ในการส่งซึ่งเป็นความถี่ย่านยูเฮช เอฟ โดยจะส่งได้ประมาณ 100 เมตรอีกส่วนที่เหลือเป็นส่วนของการใช้ระบบดิจิตอลมาเลือกสัญญาณภาพและเสียงที่ต้องการส่งออกอากาศ โดยจะส่งออกอากาศได้ครั้งละ 1 แหล่งจากหลายๆ แหล่ง ซึ่งจะมีการตั้งเวลาและกำหนดช่องสัญญาณล่วงหน้าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MULTICHANNEL VIDEO SENDER FOR CLOSE T.V.

SURAPAN CHAIMAHAPRUEK
ATIP KEERATIPISH
ORAWUN CHITSOMBAT
SUCHAT KHUNTHAVEETEP Advisor
1995

ABSTRACT

In this thesis it shows the designing and the concept of wireless video sender in the close T.V. system. The project is consist of two vital parts. One is the wireless sender of video signal which carrier frequency is generated by coplit oscillator.The carrier frequency is the second hamonic which the ultra high frequency (U.H.F.) . The sender transmits in 100 metres.Another is the digital part which choose only video and sound signal from the other sources and it can set timer and preset channel. .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 หลักการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์	3
2.2 การส่งและรับโทรทัศน์สี	5
2.3 มาตรฐานการส่งโทรทัศน์สี	14
2.4 การมอดูเลททางความถี่	19
2.5 การแมทชิ่งอิมพีแดนซ์	21
2.6 สายอากาศ	32
2.7 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคลื่นวิทยุ	34
2.8 การพันคอลย์ให้ได้ L ตามต้องการ	36
บทที่ 3 วงจรขยายกำลัง	
3.1 การแบ่งวงจรขยายกำลังเป็นพวกโดยอาศัยวิธีการทำการ	41
3.2 วงจรขยายคลาส เอ. ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียว	43
3.3 วงจรขยายกำลังคลาส บี. แบบพุช-พูล	46
3.4 ทรานซิสเตอร์ที่ความถี่สูง	51
บทที่ 4 การเข้ารหัสและวงจรถอดรหัส	
4.1 วงจรเข้ารหัส	58
4.2 วงจรถอดรหัส	61
บทที่ 5 วงจรมัลติเพลกเซอร์และดีมัลติเพลกเซอร์	
5.1 วงจรมัลติเพลกเซอร์	67
5.2 วงจรดีมัลติเพลกเซอร์	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 6 การสร้างแบะการออกแบบ

6.1 ภาคเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ 75

6.2 ภาคการทำงานของคีย์บอร์ด 79

6.3 ภาคของส่วนตัดต่อสัญญาณ 82

6.4 ภาคควบคุมเวลา 83

ผลการทดลอง 86

สรุปผลการทดลอง 93

ภาคผนวก

หนังสืออ้างอิง

กิตติกรรมประกาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

หน้า

บทที่ 2

รูปที่ 2.1 การส่งสัญญาณโทรทัศน์ 4

รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของภาพในรูปซึ่งมีพื้นที่เท่ากัน 6

รูปที่ 2.3 การส่งและการรับภาพทางโทรทัศน์ 6

รูปที่ 2.4 การส่งโทรทัศน์สีระบบแสงสีแดง-สีเขียว-สีน้ำเงิน โดยส่งทุกสีพร้อมกัน 7

รูปที่ 2.5 การส่งโทรทัศน์สีระบบแสงสีแดง-สีเขียว-สีน้ำเงิน โดยส่งสัญญาณภาพสีด้วยวิธีการสลับสี 7

รูปที่ 2.6 ระบบการส่งและการรับโทรทัศน์สี 9

รูปที่ 2.7 หลักการส่งและหลักการรับภาพทางโทรทัศน์ 10

รูปที่ 2.8 คลื่นโทรทัศน์ในแนวตั้งกับโทรทัศน์ในแนวนอน 13

รูปที่ 2.9 การเดินทางของคลื่นโทรทัศน์ 13

รูปที่ 2.10 ความแตกต่างของคลื่นโทรทัศน์ในย่าน V.H.F 14

รูปที่ 2.11 ระดับภาพสัญญาณ 15

รูปที่ 2.12 รูปคลื่นที่มอดูเลทแล้ว 16

รูปที่ 2.13 การมอดูเลทแบบบวกและแบบลบ 17

รูปที่ 2.14 ระบบการส่งแบบ VSB 18

รูปที่ 2.15 IF ของเครื่องรับโทรทัศน์ 19

รูปที่ 2.16 สัญญาณ FM 20

รูปที่ 2.17 อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณ FM 21

รูปที่ 2.18 แสดงวงจรในการทดลอง 22

รูปที่ 2.19 กราฟแสดงค่ากำลังงาน P_L ที่ตกคร่อมโหลดแต่ละค่า จะได้ค่ามากสุดเมื่อ $R_L = 1$ โอห์ม 23

รูปที่ 2.20 แสดงวงจรการแมทของ Z และ Z_L 23

รูปที่ 2.21 แสดงการใช้วงจรอิมพีแดนซ์แมทชิ่ง เมื่อค่าZ และ Z_L ถูกกำหนดมาแล้ว 24

รูปที่ 2.22 แสดงวงจรแมทชิ่งที่เป็นวงจรความถี่สูงและความถี่ต่ำ 25

รูปที่ 2.23 แสดงวงจรแมทชิ่งเมื่อโหลดมีค่าไม่เท่ากัน 25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 2.24 แสดงวงจรเมื่อมองทางด้านโหลด 26

รูปที่ 2.25 แสดงวงจรเมื่อมองมาทางด้านซอส 26

รูปที่ 2.26 แสดงตำแหน่งของค่าความต้านทานเสมือน ที่เกิดขึ้นระหว่างวงจรแอล 28

รูปที่ 2.27 แสดงวงจรรูปตัว T ที่ใช้กับ R และ R_L โดยที่มีค่าต่ำ 29

รูปที่ 2.28 แสดงวงจรแบบ Q ต่ำ Bandwidth กว้าง 30

รูปที่ 2.29 แสดงการต่อวงจรแบบค่า Q ต่ำ Bandwidth กว้าง หลายๆ ชุดต่ออนุกรมกัน 31

รูปที่ 2.30 แสดงตัวอย่าง สายอากาศรอบตัวแบบที่ได้รับความนิยมทำกันมาก 33

รูปที่ 2.31 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของไดโพลแบบlamda/2 35

รูปที่ 2.32 แสดงอิลิเมนท์ต่าง ๆ และการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิ 36

รูปที่ 2.33 แสดงความหมายของ a และ b ของขดลวด 38

บทที่ 3

รูปที่ 3.1 คุณสมบัติทางด้านสัญญาณเข้าและรูปคลื่นของสัญญาณที่ใช้งาน 42

รูปที่ 3.2 คุณสมบัติทางด้านสัญญาณออกและรูปคลื่นของสัญญาณที่ใช้งาน 42

รูปที่ 3.3 แสดงวงจรขยายกำลังแบบคลาส เอ. ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียวมีการถ่ายสัญญาณไปยังโหลดด้วยทรานฟอเมอร์ 43

รูปที่ 3.4 การทำงานของวงจรขยายกำลังแบบคลาส เอ. 43

รูปที่ 3.5 คุณสมบัติของ V_{CE} - I_C และค่าสูงสุดที่ทรานซิสเตอร์ยังสามารถปฏิบัติงานได้ 45

รูปที่ 3.6 แสดงวงจรขยายกำลังคลาส บี. แบบพุช-พูล 46

รูปที่ 3.7 แสดงการทำงานของวงจรขยายกำลังคลาสบีแบบพุช-พูล 47

รูปที่ 3.8 แสดงทรานฟอเมอร์ที่ใช้ด้านสัญญาณออก 47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

รูปที่ 3.9 แสดงกราฟของ $\frac{2}{\pi}k - \frac{k^2}{2}$ 49

รูปที่ 3.10 แสดงค่าศักดาที่คอลเลคเตอร์ของวงจรคลาส บี. แบบพุช-พูล 49

รูปที่ 3.11 แสดงการผิดเพี้ยนที่ช่วงต่อของสัญญาณของวงจรขยายในคลาส บี. แบบพุช-พูล 50

รูปที่ 3.12 วงจรสมมูล π- ผสม 51

รูปที่ 3.13 แสดงการกระจายของพาหะข้างน้อยในเบส 52

รูปที่ 3.14 การเปลี่ยนแปลงของ f_T กับก ระแสไฟตรงของคอลเลคเตอร์ 53

รูปที่ 3.15 53

รูปที่ 3.16 อัตราขยายกระแสเมื่อลัดวงจรกับความถี่ 55

รูปที่ 3.17 55

บทที่ 4

รูปที่ 4.1 แสดวงจรเข้ารหัสแปลงรหัสจากเลขฐานสิบเป็นรหัสบีซีดี 59

รูปที่ 4.2 แสดงการต่อ วงจรควบคุมเอาท์พุทของวงจรเข้ารหัสเบื้องต้น 60

รูปที่ 4.3 แสดงวงจรไดโอดเมตริกซ์ที่ต่อกันเป็นวงจรเข้ารหัส 60

รูปที่ 4.4 แสดงแผนผังของวงจรถอดรหัส 2 ออก 4 61

รูปที่ 4.5 แสดงวงจรถอดรหัส 2 ออก 4 62

รูปที่ 4.6 แสดงวงจรทดสอบเอาท์พุทของวงจรถอดรหัสเบอร์ 74139 64

รูปที่ 4.7 แสดงแอลอีดี 7 ส่วน 64

รูปที่ 4.8 แสดงแอลอีดี 7 ส่วนต่อกันเป็นแบบแอโนดร่วม 65

รูปที่ 4.9 แสดงแอลอีดี 7 ส่วนต่อกันเป็นแบบแคโทดร่วม 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

บทที่ 5

รูปที่ 5.1 แสดงวงจรมัลติเพลกเซอร์ 2 ออก 1 67

รูปที่ 5.1 แสดงวงจรมัลติเพลกเซอร์ 2 ออก 1 (ต่อ) 67

รูปที่ 5.2 แสดงไอซี เบอร์ 74157 69

รูปที่ 5.3 แสดงวงจรมัลติเพลกเซอร์ แบบ 4 ออก 2 69

รูปที่ 5.4 แสดงไอซี เบอร์ 74153 70

รูปที่ 5.5 แสดงวงจรดีมัลติเพลกเซอร์ 1 ออก 4 เบื้องต้น 71

รูปที่ 5.6 แสดงไอซี เบอร์ 74139 73

บทที่ 6

รูปที่ 6.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโครงงาน 75

รูปที่ 6.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ 75

รูปที่ 6.3 แสดงวงจรของเครื่องส่งวิดีโอ 78

รูปที่ 6.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของส่วนคีย์บอร์ด 79

รูปที่ 6.5 แสดงวงจรการทำงานของคีย์บอร์ด 80

รูปที่ 6.6 แสดงวงจรของส่วนตัดต่อสัญญาณ 82

รูปที่ 6.7 แสดงวงจรของส่วนควบคุมเวลา 85

ผลการทดลอง

รูปที่ 1 แสดง ส่วนประกอบต่างๆ ของโครงงาน 88

รูปที่ 2 ภาพที่เกิดจากสัญญาณพาหะเพียงอย่างเดียว 88

รูปที่ 3 แสดงภาพที่เกิดจากเครื่องส่งวิดีโอตัวที่ 1 89

รูปที่ 4 แสดงภาพที่เกิดจากเครื่องส่งวิดีโอตัวที่ 2 89

รูปที่ 5 แสดงภาพที่เกิดจากเครื่องส่งวิดีโอตัวที่ 3 90

รูปที่ 6 แสดงภาพที่เกิดจากเครื่องส่งวิดีโอตัวที่ 4 90

รูปที่ 7 แสดงภาพที่เกิดจากการทดลองที่อุณหภูมิสูง 91

รูปที่ 8 แสดงภาพที่เกิดจากการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ 91

รูปที่ 9 แสดงภาพเมื่อผ่านรีเลย์ตัดต่อสัญญาณ 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

หน้า

บทที่ 2

ตารางที่ 2.1 40

บทที่ 4

ตารางที่ 4.1 ตารางความจริงของวงจรควบคุมเอาท์พุทของวงจรเข้ารหัสเบื้องต้น 59

ตารางที่ 4.2 ตารางความจริงของวงจรถอดรหัส 2 ออก 4 62

ตารางที่ 4.3 ตารางความจริงอย่างย่อของวงจรถอดรหัส 2 ออก 4 63

ตารางที่ 4.4 ตารางความจริงของวงจรถอดรหัสที่มีวงจรทดสอบแอลอีดี 66

บทที่ 5

ตารางที่ 5.1 ตารางความจริงของวงจรมัลติเพลกเซอร์ 2 ออก 1 68

ตารางที่ 5.2 ตารางความจริงอย่างย่อของวงจรมัลติเพลกเซอร์ 2 ออก 1 68

ตารางที่ 5.3 ตารางความจริงของไอซี เบอร์ 74157 69

ตารางที่ 5.4 ตารางความจริงของวงจรมัลติเพลกเซอร์ แบบ 4 ออก 1 70

ตารางที่ 5.5 ตารางความจริงของไอซ เบอร์ 74153 71

ตารางที่ 5.6 ตารางจริงของวงจรดีมัลติเพลกเซอร์ 1 ออก 4 72

ตารางที่ 5.7 ตารางความจริงของไอซี เบอร์ 74139 74

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงระยะทางที่เครื่องส่งวิดีโอสามารถส่งภาพได้ 86

ตารางที่ 2 แสดงเวลาที่เครื่องส่งวิดีโอสามารถส่งภาพได้ 87

ตารางที่ 3 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อเครื่องส่งวิดีโอ 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1 บทนำ

ในการต่ออุปกรณ์จำพวกกล้องวิดีโอเข้ากับเครื่องรับโทรทัศน์นั้น จำเป็นที่จะต้องใช้สายในการนำสัญญาณภาพและ เสียงจากอุปกรณ์จำพวกกล้องวิดีโอเข้ากับเครื่องรับโทรทัศน์ทำให้เกิดความสิ้นเปลืองเมื่อมีโทรทัศน์ผู้รับที่อยู่ไกลๆ และมีจำนวนหลายเครื่องด้วยกัน ซึ่งการที่จะทำให้เครื่องรับโทรทัศน์จำนวนหลาย ๆ เครื่องรับสัญญาณในเวลาเดียวกัน จำเป็นต้องหาอุปกรณ์ส่งสัญญาณ

ในระบบโทรทัศน์วงจรปิดจะมีกล้องสัญญาณวิดีโออยู่หลายตัว ซึ่งความต้องการในการใช้กล้องแต่ละตัวอาจจะอยู่คนละเวลากันและผู้รับอาจอยู่ห่างไกลจากกล้องวิดีโอ ซึ่งจะเป็นการสิ้นเปลืองถ้ามีการเดินสายสัญญาณ ดังนั้นในระบบโทรทัศน์วงจรปิดไร้สายจะเป็นการนำสัญญาณภาพและเสียงจากหลายๆ แหล่งโดยเลือกเพียง แหล่งเดียวเท่านั้นที่ทำการส่งไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ที่ต้องการ โดยความถี่ในการส่งนั้นจะอยู่ในย่าน U.H.F (Ultra High Frequency) ซึ่งจะเป็นการประหยัดและคล่องตัวมากขึ้น และจะมีอุปกรณ์ตัวหนึ่งซึ่งมีหน้าที่ในการตัดต่อสัญญาณ เพื่อส่งออกอากาศในโครงงานนี้จะมีตัวส่งสัญญาณออกอากาศอยู่ 2 ตัวซึ่งอุปกรณ์ทั้ง 2ตัวนี้จะส่งด้วยความถี่ 2 ความถี่

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อใช้เป็นเครื่องส่งสัญญาณภาพและเสียง ในระบบวงจรโทรทัศน์ปิดแบบไร้สาย

1.2.2เพื่อการพัฒนาและเป็นแนวทางในการค้นคว้าระบบเครื่องส่งความถี่สูง ในย่านอื่นต่อไป

1.2.3 สามารถนำไปปรับปรุงใช้งานในลักษณะต่าง ๆ

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

- จะทำการเลือกสัญญาณหนึ่งสัญญาณจากสัญญาณหลาย ๆ แหล่งเพื่อทำการส่งออกอากาศโดยสามารถกำหนดช่องสัญญาณได้ล่วงหน้าและสามารถจับเวลาการทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถส่งออกอากาศได้พร้อม ๆ กัน 2 ช่องสัญญาณ
- การส่งออกอากาศจะมีรัศมีการออกอากาศ 100 เมตร
- สามารทำการส่งสัญญาณภาพหรือเสียงซึ่งอาจไม่ได้มาจากกล้องวิดีโอก็ได้
- สัญญาณที่นำมาเลือกมากสุดได้ 8 แหล่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการส่งและรับสัญญาณโทรทัศน์

การส่งสัญญาณโทรทัศน์ โดยวิธีใช้สายเคเบิ้ลเชื่อมโยงระหว่างกล้องถ่ายสัญญาณโทรทัศน์กับทีวีมอนิเตอร์ ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก ถ้าส่งสัญญณไปยังที่ไกล ๆ และความต้านทานภายในของสายที่มีมากขึ้นตามความยาวของสาย จะทำให้สัญญาณภาพถูกบั่นทอนความแรงลงไปด้วย ภาพจึงมีสโนว์และไม่ชัดเจน ดังนั้นการส่งสัญญาณโทรทัศน์โดยใช้สายจึงนิยมใช้ภายในอาคาร

จากปัญหาดังกล่าว เมื่อต้องการส่งสัญญาณโทรทัศน์ไปยังที่ไกล ๆ จึงต้องใช้วิธีส่งโดยการเปลี่ยนสัญญาณภาพรวม และสัญญาณเสียงให้เป็นสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า ส่งแพร่กระจายออกอากาศไปยังเครื่องรับแทนการรร้สาย ดังนั้นทางเครื่องส่งจึงต้องเพิ่มชุดส่ง ซึ่งประะกอบด้วยวงจรสร้างคลื่นพาห์ของสัญญาณภาพ (VIDEO CARRIER OSCILLATOR) เพื่อส่งไปผสมกับสัญญาณในแบบ AM ที่วงจร AM modulator ได้เป็นเส้นตรง RF ภาพ ซึ่งเป็นสัญญาณ AM ส่วนสัญญาณเสียงจะถูกผสมกับสัญญาณคลื่นพาห์ 5.5 Mhz ในแบบ FM แล้วจึงส่งไปผสมกับคลื่นพาห์สัญญาณภาพที่วงจรบาลานซ์มอดูเลเตอร์เพื่อเปลี่ยนความถี่ให้สูงขึ้น ได้เป็นสัญญาณ RF ภาพ ในวงจรคอมไบเนชั่น จากนั้นสัญญาณทั้งหมดที่เป็นสัญญาณไฟฟ้าจะถูกส่งเข้าเสาอากาศ (เสาส่ง) เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าแพร่กระจายออกอากาศ

ทางด้านทีวีมอนิเตอร์นั้น จะต้องดัดแปลงโดยเพิ่มชุดรับเข้าไป โดยชุดรับจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณโทรทัศน์ทั้งภาพและเสียง ซึ่งอยู่ในรูปแม่เหล็กให้เป็นสัญญาณโทรทัศน์ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าโดยใช้สายอากาศ (เสารับ) จากนั้นสัญญาณภาพและเสียงจะต้องถูกแยกออกจากคลื่นพาห์ โดยยสัญญาณภาพรวมจะะถูกแยกออกมาหลังจากส่งผ่านวงจรแยกสัญญาณภาพ ซึ่งเป็นวงจร AM detector ส่วนสัญญาณเสียยงจะถูกแยกออกมาหลังจากผ่านวงจรแยกสัญญาณเสียง ซึ่งเป็นวงจร FM deetector จากนั้นสัญญาณภาพและเสียงจะถูกส่งเข้าจุดรับเข้าสัญญาณภาพรวม และจุดรับเข้าสัญญาณเสียงซึ่งเป็นส่วนที่ทีวีมอนิเตอร์เดิม เพื่อเปลี่ยนสัญญ่าณทั้งสองให้เป็นภาพปรากฏที่หน้าจอและเป็นเสียงออกทางลำโพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.1 การส่งสัญญาณโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. 2 การส่งและการรับโทรทัศน์สี

โทรทัศน์สีระบบต่าง ๆ มีหลักการส่งและหลักการรับโดทรทัศน์คล้ายคลึงกับหลักการส่งและหลักการรับโทรทัศน์ขาวดำ กล่าวคือแทที่เครื่องส่งโทรทัศน์จะส่งสัญญาณขาวดำไปให้เครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องส่งสัญญาณสีก็จะส่งสัญญาณสีไปแทน ภาพสีของเครื่องส่งโทรทัศน์สีประกอบด้วยภาพของสัญญาณของแสงสีแดง -แสงสีเขียว - แสงสีน้ำเงิน เมื่อเครื่องรับโทรทัศน์สีได้รับสัญญาณภาพสีนี้แล้ว ก็จะมีภาพสีปรากฏบนจอหลอดภาพของเครื่องรับโทรทัศน์สีขึ้น ภาพที่นี้ จะละเอียดหรือหยาบไม่น่าดูขึ้นอยู่กับสิ่งที่เกี่ยวข้องหลายอย่างสิ่งที่สำคัญก็คือจำนวนจุดดำหรือจุดสีเล็ก ๆ ที่เป็นส่วนประกอบของภาพ ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Docture element ภาพเหล่านี้จะปรากฏขึ้นด้วยจุดดำหรือจุดสีเล็ก ๆ เป็นจำนวนมาก ซึ่งมีทั้งส่วนมี่ดำสนิทและส่วนที่ดำจาง หรือส่วนที่มีสีเข้มกับส่วนที่มีสีจาง ขนาดของจุดดำหรือจุดสีในภาพที่มืดสนิทหรือมีสีเข้ม จะมองเห็นใหญ่กว่าขนาดจุดดำหรือจุดสีในส่วนของภาพสีจางจำนวนจุดดำหรือจำนวนจุดสีที่มีมากหรือน้อยนี้จะมีผลทำให้ภาพมองดูละเอียดชัดเจนหรือหยาบไม่น่าดูแตกต่างกันด้วย ตามที่แสดงในรูปที่ 2.2 ในการนี้ระยะทางที่มองภาพ ก็เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องอยู่ไม่น้อย ภาพที่หยาบแต่มองดูในระยะทางที่ไกลเกินกว่าระยะทางที่ใช้มองดูภาพละเอียดก็จะรู้สึกว่า พอจะมองดูได้เหมือนกันจุดเล็ก ๆซึ่งเป็นส่วนประกอบของภาพนี้จะมีวิธีการทางไฟฟ้าทำให้เกิดเป็นสัญญาณภาพซึ่งเครื่องส่งโทรทัศน์จะนำออกอากาศ และทำให้เกิดภาพบนจอหลอดภาพในเครื่องรับโทรทัศน์ ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นหลักการเบื้องต้นของการส่งโทรทัศน์สีอย่างง่ายโดยอาศัยเลนส์และฟิลเตอร์สี ช่วยแยกสีจากวัตถุหรือภาพสีในห้องส่ง ให้แบ่งออกเป็นแสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน ผ่านกล้องโทรทัศน์กับส่วนประกอบอื่น ๆ ที่รับรู้แต่แสงสีแดง แสงสีเขียว และแสงสีน้ำเงิน ตามลำดับเท่านั้น เครื่องรับโทรทัศน์สีประกอบด้วยหลอดภาพ และส่วนประกอบอื่น ๆที่รับรู้แต่เฉพาะแสงสีแดงแสง สีเขียว และแสงสีน้ำเงินตามลำดับ เมื่อสายตาคนเรามองดูภาพที่ผ่านกระจกเงาครึ่งโปร่งแสง ก็จะมองเห็นเป็นภาพสีขึ้นคือ แสงสีแดง - แสงสีเขียว - แสเงิน โดยอิสระซึ่งจำเป็นต้องใช้แบนด์วิดธ์ (Bandwidth) กว้างถึงประมาณสามเท่าของแบนด์วิดธ์ปรกติที่ใช้ในการส่งโทรทัศน์ขาวดำ วิธีการเช่นนี้จึงไม่เป็นการเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการปฏิบัติ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องหาวิธีการทางไฟฟ้าให้แสงสีแดง - แสงสีเขียว - แสงสีน้ำเงินแต่ละแสงสี ได้ไปปรากฏที่ทางเครื่องรับโทรทัศน์ โดยวิธีการส่งสัญญาณแสงสีเหล่านี้ปะปนกันไป โดยต้องกำหนดให้มีแบนด์วิดวิดธ์ของการส่งโทรทัศน์สีประมาณเท่ากันกับแบนด์วิโทรทัศน์ขาวดำ วิธีการทางไฟฟ้านี้ เรียกว่า sequential transmitting system ซึ่งมีอยู่สามวิธีด้วยกัน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 โดยวิธีส่งสัญญาณสีให้ผ่านไปทีละสี ในขณะที่มีการสำหรับฟิลด์ในแต่ละภาพ หรือเรียกว่า field sequential

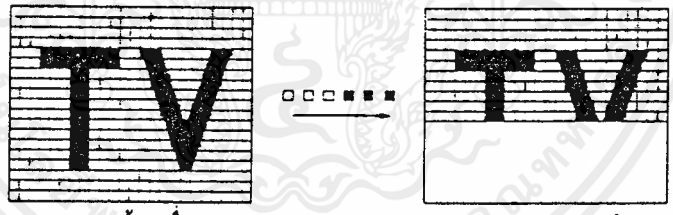
2.2.2 โดยวิธีส่งสัญญาณสีให้ผ่านไปทีละแสงสี ในขณะที่มีการสลับเส้น scan ในแต่ละภาพ หรือเรียกว่า line sequential transmitting system

2.2.3 โดยวิธีส่งสัญญาณสีให้ผ่านไปทีละแสงสี ในขณะที่มีการสลับจุดเล็ก ๆ อันเป็นส่วนประกอบของภาพ หรือเรียกว่า dot sequential transmitting system

(ก) หากมีจำนวนจุดคำมาก ภาพจอมองดูละเอียด

(ข) หากมีจำนวนจุดคำน้อย ภาพจะมองดูหยาบ

รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของภาพในรูปซึ่งมีพื้นที่เท่ากัน



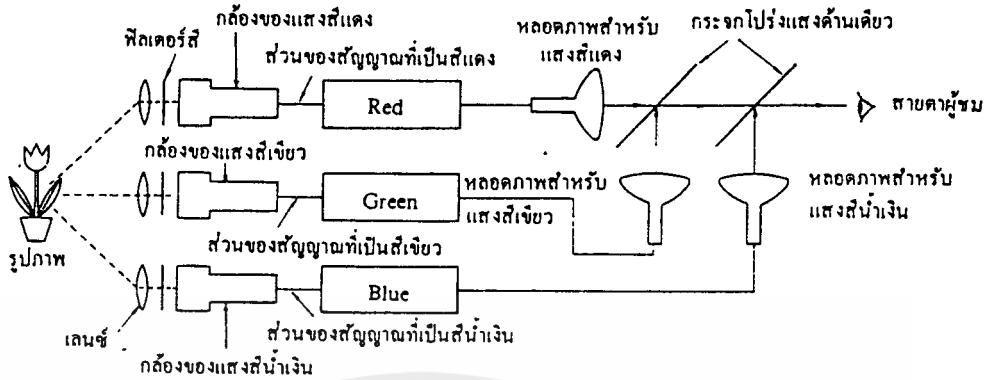
ภาพทางด้านเครื่องส่งโทรทัศน์

กล้องโทรทัศน์ จะเปลี่ยนแปลงภาพในห้องส่ง หรือภาพอื่นใดให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งเรียกว่าสัญญาณภาพและสัญญาณนี้จะทำให้เกิดภาพบนจอหลอดภาพในเครื่องรับโทรทัศน์ขึ้น

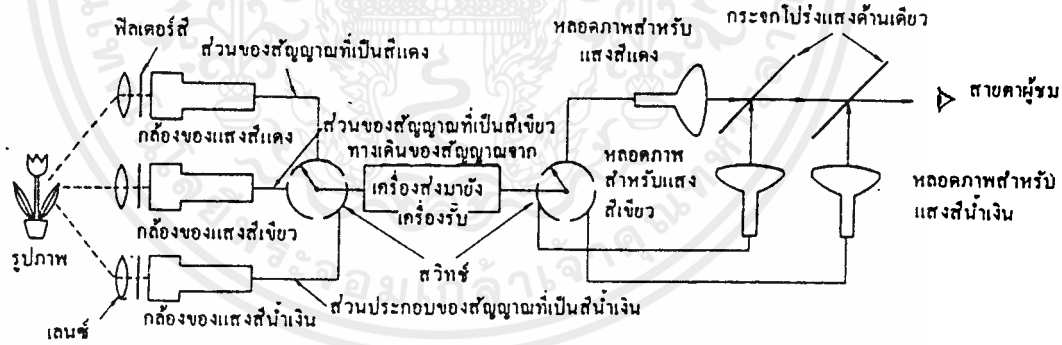
ภาพบนจอหลอดภาพในเครื่องรับโทรทัศน์

รูปที่ 2.3 การส่งและการรับภาพทางโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การส่งโทรทัศน์สีระบบแสงสีแดง - แสงสีเขียว - แสงสีน้ำเงิน โดยส่งทุกแสงพร้อมกัน จะสังเกตุเห็นว่า แสงสีแดง - แสงสีเขียว - แสงสีน้ำเงิน ต่างก็จะเกิดขึ้นและส่งไปยังเครื่องรับโทรทัศน์ของแสงสีนั้น ๆ โดยตรง และเป็นอิสระต่อกัน อันเป็นวิธีการที่ยุ่งยาก และไม่สามารถนำมาใช้ในทางปฏิบัติ



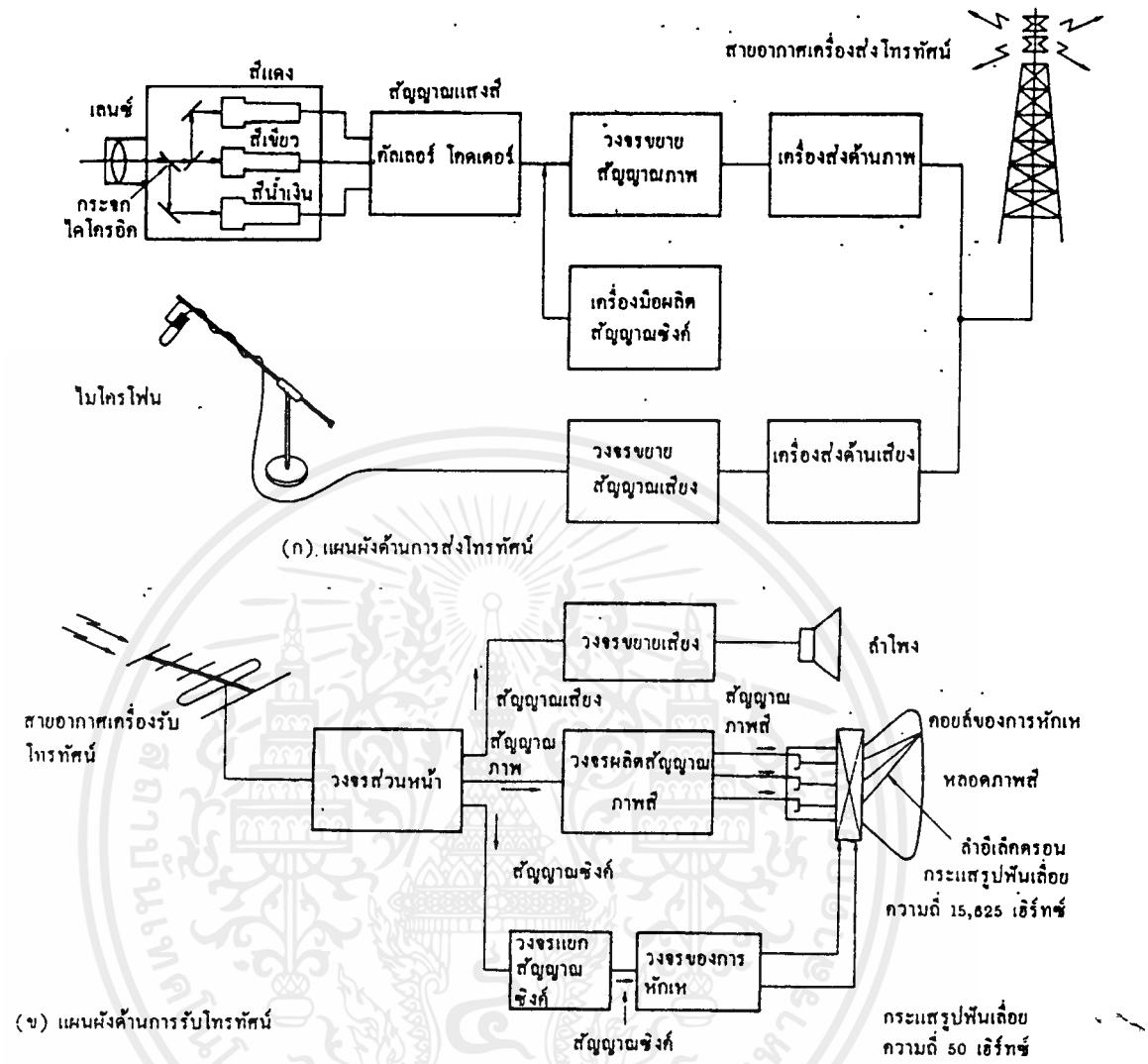
รูปที่ 2.5 การส่งโทรทัศน์สีระบบแสงสีแดง แสงสีเขียว แสงสีน้ำเงิน โดยส่งสัญญาณภาพสีด้วยวิธีการสลับสี ซึ่งจะทำให้สามารถส่งสัญญาณโทรทัศน์สี โดยอาศัยความกว้างของช่องโทรทัศน์ขาวดำที่ใช้อยู่แล้วได้

รูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นหลักการของการส่งโทรทัศน์สี โดยวิธี sequential transmitting system ซึ่งเป็นวิธีการในทางทฤษฎี สำหรับการส่งและการรับโทรทัศน์สีในทางปฏิบัติ เครื่องส่งโทร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทัศน์สีและเครื่องรับโทรทัศน์สี จะต้องมีวงจรพิเศษเพื่อทำการส่งสัญญาณโทรทัศน์ขาวดำหรือสัญญาณส่องสว่าง (luminace signal) ปะปนกันไปกับสัญญาณโทรทัศน์ที่ให้ภาพสี (chrominace signal) ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 แผนผังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.6ก. เป็นแผนผังในด้านการส่งโทรทัศน์สี โดยกล้องโทรทัศน์สีที่ใช้ในห้องส่งโทรทัศน์ จะมีเลนส์กระจก dichroic ทำการแยกภาพสีให้ปรากฏออกมาในรูปของสัญญาณสีแดง แสงสีเขียว แสงสีน้ำเงิน แสงสีทั้งสามนี้ จะส่งผ่าน color coder ซึ่งจะช่วยทำให้เกิดสัญญาณโทรทัศน์ที่ให้ภาพสี (chrominace signal) ปะปนกับสัญญาณขาวดำ หรือสัญญาณส่องสว่าง (luminace signal) เป็นสัญญาณภาพร่วม ตามแต่ระบบของโทรทัศน์สีที่ใช้ เมื่อได้เติมสัญญาณซิงค์ เพื่อส่งสัญญาณภาพสีไปในจังหวะสัญญาณที่เหมาะสมแล้ว สัญญาณภาพรวมก็จะส่งผ่านวงจรขยายกำลังสัญญาณภาพ (video amplifier) และผ่านวงจรต่าง ๆ ในเครื่องส่งโทรทัศน์ด้านภาพ ซึ่งเมื่อได้นำมารวมกับสัญญาณเสียงที่ผ่านเครื่องส่งโทรทัศน์ด้านเสียงแล้ว ก็จะกลายเป็นสัญญาณโทรทัศน์ที่พร้อมจะนำออกอากาศ สายอากาศของเครื่องรับโทรทัศน์ สีก็จะรับเอาสัญญาณโทรทัศน์สีที่ส่งมาทางนี้ มาทำให้เกิดเสียงและภาพสีทางเครื่องรับโทรทัศน์สีต่อไป แผนผังในรูปที่ 2.6 ข.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

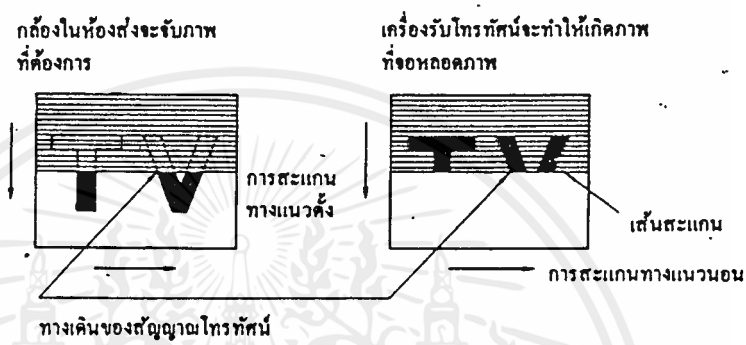


รูปที่ 2.6 ระบบการส่งและการรับโทรทัศน์สี

เป็นแผนผังในด้านของการรับโทรทัศน์สี สัญญาณโทรทัศน์สีที่สายอากาศโทรทัศน์สีรับได้ ก็จะผ่านวงจรส่วนหน้า (tuner or fornt end) ซึ่งจะแยกสัญญาณเสียงออกจากสัญญาณภาพรวม เพื่อทำให้เกิดเสียงที่ลำโพงเครื่องรับโทรทัศน์สีสำหรับสัญญาณภาพรวม ก็จะแยกออกเป็นส่วนของสัญญาณโทรทัศฯขาวดำหรือสัญญาณส่องสว่าง (luminace signal) และสัญญาณโทรทัศน์ที่ให้ภาพสี (chrominace signal) สัญญาณโทรทัศน์ส่วนที่เป็นภาพสี จะผ่านวงจรผลิตสัญญาณภาพสี (color regenerating circuit) เพื่อแยกออกเป็นสัญญาณแสงสีแดง แสงสีเขียว แสงสีน้ำเงิน เพื่อส่งต่อไปให้แก่คาโทดของหลอดภาพโทรทัศน์สี ส่วนสัญญาณโทรทัศน์ขาวดำหรือสัญญาณส่องสว่างนั้น ก็จะผ่านวงจรต่าง ๆ ที่เคยพบเห็นมาแล้ว ในโทรทัศน์ขาวดำส่วนประกอบต่าง ๆ ของวงจรเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โทรทัศน์สีเหล่านี้ จะช่วยทำให้เกิดเป็นภาพสีขึ้น ที่จอหลอดภาพของเครื่องรับโทรทัศน์สีตามที่ต้องการ การส่งภาพสีนั้น ก็มีวิธีการเช่นเดียวกับการส่งภาพขาวดำ กล่าวคือ กล้องในห้องส่งโทรทัศน์จะต้องมีการ scan ภาพที่ต้องการส่งไปทีละเส้นทีละภาพ โดยจะต้องใช้สัญญาณซิงค์ เพื่อทำให้การ scan ทางจอหลอดภาพของเครื่องรับโทรทัศน์สี เป็นไปในจังหวะเดียวกัน ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 หลักการส่งและหลักการรับภาพทางโทรทัศน์

ในการปฏิบัติ คลื่นโทรทัศน์ที่นิยมส่งออกอากาศโดยทั่วไปนั้น มีอยู่ 2 แบบ คือ

ก. คลื่นโทรทัศน์ในระนาบแนวนอน (horizontally polarized plane wave) ซึ่งมีแนวคลื่นในระนาบกับพื้นดิน โดยจะต้องตั้งแผงสายอากาศทางด้านการส่งโทรทัศน์และด้านการรับโทรทัศน์ให้อยู่ในระนาบแนวนอน (horizontal plane) รูปที่ 2.8 ก. แสดงให้เห็นวิธีการวางแผนสายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ในแนวนอน เพื่อรับโทรทัศน์ซึ่งส่งออกอากาศในลักษณะของคลื่นในระนาบแนวนอน

ข. คลื่นโทรทัศน์ในระนาบแนวตั้ง (vertically polarized plane wave) ซึ่งมีแนวคลื่นในระนาบที่ตั้งฉากกับพื้น โดยจะต้องตั้งฉากแผงสายอากาศทางด้านการส่งดทรทัศน์ และทางด้านการรับโทรทัศน์ให้อยู่ในระนาบแนวตั้ง (vertical plane) รูปที่ 2.8 ข. แสดงให้เห็นถึงวิธีการวางสายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ในระนาบแนวตั้ง เพื่อรับโทรทัศน์ออกอากาศในลักษณะของคลื่นในระนาบแนวตั้ง เป็นที่น่าสังเกตุว่า ถ้าหากสายอากาศทางด้านการส่งโทรทัศน์ ได้ส่วคลื่นโทรทัศน์ออกอากาศเป็นคลื่นในระนาบแนวนอน (horizontally polarized plane wave) แล้วสายอากาศของเครื่องรับโทรทัศน์จะตั้งวางอยู่ในระนาบแนวนอน (horizontal plane) ด้วยจึงจะสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หากสายอากาศโทรทัศน์วางอยู่ในระนาบแนวตั้ง (vertically polarized plane wave) แล้วสายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ก็จะต้องวางอยู่ในแนวตั้ง (vertical plane) ด้วยจึงจะสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ดี หากสายอากาศของเครื่องรับโทรทัศน์ วางอยู่ในระนาบแนวนอนแล้ว สายอากาศของเครื่องรับโทรทัศน์จะไม่สามารถทำให้เกิดการเหนี่ยวนำที่ดีพอ และจะทำให้การรับสัญญาณไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร

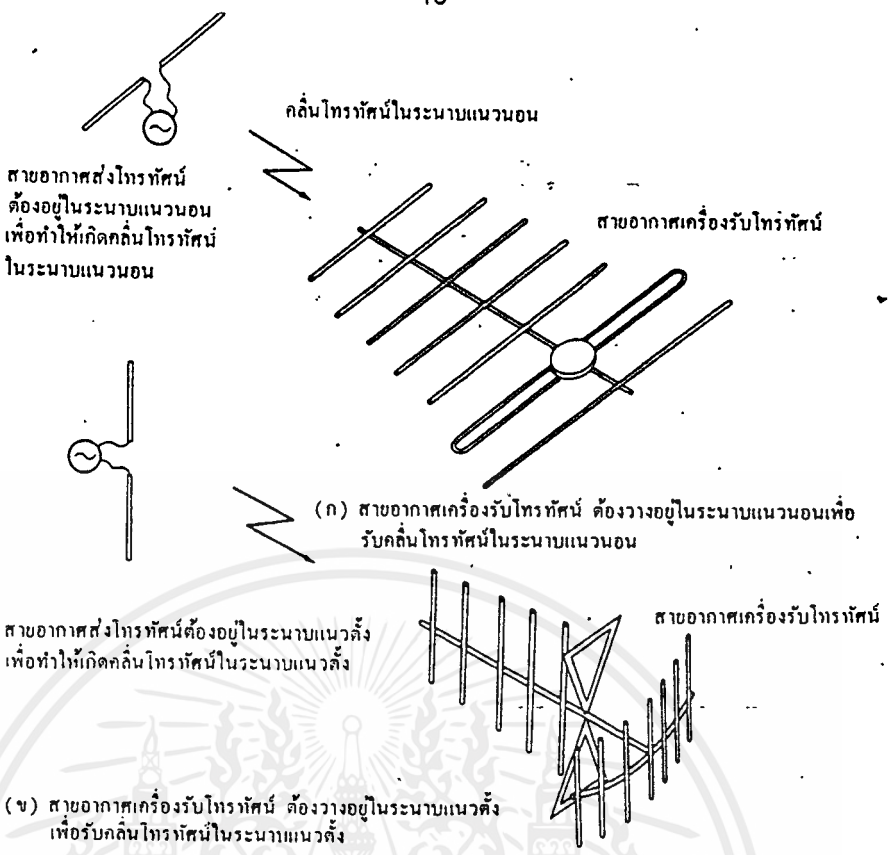
คลื่นโทรทัศน์ที่ส่งออกอากาศจากสถานีส่งโทรทัศน์จะเดินทางไปในลักษณะแนวทางของเส้นตรงที่อยู่ระหว่างสายอากาศเครื่องส่งโทรทัศน์ กับสายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ หากเส้นทางระหว่างจุดทั้งสองนี้ปลอดโปร่ง ก็จะสามารถรับสัญญาณโทรทัศน์ได้ดี แต่ถ้ามีสิ่งกีดขวาง เช่น มีตึกสูง ๆ หรือมีภูเขา มาบังเส้นทางระหว่างสายอากาศเครื่องส่งโทรทัศน์กับสายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ ก็จะทำให้สัญญาณโทรทัศน์เดินทางไปได้น้อยมากหรือไม่ได้เลย อันจะเป็นผลทำให้ไม่สามารถรับโทรทัศได้ หรือหากสามารถรับโทรทัศน์ได้ ก็จะพบว่า สัญญาณโทรทัศน์อ่อนกำลังมาก หรือมีภาพจางและการรบกวนภาพไม่น่าดู นอกจากนั้น คลื่นโทรทัศน์ยังสามารถและซ้อนได้จากสิ่งกีดขวาง เช่น ตึกสูง ๆ หรือ ภูเขา อีกด้วย ฉะนั้น การรับชมโทรทัศน์บางแห่ง อาจพบว่ามีทั้งคลื่นโทรทัศน์ที่เดินทางเป็นเส้นตรงจากสายอากาศเครื่องส่งโทรทัศน์กับคลื่นโทรทัศน์ที่สะท้อนมาจากสิ่งกีดขวางแห่งหนึ่งซึ่งจะต้องการระยะเวลาในการเดินทางจากสายอากาศเครื่องส่งโทรทัศน์มายังเสายอากาศครื่องรับโทรทัศน์แตกต่างกัน จึงทำให้มองเห็นเป็นภาพที่มีเงาในจอภาพของเครื่องรัลโทรทัศน์ รูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นลักษณะที่ได้อธิบายมานี้ โดยรูปที่ 2.9 ก. คลื่นโดทรทัศน์จะเดินทางเป็นเส้นตรง เมื่อมีสิ่งกีดขวางคลื่นโทรทัศน์ก็จะทำให้เครื่องรับโทรทัศน์ที่อยู่อีกด้านหนึ่งของสิ่งกีดขวาง รับชมโทรทัศน์ไม่ค่อยได้ ส่วนรูปที่ 2.9 ข. แสดงให้เห็นว่า เครื่องรับโทรทัศน์บางแห่ง อาจสามารถรับคลื่นโทรทัศน์ได้หลายทาง เช่น สามารถรับคลื่นโทรทัศน์ที่เดินทางเป็นเส้นตรงจากสายอากาศ เครื่องรับส่งโทรทัศน์มายังสายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ และสามารถรับคลื่นโทรทัศน์ที่สะท้อนจากสิ่งกีดขวางอื่น ๆ ซึ่งใช้เวลาในการเดินทางจากสายอากาศมายังเครื่องส่งโทรทัศน์มายังสายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์แตกต่างกัน ซึ่งผลก็ปรากฏว่า ทำให้เกิดภาพซ้อนกันอยู่ ซึ่งเป็นภาพที่ไม่น่าดูก็จะทำให้สัญญาณโทรทัศน์เดินทางไปได้น้อยมากหรือไม่ได้เลย อันจะเป็นผลทำให้ไม่สามารถรับโทรทัศน์ได้หรือหากสามารถรับโทรทัศน์ได้ ก็จะพบว่า สัญญาณโทรทัศน์อ่อนกำลังมาก หรือมีภาพจางและการรบกวนภาพไม่น่าดู นอกจากนั้น คลื่นโทรทัศน์ยังสามารถสะท้อนได้จากสิ่งกีดขวาง เช่น ตึกสูงๆ หรือภูเขา ฉะนั้น การรับชมโทรทัศน์บางแห่ง อาจพบว่า มีทั้งคลื่นโทรทัศน์ที่เดินทางเป็นเส้นตรงจากสายอากาศเครื่องโทรทัศน์มายังสายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์แตกต่างกัน จึงทำให้มองเห็นเป็นภาพที่มีเงาในจอหลอดภาพของเครื่องรับโทรทัศน์ รูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นในลักษณะที่อธิบายมานี้ โดยรูปที่ 2.9 ก. คลื่นโทรทัศน์จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

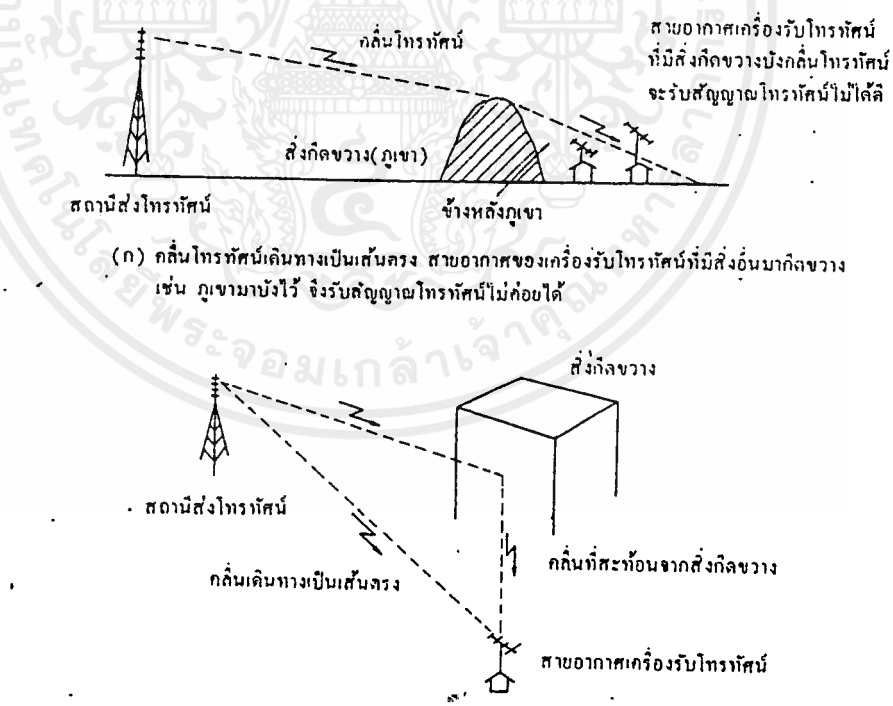
เดินทางเป็นเส้นตรง เมื่อมีสิ่งกีดขวางจะรับชมโทรทัศน์ไม่ค่อยได้ ส่วนรูปที่ 2.9 ข. แสดงให้เห็นว่าเครื่องรับโทรทัศน์บางแห่ง อาจสามารถรับคลื่นโทรทัศน์มายังสายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ และสามารถรับคลื่นโทรทัศน์จากสิ่งกีดขวางอื่นๆ ซึ่งใช้เวลาในการเดินทางจากสายอากาศเครื่องส่งโทรทัศน์ มายังสายอากาศเครื่องรับโทรทัศน์แตกต่างกัน ซึ่งผลก็ปรากฏว่า ทำให้เกิดภาพซ้อนกันอยู่ซึ่งเป็นภาพที่ไม่น่าดู

คลื่นโทรทัศน์ที่ส่งออกอากาศเหล่านี้ หากเลือกใช้ความถี่คลื่นพาห์ของภาพในย่าน V.H.F (very high frequency) จะมีขอบเขตความถี่ระหว่าง 47 MHz ไปจนถึง 68 Mhz ซึ่งเรียกว่า V.H.F ด้านต่ำ (low - band V.H.F) กับความถี่ 174 Mhz ไปจนถึง 230 Mhz ซึ่งเรียกว่า V.H.F ย่านความถี่สูง (high - band V.H.F) หากคลื่นพาห์ของภาพมีความถี่ในย่าน U.H.F (ultra high frequency) ย่านการส่งโทรทัศน์ก็จะมีขอบเขตของความถี่ระหว่าง 590 Mhz จนถึงประมาณ 770 Mhz ความสูงของเสาอากาศและจุดที่ตั้งของเครื่องรับโทรทัศน์ที่ใช้กับคลื่นโทรทัศน์ ซึ่งมีคลื่นพาห์ของภาพอยู่ในย่าน U.H.F จะมีความสำคัญมาก รูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นความแตกต่างของการรับสัญญาณโทรทัศน์ที่ใช้คลื่นพาห์ของภาพ ในความถี่ย่าน U.H.F กับคลื่นพาห์ของภาพในความถี่ย่าน V.H.F โดยรูปที่ 2.10 ก. เป็นรูปที่แสดงให้เห็นว่าสัญญาณโทรทัศน์ที่เครื่องรับโทรทัศน์ จะขึ้นอยู่กับความสูงของเสาอากาศเครื่องรับโดยตรง หากคลื่นโทรทัศน์นั้นมีคลื่นพาห์ของภาพอยู่ในย่านความถี่ U.H.F หากคลื่นพาห์ของภาพมีความถี่อยู่ในย่าน V.H.F ความแรงของสัญญาณโทรทัศน์ ก็จะขึ้นอยู่กับความสูงของเสาอากาศเครื่องรับโทรทัศน์เหมือนกัน แต่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากเกินไป ถ้าหากเสาอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ มีความสูงขนาดหนึ่งรูปที่ 2.10 ข. แสดงให้เห็นว่าความแรงของสัญญาณโทรทัศน์ในความถี่ย่าน U.H.F จะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งที่ของเสาอากาศเครื่องรับโทรทัศน์ ซึ่งหากเป็นโทรทัศน์คลื่นพาห์ของภาพในย่านความถี่ V.H.F แล้วเรื่องเช่นนี้ก็จะไม่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

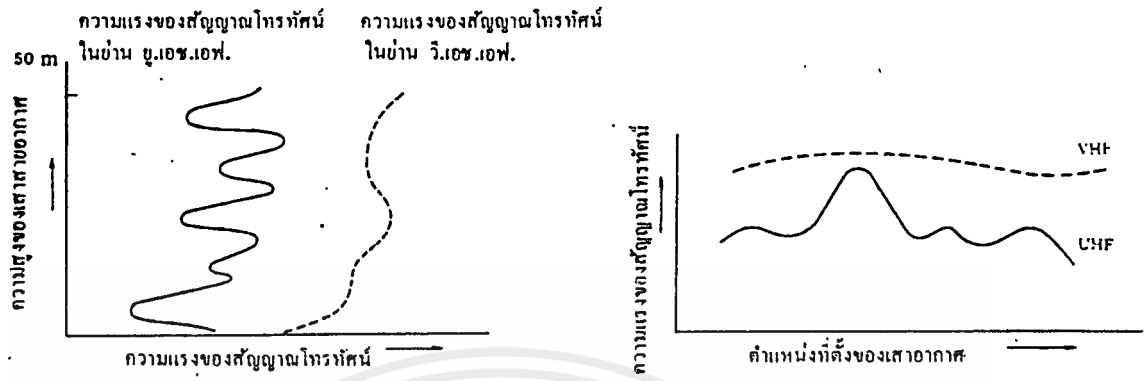


รูปที่ 2.8 คลื่นโทรทัศน์ในแนวตั้งกับโทรทัศน์ในแนวนอน



รูปที่ 2.9 การเดินทางของคลื่นโทรทัศน์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) สำหรับโทรทัศน์ในย่านยู.เอช.เอฟ. ความแรงของสัญญาณโทรทัศน์จะขึ้นอยู่กับความสูงของเสาสายอากาศ ส่วนโทรทัศน์ในย่านวี.เอช.เอฟ.ความแรงของสัญญาณโทรทัศน์จะขึ้นอยู่กับความสูงของเสาสายอากาศเหมือนกัน แต่จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงมาก

(ข) ความแรงของสัญญาณโทรทัศน์ในย่านยู.เอช.เอฟ. จะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งที่ตั้งของเสาอากาศ ซึ่งเรื่องเช่นนี้จะเกิดขึ้นน้อยมากสำหรับความถี่ในย่านวี.เอช.เอฟ.

รูปที่ 2.10 ความแตกต่างของคลื่นโทรทัศน์ในย่าน V.H.F
กับคลื่นโทรทัศน์ในย่าน U.H.F

2.3 มาตราฐานการส่งโทรทัศน์สี

คณะกรรมการที่ปรึกษาทางวิทยุระหว่างประเทศ ได้จัดตั้งคณะทำงานขึ้นมาศึกษาเรื่องราวด้านเทคนิคของโทรทัศน์สีที่มีใช้กันอยู่ในประเทศต่าง ๆ คณะทำงานชุดนี้ได้จัดทำเอกสาร CCIR Report 407 - Characteristics of colour Television System ซึ่งเป็นเอกสารการประชุม CCIR Plenary Assembly ที่เมืองออสโล ในปี ค.ศ. 1966 เอกสารนี้ได้รวบรวมมาตราฐานทางเทคนิคของโทรทัศน์สี NTSC, PAL, SECAM III ที่ใช้อยู่ในประเทศต่าง ๆ ซึ่งมีอยู่ 3 มาตราฐานด้วยกัน คือ standard I, standard G, standard L ตามความต้องการในการใช้ความกว้างของช่องโทรทัศน์ ประเทศไทยได้ใช้โทรทัศน์สีระบบ PAL standard G

2.4 การผสมคลื่น

2.4.1 การมอดูเลททางแอมปลิจูด (Amplitude Modulation - AM)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

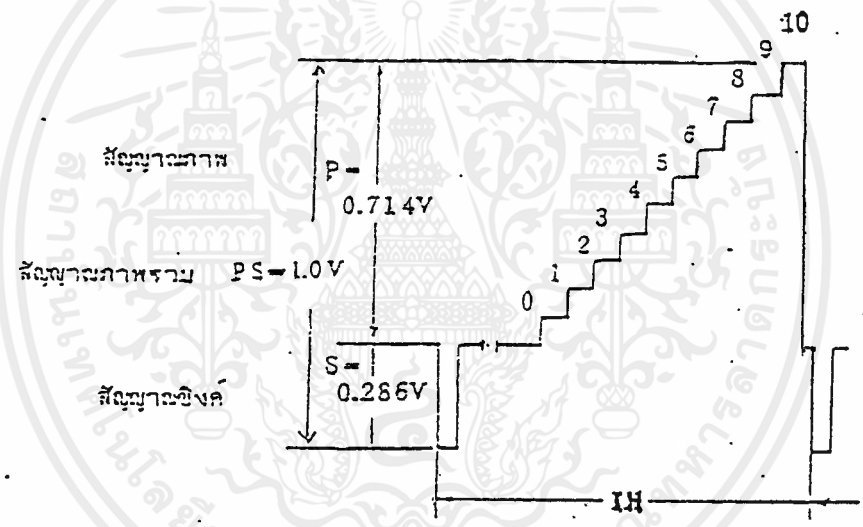
การผสมคลื่นภาพของโทรทัศน์ทุกระบบในปัจจุบันนี้ ใช้เป็นแบบ AM ด้วยกันทั้งสิ้น การผสมคลื่นภาพของโทรทัศน์มีท่วงทำนองอย่างเดียวกับการผสมคลื่นวิทยุ กล่าวคือจะต้องมี

ก. คลื่นวิทยุ (RF) หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า คลื่นพาห์ (Carrier wave)

ข. คลื่นภาพ (Video wave) หรือสัญญาณภาพ (Video signal)

ถ้าเปรียบเรื่องของวิทยุกับโทรทัศน์ คลื่นภาพ ก็ได้แก่ คลื่นเสียง ส่วนคลื่นวิทยุหรือคลื่นพาห์นั้นตรงกันอยู่แล้ว

หลักการผสมก็เหมือนกัน คือ เมื่อคลื่นภาพเข้าไปผสมกับคลื่นพาห์ ทำให้แอมปลิจูด (Amplitude) หรือส่วนสูงของคลื่นเปลี่ยนไป

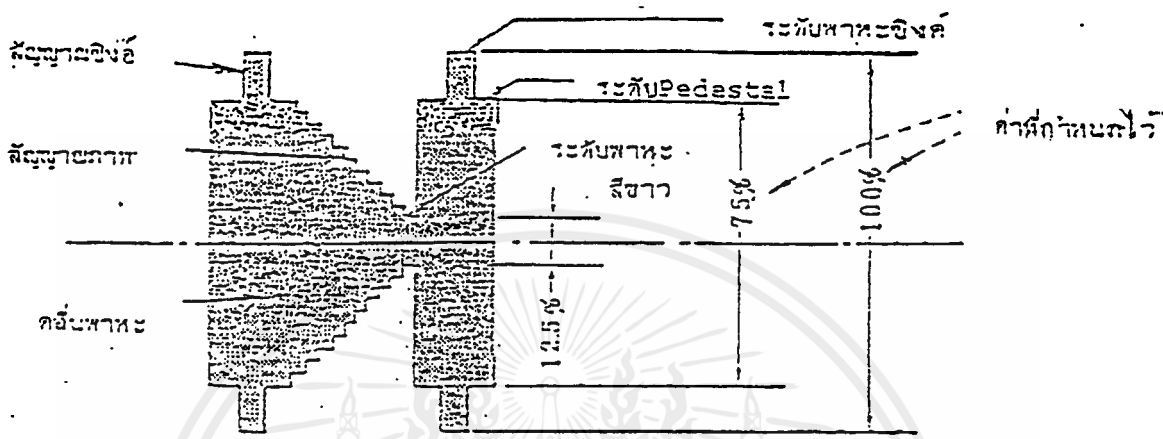


รูปที่ 2. 11 ระดับสัญญาณภาพ

สำหรับมาตราฐานของสัญญาณภาพแบ่งออกเป็นระดับตามรูปที่ 2. 11

สัญญาณภาพในโทรทัศน์ที่มอดูเลทแบบ AM แสดงไว้ในรูปที่ 2.12 ถ้าตั้งระดับคลื่นพาห์ซิงค์ เป็น 100% ดังนั้นระดับ Pedestal เท่ากับ 75% และระดับคลื่นพาห์สีขาวคือ 12.5 % ดังนั้น สัญญาณซิงค์จริง ๆ คือ 100% -75% = 25% และสัญญาณภาพเท่ากับ 75% - 12.5%=62.5%

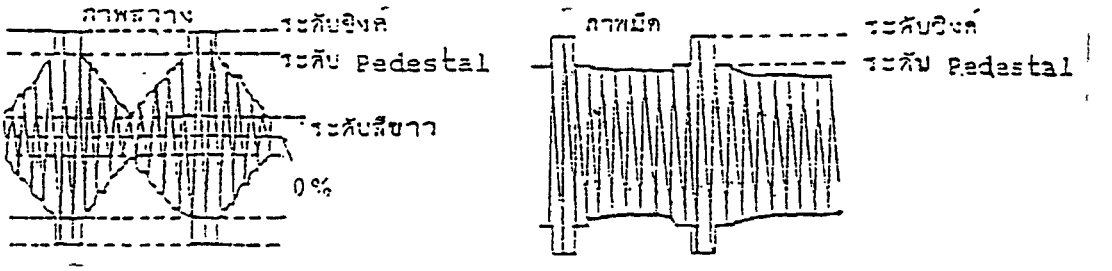
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 รูปคลื่นที่มอดูเลทแล้ว

ในการมอดูเลทสัญญาณภาพกับคลื่นพาห์นั้นมี 2 ชนิด คือ การมอดูเลททางบวก (Positive Modulation) และการมอดูเลทแบบลบ (Negative Modulation) ซึ่งสามารถเปรียบเทียบได้ดังนี้ คือ การมอดูเลทแบบบวกนั้น ถ้าระดับของสัญญาณขาว-ดำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a) การมอดูเลทแบบลบ

(b) การมอดูเลทแบบบวก

รูปที่ 2.13 การมอดูเลทแบบบวกและแบบลบ

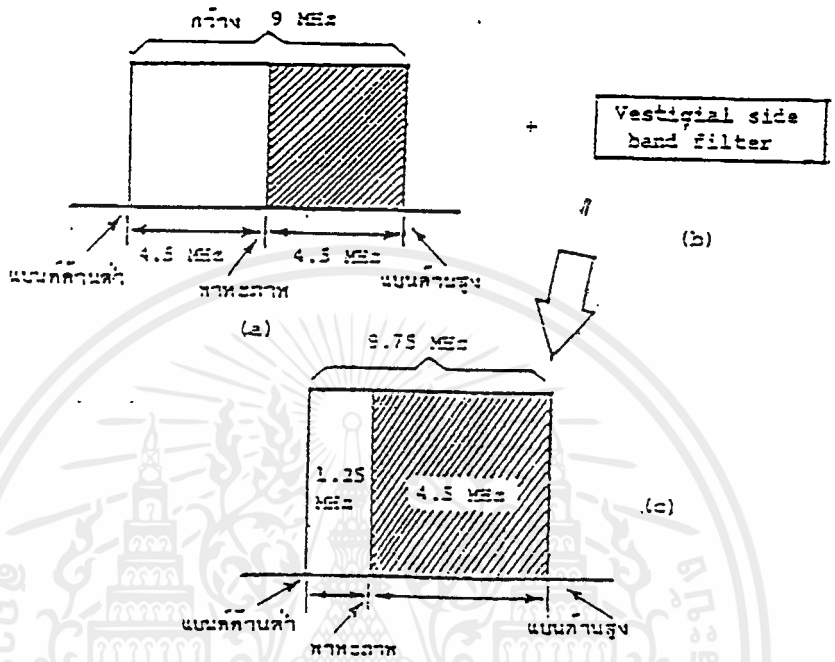
การมอดูเลทแบบบวกนั้น ถ้าระดับของสัญญาณขาว-ดำ เพิ่มขึ้น ระดับคลื่นพาห์ที่มอดูเลทแล้วจะเพิ่มขึ้นด้วย นอกจากนั้น ยังเกิดลักษณะที่ว่า เมื่อเกิดมีพัลส์รบกวนเข้ามาก็จะเกิดเป็นภาพรบกวนสีขาวเกิดขึ้นที่ภาพด้วย และในการสร้างโวลต์เตจ AGC สำหรับเครื่องรับก็จะลำบาก ในกรณีที่เป็นการมอดูเลทแบบลบนั้น ถ้าระดับของสัญญาณขาว-ดำ เพิ่มขึ้น ระดับคลื่นพาห์ที่มอดูเลทแล้วจะลดลง และลักษณะที่มีพัลส์รบกวนเข้ามาก็จะไม่ปรากฏที่ภาพอย่างเด่นชัด ทำให้ง่ายต่อการสร้างโวลต์เตจ AGC ให้กับเครื่องรับโทรทัศน์โดยการทำให้สัญญาณซิงค์มีความสูงคงที่

จากการเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของทั้งสองวิธีที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นได้ว่า การมอดูเลทแบบลบนั้นจะดีกว่า ดังนั้นระบบการส่งโทรทัศน์โดยทั่วๆ ไป จึงนิยมใช้วิธีการมอดูเลทแบบลบ สำหรับสัญญาณภาพที่มอดูเลทแบบ AM นั้นจะมีแบนด์ข้างเคียงเกิดขึ้น 2 ข้างของคลื่นพาห์ตามรูปที่ 2.14

ถ้าแบนด์ข้างเคียงคือ แบนด์ด้านต่ำและด้านสูงถูกส่งไปทั้งหมด ซึ่งเรียกว่า Double Sideband (DSB) นั้น จะทำให้ความถี่ต่อหนึ่งช่องกว้างถึง 9 Mhz แต่เนื่องจากความถี่สูงสุดในการมอดูเลทเพียง 4.18 Mhz เท่านั้นเอง ทำให้เกิดการสูญเสียช่องส่งไป แต่ถ้าเป็นการส่งแบบ Single

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

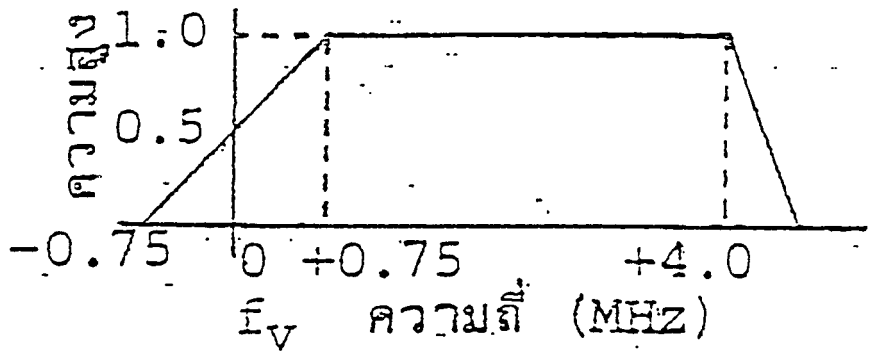
Sideband (SSB) ก็จะทำให้ช่วงกว้างความถี่ลดลงไปครึ่งหนึ่งซึ่งเป็นส่วนดี แต่จะทำให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณคลื่น ซึ่งเป็นไปไม่ได้ในทางปฏิบัติ



รูปที่ 2.14 ระบบการส่งแบบ VSB

ดังนั้นเพื่อเป็นการพบกันครึ่งทางระหว่างข้อดีและข้อเสียของวิธีทั้งสอง จึงใช้การส่งแบบ Vestigial (VSB) แทน ซึ่งทำให้เพิ่มชาองส่งโทรทัศน์ได้มากขึ้น แต่คุณสมบัติทางความกว้างแบนด์ IF เหมือนกับในรูปที่ 2.15 ซึ่งทำให้ความสูงของภาพลดลงครึ่งหนึ่งทันที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 IF ของเครื่องรับโทรทัศน์

2.4.2 การมอดูเลททางความถี่ (Frequency Modulation - FM)

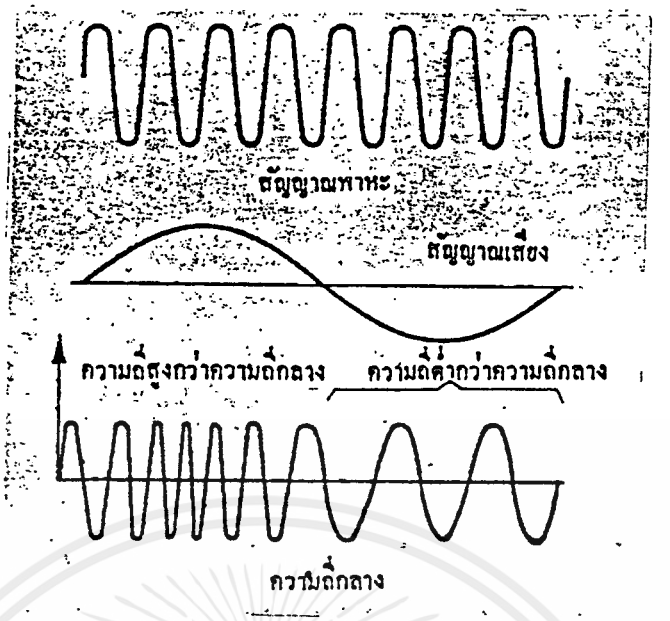
ในการมอดูเลททางความถี่ (FM) แอมปลิจูดของคลื่นพาห์จะไม่มีผลหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ความถี่ของคลื่นพาหะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยความถี่จะเกิดการเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามแอมปลิจูดของสัญญาณความถี่ที่เอามาผสม ความถี่ของคลื่นพาหะขณะที่ยังไม่มีการผสม เรียกว่า ความถี่กึ่กลาง (Center frequency)

เมื่อแอมปลิจูดของสัญญาณความถี่คลื่นเสียงมีขนาดเพิ่มขึ้น ทางบวกจะทำให้ความถี่ของคลื่นพาหะเพิ่มขึ้น และถ้าสัญญาณความถี่เสียงลดลง ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะลดลงจนกระทั่งสัญญาณความถี่เสียงลดลงถึงศูนย์ คงามถี่ของคลื่นพาหะก็จะเป็นความถี่กึ่งกลาง

ในทำนองเดียวกันเมื่อสัญญาณที่ต้องการผสมเป็นลบความถี่ของสัญญาณคลื่นพาหะก็จะลดลง และความถี่ของคลื่นพาหะจะมีค่าต่ำสุด เมื่อคลื่นความถี่เสียงมีค่าขนาดลดลงถึงจุดต่ำสุด ความถี่คลื่นพาหะจะเป็นคงามถี่กึ่งกลางอีกครั้งก็ต่อเมื่อ สัญญาณความถี่เสียงผ่านครึ่งไซเคิลลบไปถึงศูนย์

คงเห็นแล้วว่า ความถี่ของคลื่น FM จะเปลี่ยนแปลงไปโดยจะมีค่ามากกว่า หรือน้อยกว่าความถี่กึ่งกลาง ขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของแอมปลิจูดของสัญญาณความถี่เสียงความถี่ของสัญญาณ FM ที่แตกต่างจากความถี่กึ่งกลางมากที่สุด เรียกว่า ความถี่บ่ายเบนสูงสุดของคลื่นพาหะ (Maximum frequency deviative of carrier) โดยจะประกอบด้วยความถี่ที่บ่ายเบนไปจากความถี่กึ่งกลางลงไปทางน้อยกว่า หรือไปในทางบ่ายเบนจากความถี่กึ่งกลางไปทางมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
037104



รูปที่ 2.16 สัญญาณ FM

ตัวอย่างเช่น คลื่นสัญญาณเสียงที่ต้องการจะมอดูเลทกับคลื่นพาหะที่มีความถี่ 100 Mhz เมื่อมอดูเลทแล้วจะทำให้เกิดคลื่นสัญญาณ FM มีความถี่ทางต่ำสุดเท่ากับ 99.99 Mhz และจะมีความถี่ทางสูงสุดเท่ากับ 100.01 Mhz

ในทางตรงกันข้ามคลื่นสัญญาณแรง ๆ ที่เราต้องการนำมามอดูเลทกับคลื่นพาหะทีมีความถี่ 100 Mhz เท่าเดิม จะเป็นผลทำให้คลื่นความถี่ FM ที่เกิดขึ้นมีความถี่เบี่ยงเบนจาก 99.95 Mhz ถึง 100.05 Mhz ดังนั้นค่าความถี่เบี่ยงเบนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 50 Nhz ถึง -50 Mhz

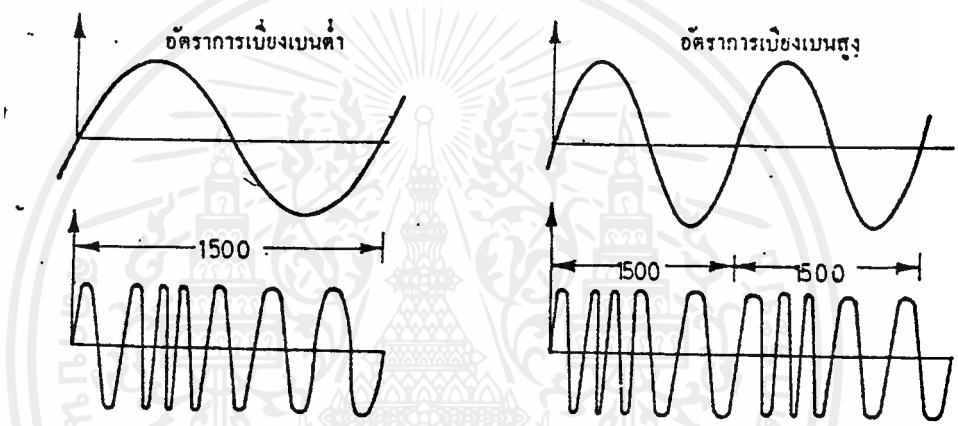
จะสังเกตุเห็นได้ว่า ความถี่เบี่ยงเบน จะเป็นตัวบอกแอมปลิจูดของสัญญาณที่เรานำมามอดดูเลท คือ ถ้ามีแอมปลิจูดมาก จะทำให้ค่าความถี่เบี่ยงเบนมีค่ามากด้วย

นอกจากนี้ สิ่งที่ควรทำความเข้าใจอีกประการ คือ ค่าอัตราการเบี่ยงเบนความถี่ค่าอัตราการเบี่ยงบนทางความถี่ (rate of frequency drviation) เป็นตัวบอกให้ทราบว่าการเปลี่ยนแปลงของความถี่ครบหนึ่งรอบรวดเร็วเพียงใด ทั้งนี้เพราะเมื่อสัญญาณความถี่เสียงเปลี่ยนแอมปลิจูดไปครบหนึ่งรอบ สัญญาณ FM ก็จะเปลี่ยนตามไปครบ 1 รอบ ด้วย ถ้าค่าอัตราการเบี่ยงเบนสูง ก็แสดงว่า ความถี่ของสัญญาณเสียงสูง ดังนั้นค่าอัตราเบี่ยงเบน จึงขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณความถี่เสียง

เสียงที่เกิดจากคลื่น FM นั้นจะมีความดังหรือค่อย แปรผันตามค่าความถี่ของสัญญาณ FM ส่วนระดับเสียงสูงต่ำนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามอัตราเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณซึ่งอัตราการเบี่ยงเบนทางความถี่ของคลื่น FM จะแปรตามการเปลี่ยนแปลงของความถี่ของสัญญาณความถี่เสียงนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการสร้างคลื่น FM นั้นผลจะทำให้เกิดความถี่หลาย ความถี่เช่นเดียวกับเรื่องของสัญญาณ AM แต่ความแตกต่างระหว่างความถี่แถบขข้างของระบบ AM และ FM คือ ในระบบ AM จะมีความถี่แถบข้างเกิดขึ้นเพียง 2 ความถี่เท่านั้น ความถี่หนึ่งมีค่าเท่ากับผลบวกของความถี่พาหะกับความถี่ของสัญญาณเสียง และอีกความถี่หนึ่งจะมีค่าเท่ากับผลต่างของความถี่ทั้งสองส่วนในระบบ FM ความถี่แถบข้างจะเกิดขึ้นมากมายนอกเหนือไปจากที่มีในระบบ AM



รูปที่ 2.17 อัตราการเบี่ยงเบนความถี่ของสัญญาณ FM

ตัวอย่าง เช่น ถ้านำเอาสัญญาณพาหะที่มีความถี่ 1 KHz ไปมอดูเลทกับสัญญาณเสียงที่มีความถี่ 10 KHz จะได้ความถี่แถบขข้างเท่ากับ 1010 KHz และ 960 KHz นอกจากนี้ยังมีความถี่ 1020 KHz และ 980 KHz กับ 1040kHz และ 960 Khz และความถี่อื่น ๆ อีกมากมายที่ถูกสร้างขึ้น

2.5 การแมทชิ่งอิมพีแดนซ์ (Matching impedance)

ข้อสำคัญที่สุดในการต่อเชื่อมวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งรวมถึงวงจรทางวิทยุเข้าด้วยกัน คือ วงจรที่จะต่อเชื่อมเข้าด้วยกันจะเป็นวงจรทางเข้า หรือ อินพุท (input) หรือวงจรทางออกก็ตาม จะต้องมีค่าอิมพีแดนซ์ที่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้การทำงานของวงจรทั้งหมดมีประสิทธิภาพมากที่สุด คือ สามารถให้กำลังไฟฟ้าออกมาได้มากที่สุด ศัพท์ทางเทคนิคที่ใช้กันทั่วไปเรียกว่า แมตช์ (Match) กันพอดี หากค่าอิมพีแดนซ์ของวงจรที่นำมาเชื่อมต่อไม่เท่ากันซึ่งเรียกว่า ไม่แมตช์ (Mismatch)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้การทำงานของวงจรทั้งหมดด้อยประสิทธิภาพลงไป ซึ่งสามารถพิสูจน์ได้จากตัวอย่างการคำนวณข้างล่างนี้

สมมติว่ามีวงจรดังรูปที่ 2.18 โดยค่า R = 1 โอห์ม แล้วทำการปรับค่า R_L โดยกำหนดค่า V ให้คงที่ จะได้ค่ากำลังงานที่ตกคร่อม Load R_L ตามกราฟรูปที่ 2.12 โดยใช้สูตรการ

คำนวณคือ $P = V^2 / R$

หาค่า $V_L = [R_L / (R + R_L)] * V_s$

$R = R_L$

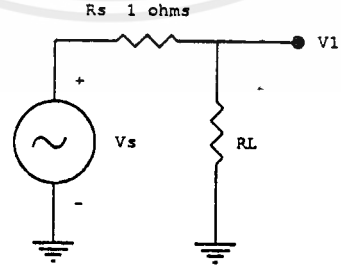
จากสมการ จะได้ค่า

$$P_L = [(R_L / R) \times [R+R_L] \times V^2] / 1$$

ถ้าให้ค่าของ V = 1 จะได้

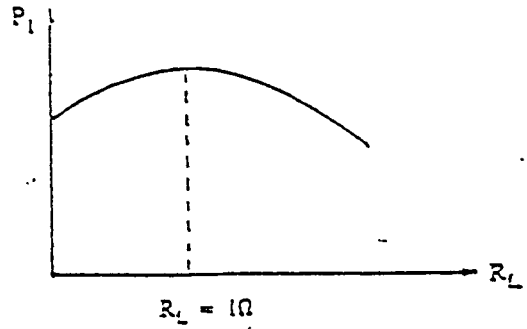
$$P_L = (R_L / R)^2 / R_L \qquad (1)$$

จากสมการที่ (1) ทำการ plot กราฟรูปที่ 2.19 จะเห็นว่าค่า P_L จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ R_L มีค่าเท่ากับ 1 นั่นคือ ต้องเท่ากับ R จึงจะได้ค่ามากที่สุด



รูปที่ 2.18 แสดงวงจรในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

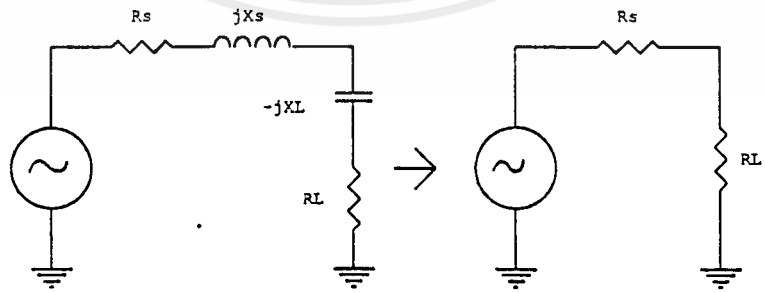


รูปที่ 2.19 กราฟแสดงค่ากำลังงาน P_L ที่ตกคร่อมโหลดแต่ละค่าจะได้ค่ามากที่สุด เมื่อ R_L = 1 โอห์ม

จากคำกล่าวข้างต้น เป็นเพียงการอธิบายแบบใช้กระแสตรงเท่านั้น แต่ในทางปฏิบัติจริง ๆ แล้ว ต้องทำการวิเคราะห์ด้วยกระแสสลับ ความต้านทานค่าต่าง ๆ ต้องใช้ค่าอิมพีแดนซ์แทนค่า เช่น ค่าอิมพีแดนซ์ของแหล่งจ่ายสัญญาณก็ใช้เป็น Z ซึ่งมีค่าเท่ากับ R + jx และ R - jx เป็นต้น ในการแมตซ์อิมพีแดนซ์ค่าพวกนี้ต้องดูว่าค่านั้น ๆ เป็นบวกหรือลบ เช่น ค่า Z ที่เกิดจากอินดัคแตนซ์จะมีค่าเป็น + j x ต้องใช้ค่า - j x เป็นตัวแมทซ์ เพื่อให้หักล้างค่ากันไป เราเรียกวิธีนี้ว่า การใช้คอมเพล็กคอนจูเกต (Complex conjugate)

2.5.1 การแมทชิ่งรูปตัวแอล (L Network)

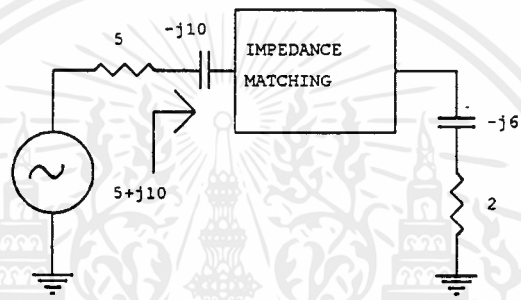
วงจรรูปตัวแอลทั่ว ๆ ไป สามารถเขียนให้เป็นวงจรที่ทำการแมทแล้ว ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงวงจรการแมทของ Z และ Z_L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.20 จะเห็นว่าการใช้ L หรือ C เพื่อช่วยในการแมทอิมพีแดนซ์ สามารถทำได้เมื่อเราทราบค่าอีกค่าหนึ่งว่าเป็น L หรือ C ถ้าเป็น C ก็จะต่อโหลดที่มีค่า L เข้าไปเพื่อแก้ค่ารีแอคทีฟอิมพีแดนซ์ (j X) ให้หายไปจึงเสมือนเหลือแต่ค่า R เท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามค่าของโหลดอิมพีแดนซ์ และซอสอินมพีแดนซ์ ถ้าไม่สามารถที่จะเลือกค่าได้ตามต้องการ ก็จำเป็นที่จะต้องใส่วงจรแมทชิ่งอิมพีแดนซ์เข้าไปเพื่อให้ค่า Z และ Z_L มีการแมทชิ่งที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ดังวงจรรูปที่ 2.21

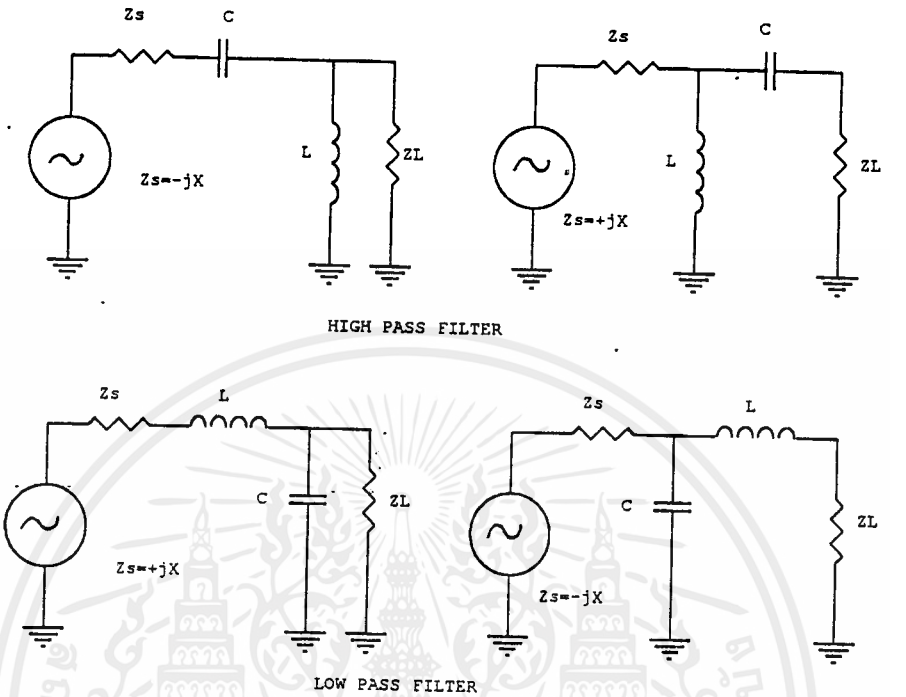


รูปที่ 2.21 แสดงการใช้วงจรอิมพีแดนซ์แมทชิ่ง เมื่อค่า Z และ Z_L ถูกกำหนดมาแล้ว

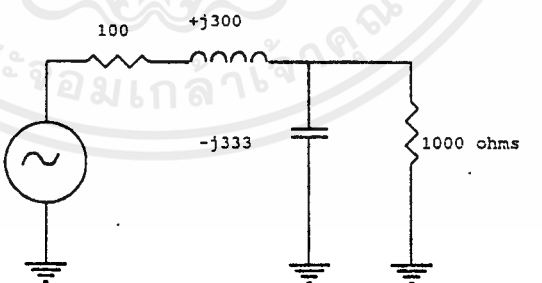
จากวงจรที่ 2.21 ค่าของ Z และ Z_L ปรากฏค่าเป็น -j X ทั้งคู่ ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องใส่วงจรแมทชิ่งอิมพีแดนซ์เข้าไป โดยให้มีคุณสมบัติ เมื่อมองเข้ามาทางด้านเข้า input จะเห็นค่าเป็น5+j10 เพื่อให้แมทกับ Z นั่นเอง ในขณะเดียวกันทาออก output ก็จะทำตัวเป็นค่า Z ตัวใหม่ที่มีค่า 2+j6 เพื่อให้แมทกัน ในบางครั้งจำเป็นที่จะต้องใช้วงจรกรองความถี่เข้ามาช่วย เพื่อให้ได้คุณสมบัติรวมตามต้องการ ดังนั้นจึงมีการออกแบบวงจรกรองความถี่สูงและต่ำรูปตัวแอลเพื่อช่วยในการแมทชิ่ง ดังรูปที่ 2.22

บางครั้งในการแมทชิ่งบางวงจร จะมีความยากมาก เพราะค่าต่าง ๆ ของโหลดและซอสอิมพีแดนซ์มีค่าไม่เท่ากันเลยจึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาอย่างดี เช่น วงจรรูปที่ 2.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 แสดงวงจรแมทชิ่งที่เป็นวงจรความถี่สูงและต่ำ



รูปที่ 2.23 แสดงวงจรแมทเมื่อโหลดมีค่าไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.23 เมื่อมองค่าอิมพีแดนซ์จากเครื่องจ่ายสัญญาณจะมีค่าอิมพีแดนซ์ 100 โอห์ม แต่ถ้ามองจากโหลดเข้ามาจะมีค่าอิมพีแดนซ์ 1000 โอห์ม ในการวิเคราะห์การแมทนี้ ดูได้จากสมการข้างล่างนี้

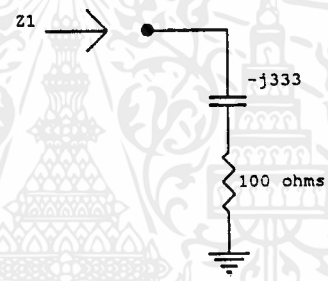
$$Z_L = (Xcx R_L) / (X_c + R_L)$$

$$= [-j333 \times 1000] / [-j333 + 1000]$$

$$= 315 / -71.53$$

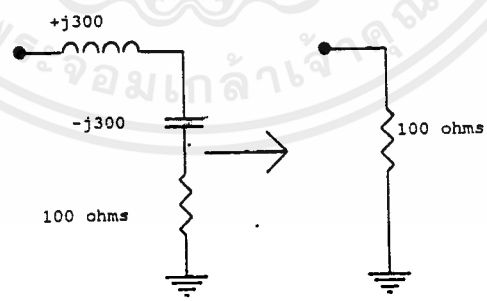
$$= 100 - j\ 300 \quad \text{โอห์ม}$$

ดังนั้นจึงสามารถเขียนวงจรได้ใหม่เมื่อมองไปยังโหลดได้ดังรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงวงจรเมื่อมองมาทางด้านโหลด

ในทำนองเดียวกัน เมื่อมองจากโหลดไปยังซอสจะเห็นค่าอิมพีแดนซ์ ดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แสดงวงจรเมื่อมองมาทางด้านซอส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ได้ทำ การออกแบบวงจรแมทชิ่งอิมพีแดนซ์แล้วก็สามารถหาค่า Q ของวงจรได้ คือ

$$Q = \frac{X}{R}$$

$$Q = \frac{R}{X}$$

Q = Q ที่ขั้วนุกรม และที่ขั้วขนาน

R = ความต้านทาน

X = รีแอคแตนที่ขนาน

2.5.2 การใช้งานวงจรแมทชิ่งแบบอุปกรณ์ 3 ตัว หรือเรียกว่าแบบพาย

ในหัวก่อนได้กล่าวถึงการแมท โดยใช้อุปกรณ์ L , C 2 ตัวต่อกันเป็นรูปแอล (L) โดยวงจรรูปตัวแอลนี้ สามารถแมทวงจรที่เป็นรูปง่าย ๆ เช่น มีค่าอิมพีแดนซ์เป็นๆ R + j X หรือ R - j X เท่านั้น และในการใช้งานวงจรรูปตัวแอลก็ไม่สามารถควบคุมค่า Q ให้ได้ตามต้องการได้ เมื่อต้องการค่า Q สูง ๆเพื่อให้การใช้งานเป็น Bandwidth แคบ ๆ วงจรแบบใช้ 3 อิรีเมนท์จะสามารถช่วยแก้ปัญหาได้ดีขึ้น วงจรแบบใช้ 3 อิรีเมนท์ โดยเรียกว่าวงจรแบบพาย ในวงจรแบบนี้จะเปรียบเสมือนวงจรแบบแอล (L) สองวงจรต่อชนกัน ทำให้แมทได้ทั้งทางด้านอินพุทและเอาท์พุท

ในการออกแบบวงจรแมทชิ่งแบบพายนี้ สามารถคำนวณค่า Q ได้จาก

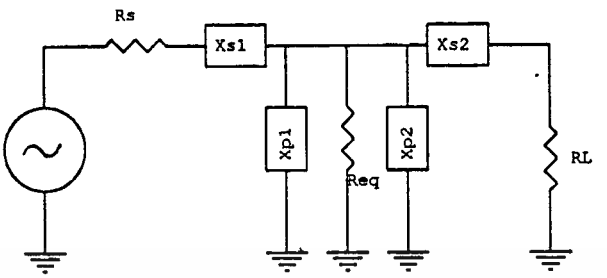
$$Q = \frac{R_M}{R} - 1$$

ค่าของ R_M = ค่า R หรือ R_L โดยคิดค่าของตัวที่มีค่ามากที่สุด

R = ค่าความต้านทานเสมือน

ถึงแม้ว่าค่าคำนวณจากสมการ จะมีค่าผิดพลาดบ้างก็สามารถใช้เป็นแนวทางในการคำนวณได้โดยในทางปฏิบัต จะใช้ค่าประมาณนี้พร้อมกับทำการปรับค่าให้ได้ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.26 แสดงตำแหน่งของค่าความต้านทานเสมือนที่เกิดขึ้นระหว่างวงจรแอล

การหาค่าความต้านทานเสมือน

$$R = R / (A^2 + 1)$$

$$X = \frac{R}{Q}$$

$$X = QxR_{series}$$

จากนั้นทำการหาค่า L และ C ในวงจรได้จาก

$$L = 2\pi fL$$

$$X_c = 1 / 2\pi fC$$

2.5.3 การใช้วงจรแมทชิ่งอิมพีแดนซ์รูปตัวที (T)

การออกแบบวงจรแมทชิ่งรูปตัวที T จะทำการคำนวณตามแบบวงจรรูปตัว π โดยคำนวณหาค่าวงจรรูปตัว L สองชุดที่หันหลังชนกันแล้วทำการลดรูปของวงจรลงเป็นแบบรูปตัวที (T)

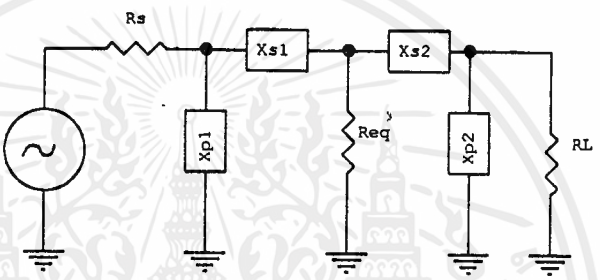
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังรูปที่ 2.21 วงจรรูปตัวทีนี้ ส่วนใหญ่จะใช้แมทระหว่างความต้านทาน R และ R_L ที่มีค่าความต้านทานค่าต่ำ ๆ และค่า Q ที่มีค่าปานกลางถึงสูง โดยค่า Q หาได้จาก

$$Q = R / (R_{ค่าต่ำ} - 1)$$

โดยที่ R = ค่าความต้านทานเสมือน

$R_{ค่าต่ำ}$ = ค่าความต้านทาน R และ R_L โดยเอาค่าต่ำสุด



รูปที่ 2.27 แสดงวงจรรูปตัว T ที่ใช้กับ R และ R_L โดยที่มีค่าต่ำ

จากรูปที่ 2.27 จะหาค่าต่าง ๆ ของวงจรได้ คือ

$$X_L = Q \times R$$

$$X_L = \frac{R}{Q}$$

หาค่า Q จากวงจรรูปตัวแอล L ทางด้านโหลดได้ คือ

$$Q = \frac{R}{R_L} - 1$$

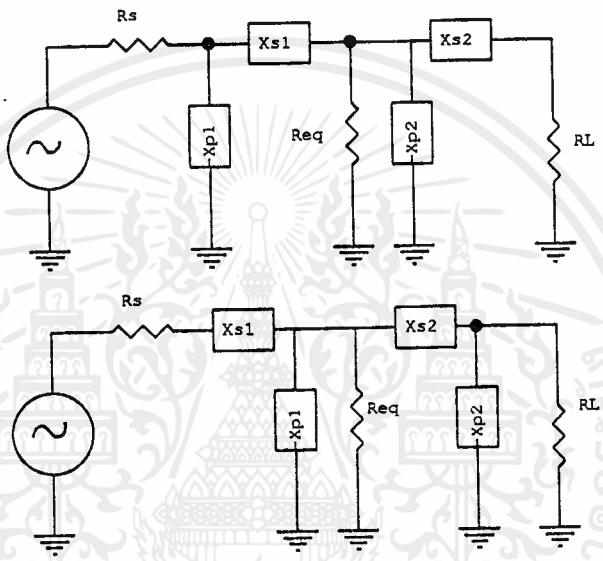
$$X_2 = \frac{R}{Q_2}$$

$$X_2 = Q_2 \times R_L$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 การออกแบบวงจรแมทชิ่งแบบค่า Q ต่ำ ผลตอบสนองความถี่กว้าง

ในการออกแบบวงจรแมทชิ่งในหัวข้อที่แล้ว เป็นการอกกแบบค่า Q สูง ๆ ทั้งนี้ค่า Q จะสูงโดยอัตโนมัติเมื่อใช้วงจรรูป L ค่า Q จะมีความสัมพันธ์กับค่าความต้านทานของโหลดโดยตรง แม้ว่าในวงจรแมทชิ่งรูปตัวที และ π จะสามารถออกแบบให้ค่า Q ก็ยังมีค่าสูงขึ้นอยู่ดี จึงทำให้ผลตอบสนองความถี่อยู่ในช่วงแคบ ๆ ในบางครั้งมีความจำเป็นต้องการวงจรแมทชิ่งที่ให้ผลตอบสนองมีความถี่กว้าง ๆ ในหัวข้อนี้จึงแสดงรูปแบบของวงจรนี้ตามรูปที่ 2.28 นี้ ลักษณะเป็นรูปตัว L เรียงกัน



รูปที่ 2.28 แสดงวงจรแบบ Q ต่ำ Bandwidth กว้าง

การหาค่า R เสมือน

$$R = R \times R_L$$

การหาค่า Q

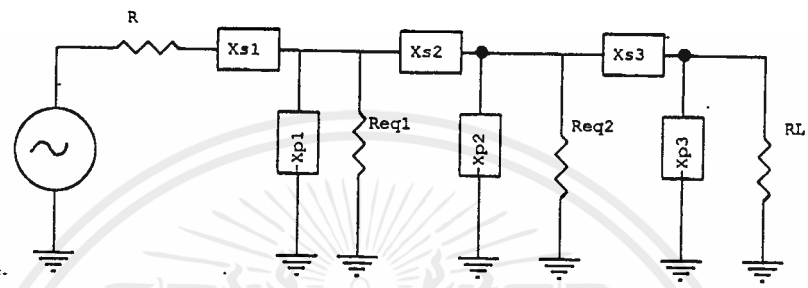
$$Q = (R / R_{ค่าต่ำ}) - 1$$

$$Q = (R_{ค่ามาก} / R) - 1$$

ถ้าทำการต่อวงจรหลายๆ ชุด (Casecade) จะได้ค่า R เสมือนตามสมการ และวงจรรูปที่ 2.29

$$R_1 / R_{ค่าต่ำ} = R_2 / R_L = R_3 / R_2 \ldots R_{ค่ามาก} / R$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 แสดงการต่อวงจรแบบค่า Q ต่ำ Bandwidth กว้างหลาย ๆ ชุดต่ออนุกรมกัน

2.5.5 การแมทชิ่งคอมเพล็กโหลด (complex load matching)

ในหัวข้อนี้เป็นการออกแบบวงจรแมทชิ่งที่ใช้กับวงจรที่เป็นคอมเพล็กโหลด ทั้งนี้รวมถึงการแมทอิมพีแดนซ์ของอินพุทและเอาท์พุทของวงจรทรานซิสเตอร์ สายส่งสัญญาณ วงจรรวมสัญญาณ วงจรสายอากาศ และวงจรต่าง ๆ ที่ใช้ทางโทรคมนาคม

ในการหาค่าของคอมเพล็กอิมพีแดนซ์ จะใช้หลัก 2 ประการ คือ

1. ใช้หลักการดูดซับพลังงาน (Absorption) เมื่อทดลองใช้วงจรแมทชิ่งเข้าไปแล้วป้อนสัญญาณด้วยอินพุท ถ้าวัดสัญญาณที่สะท้อนกลับมาไม่ได้ ก็แสดงว่าแมทกัน 100% คือ พลังงานถูกดูดซับหมด

2. ใช้การรีโซแนนซ์ เมื่อทราบว่าวงจรที่ต้องการแมทนี้ปรากฏค่าอินดัคทีฟ หรือคาปาซิตีฟ ก็ใช้คาปาซิสเตอร์ หรืออินดัคเตอร์ ต่อเข้าไปตามลำดับ แล้วทำการปรับค่าจนเกิดรีโซแนนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 สายอากาศ

การส่งข่าวหรือข้อความจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง อาจทำได้ 2 วิธีด้วยกัน คือ การส่งสัญญาณทางไฟฟ้าไปตามสายส่งวิธีหนึ่ง และการส่งโดยไม่ต้องใช้สายส่งวิธีหนึ่ง แต่ใช้สายอากาศกระจายคลื่นวิทยุ หรือที่เรียกกันว่า คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นอีกวิธีหนึ่ง เราอาจกล่าวได้ว่า สายอากาศ คือ ตัวเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากเครื่องส่งให้เป็นคลื่นวิทยุ (สายอากาศส่ง)หรือคือตัวเปลี่ยนคลื่นวิทยทยุ ใญญาณไฟฟ้าครื่องรับ (สายอากาศรับ)

ในระบบสื่อสารใด ๆ เราต้องการให้สัญญาณที่รับได้ปลายทางมีความแรงมาก ๆ อย่างที่สุดต้องมีความแรงพอที่จะเอาชนะสัญญาณรบกวนใด ๆ ได้ และอยู่ในเกณฑ์ที่ความไวของเครื่องรับจะทำงานได้ ความแรงของสัญญาณที่สถานีรับปลายทางจะมีค่าสูง หรือต่ำขึ้นอยู่กับตัวประกอบที่สำคัญ คือ ถ้าเป็นการส่งสัญญาณไปตามสายส่ง สัญญาณส่วนมากจะสูญเสียไปในรูปของความร้อนในสายส่ง เนื่องจากความต้านทานขของลวดที่ใช้ทำสายส่ง และเนื่องจากฉนวนที่นำมาทำสายส่งไม่ได้เป็นฉนวนที่ดีสมบูรณ์จริง สำหรับการสูญเสียของสัญญาณในกรณีที่เป็นคลื่นวิทยุกระจายออกจากสายอากาศนั้น ก็คล้ายคลึงกับ เรื่องของสายส่ง กล่าวคือ คลื่นวิทยุบางส่วนจะถูกลดทอนกำลังในตัวกลางที่คลื่นเดินทางผ่านไป

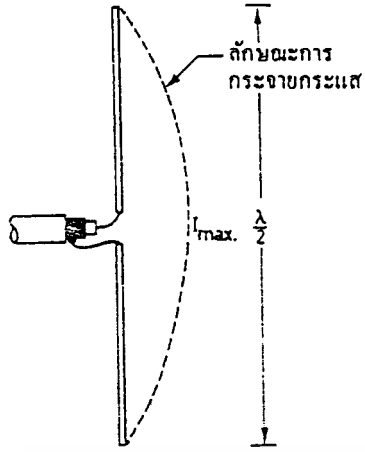
แม้ว่าการสูญเสียพลังงานคลื่นวิทยุที่กระจายออกจากสายอากาศจะคล้ายคลึงกับการสูญเสียในสายส่ง แต่ในเรื่องคลื่นจากสายอากาศยังมีการสูญเสียของสัญญาณอีกแบบหนึ่งซึ่งไม่มีในสายส่ง นั่นคือ การลดทอนความแรงของคลื่นวิทยุเนื่องจากการ " ถ่างออก " ของรังสีคลื่นวิทยุเนื่องมาจากโครงสร้างทางเรขาคณิตของคลื่นทำให้ความเข้มของกำลังงานของคลื่นที่แผ่กระจายออกจากสายอากาศแบบง่าย ๆ ที่แผ่คลื่นออกรอบ ๆ ทิศเป็นส่วนกลับกับกำลังสองของระยะทางนั่นหมายความว่าทุก ๆ ครั้งที่ระยะทางเพิ่มเป็น 2 เท่า ความเข้มของกำลังงานของคลื่นจะลดลง 4 เท่า

2.6.1 การเพิ่มความแรงของสัญญาณที่เครื่องรับวิทยุรับ

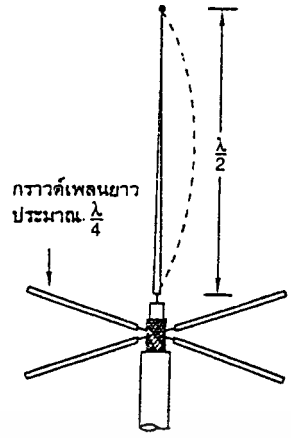
ความแรงของสัญญาณไฟฟ้าที่สายอากาศ แปลงมาจากคลื่นวิทยุที่รับได้ และป้อนเข้าเครื่องรับ อาจทำให้มีค่ามากขึ้นได้ 3 วิธี คือ

1. โดยการเพิ่มกำลังส่งของเครื่องส่ง
2. โดยการทวีกำลัง (เพิ่ม gain) ของสายอากาศส่งในทิศทางของเครื่องรับ
3. โดยการทวีกำลัง (เพิ่ม gain) ของสายอากาศรับในทิศทางขของเครื่องส่ง

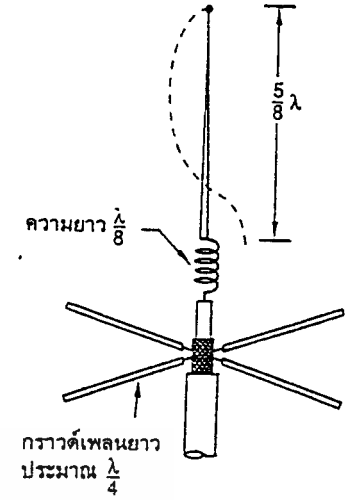
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



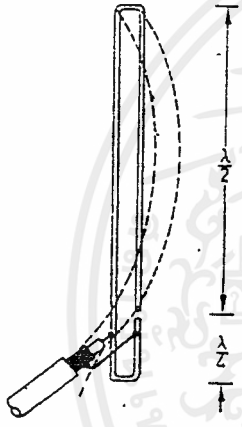
(ก) สายอากาศไดโพล $\frac{\lambda}{2}$ แบบป้อนสายเข้าตรงกลาง



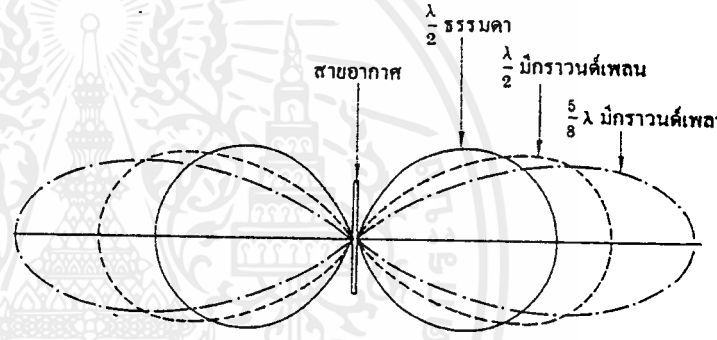
(ข) สายอากาศ $\frac{\lambda}{2}$ แบบมีกราวด์เพลน



(ค) สายอากาศ $\frac{5}{8}\lambda$ แบบมีกราวด์เพลน



(ง) สายอากาศ $\frac{3}{4}\lambda$ แบบสลิมจิม



(จ) แสดงการกระจายคลื่นในแนวดิ่งของ สายอากาศแบบต่าง ๆ

รูปที่ 2.30 แสดงตัวอย่างสายอากาศรอบตัวแบบที่ได้รับความนิยมทำกันมาก

2.6.2 คำแนะนำเกี่ยวกับสายอากาศ

เรื่องของสายอากาศนี้ จะไม่มีอะไรมากไปกว่า เรื่องแมทชิ่งอิมพีแดนซ์ และทิศทางการติดตั้งของอุปกรณ์ซึ่งจะเป็นสิ่งที่จะสร้างขึ้นมาง่าย ๆ จากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เดินทางผ่านเข้าไปในสายส่ง และการแพร่กระจายไปในสายอากาศ ซึ่งเกิดขึ้นของสัญญาณในอากาศนี้จะไม่ทำให้เกิดการ Radiate เพราะสายอากาศจะไม่มี Tranducer ไม่มีการเปลี่ยนพลังงานเกิดขึ้นในสถานที่ต่าง ๆ สำหรับตัวอย่างนี้คือ ลำโพง

สายอากาศที่ทำหน้าที่ทางด้านการส่ง จะไม่มีอะไรแตกต่างไปจากสายอากาศทางด้านรับในระดับของกำลังงาน อย่างไรก็ตามถ้าจะพูดถึงรูปลักษณะสัญญาณแล้ว ทางด้านสายส่งจะมีคุณสมบัติทางด้านทิศทาง และทางด้านรับสายอากาศจะมีคุณสมบัติเกี่ยวกับการเก็บรวบรวมคลื่น ซึ่งทั้งสองจะมีความสัมพันธ์ใกล้ชิดกันมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับคลื่นวิทยุ

การสื่อสารทางไกลอาจทำได้โดอาศันการกระจายคลื่นวิทยุนี้ได้มีการค้นพบทางทฤษฎีโดยเจมส์ เคลิด แม็กเวลล์ ในปี ค.ศ. 1864 และได้กล่าวว่าคลื่นวิทยุก็คือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีความเร็วการเดินทางเท่ากับความเร็วแสง คือ 300,000,000 เมตรฝวินาที ต่อมาในปี ค.ศ. 1887 เฮิรตซ์ได้ทำการทดลองและพิสูจน์ให้เห็นว่าคลื่นวิทยุมีจริง หลังจากนั้นก็ได้มีการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับคลื่นวิทยุและการกระจายคลื่นวิทยุ

คำจำกัดความ

จำนวนลูกคลื่นที่ผ่านจุดใดจุดหนึ่งที่กำหนดต่อวินาที เรียกว่า *ความถี่* (f)

ระยะห่างระหว่างยอดคลื่นของคลื่นแต่ละลูก เรียกว่า *ความยาวคลื่น* (λ)

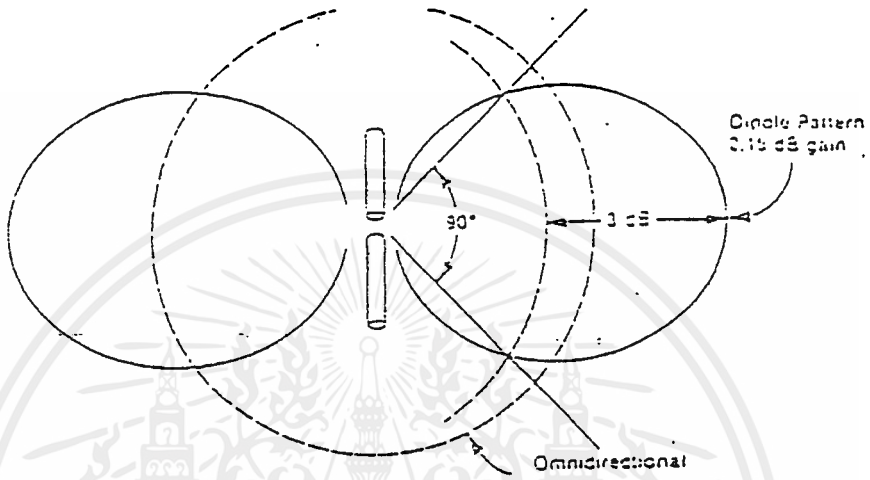
ระยะเวลาที่คลื่นใช้ในการเดินทางเป็ยระยะทาง 1 ความยาวคลื่น เรียกว่า *คาบ* (period)

2.7.1 รูปแบบการแผ่กระจายคลื่น

จากรูปที่ 2.31 แสดงให้เห็นรูปแบบของไดโพลแบบครึ่งคลื่น ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นในลักษณความสัมพันธ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในแต่ละทิศทางโดยแท้จริงแล้วทิศทางที่ปลายของเส้นลวดจะไม่มีการแพร่กระจายคลื่น และสัญญาณจะเดินทางออกมุมขวาของเส้นลวด จากรูปจะเป็นการแสดงให้เห็นถึงขนาดทั้ง 3 มิติ (ทิศทาง) รูปแบบของรูปร่างสัญญาณที่เกิดขึ้น

หมายเลขทั้งสอง จะแสดงให้เห็นถึงลักษณะรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น Bandwidth และ Gain Bandwidth นี้ จะเป็นมุมรวมที่อยู่ระหว่างจุด 3 dB ในรูปแบบของการแพร่กระจาย สำหรับไดโพลแบบครึ่งคลื่นนี้ จะมีมุมที่ 90 องศา ซึ่งจะเป็นการแสดงให้เห็นถึงสัญญาณที่ส่งออกไปในมุมกว้าง Gain จะมีรูปลักษณะเป็นอย่างไรนั้น ขึ้นอยู่กับผลรวมของกำลังงานที่เข้าไปในสายอากาศจากเครื่องส่งที่รวมเอาหลาย ๆ สัญญาณมาไว้ไหเอยู่ในทิศทางเดียวกัน มีเพียงทิศทางเดียว ถ้ามีสายอากาศที่มีขนาดเล็กมาก ๆ แพร่กระจายของสัญญาณจะเท่ากัน และดีกว่าทิศทางทั้งหมด โดยมันจะเป็นตัวกำหนด Gain ตัดสินที่ใช้สำหรับการอ้างอิงถึงรูปแบบสัญญาณอื่น ๆ คือ 0 dB ดังนั้นสายอากาศที่ควรรู้จัก คือ " Isotropic Radiator " จากสายอากาศทั้งหมดนั้น ส่วนที่เกิดขึ้นเหมือนกัน คือ Gain ไดโพลแบบครึ่งคลื่นจะมี Gain 2.15 dB เมื่อวัด Boadside ของเส้นลวด Gain ที่ได้รับในทิศทางนี้จะรวมอยู่ในการแพร่กระจายของเส้นลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 รูปแบบการแพร่กระจายคลื่นของไดโพลแบบ Iamda/2

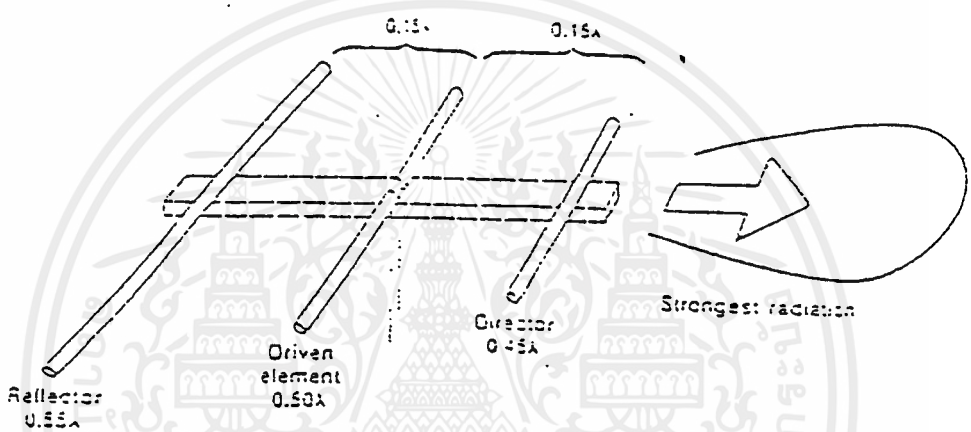
2.7.2 พลาสตีฟอิลิเมนท์ (Passive Elements)

Gain ที่ได้รับจะก่อให้เกิด การใช้งานของพลาสตีฟอิลิเมนท์ ตำแหน่งจะอยู่ใกล้กับไดร์เวอร์อิลิเมนท์ (Driver Element) และตัดความแตกต่างของความยาวขนาดเล็ก ถ้าเอ็กซ์ตร้าอิลิเมนท์ (Extra Element) เข้าใกล้ไดร์เวอร์อิลิเมนท์ แล้วมันจะถูห้อมล้อมด้วยสนามไฟฟ้าและสมานแม่เหล็ก และมันสามารถเก็บ และ Radiate สัญญาณเริ่มต้นได้ความสัมพันธ์ระหว่างเฟสของ +0 สัญญาณที่ Radiate จะเกิดช่องว่างระหว่างไดร์เวอร์และพลาสตีฟอิลิเมนท์ และความยาวทั้งหมดของ Element ก็เช่นเดียวกัน

ถ้าพลาสตีฟอิลิเมนท์ถูกตัดสั้นกว่า Iamda/2 มันจะเป็นค่า C ถ้าตัดยาวกว่า มันจะเป็นค่า L ดังรูปที่ 2.36 ซึ่งแสดงให้เห็นถึง 3 Element ของสายอากาศพลาสตีฟอิลิเมนท์ที่ยาวกว่าจะมีปฏิกิริยาของการสะท้อนกลับ และส่วนที่สั้นกว่าจะเป็นทิศทาง การแพร่กระจายในทิศทางหลัก จะเป็นของ Element ที่สั้นกว่า จะมี Gain ประมาณ 7 dB มากกว่าการ Radiate ของ Isotropic ถ้า Element เพิ่มมากขึ้น สายอากาศจะกลายเป็นตัวรับความถี่ที่มีความไวมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเค้นของสายอากาศจะเป็นอิมพีแดนซ์ของมันที่นำมาใช้เป็นวงจรเครื่องส่งหรือเครื่องรับ ถ้าเป็นสายอากาศแบบยากิมันจะมี Gain สูง เมื่อทำการส่งสัญญาณ มันจะแสดงให้เห็นทั้งหมด เมื่อรับเข้ามา สำหรับความหมายของ Effective Capture Area ของสายอากาศแบบยากิมักจะมากกว่าไดโพลแล้ว เมื่อยืนอยู่ด้านหลังของสายอากาศแบบยากิ และมองเข้าไปที่หัวของมันนั้น จะมีสัญญาณเข้ามาซึ่งความแตกต่างนี้ ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ชัดได้คลื่นที่ผ่านความยาวของสายอากาศเข้าไปได้มันจะแพร่กระจายออกไปเห็นระยะทางไกลมาก และพลาสตีฟอิลิเมนท์ที่ผ่านสัญญาณเหล่านี้ไปจะมีเพียงอิลิเมนท์เดียวเท่านั้น ที่สามารถใช้พลังงานได้ และผ่านสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าเข้าไป



รูปที่ 2.32 แสดงอิลิเมนท์ต่างๆ และการแพร่กระจายคลื่นของสายอากาศแบบยากิ

2.8 การพันคอลย์ให้ได้ค่า L ตามต้องการ

ลวดตัวนำที่พันหรือขดขึ้นเป็นคอลย์ มักจะใช้ในวงจรที่มีความถี่ไฟกระแสสลับ ทำหน้าที่เป็นตัวที่ทำให้เกิดอินดักแตนซ์ในวงจร เราเรียกอุปกรณ์พวกนี้ว่า อินดักเตอร์ (Inductor)หรือบางที่เรียกว่า โช้ค (Choke) หรือคอลย์ก็ได้ แกนของอินดักเตอร์มีทั้งที่ทำจากสารแม่เหล็กเช่นแกนเหล็กหรือแกนเฟอร์ไรท์ หรืออาจจะใช้แกนที่เป็นฉนวน ไม่มีคุณสมบัติของสารแม่เหล็ก เช่น พลาสติกหรือเบเคไลท์ (Bakalite) สำหรับเป็นโครงยึดขดลวดในกรณีที่พันด้วยเส้นลวดเล็ก ๆ หรือถ้าเป็นเส้นลวดเส้นโตๆ ก็พันตัวเปล่าๆ โดยไม่ต้องมีแกน ซึ่งเราเรียกอินดักเตอร์ที่ไม่ได้ใช้สารแม่เหล็กเป็นฯแกนเหล่านี้ว่า อินดักเตอร์แกนอากาศ (Air Core Inductor)

อินดักเตอร์มีค่าคงที่อยู่ค่าหนึ่งซึ่งเราเรียกกันว่า อินดักแตนซ์ (Inductance)เราแทนค่านี้ด้วยตัวอักษร L ค่าอินดักแตนซ์เป็นค่าที่เกิดจากการขุบตัวและการพองตัวของสนามแม่เหล็กในอินดักเตอร์ที่ต่อในวงจรไฟฟ้าสลับ ทำให้มีคุณสมบัติของวงจรไฟฟ้าที่พยายามจะติ่ต้านการเปลี่ยนแปลงของกระแสที่ไหลในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของอินดักแตนซ์ขึ้นกับชนิดและขนาดของแกน รวมทั้งลักษณะการพันคอลย์และจำนวนขดลวดของคอลย์ คอลย์ที่ใช้แกนเป็นสารแม่เหล็กจะมีค่าอินดักแตนซ์มากกว่าคอลย์ที่ใช้แกนเป็นฉนวนหรืออากาศมากและคอลย์ที่มีจำนวนขดลวดมากจะทำให้มีค่าอินดักแตนซ์มากขึ้นตามไปด้วย

หน่วยพื้นฐานของค่าอินดักแตนซ์ก็คือ เฮนรี่ (Herry) เราให้คำจำกัดความของหน่วยเฮนรี่ดังนี้ ตัวนำหรือคอลย์ จะมีค่าอินดักแตนซ์ 1 เฮนรี่ ก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของกระแสในอัตรา 1 แอมป์ ต่อ 1 วินาที แล้วทำให้เกิดแรงดันต้านกลับ (Vemf) 1 โวลต์

หน่วยย่อยของเฮนรี่ ได้แก่ มิลลิเฮนรี่ (milli herry) และไมโครเฮนรี่ (micro herry)ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดังนี้

มิลลิเฮนรี่ (mH) = 1/ 1000 H

หรือ 1 H = 1000 mH

ไมโครเฮนรี่ (μH) = 1/ 1000000 H

หรือ 1 H = 1,000,000 μH

อินดักเตอร์ที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ มีค่าอินดักแตนซ์ในช่วงกว้างมาก เช่น ถ้าอยู่ในวงจรจ่ายไฟก็ใช้ค่าหลายเฮนรี่ ซึ่งจะต้องใช้ขดลวดพันบนแกนเหล็กจึงจะได้ค่ามากๆ ถ้าอยู่ในวงจรที่ความถี่ไม่สูงมากนัก ค่าอินดักแตนซ์ที่ใช้จะอยู่ในช่วงมิลลิแอมป์ ถ้าในวงจรความถี่ปานกลาง และที่ความถี่สูงขึ้นไป ค่อินดักแตนซ์ที่ใช้จะอยู่ในช่วงไมโครเฮนรี่

ในตัวนำจะมีค่าอินดักแตนซ์อยู่เสมอ แม้ว่าตัวนำนั้นไม่อยู่ในรูปของคอลย์ก็ตาม ลวดตัวนำที่เป็นเส้นตรงสั้นๆ จะมีค่าอินดักแตนซ์น้อยมาก แต่ถ้ามีกระแสที่มีการเปลี่ยนแปลงไหลผ่านตัวนำมากพอก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นได้ หรือลวดตัวนำที่ยาวเพียงไม่กี่นิ้ว เราอาจจะมองข้ามไปได้ ถ้าอยู่ในวงจรความถี่ต่ำๆ แต่ในกรณีที่ความถี่สูงกว่า 100 Mhz ขึ้นไป เส้นลวดอันนี้จะมีผลต่อความถี่ในวงจรได้

ค่าอินดักแตนซ์โดยประมาณของขดลวดที่พันชั้นเดียวบนแกนอากาศ คำนวณได้จากสูตร

$$\text{ค่าอินดักแตนซ์ L} = \frac{a^2b^2}{9a+10b}$$

หรือหาจำนวนรอบของขดลวดได้โดยการจัดสูตรใหม่

$$\text{จำนวนรอบ n} = \sqrt{\frac{L(9a+10b)}{a2}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

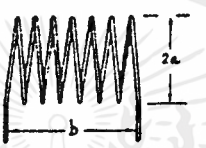
L คือ ค่าอินดักแตนซ์ มีหน่วยเป็น μH

a คือ รัศมีของคอลย์มีหน่วยเป็นนิ้ว

b คือ ความยาวในการพันขดลวดมีหน่วยเป็นนิ้ว

n คือ จำนวนรอบของขดลวด

ค่าที่ได้จากการคำนวณของสูตรนี้ จะใกล้เคียงความจริงถ้าความยาวของการพันลวด (ค่า b) มีไม่น้อยกว่า 0.8a



รูปที่ 2.33 แสดงความหมายของ a และ b ของขดลวด

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่า L สมมติมีคอลย์ขดหนึ่ง พันไว้ 48 รอบ ด้วยระยะการพัน 3รอบต่อนิ้ว เส้นผ่าศูนย์กลางของคอลย์ 3/4 นิ้ว ให้หาค่า L ของขดลวดขดนี้

ระยะการพันคอลย์ 32 รอบได้คอลย์ยาว = 1 นิ้ว

ถ้าคอลย์พัน 48 รอบจะได้ความยาว (b) = $\frac{48}{32}$

= 1.5 นิ้ว

เส้นผ่าศูนย์กลางของคอลย์ = 3/4 นิ้ว

= 0.75 นิ้ว

$\therefore$ รัศมีของคอลย์ (ค่า b) = 0.75/2

แทนค่าในสูตร

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

= 17.6 μH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่2 การคำนวณหาจำนวนรอบของคอลย์สมมติต้องการพันคอลย์ ให้ได้ค่าอินดักแตนซ์ = 10 μH โดยที่คอลย์มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว และความยาวของคอลย์เท่ากับ 5/4 นิ้ว ดังนั้น a = 0.5 , b = 1.25 และ L = 10 แทนค่าในสูตรนี้

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

$$= 26.1 \text{ รอบ}$$

ในทางปฏิบัติเราพันแค่ 26 รอบซึ่งเป็นค่าใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ เนื่องจากความยาวของคอลย์ที่ต้องการ 1.25 นิ้ว เราจึงหาค่าจำนวนรอบต่อนิ้ว = 26.1/1.25 = 20.9 รอบต่อนิ้ว

เรานำค่าจำนวนรอบต่อนิ้วที่ได้ ไปเทียบดูในตารางที่1 เพื่อหาค่าเบอร์ลวดที่จะนำมาพันคอลย์ จะเห็นว่าลวดเบอร์ AWG 17 หรือ SWG 18 ในตารางที่ 1 สามารถใช้ได้ เพราะพันได้ถึง 21.2 รอบต่อนิ้ว เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับที่คำนวณได้ หรือจะใช้ลวดเบอร์อื่นที่เล็กกว่าก็ได้ (ลวดเบอร์สูงขึ้น)

ในการพัน ให้พันจนได้จำนวนรอบ 26 รอบตามที่ต้องการแล้วจึงปรับระยะห่างระหว่างรอบให้เท่าๆกัน จนได้ความยาวรวมของคอลย์เท่ากับ 1.25 นิ้ว

โดยมากแล้วค่าที่หาได้จากสูตรอินดักแตนซ์จะไม่ค่อยตรงนัก ถ้านำไปใช้กับคอลย์อันเล็กๆ เช่น ที่ใช้ในย่านความถี่ VHF หรือที่ใช้เป็นตัวกรองความถี่ต่ำ เพื่อกันไม่ให้คลื่นฮาร์โมนิกออกไปรบกวนโทรทัศน์เพราะความหนาของลวดตัวนำไม่มาก เมื่อนำมาเทียบกับขนาดของคอลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของขดลวดเคลือบน้ำยาเบอร์ต่างๆ

	ตารางที่1 แสดงคุณสมบัติของขดลวดเคลือบน้ำยาเบอร์ต่างๆ				
เบอร์ลวด	เบอร์ลวด SWG	เส้นผ่าศูนย์กลาง	จำนวนรอบ	จำนวนรอบ	ค่า ohm/1000 ฟุต
AWG	ที่ใกล้เคียง	(ม.ม.)	ต่อนิ้ว	ต่อ ต.ร. นิ้ว	ที่ 25° c
1	1	7.348	-	-	0.1264
2	3	6.544	-	-	0.1593
3	4	5.872	-	-	0.2009
4	5	5.189	-	-	0.2533
5	7	4.621	-	-	0.1395
6	8	4.115	-	-	0.4028
7	9	3.665	-	-	0.508
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	141	1.619
13	15	1.828	13.5	177	2.024
14	16	1.628	15	221	2.575
15	17	1.45	16.8	277	3.247
16	18	1.291	18.9	348	4.094
17	18	1.15	21.2	437	5.163
18	19	1.024	23.6	548	6.51
19	20	0.912	26.4	681	8.21
20	21	0.812	29.4	852	10.35
21	22	0.723	33.1	1065	13.05
22	23	0.644	37	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
26	27	0.405	58	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

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 วงจรขยายกำลัง

ในวงจรขยายกำลังสัญญาณที่มีระดับต่ำ มักจะมุ่งพิจารณาในแง่ของความต้องการให้มีสัญญาณรบกวนต่ำ อัตราการขยายสัญญาณและการตอบสนองต่อความถี่ของวงจรเป็นหลักใหญ่ แต่ในวงจรขยายกำลัง แล้วมักจะมุ่งถึงประเด็นความสามารถที่จะขับโหลดได้ต่ำสุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เช่น ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ โหลดที่วงจรขยายกำลังต้องขับมักจะเป็นลำโพง หรือโหลดด้านที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ทางกล เป็นต้นว่า เซอร์โวมอเตอร์ (servomotor) เพื่อที่จะให้ได้งานทางกลจากโหลดนี้ แหล่งกำเนิดกำลังงานที่ต้องป้อนสัญญาณทางไฟฟ้าเข้าไปจะต้องจ่ายพลังงานออกมาได้หลายร้อยมิลลิโวลต์ทีเดียว

โดยนัยดังกล่าวมาแล้วคือ การต้องการกำลังในการขับโหลดสูง ปัญหาที่ตามมาคือ การสร้างแหล่งจ่ายไฟให้มีประสิทธิภาพดีพอเพียงที่จะจ่ายกับวงจรได้อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาถึงทรานซิสเตอร์จะพบว่ามีข้อดี คือสามารถทำงานที่ระดับศักดาไฟเลี้ยงต่ำ แต่ยอมให้กระแสไหลผ่านตัวได้สูง ทำให้การสร้างแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่เหมาะกับวงจรทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพดีกว่าเมื่อเทียบกับการใช้หลอดสุญญากาศซึ่งต้องใช้ระดับศักดาสูง ด้วยเหตุนี้เอง มักจะใช้ทรานซิสเตอร์ในวงจรขยายกำลังเป็นส่วนมาก

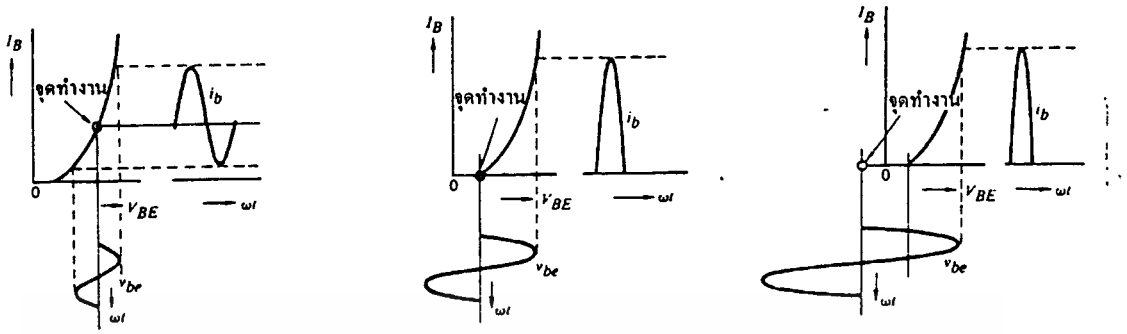
ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวความคิดทั่วไปเกี่ยวกับวงจรขยายกำลัง เริ่มจากวงจรขยายกำลังคลาส เอ. โดยใช้ทรานฟอเมอร์เป็นตัวถ่ายสัญญาณไปยังโหลด ต่อด้วยวงจรคลาส บี.แบบพุช-พูล (push-pull , PP) พร้อมทั้งแนวทางในการวิเคราะห์และการออกแบบ พร้อมทั้งสมการต่างๆในการใช้งาน

3.1 การแบ่งวงจรขยายกำลังออกเป็นพวกโดยอาศัยวิธีการทำการ

เนื่องจากวงจรขยายกำลังต้องการสูง ดังนั้น องค์ประกอบต่างๆ ด้านสัญญาณระดับต่ำ (h_{fe}, h_{ie} เป็นต้น) ที่นำมาเขียนเป็นวงจรทัดเทียมจะไม่ถูกต้อง วงจรขยายกำลังจึงมักศึกษาและออกแบบจากกราฟที่ได้จาก คุณสมบัติที่แสดงไว้เป็นกราฟอีกที่หนึ่ง คุณสมบัติทางด้านสัญญาณเข้าของคลาส เอ. , คลาสบี และคลาสซี จะเป็นดังรูปที่ 3.1 และคุณสมบัติทางด้านสัญญาณออกจะเป็นดังรูปที่ 3.2

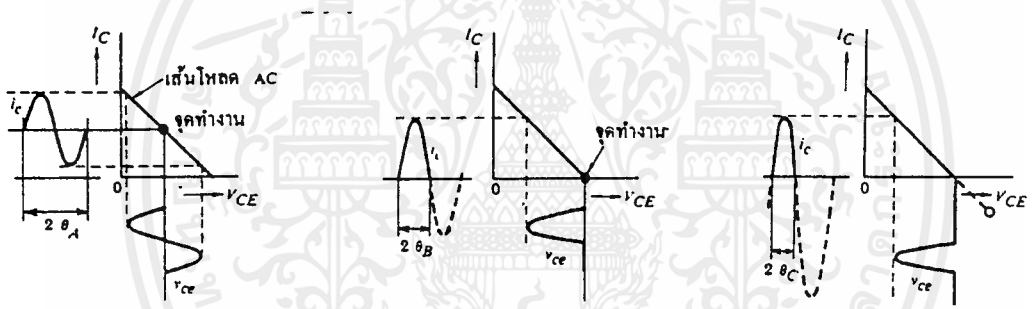
การทำงานในลักษณะคลาส เอ. จะมีจุดปฏิบัติงานออกแบบไว้ที่ประมาณจุดกึ่งกลางของเส้นแสดงสภาวะของโหลดด้านไฟสลับ เมื่อป้อนสัญญาณเข้าไปดังรูป จะได้สัญญาณออกมาเหมือนกับด้านสัญญาณเข้าโดยมีการผิดเพี้ยนน้อยที่สุด มุมของการปฏิบัติงานจะเป็น 2θ หรือครบ 360 องศา ของรูปคลื่นซายน์ (sine wave) วงจรในคลาส เอ.นี้ จะใช้กำลังงานจากแหล่งจ่ายไฟไปส่วนหนึ่งอยู่ตลอดเวลาถึงแม้ว่าจะไม่มีการขับสัญญาณไปยังโหลดก็ตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การทำงานในคลาส เอ. (ข) การทำงานในคลาส บี. (ค) การทำงานในคลาส ซี.

รูปที่ 3.1 คุณสมบัติทางด้านสัญญาณเข้าและรูปคลื่นของสัญญาณที่ใช้งาน



(ก) การทำงานในคลาส เอ. (ข)การทำงานในคลาส บี. (ค) การทำงานในคลาสซี.

รูปที่ 3.2 คุณสมบัติทางด้านสัญญาณออกและรูปคลื่นของสัญญาณที่ใช้งาน

การทำงานในลักษณะคลาส บี. การไบอัสที่เบสจะเป็นศูนย์ มุมปฏิบัติงานของกระแสที่ขาคอลเลคเตอร์ (collector) จะเป็น $2\theta_B$ หรือ 180 องศากระแสคอลเลคเตอร์จะไหลเฉพาะช่วงครึ่งบวกหรือลบของสัญญาณซายน์เต็มรูปคลื่น เป็นเหตุให้สัญญาณที่ได้ที่จุดสัญญาณออกมีลักษณะคลื่นที่ได้จากการเรคติฟายแบบครึ่งคลื่น (haft-wave rectify) ของสัญญาณที่ป้อนเข้าด้านสัญญาณเข้า ด้วยเหตุนี้ จะใช้กับสัญญาณเสียงโดยตรงไม่ได้ แต่ต้องใช้ทรานซิสเตอร์ที่ทำงานในคลาส บี. สองตัวร่วมกันทำงาน โดยผลัดกันทำตัวละครึ่งช่วงของสัญญาณ ผลที่ได้จึงจะเป็นสัญญาณเต็มรูปคลื่น การทำในลักษณะเช่นนี้เรียกว่า การทำงานแบบพุช-พูล ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการขยายกำลังดีมาก

การทำงานในลักษณะคลาส ซี. เป็นการไบอัสแบบกลับทางให้แก่วงจร โดยมีมุมปฏิบัติงาน $2\theta_C$ ซึ่งน้อยกว่า 180 องศา ด้วยเหตุนี้เองแม้ว่าจะนำวงจรคลาส ซี. มาต่อกันเพื่อให้ทำงานใน

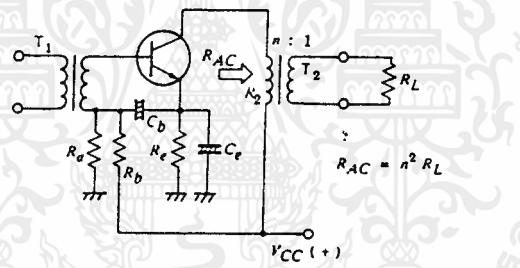
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะผลัดกันทีละครึ่งช่วงแบบพุช-พูล ก็ยังเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณอยู่ จึงไม่สามารถนำมาใช้กับสัญญาณเสียงได้วงจรในคลาส ซี. มักจะถูกนำไปใช้ทำวงจรขยายกำลังในช่วงความถี่สูงโดยการเลือกใช้โหลดให้เหมาะสม

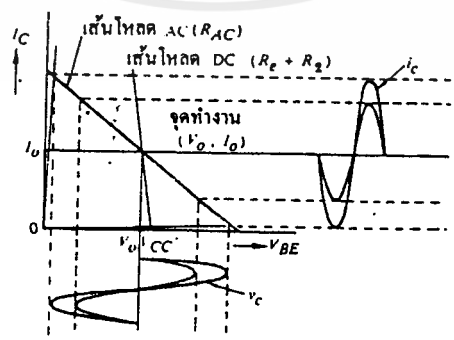
3.2 วงจรขยายกำลังแบบคลาส เอ. ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียว

วงจรขยายสัญญาณแบบคลาส เอ. ที่ใช้ทรานวิศเตอร์ตัวเดียว มักจะใช้กับงานเล็กๆ เช่น เครื่องวิทยุภายในบ้าน เป็นต้น เพราะวงจรมีรูปแบบง่ายๆ ประกอบกันด้วยอุปกรณ์ไม่กี่ส่วน สามารถให้กำลังขับถึง 5 วัตต์ ค่าใช้จ่ายในการทำไฟจ่ายให้วงจรต่ำมาก

รูปที่ 3.3 แสดงวงจรขยายกำลังแบบคลาส เอ.ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียวอย่างง่าย ความต้านทาน R_a และ R_b เป็นวงจรไบอัส และตัวเก็บประจุ C_b และ C_e เป็นตัวเก็บประจุบายพาสสัญญาณการทำงานของวงจรแสดงไว้ในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรขยายกำลังแบบคลาส เอ. ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียวมีการถ่ายสัญญาณไปยังโหลดด้วยทรานฟอเมอร์



รูปที่ 3.4 การทำงานของวงจรขยายกำลังแบบคลาส เอ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 3.4 ความต้านทานของโหลดด้านไฟตรง R_{DC} จะมีค่าเป็นผลบวกของค่าความต้านทานที่ขาอิมิตเตอร์ R_e กับความต้านทาน R_2 ของขดลวดของทรานฟอเมอร์ T_2 แม้ว่า R_{DC} จะเป็นค่าความต้านทานที่กำหนดเสถียรภาพของวงจร แต่ถ้ามีค่ามากก็จะทำให้ค่าที่ได้ทางด้านสัญญาณออกลดลง ดังนั้นควรจะใช้ค่าที่ทำให้เกิดความสมดุลกันระหว่างเสถียรภาพของวงจร และกำลังออกทางด้านสัญญาณออก ความต้านทาน R_{AC} ซึ่งเป็นโหลดด้านไฟสลับจะหาได้จากข้อกำหนดของโหลดที่จะทำให้ได้กำลังทางด้านสัญญาณออกสูงสุด ซึ่งจะได้อธิบายต่อไปภายหลัง และค่าโหลด R_L ทางด้านขดทุติยภูมิของ T_2 จะต้องทำให้สมพงษ์กับ R_{AC} เมื่อค่าอิมพีแดนซ์ของ R_L ถูกเปลี่ยนไปทางด้านขดปฐมภูมิของทรานฟอเมอร์ T_2

เพื่อให้ได้คลาส เอ. จุดปฏิบัติงานของวงจรซึ่งเป็นจุดที่เส้นแสดงสภาวะของโหลดด้านไฟตรง ตัดกับเส้นแสดงสภาวะของโหลดด้านไฟสลับตัดกัน จะอยู่ที่ประมาณจุดกึ่งกลางของเส้นแสดงสภาวะของโหลดด้านไฟสลับ ค่ากระแสด้านสัญญาณออก i_c และค่าศักดาด้านสัญญาณออก v_c หาได้จากเส้นแสดงสภาวะของโหลดด้านไฟสลับ ขณะเดียวกันเมื่อใช้จุดปฏิบัติงานที่จุดกึ่งกลางของ เส้นแสดงสภาวะของโหลดด้านไฟสลับ วงจรจะให้ขนาดของสัญญาณด้านสัญญาณออกมีค่าสูงสุดทั้งด้านช่วงบวกและช่วงลบ

ถ้าสมมติว่า ค่ากระแสคอลเลคเตอร์คัทออฟ และกระแสคอลเลคเตอร์อิ่มตัวถือว่ามีค่าน้อยจนตัดทิ้งได้แล้ว ค่าขยายสูงสุดของ i_c และ v_cจะกลายเป็น I_o และ V_o ดังนั้นค่ากำลังด้านสัญญาณออกสูงสุด $P_{o\,max}$ จะได้เป็น

$$P_{o\,max} = \frac{I_o V_o}{2}$$

แหล่งจ่ายไฟให้กับวงจรจะต้องจ่ายกำลังออกมา P_B ซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณของระดับศักดาไฟเลี้ยงวงจร V_{cc} และค่าเฉลี่ยของกระแสคอลเลคเตอร์ I_o นั่นคือ

$$P_B = I_o V_{cc}$$

และถ้าหากว่าความต้านทานไฟตรง R_{cc} ถือว่ามีค่าน้อย ดังนั้น $V_o = V_{cc}$

$$P_{o\,max} = \frac{I_o V_{CC}}{2}$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_B} \times 100\%$$

ประสิทธิภาพของการใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงจะมีค่าสูงสุด ดังนี้

$$\eta\ max = \frac{P_{o\,max}}{P_B} \times 100\% = 50\ \%$$

ขีดสูงสุดของโหลด R_{AC} หาได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_{ac} = \frac{V_o}{I_o} = \frac{V_o^2}{2P_{o\max}}$$

จะเห็นได้ว่า การหาค่าขีดสูงสุดของโหลดไม่สามารถหาได้จากกฎทั่วๆไป ของการทำให้ค่าอิมพีแดนซ์สมพงษ์กันแต่จะหาได้จากค่าไฟเลี้ยงวงจร V_{cc} และค่ากำลังสูงสุดด้านสัญญาณออก $P_{o\max}$ นั่นหมายความว่า ค่าโหลดที่ใช้ปฏิบัติงาน R_L จะถูกเปลี่ยนค่าโดยทรานฟอเมอร์ T_2 ไปสมพงษ์ R_{AC}

ต่อไป จะเป็นการหาค่าที่ใช้กับทรานซิสเตอร์สูงสุดเท่าที่ทรานซิสเตอร์ยังคงปฏิบัติงานได้ในลักษณะของคลาส เอ.

1) ค่าสูญเสียสูงสุดที่คอลเลคเตอร์ $P_{o\max}$: ค่าสูญเสียที่คอลเลคเตอร์ คือ กำลังที่ได้จากการลบกันของกำลังทางด้านสัญญาณออก P_o ลบออกจากกำลังที่จ่ายมาจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจร P_B เมื่อไม่มีสัญญาณออกที่จุดสัญญาณออก ค่า P_B ทั้งหมดจะกลายเป็นค่าของการสูญเสียที่คอลเลคเตอร์ นั่นคือ P_{omax} จะเป็น

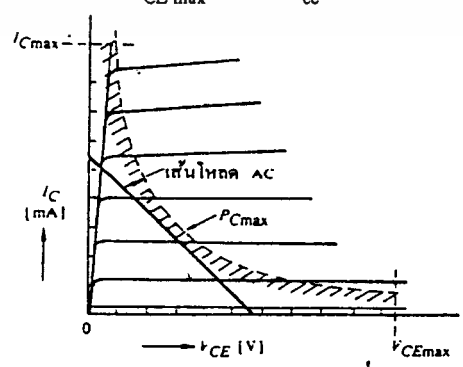
$$P_{o\max} > P_B = 2P_{o\max}$$

2) ค่ากระแสที่คอลเลคเตอร์สูงสุด $I_{o\max}$: จากรูปที่ 3.4 จะเห็นได้ว่าค่า I_{omax} จะมีค่าเป็นสองเท่าหรือมากกว่า I_o

$$I_{o\max} > 2\,Io = \frac{4P_{o\max}}{V_{cc}}$$

3) ค่าศักดาที่คอลเลคเตอร์สูงสุด $V_{CE\max}$: เพราะว่าเป็นวงจรแบบใช้ทรานฟอเมอร์ถ่ายสัญญาณออกไปยังโหลด ค่าพีค (peak) ของศักดาจะมีค่าถึงสองเท่าของศักดาไฟเลี้ยงวงจร ฉะนั้นค่าศักดาที่ตกคร่อมระหว่างคอลเลคเตอร์และอิมิตเตอร์ จะเป็นสองเท่าของ 2 V_{cc}

$$V_{CE\max} > 2\,V_{cc}$$



รูปที่ 3.5 คุณสมบัติของ V_{CE} - I_C และค่าสูงสุดที่ทรานซิสเตอร์ยังสามารถปฏิบัติงานได้

ใช้ค่าสูงสุดเหล่านี้ของทรานซิสเตอร์เขียนกราฟขึ้นมาจะได้ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

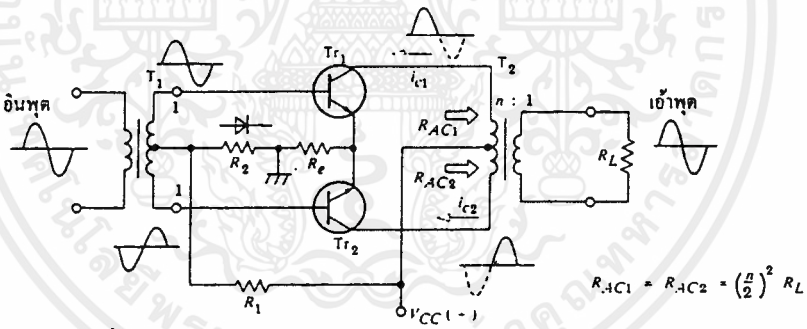
จากรูปที่ 3.5 พื้นที่บริเวณด้านนอกประเป็นบริเวณที่เกิดค่าสูงสุดของทรานซิสเตอร์ถ้าให้ทรานซิศเตอร์ทำงานในบริเวณนี้ จะทำให้เสียหายได้ ดังนั้นเส้นแสดงสภาวะของโหลดค้านไฟสลับ จะต้องอยู่ภายในเส้นประที่แสดงไว้

สมการที่ผ่านมาข้างต้น ได้มาจากข้อสมมติฐานที่ว่า ค่าศักคาอิ่มตัวและค่ากระแสคัทออฟของคอลเลคเตอร์กับค่าความต้านทานไฟตรงของคอลเลคเตอร์ไม่นำมาคำนวณด้วย เมื่อการออกแบบวงจรจริงๆ จะต้องให้ค่า $P_{o\,max}$ มีค่าสูงขึ้นจากสมการที่แสดงไว้ 10 ถึง 20 เปอร์เซ็น

3.3 วงจรขยายกำลังคลาส บี แบบ พุช - พูล

ในวงจรขยายกำลังที่ใช้ทรานวิสเตอร์ตัวเดียวประสิทธิภาพของการใช้แหล่งจายไฟเลี้ยงวงจรมีแค่ 50 % และการใช้กำลังจากแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงวงจรส่วนหนึ่งคงที่ตลอดเวลาไม่ว่าจะมีสัญญาณหรือไม่ก็ตาม ถ้าคิดในกรณีที่แย่ที่สุดที่เป็นไปได้ ทรานซิสเตอร์จะมีกำลังที่ทำให้เกิดความร้อนถึง $2\,P_{omax}$ วัตต์ ขณะเดียวกันเมื่อทำงานที่จุดสูงสุดที่มันทนได้ จะเกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณขึ้น เนื่องจากผลของคุณสมบัติด้านไม่เป็นเชิงเส้นของตัวทรานซิสเตอร์เอง

ด้วยผลเสียต่างๆ เหล่านี้ จึงทำให้มีการพัฒนาวงจรจนกลายเป็นพุช-พูล ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.6



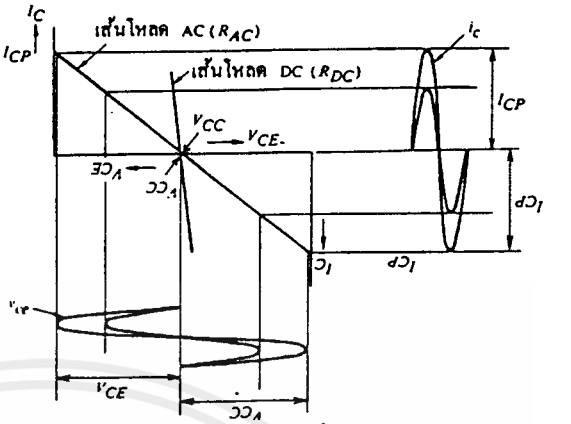
รูปที่ 3.6 แสดงวงจรขยายกำลังคลาส บี แบบพุช-พูล

1. หลักการทำงานเบื้องต้น

สัญญาณที่ป้อนเข้าด้านขดปฐมภูมิของทรานฟอเมอร์ด้านสัญญาณเข้า T_1 จะให้สัญญาณสองสัญญาณที่มีขนาดเท่ากัน แต่เฟสตรงกันข้ามที่ขั้ว 1 และ $1'$ ของขดทุติยภูมิของ T1 ทรานซิสเตอร์ Tr_1 และ Tr_2 ถูกจัดให้ทำงานในคลาส บีดังนั้นทรานซิสเตอร์แต่ละตัวจะทำงานเฉพาะครึ่งช่วงบวกของสัญญาณทำการจ่ายกระแส i_{c1} และ i_{c2} ซึ่งอยู่ในรูปของเรคติฟายแบบครึ่งคลื่นไปยังขดปฐมภูมิของทรานฟอเมอร์ T_2 ในลักษณะสลับกันไปมา ทำให้ได้รูปสัญญาณออกต่อเนื่องกันที่ด้านขดทุติยภูมิ ซึ่งเป็นด้านสัญญาณออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อรวมคุณสมบัติของสัญญาณออกของทรานซิสเตอร์ T_{r1} และ T_{r2} ที่มีทิศทางตรงกันข้ามเข้าด้วยกัน จะได้สัญญาณดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงการทำงานของวงจรขยายกำลังคลาส บี. แบบพุช-พูล

รูปที่ 3.8 แสดงทรานฟอเมอร์ที่ใช้ด้านสัญญาณออก

2. การวิเคราะห์การทำงานของวงจร

จากรูปที่ 3.7 ค่ากำลัง P_o ที่จ่ายออกไปยังโหลดจะมีค่าเท่ากับผลคูณของค่าเอฟเฟคทีฟ (effective) ของ i_c กับค่า v_{ce} เพื่อความสะดวกในการวัดค่าR_{DC} [1] ถือว่าค่าศักดาอิ่มตัวและค่ากระแสคัทออฟของทรานซิสเตอร์มีค่าน้อยจนตัดทิ้งได้ และค่าขนาดสูงสุดของ v_{ce} และ i_c มีค่าเป็น V_{cc} และ I_{cp} ค่ากำลังออกสูงสุด $P_{o\,max}$ จะมีค่าเป็น

$$P_{o\,max} = \frac{I_{cp}V_{cc}}{2}$$

และค่ากำลัง $P_{B\,max}$ ที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟจากข้างบนจะเป็น

$$P_{B\,max} = I_{av}^{(2)} V_{cc} = (2/\pi)\, I_{cp}V_{cc}$$

ค่า I_{av} เป็นค่ากระแสเฉลี่ยที่จ่ายมาจากไฟเลี้ยงของวงจร ส่วนค่าประสิทธิภาพสูงสุด η_{max} เป็น

$$\eta_{max} = \frac{P_{omax}}{P_{Bmax}} \times 100\,\% = (\eta/4) \times 100 = 78.5\,\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่าโหลดทางด้านไฟสลับ R_{AC} ที่เหมาะสมที่สุด คือ

$$R_{AC} = \frac{V_{cc}}{I_{cp}} = \frac{V_{cc^2}}{2P_{omax}}$$

จะสังเกตุเห็นได้ว่า ค่าอิมพีแดนซ์นี้เป็นค่าที่เกิดจากใช้ทรานซิสเตอร์เพียงตัวเดียว ฉะนั้น ค่าอิมพีแดนซ์ทางด้านปฐมภูมิของทรานฟอเมอร์ควรจะมีค่าเป็น $4R_{AC}$ เมื่อใช้ทรานฟอเมอร์แบบแท็ปกลาง (centertap) จากรูปที่ 8.8 จะได้

$$R_{CC} = n^2 R_L = 4(n/2)^2 R_L = 4R_{AC}$$

3. ค่าอัตราสูงสุดต่างๆ ของทรานซิสเตอร์ที่ใช้งาน

ก. ค่าสูญเสียสูงสุดของคอลเลคเตอร์ $P_{C\,max}$

การทำงานในลักษณะของคลาส บี. จะไม่มีกระแสคอลเลคเตอร์ไหล เมื่อไม่มีสัญญาณในวงจร หมายความว่าค่าสูญเสียของคอลเลคเตอร์จะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อไม่มีสัญญาณ แต่ค่าสูญเสียสูงสุดของคอลเลคเตอร์จะไม่ใช่ที่จุดที่ได้กำลังออกสูงสุดกลับอยู่ที่จุดกึ่งกลางของกำลังออก ถ้าขนาดของกำลังทางออกเลือกให้มีค่าเป็น kI_{CP}, V_{CC} แต่เนื่องจากค่าสูญเสียของคอลเลคเตอร์ คือ ค่าผลต่างของกำลังที่จ่ายมาจากไฟเลี้ยงกับกำลังออกของวงจรหรือเขียนได้เป็น

$$P_C = P_B - P_o = (2/\pi)\, k\, I_{CP}\, V_{CC} - (k^2/2)\, I_{CP}\, V_{CC}$$
$$= [(2/\pi)k - (k^2/2)]\, I_{CP}\, V_{CC}$$

โดยค่า k เป็นค่าคงที่มีค่าเป็น $0 < k \leq 1$ จากสมการข้างบนสามารถเขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่า P_C จะมีค่าสูงสุดเมื่อ $k^{(3)} = 0.64$

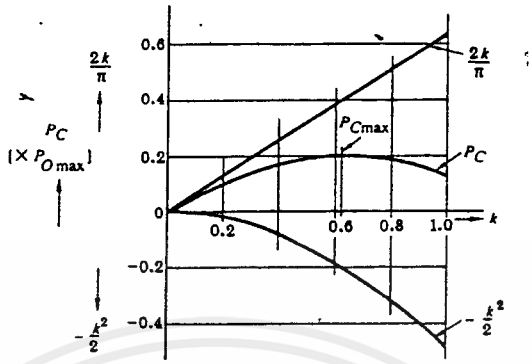
และค่า $P_{C\,max}$ จะมีค่าเป็น

$$P_{C\,max} = (2/\pi^2)\, I_{CP}\, V_{CC} = (4/\pi^2)$$

---

(3) จาก $\frac{dP_C}{dk} = 0$, ค่าสุงสุดของ k เป็น $k = 2/\pi \doteq 0.636$

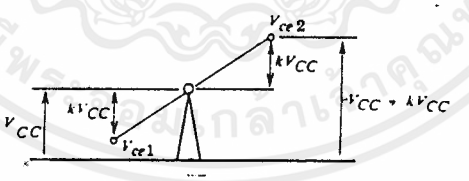
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 แสดงกราฟของ $(2/\pi)k - k^2/2$

ข. ค่าศักดาสูงสุดของคอลเลคเตอร์ $V_{CE\,max}$

เมื่อทรานซิสเตอร์ทำงานตัวเดียวขณะที่ทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่งหยุดทำงาน ค่าศักดา v_{ce1} และ v_{ce2} ของจุดต่อด้านปฐมภูมิของทรานฟอเมอร์(ก็คือจุดต่อของขาคอลเลคเตอร์นั่นเอง) จะมีค่าเพิ่มขึ้นแล้วลดลงเป็น $\pm kV_{CC}$ โดยมี V_{CC} เป็นจุดกึ่งกลาง ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงค่าศักดา ที่คอลเลคเตอร์ของวงจรคลาส บี. แบบพุช- พูล

ด้วยเหตุนี้ ค่าศักดาสูงสุดของคอลเลคเตอร์ $V_{CE\,max}$ ที่ตัวไดอิเล็กตริกจะทนได้ควรเป็น$2V_{CC}$หรือมากกว่า

$$V_{CC} > 2\,V_{CC}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. ค่ากระแสสูงสุดของคอลเลคเตอร์ $I_{C\,max}$

ค่ากระแสสูงสุดของคอลเลคเตอร์จะเป็น

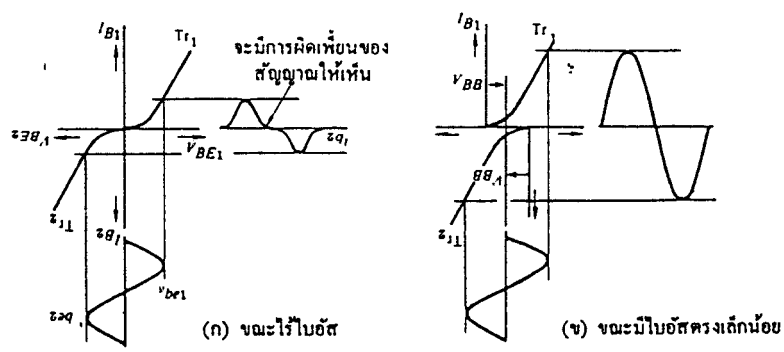
$$I_{C\,max} > I_{CP} = \frac{2P_{omax}}{V_{CC}}$$

4. การเปรียบเทียบกับวงจรในคลาส เอ.

เมื่อเปรียบเทียบกับวงจรขยายในคลาส เอ จะเห็นว่าวงจรขยายในคลาส บี. แบบพุช - พูล มีข้อดีกว่าดังนี้

1) ประสิทธิภาพสูงกว่า เพราะในขณะที่ประสิทธิภาพสูงสุดของวงจรคลาสเอ. เป็น 90 % แต่ของคลาส บี. แบบพุช - พูล มีค่าเป็น 78.5 % นอกจากนี้แล้ววงจรขยายคลาสเอ.จะใช้กำลังจากไฟเลี้ยงคงที่โดยไม่คำนึงถึงขนาดของสัญญาณออก แต่วงจรแบบคลาสบี. กำลังที่ใช้ขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณออก นั่นคือข้อแตกต่างอย่างเด่นชัดของคลาสเอ. กับคลาสบี. คือประสิทธิภาพของไฟเลี้ยงที่นำมาใช้งาน ซึ่งคลาสบี. ดีกว่ามาก

2) ปัญหาของการผิดเพี้ยนของสัญญาณ ในกรณีของคลาสบี. แบบพุช -พูล ถ้าคุณสมบัติต่าง ๆ ของ Tr1 และ Tr2 สมพงษ์กันทุกประการแล้ว รูปของสัญญาณที่ได้ทั้งช่วงบวกและช่วงลบ จะเหมือนกันและขนาดเท่ากันทุกประการ หมายความว่าผลที่เกิดจากการไม่เป็นเชิงเส้นการไม่เท่ากันทั้งขนาดและรูปร่างของสัญญาณในช่วงบวกและช่วงลบ การผิดเพี้ยนของสัญญาณซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการนำคลาส เอ. ไปใช้กับสัญญาณที่มีขนาดใหญ่ จะไม่เกิดขึ้น วงจรขยายคลาส บี. ดังนั้นจากจุดที่พิจารณาการผิดเพี้ยนของสัญญาณนี้ วงจรพุช - พูลจะดีกว่ามาก อย่างไรก็ตาม วงจรขยายในคลาส บี.แบบพุช - พูลยังมีปัญหาเกิดขึ้นอันหนึ่งเรียกว่าการผิดเพี้ยนที่ช่วงต่อของสัญญาณ (crossover distortion) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงการผิดเพี้ยนที่ช่วงต่อของสัญญาณของวงจรขยายในคลาส บี. แบบพุช - พูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

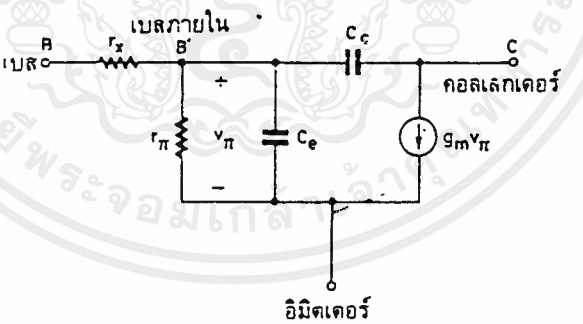
จากรูปที่ 3.11 (ก) การผิดเพี้ยนที่ช่วงต่อของสัญญาณเกิดจาก การต่อกันระหว่างรูปคลื่นของสัญญาณช่วงบวกกับช่วงลบ ทำให้ได้รูปคลื่นผิดไปจากความเป็นจริง เนื่องจากผลของการไม่เป็นเชิงเส้นของคุณสมบัติด้านสัญญาณเข้าของทรานซิสเตอร์ ในช่วงเริ่มแรกจากฐานของกราฟ ค่าความผิดเพี้ยนนี้จะสังเกตุเห็นได้ง่ายขึ้น เมื่อสัญญาณออกทางด้านสัญญาณออกมีขนาดเล็ก

เพื่อที่จะแก้การผิดเพี้ยนที่ช่วงต่อของสัญญาณให้ดีขึ้น ต้องใส่ค่าศักดาไบอัส V_{BB} ค่าน้อย ๆเข้าไป เพื่อเลื่อนจุดปฏิบัติงานของทรานซิสเตอร์ขึ้นไปอยู่ในช่วงที่เป็นเส้นตรงของกราฟ ดังรูปที่ 3.11 (ข) จากรูปที่ 3.6 ค่าความต้านทาน R_1 และ R_2 ใส่เข้าไปในวงจร เพื่อแก้ผลอันนี้ได้ และค่าความต้านทาน R_2 ยังช่วยชดเชยผลทางด้านที่มีต่ออุณหภูมิด้วย เมื่อใส่ค่า V_{BB} เข้าไปจะทำให้เกิดกระแสไหลในขณะที่ไม่มีสัญญาณในวงจร เรียกกระแสนี้ว่ากระแสไอเดิล (idel current)

3.4 ทรานซิสเตอร์ที่ความถี่สูง

3.4.1 วงจรสมมูลแบบ π - ผสม

วงจร π - ผสมที่ใช้ในย่านความถี่สูง แสดงอยู่ในรูปที่ 3.12 วงจรนี้มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า แบบจำลองของเจียโกเลตโต (Giacoletto)



รูปที่ 3.12 วงจรสมมูล π - ผสม

ตัวเก็บประจุ C_C เป็นตัวเก็บประจุระหว่างเบสภายในกับคอลเลคเตอร์ เนื่องจากรอยต่อน้ำไบอัสกับตัวเก็บประจุที่รอยต่อนี้จึงเป็นตัวเก็บประจุผ่าน (Transition capacitance) ซึ่งขึ้นอยู่กับแรงดันไบอัส V_{CE} ดังนี้

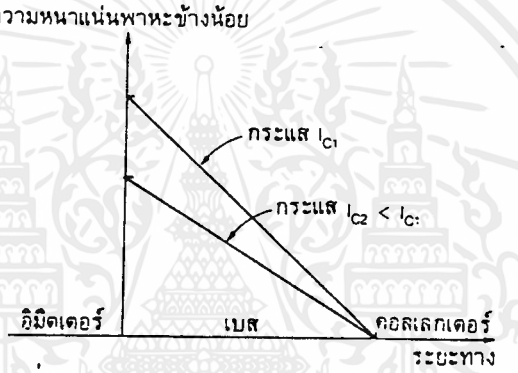
$$C \propto V_{CE}^{-n}$$

โดยที่ n = 1/2 หรือ 1/3 แล้วแต่ว่ารอยต่อเป็นชนิดชันหรือไม่ชัน (graded) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ผลิตมักจะวัดความจุทางไฟฟ้าขาออกของทรานซิสเตอร์ต่อแบบ CB เมื่อเปิดวงจรทางขาเข้า (ที่ขั้วอิมิตเตอร์) โดยใช้สัญญลักษณ์ C_{ob} ซึ่งก็คือ C_C นั่นเอง

ตัวเก็บประจุ C_e เป็นตัวเก็บประจุระหว่างเบสภายในกับอิมิตเตอร์ เนื่องจากรอยต่อนี้ไบอัสตรง C_e จึงประกอบด้วยความจุไฟฟ้าผ่านและความจุไฟฟ้าแพร่ โดยทั่วไปความจุไฟฟ้าผ่านจะค่าเล็กกว่า เพราะเป็นผลเนื่องมาแต่ไอออน ซึ่งอยู่กับที่ ณ. รอยต่อพอดี ส่วนความจุไฟฟ้าแพร่จะมีค่าใหญ่กว่า เพราะเป็นผลเนื่องมาจากการสะสมพาหะที่แพร่เข้ามาภายในเบส ซึ่งมีจำนวนมากกว่าไอออนที่รอยต่อนั่นเอง



รูปที่ 3.13 แสดงการกระจายของพาหะข้างน้อยในเบส

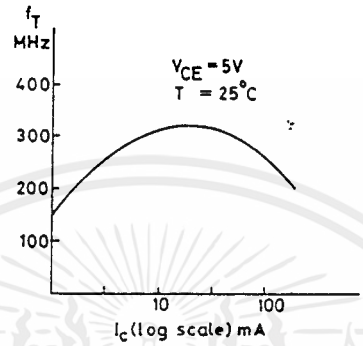
พาหะข้างน้อยในเบสถูกฉีดเข้ามาทางอิมิตเตอร์ และจะแพร่ผ่านเบสไปยังคอลเลคเตอร์ โดยที่ความหนาแน่น ณ. รอยต่อคอลเลคเตอร์จะเป็นศูนย์ เนื่องจากพาหะจะข้ามรอยต่อไปหมด ถ้าระดับการปล่อยพาหะเข้าสู่เบสสูงขึ้น เกรเดียนต์ของการกระจายพาหะก็จะสูงขึ้น (ดูรูปที่ 3.13) การแพร่พาหะก็มีมากขึ้น ดังนั้นกระแสคอลเลคเตอร์ก็จะมีมากขึ้น ในขณะเดียวกันจำนวนพาหะข้างน้อยที่มีอยู่ในเบสก็เป็นปฏิภาคกับระดับการปล่อยพาหะเข้าสู่เบสเช่นกัน ดังนั้นความจุไฟฟ้าแพร่จะเป็นปฏิภาคกับกระแสคอลเลคเตอร์ เนื่องจากอัตราการนำ (g_m) ก็เป็นปฏิภาคกับกระแสคอลเลคเตอร์นี้ เราสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_e และ g_mได้ดังนี้

$$g_m \propto C_e \omega_T$$

สังเกตได้ว่า ปริมาณ ω_T มีหน่วยเป็นความถี่เชิงมุม (เรเดียนต่อวินาที) ω_T คือความถี่ที่อัตราการขยายกระแสเมื่อลัดวงจรลดค่าลงเหลือเท่ากับ 1 ω_T (หรือบางทีก็ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์ $f_T = \omega_T / 2\pi$) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญมาก เพราะจะบ่งชี้ความสามารถในการขยายสัญญาณที่ความถี่สูงของทรานซิสเตอร์ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง f_T ขึ้นอยู่กับจุดทำงานสงบ (หรือI_C) เพียงเล็กน้อย (ดูรูปที่ 3.14) จึงถือเป็นพารามิเตอร์ประจำตัวทรานซิสเตอร์ในทำนองเดียวกับค่า h_{fe}



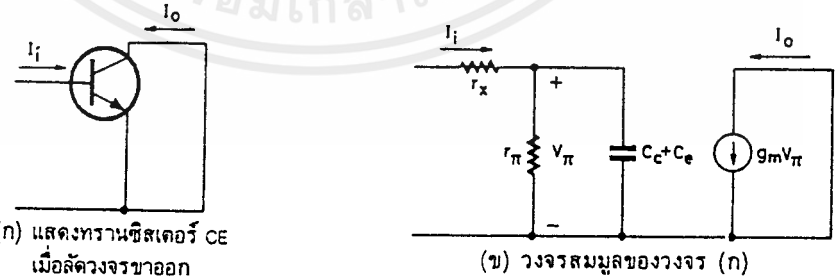
รูปที่ 3.14 การเปลี่ยนแปลงของ f_T กับกระแสไฟตรงของคอลเลคเตอร์

แบบจำลอง π - ผสม ของทรานซิสเตอร์นี้จะใช้ได้จนถึงความถี่ประมาณ $f_T/3$ ถ้าความถี่สูงกว่านี้จำเป็นต้องคำนึงถึงความจุไฟฟ้าระหว่างขั้วภายนอกของทรานซิสเตอร์ และปรากฏการณ์อื่นๆ ซึ่งจะเพิ่มความยุ่งยากให้แก่แบบจำลองมากขึ้นไปอีก

สำหรับทรานซิสเตอร์ที่ขยายสัญญาณเล็กๆ C_C มีค่าประมาณ 3 pF ส่วน C_e มีค่าประมาณ 100 pF

3.4.2 อัตราขยายของทรานซิสเตอร์ที่ความถี่สูง

อัตราขยายกระแสเมื่อลัดวงจร



(ก) แสดงทรานซิสเตอร์ CE เมื่อลัดวงจรขาออก

(ข) วงจรสมมูลของวงจร (ก)

รูปที่ 3.15

ที่ความถี่กลาง อัตราขยายกระแสระหว่างคอลเลคเตอร์กับเบสเมื่อลัดวงจรระหว่างคอลเลคเตอร์อิมิตเตอร์มีค่าเท่ากับ $I_o / I_i = h_{fe}$ (ดูรูปที่ 3.15 (ก)) จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการขยาย h_{fe} นี้จะลดลงอย่างไรที่ความถี่สูง เราสามารถเขียนวงจรสมมูลแบบ π - ผสม โดยลัดวงจรระหว่างคอลเลคเตอร์- อิมิตเตอร์ ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.15 (ข)

สังเกตว่า วงจรมีตัวเก็บประจุ 1 ตัว และค่าคงตัวเวลาเท่ากับ $r_\pi (C_c + C_e)$ (สังเกตว่า r_x ไม่ปรากฏในค่าคงตัวเวลาเพราะการเอาแหล่งกระตุ้นออก คือ $I_i = 0$ นั้น เท่ากับเปิดวงจรที่ r_x) ค่าอัตราการขยายกระแสเมื่อลัดวงจรหาได้จาก

$$A_i = K' [1/(s + (1/ \tau))]$$

โดยที่ τ คือ ค่าคงตัวเวลา $r_\pi (C_c + C_e)$

K' คือค่าคงตัวซึ่งจะหาได้จาก ค่าลิมิตของ A_i ดังนี้ $A_i (s = 0) = h_{fe} = \tau K'$ หรือ $K' = h_{fe}/ \tau$

อันที่จริงการคำนวณ A_i จะทำได้โดยง่าย เมื่อใช้วงจรในรูปที่ 3.15 (ข) และกฎของ คีร์ฮอฟ วิธีการเขียนนิพจน์ของอัตราขยายโดยเริ่มจากฟอร์มทั่วไปเช่นนี้เป็นวิธีที่ใช้ได้สะดวก มากสำหรับวงจรที่มี 1 ขั้ว วิธีนี้มีชื่อว่า การพินิจวงจร (inspection)

จากค่าของ A_i จะพบว่าขนาดของ A_i ลดลง $1/\sqrt{2}$ หรือ 3 dB ที่ความถี่

$$f\beta = [1/ (2\pi r_\pi(C_c + C_e))]$$

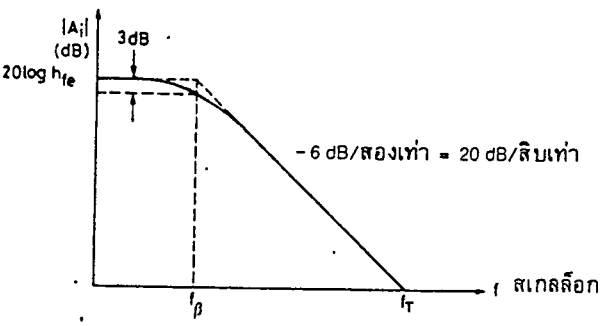
และขนาดของ A_i ลดลงเป็น 1 ที่ความถี่

$$f_T = h_{fe} f \beta$$

$$= g_m / [2 \pi(C_c + C_e)]$$

เนื่องจาก $C_c << C_e$ ดังนั้น $f_T = g_m / 2\pi C_e$ กราฟแสดงขนาดของ A_I กับความถี่ แสดงอยู่ในรูปที่ 3.16 เนื่องจาก $f_T = h_{fe} f \beta$ เราจึงเรียก f_T ว่า ผลคูณอัตราขยายกระแสเมื่อ ลัดวงจรกับแถบความถี่

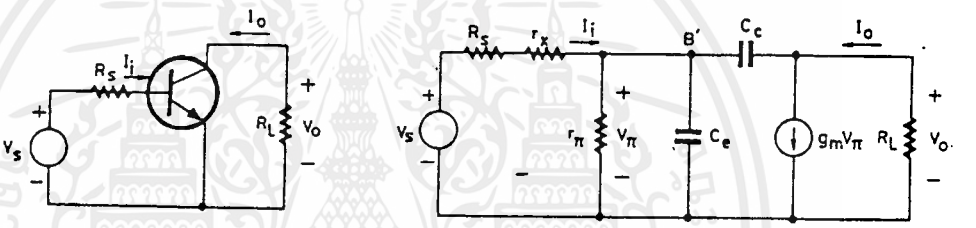
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



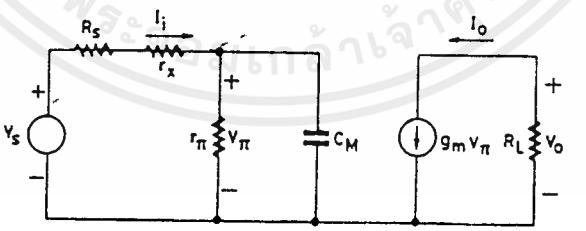
รูปที่ 3.16 อัตราขยายกระแสเมื่อลัดวงจรกับความถี่

ในทางปฏิบัติเราสามารถรู้ค่าของ f_T ได้จากการวัดโดยตรงหรือจากข้อมูลที่ผู้ผลิตมีไว้ให้ เพื่อคำนวณค่าของ C_c

อัตราขยายของวงจรขยาย CE



(ก) แสดงทรานซิสเตอร์ต่อแบบ CE (ข) วงจรสมมูลของวงจร(ก)



(ค) วงจรสมมูลใกล้เคียงของวงจร (ข) โดยใช้ทฤษฎีบทของมิลเลอร์

เพื่อย้าย C_c : $C_m = C_e + C_C (1 + g_m R_L)$

รูปที่ 3.17

รูปที่ 3.17 (ก) แสดงวงจรขยาย CE มีความต้านทาน R_L เป็นโหลด ซึ่งจะเขียนเป็นวงจรสมมูลได้ดังรูปที่ 3.17 (ข) สำหรับวงจรขยายนี้เราละเลยวงจรที่ใช้ในการไบอัสเพื่อให้ดูง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้น สังเกตจากวงจรรูปที่ 3.17(ข) ว่า วงจรขยายนี้มีตัวเก็บประจุ 2 ตัว จึงมีขั้ว 2 ขั้ว อย่างไรก็ดี ขั้วค่าหนึ่งมีขนาดใหญ่กว่าขั้วอีกข้างหนึ่งมาก หมายความว่า เมื่อพิจารณาเทอม (s-ขั้วเล็ก) x (s-ขั้วใหญ่) จะพบว่า ถ้า ω << -ขั้วใหญ่ เทอมดังกล่าวจะมีค่าโดยใกล้เคียงเท่ากับ -ขั้วใหญ่ x (s-ขั้วเล็ก) นั่นคือในช่วงความถี่ที่ไม่สูงนัก เราสามารถละเลยผลของขั้วใหญ่ได้ อัตราขยายจึงเสมือนมีขั้วเล็กเพียงขั้วเดียว

เพื่อจะให้เห็นชัดว่า วงจรในรูปที่ 3.17(ข) มีขั้วที่มีค่าเท่าไร เราจะใช้ทฤษฎีบทของมิลเลอร์ย้าย C_C ไปไว้ทางด้านเข้าและทางด้านออก เพื่อจะให้ทฤษฎีบทของมิลเลอร์ เราต้องรู้ค่าของอัตราขยายแรงดัน A_Vระหว่างจุด C กับจุด B' (ดูรูปที่ 3.17(ข)) ซึ่งเราจะรู้ค่าจริงๆ ก็ต่อเมื่อได้วิเคราะห์วงจรจริงๆแล้ว อย่างไรก็ดีเราสามารถรู้ค่าโดยใกล้เคียงของ A_V โดยถือเอาค่าที่ความถี่กลางเป็นเกณฑ์ ถ้าละเลยผลของ C_c จะได้

$$A_V = V_o / V_\pi = (-g_m V_\pi R_L) / V_\pi = -g_m R_L$$

ดังนั้น ความจุไฟฟ้า C_C เมื่อย้ายมาทางด้านเข้าจะมีค่าเท่ากับ $C_C(1- A_V) = C_c (1+g_m R_L)$ และย้ายไปทางด้านออก จะมีค่าเท่ากับ $C_c (1 - 1/ A_V) = C_c (1+1/g_m R_L)$ เมื่อย้าย C_c มารวมกับ C_e ที่มีอยู่ทางด้านเข้าจะได้ความจุไฟฟ้า

$$C_m = C_e + C_c (1+g_m R_L)$$

เราจะสมมติว่าความต้านทานทางด้านเข้ากับทางด้านออกมีค่าที่ไม่ต่างกันมากนัก ดังนั้นการเปรียบเทียบค่าคงตัวเวลาของวงจรด้านเข้ากับด้านออกมีค่าเท่ากับการเปรียบเทียบความจุไฟฟ้านั่นเอง หมายความว่า เราต้องเปรียบเทียบ C_M กับ $C_C (1+1/ g_m R_L)$ โดยปกติ $g_m R_L$ ซึ่งเท่ากับขนาดของอัตราขยาย A_V นั้นมีค่าใหญ่กว่า 1 มาก ความจุไฟฟ้าทางด้านออกจึงมีค่าเล็กมากเท่ากับC_C โดยประมาณ ซึ่งหมายความว่าวงจรด้านออกจะให้ขั้วค่าใหญ่ ซึ่งเราสามารถละเลยผลได้ ดังนั้นวงจรในรูปที่ 3.17(ค) จึงละเลยที่จะเขียน C_C ทางด้านออก อันที่จริงเราสามารถให้เหตุผลง่าย ๆ ในการละเลย C_C ทางด้านออกได้ดังนี้ที่ความถี่ที่รีแอกแตนซ์ของ C_M มีค่าใกล้เคียงกับความต้านทานด้านเข้า รีแอกแตนซ์ของ C_C จะใหญ่มากเทียบกับ R_L เราจึงถือว่า C_C ทางด้านออกเป็นเสมือนวงจรเปิด

วงจรในรูปที่ 3.17(ค) มี 1 ขั้วและไม่มีศูนย์ จึงมีอัตราขยายซึ่งเขียนในฟอร์มทั่วไปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$A = K' [\, 1 + (s + 1/\tau)$$

$$= K [\, 1/ (1 + j\omega\tau)$$

โดยที่ K ก็คือ $A(\omega = 0)$ หรือค่าที่ความถี่กลางของA ส่วน τ คือค่าคงตัวเวลาของวงจร

ถ้า A เป็นอัตราการขยายกระแส $A = I_o/I_i$ จะได้

$$K = h_{fe}$$

$$\tau = r_\pi C_M$$

(หา τ ได้โดยเปิดวงจรที่ I_i)

ถ้า A เป็นอัตราขยายแรงดัน $A = V_o/V_s$ จะได้

$$K = (-h_{fe} R_L) / (R_s + r_x + r_\pi)$$

$$\tau = [(R_s + r_x) // r_\pi] C_M$$

(หา τ ได้โดยลัดวงจร V_s)

จะเห็นว่า ค่าคงตัวเวลาเป็นปริมาณที่สำคัญมาก เพราะเป็นปริมาณที่กำหนดลักษณะเชิงความถี่ของอัตราขยายดังนี้

ค่าคงตัวเวลา = -1 / ขั้ว = 1 / ความถี่ 3 dB (rad/s)

เราจะสังเกตเห็นได้ว่า ขนาดของอัตราขยายลดลง $1/\sqrt{2}$ หรือ 3 dB เมื่อความถี่เชิงมุมมีค่าเท่ากับ $1/\tau$ ในบางครั้ง เราอาจเขียนสมการใหม่ได้เป็น

ความถี่ที่ 3 dB = 1 / 2πค่าคงตัวเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 วงจรเข้ารหัสและวงจรถอดรหัส

ในการเชื่อมต่อระหว่างระบบซึ่งใช้รหัสที่แตกต่างกันนั้น จำเป็นจะต้องมีการเปลี่ยนรหัส ซึ่งปกติวงจรดิจิตอลนั้นจะใช้รหัสเป็นเลขฐานสองเสมอ เช่น ถ้าหากต้องการเปลี่ยนเลขฐานสิบ 0 ถึง 9 ไปเป็นเลขฐานสองก็จะต้องมีวงจรเปลี่ยนรหัส ปกติการเปลี่ยนรหัสจากวงจรสวิทช์กดที่ใช้แทนเลขฐานสิบให้เป็นเลขฐานสองเรียกกันว่าวงจรเข้ารหัสหรือวงจรเอนโคดเดอร์(encoder) แต่ขณะเดียวกัน ถ้าหากต้องการเปลี่ยนรหัสจากรหัสบีซีดีเป็นรหัสอย่างอื่น เรียกวงจรนั้นว่า วงจรถอดรหัสหรือวงจรดีโคดเดอร์ (decoder) ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดต่อไป

4.1วงจรเข้ารหัส

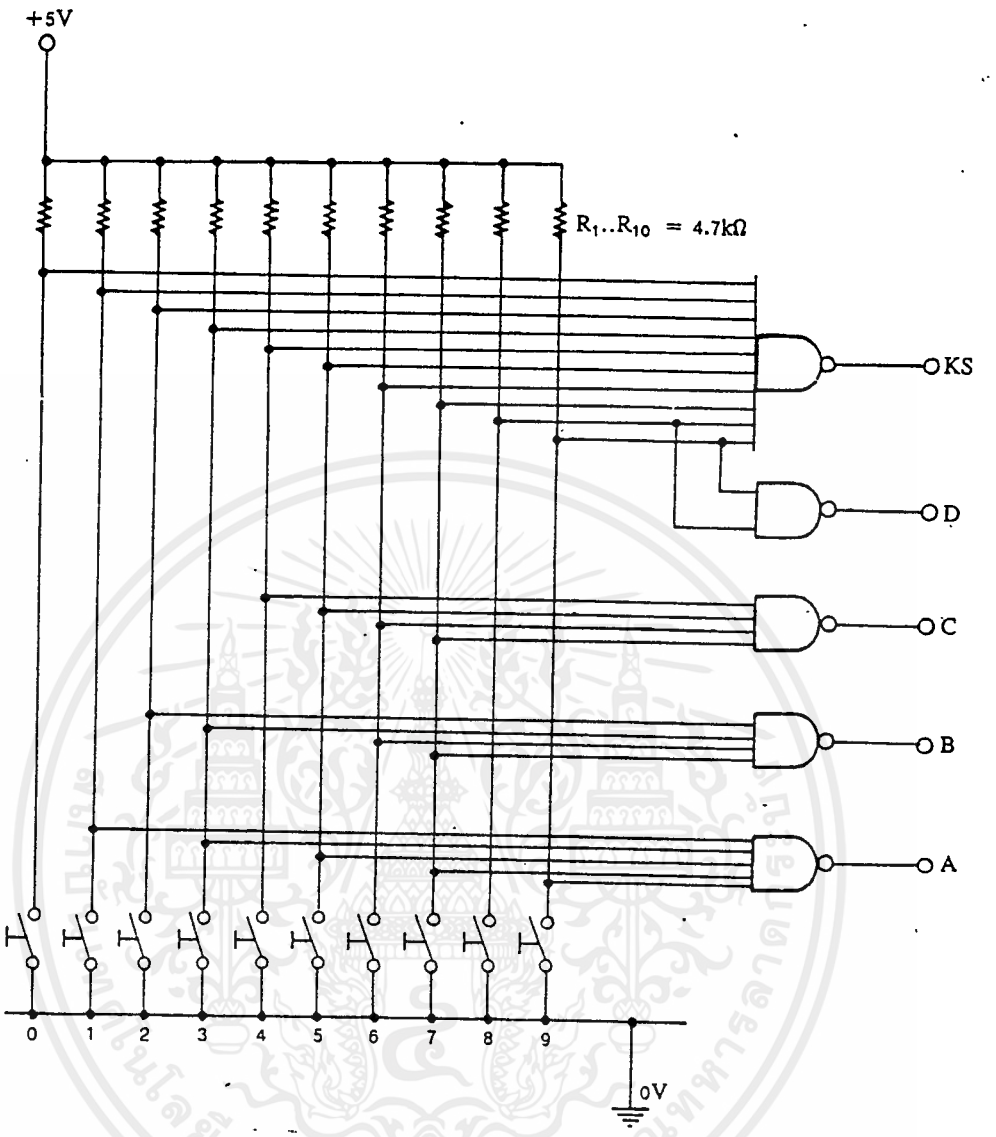
วงจรเข้ารหัสที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นวงจรเข้ารหัสที่เปลี่ยนเลขฐานสิบจากแป้นพิมพ์หรือสวิทช์กดให้เป็นรหัสบีซีดี ในขณะเดียวกันเราสามารถแปลงตัวอักษรหรือเครื่องหมายใดๆ เป็นรหัสเลขฐานสองจากคีย์บอร์ดที่ต้องการได้ โดยใช้วงจรลอจิกเข้ามาช่วย วงจรนั้นเรียกว่า วงจรเข้ารหัสเช่นเดียวกัน ในที่นี้จะยกตัวอย่าง วงจรเข้ารหัสที่ทำหน้าที่แปลงเลขฐานสิบให้เป็นเลขฐานสอง ซึ่งเป็นวงจรพื้นฐานที่สามรถทำความเข้าใจได้ง่าย ดังแสดงในรูปที่ 4.1

<u>การทำงานของวงจร</u>

จากวงจรสถานะปกติทางอินพุทจะเป็นลอจิก “1” ขณะกดสวิทช์จะทำให้อินพุทเป็นลอจิก ‘0’ ส่วนทางด้านเอาท์พุทก็เช่นเดียวกันสถานะปกติจะเป็นลอจิก “0”แต่ขณะกดสวิทช์เอาท์พุทจะเป็นลอจิก “1” หรือ “0” นั้นขึ้นอยู่กับว่ากดสวิทช์อันไหน ส่วนเอาท์พุทคีย์สโตรบ (Key Strobe) จะทำหน้าที่ในการผลิตสัญญาณพัลส์ทุกๆครั้งที่กดสวิทช์ และใช้เป็นตัวควบคุมวงจร ที่ต่อจากวงจรเข้ารหัสให้รับหรือเก็บสัญญาณที่ได้จากเอาท์พุท A,B,C และ D นอกจากนี้ยังมีหน้าที่อีกอย่างหนึ่ง คือจะป้องกันไม่ให้วงจรที่ต่อจากวงจรเข้ารหัสนั้นรับสัญญาณใหม่อีกหลังจากกดสวิทช์ตัวใดไปแล้วและยังคงถูกกดอยู่ โดยปกติวงจรที่ต่อจากวงจรเข้ารหัส จะใช้ดีฟลิปฟลอป (D- Flipflop) ต่อเป็นตัวเก็บสัญญาณอีกขั้นตอนหนึ่งแล้วใช้เอาท์พุทคีย์สโตรบต่อผ่านวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์เข้าไปยังอินพุทคล็อค (Clock) ของดีฟลิปฟลอป ดังแสดงในรูปที่ 4.2 การทำงานของวงจรรูปที่ 4.1 จะเป็นไปตามตารางที่ 4.1

วงจรเข้ารหัสดังรูปที่ 4.1 ในบางครั้งอาจจะใช้วงจรไดโอดเมตริกซ์ต่อกันตามรูปที่ 4.3 ก็เป็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

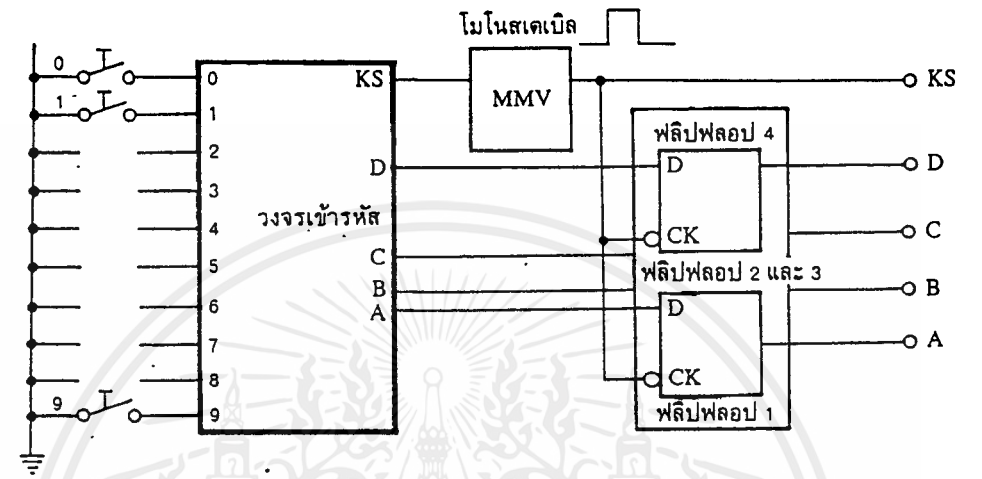


รูปที่ 4.1 แสดงวงจรเข้ารหัสแปลงรหัสจากเลขฐานสิบเป็นรหัสบีซีดี

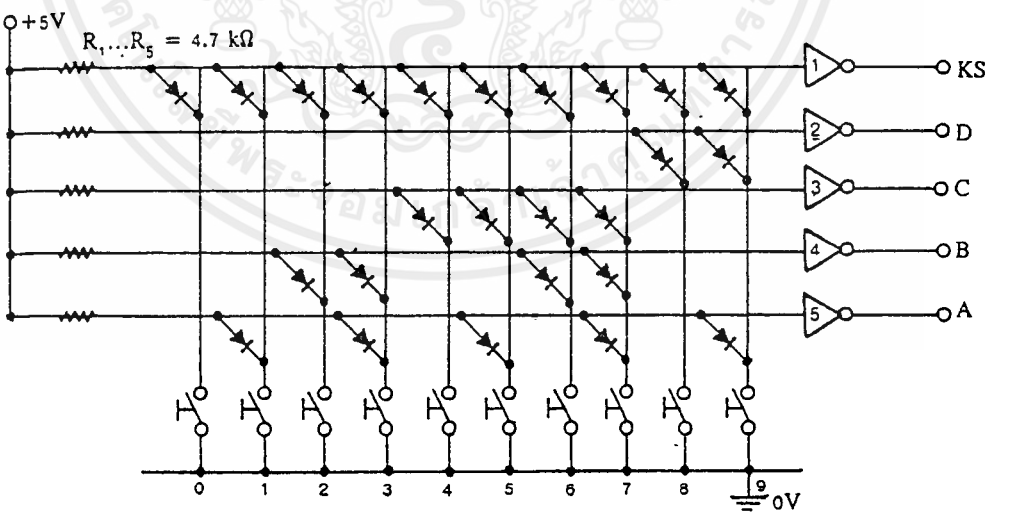
ตารางที่ 4.1 ตารางความจริงของวงจรควบคุมเอาท์พุทของวงจรเข้ารหัสเบื้องต้น

อินพุต	คีย์สโตรบ	เอาต์พุต			
		D	C	B	A
N	0	0	0	0	0
$\overline{0}$	1	0	0	0	0
$\overline{1}$	1	0	0	0	1
$\overline{2}$	1	0	0	1	0
$\overline{3}$	1	0	0	1	1
$\overline{4}$	1	0	1	0	0
$\overline{5}$	1	0	1	0	1
$\overline{6}$	1	0	1	1	0
$\overline{7}$	1	0	1	1	1
$\overline{8}$	1	1	0	0	0
$\overline{9}$	1	1	0	0	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงการต่อวงจรควบคุมเอาท์พุทของวงจรเข้ารหัสเบื้องต้น



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรไดโอดเมตริกซ์ที่ต่อกันเป็นวงจรเข้ารหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

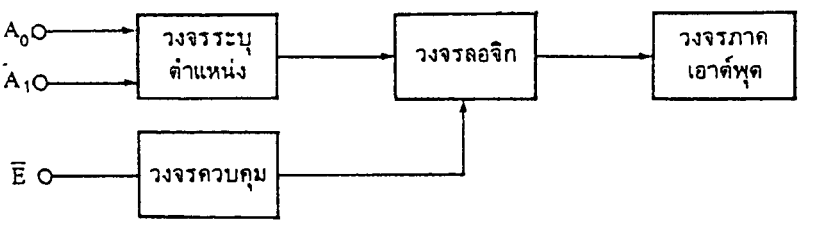
<u>การทำงานของวงจร</u>

จากวงจรรูปที่ 4.3 ถ้าต่อไดโอดดังแสดงในรูปจะเห็นว่าที่อินพุทของอินเวอร์เตอร์ที่ให้เอาท์พุทเป็นคีย์สโตรบจะมีไดโอดต่ออยู่กับสวิทซ์ทั้งหมด 10 ตัว ซึ่งทำหน้าที่เหมือนกับเกตแนนด์ 10 อินพุทในรูปที่ 4.1 ส่วนไดโอดตัวอื่นๆ จะต่อกับสวิทซ์เพื่อที่จะให้ได้รหัสบีซีดีที่เอาท์พุท A, B, C และ D ตามตารางที่ 4.1 ขณะที่กดสวิทซ์อันใดอันหนึ่ง เช่นกดสวิทซ์ 1 จะมีไดโอด 2 ตัวนำกระแส คือ ไดโอดที่ต่อมาจาก R_1 และ R_5 กับสวิทซ์ 1 ขณะนี้จะทำให้อินพุทของอินเวอร์เตอร์เกตตัวที่ 1 และ 5 เป็นลอจิก "0" และได้เอาท์พุท KS และ A เป็นลอจิก "1" หรือถ้ากดสวิทซ์อันอื่น การทำงานของวงจรจะเป็นไปตามตารางที่ 4.1วงจรนี้ให้เอาท์พุเหมือนวงจรรูปที่ 4.1 และได้เอาท์พุทเป็นรหัสบีซีดีตามที่ต้องการ

4.2 วงจรถอดรหัส

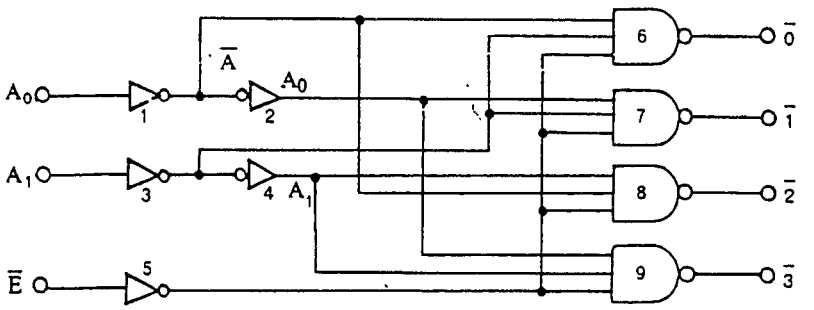
วงจรถอดรหัสหรืออาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า " วงจรดีโคดเดอร์ " โดยปกติจะให้สัญญาณเอาท์พุทมีคุณสมบัติเฉพาะตัว เช่นวงจรแปลงรหัสบีซีดีเป็นรหัสเกิน 3 เอาท์พุทที่ได้ก็จะเป็นไปตามรหัสเกิน 3 หรือถ้าหากต้องการแสดงผลเอาท์พุทออกมาเป็นตัวเลขก็จะต้องมี วงจรถอดรหัสเปลี่ยนรหัสบีซีดีหรือรหัสอย่างอื่น เพื่อที่จะขับหลอดหรือแอลอีดี 7 ส่วน เอาท์พุทของวงจรจะถูกออกแบบให้เลือกได้ว่าต้องการให้ส่วนใดของแอลอีดี 7 ส่วน ติดสว่างหรือดับเหล่านี้เป็นต้น ในที่นี้จะกล่าวถึง วงจรพื้นฐานเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาระดับสูงขึ้นดังต่อไปนี้

วงจรถอดรหัส 2 ออก 4 วงจรถอดรหัสที่ง่ายต่อการเข้าใจวงจรนี้ คือไอซีเบอร์ 9321 ซึ่งเป็น Dual 2 - line - to - 4 - line Decoder / Demultiplexer ซึ่งถ้าเขียนเป็นแผนผัง เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจเขียนได้ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และเขียนเป็นวงจรเกตดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.4 แสดงแผนผังของวงจรถอดรหัส 2 ออก 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงวงจนถอดรหัส 2 ออก 4

ตารางที่ 4.2 ตารางความจริงของวงจรถอดรหัส 2 ออก 4

ลำดับที่	อินพุต			เกตภายใน									เอาต์พุต			
	$\overline{E}$	A_1	A_0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	$\overline{0}$	$\overline{1}$	$\overline{2}$	$\overline{3}$
1	1	X	X						1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1
3	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1
4	0	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
5	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0

<u>การทำงานของวงจร</u>

จากวงจรจะมีอินพุทที่ป้อนสัญญาณโดยตรง 2 อินพุท คือ A_0 และ A_1 และยังมีอินพุทควบคุมอีก 1 อินพุท E ซึ่งอินพุทนี้จะควบคุมให้วงจรทำงาน หรือไม่ทำงานก็ได้ โดย A_0 และA_1 เป็นอินพุทที่รับสัญญาณมาจากวงจรอื่นๆ ที่ต้องการ อินพุท A_0 และ A_1 นี้ อาจจะอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่ง คือ 00 01 10 11 และเอาท์พุทจะเปลี่ยนรหัสนี้ออกมาเป็น 0,1,2 หรือ 3 ตามสัญญาณอินพุท ถ้าพิจารณาจะเห็นว่า วงจรนี้จะต้องประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 4 ส่วนตามแผนผัง คือ

1. วงจรระบุตำแหน่ง (input address circiut)
2. วงจรควบคุม (control circuit)
3. วงจรลอจิก (logic circuit)
4. วงจรภาคเอาท์พุท (output circuit)

จากวงจรนี้เราจะเห็นว่า เกต 1 ถึง 4 ในรูปที่ 4.5 คือวงจรระบุตำแหน่ง เกต 5 คือวงจรควบคุม ส่วน เกต 6-9 คือวงจรลอจิก และในที่นี้ยังเป็นวงจรภาคเอาท์พุทอีกด้วย (ในวงจรอื่นอาจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเอาสัญญาณที่ได้จากเอาท์พุทนี้ไปควบคุมภาคเอาท์พุทอีกต่อหนึ่งก็เป็นได้) ในภาคอินพุท A_0 จะป้อนสัญญาณเข้าเกต 1 และได้ A_0 ป้อนเข้าเกต 2 , 6 และ 8 ขณะเดียวกัน A_0 จะถูกต่อผ่านเกต 2 เพื่อให้ได้ A_0 อย่างเดิมไปยังเกต 7 และ 9 ส่วนวงจรควบคุมในที่นี้มีเพียงเกต 5 ตัวเดียว ซึ่ง

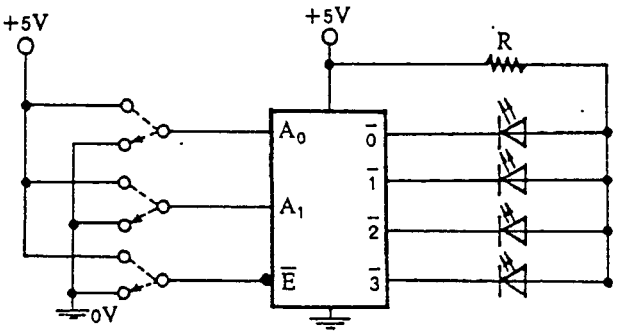
ถ้า E เท่ากับ " 1 " เอาท์พุทเกต 5 จะเป็น " 0 " แล้วทำให้เอาท์พุทเกต 6 - 9 เป็น "1" และขณะนี้เอาท์พุทจะไม่แปรตามสัญญาณอินพุท A_0 และ A_1 ดังนั้นถ้าต้องการให้วงจรทำงานตามปกติ (ในขณะใช้งาน) จะต้องให้อินพุท E เป็น "0" ได้เอาท์พุทของเกต 5 เป็นลอจิก "1" เกต 6-9 จะแปรตามอินพุท A_0 และ A_1 ซึ่งจะดูรายละเอียดการทำงานของวงจรลำดับที่ 1 ถึง 5 ในตารางที่ 4.2 การทำงานลำดับที่ 2 นั้ ขณะ $A_0 = A_1 = 0$ และ E = 0 ทำให้เกต 6 ได้รับลอจิก "1" ทุกอินพุท เอาท์พุท 0 จะเป็น "0" ส่วนเกต 8 มีอินพุทขาบนเป็น "0" เกต 7 - 9 มีถึง 2 อินพุทที่เป็น "0" ทำให้เอาท์พุทของเกต 7 ถึง 9 ยังคงเป็น "1" ลำดับที่ 4 และ 5 ก็ทำงานคล้ายๆ กัน ดูรายละเอียดได้จากตารางความจริงตารางที่ 4.2

จากการทำงานทั้งหมดที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น สามารถเขียนเป็นตารางความเป็นจริงอย่างย่อได้แสดงในตารางที่ 4.3 โดยคำนึงถึงเฉพาะอินพุทและเอาท์พุท ส่วนรูปที่ 4.6 แสดงวงจรทดสอบการทำงานของวงจรถอดรหัส

ตารางที่ 4.3 ตารางความจริงอย่างย่อของวงจรถอดรหัส 2 ออก 4

อินพุต			เอาต์พุต
$\overline{E}$	A_1	A_0	
0	0	0	$\overline{0}$
0	0	1	$\overline{1}$
0	1	0	$\overline{2}$
0	1	1	$\overline{3}$

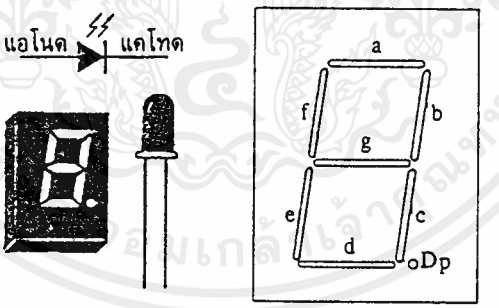
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงวงจรทดสอบเอาท์พุทของวงจรถอดรหัสเบอร์ 74139

จากวงจรพื้นฐานที่กล่าวมายังมีไอซีถอดรหัสแบบอื่นๆ ที่นิยมนำมาใช้งานกันมากขึ้น การถอดรหัสตำแหน่งหน่วยความจำหรือถอดรหัสตำแหน่งของพอร์ต ในระบบเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เช่น เบอร์ 74LS138 ทำหน้าที่เป็นวงจรถอดรหัส 3 ออก 8 เบอร์ 74156 ทำหน้าที่เป็นวงจรถอดรหัส 2 ออก 4

วงจรถอดรหัสแอลอีดี 7 ส่วน ก่อนที่จะทำความเข้าใจวงจรถอดรหัสแอลอีดี 7 ส่วน จะต้องทำความเข้าใจแอลอีดี 7 ส่วนเสียก่อน แอลอีดี 7 ส่วนนั้นประกอบด้วยแอลอีดี 7 ตัว ซึ่งวางประกอบกันดังแสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งสามารถแสดงเลขอาราบิกจาก 0 ถึง 9 ได้แอลอีดีแต่ละส่วนนั้นจะใช้ตัอักษร a ถึง g เรียกชื่อเป็นตำแหน่งแทน



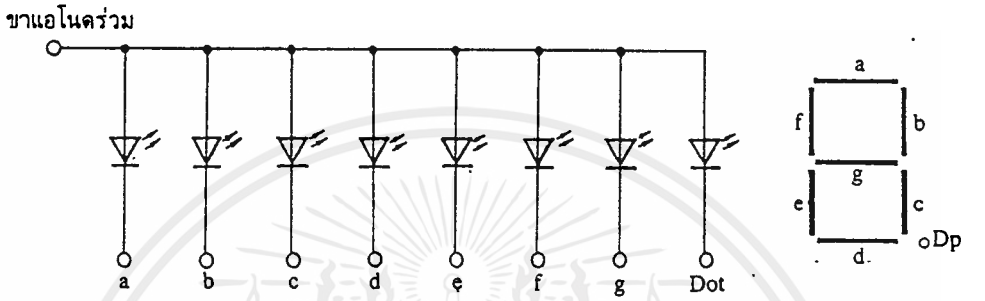
รูปที่ 4.7 แสดงแอลอีดี 7 ส่วน

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าถ้าต้องการให้แอลอีดี 7 ส่วน แสดงเลข 7 จะต้องให้แอลอีดี a, b และ c ติดสว่างส่วนที่เหลือนอกนั้นจะต้องดับหมด หรือถ้าต้องการให้แสดงเลข 0 จะต้องให้แอลอีดี a, b, c, d, e, และ f ติดสว่างยกเว้นแอลอีดี g เท่านั้นที่จะต้องดับ ซึ่งการควบคุมการติดหรือดับของแอลอีดีแต่ละส่วนจะควบคุมโดยวงจรลอจิกหรือวงจรถอดรหัสนั่นเอง ขั้นแรกควรทำความเข้าใจการต่อแอลอีดี 7 ส่วนก่อน ซึ่งปกติโดยทั่วๆไปถูกต่อเป็น 2 แบบ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การต่อแบบแอโนดร่วม

แอลอีดี 7 ส่วนนี้ จะถูกต่อขั้วแอโนดของแต่ละส่วนร่วมกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.8

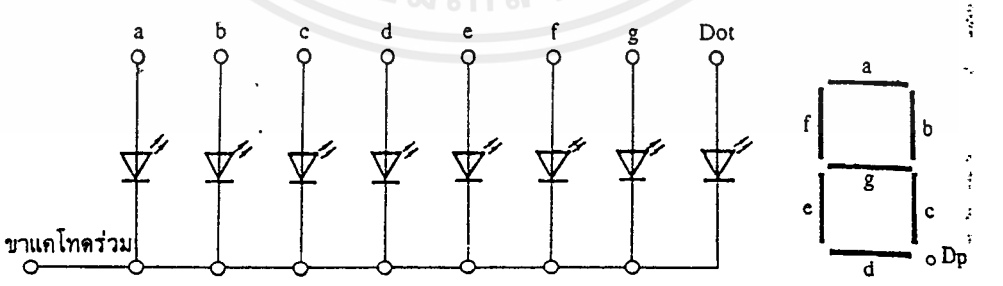


รูปที่ 4.8 แสดงแอลอีดี 7 ส่วนต่อกันเป็นแบบแอโนดร่วม

ถ้าแอลอีดี 7 ส่วนต่อแบบแอโนดร่วมขณะนำมาต่อกับวงจรถอดรหัสแอลอีดี 7 ส่วน จะต้องเลือกต่อกับวงจรถอดรหัสแบบเอาท์พุทให้ลอจิกต่ำ วงจรจึงทำงานได้ถูกต้อง

การต่อแบบแคโทดร่วม

แอลอีดี 7 ส่วนแบบนี้จะต่อขั้วแคโทดร่วมกันดังแสดงในรูปที่ 4.9 และถ้าต้องการนำมาใช้กับวงจรถอดรหัส จะต้องต่อกับวงจรที่เอาท์พุทให้ลอจิกสูง ขณะต้องการแสดงผล



รูปที่ 4.9 แสดงแอลอีดี 7 ส่วนต่อกันเป็นแบบแคโทดร่วม

<u>การทำงานของวงจร</u>

วงจรพื้นฐานของวงจรถอดรหัสนั้นแสดงในรูปที่ 4.10 พร้อมตารางความจริงของวงจร (ตารางที่ 4.4) จากรูปที่ 4.10 อินพุท A, B, C และ D เป็นอินพุทที่ป้อนรหัสบีซีดีและยังมีอินพุท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมคือ แบลกิ้งอินพุท (Blaking input หรือ BI) ขณะที่ BI = "1 " เกต 5 จะได้เอาท์พุทเป็น "1" ทำให้เกตแนนด์ 6 - 9 ทางด้านอินพุทถูกควบคุมจากอินพุทนี้ทุกๆ ตัว เพราะมีอินพุทขั้วที่ต่อมาจากเกต 5 ทำให้เอาท์พุทของเกตแนนด์แปรตามอินพุท A - D

ถ้าหากสัญญาณทางด้านอินพุทเปลี่ยนไปจะทำให้เอาท์พุทแปรไปตามตารางที่ 4.4 ซึ่งในตารางลำดับก่อนสุดท้ายถ้า BI เป็น "0" จะได้เอาท์พุทเป็นลอจิก "1" ทั้งหมด ดังนั้นอินพุท BI จึงเป็นอินพุทที่สามารถควบคุมเอาท์พุททั้งหมดได้ การใช้งานก็อาจจะต่ออินพุทนี้กับ วงจรมัลติไวเบรเตอร์ ที่ความถี่ตั้งแต่ 30 เฮิรตซ์ขึ้นไป และปรับความถี่ได้เพื่อปรับความสว่างของหลอดหรือแอลอีดี ซึ่งเป็นการยืดอายุการใช้งานของแอลอีดี

ในบางครั้งวงจรที่ใช้งานจริง ประกอบด้วยแอลอีดี 7 ส่วนหลายตัว ถ้าหากการแสดงผลของแอลอีดีเหล่านั้น ไม่เป็นไปตามรหัสที่ป้อนเข้ามาทางอินพุทของวงจร สาเหตุอันนั้นเนื่องมาจากตัวแอลอีดี 7 ส่วน มีส่วนหนึ่งส่วนใดเสีย เพื่อสะดวกในการตรวจซ่อมจึงจำเป็นต้องมีขั้วสำหรับทดสอบแอลอีดี 7 ส่วน เรียกว่า แลมป์เทสต์ (lamp test หรือ LT) ขาควบคุมที่สำคัญมีดังนี้

1. ขาควบคุมความสว่าง (BI / RBO)
2. ขาทดสอลหลอดหรือแอลอีดี
3. ขาควบคุมการติดดับของหลอดหรือแอลอีดี (RBI)

ตารางที่ 4.4 ตารางความจริงของวงจรถอดรหัสที่มีวงจรทดสอบแอลอีดี

เลขฐานสิบ	อินพุต							เอาต์พุต						
	LT	RBI	D	C	B	A	BI/RBO	a	b	c	d	e	f	g
0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1	1	X	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
2	1	X	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
3	1	X	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0
4	1	X	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
5	1	X	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0
6	1	X	0	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
7	1	X	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1
8	1	X	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	1	X	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0
10	1	X	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0
11	1	X	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0
12	1	X	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0
13	1	X	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0
14	1	X	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
15	1	X	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BI	X	X	X	X	X	X	0	1	1	1	1	1	1	1
RBI	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
LT	0	X	X	X	X	X	1	0	0	0	0	0	0	0

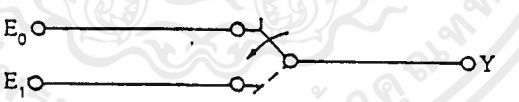
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น รวมทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 วงจรมัลติเพลกเซอร์และดีมัลติเพลกเซอร์

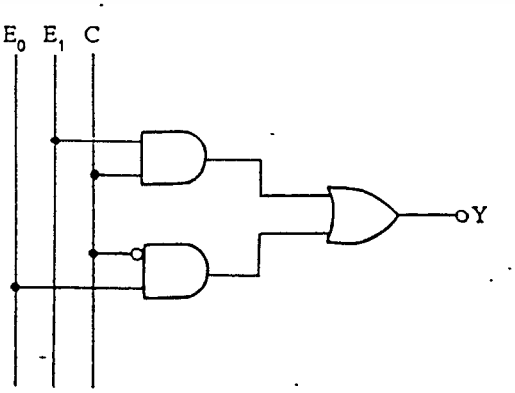
5.1 วงจรมัลติเพลกเซอร์

วงจรมัลติเพลกเซอร์หรือโดยทั่วๆไปมักเรียกวงจรนี้ว่าวงจรเลือกข้อมูล ซึ่งวงจรนี้อาจใช้แทนสวิทซ์เลือก วงจรจะประกอบด้วยอินพุทจำนวนหลายๆ อินพุท แต่มีเอาท์พุทเดียว ข้อมูลจากอินพุทจะส่งมายังเอาท์พุทเพียงข้อมูลเดียวที่เวลาใดเวลาหนึ่ง และขณะนี้ข้อมูลจากอินพุทอื่นๆ ไม่สามารถส่งมาแสดงผลที่เอาท์พุทได้เลย ข้อมูลอินพุทผ่านมายังเอาท์พุทได้ทุกๆ ข้อมูล แต่ต้องไม่ใช่ในเวลาเดียวกันกับข้อมูลแรก ซึ่งวงจรนี้เหมาะที่จะนำมาใช้ส่งข้อมูลในระบบคอมพิวเตอร์ หรือส่งสัญญาณในวงจรควบคุมใดๆ ก็ได้ ข้อดีของวงจรนี้ คือสัญญาณข้อมูลจะถูกส่งไปยังเอาท์พุทหรือวงจรถัดไปไม่พร้อมกัน สามารถลดจำนวนสายส่งข้อมูลลงไปได้มาก ซึ่งมีวงจรพื้นฐานดังนี้

วงจรมัลติเพลกเซอร์ 2 ออก 1 ในวงจรนี้สามารถนำมาใช้แทนสวิทซ์เลือก 2 อินพุทได้ โดยสามารถรับเอาสัญญาณอินพุทใดอินพุทหนึ่งมายังเอาท์พุทซึ่งมีเพียงเอาท์พุทเดียว การเลือกตำแหน่งสวิทซ์ทำได้โดยใช้ขั้วควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงวงจรมัลติเพลกเซอร์ 2 ออก 1



รูปที่ 5.1 (ต่อ) แสดงวงจรมัลติเพลกเซอร์ 2 ออก 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.1 ตารางความจริงของวงจรมัลติเพลกเซอร์ 2 ออก 1

อินพุต			เอาต์พุต
C	E_0	E_1	Y
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

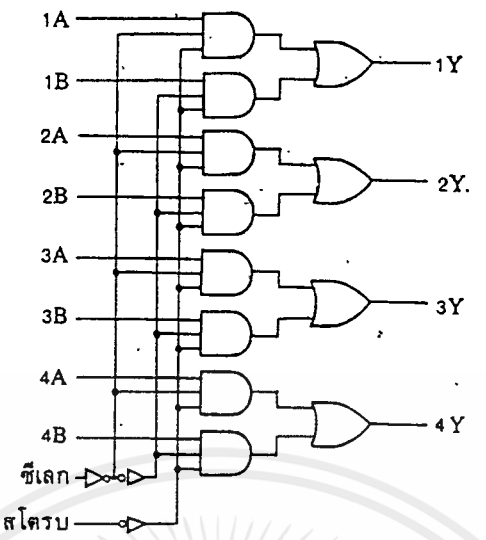
ตารางที่ 5.2 ตารางความจริงอย่างย่อของวงจรมัลติเพลกเซอร์ 2 ออก 1

C	Y
0	E_0
1	E_1

<u>การทำงานของวงจร</u>

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นว่า ถ้ามี 2 อินพุทจะใช้อินพุทควบคุมเพียงอินพุทเดียวก็พอ ในที่นี้คือ C จำนวนอินพุทควบคุมจะเป็นตัวกำหนดอินพุทของวงจรมัลติเพลกเซอร์ โดยใช้กฎ $2^n = N$ กำหนดให้ n คือ จำนวนอินพุทควบคุม และ N คือจำนวนอินพุทที่เป็นไปได้ของวงจรมัลติเพลกเซอร์ เช่น ในรูปที่ 5.1 มีอินพุทควบคุมตำแหน่งของสวิทซ์เพียงอินพุทเดียว ดังนั้น จำนวนอินพุทข้อมูลที่เป็นไปได้คือ $2^1 = 2$ ได้แก่ E_0 และ E_1 ดังแสดงในรูปที่ 5.1 ถ้าอินพุทที่ควบคุมเป็นลอจิก "0" เอาท์พุท Y จะแปรตามอินพุท E_0 (อาจจะเป็น "1" หรือ "0" ก็ได้) โดยขณะนี้ E_1 ไม่มีผลต่อเอาท์พุทเลย ตรงกันข้ามถ้าหากขณะใดป้อนอินพุทควบคุม C ให้เป็นลอจิก "1" เอาท์พุท Y จะแปรตาม E_1 ทันที ดูรายละเอียดได้จากตารางความจริงตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2 ตัวอย่างไอซีที่ทำหน้าที่ในลักษณะดังกล่าว เช่น เบอร์ 74157 เป็น Quadruple 2 - line -to - data selector / multiplexer ซึ่งจะมีขั้วสโตรบและซีเลกเป็นขาควบคุม การทำงานของวงจรดังแสดงการจัดขาในรูปที่ 5.2 และตารางความจริงตารางที่ 5.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

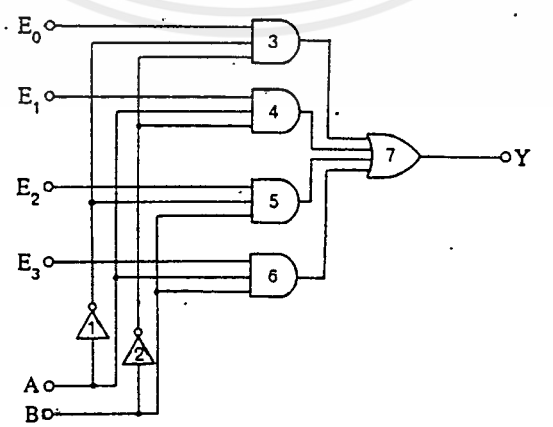


รูปที่ 5.2 แสดงไอซีเบอร์ 74157

ตารางที่ 5.3 ตารางความจริงของไอซี เบอร์ 74157

สโตรบ	อินพุต			เอาต์พุต
	ซีเลก	A	B	Y
H	X	X	X	L
L	L	L	X	L
L	L	H	X	H
L	H	X	L	L
L	H	X	H	H

วงจรมัลติเพลกเซอร์แบบ 4 ออก 1



รูปที่ 5.3 แสดงวงจรมัลติเพลกเซอร์แบบ 4 ออก 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 ตารางความจริงของวงจรมัลติเพลกเซอร์แบบ 4 ออก 1

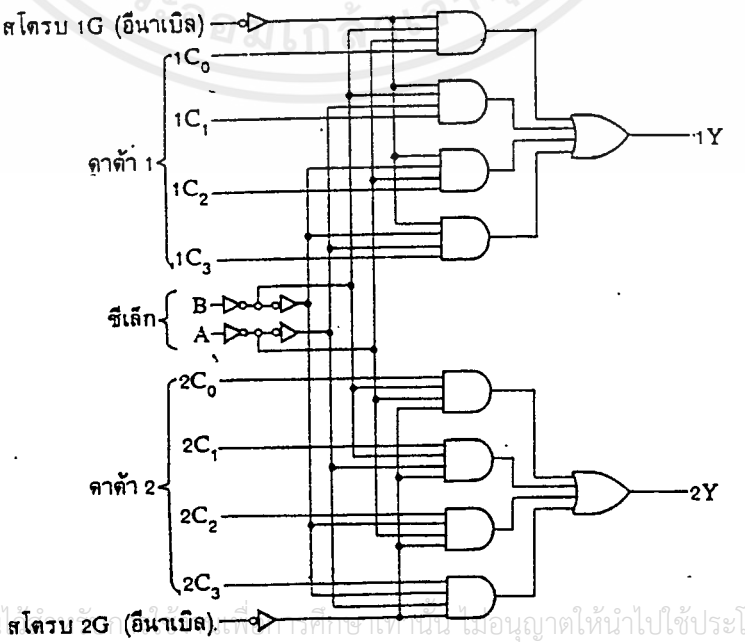
ลำดับที่	อินพุตควบคุม		เอาต์พุต
	B	A	Y
1	0	0	E_0
2	0	1	E_1
3	1	0	E_2
4	1	1	E_3

<u>การทำงานของวงจร</u>

จากวงจรรูปที่ 5.3 และตารางที่ 5.4 ลำดับที่ 1 ถ้าป้อนอินพุทควบคุมตำแหน่งสวิทช์ (address) A และ B ด้วยลอจิก "0" ทั้งคู่ทำให้เอาท์พุทของเกต 1 และ 2 เป็นลอจิก "1" ดังนั้นเอาท์พุทจะแปรตาม E_0 เป็น "0" เอาท์พุท Y ก็จะเป็น "0" ถ้าอินพุท E_0 เป็น "1" เอาท์พุท Y ก็จะเป็น "1" ส่วนอินพุท E_1 ถึง E_3 นั้นจะไม่มีผลต่อเอาท์พุท Y เลยแม้ว่าอินพุทจะเป็นอย่างไรก็ตาม

ในลำดับที่ 2 ถึง 4 มีลักษณะการทำงานในทำนองเดียวกัน เพียงแต่เอาท์พุทจะแปรตามอินพุท E_1 ถึง E_3 ถ้าหากป้อนอินพุทควบคุม A และ B เป็นตารางความจริงตารางที่ 5.4

ส่วนไอซีที่ทำหน้าที่เป็นวงจรเลือกข้อมูล 4 ออก 1 นั้น เช่น เบอร์ 74153 เป็น Daul 4 - line - to - 1 - Data Selector / Multiplexer มีขั้วควบคุมเพิ่มเติมจากที่กล่าวมาแล้ว คือ สโตรบ ทำหน้าที่บังคับให้วงจรทั้งหมดทำงานหรือไม่ก็ได้ ดังแสดงการจัดขาดังรูปที่ 5.4 และตารางความจริงที่ 5.5 หรือเบอร์อื่นๆ เช่น เบอร์ 74253 เบอร์ 74353



รูปที่ 5.4 แสดงไอซีเบอร์ 74153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

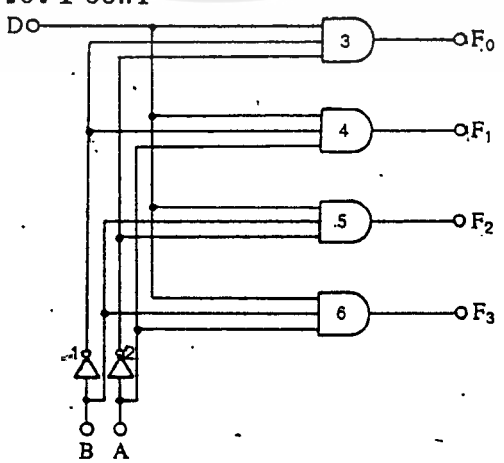
ตารางที่ 5.5 ตารางความจริงของไอซี เบอร์ 74153

อินพุตเลือกข้อมูล		อินพุตข้อมูล				สโตรบ	เอาต์พุต
B	A	C_0	C_1	C_2	C_3	G	Y
X	X	X	X	X	X	H	L
L	L	L	X	X	X	L	L
L	L	H	X	X	X	L	H
L	H	X	L	X	X	L	L
L	H	X	H	X	X	L	H
H	L	X	X	L	X	L	L
H	L	X	X	H	X	L	H
H	H	X	X	X	L	L	L
H	H	X	X	X	H	L	H

5.2 วงจรดีมัลติเพลกเซอร์

วงจรดีมัลติเพลกเซอร์เป็นวงจรกระจายข้อมูล ซึ่งทำงานตรงกันข้ามกับวงจรมัลติเพลกเซอร์ หมายถึงการต่ออินพุทเพียงอินพุทเดียวเป็นอินพุทรับข้อมูลเข้า แต่มีเอาท์พุทหลายๆ เอาท์พุทสำหรับส่งข้อมูลออก สัญญาณจากอินพุทจะส่งไปยังเอาท์พุทได้เพียงเอาท์พุทเดียวใน ขณะเวลาใดเวลาหนึ่ง และสัญญาณจไม่มีโอกาสที่จะออกไปยังเอาท์พุทพร้อมกันทุกๆ เอาท์พุท การที่จะให้สัญญาณไปออกที่เอาท์พุทใดนั้น จะมีชุดควบคุมตำแหน่งสวิทช์ (address) เป็นตัวกำหนด ซึ่งโดยทั่วๆ ไป จะใช้รหัสเลขฐานสองควบคุมตำแหน่งของสวิทช์ ส่วนลักษณะของวงจรนั้นเหมือนกับวงจรถอดรหัส เพียงแต่มีการเพิ่มอินพุทข้อมูล (data) และอาจจะมีอินพุทอีนาเบิล (enable) ควบคุมการทำงานของวงจรทั้งหมดด้วย มีวงจรพื้นฐานดังจะกล่าวต่อไปนี้

วงจรดีมัลติเพลกเซอร์ 1 ออก4



รูปที่ 5.7 แสดงวงจรดีมัลติเพลกเซอร์ 1 ออก 4 เบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.7 ตารางความจริงของวงจรดีมัลติเพลกเซอร์ 1 ออก 4

ลำดับที่	อินพุตควบคุม		เอาต์พุต			
	B	A	F_0	F_1	F_2	F_3
1	0	1	D	0	0	0
2	0	1	0	D	0	0
3	1	0	0	0	D	0
4	1	1	0	0	0	D

การทำงานของวงจร

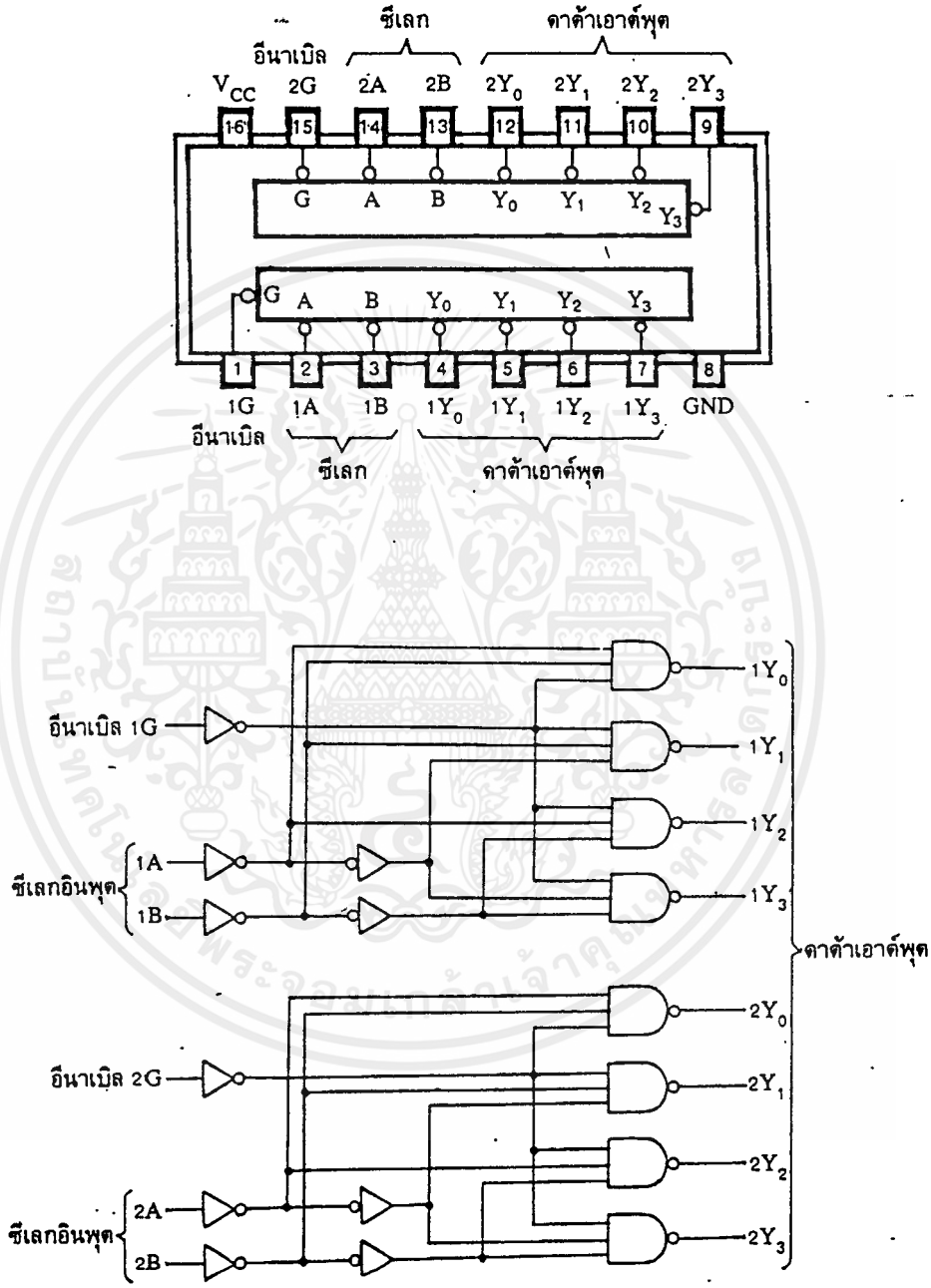
จากวงจรรูปที่ 5.7 และตารางที่ 5.7 ลำดับที่ 1 ขณะป้อนสัญญาณที่อินพุทควบคุมตำแหน่งสวิทช์ (address) A = B เอาท์พุทของเกต 1 และ 2 จะเป็นลอจิก "1" ซึ่งขณะนี้เอาท์พุท F_0 จะแปรตามอินพุท D ถ้า D = "1" เอาท์พุท F_0 = "1" ส่วนเอาท์พุท F_1 ถึง F_3 จะได้ลอจิก "0" ทุกๆ เอาท์พุท ไม่ว่าข้อมูลอินพุทจะเป็นอย่างไรก็ตาม เพราะเกตแอนด์ 4 ถึง 6 จะมี "0" ที่อินพุทที่ต่อตรงมาจากอินพุทควบคุม A และ B ทำให้เอาท์พุทที่เป็น "0" วงจรนี้อาจใช้เป็นวงจรถอดรหัสได้ โดยการป้อนข้อมูลอินพุทเป็นลอจิก "1" ตลอดเวลา

วงจรดีมัลติเพลกเซอร์นี้อาจใช้ร่วมกับวงจรมัลติเพลกเซอร์ 4 ออก 1 ในการส่งถ่ายสัญญาณข้อมูลจากที่แห่งหนึ่งไปยังที่อีกแห่งหนึ่ง โดยใช้วงจรมัลติเพลกเซอร์เป็นตัวส่ง และ วงจรดีมัลติเพลกเซอร์เป็นตัวรับข้อมูล ซึ่งในการส่งถ่ายข้อมูลแบบนี้จะประหยัดสายในการส่งถ่ายข้อมูลได้มาก

หากเข้าใจวงจรพื้นฐานที่ได้กล่าวมาแล้ว และต้องการจะนำวงจรนี้ไปประยุกต์ใช้งานจริง จำเป็นต้องศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับรายละเอียดของวงจร และหน้าที่การทำงานจากหนังสือคู่มือไอซี ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างไอซีที่ทำหน้าที่ดังกล่าวแล้ว เช่น เบอร์ 74139 ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใ ช้เป็นวงจรดีมัลติเพลกเซอร์ 1 ออก 4 ได้ ดังแสดงวงจรและการจัดขาดังรูปที่ 5.8 และตารางความจริงที่ 5.8

นอกจากนี้ยังมีไอซีเบอร์อื่นๆ เช่น เบอร์ 74155 เป็นวงจรดีมัลติเพลกเซอร์ (Dual 2 - line - to - 4- line Decoder / Demultiplexer) ไอซีเบอร์นี้ยังสามารถประยุกต์เป็นดีมัลติเพลกเซอร์แบบ 1 ออก 8 ได้ด้วย หรือ เบอร์ 74155 ทำหน้าที่เหมือนกันต่างกันเพียงวงจรภาคเอาท์พุทของไอซีเบอร์นี้เป็นแบบคอลเลคเตอร์เปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงไอซีเบอร์ 74139

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

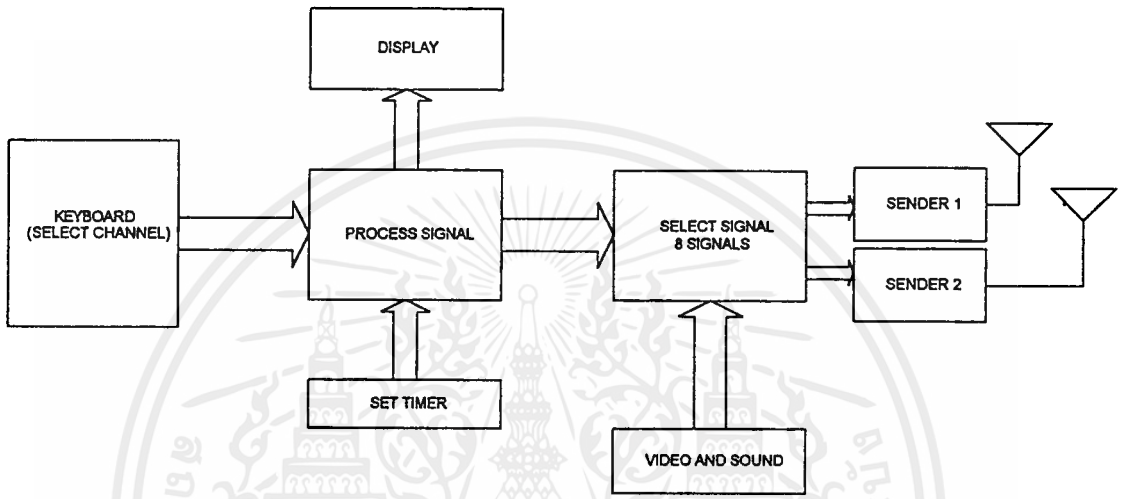
ตารางที่ 5.8 ตารางความจริงของไอซีเบอร์ 74139

อินพุต			เอาต์พุต			
ขาควบคุม	ขั้วเลือกตำแหน่ง					
G	B	A	Y_0	Y_1	Y_2	Y_3
H	X	X	H	H	H	H
L	L	L	L	H	H	H
L	L	H	H	L	H	H
L	H	L	H	H	L	H
L	H	H	H	H	H	L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6 การสร้างและการออกแบบ

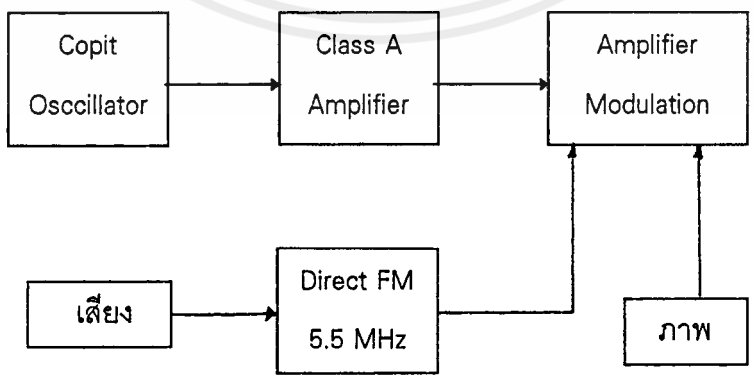
บล็อกไดอะแกรมของโครงงาน



รูปที่ 6.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโครงงาน

จากรูปที่ 6.1 สามารถแบ่งการทำงานของวงจรได้ดังนี้ คือ

6.1 ภาคเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ



รูปที่ 6.2 แสดงบล็อกไดแกรมของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของบล็อกเครื่องส่งสัญญาณวิดีโอ

เราแบ่งการทำงานของวงจรออกเป็น 4 ภาค คือ

1. ภาค Oscillator เพื่อกำเนิดสัญญาณพาหะของภาพ โดยใช้ Oscillator แบบ Copit สร้างสัญญาณความถี่ประมาณ 240 Mhz ซึ่งส่วนที่เรานำไปใช้คือฮาร์โมนิกที่ 2 ซึ่งมีความถี่ ประมาณ 440 Mhz

2. ภาคขยายสัญญาณ เป็นวงจรชนิด Class A โดยมี L_2 เป็น RF Choke และขยาย ฮาร์โมนิกที่ 2 ให้มีค่ามากๆ ซึ่งอาจจะมีความถี่พอๆกับ Fundamental ฮาร์โมนิก

3. ภาค FM Modulation ภาคนี้ใช้ Mod เสียง ซึ่งวงจรเป็นแบบ Voltage Control Reactance ซึ่งให้ความถี่กลางประมาณ 5.5 Mhz ความถี่นี้เป็นมาตราฐานในการส่งสัญญาณโทรทัศน์ในระบบ PAL ซึ่งนิยมใช้ในประเทศไทย

4. ภาค AM Modulation เป็นภาคที่นำสัญญาณเสียงที่ผ่านการ Mod แล้วมารวมกับ Carrier ย่าน UHF แล้วทำการ Mod แบบ AM แล้วส่งสัญญาณออกอากาศ

เนื่องจากภาค Oscillator และ ภาค Amplifier ต้องการเสถียรภาพสูง ดังนั้นไฟเลี้ยงจึงต้องทำการ Regulate ให้เรียบไม่มีสัญญาณรบกวน

6.1.1 <u>อธิบายการทำงานของวงจรของเครื่องส่งวิดีโอ</u> ดังรูปที่ 6.3

จากรูปที่ 7.3 วงจรจะมีวงจรกำเนิดความถี่แบบ LC ชนิดกราวด์-เบสคอลฟีตส์ โดยมี L1 กับทริมเมอร์ C4 ประกอบกันเป็นวงจรจูนทางเอาท์พุตสำหรับปรับความถี่คลื่นพาหะภาพให้ได้ตามต้องการในช่วง 450-550 Mhz โดยมี R1, R2, R3 เป็นวงจรไบอัสให้กับ Q1 มี C1 ทำหน้าที่ตัดความถี่สูงที่ขาเบส C2 กับ C3 ต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันกำหนดอัตราส่วนของสัญญาที่จะทำการป้อนกลับจากCollectorมายังEmitterของQ1ดังนั้นC3 จึงไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุดังเช่นกรณีทั่ว ๆ ไป

ความถี่ที่กำเนิดได้นี้จะถูกส่งไปขยายให้มีความแรงขึ้น โดยผ่านตัวเก็บประจุคัปปลิ้ง C5 ไปยัง Q2 ซึ่งต่อเป็นวงจรขยายสัญญาณ R4, R5, R6 เป็นวงจรจัดไบอัสให้กับ Q2 โดยมี C6 เป็นตัวเก็บประจุ Bypass ความถี่ลงกราวด์ เพื่อมิให้เกิดความสูญเสียกำลังงานที่ R6 สำหรับ L2 จะเป็นตัวส่งผ่านกระแสไฟฟ้าตรงเลี้ยงวงจรให้กับ Q2 ในขณะเดียวกันก็ทำหน้าที่เป็น RF Choke ป้องกันไม่ให้ความถี่คลื่นพาหะภาพออกไปยังแหล่งจ่ายไฟได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

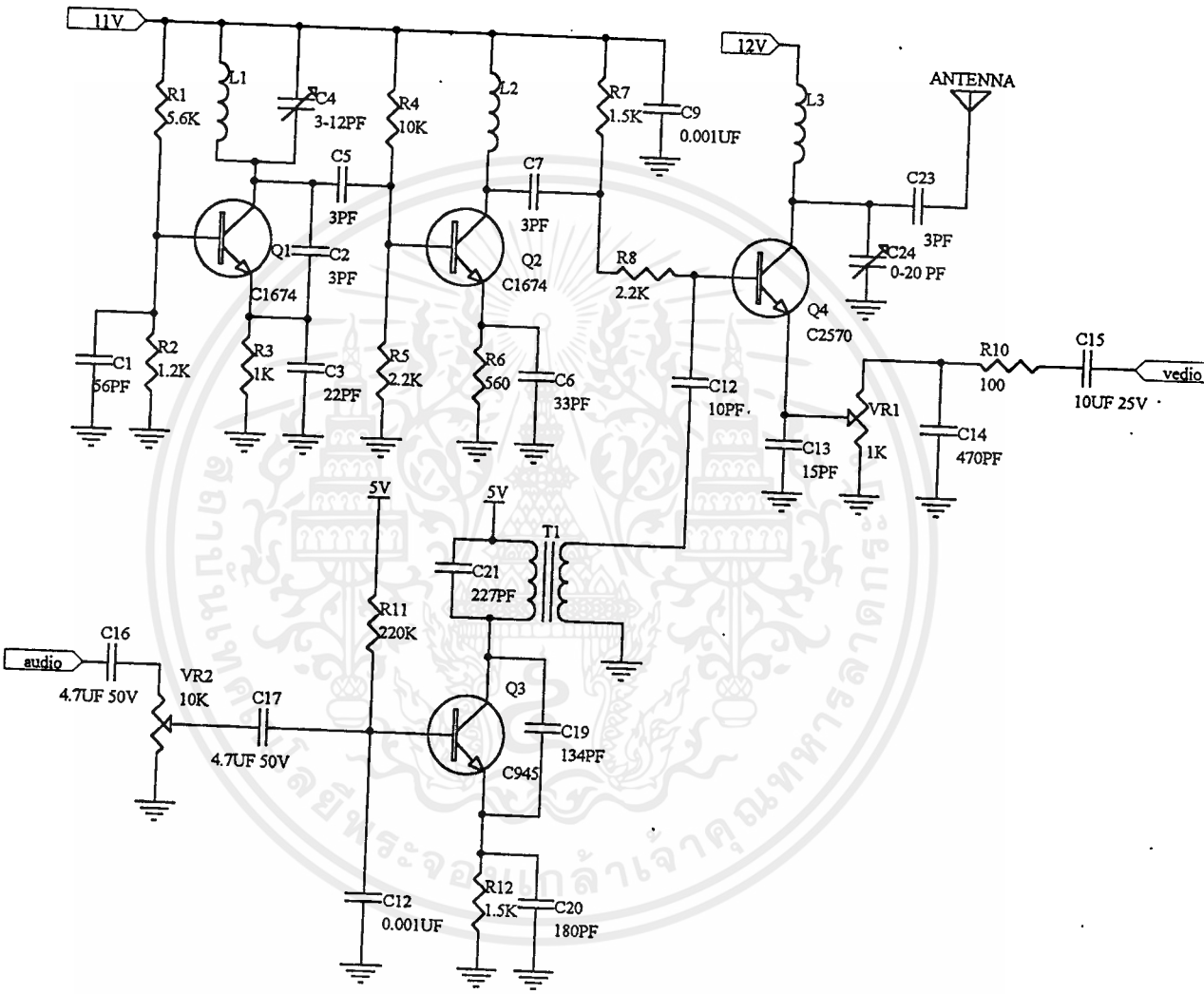
เนื่องจากเราต้องการให้วงจรทั้งสองภาคแรกนี้ มีเสถียรภาพทางความถี่มากกว่าความต้องการทางกำลังงาน เราจึงทำการเรกูเลตแหล่งจ่ายไฟที่ป้อนให้กับวงจรทั้ง 2 ภาคนี้ ด้วย Zener diode Z1 โดยมีค่า R6 เป็นตัวจำกัดกระแสและกรองให้เรียบขึ้นด้วยตัวเก็บประจุ C8, C9 สัญญาณที่ผ่านการขยายแล้วจะถูกคัปปลิ้งผ่านตัวเก็บประจุ C7 ไปยัง Q4 ที่ต่อเป็นวงจรขยายกำลังและเป็นวงจรมอดูเลตแบบ AM ด้วนในขณะเดียวกัน โดยจะถูกลดทอนความแรงด้วยความต้านทาน R8 เพื่อให้มีขนาดเหมาะสมกับสัญญาณเสียงที่ผ่านเข้ามายังขาเบสของ Q4 เช่นเดียวกัน R7 และ R8 เป็นตัวต้านทานไบอัสให้กับ Q4 และ L3 จะทำหน้าที่เช่นเดียวกับ L2 และเนื่องจากที่ภาคนี้เราต้องการกำลังงานที่สูงกว่าภาคอื่น ๆ แหล่งจ่ายไฟที่ป้อนให้กับภาคนี้ จึงมาจากแหล่งจ่ายไฟหลักโดยตรง โดยมี C10, C11 และ C23 เป็นตัวกรองกระแสสำหรับสัญญาณภาคที่เข้ามาทำการมอดูเลตกับคลื่นพาหะภาพ พร้อมกับสัญญาณเสียงแบบ AM นั้นจะถูกคัปปลิ้ง และปรับขนาดความแรงของสัญญาณให้เหมาะสมด้วย C13, C14, C15 และ R10 โดยมี VR1 เป็นตัวปรับเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต

สัญญาณเสียงจะคลับปลิ้งผ่าน C_{14} และ C_{17} ไปยัง Q โดยมี VR เป็นตัวปรับช่วงความถี่เบี่ยงเบน R_{11} และ R_{12} เป็นตัวต้านทานไบอัส C_{18} ทำหน้าที่ตัดความถี่สูงที่ขาเบส C_{19} และ C_{20} เป็นตัวเก็บประจุแบ่งแรงดัน เป็นวงจรกำเนิดความถี่แบบ LC คราวด์เบส และคลอฟีดส์ แต่จัดวงจรให้เป็นแบบ VCO (Voltage Control Oscillator) เพื่อทำการมอดูเลตสัญญาณเสียงที่เข้ามาทางอินพุทแบบ FM โดยมีความถี่กลางที่ 5.5 Mhz ซึ่งเป็นความถี่ผลต่างระหว่างความถี่คลื่นพาห์สัญญาณภาพกับความถี่คลื่นพาหะสัญญาณเสียง โดยกำหนดขึ้นจากค่าของT และ C_{21}

สัญญาณเสียงที่ผ่านการมอดูเลตแบบ FM แล้วจะถูกคัปปลิ้งผ่าน T1 และ C12 ไปยังขาเบสของ Q4 แหล่งจ่ายไฟที่ป้อนให้กับวงจรนี้จะถูกเรกูเลตเป็น 5 โวลต์ โดย Zener diode Z2 มี R3 เป็นตัวกำจัดกระแสและกรองให้เรียบไม่ให้มีสัญญาณความถี่สูงปะปนด้วย C22สัญญาณโทรทัศน์ ที่สมบูรณ์จากเอาต์พุท Q4 จะถูกส่งแพร่กระจายออกอากาศทางสายอากาศโดยมีตัวเก็บประจุ C23และ C24 ทำหน้าที่เป็นวงจร Matching

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

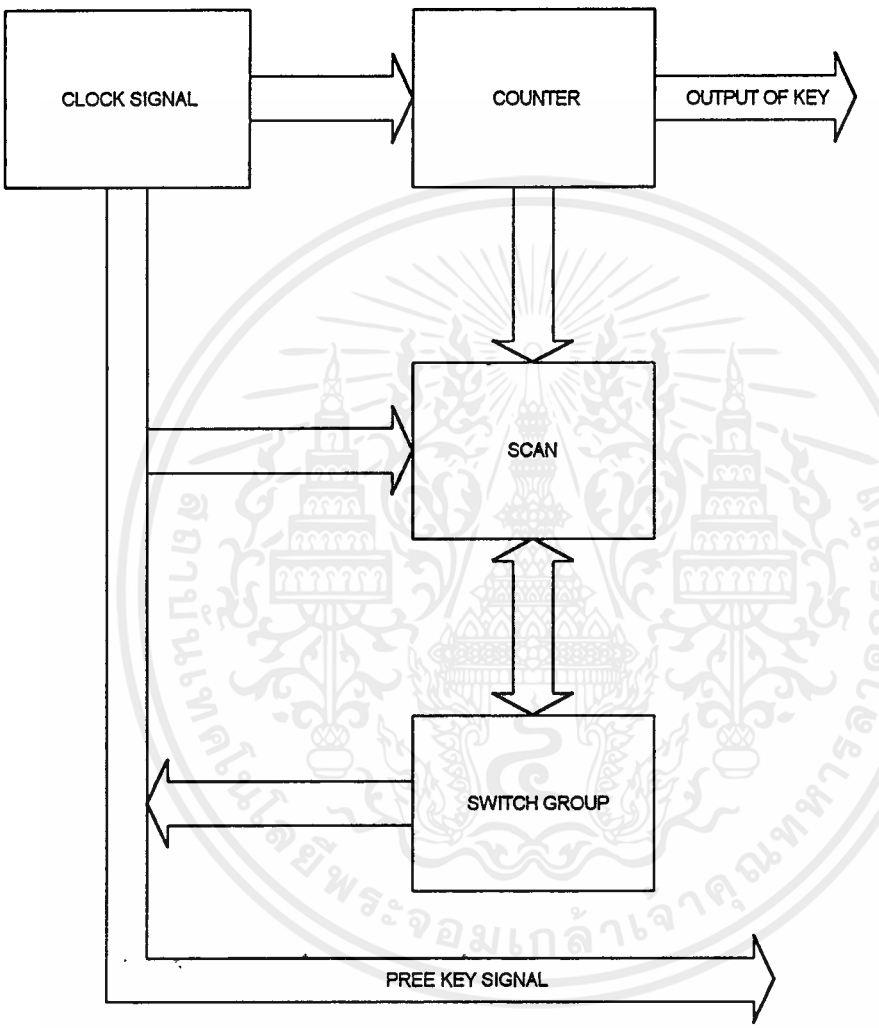
VIDEO SENDER



รูปที่ 6.3 วงจรของเครื่องส่งสัญญาณวิดีโ อ

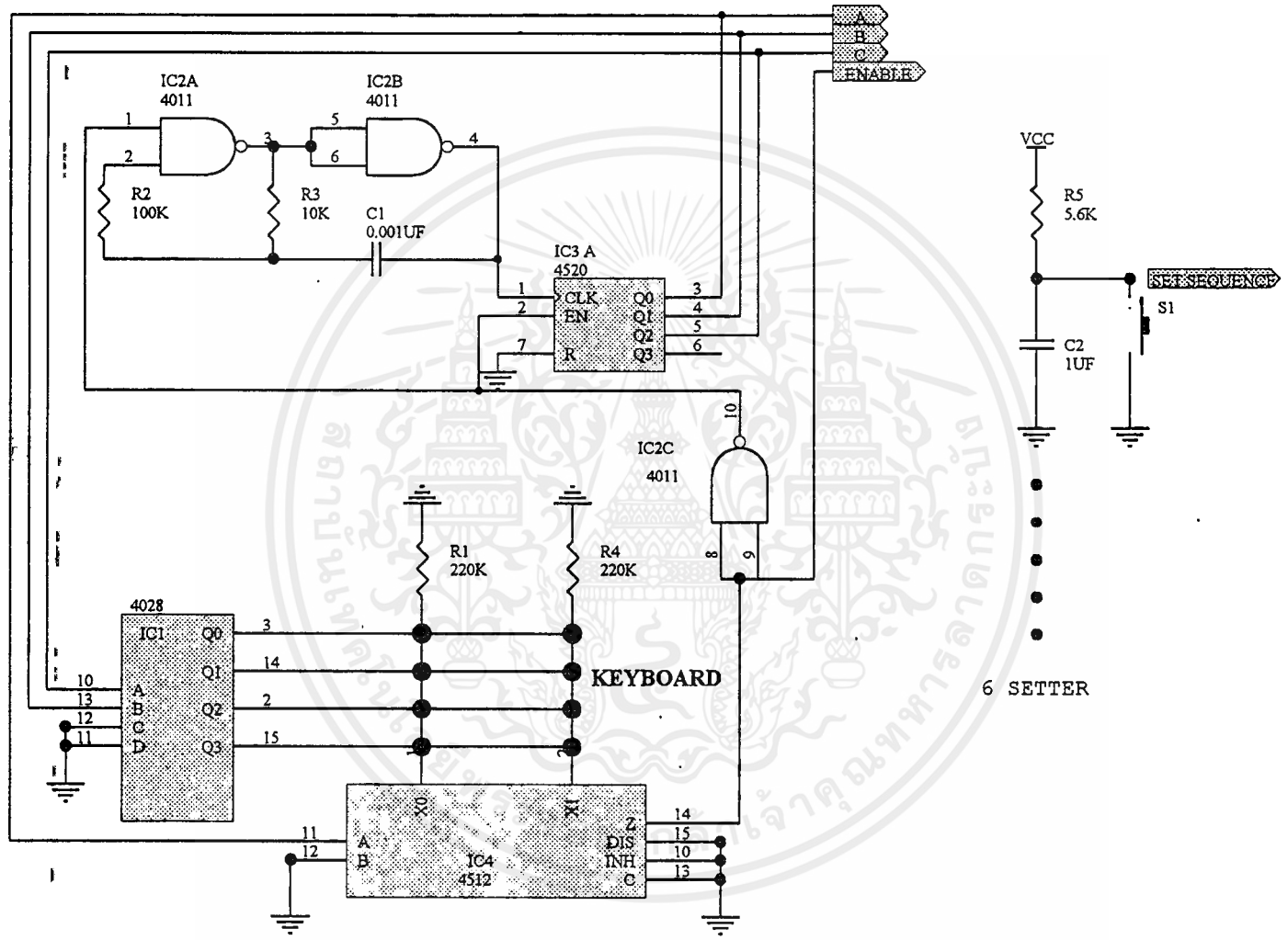
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ภาคการทำงานของคีย์บอร์ด



รูปที่ 6.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของส่วนคีย์บอร์ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 แสดงวงจรการทำงานของคีย์บอร์ด

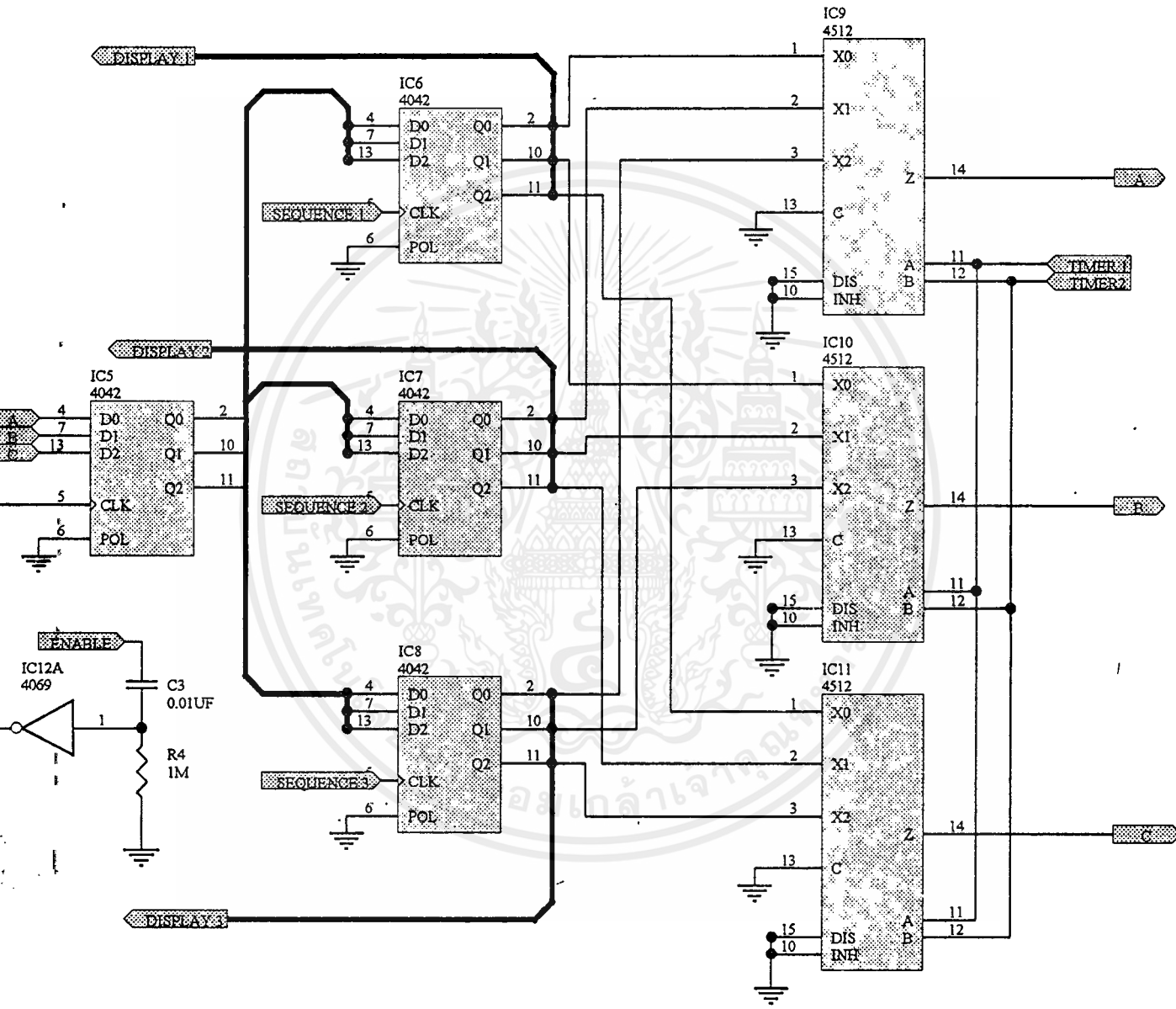
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.1 หลักการทำงานของคีย์บอร์ด

วงจรเข้ารหัสที่ใช้เป็นการเข้ารหัสแบบเมตริกซ์โดยใช้หลักการสแกนคือต้องมีสัญญาณควบคุมเข้ามาทางด้านหนึ่งของเมตริกซ์และออกไปทางด้านที่เหลือ โดย IC1 เบอร์ 4028 เป็นตัวถอดรหัส บี ซี ดี เป็นเลขฐานสิบ อินพุทที่เป็นไบนารี่ของ 4028 จะทำให้เอาท์พุทที่ถูกเลือกเป็นลอจิก "1" ในขณะที่เอาท์พุทที่เหลือเป็นลอจิก "0" ดังนั้นเมื่อใช้คีบอร์ดขนาด 4*4 เราจึงใช้อินพุทไบนารี่เพียง 2 อินพุทเท่านั้น ส่วนของ 2 บิทบนของ IC3A เบอร์ 4520 (A กับ B) ถูกส่งไปให้ 4028 และ 2 บิทบน(C กับ D) ถูกส่งไปให้ IC4 เบอร์ 4512 ซึ่งเป็นตัวเลือกข้อมูล 8 ช่อง ถ้าอินพุทใดถูกเลือกสัญญาณอินพุทนั้นจะไปปรากฏที่เอาท์พุท เมื่อมีการกดคีย์ลอจิก "1" จากเอาท์พุทของ 4028 จะถูกรับรู้ว่าเป็นคอลัมน์ได้โดย 4512 สัญญาณนาฬิกาก็จะถูกดิสเอเบิ้ลสัญญาณตรวจสอบการกดคีย์จึงเป็นลอจิก "1" ค่าบนบัสเอาท์พุทขณะนั้นก็คือรหัสคีย์ วงจรนี้ถ้ามีการกดคีย์พร้อมกัน 2 คีย์ เอาท์พุทที่ได้จะเป็นค่าของคีย์ที่ปล่อยก่อน สัญญาณนาฬิกาของวงจรนี้ประกอบด้วย IC 2A และ IC 2B โดยใช้ R2,R3 และ C2 เป็นตัวกำเนิดความถี่ป้อนให้ IC3 เบอร์ 4520

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 ภาคของส่วนตัดต่อสัญญาณ



รูปที่ 6.6 แสดงวงจรของส่วนตัดต่อสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.1 หลักการทำงานของส่วนตัดต่อสัญญาณ

เมื่อได้รับสัญญาณการเลือกช่องสัญญาณจากคีย์บอร์ดแล้วแลตท์ IC 5จะทำการเก็บค่าโดยทันที ซึ่งค่าที่เก็บเข้าไปนี้จะไปปรากฏทางด้านอินพุทของแลตท์ ที่เหลืออีก 3 ตัว คือ IC6 , IC7และ IC8 ซึ่งแลตท์ทั้ง 3ตัวนี้จะมีหน้าที่เก็บค่าของช่องสัญญาณที่ตั้งไว้ก่อนล่วงหน้าโดยจะเลือกไว้เป็นลำดับก่อนหลัง ซึ่งจะเก็บไว้ใน IC6,IC7,IC8 ตามลำดับ ซึ่งการกำหนดช่องล่วงหน้าทำได้โดยหลังจากการเลือกช่องสัญญาณจากคีย์บอร์ดแล้ว ทำการกดเลือกสัญญาณลำดับการทำงานซึ่งอยู่ในส่วนของคีย์บอร์ด ซึ่งสัญญานนี้จะไปควบคุมที่ขาอีเนเบิ้ลของแลตท์ IC6,IC7,IC8 ซึ่งการทำงานจะทำที่ขาขึ้นของสัญญาณ(จาก 0 เป็น 1) จากนั้นค่าที่ออกจากแลตท์ทั้ง 3 ตัวนี้จะถูกนำไปแสดงผลโดย แอล อี ดี เซเว่น เซ็กเม้น โดยใช้ไอซีเบอร์ 74248 ซึ่งเป็นตัวแปลงเลขไบนารี่เป็นรหัสเซเว่น เซ็กเม้นและค่าที่ออกจากแลตท์ทั้ง 3 นี้ต้องนำไปเข้า มัลติเพล็กเซอร์ IC9,IC10,IC11ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ 4512 เพื่อถอดรหัสออกมา 3 บิท ซึ่งการเปลี่ยนช่องสัญญาณตามที่ตั้งค่าไว้จะถูกควบคุมโดยแผงวงจรเวลา

รหัส 3 บิทที่ออกมาจะถูกนำมาถอดรหัส โดยใช้ไอซีเบอร์ 74138 สัญญาณที่ถูกถอดรหัสออกมาจะมี 8 สัญญาณ และนำมาผ่านบัฟเฟอร์ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ 7406 เพื่อที่จะใช้ขับทรานซิสเตอร์ ให้ทำงานในลักษณะเป็นสวิตช์เพื่อที่จะไปควบคุมการทำงานของรีเลย์ และในส่วนของการแสดงผลนั้น การแสดงภาวะปัจจุบันของการทำงานจะรับข้อมูลจากแผงวงจรเวลาและนำมาถอดรหัสโดยใช้ IC 4555 และใช้ไดโอดเปล่งแสงในการแสดงผล

6.4 ภาคควบคุมเวลา

6.4.1 หลักการทำงานของส่วนควบคุมเวลา

หลักการทำงานโดยรวมคือ เริ่มจากวงจรกำเนิดคลื่นรูปสี่เหลี่ยมวงจรหนึ่ง ซึ่งเราสามารถกำหนดความถี่ได้ แล้วนำมาหารความถี่ให้ต่ำลงมากๆ เพื่อจะเอาคลื่นรูปสี่เหลี่ยมที่ได้ซึ่งมีช่วง แรงดันสูง และ แรงดันต่ำ มาสร้างสัญญาณดิจิตอล 2 บิทคือ 00,01,10 เป็นสัญญาณขั้นสุดท้าย เพื่อนำไปควบคุมส่วนการเลือกช่องซึ่งอยู่ในแผงตัดต่อสัญญาณต่อไป

รายละเอียดในวงจรตามรูป เริ่มจากวงจรกำเนิดคลื่นรูปสี่เหลี่ยมก่อน เมื่อมีไฟเลี้ยง 5 โวลต์จ่ายเข้ามาจากแหล่งจ่ายไฟ ไอซี 555 ซึ่งนำมาต่อเป็นวงจรอะสเตเบิล (วงจรกำเนิดคลื่นรูปสี่เหลี่ยม) จะให้คลื่นรูปสี่เหลี่ยมออกมาทางขา 3 มีความถี่ซึ่งถูกกำหนดโดย R1,R2 และ C2 ไอซี 555 ได้รับไฟเลี้ยง 5 โวลต์ เข้ามาทางขา8 และ กราวด์ เข้ามาทางขา1 โดยมี C3 ที่ต่อจากขา5 ช่วยลดผลของสัญญาณรบกวนที่แทรกเข้ามากับไฟเลี้ยง

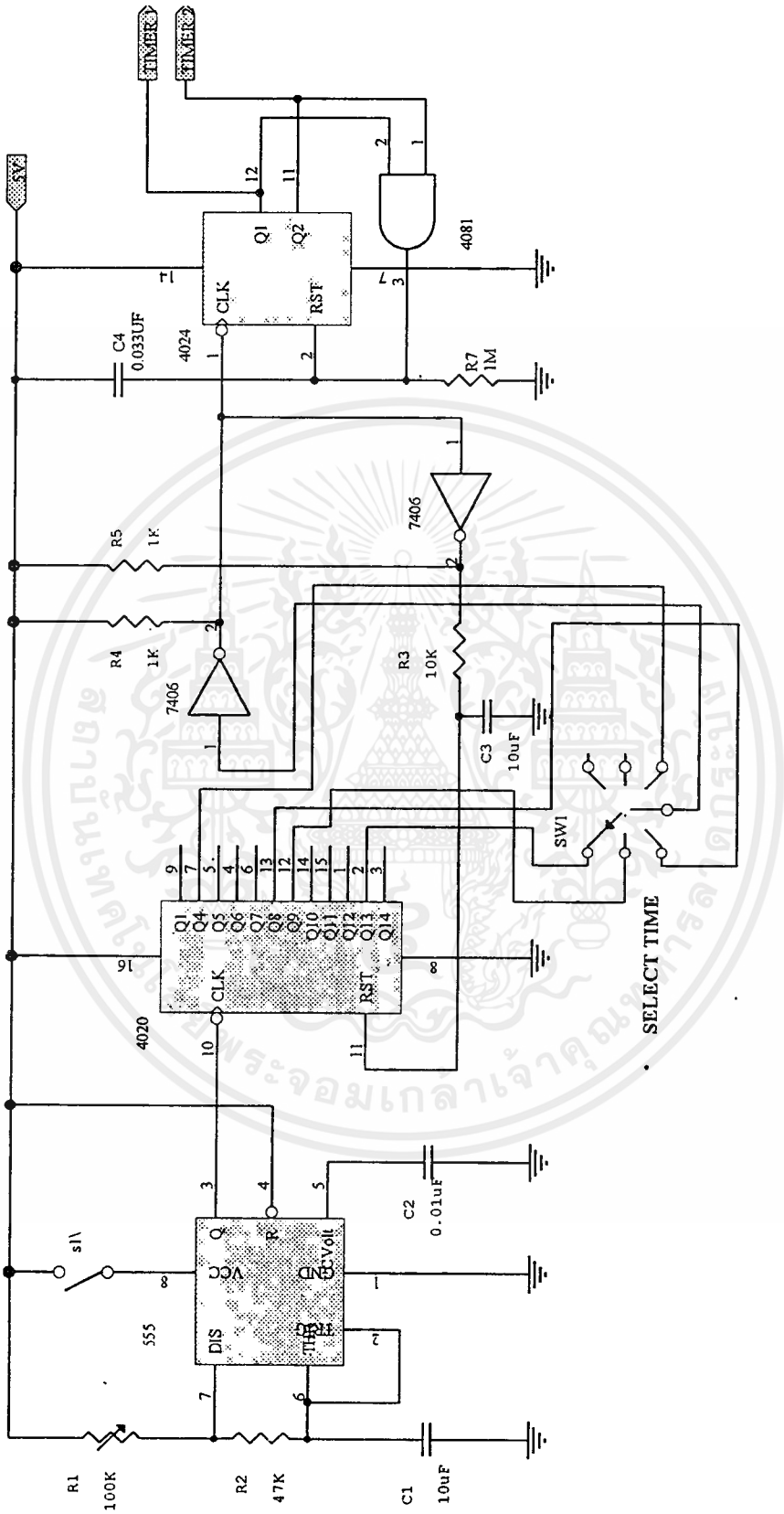
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากไอซี 555ไม่สามารถกำเนิดคลื่นรูปสี่เหลี่ยมความถี่ต่ำมากๆได้ จึงต้องนำมาหารความถี่ก่อนโดยนำสัญญาณของไอซี 555 ไปเข้าที่ขา10 ของไอซี 4020 ซึ่งเป็นไอซีสำหรับหารความถี่ด้วย 2 คือความถี่จะลดลงเหลือเพียงครึ่งหนึ่ง หารไปเรื่อยๆเป็นจำนวน 14 ครั้ง หรือก็คือหารด้วย 2^{14} การหารครั้งที่4 หรือ 2^4 สัญญาณเอาท์พุทจะออกที่ขา7 ส่วนผลการหารครั้งที่ 5,6,7,.....,14 สัญญาณเอาท์พุทจะออกที่ขา 5,4,6,13,12,14,15,1,2 และ 3 ตามลำดับ ดังนั้นขา7 จึงเป็นขาที่ตั้งเวลาสั้นที่สุดและขา3 เป็นขาที่ตั้งเวลานานที่สุด หมายความว่าที่ขา7 จะให้คลื่นรูปสี่เหลี่ยม เป็น 5 โวลต์ นานประมาณ 10 วินาทีและ 0 โวลต์ นานประมาณ 10 วินาที สลับกันเรื่อยไป ในทำนองเดียวกันที่ขา3 ก็จะให้คลื่นรูปสี่เหลี่ยม เป็น 5 โวลต์ นานประมาณ 4ช.ม.และ 0 โวลต์ นานประมาณ 4ช.ม. สลับกันเรื่อยไปเช่นกัน

เมื่อเริ่มต้นทำงาน ไอซี 4020 จะให้แรงดัน 0 โวลต์ ก่อนที่ทุกขาของเอาท์พุท เราจะเลือกขาเอาท์พุท ของไอซี 4020โดยใช้สวิทช์ S1 ซึ่งเป็นตัวเลือกช่วงเวลาที่ต้องการตั้ง สมมติเราให้ S1เลือกขาเอาท์พุทที่ขา7 ซึ่งจะได้คลื่นรูปสี่เหลี่ยม เป็น 5 โวลต์ นานประมาณ 10 วินาทีและ 0 โวลต์ นานประมาณ 10 วินาที สลับกันไป เพื่อนำไปควบคุมส่วนการเลือกช่องซึ่งอยู่ในแผงตัดต่อสัญญาณ. และ นำมาป้อนเข้าที่ขา1ของไอซี 7406 แล้วนำสัญญาณที่ออกมาเข้าที่ขา2 ป้อนเป็นสัญญาณนาฬิกาที่ขา1ให้กับไอซี4024 ซึ่งเป็นวงจรนับ

ขณะเดียวกันก็นำสัญญาณจากขา4 ของไอซี 7406 ไปทำการหน่วงเวลา กลับมาควบคุมขารีเซทของไอซี 4020 โดยมี R3,C2 ทำหน้าที่หน่วงเวลา และที่ไอซี 4024 หลังจากรับสัญญาณนาฬิกาจากไอซี 7406 แล้วก็จะไปกระตุ้นสถานะที่ไอซี 4024 ขึ้นหนึ่งสถานะ แล้วนำสัญญาณเอาท์พุท Q1,Q2 ที่ขา12และขา11 ไปใช้งานเป็นสัญญาณดิจิตอล 2 บิท เพื่อนำไปควบคุมส่วนสถานะ ต่อไป ขณะเดียวกันก็นำ Q1,Q2 ผ่าน AND GATE แล้วนำเอาท์พุทป้อนกลับมาควบคุมขารีเซท ของไอซี4024 เพื่อให้มีการนับสถานะ 3 สถานะคือ 00,01,10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 แสดงวงจรของส่วนควบคุมเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้ เราได้ทำการทดลองที่เหตุการณ์ต่าง ๆ เพื่อศึกษาเสถียรภาพของวงจร ที่มีผลในการส่งออกอากาศ

ตารางที่ 1 แสดงกำลังที่เครื่องส่งวิดีโอสามารถส่งสัญญาณได้

ลำดับตัวส่ง	ความถี่พาหะที่ใช้ส่ง	กำลังที่วัดได้ (dBm)
1	476 MHZ	-3.8
2	485 MHZ	0
3	497 MHZ	-5
4	508 MHZ	-3.8

ตารางที่ 2 แสดงเวลาที่เครื่องส่งวิดีโอสามารถส่งภาพได้

ชั่วโมง	ลักษณะของภาพที่รับได้			
	ตัวส่ง 1	ตัวส่ง 2	ตัวส่ง 3	ตัวส่ง 4
0-3 ช.ม.	ภาพปกติ	ภาพปกติ	ภาพปกติ	ภาพปกติ
4-6 ช.ม.	ภาพปกติ	ภาพปกติ	ภาพปกติ	ภาพปกติ
7-9 ช.ม.	ภาพปกติ	ภาพปกติ	ภาพปกติ	ภาพปกติ
10-12 ช.ม.	ภาพปกติ	ภาพปกติ	ภาพปกติ	ภาพปกติ
13-15 ช.ม.	ภาพปกติ	ภาพปกติ	ภาพปกติ	ภาพปกติ
16-18 ช.ม.	ภาพสั่นไหว	ภาพสั่นไหว	ภาพปกติ	ภาพปกติ
19-21ช.ม.	ภาพสั่นไหว	ภาพสั่นไหว	ภาพสั่นไหว	ภาพปกติ
22-24 ช.ม.	ภาพสั่นไหว	ภาพสั่นไหว	ภาพสั่นไหว	ภาพสั่นไหว

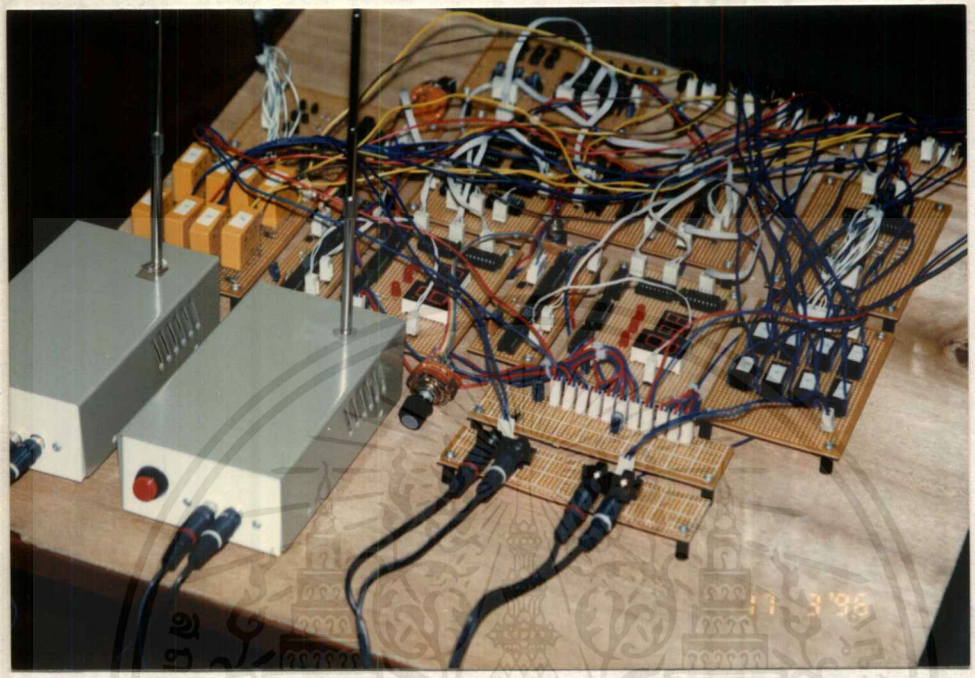
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3 แสดงผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อเครื่องส่งวิดีโอ

ลำดับตัวส่ง	ลักษณะของภาพที่รับได้เมื่อทิ้งไว้ 20 นาที	
	อุณหภูมิสูง (40-60 °C)	อุณหภูมิต่ำ(15-20 °C)
1	มีจุดสีขาวๆ เกิดขึ้น	ภาพปกติ
2	มีจุดสีขาวๆ เกิดขึ้น	ภาพปกติ
3	มีจุดสีขาวๆ เกิดขึ้น	ภาพปกติ
4	มีจุดสีขาวๆ เกิดขึ้น	ภาพปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพถ่ายจากโทรทัศน์ในเหตุการต่าง ๆ ที่ได้ทำการทดลอง

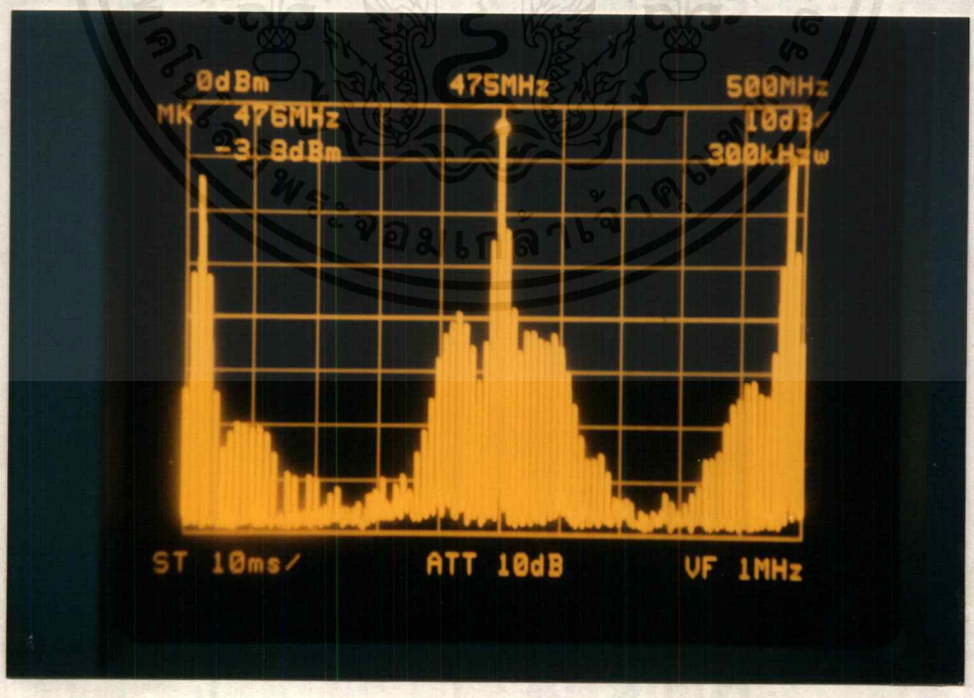


รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของโครงงาน

รูปที่ 2 แสดงภาพที่เกิดจากสัญญาณพาหะเพียงอย่างเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

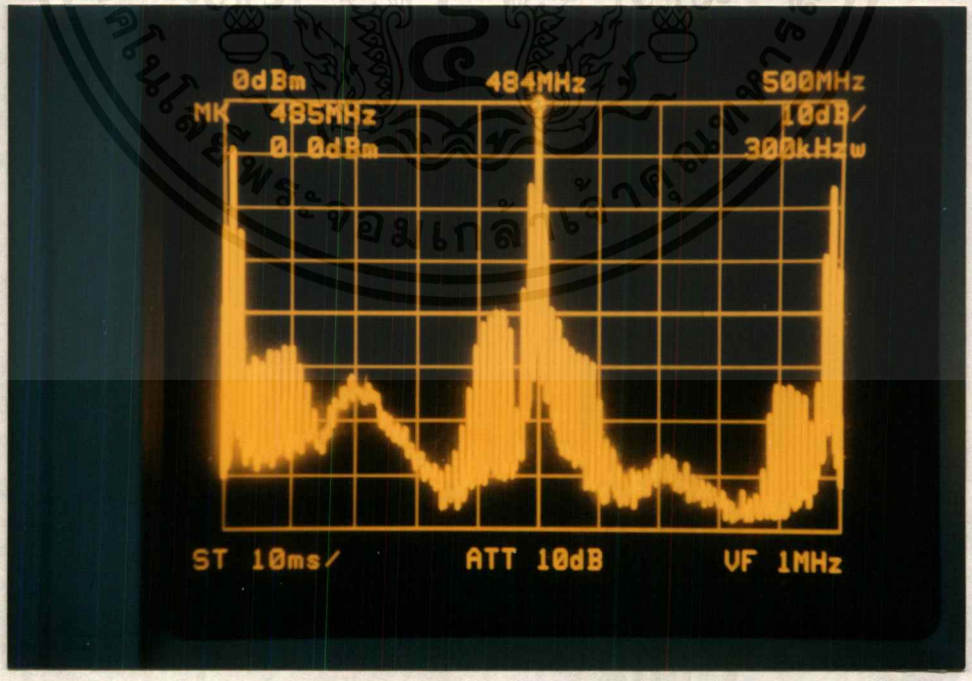
รูปที่ 3 แสดงภาพที่เกิดจากเครื่องส่งวิดีโอตัวที่ 1



รูปที่ 4 แสดงภาพสเปกตรัมเครื่องส่งวิดีโอตัวที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

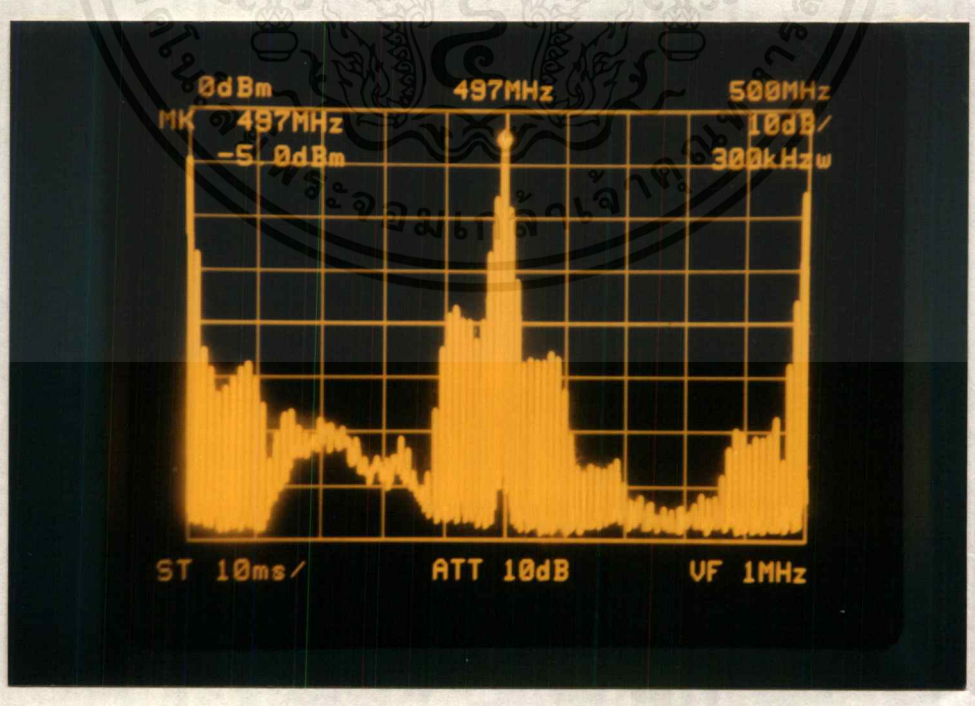
รูปที่ 5 แสดงภาพที่เกิดจากเครื่องส่งวิดีโอตัวที่ 2



รูปที่ 6 แสดงภาพสเปกตรัมเครื่องส่งวิดีโอตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

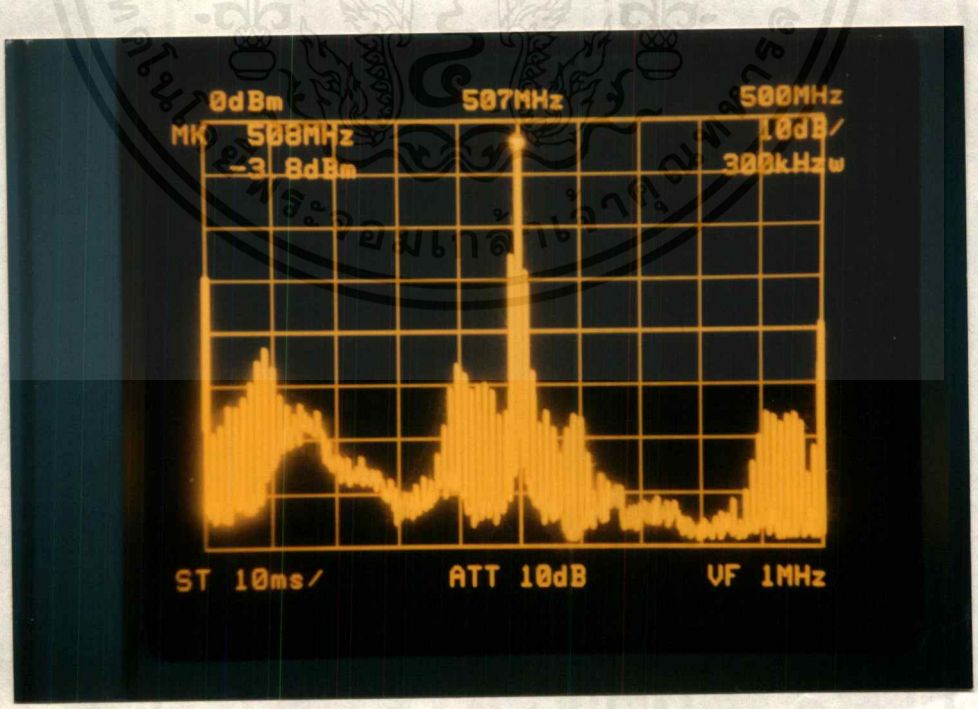
รูปที่ 7 แสดงภาพที่เกิดจากเครื่องส่งวิดีโอตัวที่ 3



รูปที่ 8 แสดงภาพสเปกตรัมเครื่องส่งวิดีโอตัวที่ 3

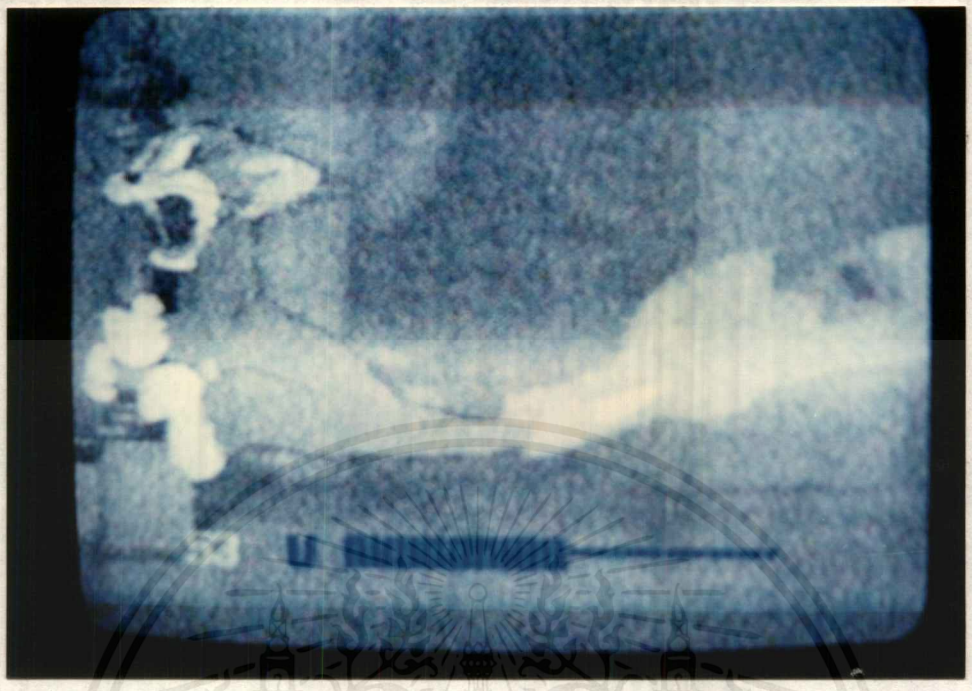
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 9 แสดงภาพที่เกิดจากเครื่องส่งวิดีโอตัวที่ 4

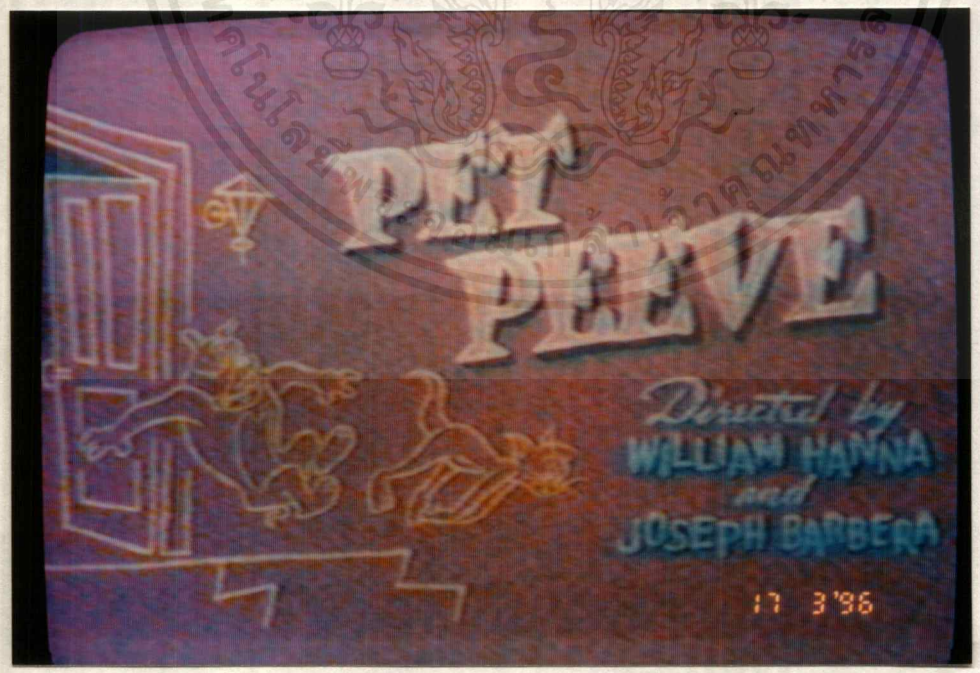


รูปที่ 10 แสดงภาพสเปกตรัมเครื่องส่งวิดีโอตัวที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 11 แสดงภาพเมื่อเกิดการสั่นไหว



รูปที่ 12 แสดงภาพเมื่อผ่านรีเลย์ตัดต่อสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 13 แสดงภาพที่จากการทดลองที่อุณหภูมิสูง

รูปที่ 14 แสดงภาพที่เกิดจากการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการทดลอง

1. ที่อุณหภูมิต่ำลักษณะภาพที่ปรากฏออกมาจะเหมือนที่อุณหภูมิปกติ และที่อุณหภูมิสูงลักษณะภาพจะปรากฏจุดขาวขึ้น ซึ่งเกิดจากกระบวนการกำเนิดความร้อนที่ใช้ทดลอง (ไดร์เป่าผม) มีการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปรบกวนวงจรส่งสัญญาณวีดีโอ เพราะฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อเสถียรภาพของวงจร

2. การทดลองเปิดเครื่องส่งสัญญาณวีดีโอทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ที่เวลาประมาณ 18 ชั่วโมงขึ้นไป ลักษณะภาพเกิดอาการสั่นไหว ซึ่งเกิดจากคุณสมบัติของทรานซิสเตอร์ในภาคออสซิเลเตอร์เปลี่ยนไป ซึ่งมีผลทำให้ความถี่สัญญาณพาหะเปลี่ยนไปทำให้ที่ภาครับจับสัญญาณได้ไม่เต็มที่ภาพจึงเกิดการสั่นไหว

3. จากการวัดกำลังเครื่องส่งทั้ง 4 เครื่อง แต่ละเครื่องจะมีกำลังไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถวิเคราะห์จากวงจรได้โดย

3.1 ที่ความถี่ต่างๆทรานซิสเตอร์มีอัตราการขยายไม่เท่ากัน

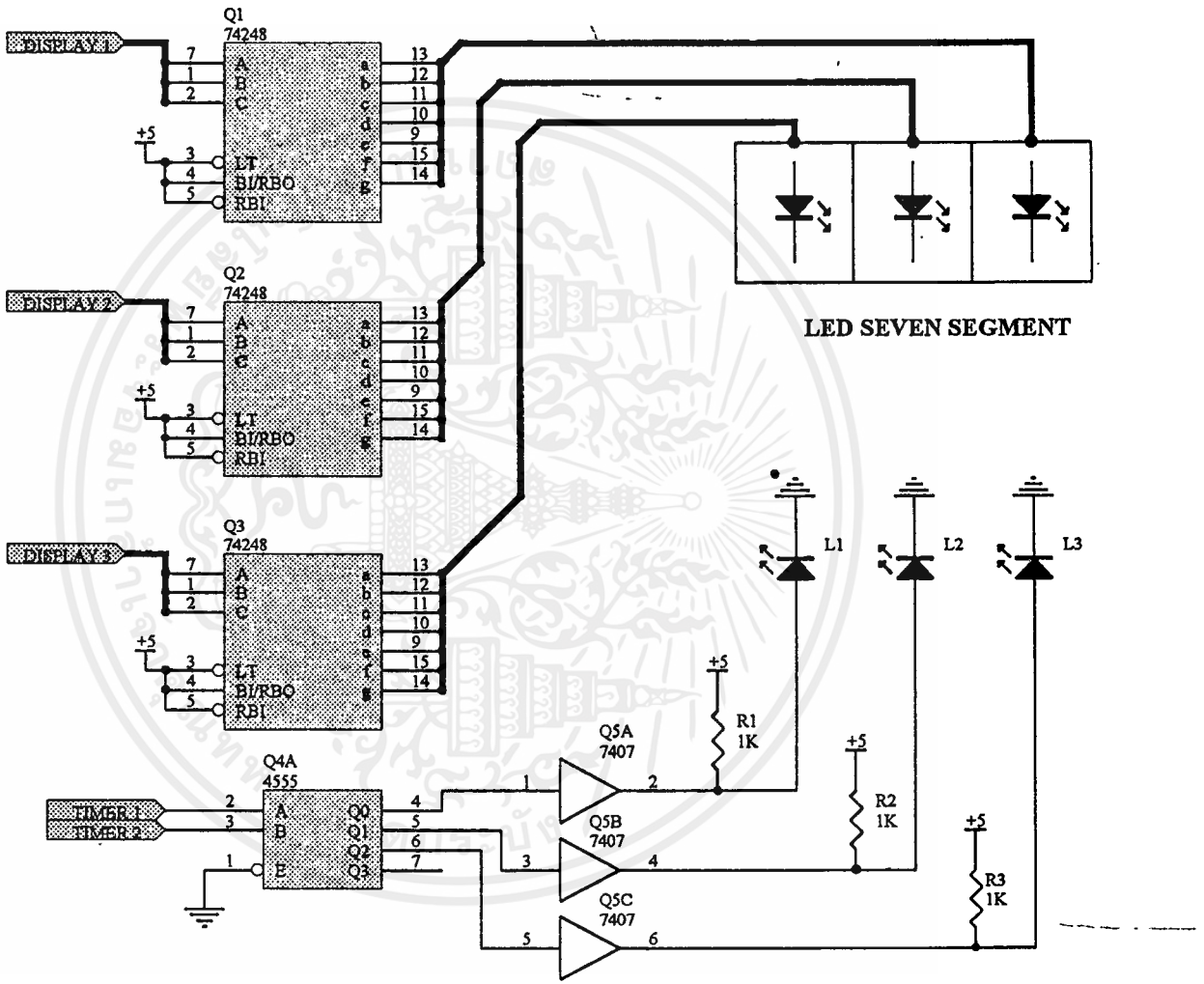
3.2 การกำเนิดของสัญญาณพาหะที่ความถี่ต่างๆมีกำลังไม่เท่ากัน.

4. การแมทชิ่ง(Matching) ของสายอากาศมีผลต่อการส่งและรับโดยสามารถส่งได้ไกลขึ้น ในมาตรฐานของเครื่องส่งมีจะมีเอาท์พุทอิมพีแดนท์ (Output Impedance) 50 โอห์ม ซึ่งสามารถทำการแมทชิ่งวงจรโดย ใช้สายโคแอกเชียล 50 โอห์ม ต่อกับขั้ว BNC ส่วนความยาวสายอากาศคำนวณได้จาก 1/4 ของความยาวคลื่น

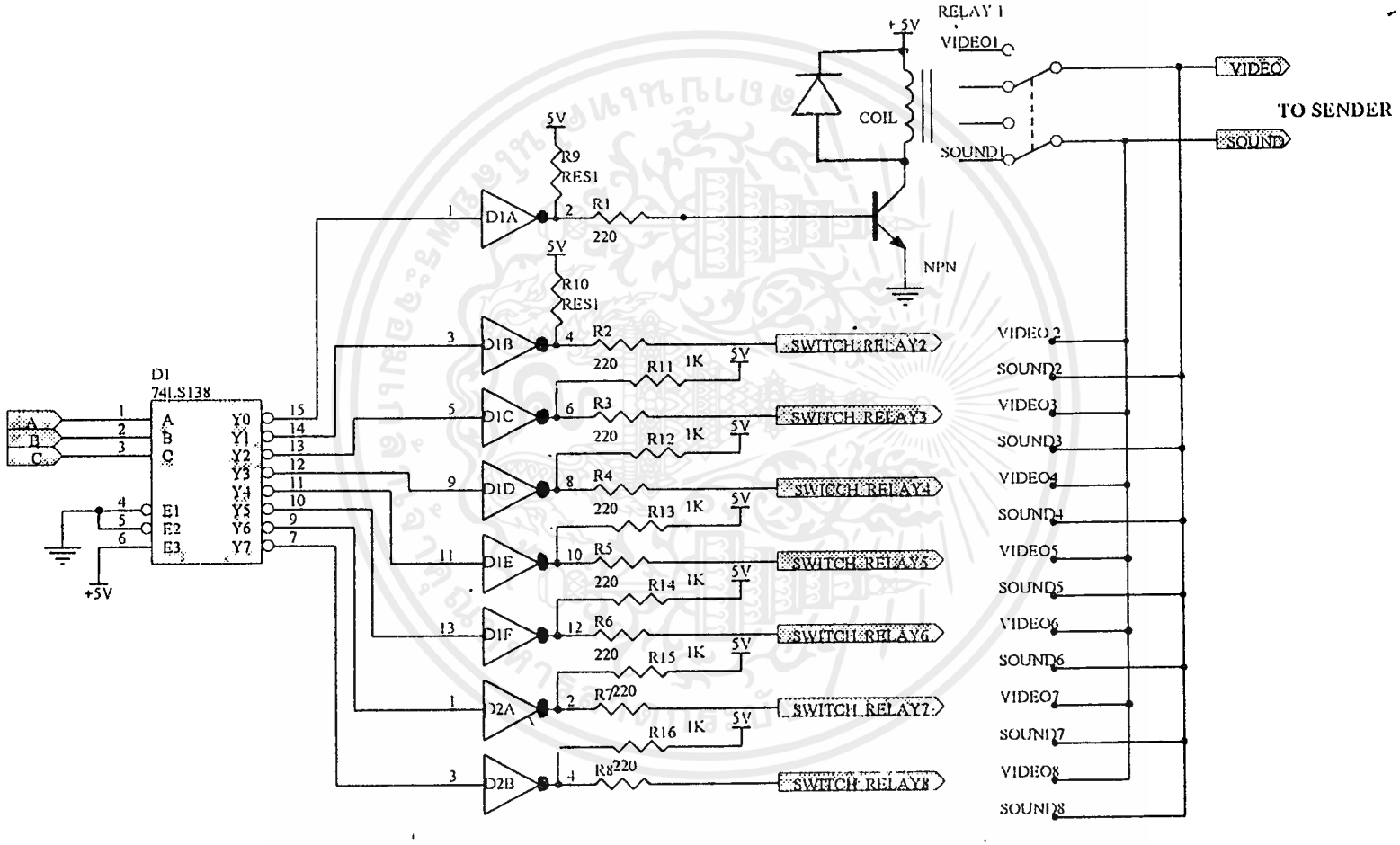
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


Q1
74248
DISPLAY 1
Q2
74248
DISPLAY 2
Q3
74248
DISPLAY 3
LT
BI/RBO
RBI
LED SEVEN SEGMENT
L1
L2
L3
R1
1K
R2
1K
R3
1K
Q4A
4555
TIMER 1
TIMER 2
Q5A
7407
Q5B
7407
Q5C
7407

วงจรแสดงผล


RELAY 1
+5V
VIDEO1
COIL
SOUND1
VIDEO
TO SENDER
SOUND
NPN
D1
74LS138
A
B
C
E1
E2
E3
Y0
Y1
Y2
Y3
Y4
Y5
Y6
Y7
+5V
D1A
D1B
D1C
D1D
D1E
D1F
D2A
D2B
R9
RES1
R10
RES1
R1
R2
R3
R4
R5
R6
R7
R8
220
R11
R12
R13
R14
R15
R16
1K
SWITCH RELAY2
SWITCH RELAY3
SWITCH RELAY4
SWICCH RELAY5
SWITCH RELAY6
SWITCH RELAY7
SWITCH RELAY8
VIDEO2
SOUND2
VIDEO3
SOUND3
VIDEO4
SOUND4
VIDEO5
SOUND5
VIDEO6
SOUND6
VIDEO7
SOUND7
VIDEO8
SOUND8

วงจรขับรีเลย์

บรรณานุกรม

กรรชิต สาริภาค " เครื่องส่งวิดีโอ " อิเล็กตรอน 79 11 (4) : 63-17, เมษา 2530

ชูเกียรติ จันทรานี ทฤษฎีตรวจซ่อมโทรทัศน์ขาวดำทรานซิสเตอร์- ไอซี กรุงเทพ RTTS, 2528

สุรศักดิ์ เพชรสงค์ " รู้จักกับแกนทอรอยด์ " เซมิคอนดักเตอร์ (113) : 54-59 , มกราคม , 2536

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ได้รับความกรุณาเอื้อเฟื้อจากบุลคลต่างๆ ในการให้คำแนะนำ ให้ข้อมูล และอำนวยความสะดวก ดังมีรายนามต่อไปนี้

1. อาจารย์ สุชาติ คูณทวีเทพ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
2. อาจารย์ ขนิษฐา แซ่ตั้ง อาจารย์ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์
3. อาจารย์ กิตติ ไพฑูรย์วัฒนกิจ อาจารย์ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์
4. คณาจารย์ท่านอื่นๆ ,รุ่นพี่ปริญญาโทภาคอิเล็กทรอนิกส์ , และเพื่อนๆ ทุกคน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้