รีโมทคอนโทรลแบบใช้ความถี่ 27 MHz

27 MHz Wireless Remote Control

โดย

นายชาติชาย เกียรตินฤยุทธ

นายจักรินทร์ ธาราสมบัติ

นายสิทธิโชค มูลประชา

วัน เดือน ปี ... 2 ธ.ค. 2541

เลขทะเบียน 039090

เลขเรียกหนังสือ T 10001 ร541ร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

039090

รีโมทคอนโทรลแบบใช้ความถี่ 27 MHz

27 MHz Wireless Remote Control

โดย

นายชาติชาย เกียรตินฤยุทธ

นายจักรินทร์ ธาราสมบัติ

นายสิทธิโชค มูลประชา

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ไกรสิน ส่งวัฒนา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา2540

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รีโมทคอนโทรลแบบใช้ความถี่ 27 MHz

27 MHz Wireless Remote Control

ผู้จัดทำ

1 นายชาติชาย เกียรตินฤทุทร รหัส 38013010

2 นายจักรินทร์ ธาราสมบัติ รหัส 38013052

3 นายสิทธิโชค มูลประชา รหัส 38013083

(.....)

ผศ.ดร.ไกรสิน ส่งวัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีโมทคอนโทรลแบบใช้ความถี่ 27 MHz

27 MHz Wireless Remote Control

โดย นายชาติชาย เกียรตินฤยุทธ รหัส 38013010
นายจักรินทร์ ธาราสมบัติ รหัส 38013052
นายสิทธิโชค มูลประชา รหัส 38013083

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร.ไกรสิน ส่งวัฒนา

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการสร้างรีโมทคอนโทรลแบบใช้ความถี่ 27 MHz นี้เป็นแบบ AM มีกำลังส่งปานกลาง ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ โดยจะประกอบด้วยเครื่องส่ง (Transmitter) ,เครื่องรับ (Receiver) , วงจรเข้ารหัส (Coder) และวงจรถอดรหัส (Decoder) การส่งสัญญาณจากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับนั้นจะอาศัยการผสมพัลซ์ (Pulse) กับความถี่วิทยุ (Radio Frequency) แล้วส่งไปยังเครื่องรับ เมื่อเครื่องรับรับสัญญาณได้ก็จะทำการส่งพัลซ์ไปยังภาคถอดรหัส (Decoder) เพื่อทำการแยกสัญญาณแต่ละแชนแนลให้กับเซอร์โว เมื่อทำการโยกคันบังคับที่เครื่องส่งในแต่ละแชนแนลจะสามารถควบคุมให้เซอร์โวทำงานได้

ABTRACT

The wireless remote control uses the amplitude modulation technique which has carrier frequency 27 MHz and has a medium power . It uses to control the equipment. The wireless remote control consists of transmitter , receiver , coder and decoder . The pulse train are modulated by the radio frequency and transmitted from the transmitter to the receiver . The receiver will pass the signal to decoder and to control the system.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

		หน้า
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	ทฤษฎีและหลักการ	2
	2.1 วงจรสร้างสัญญาณพัลซ์	2
	2.2 รหัส	21
	2.3 วงจรนับ	25
	2.4 วงจรถอดรหัส	27
	2.5 การมอดูเลตทางแอมพลิจูด	32
	2.6 เครื่องรับสัญญาณ	40
บทที่ 3	หลักการออกแบบและการสร้าง	54
บทที่ 4	การทดลองและผลการทดลอง	70
บทวิจารณ์และสรุป		77
กิตติกรรมประกาศ		78
เอกสารอ้างอิง		79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปที่ 2.1	วงจร RC	2
รูปที่ 2.2	กราฟทั่วไปของการถูกประจุคายประจุ	3
รูปที่ 2.3	วงจร RC ที่ขยายจากรูป 2.1	4
รูปที่ 2.4	ผลที่เกิดจากค่า +V ขนาดต่างๆ	5
รูปที่ 2.5	วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์แบบใช้ทรานซิสเตอร์	5
รูปที่ 2.6	เงื่อนไขตอนเริ่มต้นการทำงานของอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์	6
รูปที่ 2.7	เงื่อนไขสำหรับ คาปาซิเตอร์ C_1	7
รูปที่ 2.8	ลักษณะรูปคลื่นของวงจรอะสเตเบิล	9
รูปที่ 2.9	อะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์แบบใช้ TTL	11
รูปที่ 2.10	อะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์แบบใช้ CMOS	11
รูปที่ 2.11	ออสซิลเลเตอร์แบบวงแหวนสร้างจากไอซี	12
รูปที่ 2.12	ตัวอย่างของวงจรออสซิลเลเตอร์แบบผลึกควอทซ์	13
รูปที่ 2.13	วงจรกึ่งโมโนสเตเบิ้ล	14
รูปที่ 2.14	แสดงลักษณะไอซีที่เป็นโมโนสเตเบิลเบอร์ 74124 74122 74123	15
รูปที่ 2.15	วงจรขยายความกว้างของพัลซ์	16
รูปที่ 2.16	วงจรชมิททริกเกอร์แบบไอซี	17
รูปที่ 2.17	สัญลักษณ์ทางตรรกของแนนเกท 2 อินพุท	18
รูปที่ 2.18	แผนภาพโครงสร้างภายในของ 74124	18
รูปที่ 2.19	การต่อใช้งาน 74121	19
รูปที่ 2.20	กราฟแสดงความกว้างของพัลซ์กับ Rx กับ Cext	19
รูปที่ 2.21	ฟังก์ชั่นการทำงานของ 74121	19
รูปที่ 2.22	ตารางรหัส ASCII	21
รูปที่ 2.23	ตารางรหัส EBCDIC	22
รูปที่ 2.24	ตารางเลขฐานสิบ รหัส BCD และรหัส Excess-3	23
รูปที่ 2.25	ตารางรหัส GRAY	24
รูปที่ 2.26	วงจรนับ MOD-5	25
รูปที่ 2.27	วงจรรวม 7490	26
รูปที่ 2.28	เลขรหัสฐาน 2 และรหัส BCD	27
รูปที่ 2.29	แผนภาพคาร์นอห์	28
รูปที่ 2.30	Block Diagram และ Truth Table ของ BCD 8421	29
รูปที่ 2.31	Diode Matrix ของวงจรถอดรหัส BCD 8421 เป็นเลขฐานสิบ	30
รูปที่ 2.32	วงจร Gate Combination สำหรับวงจรถอดรหัส BCD –8421	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		หน้า
รูปที่ 2.33	วงจรมอดูเลตชนิดที่ใช้ไดโอด	32
รูปที่ 2.34	วงจรมอดูเลตแบบดูดกลืนใช้ไดโอด PIN	33
รูปที่ 2.35	วงจรคอลเลคเตอร์มอดูเลเตอร์	34
รูปที่ 2.36	วงจรแทงค์รูป π ซึ่งเป็นเอาต์พุตของมอดูเลเตอร์	35
รูปที่ 2.37	การมอดูเลตที่คอลเลคเตอร์โดยมอดูเลตทั้งภาคขับและภาคสุดท้าย	35
รูปที่ 2.38	วงจรมอดูเลตแบบอนุกรม	36
รูปที่ 2.39	การกระจายกำลังของทรานซิสเตอร์ในกรณีไม่มีการมอดูเลต	37
รูปที่ 2.40	การมอดูเลตโดยต่ออนุกรมซึ่งปรับปรุงใหม่เพื่อลดกำลังการสูญเสีย	38
รูปที่ 2.41	การดีเทกสัญญาณ AM ด้วยไดโอด	40
รูปที่ 2.42	วงจรดีเทกเตอร์ AM ใช้ไดโอด	41
รูปที่ 2.43	วงจรดีเทกเตอร์ AM ใช้ทรานซิสเตอร์	41
รูปที่ 2.44	สัญญาณ DSCBSC	42
รูปที่ 2.45	วงจรซิงโครนัสดีเทกเตอร์	42
รูปที่ 2.46	รูปคลื่นในวงจรซิงโครนัสดีเทกเตอร์	43
รูปที่ 2.47	วงจร โปรดักต์ดีเทกเตอร์	44
รูปที่ 2.48	แผนผังเครื่องรับชนิด TRF	45
รูปที่ 2.49	แผนผังเครื่องรับชนิดซุปเปอร์เฮต	46
รูปที่ 2.50	วงจรแปลงความถี่	47
รูปที่ 2.51	วงจรออโตดายน์	48
รูปที่ 2.52	วงจรมิกเซอร์ใช้ MOSFET	48
รูปที่ 2.53	วงจรขยาย IF	50
รูปที่ 2.54	การกำเนิดแรงดัน AGC อย่างง่าย	51
รูปที่ 2.55	แผงผังเครื่องรับซุปเปอร์เฮต แสดงการควบ AGC	52
รูปที่ 2.56	วงจร AGC ซึ่งสร้างแรงไฟควบคุมจากสัญญาณเสียง	52
รูปที่ 2.57	แผนผังเครื่องรับชนิดดับเบิลคอนเวอร์ชั่น	53
รูปที่ 3.1	แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องส่ง(Transmitter)	53
รูปที่ 3.2	วงจรกำเนิดพัลซ์ของแต่ละช่องสัญญาณ	56
รูปที่ 3.3	สัญญาณมัลติเพล็กซ์ทั้ง 9 ช่องสัญญาณ	57
รูปที่ 3.4	วงจรภาคสร้างรหัส	58
รูปที่ 3.5	แสดงลายทองแดงของวงจรภาคสร้างรหัส	59
รูปที่ 3.6	แสดงตารางตรรกของไอซี 7490 และ 74145	60
รูปที่ 3.7	แสดงลายทองแดงของวงจรภาคเครื่องส่ง	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		หน้า
รูปที่ 3.8	วงจรสมบูรณ์ของเครื่องส่ง 2 แชนแนล	62
รูปที่ 3.9	แสดงแผนผังของเครื่องรับวิทยุบังคับ	63
รูปที่ 3.10	แสดงลายทองแดงของวงจรเครื่องรับ	65
รูปที่ 3.11	วงจรเครื่องรับ 2 แชนแนล	66
รูปที่ 3.12	วงจรภาคถอดรหัส(Decoder)	67
รูปที่ 3.13	ลายทองแดงของวงจรภาคถอดรหัส	67
รูปที่ 3.14	แสดงส่วนประกอบภายในเซอร์โว	68
รูปที่ 3.15	คลื่นพัลซ์ควบคุมการทำงานของเครื่องกลไก	69
รูปที่ 4.1	แสดงรูปสัญญาณที่เอาต์พุตของภาคเข้ารหัส (Coder)	71
รูปที่ 4.2	แสดงรูปสัญญาณที่เอาต์พุตของภาคผลิตความถี่ (Oscillator)	72
รูปที่ 4.3	แสดงรูปสัญญาณที่เอาต์พุตของภาคส่ง (Transmitter)	73
รูปที่ 4.4	แสดงรูปสัญญาณที่เอาต์พุตของภาคดีเทคเตอร์ (Detecter)	74
รูปที่ 4.5	แสดงรูปสัญญาณที่เอาต์พุตของภาคถอดรหัส (Decoder)	75
รูปที่ 4.6	แสดง Spectrum ของสัญญาณที่วัดได้จากทางเครื่องส่ง	76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในสมัยที่ความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยียังไม่พัฒนาจนเจริญรุดหน้าเช่นในปัจจุบัน มนุษย์ได้ใฝ่ฝันที่จะมีอำนาจในการควบคุมสิ่งต่างๆให้ทำงานได้จากระยะที่ไกลๆ แต่ในยุคนั้นยังไม่มีพาหนะที่จะถ่ายทอดคำสั่งควบคุมไปยังระยะไกลๆได้ผลเพียงพอ จวบจนกระทั่งมีการค้นพบการส่งข่าวสารโดยอาศัยคลื่นวิทยุเป็นพาหนะ ความรู้สึกของมนุษย์ก็ได้รับการตอบสนองในด้านการบังคับจากระยะไกลอย่างเต็มที่ ในช่วงเวลาสี่สิบปีของการเริ่มต้นจากการส่งคลื่นวิทยุด้วยการทำให้เกิดประกายไฟ (Spark) ไปบังคับเครื่องเล่นขนาดเล็กให้ทำงานจนกระทั่งเป็นเครื่องส่งวิทยุที่สมบูรณ์แบบที่ควบคุมความถี่ด้วยผลึกแร่ พร้อมทั้งมีการผสมรหัส (Code) ที่จะใช้บังคับทั้งแบบ AM และ FM ซึ่งสามารถใช้บังคับอุปกรณ์ให้ทำงานได้หลายๆอย่างโดยถูกต้องในระยะไกลๆ ผู้สนใจในด้านนี้ได้นำมาดัดแปลงให้ใช้งานได้อย่างคล่องตัวจนมาเป็นกีฬาที่แพร่หลายไปทั่วโลกนั่นก็คือ การใช้วิทยุบังคับ จากผลของความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์นี้เองในที่สุดก็เกิดมีชุดอุปกรณ์ที่สามารถใช้บังคับสิ่งประดิษฐ์ต่างๆได้โดยง่าย โดยที่ผู้ใช้งานไม่ต้องมีความรู้ทางด้านอิเล็กทรอนิคส์ ชุดบังคับด้วยวิทยุ (Radio Control Set) เหล่านี้เป็นที่นิยมกันมากทั้งทางทหารและอากาศยาน ในที่นี้จะกล่าวถึงชุดบังคับด้วยวิทยุว่าทำงานอย่างไร ใช้งานอะไรได้บ้าง ส่วนต่อไปก็จะนำเอาวงจรและทฤษฎีการใช้งานมากล่าวโดยละเอียด พร้อมทั้งคำแนะนำในการสร้างอุปกรณ์จำลองต่างๆ ซึ่งสามารถใช้วิทยุบังคับอย่างได้ผล

การทำงานของวิทยุบังคับโดยปกติเราจะบังคับให้อะไรทำงานจะต้องประกอบด้วยผู้ออกคำสั่ง และผู้ปฏิบัติ สำหรับการบังคับด้วยวิทยุนั้น ผู้ออกคำสั่งบังคับและส่งคำสั่งออกไปคือ เครื่องส่ง (Transmitter) ซึ่งประกอบด้วยภาคกำเนิดข้อมูลที่ใช้บังคับ (Encoder) ภาคกำเนิดสัญญาณวิทยุ (RF Source) ภาคดีเทคเตอร์ (Detector) ภาคขยายสัญญาณ IF ภาคถอดรหัสสัญญาณ (Decoder) ชุดที่สองจะเป็นผู้รับข้อมูลข้อมูลจากภาคถอดรหัสสัญญาณไปเปลี่ยนแปลงเป็นการเคลื่อนไหวทางกล เราเรียกชุดที่สองนี้ว่า เซอร์โว (Servo)

การทำงานของเครื่องส่งวิทยุนี้คือ การส่งสัญญาณบังคับใดๆออกไปยังเครื่องรับวิทยุซึ่งเป็นตัวกลางนำข่าวสารนี้ไป เช่นเราต้องการให้เกิดการเคลื่อนไหวของสิ่งประดิษฐ์ที่มีเครื่องรับสำหรับการบังคับด้วยวิทยุซึ่งติดตั้งอยู่ก็ส่งข้อมูลการบังคับการเคลื่อนไหวไป โดยปกติชุดวิทยุจะใช้การโยกบังคับ (Control Stick)เป็นการสั่งให้เกิดการการเคลื่อนไหวที่เซอร์โวซึ่งรวมอยู่กับเครื่องรับ

การทำงานของเครื่องรับก็คือรับสัญญาณวิทยุจากเครื่องส่งแล้วทำการถอดรหัสสัญญาณบังคับซึ่งอาจสั่งให้เกิดการทำงานมากกว่า 1 อย่างแล้วส่งสัญญาณบังคับนี้ให้ตัวถ่ายทอดกำลังทางกลคือเซอร์โว เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวตามต้องการ

ในสมัยนี้ชุดบังคับด้วยวิทยุไม่ได้ยุ่งยากซับซ้อนอะไรมากนัก ผู้ใช้งานเพียงแต่ต่อสายซึ่งเป็นปลั๊กเสียบตามแผงทางไฟที่ให้มากับชุดวิทยุก็สามารถจะใช้งานได้ ทำให้การใช้งานเป็นไปอย่างแพร่หลาย

เมื่อมีวิทยุบังคับสัก 1 ชุด เราสามารถนำไปใช้งานได้ดังต่อไปนี้

1. ใช้บังคับอุปกรณ์จำลองต่างๆ เช่นเครื่องบินขนาดเล็ก รถยนต์เล็ก เรือลำเล็กๆ
2. ใช้บังคับอุปกรณ์จริงที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ รถยนต์ เครื่องบิน จรวด
3. ใช้อำนวยความสะดวกในชีวิตประจำวัน เช่น เปิดประตูบ้าน เปิดประตูโรงรถ

แต่สำหรับ Project นี้จะใช้วิทยุบังคับในการควบคุมการทำงานของเรือเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

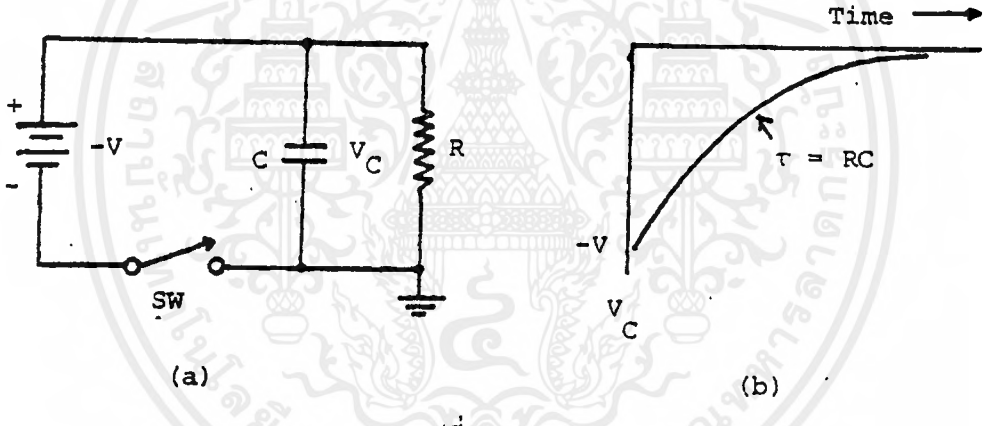
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 วงจรสร้างสัญญาณพัลซ์

2.1.1 วงจร RC

วงจรกำเนิดสัญญาณพัลซ์มากมายที่ใช้หลักการของการถูกประจุ (Charge) และการคายประจุ (Discharge) ของคาปาซิเตอร์ผ่านตัวต้านทาน (Resister) ดังตัวอย่างง่ายๆในรูปที่ 2.1 ซึ่งมีตัวคาปาซิเตอร์และความต้านทานต่อกันอยู่อย่างขนาน มีแบตเตอรี่ V พร้อมสวิทช์ (SW) ต่ออยู่ เมื่อสวิทช์ (SW) ต่อวงจรเข้าด้วยกัน คาปาซิเตอร์จะถูกประจุโดยแบตเตอรี่ V จนมีค่าแรงดัน = -V และหากสวิทช์ตัดวงจรออกจากกัน คาปาซิเตอร์จะคายประจุออกมาผ่านตัวต้านทาน โดยค่าแรงดันจะเปลี่ยนแปลงเข้าหา 0 โวลท์ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันที่คาปาซิเตอร์เป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชี่ยล (Exponential) เมื่อให้ V_C เป็นค่าแรงดันที่คาปาซิเตอร์ เราจะได้สมการของ V_C ดังนี้

$$V_C = -V\varepsilon^{-t/RC} = -V\varepsilon^{-t/\tau} \quad \text{.....(2-1)}$$



รูปที่ 2.1 วงจร RC

เมื่อ ε คือค่าฐานของเนเจอรัลล็อกการิธึม (Natural Logarithms) มีค่า 2.72

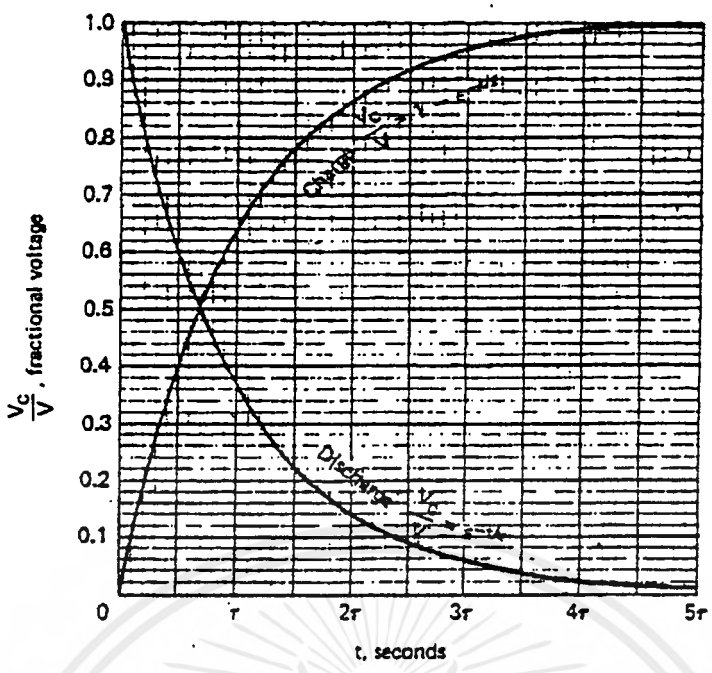
τ คือค่าคงที่เวลาของวงจร $= RC$ มีหน่วยเป็นวินาที

R ความต้านทานมีหน่วยเป็นโอห์ม (Ohms)

C คาปาซิเตอร์ มีหนวยเป็นฟารัด (Farads)

กราฟของการคายประจุของคาปาซิเตอร์แสดงในรูปที่ 2.1(a) โดยทั่วไปกราฟของการถูกประจุและการคายประจุของวงจร RC จะเป็นดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กราฟทั่วๆไปของการถูกประจุและคายประจุ

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่า เวลาที่ค่าแรงดันจะลดไปยัง 0 โวลท์นั้นคือเวลาที่อินฟินิตี้ (Infinite = ∞) หรือไม่มีเลย แต่ในทางปฏิบัติเราจะถือว่า ค่าแรงดันจะลดลงเป็น 0 โวลท์ที่เวลาผ่านไปเท่ากับ 5 เท่าของค่าคงที่เวลา และเมื่อเวลาผ่านไปเท่ากับหนึ่งค่าคงที่เวลา (τ) ค่าของกราฟจะอยู่ที่ –0.37 โวลท์ และเวลานั้นมีค่า $=RC$ มีหน่วยเป็นวินาที

<u>ตัวอย่างที่ 2-1</u> ในรูปที่ 2.2 ในวงจรรูปที่ 2.1(a) เมื่อค่า $V = -20$ โวลท์ $R = 500{,}000$ โอห์ม และ $C = 0.1$ ไมโครฟารัด (μF)

1) เมื่อเราใช้สวิทช์ตัดวงจรออกจากแบตเตอรี่ อยากทราบว่า จะกินเวลานาเท่าใด ค่าแรงดันที่คาปาซิเตอร์จึงจะลดลงจาก –20 โวลท์ เป็น –10 โวลท์

2) และกินเวลานานเท่าใด จะลดเหลือ –5 โวลท์

<u>วิธีทำ</u> ก่อนอื่น เราหาค่าคงที่เวลา (τ) ก่อน

$$\tau = RC = 500{,}000 \text{ โอห์ม} \times 0.1 \times 10^{-6} \text{ ฟารัด}$$
$$= 0.05 \text{ วินาที}$$

a) ในวงจรคายประจุ : ค่า $V_C/V = -10/20 = 0.5$ จากกราฟคายประจุ ค่า V_C/V จะลดไปที่ 0.5 เมื่อเวลาผ่านไป 0.7τ ฉะนั้น

$0.7\tau = 0.7(0.05) = 0.35$ วินาที

b) ค่า V_C/V คือ $(-5)/(-20) = 0.25$ จากกราฟเราจะได้ค่า $V_C/V = 0.25$ ที่ 1.4τ

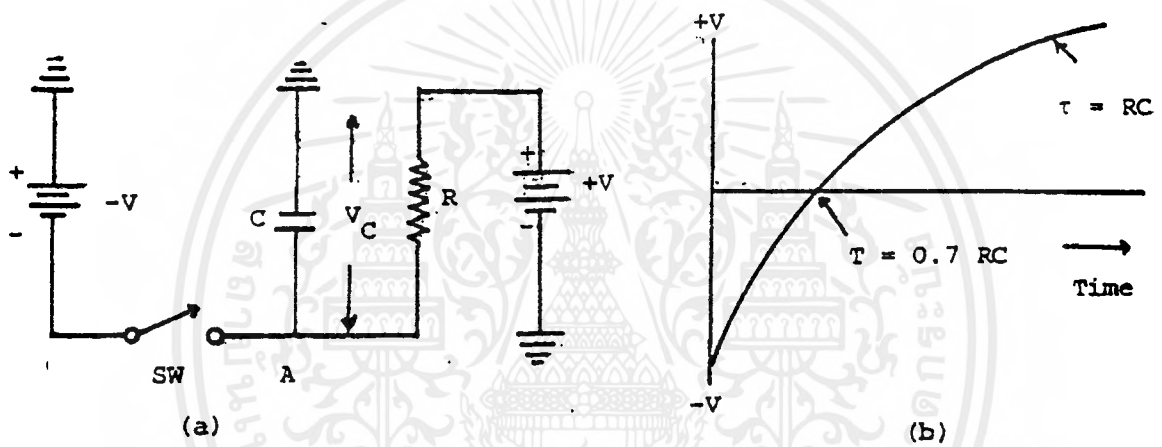
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4τ =1.4 (0.05) = 0.7 วินาที

หากเราขยายวงจรในรูปที่ 2.1(a) ให้เป็นดังรูปที่ 2.3(a) กล่าวคือเราต่อแรงดันบวกเข้ากับความต้านทาน ค่า +V ที่มีค่าแรงดันเท่ากับของ –V ของรูปที่ 2.1(a) แทนการต่อความต้านทานกับกราวด์อะไรจะเกิดขึ้น หากสวิทช์ SW ที่ต่อวงจรอยู่เกิดตัดวงจรออกจากกัน

เป็นที่แน่นอนว่า คาปาซิเตอร์จะถูกประจุผ่านตัวต้านทาน ถ้าปล่อยเวลานานพอ ค่าแรงดันที่จุด A จะต้องมีค่า +V ในตอนเริ่มแรกของการตัด สวิทช์นั้นแรงดันที่ A จะมีค่า –V ในวงจรค่า R และ C จะเป็นกำหนด τ ค่าแรงดันตกคร่อม C คือ V_C จะเริ่มจากค่า –V เพิ่มขึ้นไปในทางบวกเรื่อยๆ เข้าไปหา +V ดังแสดงในรูปที่ 2.3(b)

ซึ่งเวลาการเข้าหาค่า +V อาจกินเวลานาน ในขณะที่เข้าหาค่า +V ค่าแรงดันจะผ่านค่า 0 โวลท์ ซึ่งเป็นเวลาที่เราจะนำมาพิจารณา



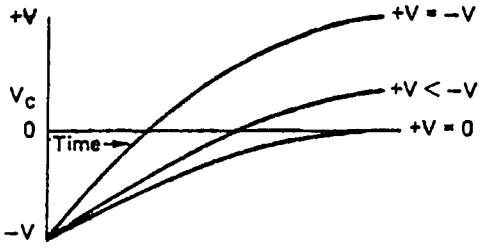
รูปที่ 2.3 วงจร RC ที่ขยายจากรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.3 นั้นค่าแรงดัน +V เป็นแรงดันที่ช่วยการคายประจุคาปาซิเตอร์ จากค่า –V และช่วยเสริมในการประจุไปยัง +V

พิจารณารูปที่ 2.2 เราสามารถทราบได้ว่าค่ากราฟจะมีค่า 0 โวลท์ เมื่อเวลาผ่านไปเท่าไรก็ได้ หากพิจารณาดูวงจรดังรูปที่ 2.1(a) กับ 2.3(a) จะเห็นว่าคล้ายกันมากต่างกันที่ว่า ค่าแรงดันรวมจะมีค่าเป็น 2V และ ค่า 0 เป็นค่าที่อยู่กึ่งกลางระหว่าง –V และ +V กราฟที่แสดงการคายประจุของทั้งสองวงจรเช่นเดียวกัน ต่างกันเพียงแต่ค่าแรงดันรวม =2V และที่ยอดของกราฟมีแนวโน้มเข้าหาค่า 2V เวลาที่กราฟมีค่า 0 โวลท์หรือ 50% (หาได้จากรูปที่ 2.2) คือ 0.7τ ถ้าหากค่า +V มีค่าไม่เท่ากับ V จะมีผลต่อเวลาของการเข้าหา 0 โวลท์

รูปที่2.4 แสดงให้เห็นผลที่กล่าวมานี้ จากรูปจะเห็นว่ายิ่งค่า +V มีค่าน้อยลง การเข้าหา 0 ของกราฟจะยิ่งกินเวลานานออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ผลที่เกิดจากค่า +V ขนาดต่างๆ

<u>ตัวอย่างที่ 2-2</u> จากรูปถ้า –V = -40 โวลท์,+V = +10 โวลท์จงหาว่าจะกินเวลานานเท่าไร
ค่าแรงดันที่คาปาซิเตอร์ C=0.1 ไมโครฟารัด (μ F)

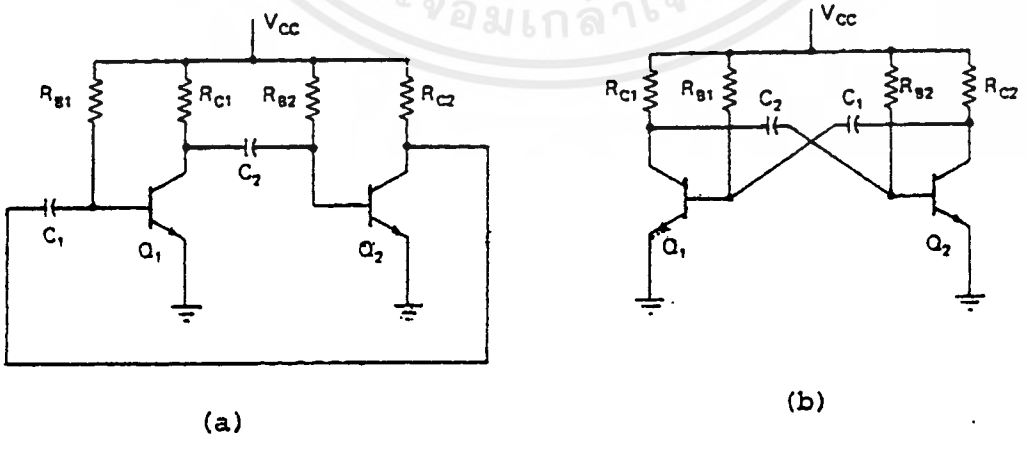
<u>วิธีทำ</u> แรงดันทั้งหมด = 40+10 = 50 โวลท์ ค่า $V_C/V = 10/50 = 0.2$ จากกราฟรูปที่ 2.4 ทราบว่า เวลาที่เสียไป = 1.6τ

T = 1.6(0.05) = 0.08 วินาที

<u>ข้อสังเกต</u> ในการคิด อาจคิดจากกราฟของการถูกประจุที่ V_C/V = 40/50 = 0.8(V_C/V) จะกินเวลาในการประจุ = 1.6τ ได้

2.1.2 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

จากการ ถูกประจุและการคายประจุของคาปาซิเตอร์ เรานำมาประกอบกับวงจรทรานซิสเตอร์ เพื่อประกอบเป็นวงจรกำเนิดสัญญาณพัลซ์ที่เรียกว่า วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ ดังรูปที่ 2.5 หากเราเปรียบเทียบกับวงจรไบสเตเบิล จะพบว่าในวงจรไบสเตเบิลมีการคัปปลิ้ง (Coupling) แบบ DC จากคอลเลคเตอร์ มายังเบสของทรานซิสเตอร์ แต่ในวงจรอะสเตเบิลนั้นมีการคัปปลิ้งแบบ AC โดยใช้คาปาซิเตอร์ C_1 และ C_2



รูป 2.5 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์แบบใช้ทรานซิสเตอร์

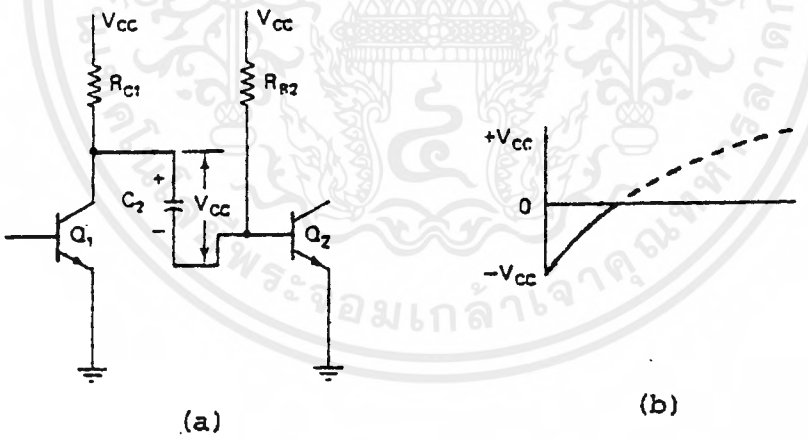
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวงจรไบสเตเบิลนั้น เราให้อุปกรณ์ต่างๆ ในวงจรทำหน้าที่ให้การทำงานเป็นการคัทออฟของทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่ง และอีกตัวหนึ่งจะคอนดัคในเวลาเดียวกัน และสภาวะนี้จะเป็นแบบคงที่หรือสเตเบิล (Stable) ซึ่งสภาวะสเตเบิลนี้จะมี 2 สภาวะ เมื่อวงจรอยู่ในสถานะหนึ่งก็จะรักษาสถานะไว้ การเปลี่ยนแปลงจากสถานะหนึ่งไปอีกสถานะหนึ่งนั้น ต้องอาศัยการกระตุ้นจากภายนอก

ในวงจรอะสเตเบิลนั้นก็อาศัยหลักการเดียวกัน คือทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งคัทออฟ และทรานซิสเตอร์อีกตัวหนึ่งจะคอนดัคในเวลาเดียวกัน แต่ในวงจรจะไม่มีสถานะสเตเบิล การทำงานจะเปลี่ยนไปเปลี่ยนมาระหว่างสองสถานะด้วยอัตราที่สามารถทราบได้ จากค่า R และ C โดยไม่ต้องอาศัยการกระตุ้นจากภายนอก

การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ แรกทีเดียว สมมติว่า Q_1 อยู่ในสถานะคอนดัค หรืออิ่มตัว และ Q_2 อยู่ในสถานะคัทออฟ คาปาซิเตอร์ C_2 ถูกประจุจนมีแรงดันตกคร่อม = $-V_{CC}$ ทำให้เบสของ Q_2 เป็นลบ ฉะนั้น Q_2 จึงคัทออฟ เมื่อ Q_2 คัทออฟ ค่า $I_{B2} = I_{C2} = 0$ ถ้าหากเราเปรียบวงจรรูปที่ 2.6 กับรูปที่2.3(a) จะเห็นว่าเหมือนกับกรณีเราตัดสวิทช์ ขาหนึ่งของคาปาซิเตอร์ต่อกับกราวด์ (V_{CESat}) อีกข้างหนึ่งมีค่าแรงดัน = $-V_{CC}$ และถูกประจุผ่าน R_{B2} ให้มีค่า $+V_{CC}$ ฉะนั้นแรงดันที่เบส Q_2 จะเพิ่มเข้าหาค่า $+V_{CC}$ ซึ่งในกรณีดังกล่าวแสดงในรูปที่ 2.6(b)

ในเวลาเดียวกัน ค่าไบแอสที่คัทออฟที่เบสของ Q_2 ตัด Q_2 ให้ off และ $V_{CE2} = V_{CC}$ ทรานซิสเตอร์ Q_1 คอนดัค และมีค่า $V_{BESat} \cong 0.7V \cong 0V$ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 จะพบว่าคาปาซิเตอร์ C_1 มีค่าแรงดันตกคร่อมอยู่ $\cong V_{CC}$-0.7 โวลท์ $\cong V_{CC}$ โดยมีค่าเบสเป็นลบ และทางคอลเลคเตอร์บวก

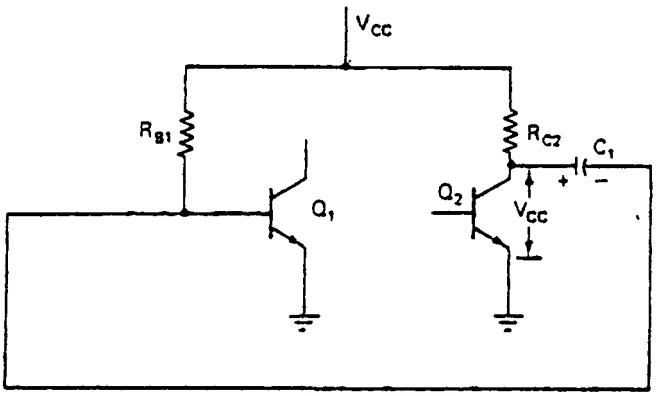


รูปที่ 2.6 เงื่อนไขตอนเริ่มต้นการทำงานของอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

ย้อนกลับมาดูรูปที่ 2.6 คาปาซิเตอร์ C_2 ถูกประจุไปจนมีค่า $+V_{CC}$ ด้วยค่าคงที่ที่เวลา $\tau = R_{B2}C_2$ ค่าคงที่เวลานั้นถูกกำหนดโดยค่าความต้านทานเบส และคาปาซิเตอร์ ณ เบสที่เดียวกัน ค่าแรงดันที่ถูกประจุเพิ่มไปเรื่อยๆ จนกระทั่งแรงดันที่เบสของ Q_2 คอนดัค ถ้าทรานซิสเตอร์ตัวนั้นเป็นซิลิคอน การคอนดัคจะเกิดเมื่อ $V_{BE} = 0.7$ โวลท์ ฉะนั้นที่เบสของ Q_2 เพิ่มจาก $-V_{CC}$ ไปยังค่าประมาณ 0 โวลท์คือ

$$T_2 = 0.7\, R_{B2}\, C_2 \quad \text{.....(2-2)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 เงื่อนไขสำหรับคาปาซิเตอร์ C_1

ในทันทีที่กระแสเบสไหลใน Q_2 กระแสคอลเลคเตอร์ของ I_{C2} จะเริ่มไหล ค่า V_{CE2} จะลดจากค่า V_{CC} การลดลงของแรงดันนี้จะถูกคัปปลิ้งผ่านคาปาซิเตอร์ C_1 ไปยังเบสของ Q_1 (รูปที่ 2.5) และในทิศทางที่ทำให้ Q_1 คัทออฟ ผลที่เกิดขึ้นคือ ค่ากระแสคอลเลคเตอร์ลดลงทำให้แรงดันคอลเลคเตอร์เพิ่มขึ้นการเพิ่มทิศทางบวกของแรงดันถูกคัปปลิ้งผ่าน C_2 ไปในทิศทางที่ทำให้ Q_2 คอนดัคได้ยากขึ้น แต่เมื่อ Q_2 เริ่มต้นเข้าสู่การคอนดัคแล้วจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว (ประมาณ 20 นาโนวินาที) ค่าแรงดันตกคร่อมที่คอลเลคเตอร์ของ Q_2 ถูกคัปปลิ้งผ่าน C_1 ไปยังเบสของ Q_1 ทำให้ Q_1 เข้าสู่การคัทออฟอย่างรวดเร็ว

จากรูปที่ 2.7 เราพบว่าค่าแรงดันที่ C_1 มีค่า V_{CC} และค่าแรงดันนี้จะคงที่ไปชั่วระยะเวลาหนึ่งเพราะค่าแรงดันตกคร่อมที่คอลเลคเตอร์ของ Q_2 นั้นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมากจนประจุบน C_1 ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แรงดันที่เบสของ Q_1 จะเปลี่ยนไปยัง $-V_{CC}$ อย่างรวดเร็ว จากนั้น C_1 จะเริ่มคายประจุผ่าน R_{B1} จน V_{BE1} มีค่าประมาณ 0 สำหรับค่าเวลาที่แรงดันเบสของ Q_1 ลดลงจาก $-V_{CC}$ มายัง 0 V นั้นหาได้จากสูตร

$$T_1 = 0.7R_{B1}C_1 \quad \text{.....(2-3)}$$

ความถี่ของวงจรนั้นสามารถจะหาได้จากการคิดเวลาทั้งหมดของการที่แรงดันเบสเริ่มและกลับมายังจุดตั้งต้นคือ

$$T = T_1T_2 = 0.7(R_{B1}C_1 + R_{B2}C_2) \quad \text{.....(2-4)}$$

ในการออกแบบมักให้ $R_{B1}=R_{B2}=R_B$ และ $C_1=C_2=C$ เราจะได้ค่าของ T ดังนี้

$$T = 0.7(R_BC + R_BC)$$
$$= 1.4R_BC \quad \text{.....(2-5)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ หรืออัตราการซ้ำของตัวพัลซ์ (Pulse Retition Rate : PRR) คือ

$$f \text{ หรือ } PRR = \frac{1}{T}$$

$$= \frac{1}{0.7(R_{B1}C_1 + R_{B2}C_2)} \quad \text{.....(2-6a)}$$

สำหรับกรณีความต้านทานทุกตัวเท่ากันเท่ากับ R_B และคาปาซิเตอร์ทุกตัวมีค่า C จะได้

$$f = \frac{1}{1.4(R_BC)} = \frac{0.7}{R_BC} \quad \text{.....(5-6b)}$$

<u>ตัวอย่าง 2-3</u> จากรูป 2.5 R_{B1} = 10 KΩ , R_{B2} = 10 K,C_1 = 0.01 μF , C_2 = 0.20μF จงหาค่า f (PRR)

<u>วิธีทำ</u>

$$T_1 = 0.7R_{B1}C_1 = 0.07(10{,}000)(0.01)(10^{-6})$$

$$= 0.7 \times 10^{-4}$$

T_1 คือเวลาที่ Q_1 คัทออฟและ Q_2 คอนดัค.

$$T_2 = 0.7R_{B2}C_2 = 0.07(10{,}000)(0.02)(10^{-6})$$

$$= 1.4 \times 10^{-4}$$

T_2 คือเวลาที่ Q_2 คัทออฟและ Q_1 คอนดัค

T = $T_1 + T_2$ = $0.7 \times 10^{-4} + 1.4 \times 10^{-4}$

= 2.1×10^{-4} วินาที

PRR = $1/T = 10^4 / 2.1$ = 4760 พัลซ์ / วินาที

F = 4760 Hz.

<u>ตัวอย่าง 2-4</u> ถ้า C2 = 0.01 μF จงหาค่า PRR

<u>วิธีทำ</u>

RB1 = $R_{B2} = R_B$ = 10,000 Ω

C1 = C_2 C = 0.01 μF

T = $1.4R_BC = 1.4(10{,}000)(0.01)(10^{-6})$

= 1.4×10^{-4} วินาที

f = 1/T = 7070 PPS

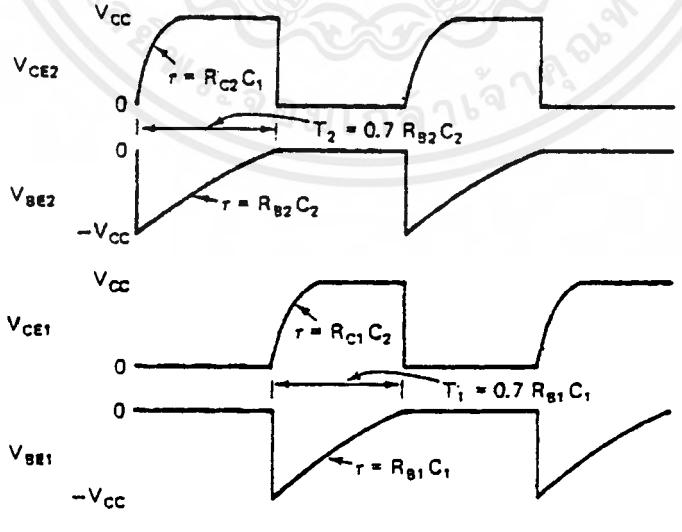
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะรูปร่างของสัญญาณที่คอลเลคเตอร์นั้นขอให้ย้อนกลับไปดูรูปที่ 2.5 เราเริ่มต้นเมื่อ Q_1 คอนดัคหรืออิ่มตัว และ Q_2 คัทออฟ ค่าแรงดันที่คอลเลคเตอร์ของ Q_1 ประมาณเท่ากับ 0 คาปาซิเตอร์ C_2 จะคายประจุในทิศทางบวกผ่าน R_{B2} จนกระทั่ง V_{BE2} ประมาณเท่ากับ 0 ซึ่งจะมีเงื่อนต่อไปนี้เกิดขึ้น

1) ณ จุดปลายทั้งสองคาปาซิเตอร์ C_2 จะมีแรงดันประมาณ 0 และแรงดันตกคร่อม C_2 ประมาณ 0
2) Q_2 คอนดัคและ V_{BE2} ถูกยกไว้ที่ประมาณ 0
3) Q_1 คัทออฟและกระแสคอลเลคเตอร์จะกลายเป็น 0 อย่างรวดเร็ว

ภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวนี้ Q_1 จะเป็นแบบวงจรเปิด และคาปาซิเตอร์ C_2 ถูกต่อเข้ากับ R_{C1} และต่อไป V_{CC} ดังนั้นคาปาซิเตอร์ C_2 ถูกประจุไปยังค่า V_{CC} โดยมีค่าคงที่เวลาของคอลเลคเตอร์ $T = R_{C1}C_2C$ และค่าแรงดันที่คอลเลคเตอร์เพิ่มไปยังค่า V_{CC} ด้วยค่าคงที่เวลานี้ เนื่องจาก $R_C << R_B$ (สำหรับการออกแบบที่ดี $R_B < H_{FE} R_C$) ค่าคงที่ของเวลาของคอลเลคเตอร์จะมีค่าต่ำกว่าค่าคงที่ของเวลาของเบสมาก และค่าแรงดันคอลเลคเตอร์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

เมื่อคอลเลคเตอร์เข้าสู่สภาวะอิ่มตัว เวลาจะมีค่าน้อยและสามารถกำหนดโดยค่า F_T ของทรานซิสเตอร์ ค่าความต้านทานของทรานซิสเตอร์มีค่าน้อยมาก ค่าไรซ์ไทม์ (Rise Time) ของคอลเลคเตอร์จะมีค่ามากกว่า ค่าความต้านทานที่มองกลับไปยังทรานซิสเตอร์คือ R_C เพราะทรานซิสเตอร์คัทออฟ ค่านี้มีค่ามากเมื่อเทียบกับ R_{CESat} (ค่าความต้านทานของทรานซิสเตอร์ในกรณีคอนดัค) ฉะนั้นจะเห็นว่าด้านที่ใช้ประโยชน์คือด้านที่คอนดัคซึ่งมีค่าความคมและมีค่าความต้านทานต่ำ



รูปที่2.8 ลักษณะของรูปคลื่นของวงจรอะสเตเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การเปลี่ยนความถี่ของวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

จากสมการที่ (2-4) จะเห็นว่าเราสามารถที่จะเปลี่ยนความถี่ของสมการได้ โดยการเปลี่ยนค่าความต้านทาน R_B หรือคาปาซิเตอร์ C แต่วิธีการนี้ก็มีข้อจำกัดดังเช่น ถ้าหากเราพยายามทำให้ค่าความถี่ต่ำลงโดยเพิ่มค่า R_B นั้นเราต้องคำนึงการอิ่มตัวของวงจรคงอยู่ และถ้าหากเราทำให้ความถี่เพิ่มสูงขึ้น โดยการลดค่า R_{B1} การทำงานของทรานซิสเตอร์จะเข้าไปยังจุดลึกของการอิ่มตัว และอาจเกิดปัญหาเกี่ยวกับเวลาการเก็บ(Storage-Time) หรือทรานซิสเตอร์ทั้งสองตัวในวงจร อาจทำงานแบบอิ่มตัวตลอดเวลา วงจรจะไม่ทำงานตามต้องการ ทางที่ดีเราควรเปลี่ยนค่าทั้ง R และ C ด้วย

วิธีการอีกวิธีหนึ่งคือการขยายรูปที่ 2.5 โดยการเปลี่ยนค่าของความต้านทานเบส จากการต่อกับ $+V_{CC}$ ไปต่อที่แรงดันบวกค่าอื่น ที่แตกต่างไปจากแรงดัน $+V_{CC}$ ให้เป็นค่า $+V_{BB}$ จากวิธีการอันนี้ทำให้เราสามารถได้กรณีที่กล่าวไว้ในรูปที่ 2.5 คือการเปลี่ยนแปลงเวลา สำหรับเวลาคงที่จะลดค่าไปถึง 0V

ถ้าเราทำให้ $+V_{BB}$ นั้นเป็นค่าที่ปรับได้ เราก็จะสามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ของวงจรโดยไม่ต้องเปลี่ยนค่า R_B และ C เลยวิธีการเช่นนี้ เราได้วงจรที่เรียกว่า วงจรสร้างความถี่จากการควบคุมแรงดัน VCO (Voltage Controlled Oscillator)

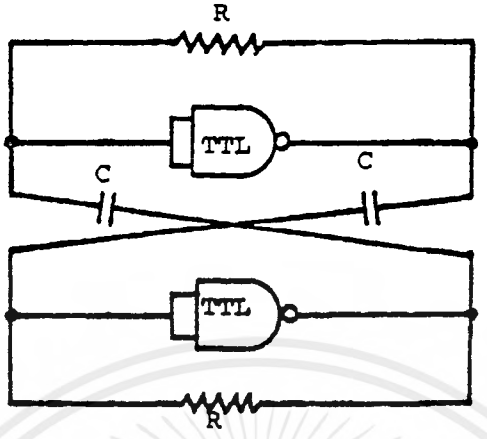
จากสมการที่ (2-4) ที่เราได้มานั้น เราสามารถสมมติว่าทรานซิสเตอร์คอนดัคที่ $V_{BE} = 0$ ซึ่งวิธีการนี้ทำให้ค่า PRR ไม่ขึ้นกับ V_{CC} แต่ในทางปฏิบัติเราทราบแน่นอนว่า V_{BE} มีค่าประมาณเท่ากับ 0.7 โวลท์ ก่อนที่ทรานซิสเตอร์จะคอนดัค ฉะนั้นกว่าค่าจะถึง 0.7 โวลท์ กินเวลานานกว่า 0 โวลท์เล็กน้อย จำเป็นต้องนำค่า V_{BE} มาคิดเพื่อหาความถูกต้องของกราฟของการประจุของ RC และถ้าหากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป จะทำให้ค่า PRR เปลี่ยนแปลงไปด้วย ในรูปที่ 2.8 จะพบว่าการทำงานของวงจรนั้น ทำเมื่อเราให้ V_{BE} เพิ่มไปยัง $-V_{CC}$ ซึ่งทรานซิสเตอร์จะต้องมีค่าเบรคดาวน์(Breakdown) ของ V_{BE} ที่มากกว่านี้ หรือสมการที่ (2-4) ยังไม่มีความถูกต้องนัก และอาจกล่าวได้ว่า ความถี่อาจเปลี่ยนเมื่อ V_{CC} เปลี่ยนไป

วิธีการหนึ่งที่จะเพิ่มความแน่นอนของความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณพัลซ์นั้น อาจทำได้โดยการใช้อุปกรณ์ที่มีความแน่นอนในการกำเนิดสัญญาณ เช่น ผลึกควอทซ์(Quartz Crystal) ซึ่งจะกล่าวในตอนหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

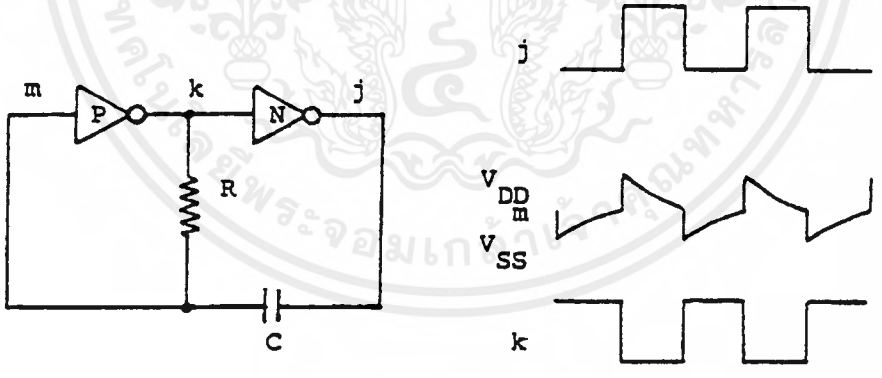
2.1.4 วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์แบบใช้ไอซี

เราอาจใช้วงจรเกทมาประกอบกันเป็นวงจรอะสเตเบิลแทนการใช้ทรานซิสเตอร์ในรูปที่ 2.5 ได้ รูปที่ 2.9 แสดงถึงการใช้ไอซีแบบแนนด์เกท 2 ตัวมาประกอบกัน



รูปที่ 2.9 อะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์แบบใช้ TTL

นอกจากนั้นยังมีวิธีการสร้างอะสเตเบิลอีกวิธีหนึ่งโดยการใช้ CMOS ดังรูปที่ 2.10 ซึ่งเป็นการนำเอาอินเวอร์เตอร์แบบ CMOS มาต่อกันโดยใช้ R และ Cมาต่อภายนอก 1 ตัว การทำงานของวงจรจะประจุและคายประจุ จาก R และ C สลับกันไปเรื่อยๆ



รูปที่ 2.10 อะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์แบบใช้ CMOS

การทำงานในรูปที่ 2.10 เราสามารถอธิบายได้ดังนี้ สมมติแรกสุดจุด j มีค่าอยู่ที่กราวด์หรือ V_{SS} และคาปาซิเตอร์ C ไม่มีประจุเลย (ค่าแรงดันตกคร่อมไม่มี) ค่าแรงดันที่จุด m จะเท่ากับ V_{SS} จากการทำงานของอินเวอร์เตอร์จุด k จะมีค่า $+V_{DD}$ ค่าแรงดันที่เกินบวกมี k จะประจุ C ผ่านทาง R และแรงดันที่จุด m จะเพิ่มขึ้นทางบวกแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลด้วยอัตราที่เราหาได้ด้วยค่าคงที่เวลา RC ที่ 0.7 โวลท์ RC ค่าแรงดันที่ m จะมี

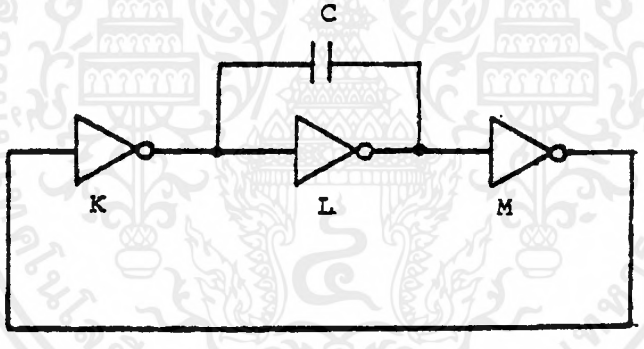
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าครึ่งหนึ่งของ V_{DD} เกท N จะทำการสวิทช์ค่า k จะมีค่าทางตรรกเป็น 0 หรือ V_{SS} (กราวด์) จุด j จะมีค่าทางตรรกเป็น 1 หรือ+V_{DD} และจุด m มีค่าทางบวกไม่เกิน +V_{DD} ซึ่งจำกัดโดยค่าไดโอดภายใน CMOS ณ จุดนี้เราได้จุด j และ m มีค่า +V_{DD} และจุด k ที่กราวด์ (=V_{DD}) ซึ่งค่าในขณะนี้จะตรงกันข้ามกับในตอนแรก คาปาซิเตอร์ C จะถูกประจุในทิศทางลบผ่าน R ไปยัง k การประจุแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลเป็นไปจนกระทั่งมีค่า $V_{DD}/2$ อีกครั้ง เวลาที่จุดนี้ = 0.1RC เมื่อแรงดันไปถึงจุดเกท N จะทำงานแบบสวิทช์อีกครั้ง แต่ในทิศทางตรงกันข้ามทำให้จุด j และ k มีค่า V_{SS} การทำงานจะวนเวียนไปเรื่อยๆ เราจะได้รูปแบบสัญญาณดังรูปที่ 2.12(b) เวลาสำหรับ 1 ไซเคิลหาได้จาก

$$T = 0.7RC + 0.7RC = 1.4RC \quad \text{.....(2-7)}$$

2.1.5 ออสซิลเลเตอร์แบบวงแหวน

วงจรออสซิลเลเตอร์แบบวงแหวนที่สร้างจากไอซีแสดงในรูปที่ 2.11 ในรูปมีอินเวอร์เตอร์ 3 ตัวต่อกันเป็นวงแหวน สมมติว่า K=1 ฉะนั้น L=0, M=1 ทำให้ K=0 ค่า K ที่เดิมเป็น 1 ก็จะเปลี่ยนเป็น 0 และเมื่อ K=0 แล้ว L=1, M=0 ทำให้ K กลับเป็น 1 เป็นวงแหวนอัตราการเปลี่ยนแปลงหาได้จากเวลาในการสวิทช์ของเกทรวมกับเวลาที่ใช้ในการประจุ และคายประจุของ C



รูปที่ 2.11 ออสซิลเลเตอร์แบบวงแหวนสร้างจากไอซี

2.1.6 ออสซิลเตอร์แบบผลึก

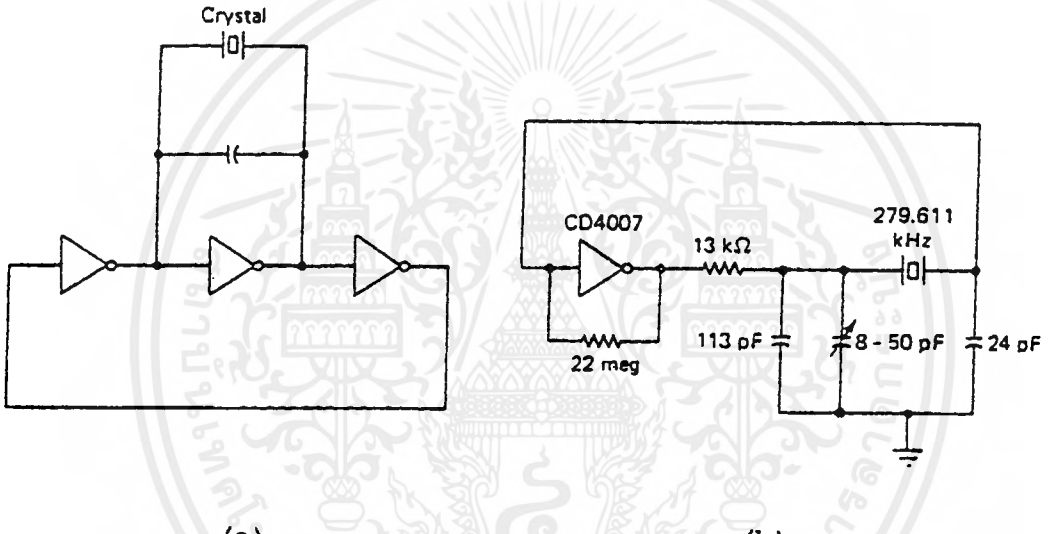
ได้มีการนำเอาวงจรกำเนิดสัญญาณพัลซ์ไปใช้งานในวงการต่างๆอย่างกว้างขวาง ในบางครั้งเราต้องการวงจรกำเนิดสัญญาณพัลซ์ที่มีค่าความแน่นอนของความถี่สูง แต่วงจรที่เรากล่าวมาแล้วนั้นค่า PRR จะเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนของอุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ และเปลี่ยนตามอุปกรณ์ ไม่ว่าเราจะใช้อุปกรณ์ควบคุมเกี่ยวกับอุณหภูมิและแรงดันที่ดีเลิศเพียงใดก็ตาม ก็ยังมีเปอร์เซ็นต์ของความผิดพลาดอยู่ประมาณ 1% ในการสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณพัลซ์ที่ให้ประสิทธิภาพ และมีความแน่นอนสูงในอัตรา 0.01% นั้นเรามักจะใช้แท่งของผลึกเป็นตัวควบคุมความถี่ที่เรียกว่า ออสซิลเลเตอร์แบบผลึกควอทซ์

ควอทซ์เป็นสารที่มีคุณสมบัติต่างๆ ตลอดแกนสารของมันเมื่อเราวางห่างกัน 90 องศา ซึ่งกันและกัน เรียกแกนหนึ่งว่าออปติคัล(Optical Axis) ซึ่งเราจะไม่สนใจแกนนี้ แต่จะไปสนอีก 2 แกนที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่าเปียโซ (Piazoelectical) โดยหลักการที่ว่า เมื่อเราให้แรงดันทางแมคคานิค (Mechanical Pressure) ตามแกนๆ หนึ่งของผลึก ประจุไฟฟ้าจะปรากฏที่ผิวผลึกบนอีกแกนหนึ่งที่ตั้งฉากกับแกนที่เราให้แรงดันเข้าไป ถ้าหากว่าผลึกนั้นถูกติดตั้งอยู่ระหว่างแผ่นตัวนำไฟฟ้า 2 แผ่นจะทำให้เกิดเป็นคาปาซิเตอร์ เมื่อแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับถูกป้อนเข้าไปยังผลึก ผลึกจะสั่นสะเทือน และค่าเรโซแนนซ์ของผลึกจะอยู่ที่ความถี่โดยขนาดของมัน ค่าเรโซแนนซ์จะคมมาก คมกว่าที่เราสร้างจากอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วๆไป ทำให้ค่าความถี่ที่เกิดจากการใช้ผลึก เป็นตัวควบคุมที่มีความแน่นอนมากกว่า

วงจรออสซิลเลเตอร์แบบผลึกควอทซ์มีวงจรต่างกันมากมาย รูปที่ 2.12 เป็นตัวอย่างวงจรสองตัวอย่างที่สามารถสร้างจากไอซีได้ รูปที่ 2.12(a) เป็นการขยายวงจรออสซิลเลเตอร์แบบวงแหวน และรูปที่ 2.12(b) เป็นวงจรใช้ไอซีแบบ CMOS วงจรออสซิลเลเตอร์แบบผลึกควอทซ์ มีค่าความแน่นอนของความถี่ที่สร้างขึ้นมาสูงกว่าแบบอื่นๆ ที่เรากล่าวมาทั้งแล้ว



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างวงจรออสซิลเลเตอร์แบบผลึกควอทซ์

2.1.7 โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์

ในการใช้งานวงจรดิจิตอลนั้น มีบ่อยครั้งที่เราต้องการสร้างสัญญาณพัลซ์ตัวเดียวที่สามารถปรับความกว้างของพัลซ์ได้ตามต้องการ ตัวอย่างเช่น ในการส่งข้อมูลไปเป็นระยะทางไกลๆ โดยใช้สายเคเบิล (Cables) นั้น คุณสมบัติหรือรูปร่างของสัญญาณพัลซ์จะเปลี่ยนแปลงไปเพราะคุณสมบัติของเคเบิลหรือสัญญาณรบกวนที่อาจมีอยู่ก่อนที่สัญญาณนี้จะถูกเปลี่ยนแปลงไปจนทำให้การทำงานผิดพลาด เราใช้แหล่งกำเนิด "พัลซ์ตัวเดียว" (Single Pulse Generator) เพื่อจัดรูปร่างของพัลซ์ให้เข้ารูปก่อนส่งต่อไปในเคเบิล วิธีการนี้ใช้เป็นระยะตามระยะทาง ซึ่งระยะทางยาวก็ยิ่งใช้มากเพื่อให้สัญญาณคงรูปเดิมอยู่ ตัวอย่างอีกอันหนึ่งก็คือ การใช้เป็นเครื่องจับเวลาในเครื่องขยายรูป ในการขยายรูปนั้นเราต้องควบคุมเวลาที่แสงในเครื่องจะต้องตกลงบนกระดาษเป็นต้น

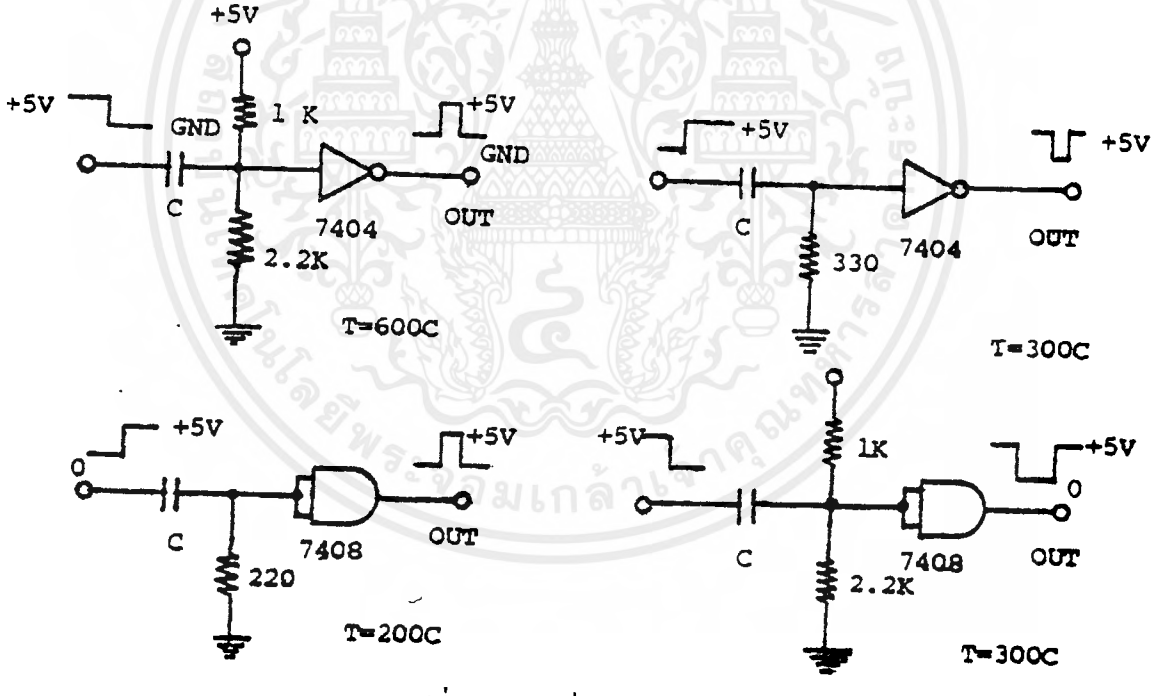
แหล่งกำเนิดสัญญาณพัลซ์ตัวเดียวนี้มีชื่อเรียกกันมากมายหลายชื่อ แต่ชื่อที่นิยมเรียกกันมากที่สุดก็คือ โมโนสเตเบิล (Monostable) ซิงเกิลช็อท (Single Shot) หรือวันช็อท (One Shot) หลักการของวงจรโมโนสเตเบิลขึ้นอยู่กับการนำเอาวงจรไบสเตเบิลและวงจรอะสเตเบิลรวมกัน วงจรสามารถอยู่ในสถานะที่คงที่ได้เพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติของโมโนสเตเบิล สัญญาณพัลซ์เป็นตัวกระตุ้นให้วงจรออกจากสถานะที่คงที่ได้เพราะคุณสมบัติของไบสเตเบิล สัญญาณพัลซ์เป็นตัวกระตุ้นให้วงจรออกจากสถานะที่คงที่ไปยังสถานะกึ่งกลาง (Quasi Stable) ซึ่งเป็นคุณสมบัติของอะสเตเบิล

วงจรโมโนสเตเบิลนั้นสามารถสร้างขึ้นได้อย่างง่ายๆ โดยใช้แนนด์เกท ซึ่งทำให้มีราคาถูก แต่วงจรที่สร้างจากแนนด์เกทนั้นจะมีประสิทธิภาพทางด้านความกว้างของสัญญาณที่ได้ไม่แน่นอนนัก สำหรับงานที่ต้องการความแน่นอนของความกว้างของสัญญาณ จำเป็นต้องใช้วงจรเฉพาะที่สร้างขึ้นมาสำหรับโมโนสเตเบิล เช่นที่เป็นไอซีเบอร์ 74121 74122 74123 หรือ 74221 นอกจากนี้ก็มีไอซีเบอร์ 555 ที่รู้จักกันในชื่อว่า ไทม์เมอร์ (Timer) โดยเฉพาะไอซีเบอร์ 555 นั้นจะให้สัญญาณเอาต์พุตที่มีช่วงของพัลซ์ คือมีค่าจากไมโครวินาทีถึงเป็นชั่วโมง

ในตอนแรกนี้เราจะพิจารณาถึงวงจรโมโนสเตเบิลที่ง่ายที่สุดซึ่งประกอบขึ้นจากอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เพียงตัวเดียวดังแสดงในรูปที่ 2.13 เรียกว่า วงจรกึ่งโมโนสเตเบิล (Half Monostable) ในวงจรที่แสดงนั้นไม่มีการป้อนกลับจากเอาต์พุต ค่าความกว้างของสัญญาณพัลซ์ขึ้นอยู่กับแรงดันและอุณหภูมิ และขอบการตกของสัญญาณ (Falling Edge) จะไม่เร็วนัก สำหรับวงจรนี้ยังมีข้อจำกัดคือ สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะมีความกว้างกว่าความกว้างของสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามา



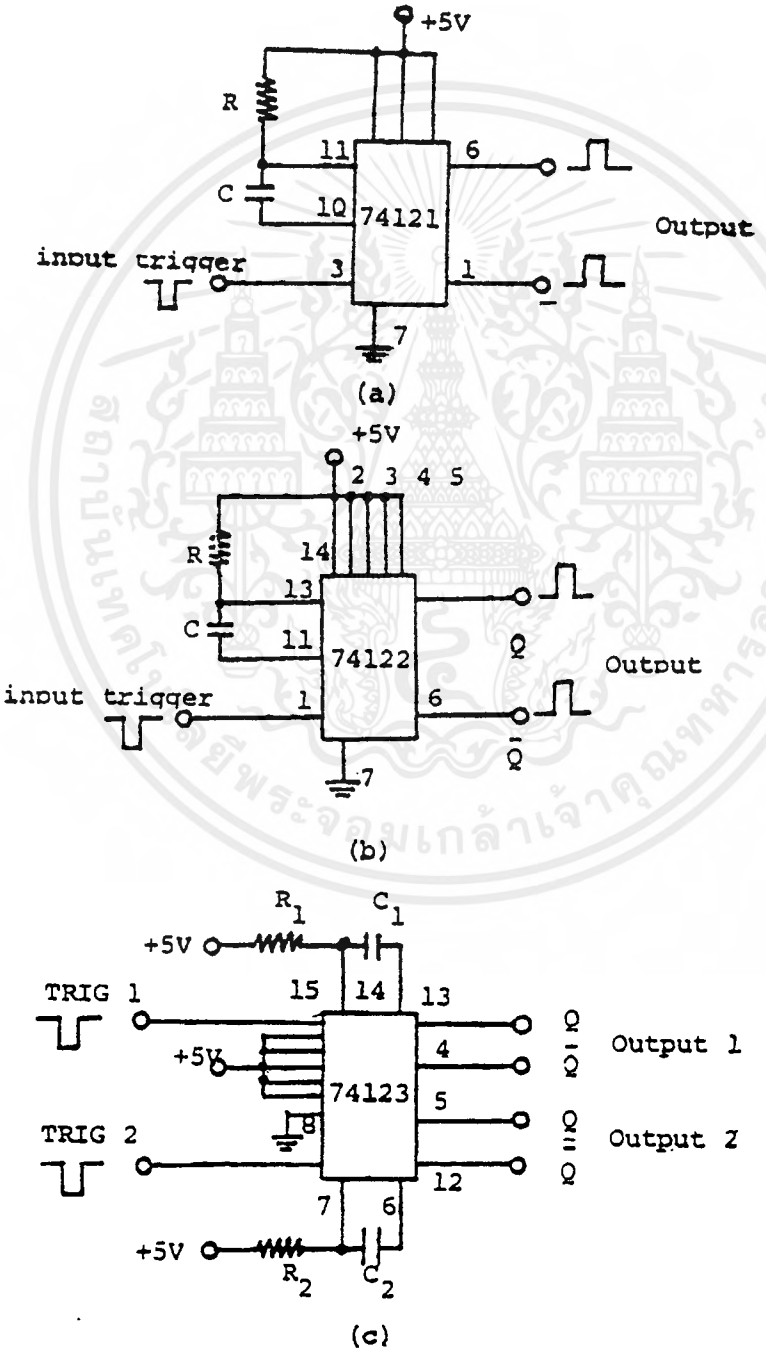
รูปที่ 2.13 วงจรกึ่งโมโนสเตเบิล

วงจรนี้สามารถนำไปใช้ได้ทั่วไปสำหรับงานที่ไม่ต้องการความแน่นอนเกี่ยวกับความกว้างของสัญญาณอินพุต การนำเอาวงจรกึ่งโมโนสเตเบิลไปใช้งานอันหนึ่งก็คือ ในแผงวงจรแสดงผลของระบบดิจิตอล โดยการใช้ขอบนำ (Leading Edge) เป็นสัญญาณการเคลียร์ (Clear) หน่วยแสดงผล และการใช้ขอบตาม (Trailing edge) สำหรับการใส่ข้อมูลชุดใหม่ ข้อควรระวังก็คือ วงจรกึ่งโมโนสเตเบิลนี้จะใช้ได้ผลดีตราบเท่าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความกว้างของพัลซ์ที่ได้ไม่มีผลต่อการใช้งานนั้นๆ วงจรนี้เป็นวงจรราคาถูก สร้างได้ง่าย จะเห็นได้จากตัวอย่าง เช่น เมื่อเราใช้ไอซีเบอร์ 7404 ซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์นั้นสามารถสร้างโมโนสเตเบิลได้ถึง 6 วงจร

สำหรับโมโนสเตเบิลที่เป็นไอซีนั้นมีหลายชนิด เพียงต่อความต้านทาน R และคาปาซิเตอร์ C เข้าไป ก็จะได้โมโนสเตเบิล โมโนสเตเบิลแบบไอซีนั้นจะมีสองชนิดคือ ชนิดที่ไม่มีการกระตุ้นซ้ำ (Non Retriggerable) และชนิดที่มีการกระตุ้นซ้ำ (Retriggerable) สำหรับชนิดแรกนั้นเป็นวงจรทำงานเมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามา และหลังจากวงจรทำงานแล้วสัญญาณเอาต์พุตที่เกิดขึ้นก็จะไม่เกิดขึ้นกับสัญญาณอินพุตอีกต่อไป ความกว้างของสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จะขึ้นอยู่กับความต้านทาน R และคาปาซิเตอร์ C ที่ต่ออยู่ภายนอกเท่านั้นไอซีประเภทนี้จะให้สัญญาณที่มีความกว้างระหว่าง 30-40 นาโนวินาที (nanosecond)



รูปที่ 2.14 แสดงถึงลักษณะของไอซีที่เป็นโมโนสเตเบิลเบอร์ 74121 74122 และ 74123

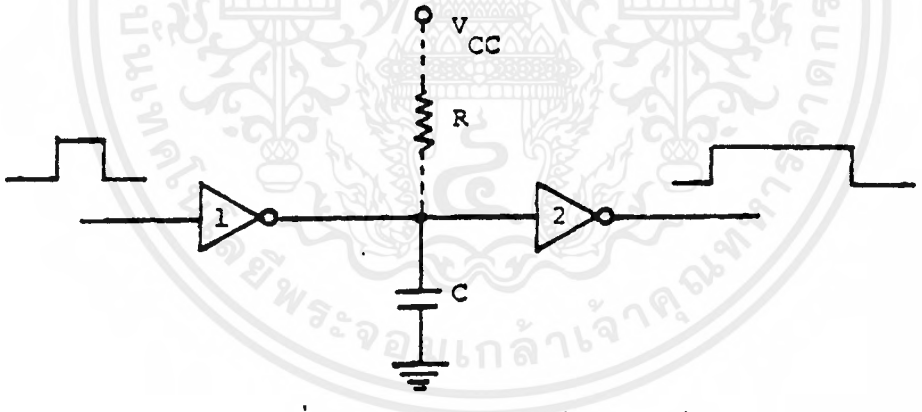
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนโมโนสเตเบิลชนิดที่มีการกระตุ้นซ้ำนั้น ค่าความกว้างของสัญญาณพัลซ์ก็ขึ้นกับค่า R และ C เช่นเดียวกัน แต่เราสามารถใส่สัญญาณอินพุต (สัญญาณกระตุ้น) เข้าไปใหม่หลังจากที่เราใส่ไปแล้วครั้งหนึ่ง ทำให้เราสามารถเพิ่มค่าความกว้างของพัลซ์ ได้ระหว่าง 30 นาโนวินาทีถึง ∞

ข้อแตกต่างระหว่างไอซีเบอร์ 74122 และ 74123 ก็คือภายในไอซีเบอร์ 74123 นั้นมีโมโนสเตเบิลชนิดมีการกระตุ้นซ้ำรวมอยู่ 2 ตัว ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.14 (c) โมโนสเตเบิลทั้งสองตัวนี้การทำงานเป็นอิสระต่อกัน เราสามารถเลือกใช้ตัวใดก็ได้ โดยการเลือกค่า R และ C และกำหนดสัญญาณ Trig ของแต่ละตัวจะทำให้เราสามารถกำหนดขนาดพัลซ์ที่เอาต์พุตได้ สำหรับรายละเอียดขอให้ศึกษาต่อจากคู่มือไอซี

2.1.8 วงจรขยายความกว้างของพัลซ์

วงจรขยายความกว้างของพัลซ์มีลักษณะของวงจรที่ง่ายมาก ดังรูปที่ 2.15 โดยการป้อนสัญญาณพัลซ์เข้าไปที่อินเวอร์เตอร์ตัวแรก ซึ่งจะทำให้คาปาซิเตอร์คายประจุ อินพุตที่เข้าอินเวอร์เตอร์ตัวที่ 2 มีค่า LOW เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ตัวที่ 2 จึงมีค่า High จนกระทั่งคาปาซิเตอร์ถูกประจุถึงค่า เทรสโซลด์ (Threshold Voltage) ในวงจรจะมีความต้านทาน R อยู่ หากเป็น CMOS ความต้านทานนี้เป็นความต้านทานภายนอกแต่หากเป็นไอซีแบบ DTL หรือ TTL จะเป็นความต้านทานภายใน วงจรนี้ช่วยขยายความกว้างของพัลซ์ซึ่งมีประโยชน์ในการเพิ่มเวลาให้การทำงานในวงจรตรรก หรือใช้ถ่วงเวลา และโดยเฉพาะในการวัดสัญญาณพัลซ์ที่มีเวลาสั้นๆ แล้วนั้นมาแสดงให้เห็นที่ LED ในเครื่องวัดทางดิจิตอลที่เรียก "โลจิกโพรบ (Logic Probe)"



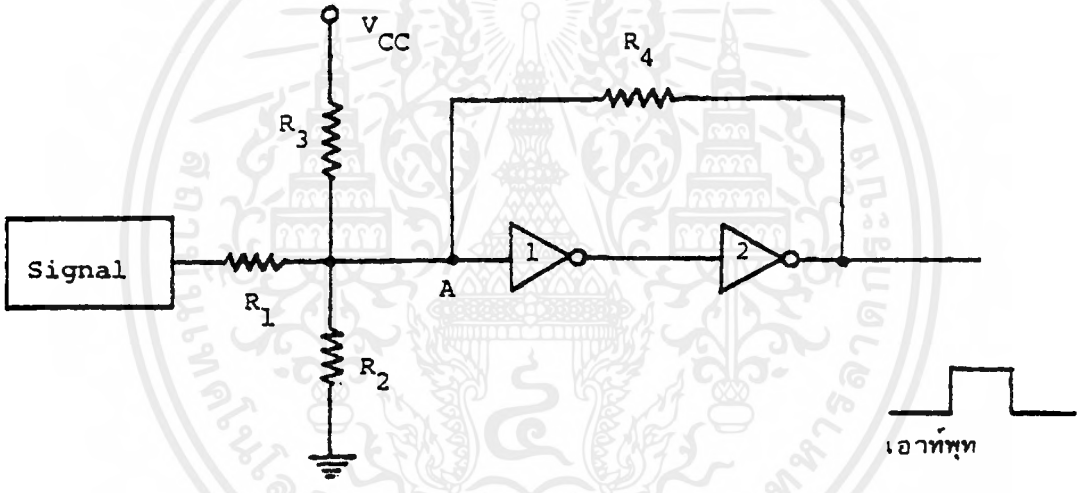
รูปที่ 2.15 วงจรขยายความกว้างของพัลซ์

สัญญาณบางชนิดนั้นอาจมีไรซ์ไทม์ (Rise Time) ยาวมากและอาจทำให้เกิดปัญหาในวงจรดิจิตอลได้ ตัวอย่างเช่น เกทแบบ TTL และวงจรฟลิปฟลอปนั้น สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามาจะต้องทำให้ไอซีอยู่ในช่วงการทำงานแบบแอคตีฟ (Active) ในช่วงระยะเวลาที่สั้นที่สุดเป็นเศษส่วนของสิบของเวลาเป็นนาโนวินาที (nano second) เพราะหากการทำงานอยู่ช่วงของแอคตีฟนานเกินไป อาจมีสัญญาณรบกวนหรือการออสซิลเลชั่น (Oscillation) ที่เราไม่ต้องการเกิดขึ้น ทำให้เอาต์พุตที่ออกมาเกิดผิดพลาดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหลายๆ กรณีนั้น ที่เราจะต้องทำก็คือการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเร็ว โดยการดักจากระดับแรงดัน วงจรตรรกที่ทำงานในลักษณะนี้เรียกว่า วงจรชมิททริกเกอร์ (Schmitt Trigger)

เช่นเดียวกับวงจรอะสเตเบิลหรือโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ วงจรชมิททริกเกอร์ประกอบขึ้นจากอินเวอร์เตอร์สองตัวที่มีการป้อนกลับระหว่างอินพุทและเอาท์พุทดังแสดงในรูปที่ 2.16 การทำงานของวงจรจะอธิบายได้ดังนี้ เมื่ออินพุตมีค่าต่ำ ทำให้ค่าแรงดันที่จุด A ซึ่งคืออินพุตของอินเวอร์เตอร์ 1 จะมีค่าต่ำกว่าแรงดันเทรสโซลด์ ซึ่งได้มาจากการช่วยจากระดับต่ำของเอาต์พุตอินเวอร์เตอร์ 2 ตัวผ่านความต้านทาน R_4 เมื่อค่าแรงดันอินพุตมีค่าเพิ่มขึ้น กระแสจากถูกผลักผ่าน R_1 เข้ามายังจุด A ทำให้ระดับแรงดันที่จุด A มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงระดับเทรสโซลด์ของอินเวอร์เตอร์ 1 ค่าระดับเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์จะเปลี่ยนเป็น 0 และค่าเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ 2 จะเปลี่ยนเป็นค่าสูง ซึ่งค่าจะผลักกระแสผ่าน R_4 เพื่อทำให้ค่าแรงดันที่จุด A เพิ่มสูงกว่าเดิม การทำงานนี้จะรวดเร็วมาก และมีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ 2 จากระดับต่ำไปสูงเป็นไปอย่างรวดเร็วมาก



รูปที่ 2.16 วงจรชมิททริกเกอร์แบบไอซี

หากเราลดขนาดของสัญญาณลง จะทำให้ค่าแรงดันลดลงต่ำกว่าค่าเดิม (เพราะค่ากระแสผ่าน R_4) ไปถึงค่า เทรสโซลด์ ณ จุดนี้วงจรจะเกิดการเปลี่ยนระดับเอาต์พุต จากค่าสูงมาค่าต่ำคือ 0 อย่างรวดเร็ว

ระดับแรงดันของสัญญาณวงจรชมิททริกเกอร์ เกิดจากระดับต่ำไปยังระดับสูงเรียก

Upper Trip Voltage = UTL เป็นโวลท์

ระดับแรงดันของสัญญาณวงจรชมิททริกเกอร์ เกิดจากระดับสูงไปยังระดับต่ำเรียก

Lower Trip Voltage = LTL เป็นโวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแตกต่างระหว่างระดับทั้งสองเรียกว่าฮิสเตอร์ริซิส (Hysteresis)

Hysterisis = UTH - LTL เป็นโวลท์

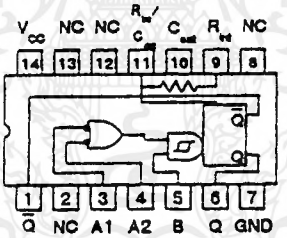
เราอาจกล่าวได้ว่า วงจรชมิททริกเกอร์นั้นเป็นวงจรดักระดับสัญญาณ วงจรจะถูกกระตุ้นให้ทำงานที่ UTL และ LTL และจะไม่เกิดขึ้นกับความถี่ของสัญญาณที่เข้ามา

วงจรชมิททริกเกอร์ เป็นไอซีสำเร็จรูปนั้นมีในไอซีเกือบทุกตระกูล ในการเขียนสัญลักษณ์มักเขียนสัญลักษณ์ของฮิสเตอร์ริซิสไว้ด้วยดังรูปที่ 2.17

รูปที่ 2.17 สัญลักษณ์ทางตรรกของแนนด์เกท 2 อินพุตแบบชมิททริกเกอร์

2.1.9 วงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบเอกเสถียร-TTL

วงจรรวม TTL ที่ใช้ทำเป็นวงจรมัลติไวเบรเตอร์แบบเอกเสถียรมีหลายเบอร์ ที่นำมาอธิบายในที่นี้มีเพียงเบอร์เดียวคือ 74121 ซึ่งมีข้อมูลเฉพาะดังรูปที่ 2.18



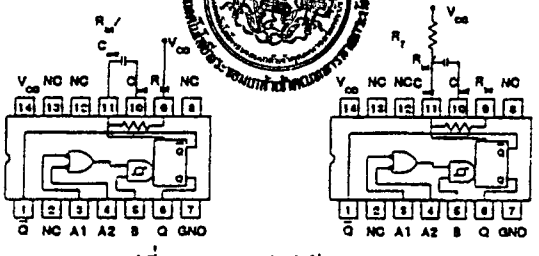
รูปที่ 2.18 แผนภาพโครงสร้างภายในของ 74121

วงจรรวม 74121 มีตัวถังแบบ DIP 14 ขา มีจุดสัญญาณออก 2 จุดคือ Q และ $\overline{Q}$ มีสภาวะลอจิกเป็น "0" และ "1" ตามลำดับ การกำหนดความกว้างของพัลซ์ทำได้โดยใช้ตัวต้านทานภายนอก(R_T)และตัวต้านทานภายใน(R_X) และความจุ C_{ext} ความกว้างพัลซ์หาได้จากสมการ

$$t_W = C_{EXT} \cdot RT \cdot Ln2 \approx 0.7 \cdot C_{EXT} \cdot R_T \text{ วินาที}$$

ค่าตัวเก็บประจุ C_{EXT} ควรมีค่าในช่วง 10 ρF ถึง 10 μF ค่าความต้านทาน R_T มีค่าในช่วง 2 กิโลโอห์ม ถึง 30 กิโลโอห์ม แต่ถ้าไม่ต้องการความเที่ยงตรงมากนักสามารถใช้ค่าตัวเก็บประจุได้สูงถึง 1000 ไมโครฟารัด และใช้ค่าความต้านทานต่ำถึง 1.4 กิโลโอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 การต่อใช้งาน 74121

ความสัมพันธ์ของความกว้างพัลซ์เขียนเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 2.20(a) และ 2.20(b)

รูปที่ 2.20 กราฟแสดงความกว้างพัลซ์กับ R_X และ C_{EXT}

ในกราฟรูปที่ 2.20 (a) แสดงค่าความกว้างพัลซ์เมื่อให้ค่าความจุ C_{ext} ต่างๆกัน แล้วให้ค่าความต้านทาน R_T มีค่าเพิ่มต่อเนื่อง รูปที่ 2.20(a) แสดงค่าความกว้างพัลซ์ เมื่อให้ค่าความต้านทาน R_T ที่ค่าคงที่ต่างๆกัน แล้วให้ค่าความจุ C_{ext} มีค่าต่อเนื่องจาก 10 ρF ถึง 10 μF

การใช้งาน 74121 กระทำได้โดยป้อนสัญญาณกระตุ้นเข้าไปทางขา A1 หรือ A2 หรือ B ดังตาราง ฟังก์ชั่นการทำงานในรูปที่ 2.21

INPUTS			OUTPUTS	
A1	A2	B	Q	$\overline{Q}$
L	X	H	L	H
X	L	H	L	H
X	X	L	L	H
H	H	X	L	H
H	↓	H	⊓	⊔
↓	H	H	⊓	⊔
↓	↓	H	⊓	⊔
L	X	↑	⊓	⊔
X	L	↑	⊓	⊔

รูปที่ 2.21 ฟังก์ชั่นการทำงานของ 74121

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
039090

จากฟังก์ชั่นในรูปที่ 2.21 จะเห็นว่าสัญญาณออก Q สามารถถูกรีเซ็ทให้เป็น "0" ได้ทั้ง 4 กรณีที่มี (A1="L", B="H"), (A2 ="L", B="H"), (B="L") และ (A1="H", A2="H") การกระตุ้นวงจร 74121 ให้สร้างพัลซ์ออกมา สามารถกำหนดได้โดยใช้ ขอบบวกหรือขอบลบของสัญญาณกระตุ้นก็ได้

การกระตุ้นด้วยขอบบวกทำได้โดยทำให้ A1 หรือ A2 เป็นสภาวะลอจิก "L" แล้วป้อนสัญญาณกระตุ้นที่ขา B เมื่อสัญญาณ B เปลี่ยนจาก "L" เป็น "H" จะทำมีพัลซ์ออกมาที่ขา Q 1 พัลซ์

การกระตุ้นด้วยขอบลบทำได้โดยให้ขา B มีลอจิกเป็น "H" แล้วป้อนสัญญาณกระตุ้นเข้าที่ขา A1 หรือ A2 ในขณะที่ไม่ได้ป้อนสัญญาณกระตุ้นให้มีสภาวะเป็น "1" ไว้ หรือป้อนสัญญาณเข้าที่ขา A1 และ A2 พร้อมกันก็ได้ เมื่อสัญญาณกระตุ้นเปลี่ยนสภาวะจาก "1" เป็น "0" จะทำให้เกิดพัลซ์ออกแบบขา Q สัญญาณที่ขา Q จะตรงข้ามกับ $\overline{Q}$ เสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 รหัส(Code)

รหัสในระบบดิจิตอลหมายถึงการใช้เลขฐาน 2 เพื่อแทนเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์บางอย่าง การเปลี่ยนจากเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ให้เป็นเลขฐาน 2 เรียกว่าการเข้ารหัส(Encoding) และการแปลงจากเลขฐาน 2 เป็นเครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ เรียกว่าการถอดรหัส(Decoding) รหัสจะใช้มากในวงจรดิจิตอล ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์แบบดิจิตอล เพราะวงจรดิจิตอลไม่สามารถเก็บเครื่องหมายเข้าไปได้โดยตรง เช่น อักษร A เป็นต้น อันเนื่องมาจากในวงจรดิจิตอลมีเพียงระดับลอจิก “0” กับ “1” เท่านั้น รหัสที่ใช้กันวงจรดิจิตอลมีหลายแบบ ขึ้นกับวัตถุประสงค์การใช้งาน รหัสเหล่านี้ได้แก่

รหัส ASCII	อักษร	รหัส ASCII	อักษร	รหัส ASCII	อักษร	รหัส ASCII	อักษร
00000000	NUL	00100000	Space	01000000	@	01100000	`
00000001	SOH	00100001	!	01000001	A	01100001	a
00000010	STX	00100010	"	01000010	B	01100010	b
00000011	ETX	00100011	#	01000011	C	01100011	c
00000100	EOT	00100100	$	01000100	D	01100100	d
00000101	ENQ	00100101	%	01000101	E	01100101	e
00000110	ACK	00100110	&	01000110	F	01100110	f
00000111	BEL	00100111	'	01000111	G	01100111	g
00001000	BS	00101000	(	01001000	H	01101000	h
00001001	VT	00101001	)	01001001	I	01101001	i
00001010	LF	00101010	*	01001010	J	01101010	j
00001011	VT	00101011	+	01001011	K	01101011	k
00001100	FF	00101100	,	01001100	L	01101100	l
00001101	CR	00101101	-	01001101	M	01101101	m
00001110	SO	00101110	.	01001110	N	01101110	n
00001111	SI	00101111	/	01001111	O	01101111	o
00010000	DEL	00110000	0	01010000	P	01110000	p
00010001	DC1	00110001	1	01010001	Q	01110001	q
00010010	DC2	00110010	2	01010010	R	01110010	r
00010011	DC3	00110011	3	01010011	S	01110011	s
00010100	DC4	00110100	4	01010100	T	01110100	t
00010101	NAK	00110101	5	01010101	U	01110101	u
00010110	SYN	00110110	6	01010110	V	01110110	v
00010111	ETB	00110111	7	01010111	W	01110111	w
00011000	CAN	00111000	8	01011000	X	01111000	x
00011001	ESC	00111001	9	01011001	Y	01111001	y
00011010	SUB	00111010	:	01011010	Z	01111010	z
00011011	ESC	00111011	;	01011011	[	01111011	{
00011100	FS	00111100	<	01011100	\	01111100	|
00011101	GS	00111101	=	01011101	]	01111101	}
00011110	RS	00111110	>	01011110	^	01111110	~
00011111	US	00111111	?	01011111	_	01111111	DLE

รูปที่ 2.22 ตารางรหัส ASCII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 รหัส ASCII (American Standard Code for Information Interchange)

รหัส ASCII เป็นรหัสมาตรฐานสากล ที่ประกอบด้วยเลขฐาน 2 จำนวน 8 บิท ใช้แทนเครื่องหมาย ตัวเลข และตัวอักษรได้ 256 ตัว ตัวอย่างรหัส ASCII สำหรับอักษร A คือ 01000001_2 หรือ 41_{16} ดังในรูปที่ 2.22 แต่รหัส ASCII กำหนดรหัสให้กับเครื่องหมายตัวเลขและตัวอักษรได้เพียง 128 ตัว ดังนั้นยังมีรหัสเหลืออีก 128 ตัว ที่ยังไม่ได้ใช้งาน รหัส ASCII เป็นรหัสที่จำเป็นมากสำหรับระบบ ดิจิตอล เพราะจะทำให้ผู้ออกแบบระบบดิจิตอลแต่ละส่วนสามารถนำเอามาทำงานร่วมกันได้ เช่น ในการออกแบบแป้นพิมพ์(Keyboard) สำหรับคอมพิวเตอร์ จะต้องออกแบบให้แป้นพิมพ์ส่งรหัส ASCII ของตัวอักษรที่ถูกกดออกมา เมื่อคอมพิวเตอร์รับรหัส ASCII มาก็จะรู้ว่าเป็นตัวอะไรได้ โดยเทียบจากตารางรหัส ASCII ภายในของคอมพิวเตอร์

รหัส EBCDIC	อักษร	รหัส EBCDIC	อักษร	รหัส EBCDIC	อักษร	รหัส EBCDIC	อักษร	รหัส EBCDIC	อักษร	รหัส EBCDIC	อักษร
01000000	Space	01100000	—	10000000		10100000		11000000		11100000	
01000001		01100001	/	10000001	a	10100001		11000001	A	11100001	
01000010		01100010		10000010	b	10100010	s	11000010	B	11100010	s
01000011		01100011		10000011	c	10100011	t	11000011	C	11100011	T
01000100		01100100		10000100	d	10100100	u	11000100	D	11100100	U
01000101		01100101		10000101	e	10100101	v	11000101	E	11100101	V
01000110		01100110		10000110	f	10100110	w	11000110	F	11100110	W
01000111		01100111		10000111	g	10100111	x	11000111	G	11100111	X
01001000		01101000		10001000	h	10101000	y	11001000	H	11101000	Y
01001001		01101001		10001001	i	10101001	z	11001001	I	11101001	Z
01001010	¢	01101010		10001010		10101010		11001010		11101010	
01001011	.	01101011	,	10001011		10101011		11001011		11101011	
01001100	<	01101100	%	10001100		10101100		11001100		11101100	
01001101	(	01101101	—	10001101		10101101		11001101		11101101	
01001110	+	01101110	>	10001110		10101110		11001110		11101110	
01001111	|	01101111	?	10001111		10101111		11001111		11101111	
01010000	&	01110000		10010000		10110000		11010000		11110000	0
01010001		01110001		10010001	j	10110001		11010001	J	11110001	1
01010010		01110010		10010010	k	10110010		11010010	K	11110010	2
01010011		01110011		10010011	l	10110011		11010011	L	11110011	3
01010100		01110100		10010100	m	10110100		11010100	M	11110100	4
01010101		01110101		10010101	n	10110101		11010101	N	11110101	5
01010110		01110110		10010110	o	10110110		11010110	O	11110110	6
01010111		01110111		10010111	p	10110111		11010111	P	11110111	7
01011000		01111000		10011000	q	10111000		11011000	Q	11111000	8
01011001		01111001		10011001	r	10011001		11011001	R	11111001	9
01011010	!	01111010	:	10011010		10011010		11011010		11111010	
01011011	$	01111011	#	01011011		01011011		11011011		11111011	
01011100	*	01111100	@	01011100		01011100		11011100		11111100	
01011101	)	01111101	'	01011101		01011101		11011101		11111101	
01011110	;	01111110	=	01011110		01011110		11011110		11111110	
01011111	¬	01111111	"	01011111		01011111		11011111		11111111	

รูปที่ 2.23 ตารางรหัส EBCDIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 รหัส EBCDIC (Extended Binary – Code Decimal Interchange Code)

รหัส EBCDIC อ่านว่า เอ็บ-ซี-ดิก เป็นรหัสที่พัฒนาหรือกำหนดโดยบริษัท IBM รหัส EBCDIC เป็นรหัสขนาด 8 บิท แทนตัวอักษรได้ 256 ตัว เหมือน ASCII แต่รหัสของตัวอักษรจะแตกต่างกันดังในรูปที่ 2.23 รหัสในยังคงใช้อยู่เครื่องคอมพิวเตอร์เมนเฟรม ที่ผลิตโดยบริษัท IBM

2.2.3 รหัส BCD (Binary Code Decimal)

ดังที่ได้กล่าวมาว่าสามารถใช้เลขฐาน 2 เพื่อเก็บค่าของเลขฐาน 10 ไว้ในระบบดิจิตอลได้ โดยใช้วิธีการแปลงเลขฐาน 10 เป็น เลขฐาน 2 เสียก่อน เพราะค่าของเลขฐาน 2 นี้วงจรดิจิตอลจะสามารถเอาไปใช้งานได้ วิธีการเข้ารหัสแบบนี้เรียกว่ารหัส 8421 เพราะเลขฐาน 2 แต่ละหลักใน 4 หลัก จะมีค่าน้ำหนักของแต่ละเป็นเป็น 8, 4, 2 และ 1 อีกวิธีหนึ่งสำหรับการเก็บเลขฐาน 10 เข้าไว้ในวงจรดิจิตอลก็คือ การเข้ารหัสเลขฐาน 10 โดยการแปลงเลขฐาน 10 แต่ละหลักให้เป็นเลขฐาน 2 จำนวน 4 บิท ที่มีค่าระหว่าง 0 – 9 เท่านั้น เรียกว่าเป็นวิธีการเข้ารหัสแบบ BCD การเข้าระหัส BCD นี้ทำได้โดยง่าย คือเขียนเลขฐาน 2 จำนวน 4 หลักแทนเลขฐาน 10 ในแต่ละหลัก แล้วนำมาเรียงกัน

เช่น รหัสของ 7359 คือ 0111 0011 0101 1001

เลขฐาน 10	รหัส BCD	รหัส Excess-3
0	0000	0011
1	0001	0100
2	0010	0101
3	0011	0110
4	0100	0111
5	0101	1000
6	0110	1001
7	0111	1010
8	1000	1011
9	1001	1100

รูปที่ 2.24 ตารางเลขฐาน 10 รหัส BCD และ Excess-3

รหัส BCD นิยมใช้ในคอมพิวเตอร์แบบดิจิตอลมาก ทั้งนี้เพราะตัวเลขที่มนุษย์เข้าใจได้ง่ายที่สุดคือเลขฐาน 10 จะถูกแปลงเป็น BCD คือเลขฐาน 2 ที่คอมพิวเตอร์เข้าใจได้ง่าย และสามารนำไป บวก ลบ คูณ หารได้ จากนั้นก็แสดงกลับมาเป็นเลขฐาน 10 ที่มนุษย์เข้าใจได้ง่ายเช่นกัน นอกจากนี้รหัส ASCII และรหัส EBCDIC ก็สามารถแปลงเป็นรหัส BCD ได้โดยง่ายเช่น รหัส ASCII และ EBCDIC ของ 1 คือ 00110001 และ 11110001 ตามลำดับ จะถูกแปลงเป็นรหัส BCD โดยทำให้ 4 บิทบนเป็น 0 หรือตัด 4 บิทบนออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 รหัส Excess-3 หรือ E3

คือรหัสที่เอา BCD มาบวกด้วย 3 รหัสนี้เป็นรหัสที่สะดวกสำหรับการ บวกลบ มากกว่า BCD เพราะในการบวกเลข BCD ต้องตรวจสอบว่าผลการบวก BCD 2 ชุดมีค่าเกิน 9 หรือไม่ ถ้าเกิน 9 จึงจะสร้างบิทตัวทดขึ้น แต่ถ้าไม่เกิน 9 ก็ไม่สร้างบิทตัวทด แต่ถ้าบวกเลข Excess-3 แล้วเกิน 9 ก็จะเกิดตัวทดโดยอัตโนมัติ ตารางรหัส BCD และ Excess-3 มีดังรูปที่ 2.24

ตัวอย่างที่ 2-5 ให้หาผลบวกของรหัสต่อไปนี้

a.รหัส BCD $0101_2 + 0101_2$

b.รหัส Excess-3 $1000_2 + 1000_2$

a.รหัส BCD 0101 ตรงกับเลขฐาน 10 คือ 5 ในการบวกรหัสก็ทำการบวกโดยถือว่าเป็นเลขฐาน 2

0101 + 0101 = 1010

1010 และถ้าแปลงคำตอบที่เป็นรหัส BCD ต้องมีค่าสูงสุดคือ 9 จะต้องบวก 6 ด้วยจึงจะเป็นคำตอบที่ถูกต้อง

0101 + 0110= 10000

จะเห็นว่ามีตัวทดเกิดขึ้น ถ้าแปลงคำตอบที่เป็นรหัส BCD ให้เป็นเลขฐาน 10 จะได้คำตอบที่ถูกต้อง

b.รหัส Excess-3 1000 ตรงกับเลขฐาน 10 คือ 5 เอารหัสมาบวกกันโดยถือเป็นเลขฐาน 2 ธรรมดาได้

0101 + 0101 = 10000

เห็นว่ามีตัวทดเกิดขึ้นคือ 1 และ 4 บิทล่างเป็น 0 เมื่อดูค่ารวมกันแล้วคือ 10 ซึ่งเป็นค่าที่ถูกต้องทันทีโดยไม่ต้องทำอย่างอื่นใด

2.2.5 รหัส GRAY

รหัส GRAY ไม่ใช่รหัส BCD แต่รหัส GRAY ประกอบขึ้นจากเลขฐาน 2 เช่นเดียวกัน โดยรหัสที่อยู่ติดกันจะมีบิทที่เปลี่ยนแปลงค่าไปเพียงบิทเดียวเท่านั้น ดังรูปที่ 2.25

เลขฐาน 2	รหัส GRAY	เลขฐาน 2	รหัส GRAY
0000	0000	1000	1100
0001	0001	1001	1101
0010	0011	1010	1111
0011	0010	1011	1110
0100	0110	1100	1010
0101	0111	1101	1011
0110	0101	1110	1001
0111	0100	1111	1000

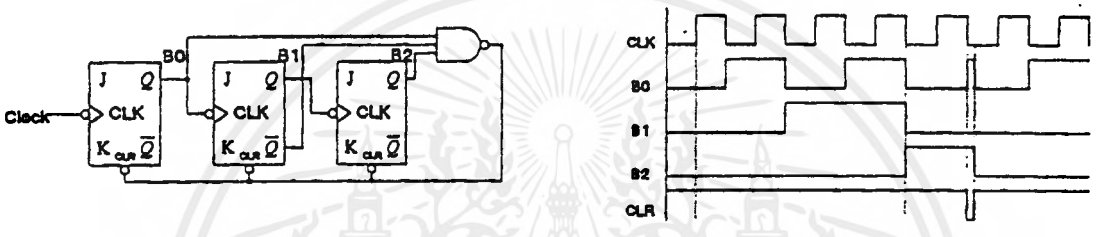
รูปที่ 2.25 ตารางรหัส GRAY

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 วงจรนับ

2.3.1 วงจรโมดูลัส

วงจรนับโมดูลัส N หรือเขียนสั้นๆว่า วงจร MOD-N เมื่อมีสัญญาณพัลซ์จำนวน N ไซเคิลเข้ามายังวงจรนับ จะทำให้ค่าจากการนับถูกรีเซ็ทกลับไปเป็นค่าเริ่มต้น ค่า N นี้เรียกว่าเลขโมดูลัส(Modulus Number) วงจรนับโมดูลัสมีทั้งแบบได้จังหวะและไม่ได้จังหวะ ถ้าในวงจรหนึ่งมีฟลิปฟลอป n ตัวก็จะสามารถแสดงค่านับได้สูงสุด 2^n ค่า ดังนั้นค่าสูงสุดที่จะสามารถนับได้คือ 2^n-1 ทำให้สามารถสร้างเป็นวงจรนับโมดูลัสได้สูงสุด MOD-2^n วงจรนับโมดูลัสไม่จำเป็นต้องนับได้แค่ 2^n เท่านั้น แต่เราอาจออกแบบให้เป็นวงจร MOD-3,MOD-5 ก็ได้ ตัวอย่างของวงจร MOD-5 มีดังรูปที่ 2.26(a) และแผนภาพสัญญาณตามเวลาแสดงดังรูป 2.26(b)



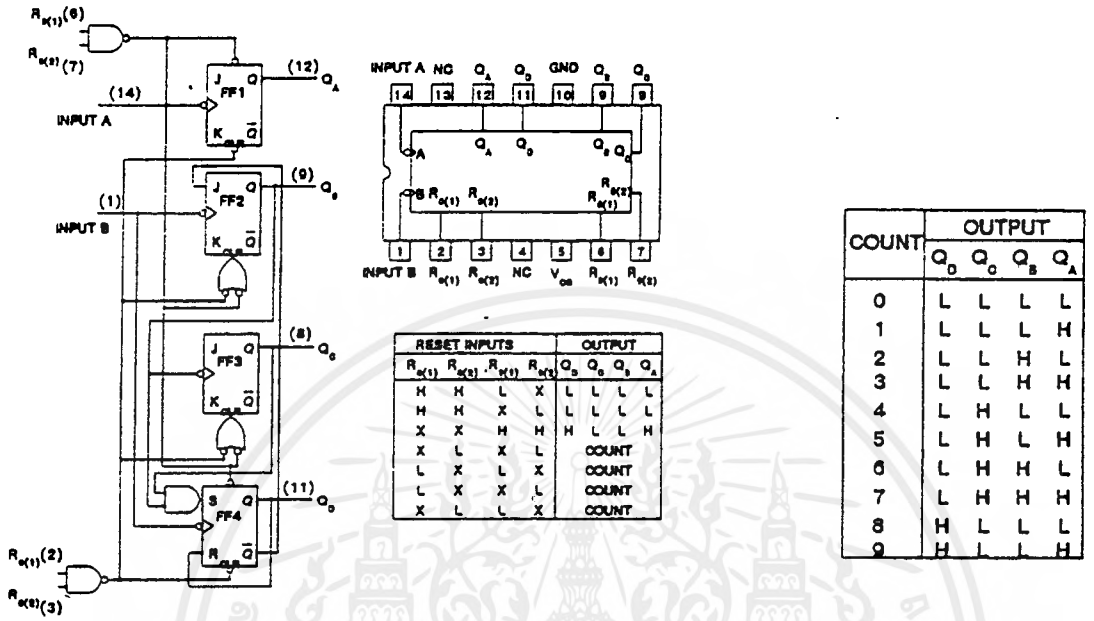
(a) (b)

รูปที่ 2.26 วงจรนับ MOD-5

ในวงจรรูปที่ 2.26(a) ฟลิปฟลอปทุกตัวมีสภาวะลอจิกที่ขา J และ K "1" ดังนั้นฟลิปฟลอปทุกตัวจะทำงานในสภาวะ Toggle คือสัญญาณ Q และ Q จะเปลี่ยนเป็นสภาวะตรงกันข้าม ถ้าสัญญาณ Clock เข้ามาอย่างต่อเนื่องค่าที่นับได้จะเพิ่มทีละ 1 ทุกๆขอบขาลงของสัญญาณ Clock ในวงจรที่แสดงนี้เมื่อมีสัญญาณครบ 5 Clock แล้ว ค่านับจะกลับไปเริ่มต้นใหม่ จึงเรียกวงจรนี้ว่า MOD-5 วงจรนับที่ใช้เกทเป็นตัวสร้างสัญญาณรีเซ็ทให้กับฟลิปฟลอปดังตัวอย่างวงจรในรูปที่ 2.26(a) มักจะไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้งานกัน เนื่องจากในทางปฏิบัติฟลิปฟลอปแต่ละตัวจะมีเวลาการรีเซ็ทนับตั้งแต่ป้อนสัญญาณเข้าขา CLR จนกระทั่งสัญญาณ Q ของฟลิปฟลอปเปลี่ยนเป็น 0 ไม่เท่ากันโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อฟลิปฟลอปที่ใช้งานเป็นวงจรรวมคนละตัวกัน ดังนั้นเมื่อการนับมีค่าถึงค่าที่ทำให้เกิดสัญญาณ รีเซ็ทแล้ว ฟลิปฟลอปบางตัวที่ถูกรีเซ็ท เป็น 0 ในขณะที่ฟลิปฟลอปช้าบางตัวยังเป็น 1 อยู่ ฟลิปฟลอปบางตัวที่เป็น 0 แล้วสัญญาณรีเซ็ทก็จะหมดไป ดังนั้นฟลิปฟลอปที่ถูกรีเซ็ทช้าก็จะไม่เกิดการรีเซ็ท ทำให้ค่าการนับไม่กลับมาเป็นค่าเริ่มต้น ดังนั้นการทำงานของวงจรนับก็จะผิดพลาด การใช้งานวงจรนับแบบดังกล่าวต้องพิจารณาเวลาหน่วงของ ฟลิปฟลอปแต่ละตัวจึงจะทำงานถูกต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรนับโมดูลัสที่เป็นวงจรรวม จะไม่ใช้วิธีการรีเซ็ทฟลิปฟลอปให้ค่าที่นับได้กลับเป็นค่าเริ่มต้น แต่จะใช้วิธีการกำหนดสภาวะการทำงานที่ฟลิปฟลอปในแต่ละค่าการนับแทน ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.27(a) เป็นโครงสร้างภายในของวงจรรวมเบอร์ 7490 และรูปที่ 2.27(b) เป็นแผนภาพขาสัญญาณและฟังก์ชั่นการทำงาน



COUNT	OUTPUT			
	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H

a. โครงสร้างภายใน b. แผนภาพขาสัญญาณและฟังก์ชั่นการทำงาน c.ค่าที่นับได้

รูปที่ 2.27 วงจรรวม 7490

วงจรรวม 7490 เรียกว่าวงจรนับ 10 หรือ Decade Counter เพราะในโครงสร้างของ 7490 ในรูปที่ 2.27 แสดงว่าภายในประกอบด้วยวงจรนับ 2 ชุด ชุดหนึ่งเป็นวงจรนับ 2 มีสัญญาณเข้า Input A และสัญญาณออก Q_A วงจรนับอีกชุดหนึ่งเป็นวงจรนับ MOD-5 มีสัญญาณเข้า Input B และสัญญาณออก Q_B, Q_C และ Q_D โดย Q_B เป็นบิทนัยสำคัญต่ำสุด ถ้านำสัญญาณออก Q_A ต่อเข้ากับสัญญาณเข้า Input B วงจรรวม 7490 จะทำงานเป็นวงจรนับ 10 (MOD-10) โดยค่าการนับจะมีค่าเพิ่มขึ้นทีละ 1 เมื่อสัญญาณเข้ามา 1 ไซเคิล ค่าที่นับเรียงตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 2.27(c) ในตารางฟังก์ชั่นการทำงานรูปที่ 2.27(b) เมื่อต้องการให้วงจรรวม 7490 เป็นวงจรนับแล้ว ที่วงจรนับสองจะต้องให้ $R_{O(1)}$ และ $R_{O(2)}$ มีสัญญาณใดสัญญาณหนึ่ง หรือทั้งสองสัญญาณมีสภาวะลอจิก "0" ส่วนวงจรนับ 5 ถ้าจะให้ทำงานเป็นวงนับจะต้องให้สัญญาณ $R_{O(1)}$ หรือ $R_{O(2)}$ อย่างน้อย 1 สัญญาณมีสภาวะลอจิก "0" จึงจะทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วงจรถอดรหัส

วงจรถอดรหัส คือ วงจรที่ทำการแปลงเลขฐาน 2 ที่ป้อนให้กับวงจรเป็นรหัสใดๆ ตามต้องการ การออกแบบวงจรถอดรหัส การออกแบบวงจรที่ทำหน้าที่ถอดรหัสแต่ละแบบ และวงจรที่ใช้ทำหน้าที่เป็นวงจรถอดรหัสแต่ละแบบมีดังนี้

2.4.1 วงจรถอดรหัส BCD

เลขฐาน 2	รหัส BCD
$I_3\ I_2\ I_1, I_0$	$B_7\ B_6\ B_5\ B_4\ \ B_3\ B_2\ B_1\ B_0$
0000	0000 0000
0001	0000 0001
0010	0000 0010
0011	0000 0011
0100	0000 0100
0101	0000 0101
0110	0000 0110
0111	0000 0111

เลขฐาน 2	รหัส BCD
$I_3\ I_2\ I_1, I_0$	$B_7\ B_6\ B_5\ B_4\ B_3\ B_2\ B_1\ B_0$
0000	0000 1000
0001	0000 1001
0010	0001 0000
0011	0001 0001
0100	0001 0010
0101	0001 0011
0110	0001 0100
0111	0001 0101

รูปที่ 2.28 เลขรหัสฐาน 2 และรหัส BCD

รหัส BCDเป็นรหัสที่สามารถอ่านและเข้าใจได้ง่ายกว่าฐาน 2เนื่องจากว่าแต่ละหลัก (Digit) ของรหัส BCD จะแทนได้ตั้งแต่ 0 ถึง 9 ซึ่งเหมือนกับเลขฐาน 10 ที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ถ้าค่าเกินกว่า 9 ก็จะเพิ่มรหัส BCD ขึ้นมาอีก 1 หลักเช่นเดียวกัน ความสัมพันธ์ของเลข ฐาน 2 4 บิทกับเลขรหัส BCD แสดงดังรูปที่ 2.28

ในตารางรูปที่ 2.28จะเห็นว่าเลขฐาน 2 4 บิทจะแทนได้ด้วยรหัส BCD 2 หลัก แต่ละหลักจะมี 4บิทรวมเป็น 8 บิท ให้เลขฐาน 2 คือบิท$I_3\ I_2\ I_1\ I_0$ และรหัส BCD มีบิท $B_7\ B_6\ B_5\ B_4\ \ B_3\ B_2\ B_1\ B_0$ บิท $B_7\ B_6$ และ B_5 ของรหัส BCD จะเป็น “0” ตลอด ดังนั้นในการออกแบบวงจรเพื่อแปลงฐาน 2 เป็นรหัส BCD จึงเขียนแผนภาพคาร์นอจห์เฉพาะบิท B_0 ถึง B_4 เท่านั้น ดังในภาพรูปที่ 2.29(a) ถึง 2.29(e)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

I_3I_2 \ I_1I_0	00	01	11	10
00	0	1	1	0
01	0	1	1	0
11	0	1	1	0
10	0	1	1	0

a . บิท 0

I_3I_2 \ I_1I_0	00	01	11	10
00	0	0	1	1
01	0	0	1	1
11	1	1	0	0
10	0	0	0	0

b บิท 1

I_3I_2 \ I_1I_0	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	1	1	1	1
11	0	0	1	1
10	0	0	0	0

c บิท 2

I_3I_2 \ I_1I_0	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	0	0
11	0	0	0	0
10	1	1	0	0

d บิท 3

I_3I_2 \ I_1I_0	00	01	11	10
00	0	0	0	0
01	0	0	0	0
11	1	1	1	1
10	0	0	1	1

e บิท4

รูปที่ 2.29 แผนภาพคาร์นอจห์ของบิท 0 ถึงบิท 4 ของรหัส BCD 2 หลัก

จากแผนภาพคาร์นอจห์ในรูปที่ 2.29 เขียนสมการบูลีนของแต่ละบิทของรหัส BCD ได้

$$B_7 = B_6 = B_5 = 0$$

$$B_0 = I0$$

$$B_1 = I_3 \cdot I_2 \cdot \overline{I_1} + \overline{I_3} \cdot I_1$$

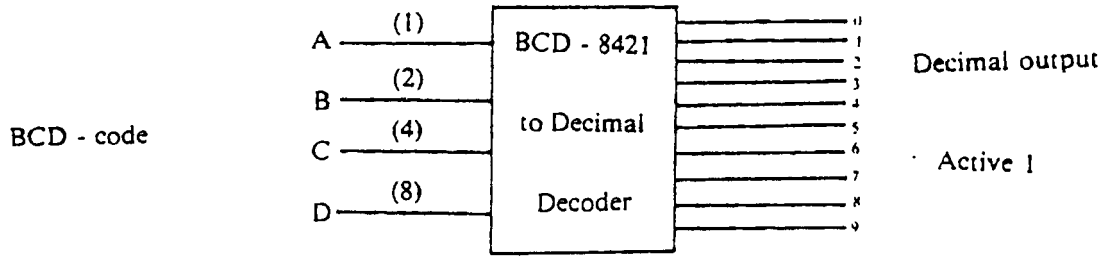
$$B_2 = \overline{I_3} \cdot I_2 + I_2 \cdot I_1$$

$$B_3 = I_3 \cdot \overline{I_2} \cdot \overline{I_1}$$

$$B_4 = I_3 \cdot I_2 + I_3 \cdot I_1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบวงจรถอดรหัสจาก BCD - 8421 code เป็นเลขฐานสิบ



BCD - 8421				Decimal number									
D	C	B	A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

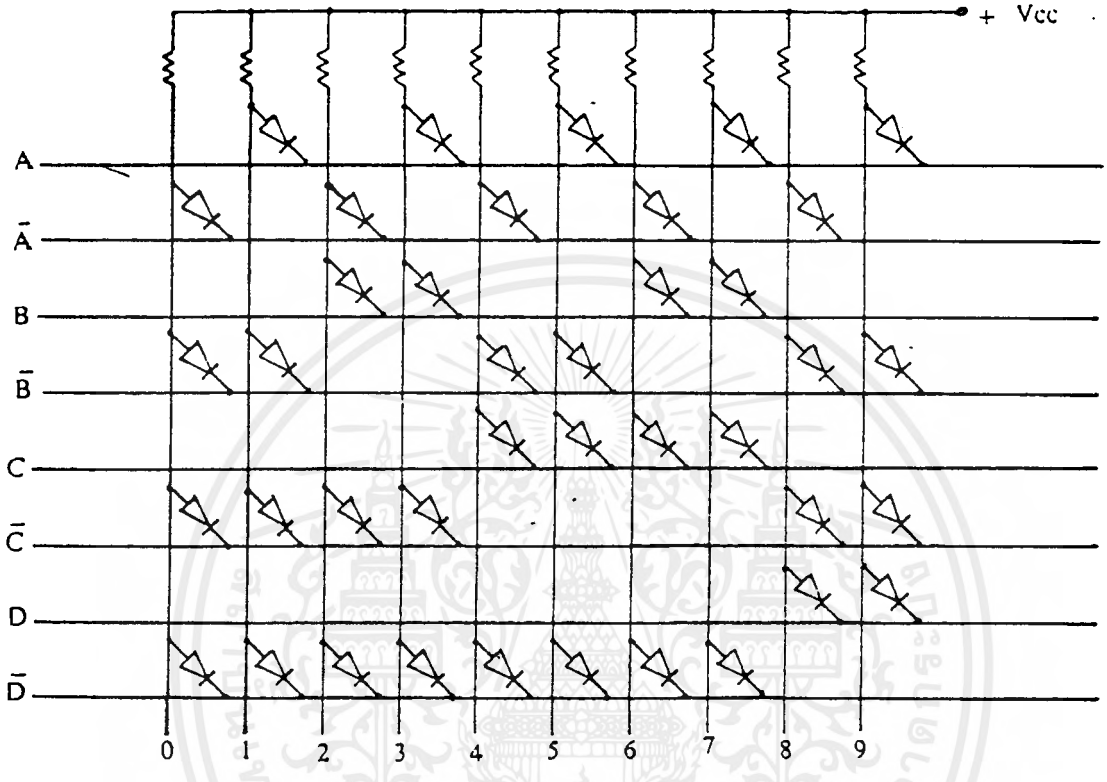
รูปที่ 2.30 Truth table ของ BCD - 8421 code to decimal Decoder

จากตารางที่ 2.30 เราจะเห็นได้ว่า Output จะเป็น Logic 1 เพียง Output เดียวจาก Output ทั้งหมด 10 ตัวของแต่ละ BCD - 7421 ทาง Input เท่านั้น และเราสามารถเขียน function ของแต่ละ output ได้ดังนี้

$$f_0(A,B,C,D) = \bar{D}\bar{C}\bar{B}\bar{A} = \overline{D + C + B + A}$$
$$f_1(A,B,C,D) = \bar{D}\bar{C}\bar{B}A = \overline{D + C + B + \bar{A}}$$
$$f_2(A,B,C,D) = \bar{D}\bar{C}B\bar{A} = \overline{D + C + \bar{B} + A}$$
$$f_3(A,B,C,D) = \bar{D}\bar{C}BA = \overline{D + C + \bar{B} + \bar{A}}$$
$$f_4(A,B,C,D) = \bar{D}C\bar{B}\bar{A} = \overline{D + \bar{C} + B + A}$$
$$f_5(A,B,C,D) = \bar{D}C\bar{B}A = \overline{D + \bar{C} + B + \bar{A}}$$
$$f_6(A,B,C,D) = \bar{D}CB\bar{A} = \overline{D + \bar{C} + \bar{B} + A}$$
$$f_7(A,B,C,D) = \bar{D}CBA = \overline{D + \bar{C} + \bar{B} + \bar{A}}$$
$$f_8(A,B,C,D) = D\bar{C}\bar{B}\bar{A} = \overline{\bar{D} + C + B + A}$$
$$f_9(A,B,C,D) = D\bar{C}\bar{B}A = \overline{\bar{D} + C + B + \bar{A}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

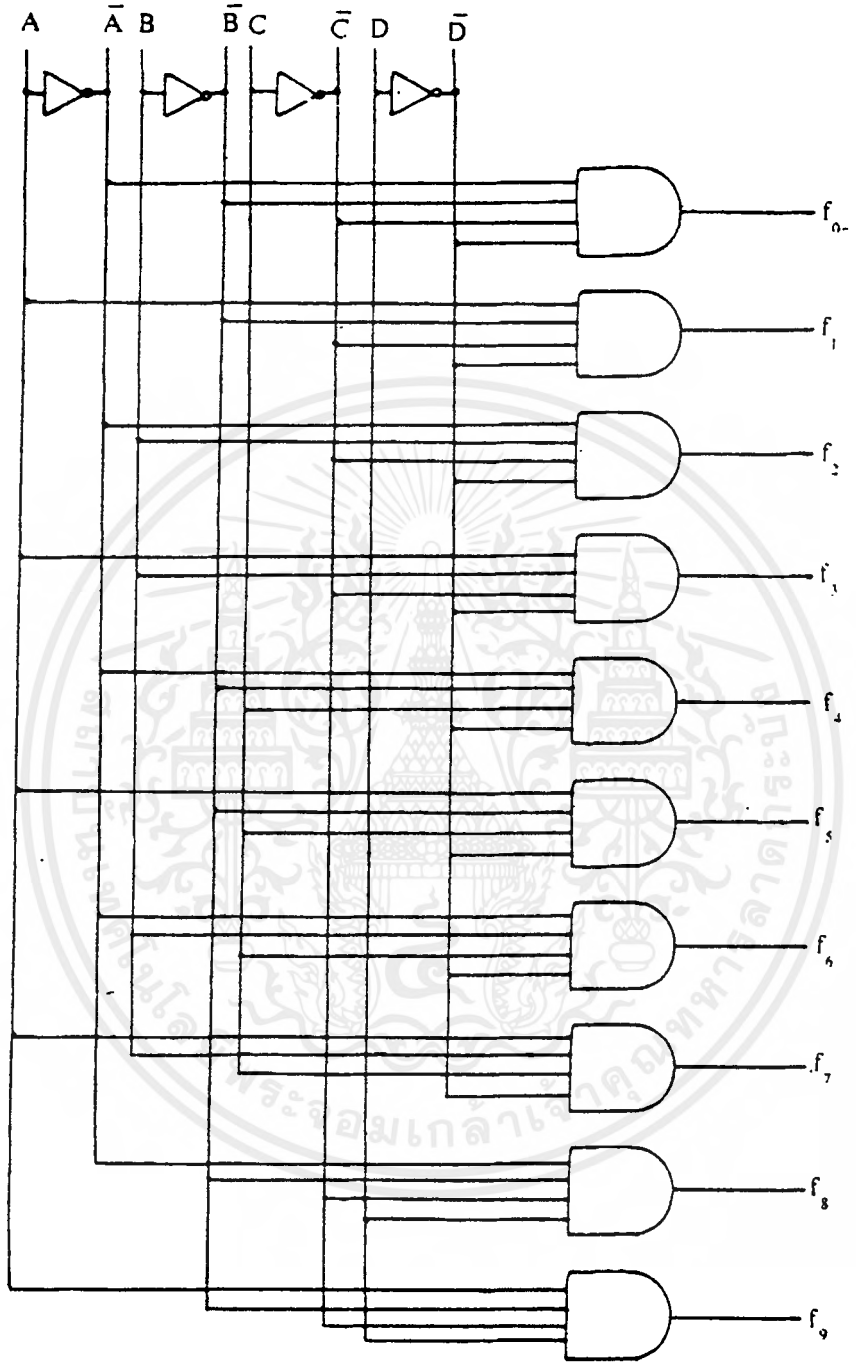
การสร้างวงจรถอดรหัส BCD - 8421 เป็นเลขฐานสิบ จาก Diode สร้างได้ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 Diode Matrix สำหรับวงจรถอดรหัสจาก BCD - 8421 เป็นเลขฐานสิบ

สำหรับวงจร Gate Combination จะเป็นวงจรตามรูปที่ 2.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 วงจร Gate Combination สำหรับวงจรถอดรหัส BCD - 8421 เป็นเลขฐานสิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

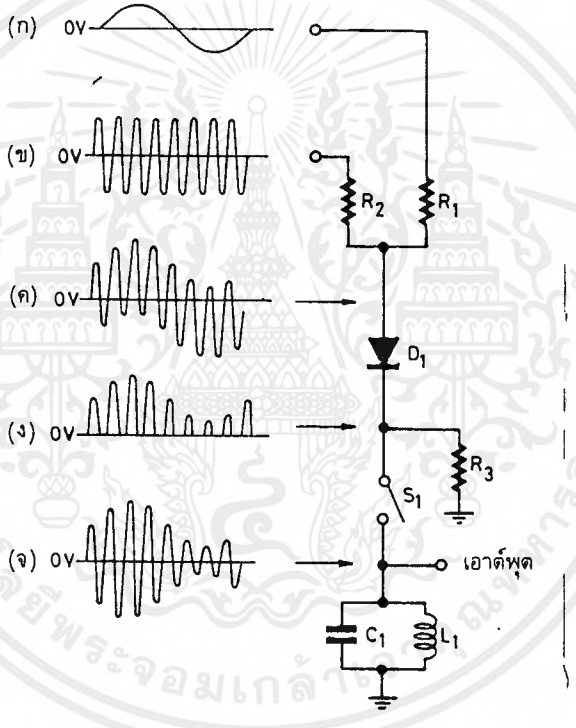
2.5การมอดูเลตทางแอมพลิจูด

2.5.1วงจรมอดูเลตแบบ AM

วงจรอย่างง่ายซึ่งใช้ผลิตสัญญาณ AM ในรูปที่ 2.33 ประกอบด้วยไดโอด สัญญาณพาหะ (ในรูปที่ 2.33 (ข)) และสัญญาณที่ใช้มอดูเลต (ในรูปที่ 2.33 (ก.)) ป้อนเข้าที่ R_1 และ R_2 รวมกัน ผลรวมของสัญญาณพาหะกับสัญญาณเสียงจะปรากฏเป็นสัญญาณพาหะซ้อนอยู่บนหลังสัญญาณเสียงดังในรูปที่ 2.33(ค) สังเกตว่าการซ้อนหลังแบบนี้มิใช่เป็นการมอดูเลตแบบ AM แต่เป็นการบวกสัญญาณเท่านั้น

สมมติ S_1 เปิดวงจร D_1 จะนำกระแสผ่าน R_3 ในช่วงเวลาที่สัญญาณเป็นบวก และ D_1 จะคัทออฟในช่วงเวลาที่สัญญาณเป็นลบ สัญญาณที่ปรากฏคร่อม R_3 ย่อมมีลักษณะเป็นพัลซ์บวกดังในรูปที่ 2.33(ง) สังเกตว่าความสูง (แอมพลิจูด) ของพัลซ์มีการเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณออดิโอ

ความจริงวงจร AM ไม่จำเป็นต้องมี S_1 แต่ในที่นี้เพิ่มไว้เพื่อใช้ในการอธิบายเท่านั้น ฉะนั้นจากไดโอดจึงต่อตรงมายังวงจรแทงค์ได้เลย ซึ่งประกอบด้วย L_1 กับ C_1 ขนาน กับ R_3



รูปที่ 2.33วงจรมอดูเลตชนิดที่ใช้ไดโอด

ทุกครั้งที่ D_1 นำกระแส พัลซ์บวกจะทำให้กระแสไหลเข้าสู่วงจรแทงค์ ซึ่งจูนไว้ตรงกับความถี่ของสัญญาณพาหะ ทำให้เกิดปรากฏการณ์เรโซแนนซ์ วงจรแทงค์จึงออสซิลเลต ทำให้เกิดพัลซ์ลบขึ้นหลังจากพัลซ์บวก ถ้าพัลซ์บวกมีแอมพลิจูด พัลซ์ลบก็สูงด้วย และในทำนองเดียวกัน ถ้าพัลซ์บวกมีค่าต่ำพัลซ์ลบก็มีค่าต่ำด้วย ฉะนั้นแอมพลิจูดพัลซ์ลบย่อมจะเท่า ๆ กับพัลซ์จะบวกดังปรากฏในรูปที่ 2.33(จ.) นั่นคือเอาต์พุตของวงจรนี้เป็นคลื่น AM และมีแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงตามสัญญาณเสียง

วงจรมอดูเลตนี้อาศัยหลักการผสมสัญญาณแบบนอนลิเนียร์ (Nonlinear Mixing) นั่นคือ ทั้งสัญญาณเสียง และพาหะถูกป้อนให้ผสมกัน เกิดแรงดันคร่อมความต้านทาน ซึ่งไม่เป็นลิเนียร์ของไดโอดผลรวมของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณทั้งสองทำให้เกิดสัญญาณผลรวมและผลต่าง สัญญาณผลรวมมีความถี่เท่ากับความถี่ของพาหะและความถี่เสียงที่เข้ามอดูเลตรวมกัน สัญญาณผลต่าง สัญญาณผลรวมมีความถี่เท่ากับความถี่ของพาหะและความถี่เสียงที่เข้ามอดูเลตรวมกัน สัญญาณผลต่าง มีความถี่เท่ากับความถี่ของพาหะและความถี่เสียงลบกัน เช่น สัญญาณพาหะความถี่ 100 กิโลเฮิรตซ์ ผสมกับสัญญาณเสียงความถี่ 10 กิโลเฮิรตซ์ สัญญาณผลรวมจะมีความถี่เท่ากับ 110 กิโลเฮิรตซ์ (100 กิโลเฮิรตซ์ + 10 กิโลเฮิรตซ์) ส่วนสัญญาณผลต่าง จะมีความถี่เท่ากับ 90 กิโลเฮิรตซ์ (100 กิโลเฮิรตซ์ - 10 กิโลเฮิรตซ์) ความถี่ของสัญญาณผลรวมพาหะและผลต่างจะอยู่ทางด้านข้าง (ข้างซ้ายและข้างขวา) ของพาหะ จึงนิยมเรียกว่าเป็นความถี่ไซด์แบนด์หรือแถบข้าง

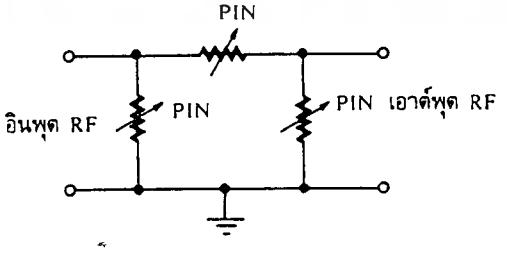
2.5.2 AM แบบปรับการลดทอน

วงจรมอดูเลตแบบนี้บางทีเรียกว่า มอดูเลตแบบดูดกลืน (Absorption Modulator) นิยมใช้ในเครื่องกำเนิดสัญญาณในย่านความถี่ VHF,UHF หรือสูงกว่านั้น วงจรมอดูเลเตอร์แบบดูดกลืนใช้คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงอิมพีแดนซ์ของไดโอด PIN ซึ่งต่อเรียงกันเป็นวงจรลดทอน วงจรนี้ทำงานได้เป็นทั้งวงจรมอดูเลตแบบ AM และวงจรลดทอนปรับระดับสัญญาณ (Signal Generator)

ไดโอด PIN ทำด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด P และ N เชื่อมต่อกันด้วยสารกึ่งตัวนำชนิด I (Intrinsic) ที่ความถี่สูงกว่า 100 เมกะเฮิรตซ์ ไดโอด PIN นี้จะทำงานเป็นตัวต้านทาน ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามกระแสไบแอสตรง ดังนั้นเราจึงสามารถควบคุมความต้านทานโดยการปรับกระแส

รูปที่ 2.34 แสดงการทำงานของวงจรลดทอนสัญญาณ ในที่นี้ตัวต้านทานแปรค่าได้ก็คือไดโอด PIN นั่นเอง เมื่อป้อนกระแสไบแอสแก่ไดโอด ความต้านทานของวงจรจะเปลี่ยนแปลง และทำให้ปริมาณการลดทอนเปลี่ยนแปลงด้วย ฉะนั้นเราจึงสามารถปรับค่าแอมพลิจูดของสัญญาณความถี่วิทยุ(Radio Frequency หรือเรียกย่อว่า RF) ที่ป้อนเข้าที่อินพุตได้โดยการปรับกระแสไบแอส DC ในทำนองเดียวกันถ้าเราใช้สัญญาณเสียงขี่ (Superimpose) บนแรงดันไบแอส DC สัญญาณ RF ก็จะถูกมอดูเลตแบบ AM

อย่างไรก็ตามในกรณีที่มอดูเลตเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์ ยอดของสัญญาณ AM จะต้องเป็น 2 เท่า ของพาหะ ฉะนั้นวงจรลดทอนจะต้องตั้งระดับลดทอนไว้ที่กึ่งกลางเพื่อทำให้การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดลดหรือเพิ่มได้ ประสิทธิภาพของวงจรมอดูเลเตอร์แบบดูดกลืนนี้มีค่าต่ำมากแต่ก็ไม่เป็นผลเสีย เพราะเรานิยมใช้ประโยชน์วงจรนี้ที่ระดับกำลังต่ำ ๆ อยู่แล้ว

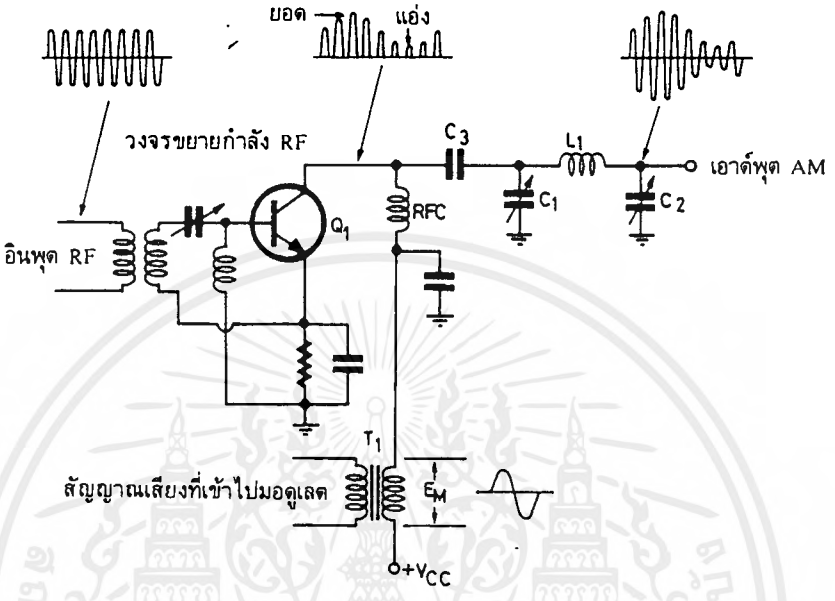


รูปที่ 2.34 วงจรมอดูเลตแบบดูดกลืนใช้ไดโอด PIN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 AM แบบมอดูเลตที่คอลเลคเตอร์

วิธีการมอดูเลตที่นิยมมากที่สุดก็คือ มอดูเลตที่คอลเลคเตอร์ (ในกรณีใช้ทรานซิสเตอร์ แต่ถ้าใช้วงจรหลอดสูญญากาศ ก็นิยมมอดูเลตที่เพลต) โดยการป้อนสัญญาณเข้ามอดูเลตทางขั้วคอลเลคเตอร์ซึ่งต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายไฟ (ซัพพลาย)



รูปที่ 2.35 วงจรคอลเลคเตอร์มอดูเลเตอร์

ในรูปที่ 2.35 เป็นวงจรขยาย RF คลาส C สังเกตุว่าสัญญาณเสียงมอดูเลตถูกป้อนเข้าที่หม้อแปลง T_1 จะเป็นศูนย์ ดังนั้น V_{CC} จะปรากฏที่คอลเลคเตอร์ ของ Q_1 เมื่อมีสัญญาณเข้ามอดูเลต แรงดัน E_m จะเหนี่ยวนำขึ้นที่ขดเซกันดารีของ T_1 ทำให้แรงดันที่คอลเลคเตอร์มีค่าเป็น V_{CC} รวมกับ E_m เมื่อแรงดันทั้งสองมีเฟสเสริมกัน คอลเลคเตอร์จะมีแรงดันสูงทำให้กระแสคอลเลคเตอร์ไหลมากขึ้น เอาต์พุตจะมีแอมพลิจูดโตขึ้นปรากฏเป็นยอด (Peak) ของกรอบคลื่น (Envelope)

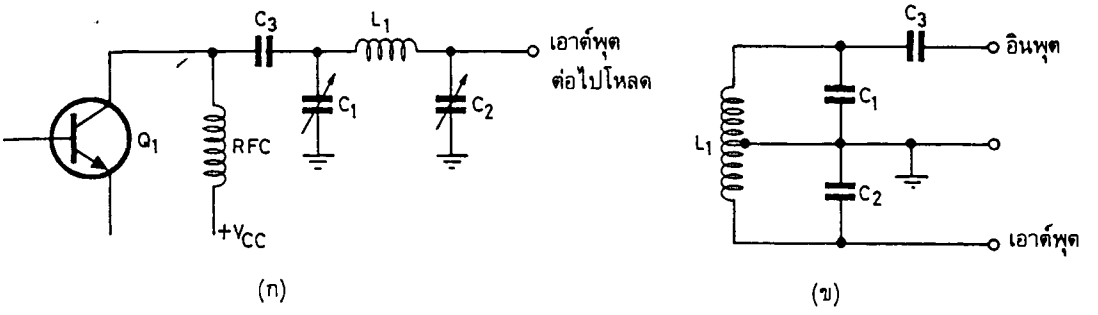
เมื่อ E_m กับ V_{CC} มีเฟสตรงกันข้าม ผลลัพธ์จะหักล้างกัน ทำให้แรงดัน คอลเลคเตอร์มีค่าลดลง กระแสคอลเลคเตอร์จึงลดลงด้วย เอาต์พุตก็จะมีแอมพลิจูดเล็กลง ปรากฏเป็นแอ่ง (Trough) ของกรอบคลื่น

เนื่องจาก Q_1 ทำงานในคลาส C เฉพาะกระแส RF (ลักษณะคล้ายกระแสพัลซ์) ที่เป็นบวกเท่านั้นซึ่งจะปรากฏที่เอาต์พุต วิธีการที่จะผลิตคลื่น AM ก็คือต้องป้อนไปยังวงจรเรโซแนนท์ (แทงค์) ซึ่งประกอบด้วย C_1,C_2 และ L_1 วงจรนี้ต่อในลักษณะรูปพาย (Pi หรือ π)

ในรูปที่ 2.36(ก) แสดงเฉพาะวงจรแทงค์ เอาต์พุตจากวงจรคอลเลคเตอร์ Q ปรากฏที่โช๊ก RFC (RF choke) และต่อผ่าน C3 เข้าวงจรแทงค์ เมื่อเราจัดวงจรรูปที่ 2.36(ก) เสียใหม่เป็นรูป (ข) จะเห็นว่า C_1 และ C_2 ต่อขนานกับ L_1 อยู่ เห็นเป็นวงจรแทงค์ได้ชัดเจน การปรับจูน C_1 และเอาต์พุตต่อออกจาก C_2 การปรับค่า C_1 กับ C_2 เป็นการปรับแมตซ์อิมพีแดนซ์ระหว่างวงจร Q_1 กับโหลดไปในตัวด้วย ฉะนั้นวงจรนี้ทำหน้าที่เป็นทั้งวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

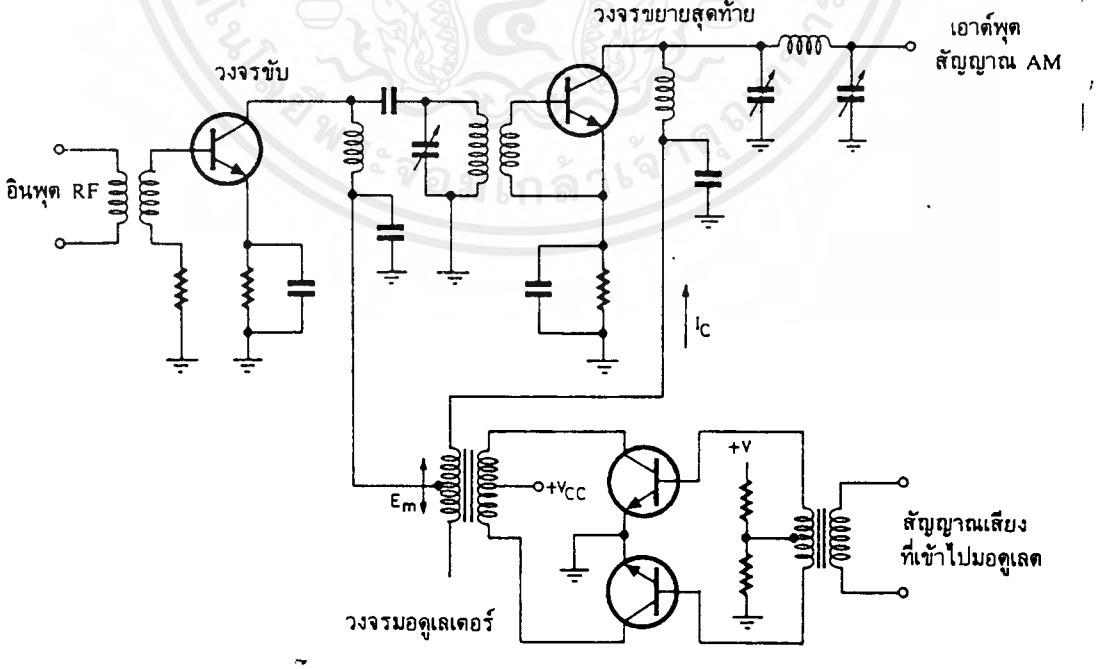
ฟิลเตอร์ชนิดความถี่ต่ำผ่านหรือ โลพาสฟิลเตอร์ (LPF) เพื่อกรองฮาร์มอนิกทิ้งไปเป็นวงจรเรโซแนนท์ (แทงค์) และเป็นวงจรแมตช์อิมพีแดนซ์ด้วย



รูปที่ 2.36 วงจรแทงค์รูป π ซึ่งเป็นเอาต์พุตของมอดูเลเตอร์

อุปสรรคของวงจรคอลเลคเตอร์มอดูเลเตอร์ (มอดูเลตที่คอลเลคเตอร์) ในรูปที่ 2.35 ก็คือ ไม่สามารถมอดูเลตให้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์เต็มที่ เพราะทรานซิสเตอร์อิ่มตัวเสียก่อนที่สัญญาณ AM จะขึ้นไปถึงยอดและในช่วงแอ่งของกรอบคลื่น สัญญาณ RF สามารถหลุดลอดผ่านความจุระหว่างรอยต่อ (Junction) เบส คอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ Q_1 ได้ ทำให้เอาต์พุต AM ไม่เป็นศูนย์ ปัญหานี้แก้ไขได้โดยการมอดูเลตทั้งในวงจรขับและวงจรสุดท้ายพร้อมกัน ดังรูปที่ 2.37 การมอดูเลตที่วงจรขับจะต้องเร่งแรงขับขึ้นอีก เพื่อให้ มอดูเลต 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในช่วงแอ่งการขับจะต้องลดลงอีกเพื่อป้องกัน RF หลุดผ่านออกมา

สังเกตุว่า วงจรมอดูเลตในรูปที่ 2.37 เป็นวงจรขยายเสียงแบบพุชพูล (Push Pull) ซึ่งจะต้องใช้กำลังอย่างน้อยครึ่งหนึ่งของกำลังพาหะในการมอดูเลต ดังนั้นวงจรขยายเสียงต้องใช้กำลังมาก จึงจำเป็นต้องใช้วงจรพุชพูลซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าวงจรขยายคลาส A

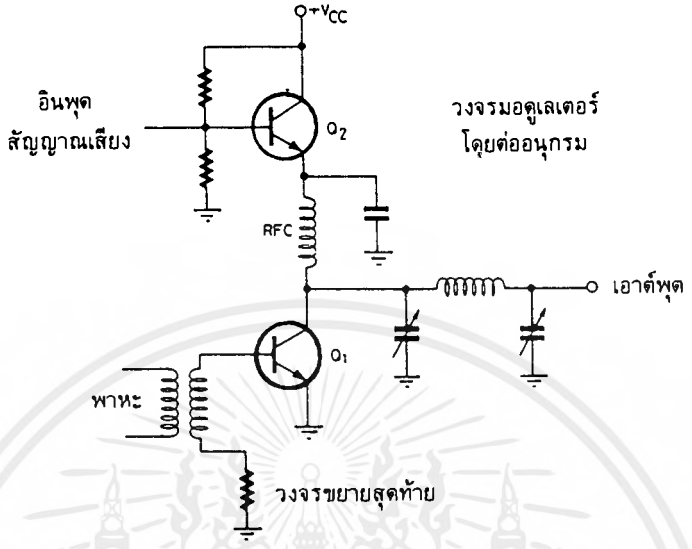


รูปที่ 2.37 การมอดูเลตที่คอลเลคเตอร์โดยมอดูเลตทั้งภาคขับและภาคสุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 วงจร AM แบบมอดูเลตโดยต่ออนุกรม (แบบที่ 1)

ข้อเสียของการมอดูเลตที่คอลเลคเตอร์ก็คือ ใช้หม้อแปลงขนาดใหญ่ซึ่งมีราคาแพงและเป็นเหตุให้เกิดความเพี้ยน วิธีการแก้ปัญหานี้เราทำได้โดยการใช้ทรานซิสเตอร์แทนหม้อแปลง

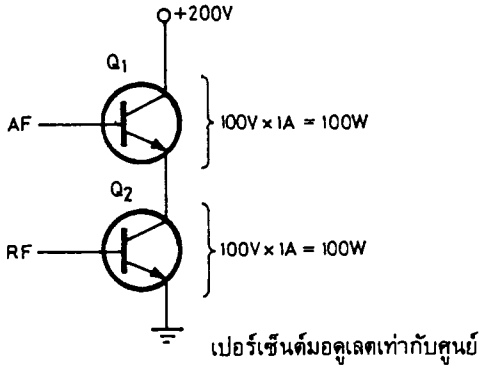


รูปที่ 2.38 วงจรมอดูเลตแบบอนุกรม

หลักการของมอดูเลเตอร์โดยต่ออนุกรม (Series Modulator) ก็คือ เอาทรานซิสเตอร์ 2 ตัวมาต่ออนุกรมกัน (รูปที่ 2.38) Q_1 เป็นวงจรสุดท้าย ควบคุมการมอดูเลต ที่Q_2 ถ้ากระแสที่ไหลใน Q_2 เพิ่มขึ้นก็จะทำให้เอาต์พุตของ Q_1 สูงขึ้นด้วย ในทำนองเดียวกันถ้ากระแสใน Q_2 ลดลง Q_1 ก็จะให้เอาต์พุตน้อยลง ฉะนั้นวงจรมอดูเลเตอร์ Q_2 ก็จะมอดูเลต (แบบ AM) บนสัญญาณพาหะ RF ที่ป้อนเข้ามาที่อินพุตของ Q_1 สังเกตว่าสัญญาณเสียงที่เข้ามอดูเลตต่อเข้าสู่ Q_2 โดยตรง โดยปราศจากหม้อแปลง ทำให้มีความเพี้ยนต่ำมาก

อย่างไรก็ตามการมอดูเลตโดยต่ออนุกรมเช่นนี้มีข้อเสียที่สำคัญคือ ประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากในขณะมอดูเลต 100 เปอร์เซ็นต์เต็มที่ แรงดันในวงจรสุดท้ายจะต้องเป็น 2 เท่า เช่น เมื่อแรงดันคอลเลคเตอร์เป็น 100 โวลท์ กระแสเป็น 1 แอมแปร์ กำลังอินพุตจะเท่ากับ 100 วัตต์ x 1 แอมแปร์ = 100 วัตต์ เมื่อ มอดูเลต 100 เปอร์เซ็นต์ แรงดันจะต้องเพิ่มถึง 200 โวลท์ แต่เมื่อหยุดมอดูเลตหรือ 0 เปอร์เซ็นต์ แรงดันยังคงเป็น 100 โวลท์ ดูรูปที่ 2.39 นั่นคือ แม้จะไม่มีการมอดูเลตแต่ก็ยังมีการสูญเสียกำลังไปเปล่า ๆ เปรียบเทียบกับการมอดูเลตที่คอลเลคเตอร์ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่า เนื่องจากถ้าเราหยุดมอดูเลต หรือ 0 เปอร์เซ็นต์จะไม่มีแรงดันตกคร่อมหม้อแปลงเลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



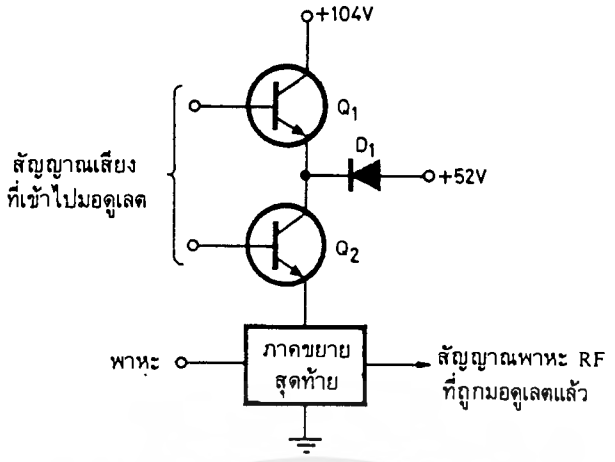
รูปที่ 2.39 การกระจายกำลังของทรานซิสเตอร์ในกรณีที่ไม่มีการมอดูเลต (เปอร์เซ็นต์การมอดูเลตเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์)

2.5.5วงจร AM แบบมอดูเลตโดยต่ออนุกรม (แบบที่ 2)

ปัญหาของประสิทธิภาพของวงจรมอดูเลตโดยต่ออนุกรมอย่างธรรมดา สามารถแก้ไขโดยปรับปรุงการต่ออนุกรมเป็นดังรูปที่ 2.40 สังเกตว่าสัญญาณเสียงเข้ามอดูเลตแบบโดยตรงเช่นเดียวกัน ในวงจรนี้มอดูเลเตอร์ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัว และมีแหล่งจ่าย 2 แหล่ง ซึ่งมีสวิตช์พิเศษในการเลือกใช้แหล่งจ่ายในสภาวะมอดูเลต 0 เปอร์เซ็นต์ ในช่วงแอ่งของกรอบ Q_1 จะ OFF และ ไฟ 104 โวลท์ จะถูกตัดออกไป ฉะนั้น Q_2 จะเป็นมอดูเลเตอร์ควบคุมกระแสและแรงดันที่ป้อนให้แก่วงจรสุดท้ายแทน ในกรณีที่มีการมอดูเลต Q_2 จะอิ่มตัว Q_1 จะ ON D_1 จะถูกไบแอสกลับทาง แหล่งจ่าย 52 โวลท์ จะถูกตัดออกไป ฉะนั้น Q_1 จะเป็นมอดูเลเตอร์ควบคุมกระแสแรงดันที่ป้อนให้แก่วงจรสุดท้ายแทน ทำให้เมื่อมอดูเลตเต็มที่แรงดันจากแหล่งจ่ายจะต่อมาให้ถึง 104 โวลท์

ข้อดีของวงจรก็คือ ในสภาวะที่มีแต่พาหะหรือ มอดูเลต 0 เปอร์เซ็นต์ กำลังสูญเสีย คร่อม มอดูเลเตอร์มีเพียงเล็กน้อย เนื่องจาก Q_1 OFF แต่ Q_2 จะ ON จะมีค่าน้อยประมาณ 2 โวลท์ แรงดันที่ป้อนให้วงจรสุดท้ายจะเท่ากับ 50 โวลท์ ดังนั้นในสภาวะมอดูเลต 0 เปอร์เซ็นต์ แรงดันป้อนวงจรสุดท้ายจะเป็น 50 โวลท์ สมมติว่ากระแสไหล 2 แอมป์ กำลังอินพุตจะเท่ากับ 50 โวลท์ x 2 แอมป์ = 100 วัตต์ กำลังคร่อมมอดูเลต Q_2 จะเท่ากับ 2 โวลท์ x 2 แอมป์ = 4 วัตต์ ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับวงจรมอดูเลเตอร์ต่ออนุกรมแบบธรรมดา แม้วงจรนี้จะซับซ้อนขึ้นเล็กน้อยแต่ก็ให้มีประสิทธิภาพสูงกว่าและสัญญาณเสียงป้อนเข้าวงจรมอดูเลเตอร์โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.40 การมอดูเลตโดยต่ออนุกรมซึ่งปรับปรุงใหม่เพื่อลดกำลังสูญเสีย
ในสภาวะที่ไม่มีการมอดูเลต

2.5.6 การมอดูเลตแบบ AM ไร้พาหะ

การมอดูเลตแบบ AM ที่อธิบายตอนต้นเรียกว่าเป็นการมอดูเลตแบบ AM ธรรมดา ซึ่งสัญญาณที่ส่งออกไปมีทั้งไซด์แบนด์ 2 ข้าง กับพาหะครบถ้วน การมอดูเลตแบบ AM อีกแบบหนึ่งเป็นการมอดูเลตแบบ AM เช่นกัน แต่กำจัด (Suppress) พาหะออกไป เรียกว่าเป็น การมอดูเลตแบบ AM ไร้พาหะ หรือ AMSC

การส่งแบบ AM ธรรมดาแม้จะมีข้อดีตรงที่ง่ายและไม่ซับซ้อน แต่ก็มีข้อเสียหลายประการ ที่สำคัญคือ

1. กำลังส่วนใหญ่ในระบบ AM อยู่ในคลื่นพาหะ กำลังส่วนนี้สูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ เพราะข่าวสารทั้งหมดอยู่ในคลื่นไซด์แบนด์ทั้งสองข้าง (ในคลื่นพาหะไม่มีข่าวสารปนอยู่เลย)

2. แบนด์วิดท์ของคลื่น AM ที่ส่งออกอากาศกว้างเป็นสองเท่าของแบนด์วิดท์ของสัญญาณข่าวสาร

3. คลื่นไซด์แบนด์และพาหะ จะต้องมีความสัมพันธ์ระหว่างแอมพลิจูดและเฟสที่ถูกต้อง ซึ่งค่อนข้างทำได้ยากในบางสภาวะ

2.5.7 กำลังของคลื่นพาหะ

สมมติว่า เครื่องส่ง AM ธรรมดามีกำลังส่งออกอากาศ 100 วัตต์ในขณะที่ยังไม่มีการมอดูเลตกำลัง 100 วัตต์นี้จะอยู่ในคลื่นพาหะ เมื่อมีสัญญาณข่าวสารมอดูเลต 100 เปอร์เซ็นต์ กำลังส่งออกอากาศจะกลายเป็น 150 วัตต์ สังเกตว่าเครื่องส่งยังคงส่งกำลังของคลื่นพาหะ 100 วัตต์เท่าเดิม แต่กำลังส่งอีก 150 วัตต์ นั้นเป็นกำลังส่งของคลื่นไซด์แบนด์ เนื่องจากกำลังส่งของคลื่นไซด์แบนด์ทั้งสองข้างเท่ากัน แต่ละไซด์แบนด์จึงมีกำลังส่งเท่ากับ 25 วัตต์ นอกจากนี้ในกรณีที่มอดูเลตไม่ ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ กำลังส่งของคลื่นไซด์แบนด์ก็จะไม่ถึง 25 วัตต์

จะเห็นว่าคลื่นพาหะนั้นมีความถี่และแอมพลิจูดไม่เปลี่ยนแปลง จึงไม่มีข่าวสารใด ๆ ปนอยู่เลยข่าวสารทั้งหลายส่งไปในคลื่นไซด์แบนด์ทั้งสิ้น คลื่นพาหะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวช่วยในการเปลี่ยนสัญญาณเสียงให้เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นไซด์แบนด์ความถี่สูงและช่วยคืนตัวสัญญาณเสียงกลับมาอีกในตอนดีมอดหรือดีเทก นอกจากใช้ในการมอดูเลตและดีมอดแล้ว คลื่นพาหะก็ไม่มีประโยชน์ใดเลย ฉะนั้นในระบบการส่งแบบ AM ธรรมดา กำลังส่งอย่างน้อย 2 ใน 3 ต้องสูญเสียไปในคลื่นพาหะซึ่งไม่มีข่าวสารปนอยู่เลย (คำนวณมาจากกำลังพาหะมี 100 วัตต์ ในกำลังส่งทั้งสิ้น 152 วัตต์ ในการมอดูเลต 100 เปอร์เซ็นต์)

2.5.8 แบนด์วิดท์

แบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM จะกว้างหรือแคบนั้นขึ้นอยู่กับสัญญาณเสียง (ข่าวสาร) เช่น คลื่นพาหะ 600 กิโลเฮิรตซ์ ถูกมอดูเลตแบบ AM ด้วยสัญญาณเสียง 5 กิโลเฮิรตซ์ ย่อมก่อให้เกิดคลื่นไซด์แบนด์ทั้ง 2 ข้างของคลื่นพาหะ 600 กิโลเฮิรตซ์ คือ ไซด์แบนด์ 595 กิโลเฮิรตซ์ และ ไซด์แบนด์ 605 กิโลเฮิรตซ์ ในระบบ AM เราส่งคลื่นไซด์แบนด์ทั้งสองไปพร้อมกัน ฉะนั้นต้องใช้แบนด์วิดท์เท่ากับ 605 กิโลเฮิรตซ์ - 595 กิโลเฮิรตซ์ = 10 กิโลเฮิรตซ์ คิดเป็น 2 เท่าของความถี่ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลต (หรือสัญญาณเสียง) หรือ 2x5 กิโลเฮิรตซ์ นั่นเอง

เมื่อ ความถี่ ของสัญญาณเสียงที่มอดูเลตเปลี่ยนแปลง ความถี่ของคลื่นไซด์แบนด์ ทั้งสองก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย และเมื่อ แอมพลิจูด ของสัญญาณที่มอดูเลตเปลี่ยนแปลง กำลังของคลื่นไซด์แบนด์ ก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่ทั้งนี้ คลื่นพาหะยังคงมีกำลังและความถี่เท่าเดิมอยู่ตลอดเวลา จะเห็นว่าข่าวสารปะปนอยู่ในคลื่นไซด์แบนด์เท่านั้น ไม่ได้ปนอยู่ในคลื่นพาหะเลย และข่าวสารที่ปนอยู่ในไซด์แบนด์ด้านต่ำ (LSB) และในไซด์แบนด์ด้านสูง (USB) ก็เป็นข่าวสารตัวเดียวกัน ฉะนั้นถ้าหากเราทราบค่าความถี่ของคลื่นไซด์แบนด์และคลื่นพาหะ เราก็จะสามารถทราบค่าความถี่ของข่าวสารที่มอดูเลตได้ สรุปได้ว่าในระบบ AM แบนด์วิดท์ที่ใช้งานกว้างเกินความจำเป็นเพราะเราใช้เพียงครึ่งเดียวก็พอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 เครื่องรับสัญญาณ

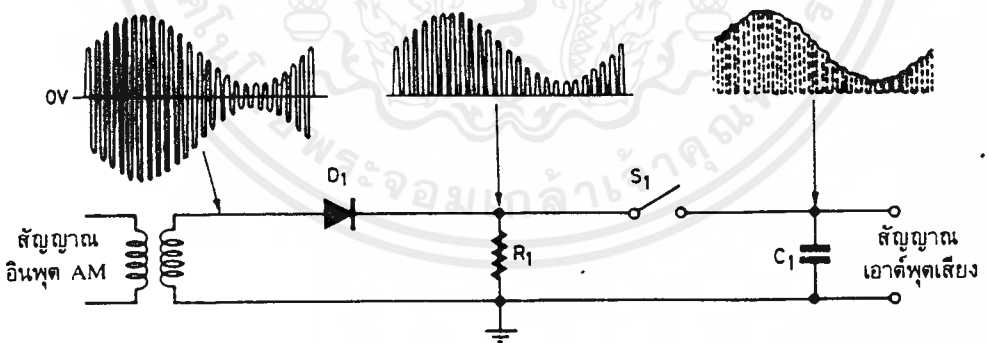
เราอาจคิดว่าเครื่องรับน่าจะประกอบด้วยวงจรดีมอดแต่เพียงอย่างเดียว ก็เพียงพอแล้ว ความจริงไม่ใช่เป็นเช่นนั้น เนื่องจากมีเครื่องส่งส่งคลื่นพร้อม ๆ กันเป็นจำนวนมากมาย เครื่องรับจึงต้องมีวงจรพิเศษเพื่อเลือกรับสัญญาณเฉพาะที่ต้องการเท่านั้น นอกจากนี้บางครั้งเครื่องส่งอยู่ห่างไกลจากเครื่องรับ ทำให้สัญญาณที่รับได้อ่อนมาก เครื่องรับจะต้องเลือกขยายสัญญาณอ่อน ๆ ที่ต้องการนี้เสียก่อน แล้วจึงดีมอดหรือดีเทกเพื่อป้อนไปขยายออกลำโพงต่อไป ดังนั้น เครื่องรับจึงต้องมีวงจรขยาย RF เพื่อทำหน้าที่ดังกล่าว เครื่องรับประเภทนี้เป็นเครื่องรับชนิด TRF (Tuned RF Receiver)

อย่างไรก็ตามเครื่องรับชนิด TRF มีปัญหาในการออกแบบหลายประการ ฉะนั้นในปี พ.ศ. 2461 นายเอ็ดวิด อาร์มสตรอง จึงคิดค้นกรรมวิธีซูปเปอร์เฮตเทอโรดายน์ขึ้นเพื่อแก้ปัญหาของเครื่องรับชนิด TRF เครื่องรับชนิดซูปเปอร์เฮตนี้เรียกได้ว่าเป็นการปฏิวัติระบบสื่อสารทีเดียว เพราะเครื่องรับแทบทุกเครื่องต้องใช้วิธีซุปเปอร์เฮต

ในบทนี้ จะอธิบายถึงภาคต่าง ๆ ในเครื่องรับ AM เริ่มตั้งแต่การดีมอดด้วยวงจรดีเทกเตอร์ชนิดต่าง ๆ และเครื่องรับชนิด TRF กับชนิด ซุปเปอร์เฮต การแปลงความถี่ ภาคขยาย IF และวิธีควบคุมโดยอัตโนมัติ

2.6.1 วงจรดีเทกเตอร์ใช้ไดโอด

วงจรดีมอดสัญญาณ AM ที่นิยมมากที่สุดคือ วงจรดีเทกเตอร์ใช้ไดโอด วงจรนี้ง่ายและใช้ได้ในเครื่องรับ AM ทุกชนิด ในรูปที่ 2.41 ความจริงสวิตช์ S_1 ไม่จำเป็นต้องใช้ แต่ในที่นี้เขียนเพื่ออธิบายให้เข้าใจง่ายขึ้น ตอนแรกสมมติให้ S_1 เปิดวงจร วงจรนี้เป็นวงจรเร็กติฟายครึ่งคลื่นธรรมดา ไดโอดจะนำกระแสช่วงเวลาที่คลื่น AMเป็นบวกเท่านั้น เกิดพัลซ์บวกคร่อม R_1 ในช่วงเวลาที่คลื่น AM เป็นลบ D_1 จะ OFF



รูปที่ 2.41 การดีเทกสัญญาณ AM ด้วยไดโอด

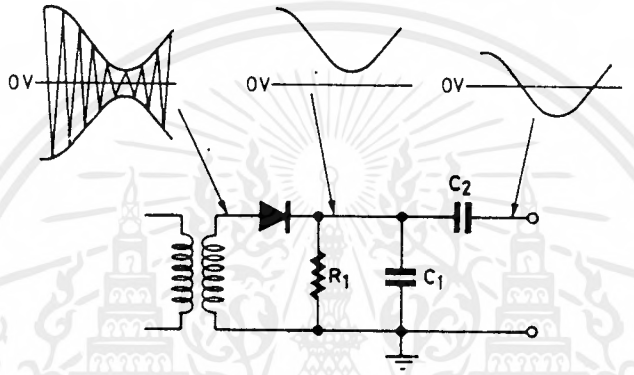
เมื่อ S_1 ปิดวงจร C_1 จะต่อขนานกับ R_1 โดย C จะถูกประจุด้วยพัลซ์บวกของ AM ทันที และในระหว่างช่วงเวลาที่ D_1 เป็น OFF(พัลซ์ลบเข้ามา) C_1 ก็พยายามคายประจุออกให้แก่ R_1 เนื่องจากค่าคงตัวเวลา $R_1 C_1$ นั้นสั้นทำให้ C_1 มีแรงดันตกคร่อมเล็กน้อย เอาต์พุตถึงปรากฏเป็นลักษณะกรอบของสัญญาณ AM ส่วนบนมีริปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Ripple) ปะปนอยู่เล็กน้อยซึ่งโดยปกติความถี่พาหะสูงกว่าความถี่ของกรอบคลื่นอยู่แล้ว ริปเปิลจึงแทบจะมองไม่เห็น

ลองพิจารณาขบวนการดีมอดในแง่ความถี่ คงจำได้ว่าคลื่น AM ประกอบด้วยองค์ประกอบ 3ตัว คือ คลื่นพาหะ 1 ตัว และ คลื่นไซด์แบนด์ อีก 2 ตัว (USB กับ LSB) เมื่อสัญญาณทั้ง 3 ตัวป้อนให้แก่ D_1 จะเกิดการผสมคลื่นแบบไม่ลิเนียร์ ทำให้เกิดผลลัพธ์เป็นความถี่ผลต่าง ซึ่งความถี่ผลต่างนี้ก็คือความถี่ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตนั่นเอง ฉะนั้นการที่จะแยกสัญญาณความถี่ต่ำออกมาจากความถี่สูง (RF) ก็ทำได้โดยการใช้ C_1 ต่อในลักษณะลัดวงจรที่ความถี่สูงให้เหลือแต่เฉพาะสัญญาณเสียงเท่านั้น

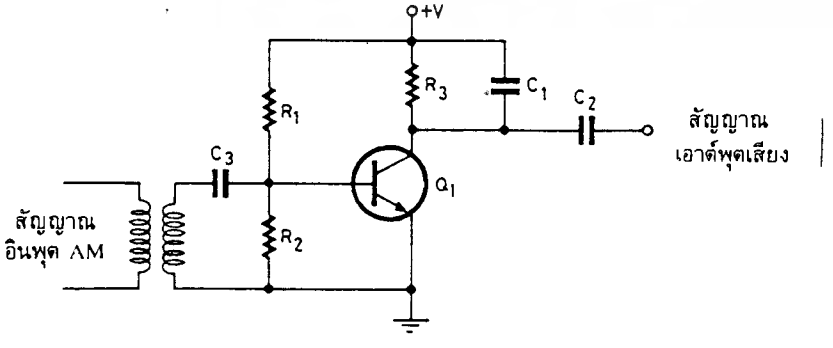
เอาต์พุตที่ได้จากการดีเทกจะมีแรงดัน DC ปนมาด้วย ซึ่งเราต่อเอาต์พุตผ่าน C_2 โดยให้ C_2 ทำหน้าที่ กั้นไฟ DC ไว้ ดูรูปที่ 2.42



รูปที่ 2.42 วงจรดีเทกเตอร์ AM ใช้ไดโอด

2.6.2 วงจรดีเทกเตอร์ใช้ทรานซิสเตอร์

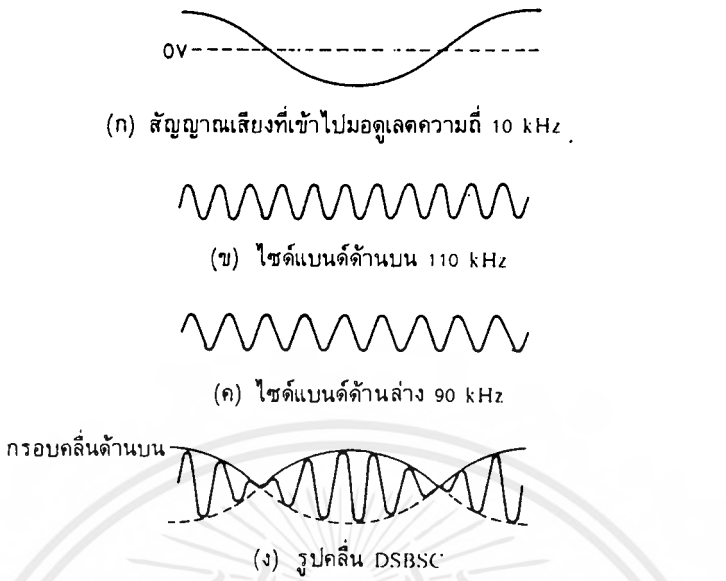
ในวงจรดีเทกเตอร์ที่ใช้ไดโอด เรานิยมใช้ไดโอดชนิดเจอร์มันเนียม (Germanium Diode) เป็นตัวดีเทกสัญญาณ AM เนื่องจากมีแรงดันตกคร่อมน้อย แต่ในการใช้งานจริง ๆ บางครั้งจำเป็นต้องการขยายสัญญาณที่ดีเทกออกมา ในกรณีเช่นนี้เราอาจใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวดีเทกก็ได้ โดยไบแอสให้เป็นวงจรขยายคลาส B ดังนั้นสัญญาณ AM ก็จะถูกดีเทกและขยายพร้อมกันทีเดียว



รูปที่ 2.43 วงจรดีเทกเตอร์ AM ใช้ทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

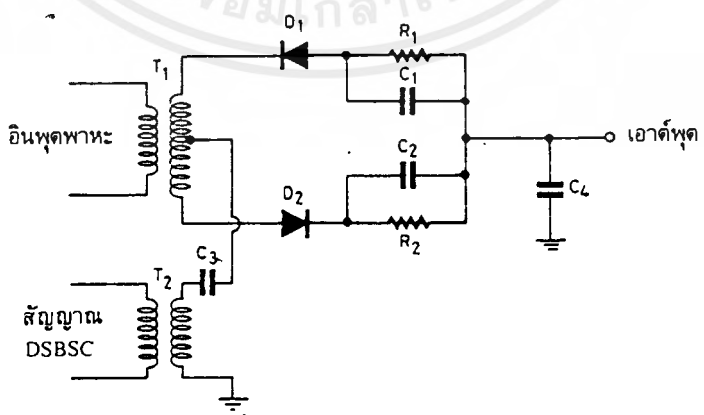
ในรูปที่ 2.43 C_1 ไบแอสด้วย R_1 กับ R_2 ให้ทำงานในคลาส B ตัวต้านทาน R_3 เป็นตัวโหลด และเป็นตัวเข้าประจุ C_1 เป็นตัวกรองสัญญาณ RF ทิ้ง ส่วนสัญญาณเสียง ผ่าน C_2 ออกไปยังเอาต์พุต



รูปที่ 2.44 สัญญาณ DSCBSC

2.6.4 วงจรซิงโครนัสดีเทกเตอร์

การดีมอดกรอบคลื่นของสัญญาณ AM เราสามารถใช้ทรานซิสเตอร์หรือไดโอดอาศัยหลักการเร็กติฟายธรรมดา แต่ในกรณีของสัญญาณ AMDSBSC กรอบคลื่นของสัญญาณมิใช่ตัวสัญญาณ (เสียง) ที่เข้ามอดูเลต รูปที่ 2.44 สัญญาณเสียง 10 กิโลเฮิรตซ์ มอดูเลตบนพาหะ 100 กิโลเฮิรตซ์ เนื่องจากพาหะถูกกำจัดออกไปเหลือแต่เฉพาะไซด์แบนด์ 2 ข้างรวมกัน จึงได้กรอบคลื่นสัญญาณเป็นตามรูปที่ 2.4.4 (ง) กรอบคลื่นนี้มีความถี่เท่ากับ 2 เท่า (คือ 20 กิโลเฮิรตซ์) ของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตจะเห็นว่าเรานำหลักการดีเทก AM ธรรมดามาใช้ไม่ได้ผล จึงต้องใช้วิธีดีเทกแบบพิเศษที่เรียกว่า ซิงโครนัสดีเทกเตอร์ (Synchronous Detector)



รูปที่ 2.45 วงจรซิงโครนัสดีเทกเตอร์

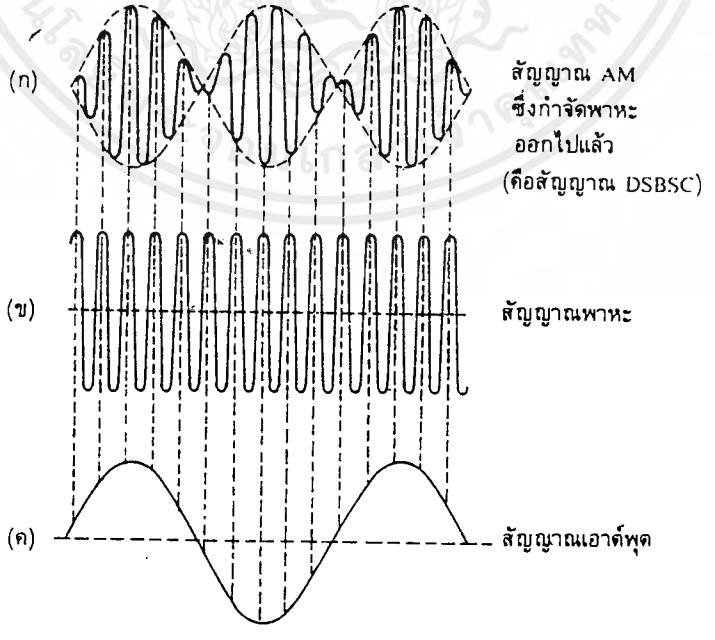
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.45 วงจรซิงโครนัสดีเทกเตอร์ประกอบด้วย ไดโอดคู่มีอินพุตเข้ามา 2 ทาง ทางหนึ่งมาจากพาหะซึ่งสัญญาณนี้ต้องผลิตขึ้นเองที่เครื่องรับ ความถี่ของคลื่นพาหะที่เครื่องรับนั้นไม่จำเป็นต้องเท่ากับความถี่พาหะที่เครื่องส่ง (ไม่จำเป็นต้องตรงพอดี) แต่เฟสจะต้องตรงกันระหว่างเครื่องส่งตลอดเวลา

ในรูปที่ 2.45 สัญญาณพาหะจะบังคับให้ไดโอด D_1 กับ D_2 ทำงานปิดเปิดเหมือนสวิตช์ กล่าวคือ เมื่อสัญญาณพาหะเป็นลบที่ขั้วบนของหม้อแปลง T_1 และเป็นบวกที่ขั้วล่าง D_1 กับ D_2 จะนำกระแส แต่ กระแสยังคงไม่ไหลผ่าน C_4 เพราะว่ากระแสทั้งหมดจะวนเวียนอยู่ในลูป D_1 กับ D_2 และ T_1 สภาวะนี้เป็นสภาวะไม่สมดุล (มีค่าพาหะ)เมื่อสัญญาณพาหะกลับขั้ว D_1 กับ D_2 ทำ ก็ถูกไบแอสกลับทาง กระแสจึงไม่ไหล การต่อขนานกันระหว่าง R_1 C_1 และ R_2 C_2 ทำหน้าที่เป็นโหลดให้แก่ไดโอด และบังคับให้ไดโอด ON เฉพาะไซเกิลแคบๆ ของคลื่นพาหะ C_4 ทำหน้าที่กรองความถี่สูงของพาหะทิ้งไป

สัญญาณที่เข้ามอดูเลตควรมีระดับสัญญาณต่ำ เพื่อมิให้ไดโอด D_1 และ D_2 ไบแอสตรง ฉะนั้นช่วงเวลาที่สัญญาณเข้ามอดูเลตสามารถผ่านไปยัง C_4 และเอาต์พุตที่ได้ก็คือช่วงเวลาที่พาหะเป็นไบแอสตรงให้ไดโอด นั่นคือพาหะจึงเสมือนทำการสุ่มตัวอย่าง (Sampling) ของสัญญาณที่เข้ามามอดูเลตออกไปยังเอาต์พุต (รูปที่2.46) สังเกตว่าคลื่นพาหะสุ่มตัวอย่างสัญญาณค่าบวกของสัญญาณ DSB ในช่วงไซเกิลบวก ของพาหะและสุ่มตัวอย่างค่า ลบ ของสัญญาณ DSB ในช่วงไซเกิลลบของพาหะ ผลที่ได้จึงเป็นสัญญาณเสียงที่เข้ามอดูเลต

จะเห็นว่าถ้ารูปคลื่นพาหะในรูปที่ 2.46 มีเฟสผิดพลาด ตำแหน่งที่สุ่มตัวอย่างจะเลื่อนไปทำให้ได้ค่าสัญญาณที่ผิดพลาด ด้วยเหตุนี้ สัญญาณพาหะที่กำเนิดขึ้นใหม่นี้จึงต้องมีเฟสตรงกับเฟสของพาหะที่เครื่องส่งพอดี นี่เป็นข้อเสียของระบบ AM ไร้พาหะ (DSB) เพราะว่าเครื่องรับต้องใช้วงจรที่ซับซ้อนในการควบคุมเฟสและความถี่ให้ถูกต้อง อย่างไรก็ดีในระบบแพร่ภาพโทรทัศน์และระบบกระจายเสียง FM สเตอริโอ เราก็ใช้การมอดูเลตแบบ AMDSBSC แต่ทว่าเราจำเป็นต้องส่งสัญญาณซิงค์ (Synchronize) มาควบคุมการกำเนิดพาหะใหม่ที่เครื่องรับ ให้มีเฟสและความถี่ตรงกับที่เครื่องส่ง



รูปที่ 2.46 รูปคลื่นในวงจร ซิงโครนัสดีเทกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

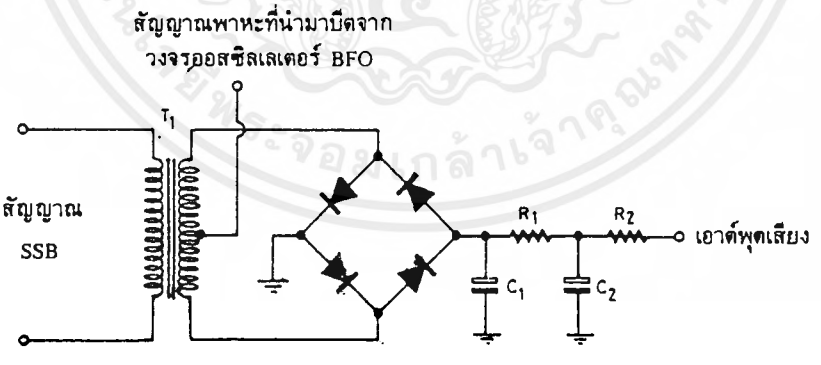
2.6.5 โปรดักต์ดีเทกเตอร์

การดีมอดสัญญาณ SSB นั้นเราใช้วงจรไดโอดธรรมดาที่ดีมอดสัญญาณ AM ไม่ได้ เนื่องจากกรอบรูปคลื่นของสัญญาณ SSB เปลี่ยนแปลงตามแอมพลิจูดของสัญญาณที่เข้ามอดูเลตเท่านั้นไม่ได้เปลี่ยนตามความถี่ (ยกเว้นในกรณีที่เรามอดูเลตด้วยสัญญาณเสียงที่มีแอมพลิจูดคงที่ แต่ความถี่แปรเปลี่ยนไป ในกรณีนี้กรอบของสัญญาณ SSB จะคงที่ แต่ความถี่จะเปลี่ยนแปลง) ฉะนั้นวงจรดีมอดของสัญญาณ SSB จึงต้องปรับตามความถี่และแอมพลิจูดของสัญญาณพาหะ (ความถี่สูง)

ในการดีมอดสัญญาณ SSB เราต้องผลิตสัญญาณพาหะขึ้นใหม่แล้วนำสัญญาณ SSB ไปเปรียบเทียบกัน วงจรดีมอดสัญญาณ SSB ก็เป็นวงจรมิกเซอร์แบบนอนลิเนียร์อีกแบบหนึ่ง เราอาจใช้ไดโอดเป็นบาลานซ์มอดูเลเตอร์หรือใช้วงจร MOSFET เกตคู่ (Dual Gate)

วงจรโปรดักต์ดีเทกเตอร์ (Product Detector) ในรูปที่ 2. 47 ใช้ไดโอดต่อเป็นวงเหมือนวงจร BM พาหะที่กำเนิดขึ้นใหม่เรียกว่า BFO (Breat Frequency Oscillator) ป้อนให้ที่จุดกลางของหม้อแปลง ส่วนสัญญาณ SSB ป้อนเข้าที่ขดไพรมารี่ สัญญาณทั้งสองผสมกัน คร่อมไดโอดต่าง ๆ ถ้าพาหะมีความถี่ผิดพลาดจากเดิมที่เครื่องส่งไม่เกิน 50 เฮิรตซ์ สัญญาณผลต่างจะเกิดขึ้นที่เอาต์พุตเป็นสัญญาณเสียงที่เข้ามอดูเลต วงจร R_1 R_2 C_1 C_2 เป็นวงจรกรองความถี่สูงทิ้งไป ยอมให้เฉพาะสัญญาณเสียงผ่านไปได้

จะเห็นว่าพาหะที่สร้างขึ้นใหม่ในการดีมอดสัญญาณ SSB เราไม่จำเป็นต้องให้เที่ยงตรงเหมือนกับการดีมอด DSB คงจำได้ว่าในระบบ AMSC (ไร้พาหะ) เราต้องกำเนิดพาหะขึ้นใหม่โดยต้องรักษาเฟสและความถี่ให้เหมือนกับพาหะตัวเดิม แต่ในระบบ SSB ความถี่ยอมใหม่ผิดพลาดได้ไม่เกิน 50 เฮิรตซ์ ของตัวเดิม ดังนั้นเครื่องรับไม่ต้องใช้วงจรซับซ้อนมากเกินไป นี่เป็นเหตุผลสำคัญที่ระบบ SSB ได้รับความนิยมมากกว่าระบบ DSB



รูปที่ 2.47 วงจรโปรดักต์ดีเทกเตอร์

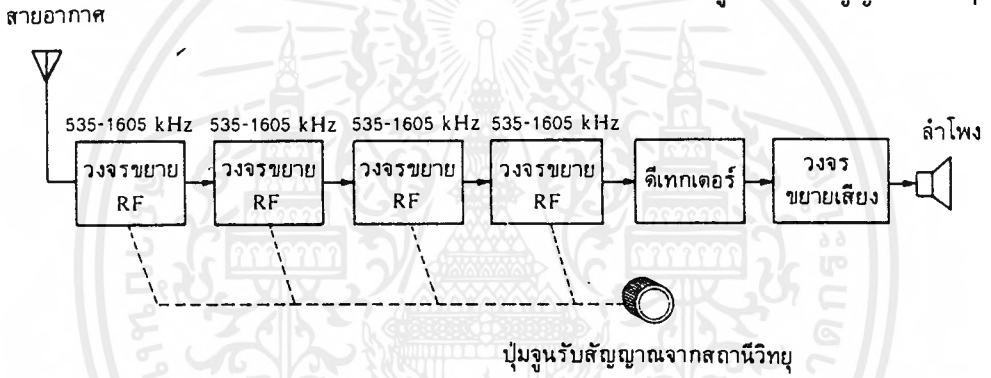
เนื่องจากพาหะใหม่ในระบบ SSB มีความถี่และเฟสผิดพลาดไปจากพาหะตัวเดิมได้ (ที่ถูกจำกัดที่เครื่องส่ง) ฉะนั้นคุณภาพเสียง (ของสัญญาณเสียงที่เข้ามอดูเลต) จะด้อยลงไปบ้าง อย่างไรก็ตามก็ยังรับฟังได้ชัดโดยเฉพาะในกรณีสื่อสารโดยใช้เสียงพูด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.6 เครื่องรับชนิด TRF

สัญญาณที่รับได้ที่สายอากาศรับจะมาจากเครื่องส่งซึ่งมีจำนวนมากมาย ฉะนั้นเราจำเป็นต้องหาทางเลือกรับสัญญาณเฉพาะที่ต้องการเท่านั้น สมมติว่าเราเอาดีเทกเตอร์ต่อกับสายอากาศโดยตรงเลย สัญญาณที่ผ่านการดีมอดจะผสมกันยุ่งเหยิงไปหมด (เพราะสัญญาณมาจากเครื่องส่งหลายเครื่อง) วิธีการเลือกรับเฉพาะสัญญาณที่ต้องการสามารถทำได้โดยต่อรวมจูนความถี่ RF ระหว่าง สายอากาศกับดีเทกเตอร์ วงจรจูนความถี่ RF นี้มีแบนด์วิดท์ไม่กว้างนักเพื่อจูนเลือกรับเฉพาะสัญญาณที่ต้องการและกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการออกไปได้ถ้าหากต้องการให้แบนด์วิดท์ไม่กว้างนักเพื่อจูนเลือกรับเฉพาะสัญญาณที่ต้องการและทำการกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการออกได้ ถ้าหากต้องการให้แบนด์วิดท์ของวงจรจูน RF แคบลงไปอีกให้ใช้วงจร RF หลาย ๆ สเตจต่อกัน ดูรูปที่ 2.48 ซึ่งจะมีผลให้การขยายสัญญาณแรงขึ้นด้วยฉะนั้นการเพิ่มวงจรขยาย RF จะช่วยให้ความไวการรับและการเลือกรับสัญญาณ (Selectivity) ดีขึ้น

ความไวของเครื่องรับเป็นค่าที่บอกความสามารถในการรับสัญญาณขนาดอ่อน ๆ เช่น ถ้าเครื่องรับสามารถรับฟังสัญญาณยิ่งอ่อนได้เท่าใด แสดงว่ามีความไวในการรับสัญญาณดีเท่านั้น ฉะนั้นอัตราขยายของเครื่องรับยิ่งมาก ความไวจะยิ่งดี ถ้าอัตราขยายของวงจร RF ยิ่งมาก ความไวยิ่งสูงก็ยิ่งรับสัญญาณอ่อน ๆ ได้



รูปที่ 2.48 แผนผังเครื่องรับชนิด TRF สังเกตว่าสัญญาณส่วนหน้ามีความถี่สูงเรียกว่า RF วงจรความถี่วิทยุ (Radio Frequency) ส่วนหลังมีความถี่ต่ำเรียกว่า วงจรความถี่เสียง AF (Audio Frequency)

การเลือกรับสัญญาณหรือซีเลกติวิตี้ของเครื่องรับเป็นค่าที่บอกความสามารถในการเลือกรับสัญญาณที่ต้องการโดยกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการออกไป สำหรับเครื่องรับชนิด TRF แบนด์วิดท์จะขึ้นอยู่กับวงจรขยาย RF ทั้งหมด ถ้าแบนด์วิดท์แคบ ซีเลกติวิตี้ยิ่งดีขึ้น

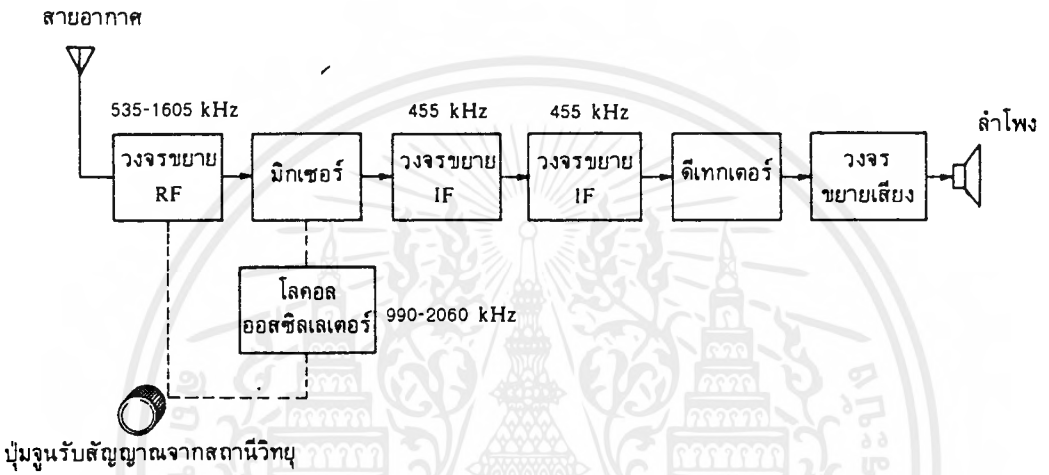
เครื่องรับชนิด TRF ในรูปที่ 2.48 มีวงจรขยาย RF 4 สเตจ ความไวและการเลือกรับสัญญาณออกแบบไว้สำหรับรับสัญญาณ AM ในย่านความถี่ (535-1605 กิโลเฮิรตซ์) เนื่องจากวงจรขยาย RF มีอยู่หลายสเตจ การจูนเลือกความถี่จะต้องจูนพร้อม ๆ กันและสัมพันธ์กันทุกสเตจตลอดย่านความถี่ใช้งาน (535-1605กิโลเฮิรตซ์) ซึ่งนับว่ายากพอสมควร นอกจากนี้ที่ความถี่ใช้ความถี่ใช้งานสูง ๆ แบนด์วิดท์ของวงจรขยาย RF จะกว้างขึ้น ฉะนั้นแบนด์วิดท์ของวงจรเมื่อจูนที่ 1600 กิโลเฮิรตซ์ ย่อมไม่ดีเท่าแบนด์วิดท์เมื่อ 540 กิโลเฮิรตซ์ การออกแบบวงจรให้มีทั้งอัตราขยายสูงและปรับจูนได้ตลอดย่านความถี่ใช้งานกว้าง ๆ นี้ค่อนข้างยุ่งยากและมักเกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมาอีกด้วย เราจึงไม่ค่อยนิยมใช้เครื่องรับชนิด TRF แต่หันไปใช้เครื่องรับชนิดซุปเปอร์เฮตเทอโรดายน์ หรือเรียกสั้น ๆ ว่า ซุปเปอร์เฮต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.7 เครื่องรับซุปเปอร์เฮต

เครื่องรับชนิดซุปเปอร์เฮต หรือซุปเปอร์เฮตเทอโรดายน์นี้อาศัยหลักการแปลงความถี่ของสัญญาณ RF ให้กลายเป็นความถี่คงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งช่วยให้การออกแบบวงจรเครื่องรับทำได้สะดวกขึ้น

จากแผนผังของเครื่องรับ AM ชนิดซุปเปอร์เฮตก็คือ วงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ (Local Oscillator) และวงจรมิกเซอร์ สัญญาณ RF จากสายอากาศถูกแปลงความถี่ลงเป็นความถี่ IF ค่าตามตัวค่าหนึ่ง ความถี่ IF ในที่นี้เป็น ความถี่ปานกลาง (Intermediate Frequency) มีค่าอยู่ระหว่างความถี่ RF กับความถี่เสียง (AF) โดยทั่วไปนิยมใช้ค่า IF เท่ากับ 455 กิโลเฮิรตซ์



รูปที่ 2.49 แผนผังเครื่องรับชนิดซุปเปอร์เฮต

วิธีการแปลงความถี่ในวงจรมิกเซอร์เกิดขึ้นเนื่องจากการผสมคลื่น RF กับคลื่นออสซิลเลเตอร์ ซึ่งมีความถี่ห่างจากความถี่ RF เท่ากับ 455 กิโลเฮิรตซ์พอดี ความถี่ของออสซิลเลเตอร์นี้อาจสูงกว่าหรือต่ำกว่าความถี่ RF ก็ได้ในรูปที่ 2.49 เราป้อนความถี่ของโลคอลออสซิลเลเตอร์สูงกว่าความถี่ RF การป้อนแบบนี้เรียกกว่า ป้อนด้านสูง. (High Side Injection) สมมติว่าเราต้องการรับสัญญาณ 1000 กิโลเฮิรตซ์ (เราต้องหมุนลูกบิดจูนหน้าปัดเครื่องรับไปที่ตัวเลข 1000กิโลเฮิรตซ์) วงจรขยาย RF จะถูกจูนไว้ที่ความถี่ 1000 กิโลเฮิรตซ์ และยอมให้ความถี่แคบ ๆ บริเวณ 1000 กิโลเฮิรตซ์ผ่านเข้ามาแล้วขยายป้อนไปให้มิกเซอร์การหมุนลูกบิดหน้าปัดนั้นนอกจากจะจูนวงจรขยาย RF แล้วยังต้องจูนวงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ไปพร้อม ๆ กันด้วย การจูนพร้อมกันนี้เรียกว่าแทร็ก (Track)ตามกัน ความถี่ของออสซิลเลเตอร์ต้องเท่ากับ 1000กิโลเฮิรตซ์+455 กิโลเฮิรตซ์= 1455 กิโลเฮิรตซ์

เมื่อสัญญาณทั้ง RFและโลคอลออสซิลเลเตอร์ป้อนเข้ามาให้ที่วงจรมิกเซอร์ซึ่งเป็นวงจรที่ทำงานแบบนอนลิเนียร์ เอาต์พุตที่ได้จากมิกเซอร์จะประกอบด้วย ด้วยสัญญาณความถี่ผลรวมและความถี่ผลต่างเมื่อป้อนให้วงจร IF ซึ่งจูนไว้ที่ความถี่ 455 กิโลเฮิรตซ์ ดังนั้นสัญญาณความถี่ผลรวมจะถูกกำจัดทิ้งไป คงเหลือแต่สัญญาณความถี่ผลต่าง (1455 กิโลเฮิรตซ์ - 1000 กิโลเฮิรตซ์ = 455 กิโลเฮิรตซ์) ผ่านการขยายที่วงจรขยาย IF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

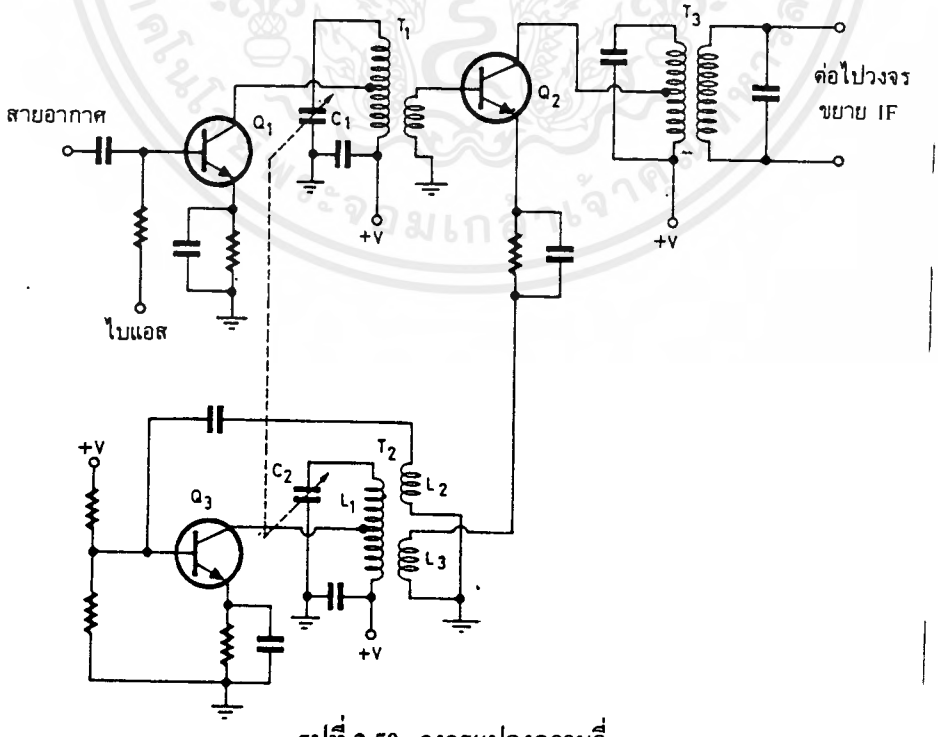
วงจรขยาย IF ก็คือวงจรขยาย RF ที่จูน ณ ความถี่ค่าคงที่ (455 กิโลเฮิรตซ์) วงจร IF นี้จะมีวงจร แทงค์ทั้งด้านอินพุตและด้านเอาต์พุตและมักมีหลายสเตจ ทั้งนี้เพื่อให้มีอัตราขยายสัญญาณที่รับได้สูง ๆ และซีเลกติวิตี้ดี เนื่องจากวงจรขยาย IF จูนไว้ที่ความถี่ที่ซึ่งไม่เปลี่ยนแปลง ดังนั้นการออกแบบวงจรจึงค่อนข้างสะดวกและไม่ต้องมีการปรับจูนให้ยุ่งยากในวงจรภาค IF แต่อย่างใด

ฉะนั้นสัญญาณ AM ขณะนี้มีความถี่ขนาดปานกลางเป็น 455 กิโลเฮิรตซ์ เมื่อผ่านการขยายจากวงจรขยาย IF แล้วก็จะผ่านการดีมอดที่วงจรดีเทกเตอร์ ถ้าเป็นเครื่องรับ AM เรามักใช้วงจรดีเทกอย่างง่ายคือ วงจรมีไดโอดตัวเดียว (แต่ถ้าเป็นเครื่องรับสัญญาณ SSB เราต้องใช้วงจรโปรดักต์ดีเทกเตอร์ร่วมกับ BFO ด้วย) สัญญาณเสียงหลังจากการดีมอดก็จะถูกขยายกำลังป้อนสู่ลำโพงต่อไป

2.6.8 วงจรแปลงความถี่

รูปที่ 2.50 เป็นตัวอย่าง วงจรส่วนหน้า (Front End) ของเครื่องรับ AM ทรานซิสเตอร์ Q_1 เป็นวงจรขยาย RF Q_2เป็นมิกเซอร์ Q_3 เป็นโลคอลออสซิลเลเตอร์ เราจูนวงจรขยาย RF ไว้ ณ ความถี่ที่ใช้งานโดยปรับจูนตัวเก็บประจุ C_1 จากรูป จะเห็นว่าแกนของ C_1 ต่อร่วมกับ C_2 ฉะนั้นการจูน C_1 ก็จะจูน C_2 แทร็กไปพร้อม ๆกัน ด้วยวงจรโลคอลออสซิลเลเตอร์ จึงสามารถกำเนิดความถี่ที่ถูกต้องและสัมพันธ์กับความถี่ใช้งานของวงจร RF ในวงจรออสซิลเลเตอร์ C_2 กับ L_1 ต่อเป็นวงจรแทงค์ L_2 เป็นตัวป้อนกลับแบบเสริม (Regenerative) เพื่อให้เกิดการออสซิลเลต

สัญญาณออสซิลเลเตอร์จะป้อนผ่าน L_3 เข้าสู่วงจรมิกเซอร์ Q_2 ทางขั้วอิมิตเตอร์ ส่วนสัญญาณ RF ที่เข้าเบส ทั้งสองจะผสมกันใน Q_2 ซึ่งมีความต้านทานไม่ลิเนียร์ ผลลัพธ์ที่ได้จะป้อนไปยังขดไพรมารี่ของหม้อแปลง T_3 ซึ่งจูนไว้ ณ ความถี่ IF สัญญาณความถี่ผลต่างจากการผสมคลื่นสามารถผ่านสู่การขยายในวงจร IF ต่าง ๆได้ ส่วนสัญญาณความถี่ผลรวมจะถูกสกัดกั้นทิ้งไป

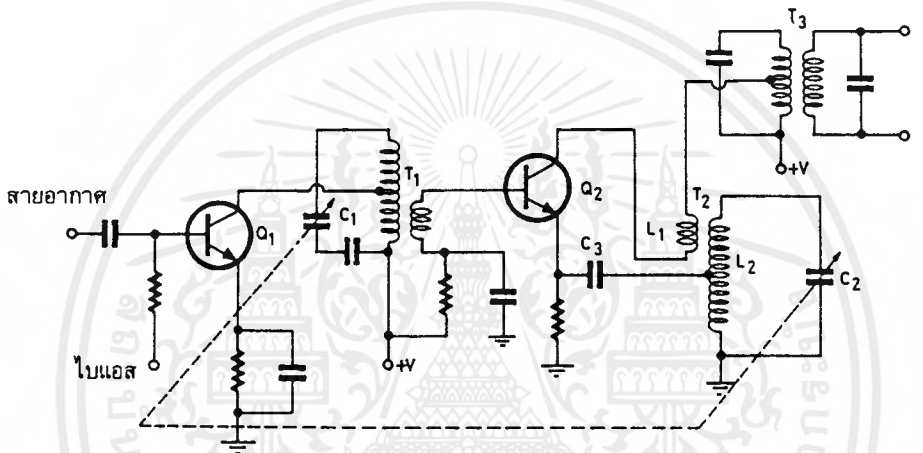


รูปที่ 2.50 วงจรแปลงความถี่

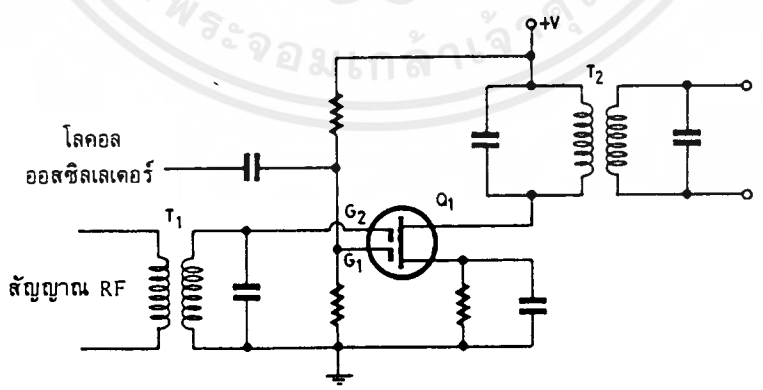
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรูปที่ 2.51 เป็นวงจรอีกแบบหนึ่ง ในที่นี้ Q_2 ทำงานเป็นทั้งโลคอลออสซิสเลเตอร์และมิกเซอร์ในตัวเดียวกัน หม้อแปลง T_2 ประกอบด้วยขดลวด L_2 กับ L_1 ขดลวด L_1 จะคัปปลิ้งสัญญาณจากคอลเลคเตอร์ ของ Q_2 เข้าสู่วงจรแทงค์ L_2 C_2 ผลของการออสซิลเลตใน L_2 C_2 จะผ่านเข้าที่อิมิตเตอร์ของ Q_2 ทรานซิสเตอร์ของ Q_2 ก็จะขยายสัญญาณซึ่ง L_1 ก็จะป้อนกลับไปให้วงจรแทงค์อีก แล้วย้อนผ่าน C_3 มาขยายอีก เป็นเช่นนี้ตลอดไป ทำให้เกิดการออสซิลเลตขึ้น วงจร Q_2 นี้เรียกว่า อาร์มสตรองออสซิลเลเตอร์ (Amstrong Oscillator)

เมื่อสัญญาณ RF ปรากฏที่สายอากาศ Q_1 จะขยายป้อนให้วงจรจูน C_1 T_1 ซึ่งจะเลือกขยายเฉพาะสัญญาณที่ต้องการ แล้วป้อนต่อไปยังเบสของ Q_2 เพื่อผสมกับสัญญาณออสซิลเลเตอร์ เอาต์พุตของ Q_2 จะป้อนผ่าน L_1 ไปสู่ไพรมารี่ของหม้อแปลง T_3 ซึ่งเป็นวงจรแทงค์จูนไว้ที่ความถี่ IF วงจรเครื่องรับชนิดนี้เรียกว่า ออโตดายน์ (Autodyne)หมายถึง เฮตเทอร์โรดายน์ในตัวเองวงจรชนิดนี้มักใช้ในเครื่องรับราคาถูก เนื่องจากใช้ทรานซิสเตอร์ตัวเดียวทำงานหลาย ๆหน้าที่



รูปที่ 2.51 วงจรออโตดายน์



รูปที่ 2.52 วงจรมิกเซอร์ใช้ MOSFET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรมิกเซอร์ที่มีคุณภาพสูงนิยมใช้ในเครื่องรับในย่านความถี่ HF , VHF , และ UHF เช่น วงจรในรูปที่ 2.52 ใช้ MOSFET เกทคู่เป็นตัวมิกเซอร์ เนื่องจาก MOSFET มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก ซึ่งทำให้ผลของการโอเวอร์โหลดวงจรก่อนหน้ามีไม่มาก ในที่นี้สัญญาณ RF ป้อนเข้าที่เกท 2 ส่วนสัญญาณออสซิลเลเตอร์ป้อนที่เกท 1 การผสมคลื่นวิธีนี้มีข้อดีตรงที่สัญญาณทั้งสองไม่มีปฏิกิริยาระหว่างกัน (Interaction) MOSFET นี้ถูกไบแอสให้ทำงานแบบนอนลิเนียร์ สัญญาณผลลัพธ์เฉพาะความถี่ผลต่างจะถูกแยกออกไปยังหม้อแปลง T_2 สู่วงจรขยาย IF ต่อไป

2.6.9 การเลือกความถี่ IF

ข้อควรพิจารณาในการเลือกความถี่ IF มีอยู่หลายประการ ส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับแบนด์วิดท์ ในทางทฤษฎีแบนด์วิดท์จะขึ้นอยู่กับความถี่ใช้งานและค่า Q ของวงจร ตามสูตร BW = Fo/Q ฉะนั้นถ้าหากเราต้องการซีเลกติวิตี้ที่ดี แบนด์วิดท์จะต้องแคบ นั่นคือ วงจรจะต้องมีค่า Q สูงและความถี่จะต้องมีค่าต่ำ ดังนั้นเราจึงนิยมเลือกความถี่ IF ให้มีค่าต่ำกว่าความถี่ใช้งาน ซึ่งเป็นผลดีในการออก แบบวงจรอีกด้วย เพราะวงจรความถี่ต่ำออกแบบให้มีเสถียรภาพดีและอัตราขยายสูงได้ง่ายกว่า (ยกตัวอย่างเช่น เมื่อความถี่สูงขึ้น ปัญหาเกี่ยวกับการแผ่คลื่น การสูญเสียไดอิเล็กตริก (Skin) ความจุเสตรย์ ความเหนี่ยวนำเสตรย์ จะเกิดขึ้น ทั้งหมดนี้มักมีผลให้วงจรขาดเสถียรภาพ)

เหตุผลอีกประการหนึ่งในการเลือกความถี่ IF ก็คือ ต้องให้แบนด์วิดท์พอเหมาะ เช่น สมมติว่าเครื่องรับ AM ใช้ความถี่ IF เป็น 60 กิโลเฮิรตซ์ และ Q ของวงจรเท่ากับ 60 แบนด์วิดท์จะได้ 1 กิโลเฮิรตซ์ ซึ่งจะแคบเกินกว่าใช้ประโยชน์ได้ เพราะแบนด์วิดท์ของสัญญาณ AM มีค่าอย่างน้อย 10 กิโลเฮิรตซ์ ฉะนั้นเราต้องคำนึงถึงแบนด์วิดท์ของสัญญาณที่จะรับด้วย

ข้อพิจารณาอีกข้อหนึ่งก็คือ การกำจัดสัญญาณอิมเมจ (Image) หรือสัญญาณเงา ความถี่เงาเป็นสัญญาณ RF ที่เราไม่ต้องการ เพราะเมื่อสัญญาณเงาเข้ามาผสมกับสัญญาณออสซิลเลเตอร์จะได้ความถี่เท่ากับ IF พอดี สมมติเราเลือกความถี่ IF เป็น 200 กิโลเฮิรตซ์ และความถี่ใช้งานเท่ากับ 4.2 เมกะเฮิรตซ์ ถ้าใช้ความถี่ของโลคอลออสซิลเลเตอร์ สูงกว่าความถี่ใช้งานจะได้ความถี่ออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 4.2 เมกะเฮิรตซ์ + 0.2 เมกะเฮิรตซ์ = 4.4 เมกะเฮิรตซ์ ดังนั้นเมื่อสัญญาณออสซิลเลเตอร์และสัญญาณ RF ผสมกัน ความถี่ผลต่างที่เกิดขึ้นจึงเท่ากับ 200 กิโลเฮิรตซ์พอดี อย่างไรก็ตามยังมีสัญญาณอีกตัวหนึ่งซึ่งเมื่อผสมกับความถี่ 4.4 เมกะเฮิรตซ์ (ของโลคอลออสซิลเลเตอร์) แล้วได้ความถี่เท่ากับ 200 กิโลเฮิรตซ์พอดี สัญญาณนั้นเรียกว่าสัญญาณเงาซึ่งมีความถี่เท่ากับ 4.6 เมกะเฮิรตซ์ ความถี่เงานี้จะผ่านมิกเซอร์ไปยังวงจรขยาย IF ได้เช่นกัน

ลองพิจารณาอีกตัวอย่างหนึ่ง สมมติว่าให้ IF เท่ากับ 455 กิโลเฮิรตซ์ สัญญาณที่ต้องการเป็น 1110 กิโลเฮิรตซ์ ใช้ความถี่โลคอลออสซิลเลเตอร์สูงกว่า RF เราสามารถคำนวณความถี่เงาได้ดังนี้ คือ

- คำนวณความถี่โลคอลออสซิลเลเตอร์ = 1110 kHz + 455 kHz = 1565 kHz
- คำนวณความถี่เงา = 1565 kHz + 455 kHz = 2020 kHz

จะเห็นว่าความถี่เงาอยู่ห่างจากความถี่ใช้งานเท่ากับ 2 เท่าของความถี่ IF การกำจัดสัญญาณเงาสามารถทำได้โดยการบีบให้ซีเลกติวิตี้ หรือแบนด์วิดท์ของวงจรขยาย RF และมิกเซอร์แคบลง สังเกตว่าถ้าความถี่ IF ยิ่งสูง ความถี่เงายิ่งห่างจากความถี่ใช้งานออกไปมากขึ้นนั่นคือ ถ้าเราต้องการกำจัดสัญญาณเงาให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ผลดี ควรเลือกค่าความถี่ IF สูง ๆ ซึ่งผลสรุปข้อนี้ค้านกับผลสรุปขั้นตอนแรก ดังนั้น การเลือกความถี่ IF จึงไม่ควรเลือกค่าสูงเกินไปหรือต่ำเกินไป ต้องให้อยู่กลาง ๆ

เครื่องรับ AM (ย่าน 535 - 1605 กิโลเฮิรตซ์) ส่วนใหญ่นิยมใช้ความถี่ IF เท่ากับ 455 กิโลเฮิรตซ์ เนื่องจาก ณ ความถี่ช่วงนี้เราสามารถออกแบบวงจรให้มีค่า Q สูง (ซีเลกติวิตี้ดี) และอัตราขยายมากได้นอกจากนี้ความถี่ IF ค่านี้นับว่าสูงเพียงพอที่จะเลื่อนให้ความถี่เงาตกอยู่เลยนอกจากย่านความถี่ผ่านของวงจรขยาย RF

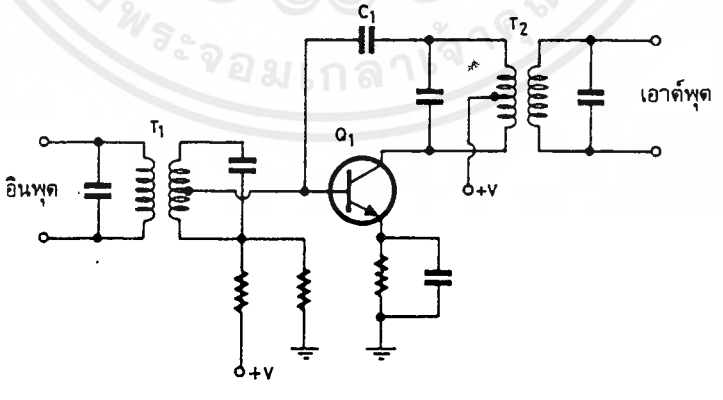
สำหรับเครื่องรับ FM (ย่าน 88 ถึง 108 เมกะเฮิรตซ์) ส่วนใหญ่นิยมใช้ความถี่ IF เท่ากับ 10.7 เมกะเฮิรตซ์ เราใช้ความถี่ค่านี้เนื่องจากให้แบนด์วิดท์กว้างพอ (ประมาณ 200 กิโลเฮิรตซ์) สำหรับสัญญาณ FM นอกจากนี้ความถี่เงายังอยู่ห่างเลยจากความถี่ใช้งานไปถึง 21.4 เมกะเฮิรตซ์ (2 เท่าของ 10.7 เมกะเฮิรตซ์)

สำหรับเครื่องรับโทรทัศน์ความถี่ IF อยู่ในย่าน 40 เมกะเฮิรตซ์เพราะแบนด์วิดท์ของสัญญาณโทรทัศน์กว้าง 4 ถึง 5 เมกะเฮิรตซ์

2.6.10 วงจรขยาย IF

วงจรขยาย IF ก็คือวงจรขยาย RF นั่นเอง แต่วงจร IF ทำงานที่ความถี่คงที่ (ไม่ต้องปรับความถี่อีก) ดูตัวอย่างวงจรในรูปที่ 2.53 ความแตกต่างของวงจร IF กับ RF ในที่นี้อยู่ตรงที่ใช้หม้อแปลงดับเบิ้ลจูน (Dubble Tune) มีวงจรเรโซแนนซ์ 2 ด้านคือ ทางด้านไพรมารี่และทางด้านเซกันดารี่ ช่วยให้ซีเลกติวิตี้ดี ตัวเก็บประจุ C_1 ในวงจรทำหน้าที่เป็นตัวป้อนกลับเพื่อ สะเทินวงจรหรือหักล้าง (Neutralize) มิให้เกิดการออสซิลเลตขึ้น

เราสามารถออกแบบวงจรขยาย IF โดยใช้ฟิลเตอร์ชนิดแบนด์พาส (BPF) เพื่อให้ค่าซีเลกติวิตี้ดีแทนที่จะใช้หม้อแปลงดับเบิลจูน เทคนิคอย่างนี้นิยมใช้ในเครื่องรับวิทยุสื่อสารที่รับมีแบนด์วิดท์แคบ



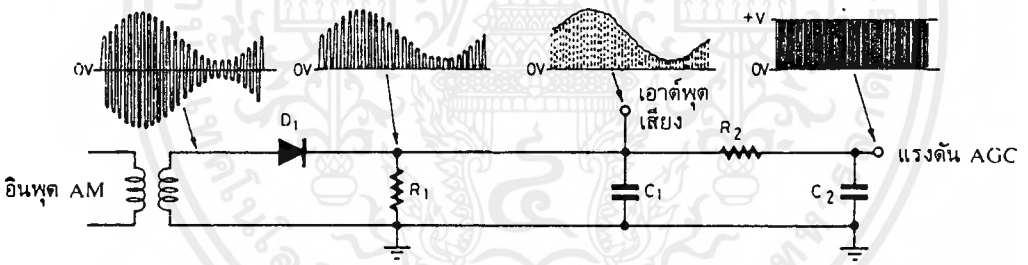
รูปที่ 2.53 วงจรขยาย IF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.11 การควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ

ในการจูนรับสัญญาณ AM ปกติเราจะรับสัญญาณจากบางสถานีได้อ่อน บางสถานีได้แรง การที่ระดับสัญญาณที่รับได้เปลี่ยนแปลงเช่นนี้ทำให้วงจรทำงานเกิดการผิดพลาด (เช่น อาจเกิดโอเวอร์โหลดวงจร RF หรือดีเทกเตอร์) ดังนั้นเราจะต้องควบคุมอัตราขยายสัญญาณมิให้ขยายมากในกรณีที่รับสัญญาณแรงและขยายเต็มที่เมื่อรับสัญญาณอ่อน วิธีการนี้เรียกว่า การควบคุมอัตราขยายอัตโนมัติ (Automatic Gain Control หรือ AGC) ด้วยเหตุนี้เอาต์พุตก่อนป้อนให้วงจรดีเทกเตอร์จะมีระดับสัญญาณประมาณเท่ากันทั้งในกรณีรับสัญญาณแรงและรับสัญญาณอ่อน

วงจร AGC (รูปที่ 2.54) อาศัยหลักการดีเทกสัญญาณทำนองเดียวกับการดีมอดสัญญาณ AM แต่วัตถุประสงค์ของการดีเทกก็เพื่อตรวจว่าสัญญาณที่รับได้มีความแรงมากน้อยเพียงใด ในที่นี้เราใช้ไดโอดกับ R_1 C_1 แต่เพิ่ม R_2 C_2 เพื่อให้สัญญาณที่ดีเทกได้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น เนื่องจากเป็นการกรองสัญญาณความถี่ต่ำ 2 ครั้ง แรงดันที่ได้จากวงจรนี้จะเป็นไฟ DC ซึ่งมีค่ามากน้อยตามระดับความแรงของสัญญาณที่รับได้ ถ้ารับสัญญาณแรง ไฟ DC จะมาก ถ้าสัญญาณรับได้อ่อน ไฟ DC จะน้อย ไฟ DC นี้เป็นแรงดันที่นำไปควบคุมอัตราขยายของเครื่องรับเรียกว่า ไฟ AGC ถ้าหากเรากลับขั้วไดโอด D_1 เป็นตรงข้าม เราจะได้ไฟ AGC เป็นไฟ DC ค่าลบแทนที่จะเป็นค่าบวก

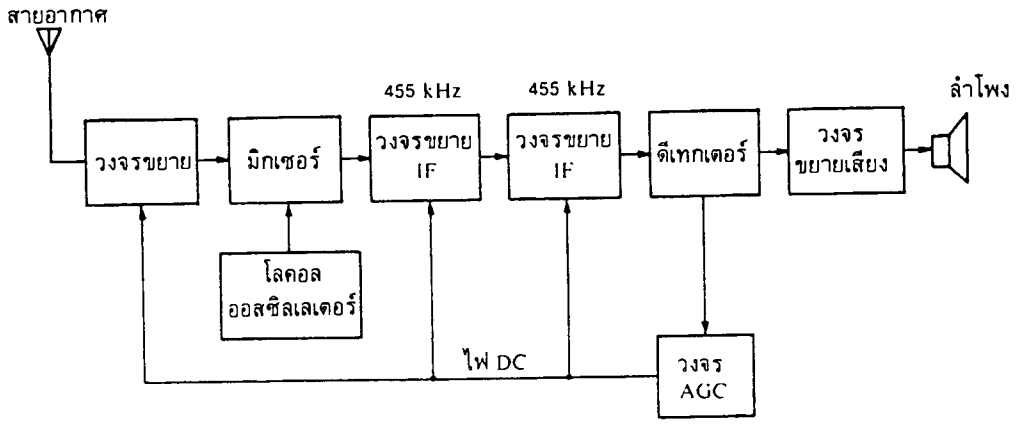


รูปที่ 2.54 วงจรกำเนิดแรงดัน AGC อย่างง่าย

แรงดันAGC ที่ได้จากการดีเทก ถูกป้อนไปยังวงจรขยาย IF และวงจร RF เพื่อเป็นแรงดันไบแอสควบคุมอัตราขยายของวงจรเหล่านี้ สมมติว่ารับสัญญาณได้แรงไฟ AGC จะมีค่าสูงเพื่อไปลดอัตราขยายของวงจรขยาย RFและ IF ในกรณีที่ได้รับสัญญาณอ่อน ไฟ AGC จะมีค่าน้อยลงและอัตราขยายของวงจรจะเพิ่มขึ้น ทำให้เราได้ระดับสัญญาณเสียงค่อนข้างสม่ำเสมอไม่ว่าจะรับสัญญาณแรงหรืออ่อนก็ตาม

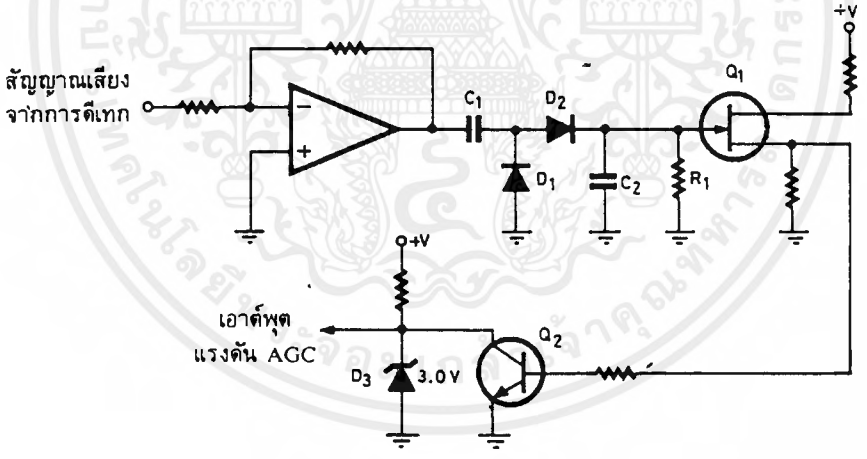
สำหรับเครื่องรับ SSB ความแรงของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับสัญญาณมอดูเลตซึ่งเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นดีเทกไฟ AGC จึงทำได้ยาก บางครั้งเรานิยมใช้วิธี AGC แบบอื่น เช่นในวิธีปรับด้วยมือ (Manual AGC) มักเรียกว่า ปรับอัตราขยาย RF (RF Gain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.55 แผนผังเครื่องรับชนิดซุปเปอร์เฮต แสดงการควบคุม AGC

วงจร AGC ในเครื่องรับ SSB จะเป็นดังรูปที่ 2.56 สัญญาณ SSB เป็นสัญญาณ AM แต่เป็น AM ที่ปราศจากพาหะไฟ AGC จึงต้องผลิตจากส่วนอื่น (ที่ไม่ใช่พาหะ) ของสัญญาณแทน ในวงจรนี้เราใช้ความแรงของสัญญาณเสียงมาผลิตไฟ AGC กล่าวคือสัญญาณเสียงที่ผ่านการขยายจากออปแอมป์ (OP-AMP) จะถูกดีเทกด้วย D_1 D_2 , C_1 C_2 ซึ่งทำงานเป็นวงจรทวีแรงดัน (Voltage Doubler) แรงดันที่ได้คร่อม C_2 จะมีค่ามากน้อยเป็นสัดส่วนกับความแรงของสัญญาณ SSB อย่างไรก็ตามถ้าไม่มีสัญญาณเสียง แรงดันนี้จะเป็นศูนย์ ทำให้ในช่วงเวลาหยุดพูดระหว่างคำและระหว่างประโยค C_2 จะคายประจุสู่ R_1 ฉะนั้น เราต้องเลือกค่าคงตัวเวลาของ R_1 C_2 ให้พอเหมาะเพื่อป้องกันมิให้แรงไฟ AGC เปลี่ยนแปลงทันทีในระหว่างช่วงเวลาหยุดพูด



รูปที่ 2.56 วงจร AGC ซึ่งสร้างแรงไฟควบคุมจากสัญญาณเสียง

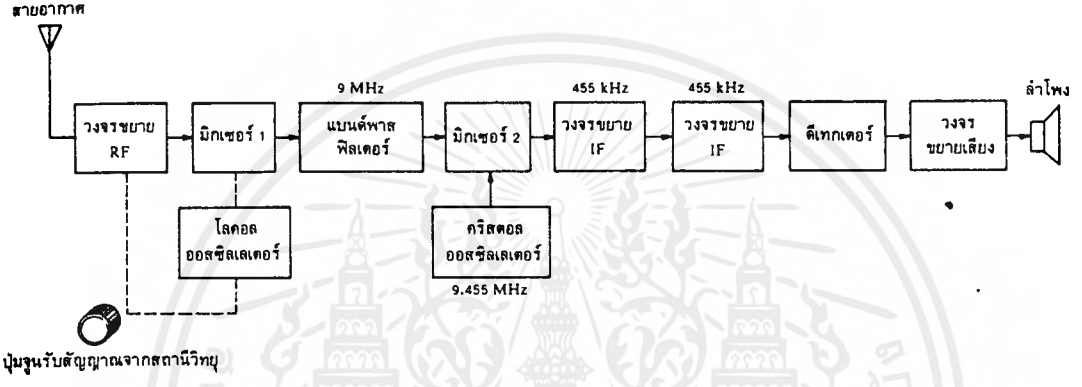
ทรานซิสเตอร์ Q_1 เป็น JFET ส่วน Q_2 เป็นวงจรคั่น (หรืออินเตอร์เฟซ) ระหว่างวงจรดีเทก AGC กับวงจรภาครับที่ถูกควบคุมด้วยไฟ AGC Q_1 มีค่าอินพุตอิมพีแดนซ์สูงมาก ทำหน้าที่ขยายไฟ DC คร่อม C_2 กับ R_1 แล้วป้อนให้เบสของ Q_2 ซึ่งเป็นตัวเปรียบเทียบแรงดันว่า ถ้าหากได้ไฟ DC จากวงจรดีเทกมากพอ D_2 จะนำกระแส ในที่นี้แรงดัน AGC มีค่าต่ำและคงที่ที่ 3 โวลท์ด้วยซีเนอร์ไดโอด D_3 เมื่อ Q_2 ON ซีเนอร์จะ OFF (ถูกไบแอสกลับ) แรงไฟ AGCจะลดลงตามแรงไฟที่ได้จากการดีเทก ฉะนั้นเมื่อเครื่องรับรับสัญญาณแรงไฟ AGC จะเพิ่มขึ้นทำให้อัตราของวงจรภาครับลดลงไปด้วย สัญญาณเสียงจึงมีระดับสม่ำเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.12 เครื่องรับชนิดแปลงความถี่สองครั้ง

การเลือกความถี่ IF นั้นต้องเลือกค่าที่พอเหมาะคือ ไม่สูงเกินไปและไม่ต่ำเกินไป เพราะความถี่ IF ต่ำ ๆ ช่วยให้ออกแบบวงจรได้เสถียรภาพดี อัตราขยายดี และแบนด์วิดท์แคบ แต่ความถี่ IF สูง ๆ ช่วยให้เครื่องรับกำจัดเงา ดังนั้นเราจึงนิยมเอาข้อดีทั้งสองมารวมกัน กล่าวคือ ใช้ความถี่ IF สองค่า ค่าหนึ่งสูง ค่าหนึ่งต่ำ โดยแปลงความถี่เป็น IF สองครั้ง เครื่องรับชนิดนี้เรียกว่า ชนิดดับเบิลคอนเวอร์ชั่น (Double Conversion)

ในรูปที่ 2.57 แสดงแผนผังของเครื่องรับ จะเห็นว่าใช้มิกเซอร์ 2 ชุด โลคอลออสซิลเลตอร์ 2 ชุด ความถี่ IF 2 ความถี่ ความถี่ IF ที่ 1 เลือกให้มีค่าสูงเพื่อให้ความถี่เงาหนีออกไปห่างจากความถี่ใช้งานให้ไกลที่สุดจนตกอยู่นอกแบนด์วิดท์ของวงจรขยาย RF



รูปที่ 2.57 แผนผังเครื่องรับชนิดดับเบิลคอนเวอร์ชั่น

สมมุติว่าเราต้องการรับสัญญาณ AM ความถี่ 5 เมกะเฮิรตซ์ เราต้องปรับจูนลูกบิดให้ความถี่หมุนไปตรงหน้าปัด 5 เมกะเฮิรตซ์ ในขณะนี้วงจรขยาย RFจูนไว้ที่ความถี่ 5 เมกะเฮิรตซ์ ส่วนโลคอลออสซิลเลเตอร์กำลังจูนไว้ที่ 14 เมกะเฮิรตซ์ (ในที่นี้ความถี่เงาจะอยู่ที่ 23 เมกะเฮิรตซ์ ตกไปนอกย่านความถี่ผ่านของวงจร RF) เมื่อสัญญาณป้อนเข้ามาตรงกันในวงจรมิกเซอร์จะทำให้เกิดการผสมซึ่งบางทีเรียกว่า บีต (Beat) เกิดเป็นความถี่ผลต่างเท่ากับ 9 เมกะเฮิรตซ์ สัญญาณAM ความถี่ 9 เมกะเฮิรตซ์นี้สามารถผ่าน ฟิลเตอร์ชนิดแบนด์พาส เข้าไปสู่วงจรมิกเซอร์ที่ 2 วงจรฟิลเตอร์ในที่นี้เป็นวงจร LC หรือ คริสตอลฟิลเตอร์เพื่อให้มีซีเลกติวิตี้ดี เครื่องรับประเภทนี้มักจะไม่ใช้วงจรขยาย IF ในย่าน ความถี่ IF ที่ 1 เพราะต้องการเน้นอัตราขยายให้มากที่วงจรขยายของความถี่ IF ที่ 2

สัญญาณ AM 9 เมกะเฮิรตซ์ นี้ป้อนไปที่วงจรมิกเซอร์ พบกับสัญญาณจอกโลคอลออสซิลเลเตอร์ ที่ 2 ซึ่งมีความถี่ตายตัว 9.455 เมกะเฮิรตซ์ (วงจรออสซิลเลเตอร์ ชุดที่ 2 นี้มักใช้แร่บังคับความถี่) เมื่อทำการผสมหรือบีตแล้ว สัญญาณความถี่ผลต่างจะเท่ากับ 455 กิโลเฮิรตซ์ ป้อนสู่วงจรขยาย IF ที่ 2

เราอาจใช้วงจรขยาย IF หลาย ๆ สเตจ ทำการขยายสัญญาณให้มีแอมพลิจูดสูงขึ้นก่อนแล้วจึงป้อนให้วงจรดีเทกเตอร์เพื่อดีมอดเอาสัญญาณเสียงที่เข้ามอดูเลตคืนกลับมา สัญญาณเสียงนี้เรานำไปขยายกำลังโดยภาคขยายสุดท้ายแล้วป้อนไปยังลำโพง

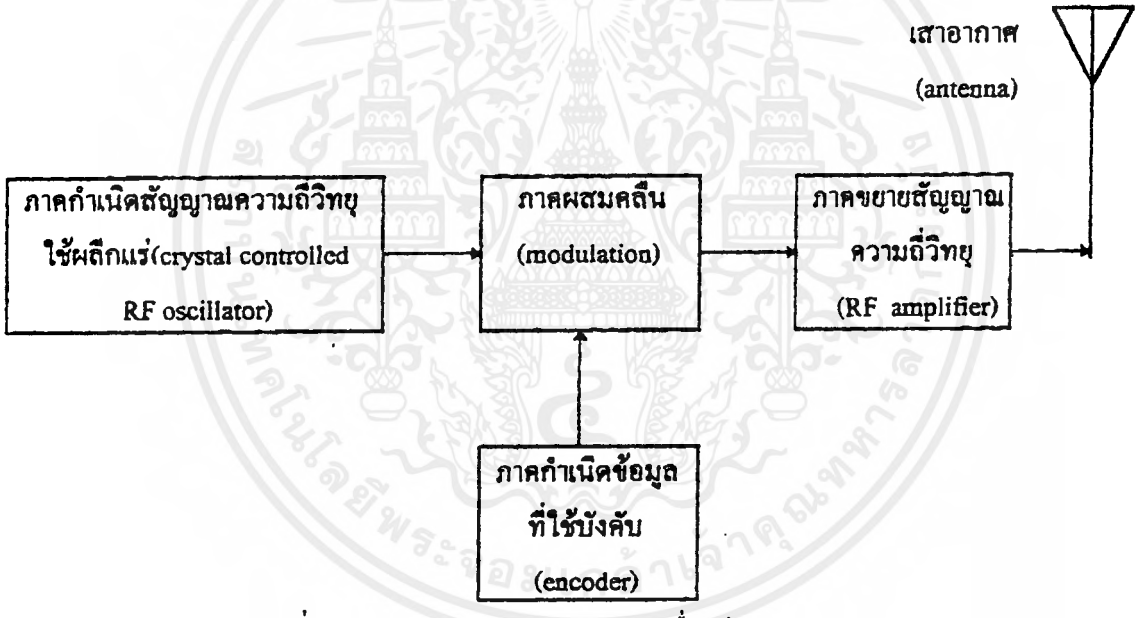
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการออกแบบและสร้าง

3.1 หลักการทำงานของเครื่องส่งวิทยุบังคับ

ความหมายของคำว่า Proportional Control สักเล็กน้อย ความหมายของคำนี้ คือ การเคลื่อนที่เป็นอัตราส่วนที่สัมพันธ์กันระหว่างวัตถุ 2 อย่าง สำหรับระบบบังคับด้วยวิทยุนั้นอธิบายได้ว่า เมื่อโยกหรือหมุนคันบังคับบนเครื่องส่งไปจากตำแหน่งเดิม จะเกิดการเคลื่อนไหวที่เซอร์โว ไปมากหรือน้อยตามลักษณะคันบังคับบนเครื่องส่งนั้น จึงเรียกว่า เป็นระบบบังคับแบบ Proportional Control เมื่อพิจารณาลักษณะของสัญญาณบังคับอาจเรียกได้ว่าเป็นชนิด Pulse Width Control คือเป็นการเปลี่ยนแปลงความกว้างของสัญญาณพัลซ์ไปมีผลทำให้เกิดการเคลื่อนไหวมากน้อยที่ตัวเซอร์โว โดยพัลซ์นี้จะเปลี่ยนแปลงความกว้างได้จาก การโยกหรือหมุนคันบังคับบนเครื่องส่ง แล้วส่งผลไปยังเครื่องรับและเซอร์โวต่อไป สำหรับเครื่องส่งนั้น อาจแบ่งได้ตามลักษณะการผสมคลื่น 2 ชนิดคือ AM (Amplitude Modulation) และ FM (Frequency Modulation) เนื่องจากความนิยมใช้งานและความสมบูรณ์ของแบบของวงจร เราเลือกใช้ระบบ AM เราจะพิจารณา เครื่องส่งบังคับวิทยุเครื่องจะแบ่งเป็นภาคต่างๆได้พอสังเขปดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงแผนผังการทำงานของเครื่องส่ง (Transmitter)

3.1.1 ภาคกำเนิดข้อมูลที่ใช้บังคับ(Encoder)

ในระบบบังคับวิทยุแบบ Proportional นั้น สัญญาณควบคุมที่ไปถึงเซอร์โวจะต้องมีลักษณะของสัญญาณพัลซ์ที่ใช้ในวิทยุทั่วๆไป ลักษณะปกติของพัลซ์ และ T เป็นช่วงคาบเวลาของสัญญาณควบคุมดังนั้นเมื่อความกว้างของพัลซ์แต่ละลูกเปลี่ยนไปน้อยลงหรือมากขึ้น ก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของเซอร์โวตามแต่การเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลซ์ว่ามีมากน้อยเพียงใด ให้เซอร์โวเคลื่อนที่ไปทางขวาผ่านจุด Neutral เลยไปอีก 10 องศา แล้วหยุดนิ่งอยู่กับที่ เป็นต้น ดังนี้แสดงว่า การเคลื่อนที่ของของเซอร์โวขึ้นอยู่ลับความกว้างของพัลซ์

ที่อธิบายมานี้ แสดงการควบคุมเซอร์โว 1 ชุด จะต้องใช้พัลซ์ 1 ชุด ถ้าเราต้องการควบคุมเซอร์โวมากกว่า 1 ชุด ต้องกำเนิดสัญญาณพัลซ์มากกว่า 1 ชุดเป็นอิสระไม่ขึ้นต่อกัน เช่นต้องการบังคับ 4 อย่าง ก็ต้องสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัลซ์ 4 ชุด (จะทำการบังคับ 4 อย่างหรือ 4 แชนแนล) แล้วนำมาเรียงกันเป็นอนุกรมของพัลซ์(Pulse Train) โดยมีคาบเวลา(T) ค่าหนึ่งคงที่

เมื่อกำเนิดขบวนการของพัลซ์ได้ครบตามแชนแนล ที่เราจะบังคับแล้ว เราจะนำสัญญาณควบคุมทั้งขบวนนี้ส่งไปผสมกับสัญญาณความถี่วิทยุ (RF Signal) ต่อไปในภาคผสมคลื่น

3.1.2 ภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ

ในภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ เป็นภาคที่กำหนดความเที่ยงตรงของความถี่ที่ส่งออกอากาศไปคือผลึกแร่บังคับความถี่ที่เรียกว่า คริสตอล ซึ่งอยู่ในวงจรออสซิลเลเตอร์ชนิดควบคุมความถี่ด้วยผลึกแร่(Crystal Controlled RF Oscillator) ในบทความนี้จะกล่าวถึงเครื่องส่งในย่านความถี่ 27 MHz จึงต้องใช้คริสตอลในย่านความถี่นี้เช่นกัน เมื่อได้สัญญาณ RF ออกมาจากวงจร ออสซิลเลเตอร์แล้ว จะต้องส่งไปผสมกับสัญญาณควบคุมที่เรากำเนิดมาแล้วในข้างต้น โดยมีตัวผสมสัญญาณเป็นภาคผสมคลื่น(Modulator) แล้วขยายสัญญาณทั้งหมดให้มีกำลังแรงขึ้น เพื่อป้อนเข้าสู่สายอากาศแล้วส่งออกอากาศไป

ในปัจจุบันนี้ เรามีทรานซิสเตอร์ ที่สามารถทำงานได้ดีที่ความถี่ย่าน 27 MHz มากมายหลายเบอร์ ทำให้การสร้างเครื่องส่งเล็กๆ เช่นนี้เป็นไปได้ง่ายกว่าสมัยก่อนที่ใช้หลอดวิทยุ การปรับแต่งต้องอาศัยเครื่องมือที่ดีพอสมควรจึงจะไม่มีสัญญาณอื่นๆไปรบกวนระบบสื่อสารอื่นๆ กำลังส่งไม่จำเป็นต้องมาก เพราะระยะที่ควบคุมก็คงไม่เกินระยะสายตาคนปกติ ประมาณ 300 มิลลิวัตต์ ก็จะได้รัศมีควบคุมถึง เกือบ 1 กิโลเมตร ในที่โล่ง ซึ่งก็เพียงพอแล้วสำหรับการบังคับเครื่องบินเล็ก เทคนิคการปรับจูนเครื่องส่ง สำหรับวิทยุบังคับนี้ก็เหมือนการปรับจูนเครื่องส่ง AM ทั่วๆไป

3.1.3 ภาคผสมคลื่น

ในการผสมคลื่นแบบ AM ที่ใช้ในชุดบังคับด้วยวิทยุนี้ ทำได้โดยการสวิทช์ตัวสัญญาณพาห์(Carrier) ด้วยทรานซิสเตอร์ที่สามารถทำงานได้ที่ความถี่สูง ลักษณะของสัญญาณ RF ที่ออกมาจากการผสมสัญญาณควบคุมกับสัญญาณจาก RF Oscillator

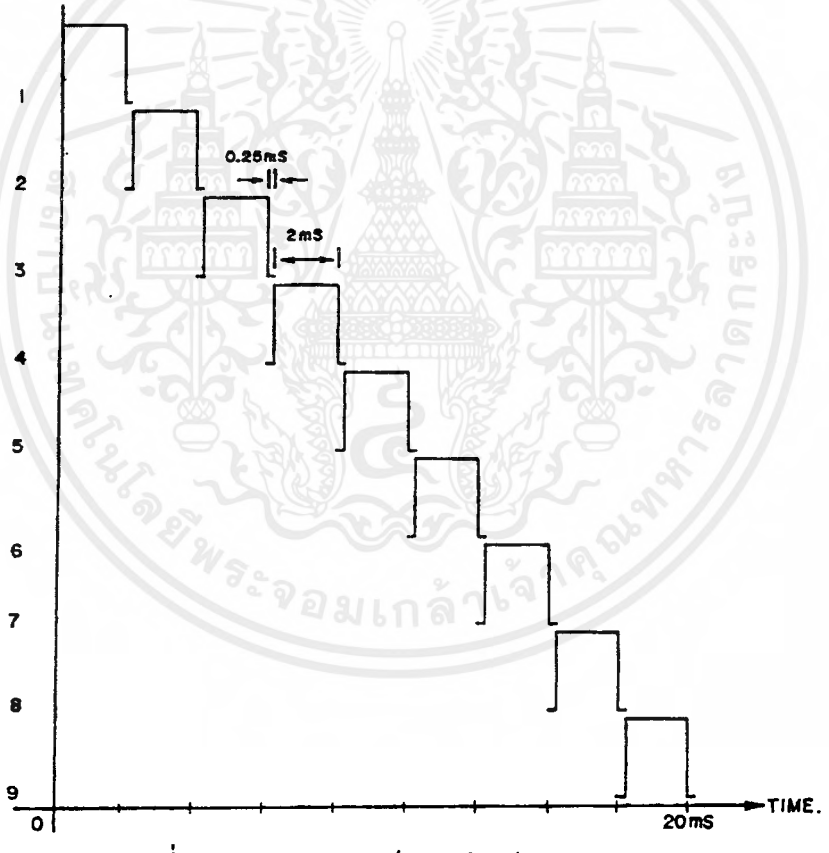
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การทำงานของวงจรสร้างรหัส (Coder) และวงจรเครื่องส่ง (Transmitter)

จากหลักการดังกล่าวมานั้น เราจะเห็นว่าค่าความกว้างของพัลซ์ 1 ลูกคลื่น ที่สามารถใช้บังคับได้ 1 ช่องบังคับ คือบังคับควบคุมการทำงานของเซอร์โวได้เพียงตัวเดียวเท่านั้น ในกรณีที่เราต้องการให้บังคับได้ถึง 9 ช่องบังคับเราต้องส่งลูกคลื่นสี่เหลี่ยมออกไป 9 ลูกคลื่น และแต่ละลูกสามารถเปลี่ยนความกว้างของพัลซ์ได้โดยอิสระไม่ขึ้นต่อกัน

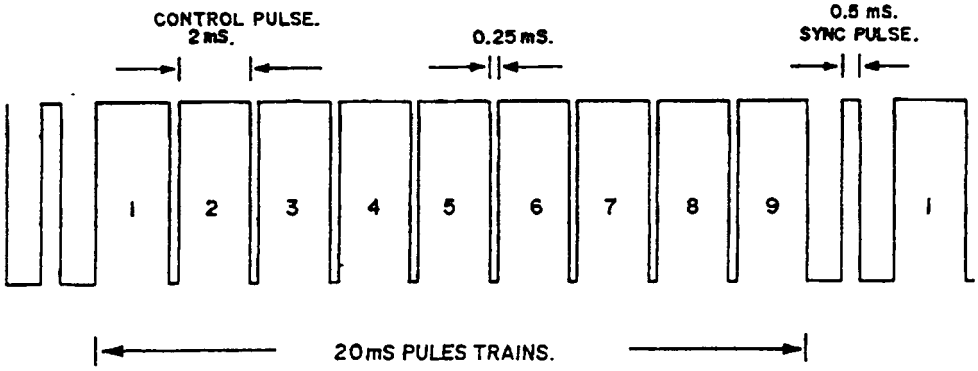
แต่ในเครื่องส่งวิทยุบังคับ เราใช้คลื่นวิทยุในการส่งสัญญาณออกอากาศไปเพียงความถี่เดียวเท่านั้น ฉะนั้นในการส่งส่งสัญญาณลูกคลื่นพัลซ์สี่เหลี่ยมทั้ง 9 ลูกคลื่น ไปยังเครื่องรับจึงต้องใช้หลักการมัลติเพล็กซ์สัญญาณหลายสัญญาณไปบนคลื่นพาห์อันเดียวกัน การมัลติเพล็กซ์สัญญาณสามารถแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะคือ การมัลติเพล็กซ์ทางความถี่ และ การมัลติเพล็กซ์ทางการแบ่งคาบเวลา

เพื่อความเหมาะสมและ ความเป็นไปได้ในการมัลติเพล็กซ์สัญญาณลูกคลื่นสี่เหลี่ยม ที่สามารถปรับเปลี่ยนความกว้างของพัลซ์ได้โดยอิสระไม่ขึ้นต่อกันถึง 9 ลูกคลื่นไปบนความถี่เดียว เราจึงต้องเลือกใช้หลักการมัลติเพล็กซ์สัญญาณแบบแบ่งคาบเวลา



รูปที่ 3.2 วงจรกำเนิดพัลซ์ของแต่ละช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 สัญญาณมัลติเพล็กซ์ทั้ง 9 ช่องสัญญาณ

ในการมัลติเพล็กซ์สัญญาณแบบนี้ วงจรกำเนิดพัลซ์ของแต่ละช่องจะทำงานที่เวลาเยื้องกันไปตามลำดับ (ดูรูปที่ 3.2) เริ่มจากช่องแรกจนถึงช่องที่ 9 โดยมีช่วงเว้นของพัลซ์แต่ละช่วงประมาณ 0.25 ms เวลาที่เสียไป ในการกำเนิดพัลซ์ตั้งแต่ช่องที่ 1 ถึงช่องที่ 9 รวมกันแล้วประมาณ 20 ms ข้อสังเกตอีกอย่างหนึ่งก็คือ ในช่วง 1 คาบเวลาของการส่งชุดสัญญาณควบคุมที่กินเวลา 20 ms นี้ วงจรกำเนิดพัลซ์ของแต่ละช่องจะสามารถกำเนิดพัลซ์ควบคุมได้ช่องละ 1 ลูกคลื่นเท่านั้น

สัญญาณพัลซ์สี่เหลี่ยมทั้ง 9 ลูกคลื่นนี้ จะเกิดขึ้นต่อเนื่องเรียงกันเป็นขบวนลูกคลื่นตามลำดับเวลาก่อนหลังตามลำดับช่องบังคับ เริ่มตั้งแต่ช่องที่ 1 ถึงช่องที่ 9 (ดูรูปที่ 3.3) เมื่อครบจำนวนพัลซ์สี่เหลี่ยมทั้ง 9 ลูกคลื่นจะมีการส่งสัญญาณซิงค์พัลซ์ (Sync Pulse)ที่มีขนาดความกว้าง 0.5 ms แทรกไปอีก 1 ลูกคลื่น สัญญาณซิงค์พัลซ์นี้จะคั่นอยู่ระหว่างชุดสัญญาณควบคุมทุกๆคาบเวลา 20 ms เพื่อใช้เป็นหลักในการส่ง หรือแยกสัญญาณทางเครื่องรับไม่ให้รูปคลื่นสัญญาณทั้ง 9 ปะปนกัน

สัญญาณพัลซ์ควบคุมครบชุดที่ถูกมัลติเพล็กซ์เข้าด้วยกันเป็นขบวนรูปคลื่นนี้ จะถูกส่งไปมอดเข้ากับคลื่นพาห์เพื่อส่งออกอากาศต่อไป

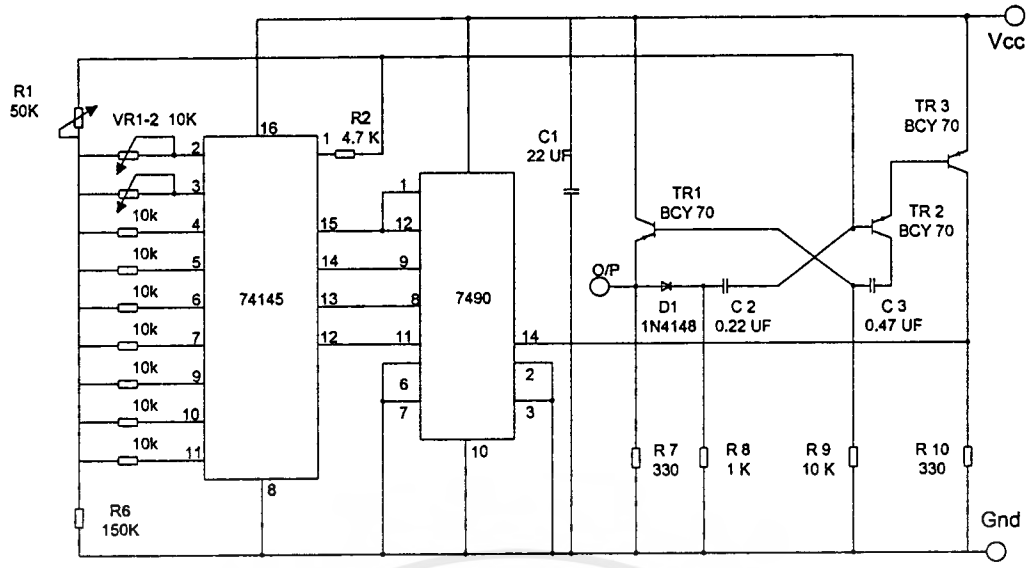
3.2.1 การทำงานของภาคสร้างรหัส(Coder)

ที่วงจรสร้างรหัสจะมีค่าความต้านทานปรับค่าได้ต่ออยู่ด้วย สำหรับใช้ปรับค่าความกว้างของพัลซ์สัญญาณจากภาคสร้างรหัส จะถูกส่งเข้าไปมอดกับคลื่นพาห์ ในภาคส่ง เพื่อสัญญาณออกอากาศไปยังเครื่องรับ

ตามรูปที่ 3.4 เป็นวงจรภาคสร้างรหัส(Coder) ที่มีทรานซิสเตอร์ TR_1, TR_2, TR_3 และอุปกรณ์ร่วมประกอบขึ้นเป็นวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (Astable Multivibrator) สำหรับทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม

สัญญาณพัลซ์รูปสี่เหลี่ยมที่ได้จากขา C ของ TR_2, TR_3 จะถูกส่งเข้าไปกระตุ้นที่ขา 14 ของไอซีเบอร์ 7490 จะทำหน้าที่เป็นตัวสร้างรหัส BCD (นับสิบ 0-9 เป็นรหัสเลขฐาน 2) ตามจังหวะพัลซ์ที่มากระตุ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรภาคสร้างรหัส

เริ่มจากสัญญาณพัลซ์รูปสี่เหลี่ยมลูกแรกส่งเข้ามา ไอซี 7490 จะสร้างรหัส BCD "0000" เป็นสัญญาณเอาต์พุตออกทางขา 11(D), 8(C), 9(B), (A) ในวงเล็บหลักรหัส BCD และจะสร้างรหัสเรียงตามลำดับตามจังหวะไปเรื่อยๆจนถึง "1001" และจะมาเริ่มที่ "0000" ใหม่ สัญญาณเอาต์พุตจะถูกส่งไปที่ อินพุตของ IC_1 ทางขา 12 (D), 13(C), 14(B), 15(A)

IC_1 เป็นเบอร์ 74145 ทำหน้าที่เป็นตัวแปลงรหัส BCD ให้เป็นรหัส เดซิมอล(Decimal) กล่าวคือ ขาเอาต์พุต ซึ่งได้แก่ 1(0), 2(1), 3(2), 4(3), 5(4), 6(5), 7(6), 8(7), 9(8), 10(9) เลขในวงเล็บหมายถึง เลขตามลำดับของรหัสเดซิมอล ทางขาเอาต์พุตเหล่านี้จะมีสภาวะ L เกิดขึ้นตามลำดับ ตามรหัส BCD ที่ส่งมาจาก IC_2 (7490) เมื่อพิจารณาจากวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ จะเห็นว่าที่ขา B ของทรานซิสเตอร์ TR_2 จะมีตัวต้านทาน R_2 ต่อเข้าขา 1 และ IC_1

เมื่อมีพัลซ์รูปสี่เหลี่ยมลูกแรกเกิดขึ้นที่ขา C ของ TR_1, TR_3 IC_2 (7490) จะสร้างรหัส BCD "0000" เป็นผลทำให้ขา 1 ของ IC_1 อยู่ในสภาวะ L ซึ่งมีความต่างศักย์ใกล้เคียงกับกราวด์ ในขณะที่ขาอื่นๆ เป็น H หมด หรืออีกนัยหนึ่งคือ R_2 ลงกราวด์โดยผ่านขา 1 ของไอซี1 นั่นเอง

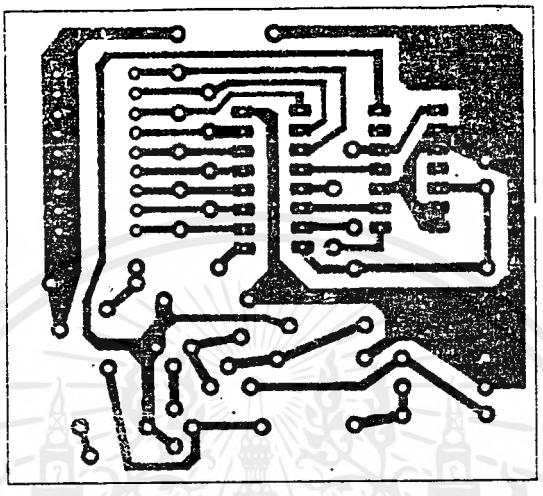
ที่สำคัญก็คือค่าของตัวต้านทานใดๆที่ต่อกับขา B ของ TR_2 จะมีผลต่อการเก็บและคายประจุของ C_2 ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความกว้างของสัญญาณลูกแรกที่มีความกว้างขนาด 0.5 ms ซึ่งนั่นหมายถึงสัญญาณซิงค์นั่นเอง

ในจังหวะคลื่นลูกที่สองเข้ามาเอาต์พุตจะเปลี่ยนเป็นขา 2 จึงมีผลทำให้ VR_1 ลงกราวด์ ในขณะที่ขาอีกข้างหนึ่งต่ออนุกรมกับ R_1 10 กิโลโอห์ม ฉะนั้นการปรับ VR_1 จึงเป็นการปรับค่าความกว้างของพัลซ์ควบคุมช่องที่ 1 ไปด้วย และคลื่นลูกต่อๆไปก็มีผลเช่นเดียวกันขาต่อๆ และช่องบังคับต่อๆไปเช่นกันจนมาครบรอบอีกครั้งหนึ่ง สรุปกันง่ายๆก็คือ IC_1 จะทำหน้าที่เสมือนหนึ่ง สวิทช์คอยสับเปลี่ยนค่าความต้านทานที่ต่อกับ ขา TR_1 นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่า R_9 และ C_3 ในวงจรจะเป็นตัวกำหนดค่าความกว้างของพัลซ์ขนาด 0.25 ms ซึ่งเป็นช่วงระยะห่างของ พัลซ์ควบคุมแต่ละช่องนั่นเอง

สัญญาณเอาต์พุตของวงจรสร้างรหัส (Coder) ซึ่งเป็นพัลซ์สัญญาณควบคุมครบชุด ที่ปรากฏทางขา C ของ TR_2, TR_3 จะถูกส่งเข้าไปมอดกับสัญญาณวิทยุต่อไป



รูปที่ 3.5 แสดงลายทองแดงของวงจรภาคสร้างรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางตรรกของไอซี 7490

COUNT	OUTPUT			
	11	8	9	12
	D	C	B	A
0	0	0	0	0
1	0	0	0	1
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
4	0	1	0	0
5	0	1	0	1
6	0	1	1	0
7	0	1	1	1
8	1	0	0	0
9	1	0	0	1

———— หมายเลขขาไอซี

———— อักษรตำแหน่งรหัส

0 = L = LOW

1 = H = HIGH

ตารางตรรกของไอซี 74145

NO.	INPUT				OUTPUT									
	D	C	B	A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
4	0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
5	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
6	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
9	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

0 = L = LOW 1 = H = HIGH

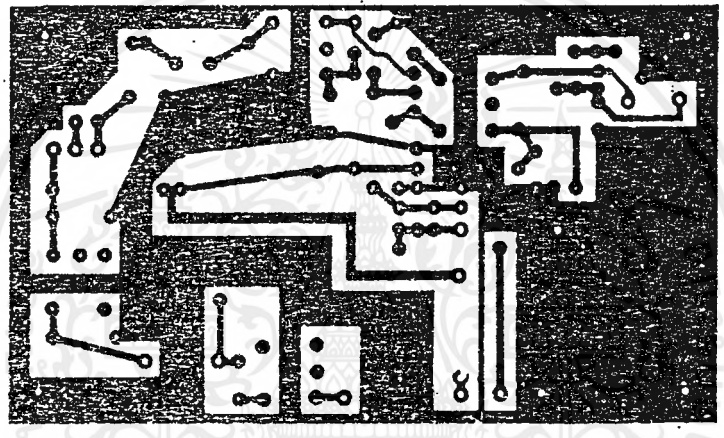
รูปที่ 3.6 แสดงตารางตรรกของไอซี 7490 และ 74145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การทำงานของวงจรเครื่องส่ง

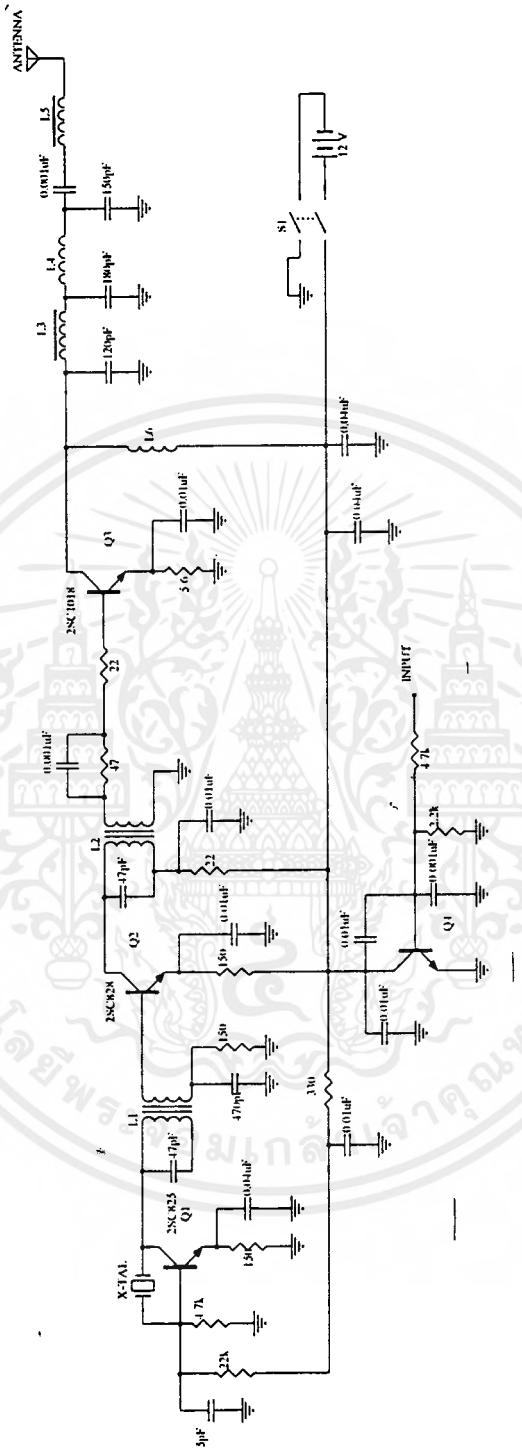
Q_1 ทำหน้าที่เป็นออสซิลเลเตอร์ใช้ควบคุมความถี่ ความถี่ที่ได้จะขึ้นกับค่าของคริสตอล จะเห็นได้ว่า L_1 ทำหน้าที่ต่อเชื่อมสัญญาณไปยัง Q_2 โดยมีลักษณะเป็นโหลดที่ขาคอลเลคเตอร์ของ Q_1 ความถี่ที่ออสซิลเลต ออกมาถูกส่งมายัง Q_2 เพื่อขยายกำลัง ในขณะเดียวกันจะเห็นว่า Q_4 ต่ออยู่ทางวงจรอิมิตเตอร์ของ Q_2 ลงดินได้โดยมีตัวต้านทานค่า 150โอห์ม เป็น R_E แสดงให้เห็นว่า ถ้าเราให้ Q_4 นำกระแส และ หยุดกระแสเป็นจังหวะจะทำให้สัญญาณ R_F ผ่าน Q_2 ได้เป็นจังหวะกัน นี่คือส่วนของวงจรผสมคลื่นนั่นเอง

Q_3 ทำหน้าเป็นวงจรขยายสัญญาณจาก Q_2 ผ่านทาง L_2 ขณะที่ L_6 ทำหน้าที่เป็นโหลดของ Q_3 จะเห็นว่า C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{14}, L_3, L_4, L_5 เป็นวงจร Harmonic Filter และแมทชิ่งสายอากาศ คือกรองเฉพาะความถี่ที่ต้องการให้ส่งเข้าไปในสายอากาศได้ดีที่สุดและมากที่สุดเท่านั้น



รูปที่ 3.7 แสดงลายทองแดงของวงจรภาคเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

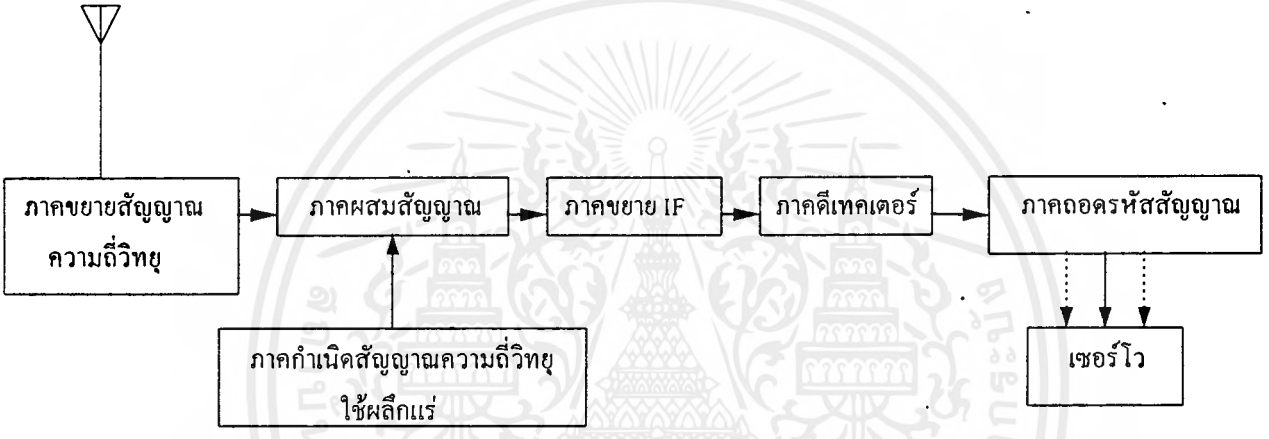


รูปที่ 3.8 วงจรสมบูรณ์ของเครื่องส่ง 2 แชนแนล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 เครื่องรับและเซอร์โว

เครื่องรับวิทยุ ในชุดบังคับด้วย ทำหน้าที่รับคลื่นวิทยุที่ส่งจากเครื่องส่ง เพื่อแปลงสัญญาณที่ส่งมานั้นให้เป็นสัญญาณที่สามารถใช้บังคับเซอร์โวให้เคลื่อนที่ ส่วนมากเครื่องรับนี้จะเป็นชนิดซูเปอร์เฮตเทอโรดายน์ (Superheterodyne) นอกจากสมัยก่อนๆที่เป็นซูเปอร์รีเยนเนอเรทีฟ (Superregenerative) ลักษณะสำคัญของเครื่องรับที่เราต้องการคือ มีน้ำหนักเบา ทนทานต่อการสะเทือนได้ดี กินกำลังไฟน้อย ด้วยลักษณะดังกล่าวนี้จะมองเหมือนเป็นไปได้ยาก แต่ในปัจจุบัน ขนาดของเครื่องรับที่ใช้จะโตประมาณเท่ากับกล่องไม้ขีดไฟ น้ำหนักเบา มีความไวดีมาก อุปกรณ์ที่ใช้ไม่ซับซ้อน ทำให้สามารถนำไปติดตั้งให้กับ เรือเล็ก เครื่องบินเล็ก หรือ รถบังคับ และอื่นๆได้สะดวก บังคับได้ไกลประมาณ 1 กิโลเมตร ในที่โล่ง เครื่องรับพลังงานจากชุดแบตเตอรี่ที่มีแรงดันประมาณ 5-6 โวลท์ เมื่อได้สัญญาณบังคับเซอร์โวออกมาจากเครื่องรับสัญญาณนี้ จะส่งไปที่เซอร์โวโดยตรงทำให้เกิดการเคลื่อนไหวที่เซอร์โวได้



รูปที่ 3.9 แสดงแผนผังของเครื่องรับวิทยุบังคับ

ในรูปที่ 3.9 เมื่อสัญญาณวิทยุจากเครื่องส่งมาเข้าสายอากาศของเครื่องรับจะผ่านขั้นตอนต่างๆ ในเครื่องรับ โดยเริ่มจากขยายสัญญาณให้สูงขึ้น ผสมกับความถี่จากวงจรออสซิลเลเตอร์ ได้เป็นความถี่ IF ผ่านภาคขยาย IF ไปจนถึงภาคดีเทกเตอร์ จากนั้นส่งเข้า IC ซึ่งทำหน้าที่เป็น ดีโคดเดอร์ ถอดรหัสสัญญาณเพื่อส่งต่อไปเซอร์โวต่อ ขั้นตอนดังกล่าวสรุปได้พอสังเขปดังนี้

3.3.1 ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ(RF Amplifier)

เมื่อสัญญาณวิทยุเดินทางผ่านอากาศมากระทบสายอากาศ ซึ่งเป็นสายนำเส้นเดียว(Whip) จะผ่านวงจรที่ทำให้เกิดการแมทซ์ระหว่างสายอากาศด้านอินพุตของวงจรขยายความถี่สูง เพื่อให้สามารถชักนำสัญญาณที่แพร่อยู่ในอากาศมาปรากฏที่อินพุตของวงจรขยายความถี่สูงได้มากที่สุด และจะถูกขยายให้มีกำลังสูงขึ้น เพื่อให้เพียงพอในการผสมกับสัญญาณ จากวงจร RF ออสซิลเลเตอร์ในภาคผสมคลื่นต่อไป ภาคขยายช่วงแรกนี้ไม่ได้ทำงานในย่านความถี่กว้าง แต่จะมีวงจรที่ปรับให้ครอบคลุมอยู่ในย่านความถี่ใกล้ๆ กับที่ต้องการเท่านั้น เพื่อช่วยในการเลือกเฟ้นสถานีรับที่แท้จริงจะเป็นผลของภาค IF ซึ่งจะกล่าวต่อๆไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ภาคกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Oscillator)

เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ชนิดควบคุมความถี่ด้วยคริสตอล ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณความถี่ต่างจากเครื่องส่งเท่ากับสัญญาณ IF

ความแม่นยำในการรับส่งระหว่างเครื่องส่ง จะมีผลส่วนใหญ่ เนื่องมาจากความถูกต้องแน่นอนของผลึกแร่บังคับความถี่ที่ตรงกัน โดยมีผลต่างเท่ากันความถี่ IF

3.3.3 ภาคผสมคลื่น (Mixer)

เป็นภาคที่รับเอาสัญญาณวิทยุมาจาก ภาคขยายความถี่วิทยุภาคแรก มาผสมกับสัญญาณที่ได้จากภาค RF ออสซิลเลเตอร์ ที่กำเนิดขึ้นภายในเครื่องรับ แล้วจะได้ผลออกมาเป็นความถี่ 450 – 460 kHz แล้วแต่จะเลือกใช้

3.3.4 ภาคขยายความถี่ IF (IF amplifier)

ความถี่ 455 kHz ผิดพลาดได้ 10 kHz เท่านั้นที่ผ่านไปได้ เมื่อได้ความถี่ IF ออกมาจากภาคผสมคลื่นจะถูกส่งมายังภาคขยายความถี่ IF ซึ่งเป็นวงจรขยายชนิด Tuned Amplifier กล่าวคือจะมีการกำหนด ย่านความถี่จะให้ผ่านไปได้บางความถี่

ส่วนการเลือกรับความถี่ใด จึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของวงจรขยาย IF นี่เอง ส่วนมากวงจรขาย IF นี้จะเป็นวงจรที่ใช้ IF ทรานฟอร์เมอร์ กระป๋องเล็กมีแกนกลางเป็นสีๆ ปรับค่าได้ และ เซรามิคฟิลเตอร์(Ceramic Filter)

3.3.5 ภาคดีเทกเตอร์ (Detector)

หลังจากได้สัญญาณผสมด้วยข้อมูลจากภาค IF แล้วสัญญาณจะถูกดีเทกด้วยภาคดีเทกเตอร์ สัญญาณที่ถูกดีเทกแล้วจะมีรูปร่างเหมือนสัญญาณในภาคใส่รหัส ซึ่งพร้อมที่จะถอดรหัสต่อไป

3.3.6 ภาคถอดรหัสสัญญาณ (Decoder)

เป็นส่วนสำคัญของเครื่องรับ ถ้าไม่มีภาคถอดรหัส ก็จะไม่สามารถแยกการควบคุมแต่ช่องได้ตามต้องการ

สัญญาณขบวนพัลซ์จากภาคดีเทกเตอร์จะเป็นขบวนต่อเนื่อง แต่ละชุดแยกกันตามที่ถูกกำเนิดขึ้นในเครื่องส่ง ตามจำนวนแชนแนลของเครื่องส่ง ขบวนพัลซ์ทางด้านออกจากภาคถอดรหัสสัญญาณนี้เรียกว่าเป็นชนิดขนาน ที่วงจรถอดรหัสนี้ส่วนสำคัญคือ Synchronization Pulse ซึ่งถูกส่งมาพร้อมกันจากเครื่องส่งนั่นเอง

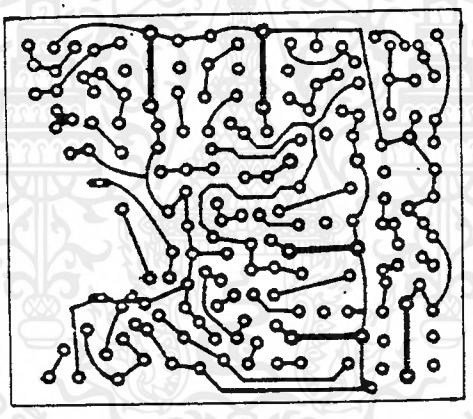
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทำงานของวงจรเครื่องรับ(Receiver) และวงจรถอดรหัส(Decoder)

จากวงจรรูปที่ 3.11 L_0, C_1, L_1 ประกอบกันเป็นวงจรแมทชิ่งสำหรับความที่ย่าน 27 MHz ที่สัมพันธ์กับความยาวของสายอากาศเครื่องรับ L_2, C_3 เป็นวงจร pre-tune สำหรับเลือกความถี่ที่จะรับไว้ชั้นหนึ่งก่อน Q_1 เป็นภาคขยายสัญญาณ RF ภาคแรกโดยมี L_3 เป็น Load ชนิดจูนได้เพื่อให้ขยายได้ดีที่สุดที่ความถี่ที่เลือกไว้เท่านั้น

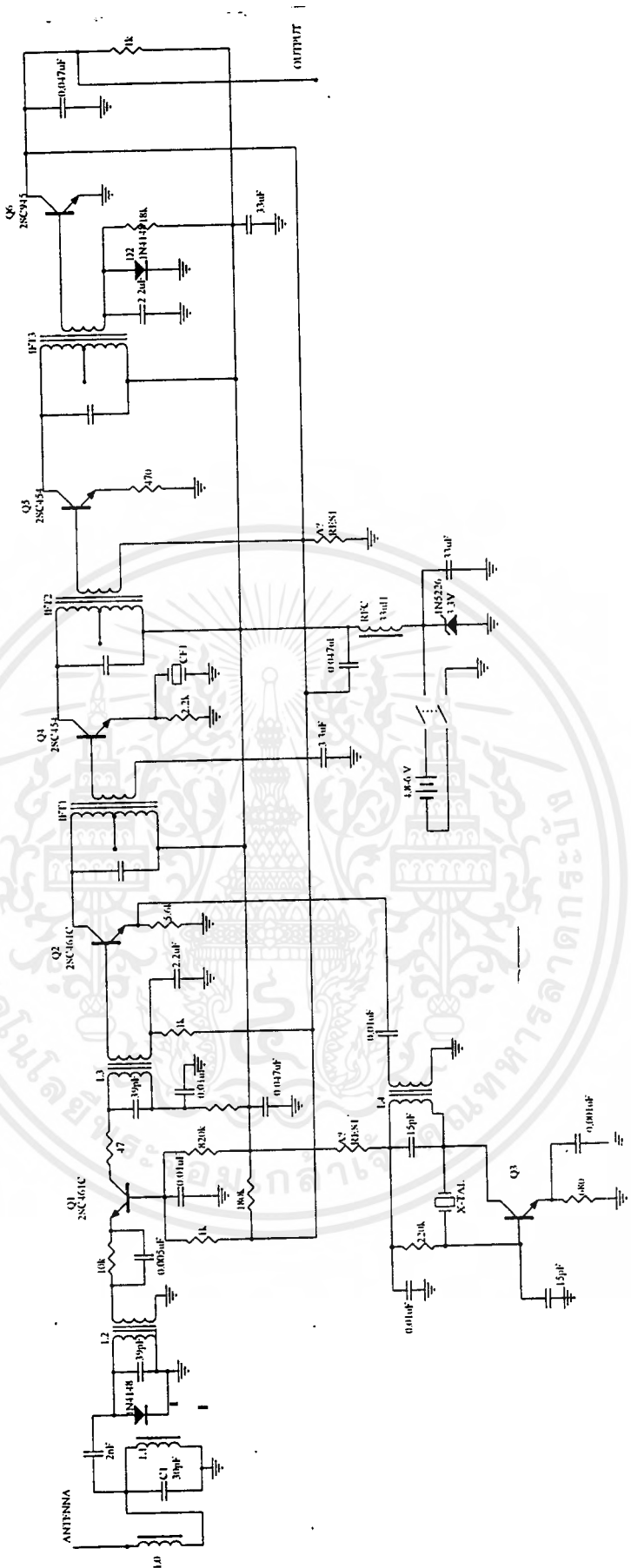
Q3 เป็นวงจร RF ออสซิเลเตอร์ที่ใช้ผลึกแร่ควบคุมการทำงานย่าน 27 MHz เช่นกัน สัญญาณจากวงจรออสซิลเตอร์ส่งผ่าน L_4 ซึ่งเป็น Load ที่ขาอิมิตเตอร์ของ Q_2 ซึ่งทำหน้าที่ผสมสัญญาณความถี่จาก Q_1 และ Q_3 เข้าด้วยกันได้เป็นความถี่ IF 455 kHz ส่งผ่าน IFT_1 ไปยัง Q_4 IFT_1, IFT_2, IFT_3 เป็น IF ทรานสฟอร์เมอร์ในวงจรภาคขยาย IF ที่ประกอบขึ้นจาก Q_2, Q_4, และ Q_5 ให้สังเกต CF_1 คือเซรามิคฟิลเตอร์ต่อคร่อม RE ที่ขาอิมิตเตอร์ของ Q_4 CF_1 นี้มีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำที่ความถี่ 455 kHz ทำให้วงจรขยายนี้มีอัตราแรงดันสูงกว่าปกติที่ความถี่นี้ด้วย

Q_6 ทำหน้าที่เป็นดีเทกเตอร์โดยอาศัยไดโอด D_2 สัญญาณที่ดีเทกแล้ว จะถูกส่งผ่านไปยังภาคถอดรหัสต่อไป



รูปที่ 3.10 แสดงลายทองแดงของวงจรเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

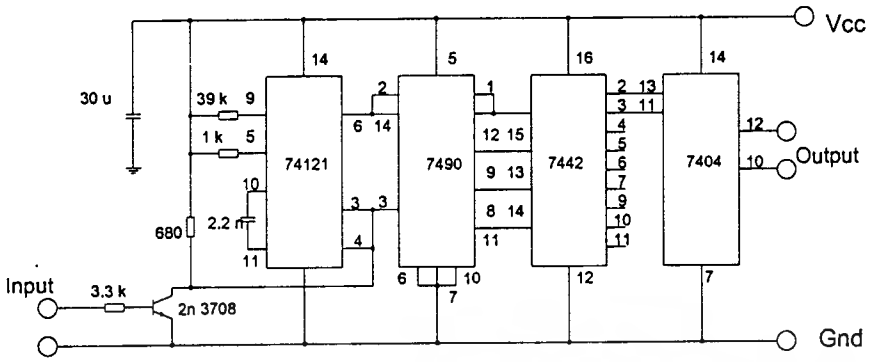


รูปที่ 3.11 วงจรเครื่องรับ 2 แชนแนล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 ภาคถอดรหัส (Decoder)

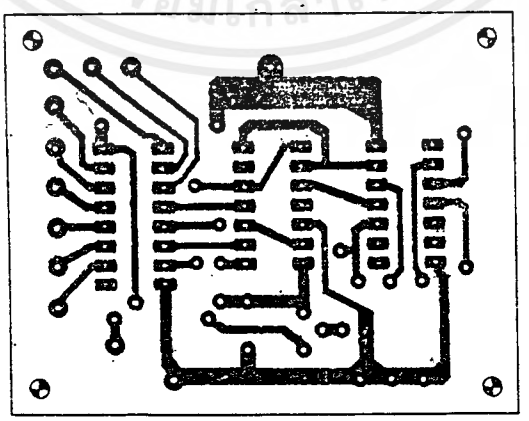
วงจรถอดรหัสตามรูปที่ 3.12 จะทำหน้าที่ในการถอดแยกสัญญาณบังคับควบคุมช่องต่างๆ ที่ส่งมาเป็นขบวนสัญญาณอย่างต่อเนื่องให้เป็นสัญญาณควบคุมแต่ละช่องตั้งแต่ 1 ถึง 9



รูปที่ 3.12 วงจรภาคถอดรหัส(Decoder)

สัญญาณที่ออกจากวงจรทีทีแอลอินเตอร์เฟส จะเข้ามาเป็นอินพุตของวงจรถอดรหัสโดยผ่านทาง R_{15} เข้ามาที่ขาเบสของ TR_5 และจะปรากฏเป็นสัญญาณเอาต์พุตที่กลับเฟสจากขาคอลเลคเตอร์ของ TR_5 เข้าไปเป็นอินพุตของ IC_2 ที่ขา 3,4 และในขณะเดียวกัน ก็ส่งสัญญาณนี้เข้าไปกระตุ้นที่ขา 3 ของ IC_3 ด้วย IC เบอร์ 74121 นี้เป็นวงจรสัญญาณสัญญาณพัลซ์เมื่อมีการกระตุ้นจากภายนอก โดยมีสัญญาณเอาต์พุตที่ออกมาจากขา 6 ในที่นี้ IC_2 ทำหน้าที่ เป็นตัวแยกสัญญาณซิงค์ ออกจากขบวนสัญญาณควบคุม IC_3 มีหน้าที่เป็นตัวสร้างรหัส BCD ตามจังหวะสัญญาณ ที่เข้ามาทางขาอินพุต ส่วน IC_4 จะทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนรหัส BCD to Decimal เป็นการกระจายคาบเวลาของแต่ละรหัส BCD ออกไปปรากฏเป็นเอาต์พุตที่ขา 2 - 11 ยกเว้น 8 เพราะเป็นขากราวด์

สัญญาณที่ปรากฏทางเอาต์พุต ของวงจรดีโคดเดอร์นี้จะมี ลักษณะสัญญาณเป็นรูปสี่เหลี่ยมที่มีคาบเวลาเปลี่ยนแปลงไปตามการบังคับควบคุมทางเครื่องส่งแต่ละช่อง เพื่อเป็นสัญญาณควบคุมการทำงาน ของวงจรภาคอื่นๆต่อไป

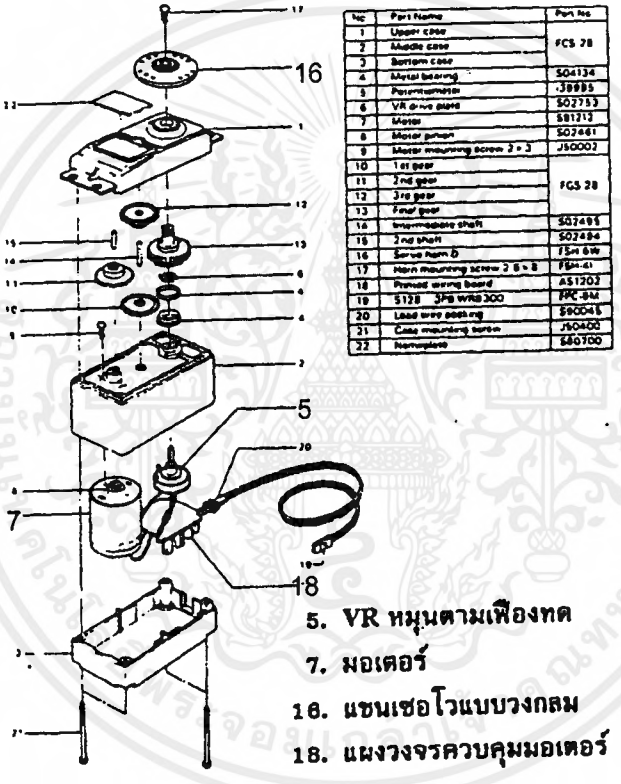


รูปที่ 3.13 แสดงลายทองแดงของวงจรภาคถอดรหัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ภาคเซอร์โว (Servo)

ภายในตัวเซอร์โวจะเป็นมอเตอร์ความเร็วสูง มีเฟืองทดรอบให้หมุนช้าลง เพื่อจะได้มีกำลังแรงบิดที่สูงขึ้น แขนหรือกระเดื่องของเซอร์โวจะยึดติดกับแกนเฟืองที่ทดรอบแล้ว การที่คลื่นรูปพัลซ์สี่เหลี่ยมขนาดความกว้าง 1-2 ms สามารถควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ภายในตัวเซอร์โวได้เพราะ ภายในตัวเซอร์โวมอเตอร์มีวงจรควบคุมมอเตอร์อยู่อีกชุดหนึ่ง วงจรควบคุมภายในจะนำค่าแรงดันเฉลี่ยของพัลซ์สี่เหลี่ยม เข้าไปเปรียบเทียบกันแรงดันค่าหนึ่งที่มีอยู่ในวงจร ถ้าค่าต่างกันวงจรจะสั่งให้มอเตอร์หมุนไปตามที่ทิศที่ขึ้นกับขนาดของพัลซ์ แกนเฟืองทดรอบจะหมุนคู่ไปกับ แกนของ VR ค่าของ VR จะเป็นตัวควบคุมแรงดันภายในเซอร์โว เมื่อค่าแรงดันเปรียบเทียบเท่ากันเซอร์โวจะหยุดหมุนทันที ซึ่งหมายถึงว่า แขนหรือกระเดื่องได้หมุนไปในตำแหน่งที่ต้องการแล้วดังรูปที่ 3.14

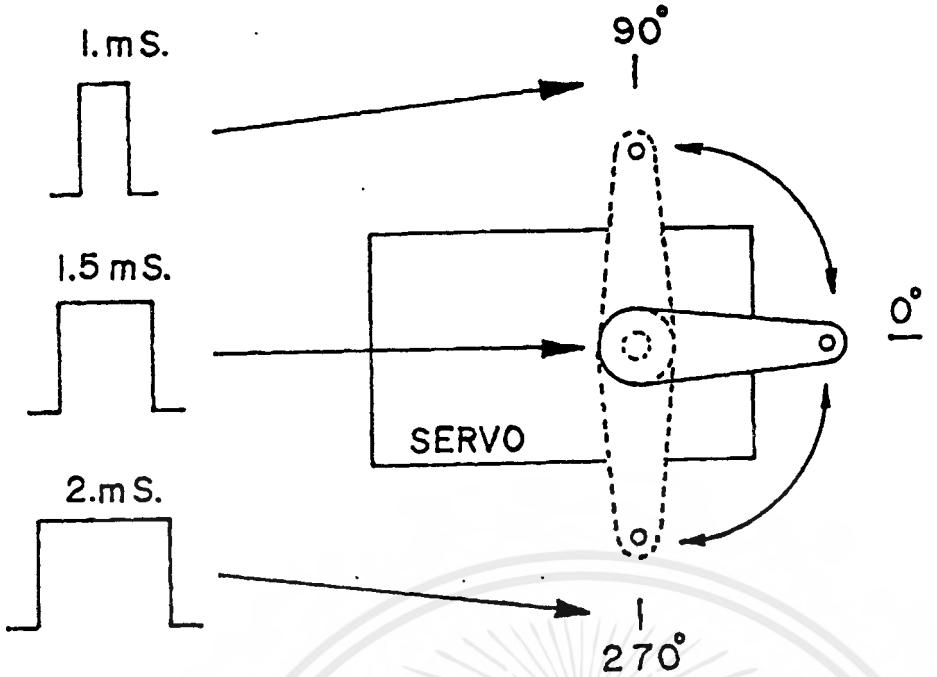


รูปที่ 3.14 แสดงส่วนประกอบภายในเซอร์โว

หลักการคร่าวๆ ของระบบวิทยุบังคับแบบพร็อพพอร์ชันแนลที่เรากำลังกล่าวถึงนี้ คือทางเครื่องส่งจะส่งพัลซ์รูปสี่เหลี่ยมไปยังปลายทาง พัลซ์รูปคลื่นสี่เหลี่ยมนี้จะสามารถเปลี่ยนแปลงความกว้างของรูปพัลซ์ ได้ตามการบังคับของเครื่องส่ง

ส่วนทางเครื่องรับจะเอารูปคลื่นพัลซ์นี้ไปควบคุมให้เครื่องกลไกทำงาน ตามการบังคับจากเครื่องส่ง เครื่องกลไกที่ถูกบังคับจะเคลื่อนที่ไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ขึ้นกับความกว้างของรูปพัลซ์ ดังรูปที่ 3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 คลื่นพัลซ์ควบคุมการทำงานของเครื่องกลไก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ขั้นตอนการทดลอง

4.1.1 ทำการวัดสัญญาณที่เอาต์พุตของภาคสร้างรหัส(Coder)

4.1.2 ทำการวัดสัญญาณที่ได้จากวงจรผลิตความถี่(Oscillator)

4.1.3 ทำการวัดสัญญาณที่เอาต์พุตของภาคส่งสัญญาณโดยสัญญาณ Carrier จากภาคส่งจะถูก on/off ตามรูปสัญญาณของภาคสร้างรหัส(Coder)

4.1.4 ทำการวัดกำลังของเครื่องส่งและแสดง Spectrum ของสัญญาณ

4.1.5 ทำการวัดสัญญาณที่เอาต์พุตของภาคดีเทคเตอร์(Detector)โดยสัญญาณที่ได้จะมีลักษณะเดียวกับสัญญาณจากภาคสร้างรหัส(Coder)

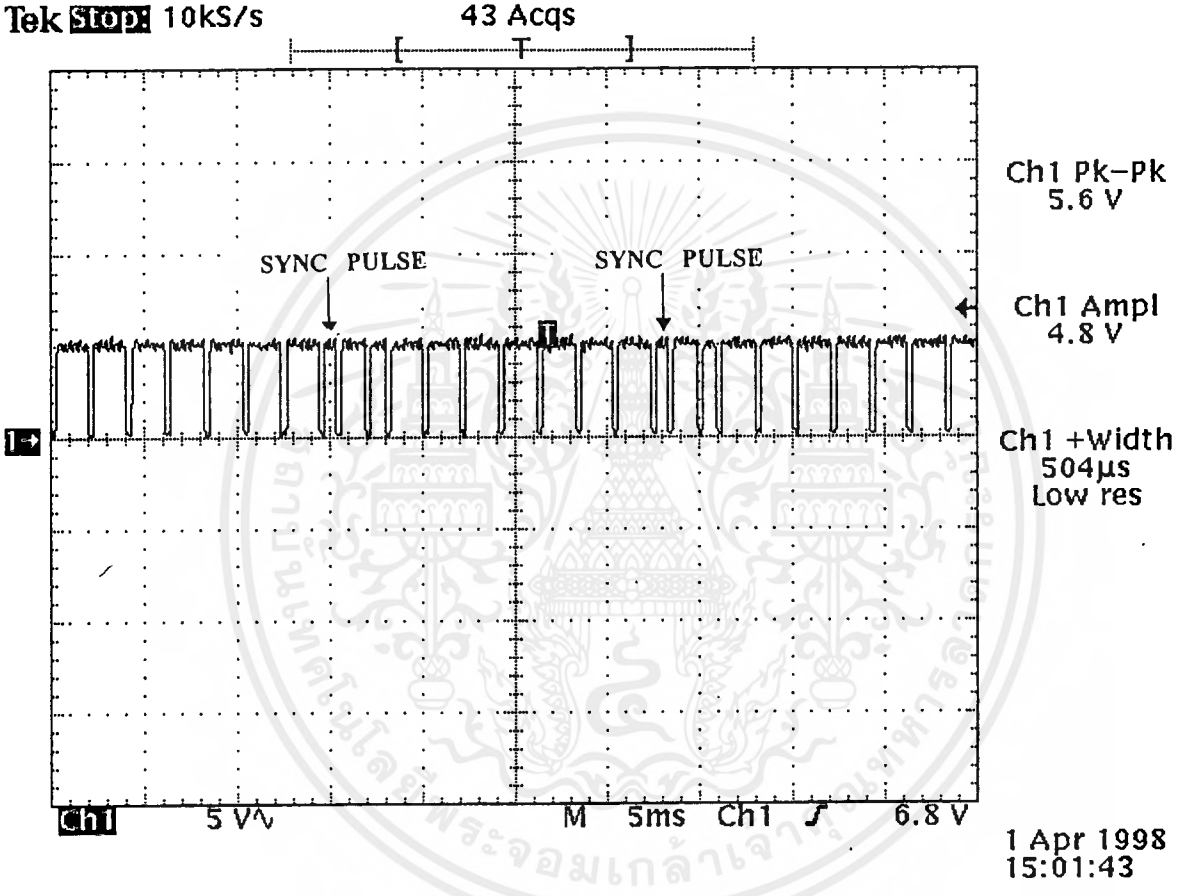
4.1.6 ทำการวัดรูปสัญญาณที่ผ่านการปรับแต่งสัญญาณ

4.1.7 วัดสัญญาณที่เอาต์พุตของภาคถอดรหัส(Decoder) ในแต่ละแชนแนลซึ่งสัญญาณดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการควบคุม Servo

4.2 ผลการทดลองที่ได้

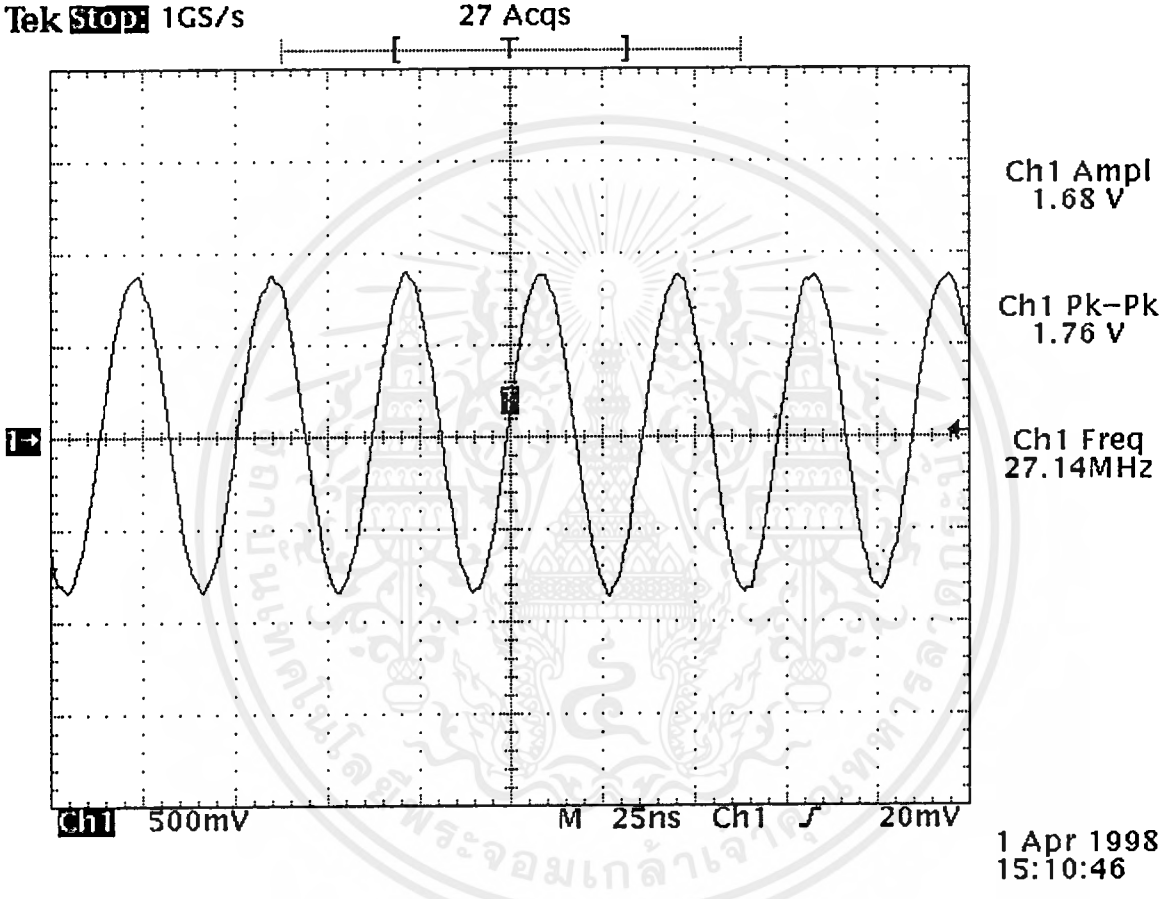
สัญญาณในแต่ละภาคที่ทำการวัดถูกแสดงในหน้าต่อไปซึ่งจะเป็นสัญญาณที่จุดต่างๆของวงจรที่ได้จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



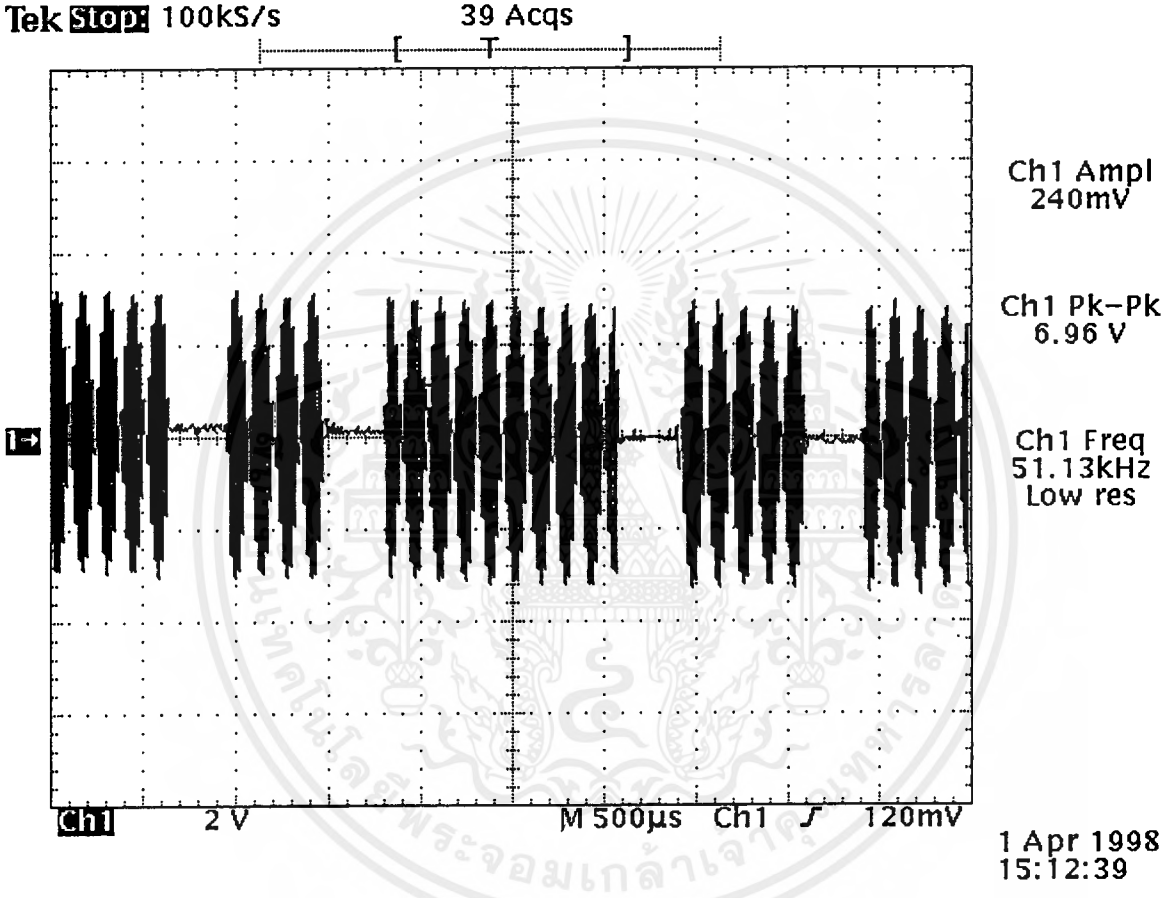
รูปที่ 4.1 แสดงรูปสัญญาณที่เอาต์พุตของภาคเข้ารหัส (Coder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



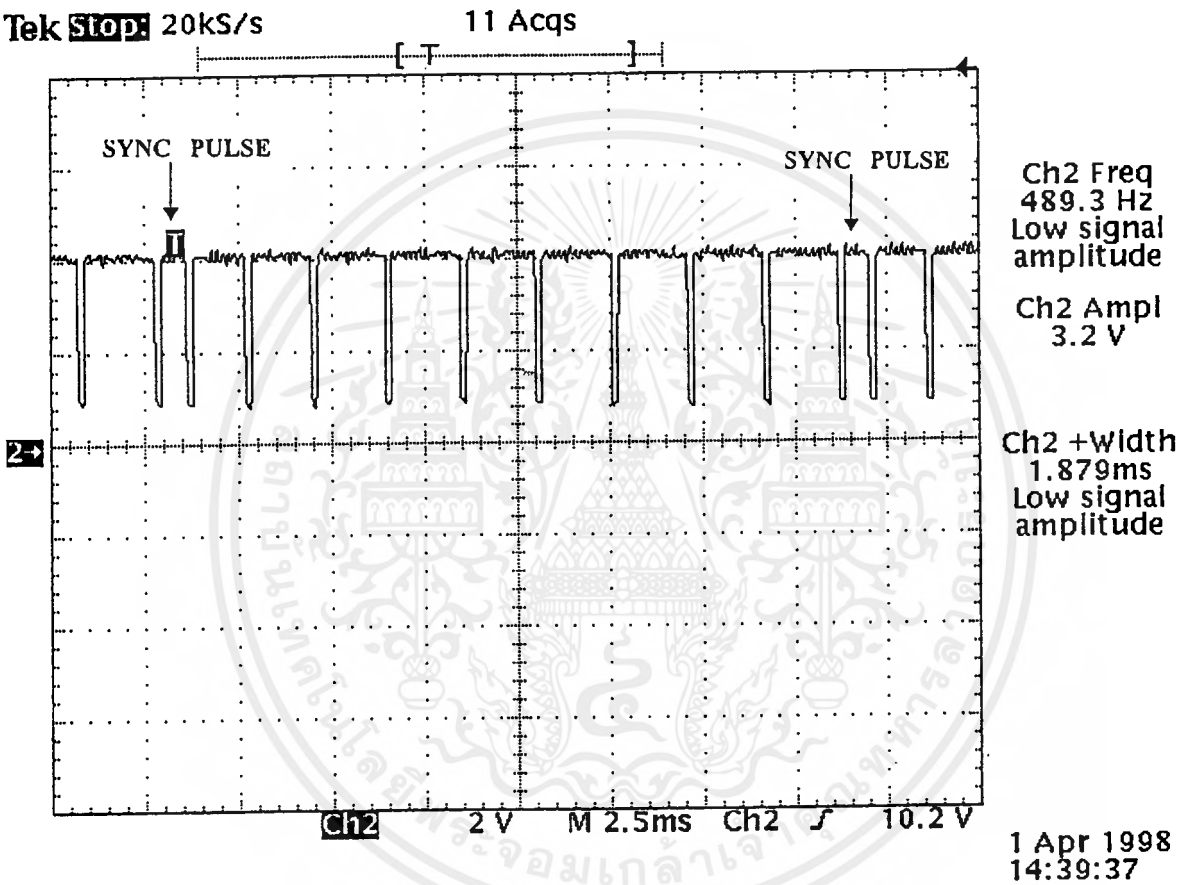
รูปที่ 4.2 แสดงรูปสัญญาณที่เอาต์พุตของภาคผลิตความถี่ (Oscillator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



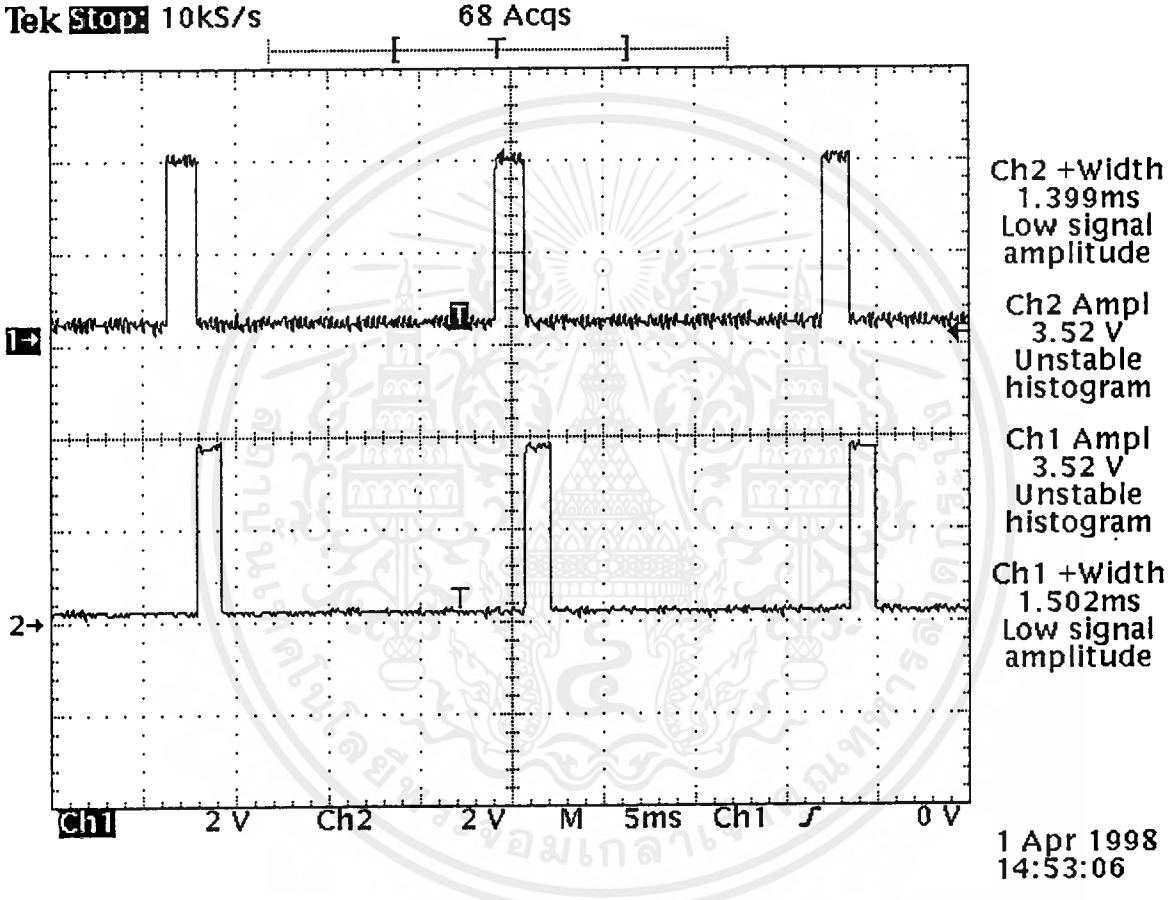
รูปที่ 4.3 แสดงรูปสัญญาณที่เอาต์พุตของภาคส่ง (Transmitter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



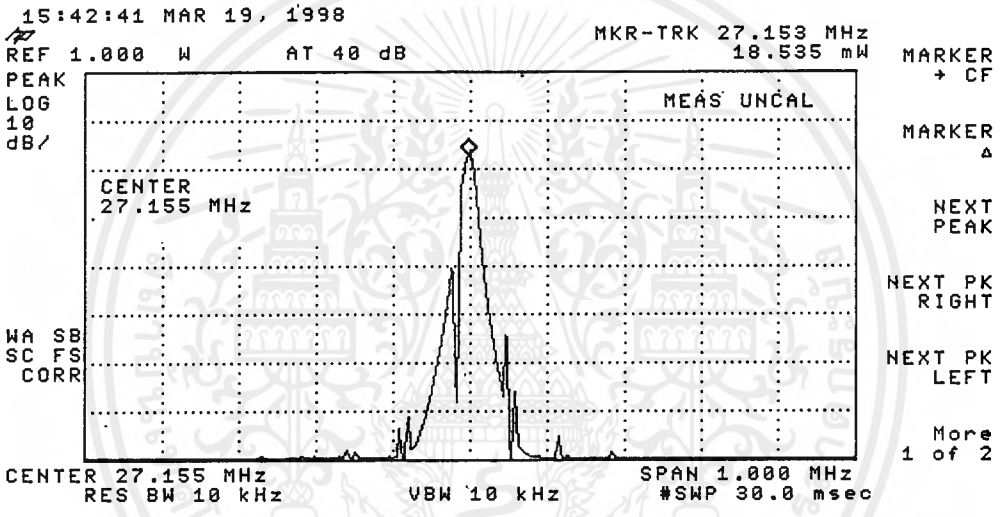
รูปที่ 4.4 แสดงรูปสัญญาณที่เอาต์พุทของภาคดีเทคเตอร์ (Detecter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงรูปสัญญาณที่เอาต์พุตของภาคถอดรหัส (Decoder)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดง Spectrum ของสัญญาณที่วัดได้จากทางเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทวิจารณ์และสรุป

จากการทำงานของโครงงานชิ้นนี้ถึงแม้จะเป็นวงจรที่ไม่มีความสลับซับซ้อนมากนักแต่ในทางปฏิบัติอุปกรณ์บางตัวนั้นค่อนข้างหายากจึงได้จัดทำขึ้นเอง เช่น คอยล์ ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง อีกอย่างหนึ่งปัญหาในการแมทช์สายอากาศไม่ว่าจะเป็นทางด้านส่งหรือทางด้านรับค่อนข้างต้องใช้ความละเอียดในการปรับแต่ง จากที่กล่าวมาทั้งหมดถ้าสามารถจัดการกับปัญหาตรงนี้ได้จะทำให้โครงงานชิ้นนี้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถที่จะทำให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีต้องขอขอบคุณหลายๆฝ่ายที่คอยให้ความช่วยเหลือและคอยให้คำแนะนำตลอดมาและขอขอบคุณ นางสาวสุรีพร อ่อนประสงค์ที่คอยให้กำลังใจตลอดเวลาการทำงานและที่ขาดเสียมิได้ต้องขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ไกรสิน ส่งวัฒนาที่คอยให้คำปรึกษาคำแนะนำต่างๆตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการดำเนินงาน ทางคณะผู้จัดทำจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] บรรเจิด ตันติกัลยาภรณ์, "เครื่องรับส่ง Transreceiver", กรุงเทพมหานคร .

[2] ร.ต.อ. สุชาติ กังวารจิตต์, "เครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร", บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพมหานคร, 2536.

[3] ร.ศ.ประทีป บัญญัตินพรัตน์, "ทฤษฎีและการใช้งานวงจรดิจิตอล", สถาบันเทคโนโลยี - พระ จอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , กรุงเทพมหานคร , 2535.

[4] ธนัท ชัยยุทธ และ กณพ แก้วพิชัย, "ดิจิตอลพื้นฐาน", บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, กรุงเทพมหานคร , 2538.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้