



ปีการศึกษา 2531

เครื่องควบคุมระยะไกลด้วยคลื่นวิทยุความถี่สูง

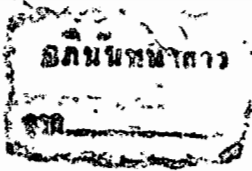
โดย

นายจิตรยุทธ จุณภาต

นายต่อพงษ์ ธรรมวโร

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์พลผดุง ผดุงกุล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ใช้ในประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีนำไปใช้

023121

-8.สค.2532

# เครื่องควบคุมระยะไกลด้วยคลื่นวิทยุความถี่สูง

จิตรบุท ฐนภาค

ต่อพงษ์ ธรรมวโร

อ.พลผดุง ผดุงกุล อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2531

## บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้ อธิบายถึงการออกแบบและสร้างเครื่องควบคุมระยะไกล ซึ่งทำงานที่ความถี่วิทยุ ในย่านความถี่ 300 เมกะเฮิรตซ์ (Megahertz) ซึ่งเราสามารถเข้ารหัสแบบดิจิทัล (digital) ขนาด 12 บิต (bit) ได้โดยการส่งแบบอนุกรม และได้รับการผสมคลื่นแบบพัลส์โคด (Pulse Code Modulation) เมื่อทางเครื่องรับได้รับสัญญาณ ก็จะตรวจสอบรหัสที่ส่งมาว่าตรงกับที่ใดตั้งไว้ (ที่เครื่องรับ) หรือไม่ ถ้าตรง เครื่องรับก็จะทำการตรวจสอบซ้ำอีกหลายครั้งว่ารหัสที่รับได้นั้นตรงกันจริงจะยอมรับว่ารหัสถูกต้องทางเครื่องรับจึงทำงาน เนื่องจากเครื่องส่งและเครื่องรับทำงานด้วยการส่งและตรวจสอบรหัสดิจิทัลขนาด 12 บิตดังที่กล่าวมาแล้ว นั้นหมายความว่า เราสามารถใช้เครื่องส่งและเครื่องรับที่ทำงานที่ความถี่เดียวกัน ในบริเวณเดียวกันได้ถึง 4096 เครื่องโดยไม่เกิดการรบกวนกันถ้าเราตั้งรหัสไว้ไม่ตรงกัน

## RADIO FREQUENCY REMOTE CONTROL

Jitryoot Junnapart

Torpong Thamvaro

Polpadung Padungkul : ADVISOR

1988

### ABSTRACT

This report explains the designing and construction of RF (Radio Frequency) remote control, which operate at 300 Megahertz frequency. The transmitter can be programmed in 12 bits digital code, which is then modulated with the carrier wave. This 12-bit code will be modulated in pulse code modulation scheme, and will be sent in serial manner. The receiver, which is pre-adjusted to match with the carrier frequency, demodulates the coded signal and inspects the code. If the received code is exactly the same as the one set at the receiver, the receiver will send out a signal to show the detecting after a fixed time of inspection. Since the transmitter and the receiver operate using digital code, the same 4096 sets (of transmitter and receiver pair) can be used in the same area without interfering with each other (providing that all the set codes are different).

# สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ . . . . .	1-1
1.1 ความเป็นมาในการควบคุม . . . . .	1-1
1.2 แนวความคิดในการออกแบบเครื่อง . . . . .	1-1
1.3 โครงสร้างการทำงานของเครื่อง . . . . .	1-1
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีของเครื่องควบคุมระยะไกล . . . . .	2-1
2.1 โครงสร้างของเครื่อง . . . . .	2-1
2.2 การทำงานของ MM53200 . . . . .	2-3
2.3 วงจรกำเนิดความถี่ความถี่วิทยุ . . . . .	2-4
2.4 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบเบสร่วม. . . . .	2-7
2.5 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วม. . . . .	2-9
2.6 วงจรกำหนดแบบใช้ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุต่อกันอย่างขนาน . . . . .	2-10
2.7 วงจรขยายแบบเลือกความถี่ . . . . .	2-11
2.8 วงจรเปรียบเทียบศักดา. . . . .	2-12
2.9 วงจรกลับระดับสัญญาณ . . . . .	2-13
2.10 วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ . . . . .	2-14
2.11 วงจรตั้งเวลาแบบกระตุ้นซ้ำได้ . . . . .	2-15
2.12 วงจรขับรีเลย์ . . . . .	2-16
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง . . . . .	3-1
3.1 เครื่องส่งที่ใช้วงจรถูกกำเนิดความถี่แบบ LC . . . . .	3-1
3.2 เครื่องส่งที่ใช้วงจรถูกกำเนิดความถี่แบบใช้ผลึกควบคุมความถี่ เครื่องรับ . . . . .	3-2 3-3
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง . . . . .	4-1
4.1 การทดลองเครื่องส่ง . . . . .	4-1
4.1.1 การทดลองเครื่องส่งแบบ LC . . . . .	4-1
4.1.2 การทดลองเครื่องส่งแบบควบคุมความถี่ด้วยผลึก . . . . .	4-1
4.2 การทดลองเครื่องรับ . . . . .	4-4
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป . . . . .	5-1
ภาคผนวก . . . . .	ผ-1
รายการอุปกรณ์เครื่องส่งแบบ LC . . . . .	ผ-1
รายการอุปกรณ์ของเครื่องส่งแบบควบคุมความถี่ด้วยผลึก . . . . .	ผ-3
รายการอุปกรณ์ของเครื่องรับ . . . . .	ผ-5
กิตติกรรมประกาศ . . . . .	ผ-13
เอกสารอ้างอิง . . . . .	ผ-14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาในการควบคุม

ในสมัยก่อน เมื่อเราเริ่มมีเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่ออำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในชีวิตประจำวัน วิธีการที่เราใช้ในการควบคุมเปิดปิดเครื่องต่าง ๆ เหล่านั้นก็คือการใช้สวิตช์ธรรมดา ซึ่งในบางครั้ง ผู้ใช้ต้องเสียเวลาเดินไปเปิด/ปิดสวิตช์ ดังนั้น ต่อมาจึงมีการค้นคิดเครื่องมือที่ใช้ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านั้น ซึ่งก็คือเครื่องควบคุมจากระยะไกลนั่นเอง

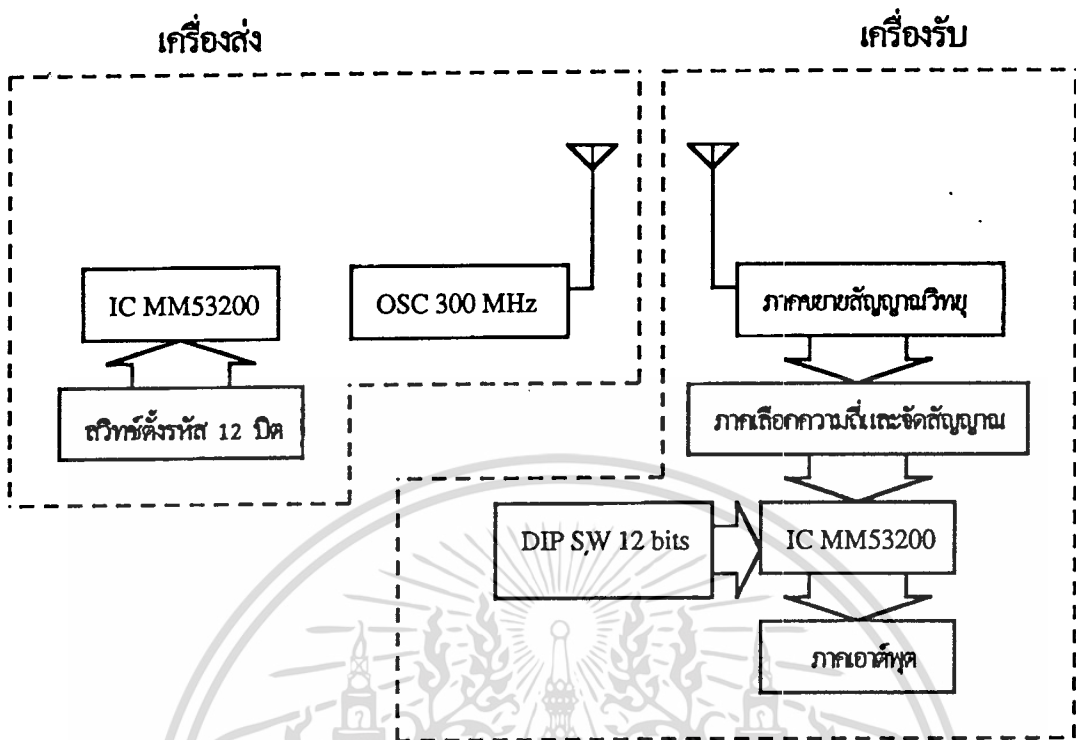
### 1.2 แนวความคิดในการออกแบบเครื่อง

ในปัจจุบันนี้ เรามีความต้องการใช้งานเครื่องควบคุมในระยะไกลมากขึ้นในงานหลายด้าน เช่น การควบคุมการเปิดปิดประตูบ้าน การควบคุมการป้องกันโจรกรรม ซึ่งในลักษณะงานเช่นนี้ต้องการเครื่องควบคุมที่มีขนาดเล็กเพื่อให้สามารถพกพาได้สะดวก การออกแบบเครื่องส่งของเราจึงพยายามออกแบบให้มีขนาดเล็กที่สุด

เนื่องจากการทำงานของเครื่องส่งเป็นการใช้คลื่นวิทยุเป็นหลักในการทำงาน ซึ่งทำให้การควบคุมไม่มีทิศทาง ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดการแทรกซ้อนทำงานผิดพลาดได้ถ้ามีผู้ใช้อื่นอยู่ในบริเวณเดียวกันในกรณีที่การทำงานเป็นแบบอนาล็อก (analog) ดังนั้น เราจึงออกแบบให้เครื่องส่งและเครื่องรับของเราทำงานในแบบการส่งและรับข้อมูลในรูปแบบดิจิตอล ซึ่งก็จะเป็นการแก้ปัญหาได้ คือ เครื่องรับจะทำงานเฉพาะเมื่อเครื่องส่งส่งรหัสที่ตรงกับที่ตั้งไว้ทางเครื่องรับไว้เท่านั้น

### 1.3 โครงสร้างการทำงานของเครื่อง

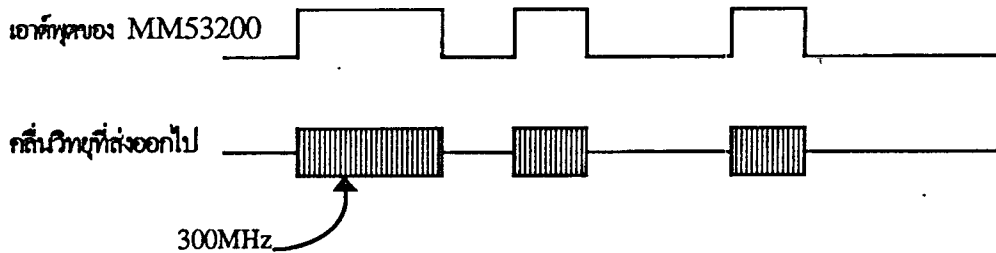
เนื่องจากเราต้องการให้เครื่องส่งและเครื่องรับมีขนาดเล็กที่สุดและรหัสที่ส่งต้องเป็นแบบดิจิตอล เราจึงใช้วงจรรวมที่เรียกว่าไอซี (IC : Integrated Circuit) เบอร์ MM53200 ซึ่งเป็นไอซีที่สามารถทำหน้าที่ได้สองอย่างคือ เป็นตัวเข้ารหัส (encoder) และตัวถอดรหัส (decoder) ในตัวเดียวกัน ซึ่งทั้งทางเครื่องส่งและเครื่องรับสามารถอธิบายการทำงานได้โดยอาศัยบล็อกไดอะแกรมดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ผังการทำงานของเครื่องส่งและรับ

มาพิจารณาการทำงานของทางด้านเครื่องส่งกันก่อน เนื่องจากเราส่งรหัสเป็นแบบดิจิตอลซึ่งเราควรจะสามารถตั้งรหัสเหล่านี้ได้ จึงใช้สวิทช์แบบแถวจำนวน 12 ตัวเป็นตัวตั้งรหัส เมื่อเครื่องส่งทำงาน ไอซี MM53200 จะส่งสัญญาณออก (output) มาในลักษณะของข้อมูลแบบอนุกรม (serial) ซึ่งเป็นสัญญาณแบบดิจิตอล (ลักษณะของสัญญาณและการทำงานของไอซีเบอร์ MM53200 นี้ จะอธิบายอย่างละเอียดในบทที่ 2) ไปควบคุมการทำงานของเครื่องกำเนิดความถี่หรือออสซิลเลเตอร์ (oscillator) ซึ่งก็คือ จะส่งสัญญาณคลื่นวิทยุความถี่สูง (ประมาณ 300 เมกะเฮิรท์) ออกไปตามสัญญาณเอาต์พุตของ MM53200 ในโหมดการส่ง ตามรูปที่ 1.2

จากนั้น เมื่อทางเครื่องรับรับสัญญาณได้และทำการตีมอดูเลท (demodulate) แล้ว ก็จะไปป้อนให้กับไอซีเบอร์ MM53200 ซึ่งทำงานอยู่ในโหมดการรับ ไอซีก็จะทำการตรวจสอบว่ารหัสที่รับได้นั้นตรงกับรหัสที่ตั้งไว้ที่เครื่องรับหรือไม่ หากตรงกัน ตัวไอซีจะทำการตรวจสอบ



รูปที่ 1.2 คลื่นวิทยุที่สร้างออกไปกับเอาต์พุตของ MM53200

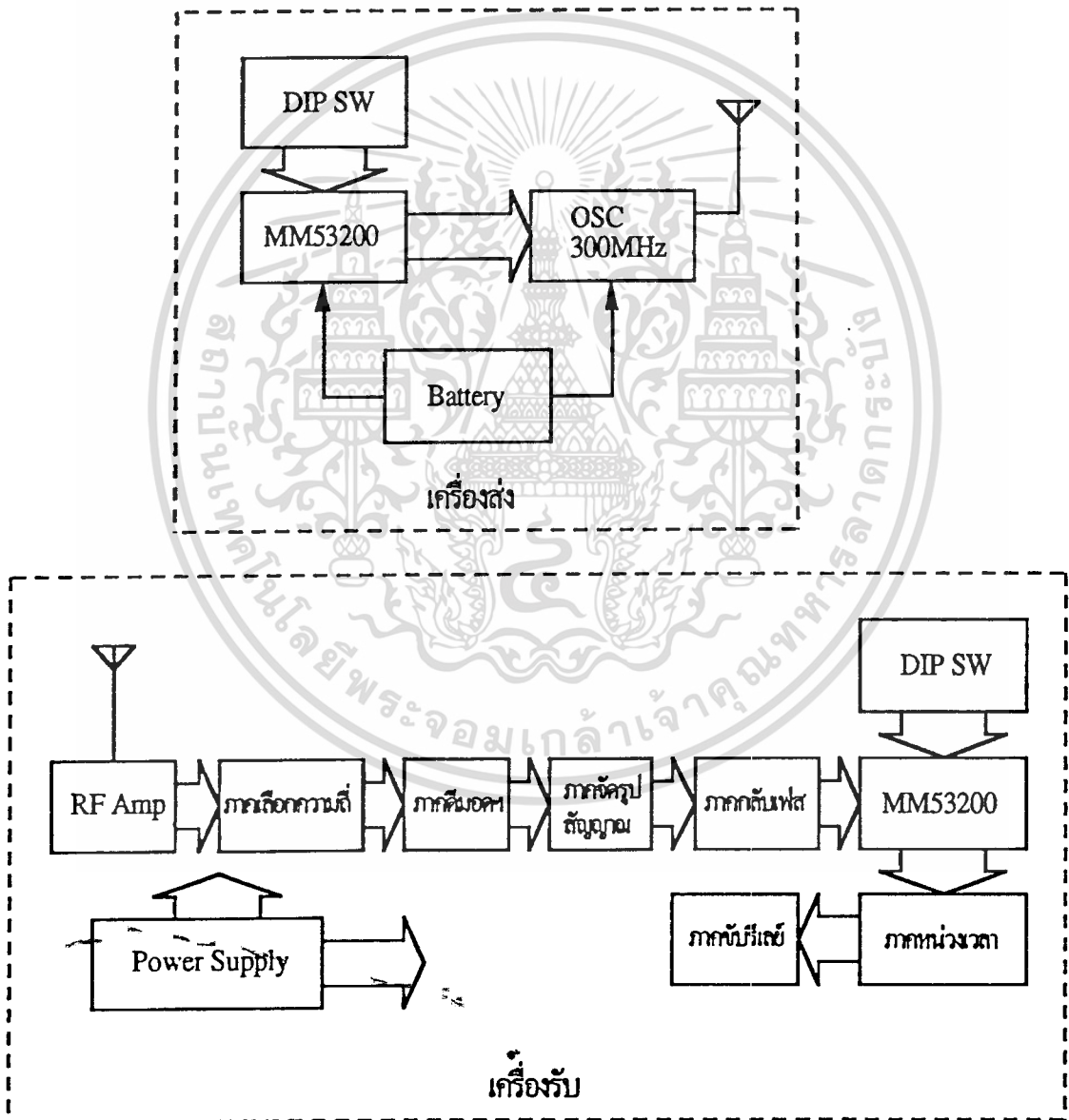
ไปอีก 3 ครั้ง โดยที่แต่ละครั้งห่างกันไม่เกินช่วงเวลาค่าหนึ่งที่ได้กำหนดไว้ จึงจะยอมรับว่า รหัสตรงกัน (คือต้องตรงกันรวม 4 ครั้ง) เอาต์พุตของไอซีจึงจะเปลี่ยนสถานะจาก "สูง" ไปเป็น "ต่ำ" ซึ่งเราสามารถนำไปใช้งาน เช่น นำไปควบคุมการทำงานของรีเลย์ (relay) ได้ต่อไป



## บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีของเครื่องควบคุมระยะไกล

### 2.1 โครงสร้างของเครื่อง

เราสามารถอธิบายโครงสร้างของเครื่องทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับได้โดยการพิจารณาผังการทำงานในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเครื่องส่งและเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากฝั่งของเครื่องส่ง เราออกแบบให้เอาต์พุตของไอซี MM53200 เป็นสัญญาณควบคุมการทำงานของออสซิลเลเตอร์โดยตรง โดยออกแบบให้ว่า เมื่อสัญญาณเอาต์พุตของไอซีเป็นสถานะ "สูง" (ใกล้ระดับไฟเลี้ยง) ให้วงจรกำเนิดความถี่ทำงานส่งความถี่สูงขนาดประมาณ 300 เมกะเฮิรตซ์ออกไปในอากาศ แต่เมื่อสัญญาณเอาต์พุตของไอซีมีสถานะเป็น "ต่ำ" (มีคิกคาใกล้ระดับกราวด์) ให้วงจรกำเนิดความถี่หยุดทำงาน ดังนั้น จะเห็นได้ว่า เครื่องส่งของเราทำงานในแบบ พัลส์มอดูเลท (pulse modulation) นั่นเอง

มาพิจารณาทางด้านเครื่องรับบ้าง ทางเครื่องรับเมื่อได้รับสัญญาณคลื่นวิทยุมาก็จะถูกขยายครั้งแรกด้วยวงจรขยายคลื่นความถี่วิทยุ (RF Amplifier) จากนั้นเข้าวงจรเลือกความถี่ซึ่งการทำงานใน 2 ภาคนี้ก็คือเครื่องรับสัญญาณวิทยุแบบเลือกความถี่ (Tune Radio Frequency : TRF) นั่นเอง จากนั้น ผ่านวงจรกรองสัญญาณแบบความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter : LPF) ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรคิมอดูเลเตอร์ ซึ่งสัญญาณจากเอาต์พุตของวงจรนี้ยังไม่สวยงามสมบูรณ์ จึงส่งต่อไปยังภาคจัดรูปคลื่นสัญญาณอีกที ซึ่งทำหน้าที่จัดรูปสัญญาณให้สวยและมีขนาดใหญ่ ซึ่งลักษณะสัญญาณที่ได้ก่อนและหลังวงจรจัดรูปสัญญาณนี้แสดงได้ดังในรูปที่ 2.2



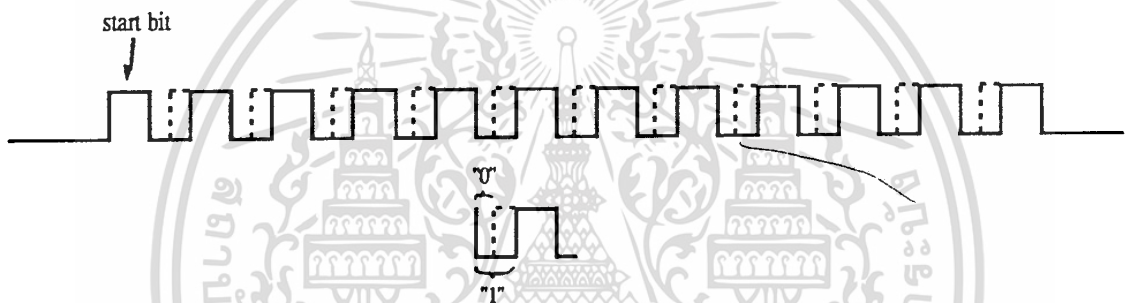
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะสัญญาณก่อนและหลังจากที่ผ่านภาคจัดรูปสัญญาณ

หลังจากที่ผ่านภาคจัดรูปสัญญาณแล้ว จะถูกส่งไปกลับเฟส (กลับระดับสัญญาณ จาก 'สูง' เป็น 'ต่ำ' และจาก 'ต่ำ' เป็น 'สูง' อีกทีเพื่อให้สัญญาณที่ได้เหมือนกับสัญญาณที่ออกมาจากไอซี MM53200 ที่เครื่องรับ (ซึ่งถูกต่อให้ทำงานในโหมดการรับ) ตรวจสอบรหัส ถ้าตรงกันครบ 4 ครั้ง เอาต์พุตของ MM53200 จะเปลี่ยนสถานะจาก "สูง" เป็น "ต่ำ" ซึ่งเรานำสัญญาณนี้ไปใช้ในการทริกวงจรมอนอสเตเบิลแบบทริกซ้ำได้ (retrigable monostable) ซึ่งสร้างขึ้นจากไอซีเบอร์ NE555 ร่วมกับทรานซิสเตอร์อีกหนึ่งตัว ทั้งนี้เพื่อทำการหน่วงเวลาไว้อีกชั่วขณะหนึ่งหลังจากที่ผู้ใช้หยุดส่งสัญญาณจากเครื่องส่งแล้ว เพื่อประ

โยชน์ในการป้องกันการทริกสองครั้งเมื่อสัญญาณทางด้านเอาต์พุตถูกนำไปใช้งานแบบทอก-เกิล (toggle) และสัญญาณที่รับได้มีการขาดหาย จากนั้นเราใช้สัญญาณเอาต์พุตจาก NE555 ไปผ่านวงจรขั้วรีเลย์ เพื่อให้รีเลย์ทำงานต่อไป

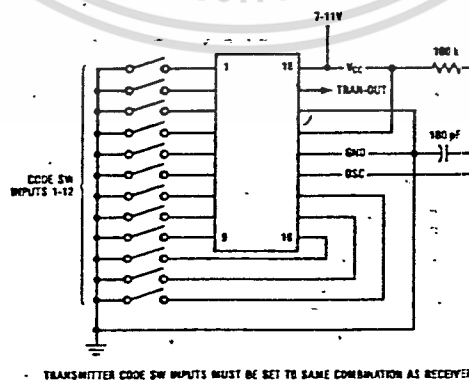
## 2.2 การทำงานของ MM53200

ไอซีเบอร์ MM53200 เป็นของบริษัท National Semiconductor (NS) ซึ่งเป็นไอซีสำหรับเข้ารหัสและถอดรหัสดิจิตอลขนาด 12 บิต โดยมีการเว้นช่วงว่าง (blanking) และมีสตาร์ทบิตให้โดยอัตโนมัติ ตามรูปที่ 2.3



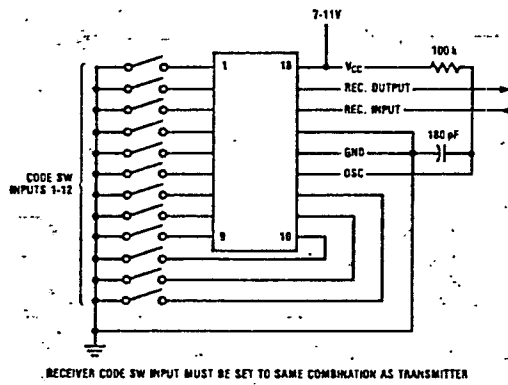
รูปที่ 2.3 แสดงสัญญาณที่ส่งออกจาก MM53200 เมื่อใช้งานในโหมดการส่ง

การทำงานของไอซีเบอร์นี้แบ่งออกเป็นสองลักษณะคือ ต่อแบบในโหมดของการส่ง และในโหมดของการรับ การต่อในทั้งสองโหมดนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.4 และ 2.5 ตามลำดับ



รูปที่ 2.4 การต่อใช้งานไอซี MM53200 ในโหมดการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 การต่อใช้งานไอซี MM53200 ในโหมดการรับข้อมูล

ในโหมดของการส่งข้อมูลนั้น เมื่อเราต่อวงจรถูกต้องและจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไอซี มันจะกำเนิดสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิตส่งออกมาทางขา 17 โดยเป็นสัญญาณแบบอนุกรม วนซ้ำอยู่ตลอดเวลาที่ไอซีทำงาน โดยมีลักษณะของสัญญาณเช่นเดียวกับในรูปที่ 2.3

ในโหมดการรับนั้น เราต้องต่อใช้งานไอซีดังในรูปที่ 2.5 เมื่อไอซีทำงานโดยรับข้อมูลเข้าทางขา 16 มันจะทำการเปรียบเทียบรหัสที่มันรับได้ขนาด 12 บิต ว่ามีรหัสตรงกับที่ตั้งไว้ด้วยคิพสวิทช์ (dip switch) ที่ต่ออยู่กับตัวมันหรือไม่ โดยทำการเปรียบเทียบแบบอนุกรม ถ้ารหัสที่รับได้ไม่ตรง ไอซีจะรีเซ็ต (reset) ตัวเองแล้วรอเปรียบเทียบรหัสในชุดต่อไป ถ้ารหัสที่ได้รับตรงกัน มันจะรอตรวจสอบว่าตรงกันต่อไปอีก 3 ครั้ง จึงจะทำให้เอาต์พุตที่ขา 17 เปลี่ยนสถานะจาก "สูง" ไปเป็น "ต่ำ" หลังจากนั้นไอซีจะต้องได้รับรหัสที่ถูกต้องอีกภายในเวลา 128 มิลลิวินาที (ที่ความถี่สัญญาณนาฬิกาเท่ากับ 100 KHz) เอาต์พุตของไอซีจึงจะยังคงสถานะเป็น "ต่ำ" อยู่ต่อไป ถ้าไม่เช่นนั้นแล้ว เอาต์พุตของไอซีก็จะเปลี่ยนสถานะเป็น "สูง" แล้วรอทำการตรวจสอบรหัสอีก 4 ครั้งต่อไป

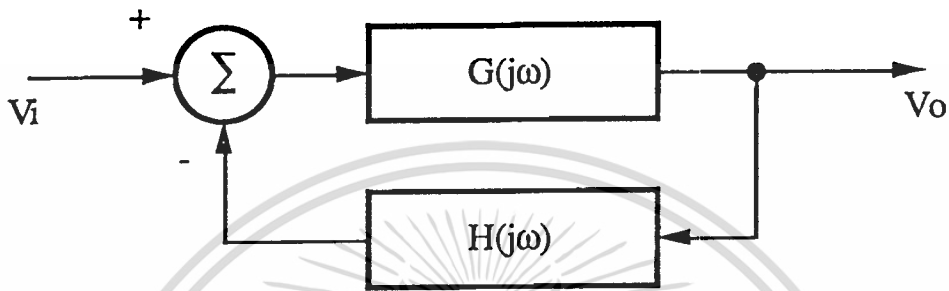
จะเห็นได้ว่า ไอซีเบอร์นี้มีการทำงานที่แน่นอนแม่นยำและสามารถนำมาใช้ในการเข้ารหัสและถอดรหัสขนาด 12 บิตในโครงงานของเราได้เป็นอย่างดี ทางผู้สร้างจึงได้เลือกใช้ไอซีเบอร์นี้เป็นหัวใจในการทำงานของโครงงานชิ้นนี้

### 2.3 วงจรกำเนิดความถี่วิทยุ (RF (Radio Frequency) Oscillator)

หลักการสำคัญในการเกิดการออสซิลเลต (oscillate) มี 2 ประการ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เฟสชิฟท์ (phase shift) รอบลูป (loop) ของระบบมีค่ารวมกันเป็น  $0^\circ$  หรือ  $2n\pi$  radian พอดี
2. อัตราขยายครบบลูป (loop gain) มีค่าเป็น 1 พอดี ถ้าต้องการให้ขนาดของสัญญาณที่ได้จากการออสซิลเลตมีขนาดคงที่



รูปที่ 2.8 ผังการทำงานของวงจรรขยายทั่วไป ซึ่งสามารถนำมาสร้างเป็นวงจรรออสซิลเลเตอร์ได้โดยตัดแปลงเล็กน้อย

จากผังของวงจรรดังในรูปที่ 2.6 ส่วนของวงจรรขยายซึ่งมีอัตราขยายเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่  $G(j\omega)$  และมีอัตราการป้อนกลับเปลี่ยนแปลงตามความถี่เป็น  $H(j\omega)$  เช่นเดียวกัน ดังนั้น เราจะได้อัตราขยายครบบลูปเป็น

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{G(j\omega)}{1 + G(j\omega) H(j\omega)}$$

สำหรับวงจรรออสซิลเลเตอร์โดยทั่วไป สัญญาณเอาต์พุต  $V_o$  ต้องมีค่าไม่เป็นศูนย์แม้เมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งหมายความว่า  $G(j\omega)$  ต้องมีค่าเป็นอนันต์ หรือตัวหาร  $1 + G(j\omega) H(j\omega)$  มีค่าเป็นศูนย์ โดยในกรณีแรกเป็นไปได้ จึงต้องพิจารณาในกรณีที่สอง คือ

$$1 + G(j\omega) H(j\omega) = 0$$

ที่สำหรับบางความถี่;  $\omega_0$  จะทำให้สมการข้างบนนี้เป็นจริง ซึ่งก็คือความถี่ของการออสซิลเลตนั่นเอง

$$G(j\omega_0) H(j\omega_0) = -1$$

นั่นคือขนาดของทรานสเฟอร์ฟังก์ชันแบบลูปเปิด (open-loop transfer function) มีค่าเป็น

$$|G(j\omega_0) H(j\omega_0)| = 1$$

และมีเฟสชิฟท์เป็น  $180^\circ$  นั่นคือ

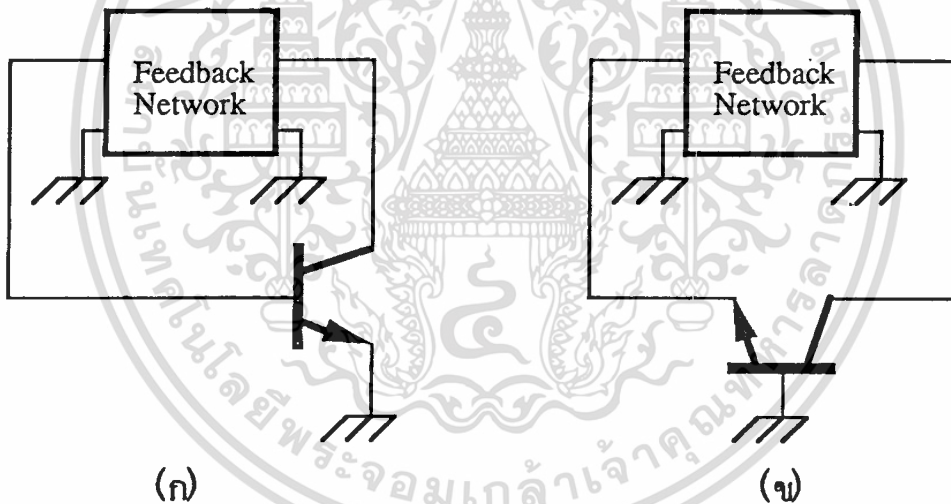
$$\arg G(j\omega_0) H(j\omega_0) = 180^\circ$$

จากข้างบนนี้ เราสามารถกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ในระบบหรือวงจรขยายที่มีการป้อนกลับแบบลบ ถ้าเฟสชิฟท์ของวงจรป้อนกลับมีค่าเป็น  $180^\circ$  ที่บางความถี่ วงจรจะออสซิลเลตที่ความถี่นั้น และสำหรับวงจรที่มีการป้อนกลับแบบบวก เฟสชิฟท์ของวงจรป้อนกลับต้องมีค่าเป็น  $0^\circ$  เพื่อทำให้วงจรเกิดการออสซิลเลต

เราอาจอธิบายการทำงานของวงจรออสซิลเลเตอร์โดยใช้เงื่อนไขบาร์คฮูเสน (Barkhausen criterion) ซึ่งมีทรานสเฟอร์ฟังก์ชันแบบลูปปิด (closed-loop transfer function) เป็น

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{\mu}{1 - \mu\beta}$$

จะเห็นได้ว่า จะเกิดการออสซิลเลตขึ้นได้เมื่อ  $\mu\beta = 1$  ซึ่งเหมือนกับในกรณีของข้างบน เพียงแต่เป็นสมการที่เขียนจากวงจรที่เป็นแบบป้อนกลับแบบบวกนั่นเอง

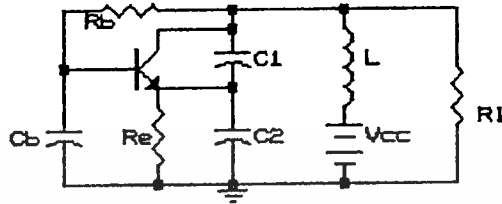


รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้ทรานซิสเตอร์

พิจารณารูปที่ 2.7 (ก) ซึ่งเป็นวงจรแบบอิมิตเตอร์ร่วม (common emitter) จะเห็นได้ว่าเฟสชิฟท์ของวงจรป้อนกลับต้องมีค่าเป็น  $180^\circ$  เพราะตัววงจรขยายแบบคอมมอนอิมิตเตอร์เองก็มีเฟสที่ต่างกันอยู่  $180^\circ$  จากอินพุตไปเอาต์พุตอยู่แล้ว ซึ่งจะทำให้เฟสชิฟท์รอบลูปมีค่าเป็น  $360^\circ$  พอดี แต่ถ้าในกรณีที่เรานำวงจรแบบเบสร่วม (common base) แล้ว ต้องไม่มีเฟสชิฟท์ระหว่างเอาต์พุตกับอินพุตเพื่อให้เกิดการออสซิลเลตอย่างต่อเนื่องได้ แต่ถ้ามีเฟสชิฟท์เกิดขึ้น ก็จะถูกชดเชยให้เป็นศูนย์ด้วยวงจรป้อนกลับดังในรูปที่ 2.7 (ข)

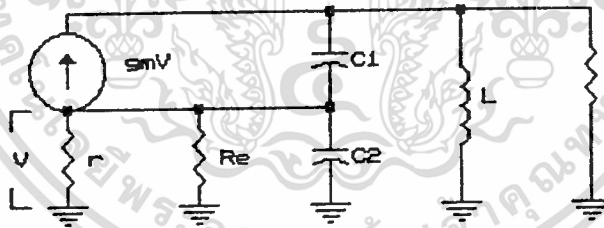
✓2.4 วงจรขอสซิลเลเตอร์แบบเบสร่วม

พิจารณาวงจรในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 วงจรขอสซิลเลเตอร์ที่ใช้วงจรแบบเบสร่วม

ถ้าเราสมมติให้  $C_B$  มีค่ามากพอแล้ว เราจะสามารถเขียนวงจรในรูปที่ 2.8 ในลักษณะการทำงานทางกระแสสลับ (Alternating Current : AC) ได้เป็นรูปที่ 2.9 และสามารถยุบไปเป็นรูปที่ 2.10 และ 2.11 ตามลำดับ



รูปที่ 2.9 วงจรสมมูลย์ทางกระแสสลับ

เงื่อนไขสองประการที่ทำให้วงจรนี้ขอสซิลเลตได้คือ

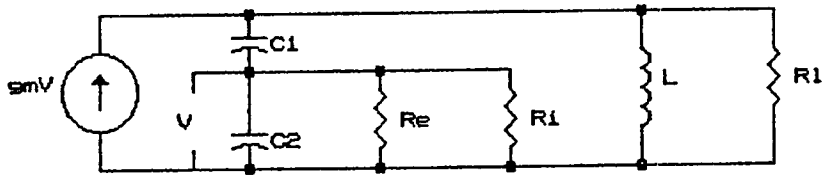
$$|G(j\omega_0) H(j\omega_0)| = 1$$

$$\text{และ } \arg G(j\omega_0) H(j\omega_0) = 0^\circ$$

$r_i$  เป็นอิมพีแดนซ์ทางขาเข้าของวงจรขยายแบบเบสร่วม ซึ่ง

$$r_i = r_e / \beta$$

ซึ่งจะทำให้เราสามารถยุบรูปที่ 2.9 เป็นรูปที่ 2.10 ได้ โดยการสมมติว่า



รูปที่ 2.10



รูปที่ 2.11

$$\frac{1}{[\omega(C_1 + C_2)]^2} \ll \left( \frac{r_i R_E}{r_i + R_E} \right)^2$$

เราจะสามารถลดวงจรมาเป็นรูปที่ 2.11 ได้ โดยที่

$$V \approx \frac{V_o C_1}{C_1 + C_2} \quad R_{eq} = \frac{r_i R_E (C_1 + C_2)^2}{r_i + R_E C_1}$$

อัตราขยายไปข้างหน้ามีค่าเป็น

$$\frac{V_o}{V_i} = G(j\omega) = g_m Z_L$$

โดยที่

$$Z_L = \frac{R_{eq} R_L}{R_{eq} + R_L}$$



$$\begin{aligned}
 Y_L &= Z_L^{-1} \\
 \text{เมื่อ } C &= (j\omega L)^{-1} + R_{eq}^{-1} + R_L^{-1} + j\omega C \\
 &= \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}
 \end{aligned}$$

อัตราส่วนการป้อนกลับมีค่าเป็น

$$\frac{V}{V_o} = H(j\omega) = \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

เงื่อนไขที่จำเป็นในการออสซิลเลตเป็น

$$\arg G(j\omega)H(j\omega) = 0^\circ$$

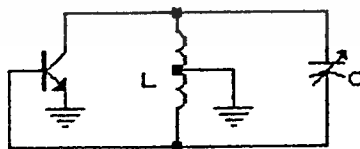
เพราะว่า  $H(j\omega)$  ไม่ได้มีค่าขึ้นกับความถี่ในกรณีนี้ ถ้า  $GH$  ต้องมีค่าเป็นศูนย์ นั่นคือ เฟสชิฟท์ของอิมพีแดนซ์โหลด (load impedance) ต้องมีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งจะเกิดขึ้นเฉพาะความถี่ใดความถี่หนึ่งเท่านั้น คือ

$$\omega = \left[ \left( L \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \right)^{1/2} \right]^{-1}$$

ซึ่งเป็นความถี่ของการออสซิลเลตนั่นเอง

### ✓ 2.5 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบอิมิตเตอร์ร่วม

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวงจรกำเนิดความถี่แบบ LC ซึ่งใช้งานร่วมกับวงจรขยายแบบอิมิตเตอร์ร่วม โดยจะกล่าวถึงเฉพาะวงจรแบบฮาร์ทเลย์ (Hartley Oscillator) เท่านั้น



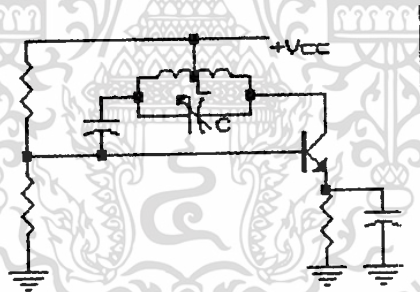
รูปที่ 2.12 วงจรสมมูลย์ทางกระแสสลับของวงจรกำเนิดความถี่แบบฮาร์ทเลย์

จากรูปที่ 2.12 เราสามารถอธิบายการทำงานได้อย่างง่าย ๆ คือ เมื่อตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุเกิดการกำทอน (resonance) จะเปรียบเสมือนเป็นความต้านทานค่าหนึ่งต่อ อยู่ทางด้านคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์ ดังนั้น จะเกิดการบ้อนกลับทางเบสจากคอลเล็ก-เตอร์ โดยมีเฟสชิฟท์เป็น  $180^\circ$  เนื่องจากวงจรแบบอิมิตเตอร์ร่วมนี้เป็นวงจรขยายแบบกลับเฟส นอกจากนี้ยังมีเฟสชิฟท์อีก  $180^\circ$  เนื่องจากจุดแตะ (tap point) ของตัวเหนี่ยวนำ จึงทำให้เกิดเฟสชิฟท์รอบลูปเป็น  $0^\circ$  พอดี ซึ่งทำให้เกิดการออสซิลเลตได้

เมื่อค่า Q ของวงจรเรโซแนนซ์แบบขนานมีค่ามากพอ เราสามารถประมาณความถี่ จากการออสซิลเลตได้เป็น

$$f_0 \approx \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

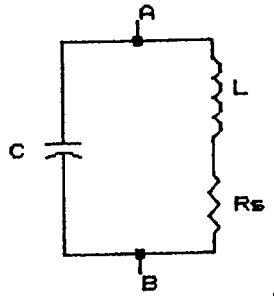
โดยวงจรจริงที่เราใช้งานจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.13 ซึ่งแสดงวงจรไบแอส (bias) และตัวเก็บประจุบายพาส (bypass capacitor) ที่อิมิตเตอร์ด้วย



รูปที่ 2.13 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบฮาร์ทลีย์

✓ 2.8 วงจรกำทอนแบบใช้ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุต่อกันอย่างขนาน (Parallel LC Resonance Circuits)

ในงานบางประเภทเรามีความจำเป็นต้องใช้วงจรขยายแบบเลือกความถี่ ซึ่งหัวใจ สำคัญของวงจรประเภทนี้คือวงจรแท็งก์ (tank circuit) ซึ่งประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำและ ตัวเก็บประจุอย่างละหนึ่งตัวต่อกันอยู่อย่างขนาน ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 วงจรเท็งก์

ที่ความถี่กำทอนของวงจรเท็งก์ซึ่งทำให้  $X_L$  มีค่าเท่ากับ  $X_C$  ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad ; r_s \text{ มีค่าต่ำมาก}$$

จะทำให้อิมพีแดนซ์ระหว่างจุด AB มีค่าสูงสุด นั่นคือทำให้กระแสไหลผ่านได้น้อยที่สุด ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

ถ้าเราสมมติให้อิมพีแดนซ์รวมของวงจรเท็งก์ที่ความถี่กำทอนมีค่าเป็น  $Z_T$  และ  $X_L$  ที่ความถี่กำทอนนั้นมีค่าเป็น  $X_L$  เราจะได้

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

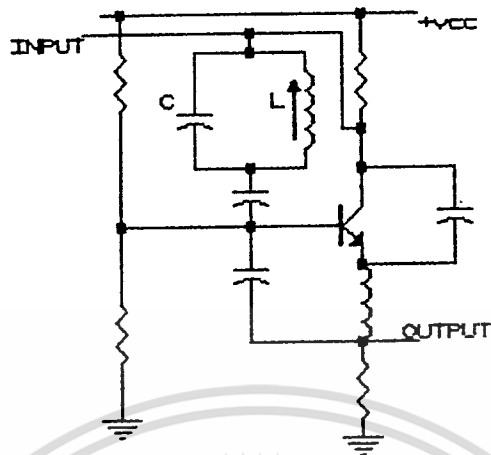
### ✓2.7 วงจรขยายแบบเลือกความถี่

เป็นวงจรขยายที่เราสามารถเลือกความถี่ที่เราต้องการได้ โดยมันจะสามารถขยายสัญญาณที่มีความถี่ตรงกับที่เราต้องการได้มากที่สุด และขยายสัญญาณที่มีความถี่ต่างไปจากที่กำหนดได้น้อยลง

จากรูปที่ 2.15 เราสามารถตั้งความถี่ที่เราต้องการได้โดยสูตร

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{Hz}$$

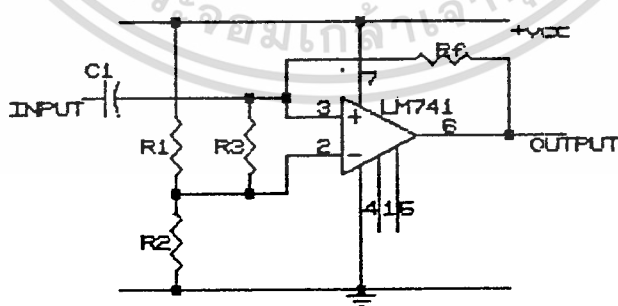
เมื่อเราป้อนความถี่  $f_0$  เข้าที่อินพุตของวงจร สัญญาณที่เอาต์พุตจะมีระดับสูงขึ้น (ศักดาทางไฟตรงเฉลี่ย ; average DC voltage) แต่เมื่อมีความถี่อื่นเข้ามาทางอินพุตของวงจรนี้ ศักดาเฉลี่ยของไฟตรงก็จะลดลง



รูปที่ 2.15 วงจรขยายเลือกความถี่

## 2.8 วงจรเปรียบเทียบคักดา

เนื่องจากสัญญาณที่เรารับได้ต้องถูกนำมาปรับระดับให้ได้ระดับสูงพอสมควรเสียก่อน ดังนั้น เราจึงต้องการวงจรเปรียบเทียบคักดา โดยในโครงงานของเรานี้ได้เลือกใช้วงจรที่ใช้ไอซีแบบออปแอมป์ (OpAmp : Operational Amplifier) ซึ่งจัดวงจรให้มีการป้อนกลับแบบบวกเพื่อเพิ่มอัตราขยายของวงจรและป้องกันการออสซิลเลตในขณะที่ไม่มีสัญญาณอินพุต วงจรนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 วงจรเปรียบเทียบ

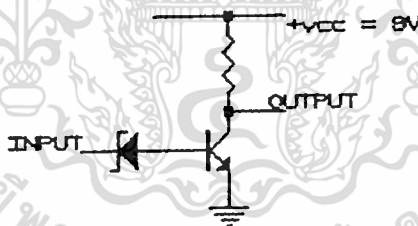
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากวงจรในรูปที่ 2.16  $R_1$  และ  $R_2$  เป็นตัวความต้านทานที่ทำหน้าที่สร้างคิกคาเปรียบเทียบและเป็นคิกคาคงที่ (กราวด์เทียบ) บ้อนให้แก่ขาลบของออปแอมป์ สัญญาณอินพุตจะถูกบ้อนผ่าน  $C_1$  โดยมี  $R_3$  เป็นโหลดซึ่งต่ออยู่กับกราวด์เทียบ

$R_f$  เป็นความต้านทานซึ่งบ้อนกลับจากเอาต์พุตมายังอินพุตบวก ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นการบ้อนกลับแบบบวกซึ่งสามารถเพิ่มอัตราขยายรวมของวงจรรวมได้ นอกจากนี้ยังป้องกันการออสซิลเลตได้ เพราะเมื่อจะเกิดการออสซิลเลตขึ้น การบ้อนกลับแบบบวกจะทำให้เอาต์พุตเกิดการอิ่มตัว (saturate) และเมื่อเอาต์พุตอิ่มตัว ก็จะบ้อนกลับมายังอินพุตแบบบวกทำให้เกิดการอิ่มตัวอยู่เช่นนั้นตลอดไปตราบใดที่ยังไม่มีสัญญาณเข้ามาทางอินพุตของวงจร

## 2.9 วงจรกลับระดับสัญญาณ

เนื่องจากโครงสร้างของวงจรของเรา สัญญาณที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบคิกคาจะมีลักษณะกลับเฟสกับสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องส่ง จึงจำเป็นต้องมีวงจรที่ทำหน้าที่กลับระดับคิกคาอีกครั้งหนึ่ง ดังแสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 วงจรกลับระดับสัญญาณ

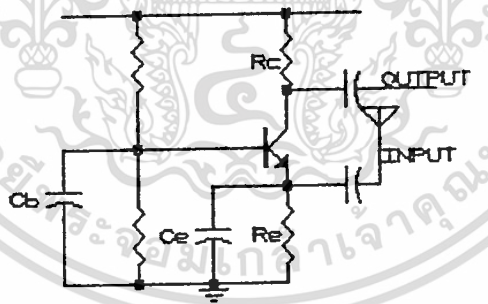
จากรูปที่ 2.17 เราจะสังเกตได้ว่ามีซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode) ต่ออยู่อย่างไบแอสกลับ (reverse bias) เนื่องจากเราต้องใช้วงจรนี้ต่อกับวงจรเปรียบเทียบ ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ LM741 ในการทำงาน จากการทดลองเราพบว่าเมื่อสัญญาณเอาต์พุตของ LM741 มีสถานะเป็น "ต่ำ" ก็ตาม แต่คิกคาจะสูงกว่า 0.6 โวลท์อยู่มาก ซึ่งเป็นการยากลำบากที่จะออกแบบวงจรกลับระดับสัญญาณที่ใช้ตัวต้านทานแทนซีเนอร์ไดโอดในรูปที่ 2.17 ได้

ในวงจรในรูปที่ 2.17 เมื่อสัญญาณอินพุตมีระดับใกล้เคียง  $V_{CC}$  เมื่ออยู่ในสถานะ "สูง" และมีขนาดประมาณ 3 โวลต์ เมื่ออยู่ในสถานะ "ต่ำ" เราอาจเลือกใช้ซีเนอร์ไดโอดที่มีศักดาเบรคดาวน์ (breakdown voltage) ประมาณ 5 โวลต์ เพื่อให้วงจรทำงานโดยสมบูรณ์ได้

### ✓2.10 วงจรขยายสัญญาณความถี่วิทยุ

สัญญาณที่ส่งออกมาจากเครื่องส่งกว่าที่จะเดินทางมาถึงเสาอากาศของเครื่องรับ จะมีระดับขนาดสัญญาณที่เล็กมาก ดังนั้น จึงต้องผ่านเข้าวงจรขยายเสียก่อน ซึ่งวงจรขยายที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณความถี่สูงจากเสาอากาศนี้ เรามักเลือกใช้วงจรขยายแบบเบสร่วม (common base) เนื่องจากวงจรขยายแบบนี้มีข้อดีสองประการที่เหมาะสมกับงานนี้ คือ

1. สามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงเกือบเท่า  $f_T$  ของทรานซิสเตอร์
2. มีค่าอิมพีแดนซ์ทางขาเข้าต่ำ ซึ่งเหมาะสมกับอิมพีแดนซ์ของเสาอากาศที่ใช้งาน เป็นการลดการสูญเสีย (loss) ลงได้



รูปที่ 2.18 วงจรขยายสัญญาณวิทยุแบบเบสร่วม

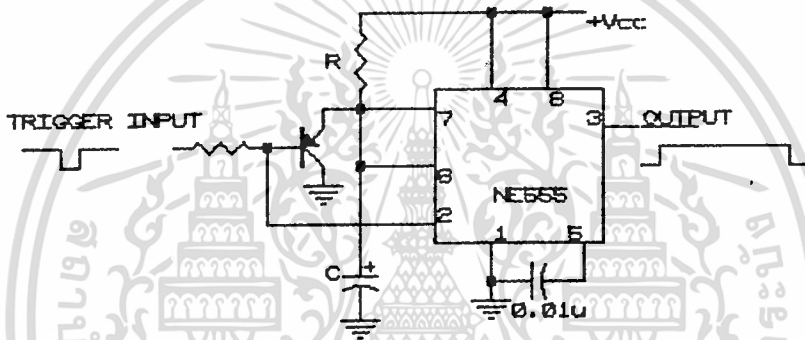
วงจรขยายสัญญาณแบบเบสร่วมดังในรูปที่ 2.18 นี้จะมีความต้านทานทางขาเข้าเป็น  $1/g_m$  โดย  $g_m$  เป็นทรานส์คอนดักแตนซ์ (transconductance) ของทรานซิสเตอร์

ความต้านทานทางขาออกเป็น  $R_C$

และมีอัตราขยายศักดาเป็น  $R_C / Z_E$

## 2.11 วงจรตั้งเวลาแบบกระตุ้นซ้ำได้ (Retriggable Monostable Multivibrator)

เป็นวงจรที่อาศัยไอซีเบอร์ NE555 เป็นหลักในการทำงาน เหตุผลที่ต้องมีวงจรในส่วนนี้เป็นเพราะเราต้องการป้องกันการทำงานที่อาจผิดพลาดได้เมื่อเครื่องส่งและเครื่องรับอยู่ห่างไกลจากกัน ซึ่งจะทำให้สัญญาณที่ได้รับอาจเกิดการขาดหายทั้งที่เครื่องส่งยังทำงานอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะเกิดผลเสียหายได้เมื่อเรานำเครื่องรับไปต่อใช้งานกับอุปกรณ์ที่ทำงานแบบกดติด-กดดับ (toggle) วงจรในส่วนนี้ได้จากการนำ NE555 มาต่อใช้งานร่วมกับทรานซิสเตอร์แบบพีเอ็นพี (PNP Transister) อีกหนึ่งตัว ดังในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 วงจรโมโนสเตเบิลแบบกระตุ้นซ้ำได้

การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ เมื่อมีสัญญาณกระตุ้นซึ่งมีศักดาเป็นศูนย์โวลท์เมื่อเทียบกับกรานด์ มาเข้าที่อินพุตของวงจรซึ่งก็เป็นขาเบสของทรานซิสเตอร์ด้วย จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน (อยู่ในสถานะ "ON") จะทำให้ C คายประจุออก ขณะนั้นเอาต์พุตของไอซีก็จะเปลี่ยนสถานะ "ต่ำ" มาเป็น "สูง" ซึ่งหากสัญญาณกระตุ้นยังคงมีอยู่ต่อไป ประจุในตัวเก็บประจุก็จะไม่มี ซึ่งจะทำให้สัญญาณขาออกยังคงเป็นสถานะ "สูง" อยู่ต่อไป จนเมื่อใดที่สัญญาณอินพุตของวงจรไม่มี (อินพุตถูกตัดออกหรืออยู่ในสถานะ "สูง") ทรานซิสเตอร์ก็จะไม่ทำงาน ตัวเก็บประจุ C จะถูกประจุ (charge) จนเมื่อศักดาตกคร่อมตัวมันเป็น  $2/3 V_{CC}$  สัญญาณขาออกของวงจร (ขา 3 ของไอซี) ก็จะเปลี่ยนสถานะจาก "สูง" ไปเป็น "ต่ำ"

ข้อควรสังเกตของวงจรนี้ก็คือ ในขณะที่ตัวเก็บประจุกำลังถูกประจุนั้น (ซึ่งเอาต์พุตของไอซียังอยู่ในสถานะ "สูง" อยู่) มีสัญญาณกระตุ้นเข้ามาทางอินพุต ประจุในตัวเก็บประ-

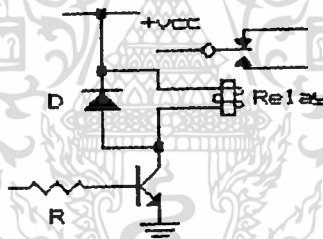
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุกก็ถูกคายออก (discharge) โดยทันทีโดยมีศักดาตกคร่อมตัวมันเป็น 0 โวลท์หรือใกล้  
 เคียง ซึ่งจะทำให้ศักดาคร่อมตัวมันจะต้องถูกชาร์จขึ้นเป็น  $2/3 V_{CC}$  จาก 0 โวลท์ เพื่อให้  
 เอาต์พุตของไอซีเปลี่ยนสถานะจาก "สูง" เป็น "ต่ำ" ซึ่งเป็นการนับเวลาใหม่ ซึ่งก็คือเป็น  
 วงจรตั้งเวลาแบบกระตุ้นซ้ำได้นั่นเอง. โดยช่วงเวลานี้สามารถคำนวณได้คือ

$$T_{high} = 1.1 RC \quad \text{วินาที}$$

## 2.12 วงจรขับรีเลย์ (Relay Driving Circuit)

ในบางครั้ง เราต้องการใช้งานวงจรรีเลคทรอนิกส์ (electronics circuit) ในการควบคุม  
 เครื่องใช้ไฟฟ้าบางชนิด ซึ่งวงจรรีเลคทรอนิกส์โดยลำพังเองไม่สามารถจ่ายกระแสได้มาก  
 เพียงพอต่อความต้องการของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้น จึงจำเป็นที่เราต้องใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า รีเลย์  
 (Relay) มาช่วยในการทำงาน



รูปที่ 2.20 วงจรขับรีเลย์

รูปที่ 2.20 เป็นตัวอย่างวงจรถูกใช้ขับรีเลย์ด้วยทรานซิสเตอร์ โดยเมื่ออินพุตของวงจรมี  
 ศักดาที่สูงพอสมควร ทรานซิสเตอร์จะทำงาน ทำให้มีกระแสไหลในรีเลย์ โดยแรงดัน  
 ตกคร่อมขาอีมิเตอร์-คอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์มีค่าเกือบเป็น 0 โวลท์ ทำให้รีเลย์ทำ  
 งาน ในทางตรงกันข้าม หากศักดาที่อินพุตมีค่าต่ำใกล้เคียงกราวด์ ทรานซิสเตอร์จะไม่ทำ  
 งาน ซึ่งจะไม่มีการไหลผ่านขาคอลเลคเตอร์ (กระแสคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์มีค่า  
 ใกล้ศูนย์) จึงทำให้รีเลย์ไม่ทำงาน ข้อดีของวงจรมีก็คือ กระแสที่ไหลเข้าทางอินพุตของวง  
 จรจะมีค่าต่ำกว่ากระแสที่รีเลย์ต้องการถึง  $\beta_0$  เท่า ( $\beta_0$  เป็นอัตราขยายทางไฟฟ้าของทรานซิส  
 เตอร์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

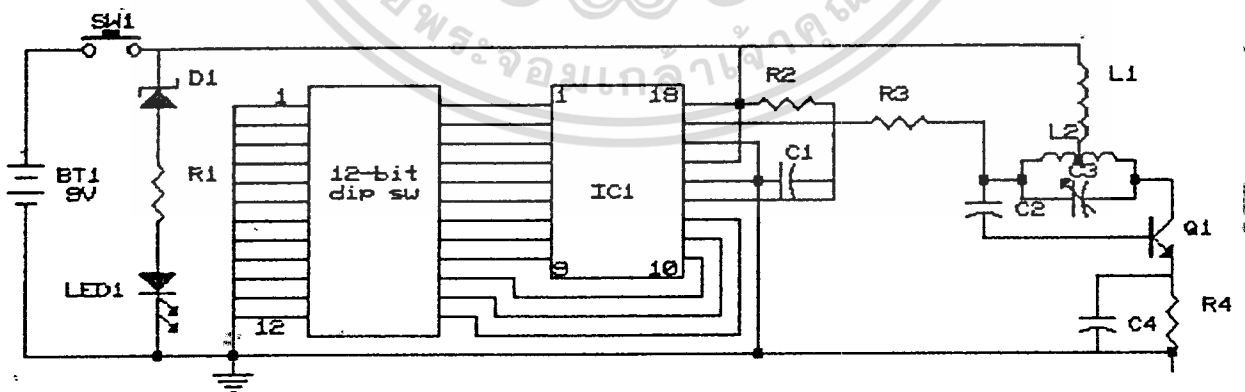
## บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง

จากทฤษฎีและหลักการในการทำงานที่อธิบายมาในบทที่ 2 ทั้งหมด เราจะสามารถนำมาสร้างเป็นวงจรที่ใช้ในโครงงานของเราได้ โดยจะแยกออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ วงจรเครื่องส่ง ซึ่งมีสองแบบ และวงจรเครื่องรับ

### เครื่องส่ง

#### 3.1 เครื่องส่งที่ใช้วงจรถักกำเนิดความถี่แบบ LC

เราใช้สัญญาณเอาต์พุตจากไอซี MM53200 เป็นตัวควบคุมการทำงานของวงจร คือ เมื่อสัญญาณเอาต์พุตมีระดับสูง วงจรจะกำเนิดความถี่ซึ่งมีค่าประมาณ 300 เมกะเฮิรตซ์ ออกมา ในทางตรงกันข้าม ถ้าไม่มีสัญญาณเอาต์พุตจาก MM53200 วงจรก็จะหยุดออกสวิตช์ ซึ่งดูเหมือนการผลมสัญญาณตามแอมพลิจูด (Amplitude Modulation : AM) นั่นเอง



**รูปที่ 3.1** วงจรเครื่องส่งแบบ LC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรในส่วนกำเนิดความถี่ซึ่งประกอบด้วย  $Q_1, L_1, L_3, C_3, C_2, R_3, R_4, C_4$  ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.5 แล้ว โดย  $C_4$  ทำหน้าที่บายพาสสัญญาณความถี่สูงซึ่งทำให้วงจรขยายมีอัตราขยายที่สูงขึ้นที่ความถี่สูง  $C_2$  เป็นตัวบ่อนกลับของสัญญาณ โดยมี  $R_3$  เป็นตัวไบแอสให้แก่ทรานซิสเตอร์  $Q_1$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{Hz}$$

เมื่อ  $L$  เป็นค่าความเหนี่ยวนำของวงจรแท็งก์ (Henry ; H)

$C$  เป็นค่าความจุของตัวเก็บประจุในวงจรแท็งก์ (Farad ; F)

ซึ่งในวงจร เราใช้  $C_3$  ในวงจรแท็งก์เป็นแบบปรับค่าได้ ซึ่งมีค่า 5 - 30 pF จึงเลือกใช้ค่ากลางของมันซึ่งก็คือ 15 pF โดยเราต้องการให้ความถี่ที่จะกำเนิดเป็น 300 เมกกะเฮิร์ตซ์ ดังนั้นต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำค่า

$$L = \frac{1}{(15 \times 10^{-12})(2\pi \times 300 \times 10^6)^2} \approx 18.8 \quad \text{nH}$$

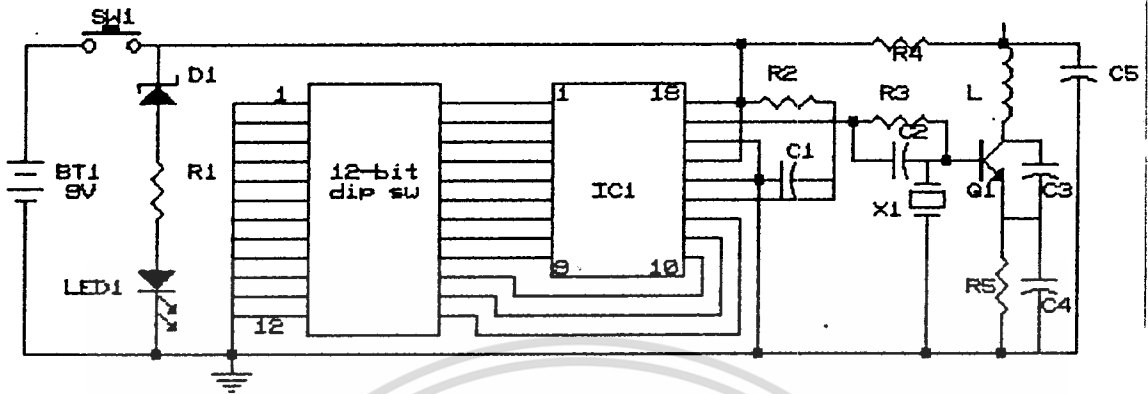
จะเห็นว่าค่าความเหนี่ยวนำที่ต้องใช้มีขนาดเล็กมาก ดังนั้นเราจึงอาศัยหลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์แทนการพันขดลวด ซึ่งจะได้ประโยชน์อีกประการหนึ่งคือ เมื่อเราต้องการผลิตเป็นจำนวนมากจะสามารถทำได้โดยสะดวก ส่วนรายการอุปกรณ์และลายวงจรพิมพ์ได้รวบรวมไว้ในภาคผนวกแล้ว  $D_1, R_1$  และ  $LED_1$  ใช้เพื่อตรวจสอบศักดาของแบตเตอรี่ว่าเพียงพอในการทำงานหรือไม่

### 3.2 เครื่องส่งแบบที่ใช้วงจรกำเนิดความถี่แบบใช้ผลึกควบคุมความถี่

ผลึกควบคุมความถี่ที่เราเลือกใช้นี้เรียกว่า "ซอว์" (SAW : Surface Acoustic Wave) ซึ่งมีลักษณะการใช้งานเหมือนผลึกคริสตอล (crystal) ทั่ว ๆ ไป ซึ่งเราได้ออกแบบวงจรไว้ดังในรูปที่ 3.2 - -

วงจรนี้ได้รับการดัดแปลงมาจากวงจรในหัวข้อที่ 2.4 โดยเราเลือกใช้  $C_3$  และ  $C_4$  มีค่าเป็น 3 และ 10 พิโคฟารัด ( $1\text{pF} = 10^{-12} \text{ F}$ ) ตามลำดับ ซึ่งทำให้ต้องใช้  $L$  มีค่าเป็น

$$L = \frac{1}{(2 \times 300 \times 10^6)^2 \frac{3 \times 10^{-12} \times 10 \times 10^{-12}}{(3 \times 10^{-12}) + (10 \times 10^{-12})}}$$



รูปที่ 3.2 วงจรเครื่องส่งแบบที่ใช้หลักการควบคุมความถี่

$$\approx 126 \text{ nH}$$

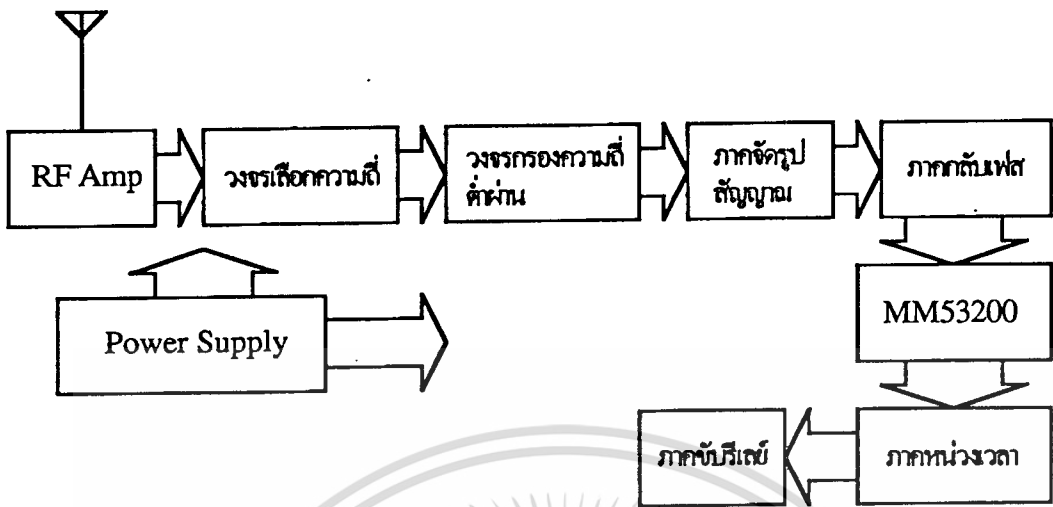
ซึ่งการพันตัวเหนี่ยวนำด้วยลวดอบน้ำยาตามธรรมดา นั้น ทำได้ยากในการพันตัวเหนี่ยวนำขนาดเล็กเช่นนี้ เราจึงใช้วิธีออกแบบลายวงจรพิมพ์ให้ทำหน้าที่แทนตัวเหนี่ยวนำ โดยรายการอุปกรณ์และลายวงจรพิมพ์ได้รวมไว้ในภาคผนวกแล้ว

### เครื่องรับ

รูปที่ 3.3 แสดงผังการทำงานของเครื่องรับในโครงการนี้

รูปที่ 3.4 แสดงวงจรของเครื่องรับ ซึ่งสามารถอธิบายการทำงานได้ดังนี้ เมื่อเราจ่ายไฟเลี้ยง ไฟเลี้ยงจะถูกกรองเสียชั้นหนึ่งโดยไดโอด  $D_1$  และ  $R_1$  กับ  $C_1$  โดยไดโอด  $D_1$  เป็นตัวป้องกันการป้อนไฟเลี้ยงผิดขั้วไปในตัวด้วย จากนั้นจะถูกทำให้เรียบโดย  $IC_1$  ซึ่งเป็นไอซีเรกูเลเตอร์ (Regulator) เบอร์ 78L09 และไฟตรงที่ได้จาก  $IC_1$  จะถูกดีคัปปลิ่ง (decoupling) เพื่อกรองเอาความถี่สูง ๆ ที่อาจเข้ามารบกวนการทำงานได้ทางไฟเลี้ยง จากนั้นจึงจ่ายไปยังส่วนต่าง ๆ ของวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ผังการทำงานของเครื่องรับ

สัญญาณวิทยุจะถูกรับเข้าทางสายอากาศเข้าสู่วงจรขยายแบบเบสร่วม ซึ่งมีทรานซิสเตอร์  $Q_1$  เป็นอุปกรณ์ในการทำงาน สัญญาณที่ขยายแล้วจะถูกส่งผ่าน  $C_6$  ไปยังวงจรขยายชนิดเลือกความถี่ซึ่งสามารถปรับความถี่ที่เลือกได้โดยการปรับค่า  $C_7$  และ/หรือ  $L_1$  ซึ่งความถี่ที่เลือกนี้สามารถคำนวณได้จากสูตร

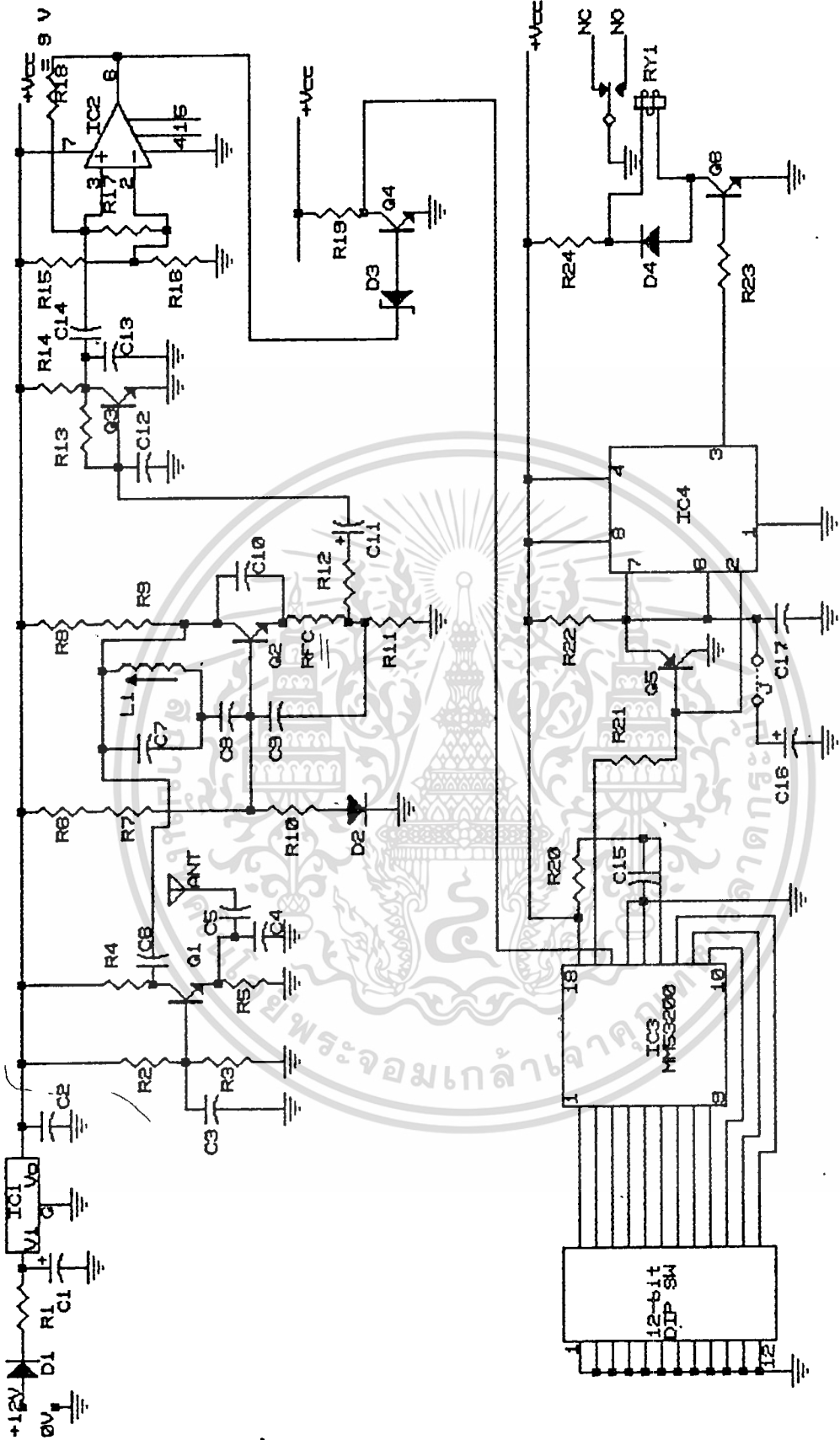
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{Hz}$$

ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 2.7 โดยในวงจรของเราเลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าคงที่และปรับค่าความเหนี่ยวนำ โดยใช้  $C_7$  มีค่าเป็น 4 พิโคฟารัด ดังนั้นต้องใช้ตัวเหนี่ยวนำมีค่าเป็น

$$L = \frac{1}{(4 \times 10^{-12}) (2\pi \times 300 \times 10^6)^2} \approx 70 \text{ nH}$$

ซึ่งได้จากการพันลวดอาบนํ้ายابบนแกนพลาสติก (coil form) ประมาณ 1 1/2 รอบ โดยมีแกนเฟอร์ไรท์ (ferrite) อยู่ตรงกลางที่สามารถปรับได้เพื่อให้สามารถเปลี่ยนค่าความเหนี่ยวนำได้ โดยทั้งหมดนี้ถูกครอบไว้ด้วยกระป๋องเหล็กงกราวด์เพื่อเป็นชิลด์ (shield) อีกทีหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณที่ได้จากการเลือกความถี่จะถูกส่งผ่าน  $R_{12}$  และ  $C_{11}$  เพื่อกรองให้เรียบ โดย  $C_{12}$ ,  $C_{13}$ ,  $R_{14}$  และมีทรานซิสเตอร์  $Q_2$  เป็นบัฟเฟอร์อีกทีหนึ่ง หลังจากนั้นจะถูกส่งผ่าน  $C_{14}$  ไปเข้าวงจรเปรียบเทียบกับ  $IC_2$  จากนั้นจะถูกกลับเฟสด้วย  $Q_4$  เหตุผลที่เราต่อขาเบสของทรานซิสเตอร์  $Q_4$  ด้วยซีเนอร์โคโอดเพราะสัญญาณขาออก (output) ของไอซี 741 เมื่อเป็นสถานะ "ต่ำ" มีค่าไม่เป็น 0 โวลต์ แต่ยังมีค่าอยู่สูงประมาณ 2 โวลต์ ดังนั้นจึงต้องใช้ซีเนอร์โคโอดต่อกันสักคานี้เอาไว้ จากนั้นสัญญาณที่ถูกกลับเฟสแล้วจะถูกส่งเข้าอครหัสโดยไอซีเบอร์ MM53200 ซึ่งจะตรวจดูรหัสที่รับได้ว่าตรงกับที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้าตรง เอาต์พุตของไอซีก็จะเปลี่ยนสถานะจาก "สูง" เป็น "ต่ำ" ซึ่งจะเป็นการกระตุ้นให้ไอซี NE555 ซึ่งต่อร่วมกับทรานซิสเตอร์  $Q_5$  เป็นวงจรโมโนสเตเบิลแบบกระตุ้นซ้ำได้ ให้ทำงานซึ่งจะทำให้เอาต์พุตของ  $IC_4$  เปลี่ยนสถานะจาก "ต่ำ" เป็น "สูง" ซึ่งก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์  $Q_6$  ทำงานซึ่งจะทำให้รีเลย์ทำงานด้วย โดยรีเลย์จะทำงานตลอดเวลาที่รหัสที่ถูกต้องเข้ามาทางอินพุตของ  $IC_3$  และจะยังคงทำงานอยู่อีกเป็นเวลาที่  $T$  ค่าหนึ่ง หลังจากทีรหัสที่ถูกต้องนั้นหายไป โดยช่วงเวลา  $T$  นี้คำนวณได้จากสูตร

$$T = 1.1 R_{22} (C_{16} + C_{17}) \quad \text{sec.}$$

โดย  $R_{22}$  มีหน่วยเป็นโอห์ม  
 $C_{16}, C_{17}$  มีหน่วยเป็นฟารัด

ซึ่งในวงจรของเราใช้  $R_{22}$  มีค่า  $270 \text{ K}\Omega$ ,  $C_{16}$  และ  $C_{17}$  มีค่า  $4.7 \mu\text{F}$  และ  $200 \text{ pF}$  ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเราต่อสายเชื่อม J ในวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ จะได้เวลาหน่วง  $T$  เป็น

$$\begin{aligned} T &\approx 1.1(270 \times 10^3)(4.7 \times 10^{-6} + 200 \times 10^{-12}) \\ &\approx 1.4 \quad \text{วินาที} \end{aligned}$$

และถ้าตัดสายเชื่อม J บนแผ่นวงจรพิมพ์จะได้

$$\begin{aligned} T &\approx 1.1(270 \times 10^3)(200 \times 10^{-12}) \\ &\approx 5.94 \times 10^5 \quad \text{วินาที} \end{aligned}$$

ซึ่งมีค่าต่ำมากเหมือนการไม่ได้หน่วงเวลานั่นเอง  $R_{24}$  ในวงจรมีไว้เพื่อลดค่าคาบคกร้อมตัวรีเลย์ในกรณีที่เราใช้รีเลย์ที่ต้องการแรงดันต่ำกว่าไฟเลี้ยง  $V_{CC}$  โดย

$$R_{24} = \frac{Z_R(V_{CC} - V_R)}{V_R}$$

โดย  $Z_R$  เป็นอิมพีแดนซ์ของรีเลย์ (โอห์ม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V_{CC}$  เป็นศักดาไฟเลี้ยง (โวลท์)

$V_R$  เป็นศักดาที่รีเลย์ต้องการ (โวลท์)

$Q_1$  เป็นไดโอดป้องกันทรานซิสเตอร์  $Q_6$  เสียหายเมื่อ  $Q_6$  เปลี่ยนสถานะจากนำกระแสไปเป็นไม้นำกระแส

ส่วนรายการอุปกรณ์และลายวงจรมิพของภาคนี้ได้รับรวมอยู่ในภาคผนวกแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

หลังจากการคำนวณและการสร้างตามที่ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 3 เราต้องทดลองผลที่ได้จากเครื่องส่งและเครื่องรับของเราว่าเป็นไปตามที่ต้องการหรือไม่ โดยจะแยกตรวจสอบออกเป็น 2 ส่วนคือ เครื่องส่ง และเครื่องรับ

#### 4.1 การทดลองเครื่องส่ง

ในการทดลองการทำงานของเครื่องส่งนั้น เราแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ทดลองความเที่ยงตรงของแถบความถี่ว่าเครื่องส่งของเรากำเนิดความถี่ออกมาเที่ยงตรงเพียงใด และทดลองว่ามีความถี่ฮาร์โมนิกส์ (Harmonics frequency) เกิดขึ้นด้วยมากน้อยเพียงใด

##### 4.1.1 การทดลองเครื่องส่งแบบ LC

ได้ทำการปรับแอสจเจอร์กำเนิดความถี่ให้ทำงานตลอดเวลา คือยังไม่มอดูเลตสัญญาณดิจิตอลเข้าไป ปรากฏว่ามีความถี่ฐาน (fundamental frequency) ที่ประมาณ 200 - 400 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งขึ้นกับการปรับแต่งตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ที่วงจรถ่วง และมีความถี่ฮาร์โมนิกส์เกิดขึ้นพอสมควร ดังแสดงในรูปที่ 4.1

จากนั้นปรับเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ (Spectrum Analyser) ให้รับเฉพาะความถี่บริเวณ 300 เมกะเฮิร์ตซ์เพื่อดูว่าความถี่ที่ถูกสร้างขึ้นนี้มีความเที่ยงตรงเพียงใด (มี Q สูงเพียงใด) ซึ่งผลที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.2

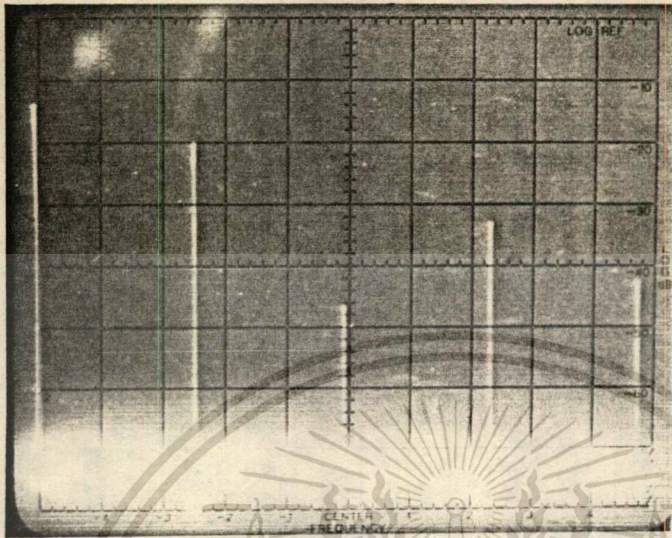
##### 4.1.2 การทดลองเครื่องส่งแบบควบคุมความถี่ด้วยผลึก

ในวงจรมันเราได้ทำการทดลองตามลำดับเช่นเดียวกับเครื่องส่งแบบ LC คือเราปรับแอสจเจอร์กำเนิดความถี่ไว้ให้ทำงานตลอดเวลาแล้วใช้เครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ตรวจดูฮาร์โมนิกส์ของมัน ซึ่งผลปรากฏว่าไม่ปรากฏความถี่คู่ควมให้เห็นเลย ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 4.3

จากนั้นปรับเครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ให้ตรวจที่แถบความถี่ประมาณ 300 เมกะเฮิร์ตซ์ แล้วจ่ายไฟให้เครื่องส่งทำงานเพื่อตรวจดูความเที่ยงตรงของความถี่ที่เกิดจากวงจรถ่วง ปรากฏว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ คือมีความถี่ที่คม (ค่า Q สูง) พอควร ดังแสดงในรูปที่ 4.4

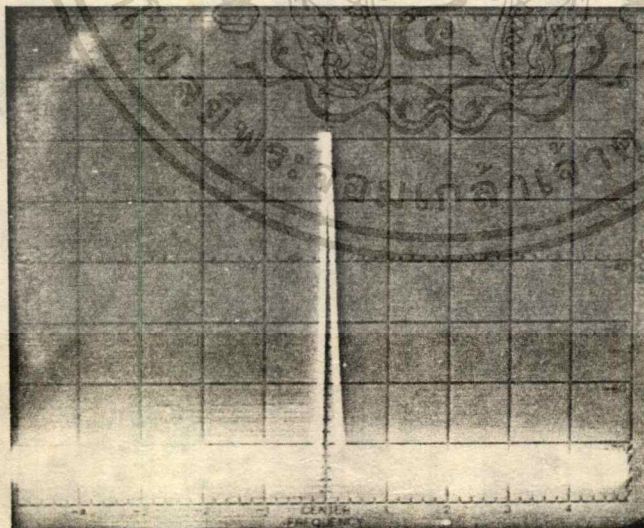
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แนวตอนประมาณ 100 MHz/ช่อง

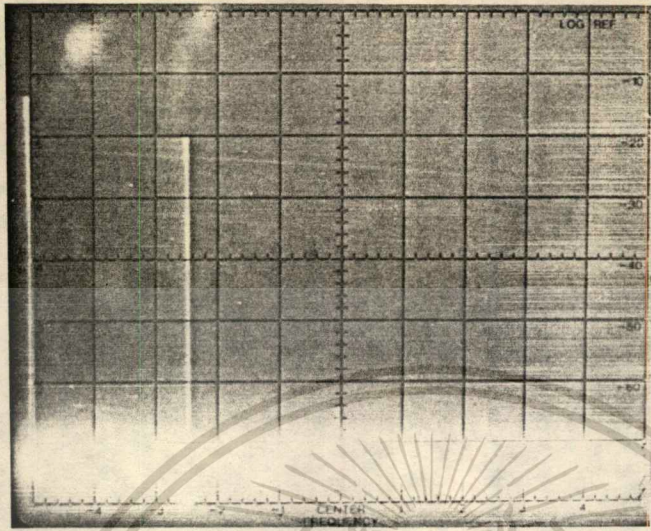
รูปที่ 4.1 แสดงแถบความถี่ที่เกิดขึ้นจากเครื่องส่งแบบ LC Oscillator



เส้นแกว่งตรงกลางอยู่ที่  
ความถี่ประมาณ 300 MHz

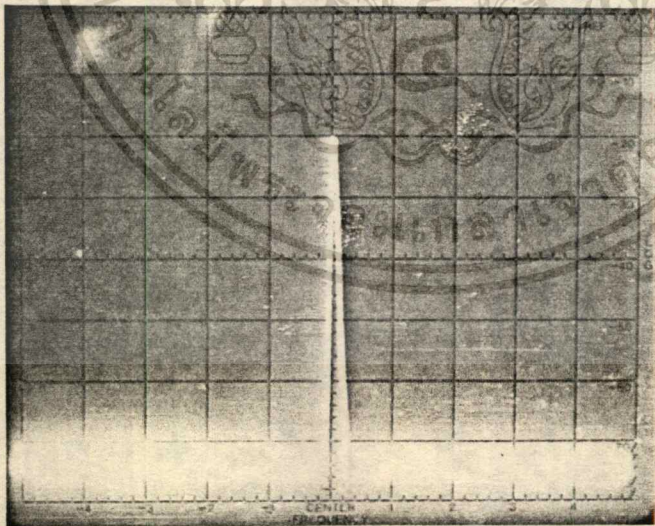
รูปที่ 4.2 แสดงความเที่ยงตรงของความถี่ที่กำเนิดขึ้นจากเครื่องส่งแบบ LC Oscillator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แนวนอนประมาณ 100 MHz/ช่อง

รูปที่ 4.3 แสดงแถบความถี่ที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าไม่มีความถี่คู่ควบปรากฏให้เห็น



เส้นแกนตั้ง ตรงกลางอยู่ที่  
ความถี่ประมาณ 3 00 MHz

รูปที่ 4.4 แสดงความเที่ยงตรงของความถี่ที่กำเนิดจากเครื่องส่งแบบควบคุมด้วยผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

## 4.2 การทดลองเครื่องรับ

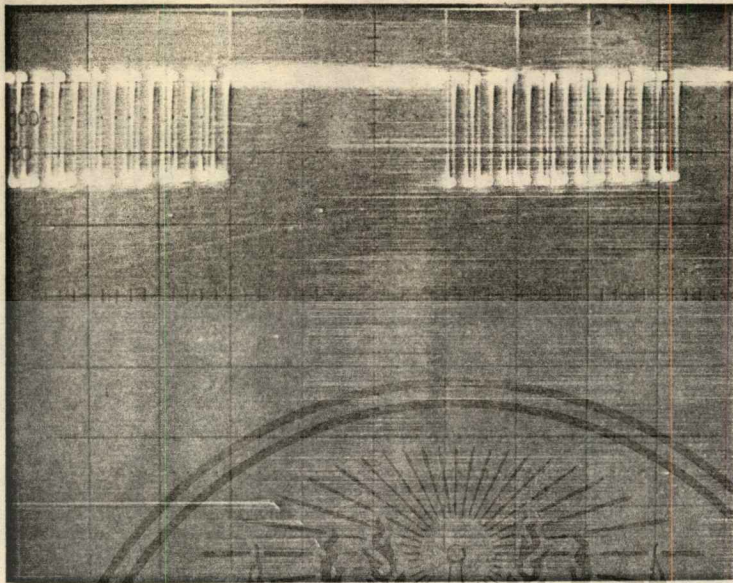
เนื่องจากเครื่องรับของเรามีตัวเหนี่ยวนำชนิดปรับค่าได้อยู่ในวงจรด้วย เราจึงต้องทำการปรับตัวเหนี่ยวนำนี้ให้รับความถี่ที่เหมาะสมกับความถี่ที่ทางเครื่องส่งส่งออกมา วิธีในการปรับของเราคือ ให้เครื่องส่งทำงานโดยการส่งรหัสผสมเข้ามาในสัญญาณด้วย แล้วตรวจสอบสัญญาณที่รับได้และผ่านการเลือกความถี่รวมทั้งกรองเอาความถี่สูงออกแล้ว ซึ่งก็คือจุดที่ขาคอลเล็คเตอร์ของ  $Q_3$  จากนั้นก็ทำการปรับแกนเฟอร์ไรท์ในตัวเหนี่ยวนำแบบปรับค่าได้ให้สามารถรับสัญญาณได้แรงที่สุด โดยสัญญาณที่ขาคอลเล็คเตอร์ของ  $Q_3$  นี้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5

วิธีการปรับแต่งก็คือ ให้เครื่องส่งทำงานแล้วปรับตัวเหนี่ยวนำจนสามารถรับสัญญาณได้แรงที่สุด

จากนั้นทำการวัดสัญญาณที่ขา 6 ของ  $IC_2$  เพื่อดูการทำงานของวงจรจัดระดับสัญญาณ (ซึ่งความจริงเป็นวงจรเปรียบเทียบในลักษณะของ Zero Crossing Detector) ซึ่งได้ผลปรากฏตามรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นการแสดงถึงสัญญาณที่ขาคอลเล็คเตอร์ของ  $Q_3$  กับสัญญาณที่เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ

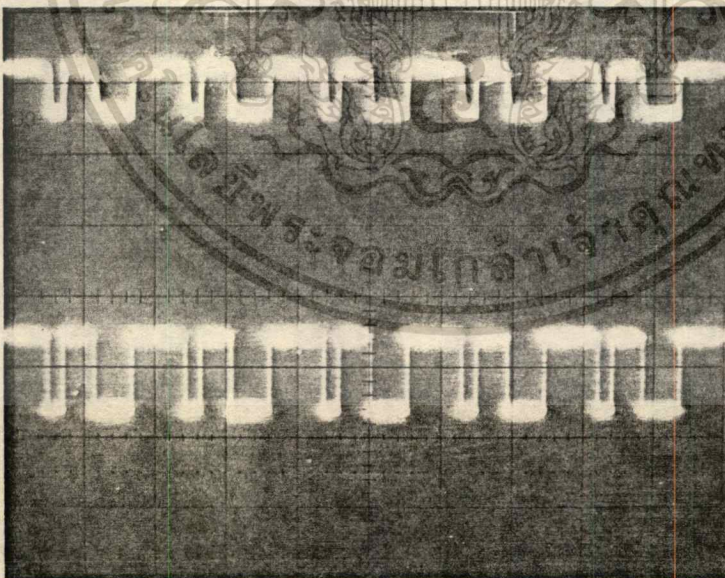
หลังจากที่เราทำการจัดรูปสัญญาณแล้ว ก็ต้องทำการกลับระดับคิกดาอีกครั้งหนึ่งด้วย วงจรกลับระดับสัญญาณที่ประกอบด้วย  $D_3$ ,  $R_{19}$  และ  $Q_4$  ซึ่งรับสัญญาณจากขา 6 ของ  $IC_2$  เทียบกับสัญญาณที่ขาคอลเล็คเตอร์ของ  $Q_4$  ซึ่งได้แสดงผลไว้ในรูปที่ 4.7

จากนั้นทดลองให้วงจรเครื่องส่งและเครื่องรับทำงานร่วมกัน โดยตั้งรหัสที่เครื่องส่งและเครื่องรับให้ตรงกันเมื่อทำการปรับแต่งวงจรเรียบร้อยแล้วนั้นก็ทดลองใช้งานดู ปรากฏว่าผลที่ได้เป็นที่น่าพอใจโดยวงจรทำงานได้ดีในระยะประมาณ 40 เมตร และเมื่อทดลองเปลี่ยนรหัสที่เครื่องส่งและเครื่องรับไม่ให้ตรงกัน วงจรก็จะไม่ทำงาน ซึ่งผลในลักษณะนี้จะทำให้เราสามารถใช่เครื่องที่มีลักษณะเดียวกันในบริเวณเดียวกันได้โดยไม่ทำให้เครื่องรับของชุดอื่นทำงานถ้าเราตั้งรหัสไว้ไม่ตรงกัน



๕  
 แกนตั้ง 2V/div  
 แกนนอน 10mS/div

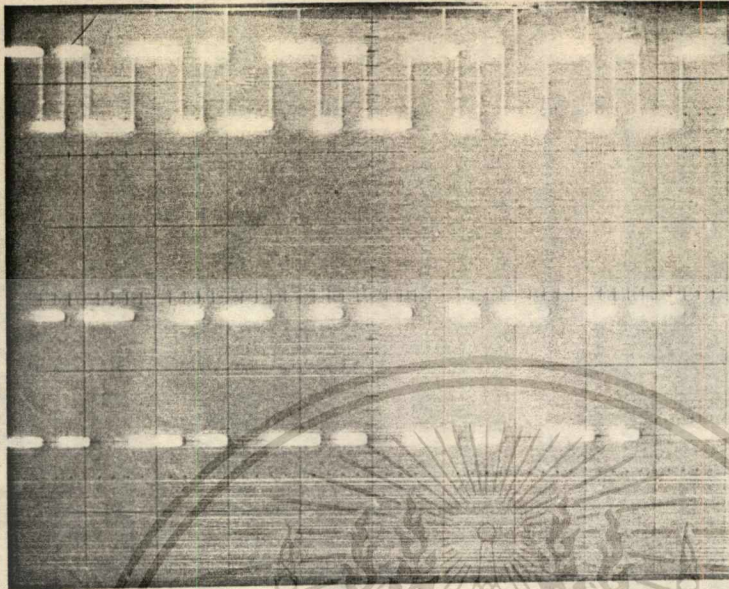
รูปที่ 4.5 สัญญาณที่รับได้ที่ขาคอลเลคเตอร์ของ  $Q_3$



๕  
 เส้นบน 2V/div  
 เส้นล่าง 5V/div  
 แกนนอน 2ms/div

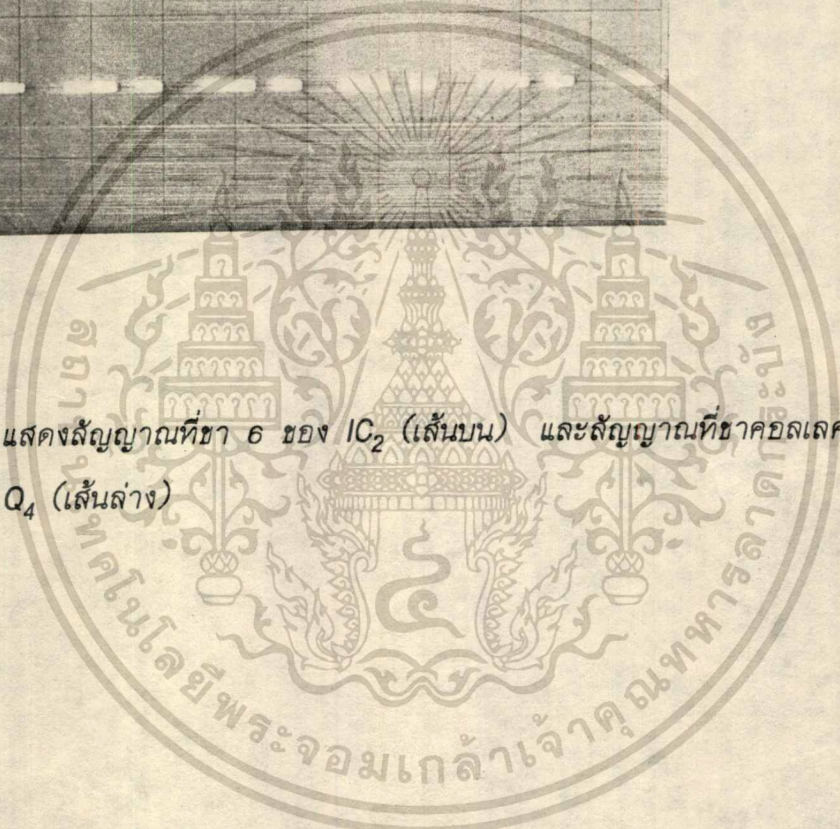
รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่ขาคอลเลคเตอร์ของ  $Q_3$  (เส้นบน) และสัญญาณที่ขา 6 ของ  $IC_2$  (เส้นล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แกนตั้ง 5V/div  
แกนนอน 2ms/div

รูปที่ 4.7 แสดงสัญญาณที่ขา 6 ของ IC<sub>2</sub> (เส้นบน) และสัญญาณที่ขาคอลเลคเตอร์ของ Q<sub>4</sub> (เส้นล่าง)



## บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป

เนื่องจากวงจรในโครงงานนี้ทำงานที่ความถี่ที่สูงมากพอสมควร ดังนั้น การทดลองในระยะเริ่มแรกจึงมีปัญหาอย่างมาก ซึ่งต้องอาศัยความพยายามในการทดลองหาข้อมูลอยู่เป็นเวลานาน เช่น ทางเครื่องส่งต้องหาขนาดของตัวเหนี่ยวนำที่ได้จากลายวงจรพิมพ์โดยใช้การทดลอง และทางเครื่องรับ การออกแบบลายวงจรพิมพ์และตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ไม่เหมาะสมมักจะทำให้เกิดการสูญเสียของสัญญาณ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานด้อยลงไป

จากการทดลองใช้งานปรากฏว่า เครื่องส่งทั้งสองแบบในโครงงานนี้สามารถทำงานได้ไกลจากเครื่องรับประมาณ 40 เมตรในที่โล่ง ในรัศมีดังกล่าวนี้ ผลการทำงานเป็นที่น่าพอใจไม่ผิดพลาด และเมื่อลองตั้งรหัสที่ตัวส่งกับตัวรับต่างกัน เครื่องรับก็จะไม่ทำงานซึ่งก็เป็นไปตามที่ได้คาดหวังไว้

เนื่องจากโครงงานชุดนี้ ทางผู้สร้างได้พยายามออกแบบโดยพยายามให้มีขนาดเล็กที่สุดทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับ และให้มีราคาถูก มีประสิทธิภาพที่ไว้วางใจได้มากในระยะรัศมีที่คาดหวัง (ประมาณ 40 เมตร) ซึ่งพอเพียงกับการนำไปประยุกต์ใช้งานต่าง ๆ ได้กว้างขวางพอสมควร และทั้งหมดนี้ก็เป็นที่ไปตามความคาดหมายทุกประการ

ด้วยว่าโครงงานชุดนี้ทำการส่งและรับข้อมูลด้วยรหัสแบบดิจิตอลซึ่งส่งข้อมูลในแบบอนุกรม นอกจากนั้นแล้วทางเครื่องรับยังทำการตรวจสอบรหัสให้ตรงกันถึง 4 รอบ ซึ่งทำให้ใช้เวลาพอสมควร ดังนั้น หลังจากถูกกดสวิทช์ที่เครื่องส่งให้ทำงานแล้ว จึงต้องรอเวลาอีกประมาณ 0.25 วินาทีที่เครื่องรับใช้ในการตรวจสอบ เครื่องรับจึงจะทำงาน และจากการที่เราได้ออกแบบวงจรหน่วงเวลาแบบกระตุ้นซ้ำได้ไว้ที่ตัวเครื่องรับด้วย ผลการทดลองใช้จึงปรากฏว่าไม่มีอาการ "วูบวาบ" ของสัญญาณเอาต์พุตเกิดขึ้นเลย

## ภาคผนวก

### รายการอุปกรณ์เครื่องส่งแบบ LC

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ :-

IC<sub>1</sub> MM53200

Q<sub>1</sub> 2N5179

D<sub>1</sub> ซีเนอร์ไดโอดขนาด 5.1 โวลท์ 1/2 วัตต์

LED<sub>1</sub> ไดโอดเปล่งแสง

ตัวต้านทานขนาด 1/4 W 5% :-

R<sub>1</sub> 100 Ω

R<sub>2</sub> 68 KΩ

R<sub>3</sub> 22 KΩ

R<sub>4</sub> 1 KΩ

ตัวเก็บประจุ แบบเซรามิค :-

C<sub>1</sub> 680 pF

C<sub>2</sub> 3 pF

C<sub>4</sub> 2000 pF

C<sub>3</sub> ตัวเก็บประจุแบบปรับค่าได้ 5-30 pF

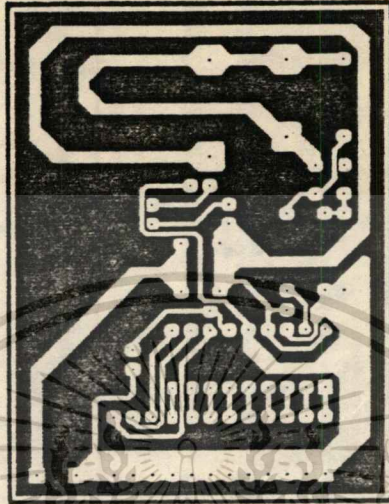
อื่น ๆ

DIP Switch ขนาด 12 บิต

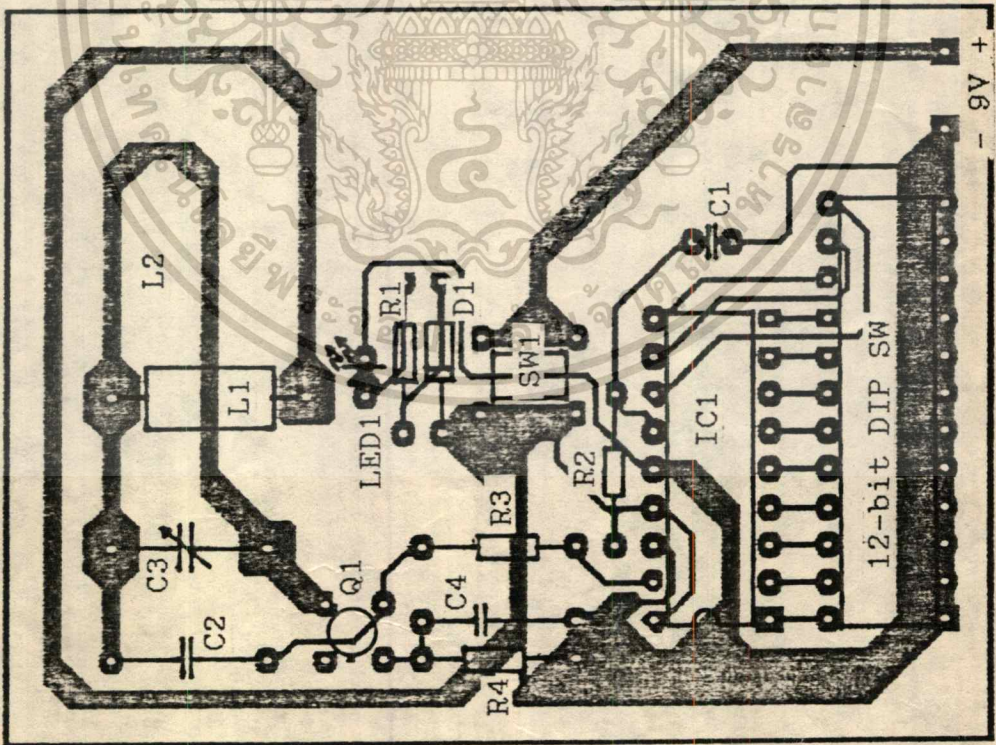
แบตเตอรี่ขนาด 9 โวลท์ และขั้วถ่าน

สวิตช์กดติดปล่อยดับ

L<sub>1</sub> ใช้ลวดเบอร์ 20 พันประมาณ 9 รอบ Ø 1/2 ซม.



ลายวงจรพิมพ์ด้านลายทองแดงของเครื่องส่งแบบ LC ขนาดเท่าของจริง



การวางอุปกรณ์ของเครื่องส่งแบบ LC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการอุปกรณ์ของเครื่องส่งแบบควบคุมความถี่ด้วยผลึก

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ :-

IC<sub>1</sub> MM53200

Q<sub>1</sub> 2N5179

D<sub>1</sub> ซีเนอริโคโอดขนาด 5.1 โวลต์ 1/2 วัตต์

LED<sub>1</sub> ไดโอดเปล่งแสง

ตัวต้านทานขนาด 1/4 W 5% :-

R<sub>1</sub> 100 Ω

R<sub>2</sub> 68 KΩ

R<sub>3</sub> 30 KΩ

R<sub>4</sub> 47 Ω

R<sub>5</sub> 100 Ω

ตัวเก็บประจุ แบบเซรามิก :-

C<sub>1</sub> 680 pF

C<sub>2</sub> 27 pF

C<sub>3</sub> 3 pF

C<sub>4</sub> 10 pF

C<sub>5</sub> 1000 pF

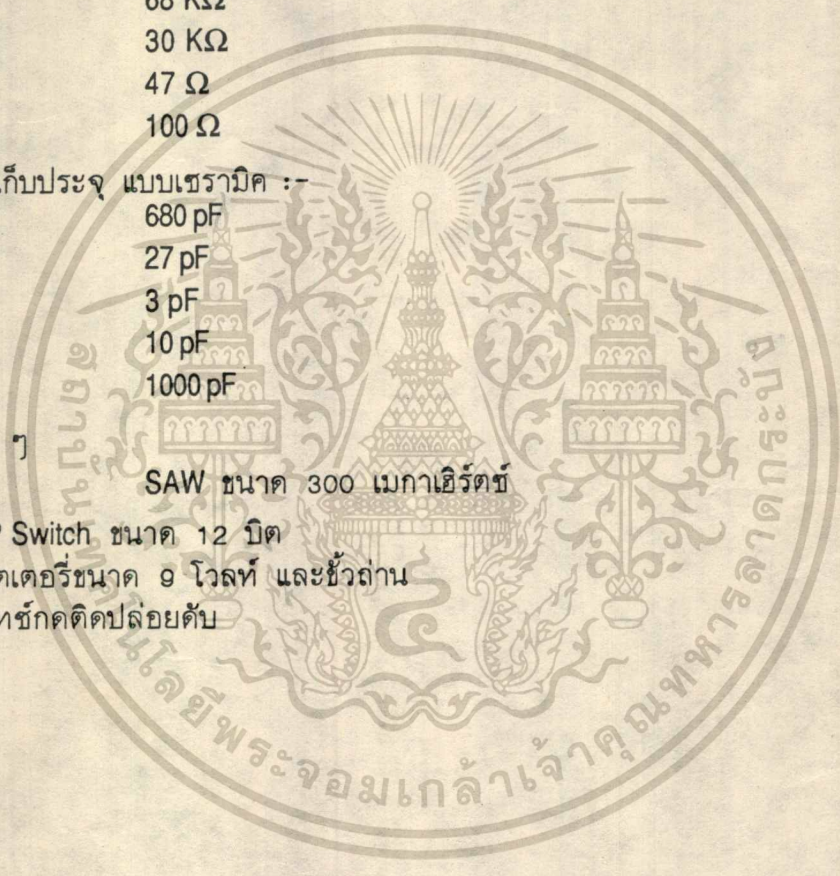
อื่น ๆ

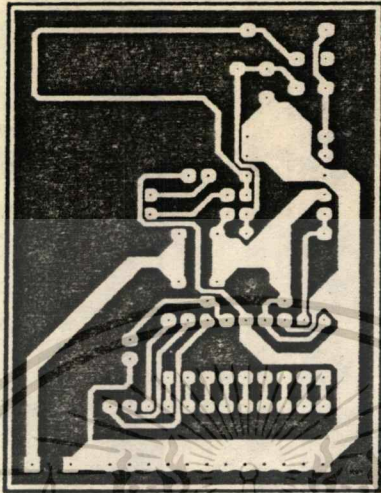
X<sub>1</sub> SAW ขนาด 300 เมกาเฮิร์ตซ์

DIP Switch ขนาด 12 บิต

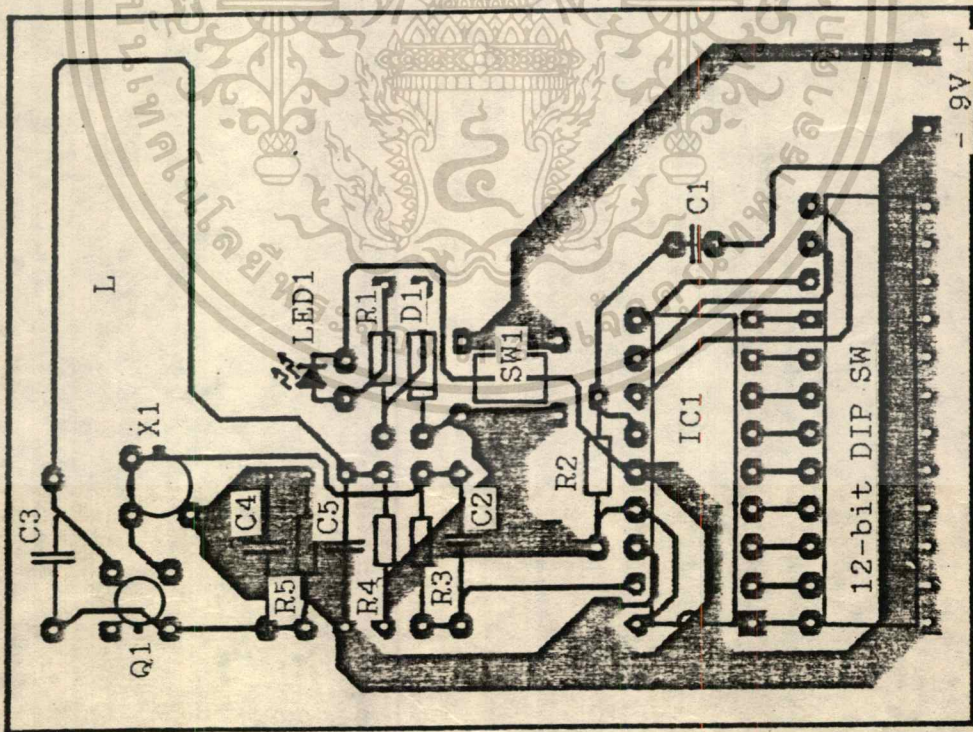
แบตเตอรี่ขนาด 9 โวลต์ และขั้วถ่าน

สวิตช์กดติดปล่อยดับ





ลายวงจรพิมพ์ด้านลายทองแดงของเครื่องส่งแบบใช้ผลึกควบคุมความถี่ ขนาดเท่าของจริง



การวางอุปกรณ์ของเครื่องส่งแบบใช้ผลึกควบคุมความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## รายการอุปกรณ์ของเครื่องรับ

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ :-

IC <sub>1</sub>	78L09
IC <sub>2</sub>	LM741
IC <sub>3</sub>	MM53200
IC <sub>4</sub>	NE555P
Q <sub>1</sub>	MPSH10
Q <sub>2</sub>	MPSH10
Q <sub>3</sub>	BC169
Q <sub>4</sub>	BC550C
Q <sub>5</sub>	BC307
Q <sub>6</sub>	BC550C
D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub> , D <sub>4</sub>	1N4001

D<sub>3</sub> ซีเนอร์ไดโอดขนาด 5.1 V 1/2 W.

ตัวต้านทานขนาด 1/4 W 5% :-

R <sub>1</sub>	10 Ω
R <sub>2</sub>	33 KΩ
R <sub>3</sub>	10 KΩ
R <sub>4</sub>	1 KΩ
R <sub>5</sub>	270 Ω
R <sub>6</sub>	30 KΩ
R <sub>7</sub>	220 KΩ
R <sub>8</sub>	22 KΩ
R <sub>9</sub>	10 KΩ
R <sub>10</sub>	39 KΩ
R <sub>11</sub>	6.8 KΩ
R <sub>12</sub>	1.5 KΩ
R <sub>13</sub>	4.7 MΩ
R <sub>14</sub>	22 KΩ
R <sub>15</sub>	10 KΩ
R <sub>16</sub>	12 KΩ
R <sub>17</sub>	330 KΩ
R <sub>18</sub>	4.7 MΩ
R <sub>19</sub>	6.8 KΩ
R <sub>20</sub>	68 KΩ
R <sub>21</sub>	1 KΩ
R <sub>22</sub>	270 KΩ
R <sub>23</sub>	6.8 KΩ
R <sub>24</sub>	0 Ω

ในกรณีที่ใช้รีเลย์ขนาด 9 โวลต์ รายละเอียดดูในหัวข้อ 3.3

ตัวเก็บประจุ แบบเซรามิกถ้าไม่ระบุ :-

C <sub>1</sub>	220 $\mu$ F 16 V	อีเล็กโตรไลติก
C <sub>2</sub>	0.01 $\mu$ F	
C <sub>3</sub>	500 pF	
C <sub>4</sub>	18 pF	
C <sub>5</sub>	10 pF	
C <sub>6</sub>	4 pF	
C <sub>7</sub>	4 pF	
C <sub>8</sub>	33 pF	
C <sub>9</sub>	390 pF	
C <sub>10</sub>	3 pF	
C <sub>11</sub>	4.7 $\mu$ F	แทนทาลัม
C <sub>12, C<sub>13</sub></sub>	1000 pF	
C <sub>14</sub>	0.1 pF	
C <sub>15</sub>	680 pF	
C <sub>16</sub>	4.7 $\mu$ F	แทนทาลัม
C <sub>17</sub>	200 pF	

อื่น ๆ

สลักจูนพร้อมโลหะซิลด์ ดูรายละเอียดในหัวข้อ 3.3

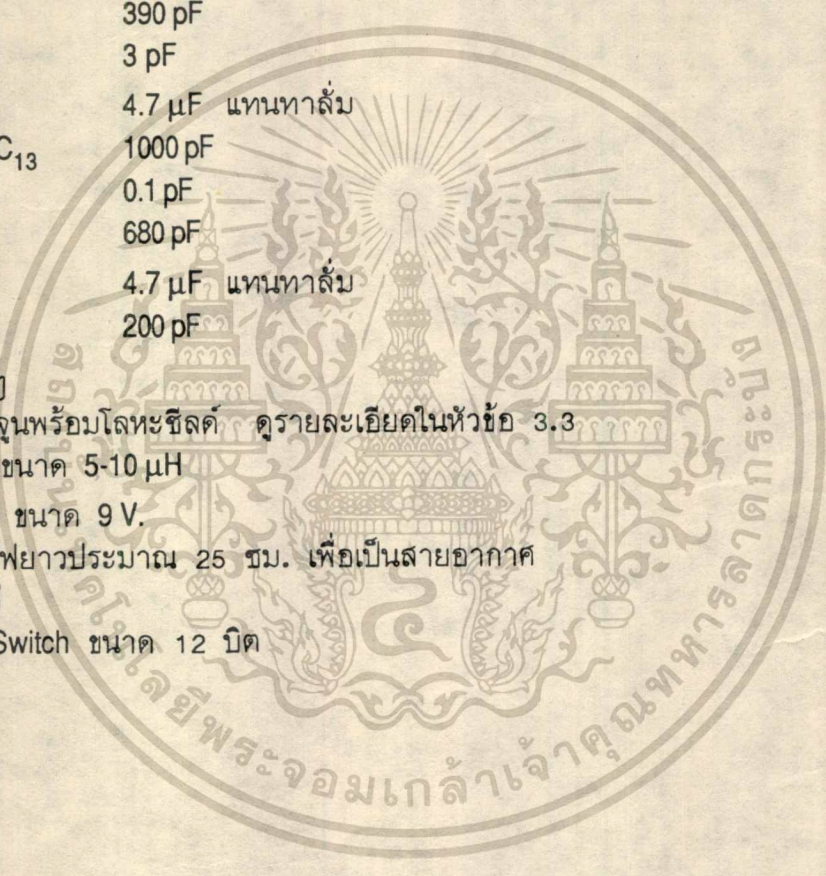
R<sub>FC</sub> ขนาด 5-10  $\mu$ H

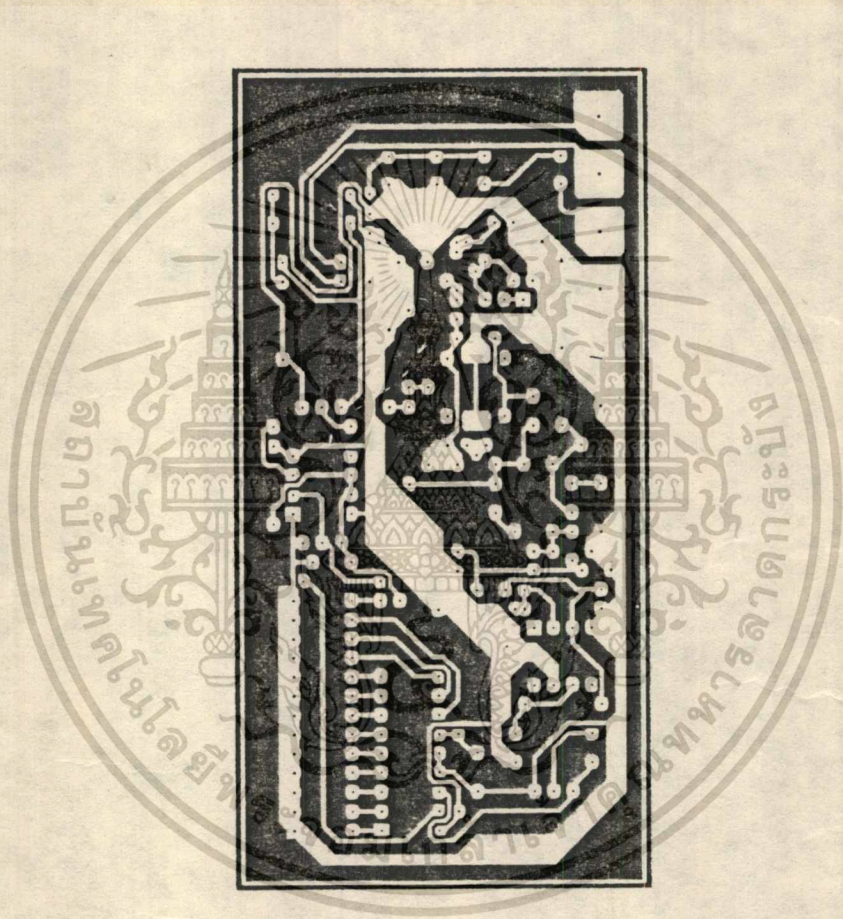
รีเลย์ ขนาด 9 V.

สายไฟยาวประมาณ 25 ซม. เพื่อเป็นสายอากาศ

ตาไก่

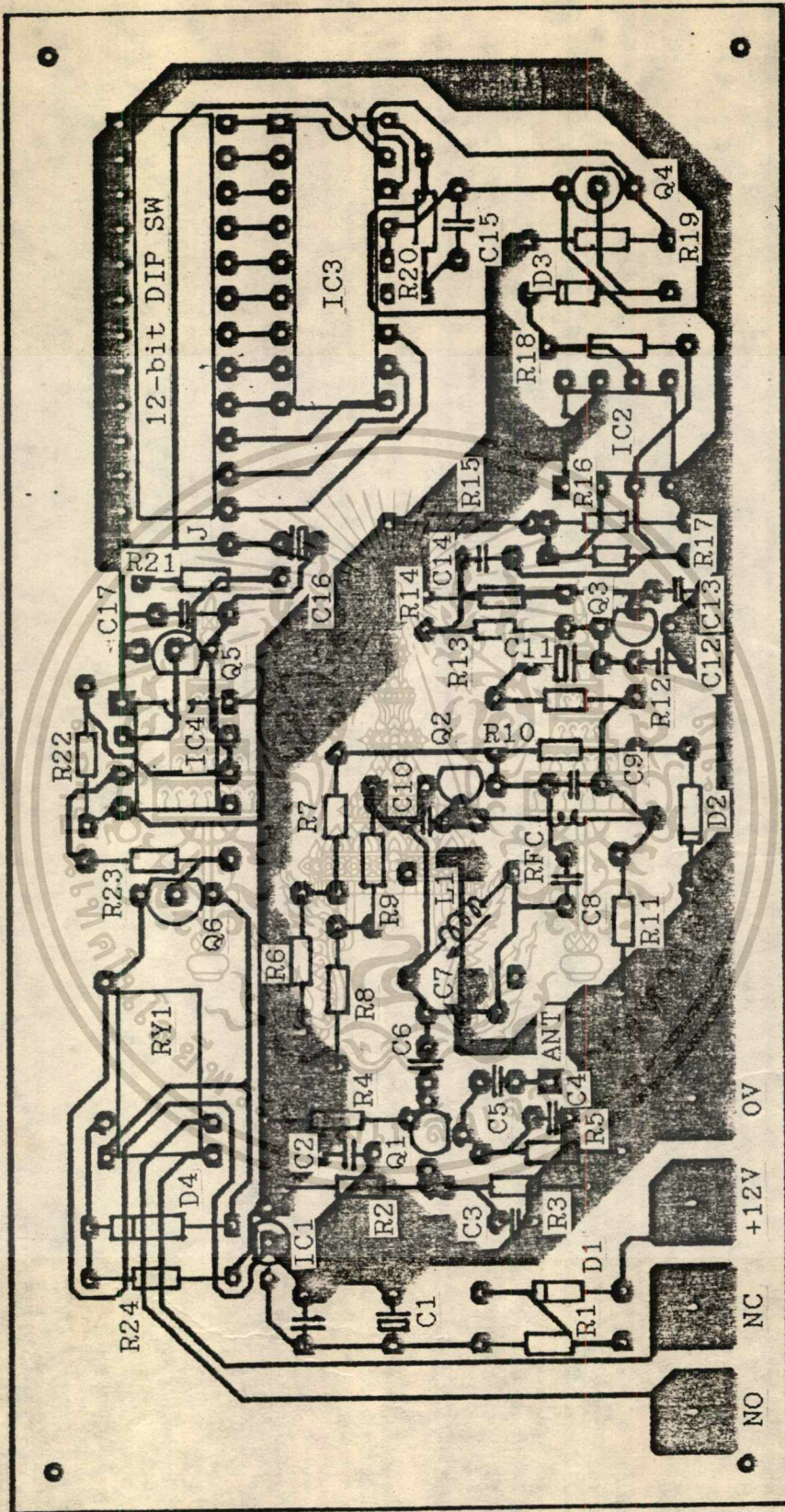
DIP Switch ขนาด 12 บิต





**ลายวงจรพิมพ์ขนาดเท่าของจริงด้านลายทองแดงของเครื่องรับ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา **๕-7** ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การวางอุปกรณ์ของเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MM53200 Encoder/Decoder**

The MM53200 Encoder/Decoder is an MOS/LSI Digital Code Transmitter — Receiver system.

**Features**

- A single chip contains both the Encoder and Decoder.
- Oscillator stability is non-critical, 5% components may be used.
- Cross interference of receivers in close proximity is virtually eliminated by circuitry which requires 4 valid words to be received, each within 64 ms of the other.

**Operation**

In the transmit mode the twelve Inputs are scanned sequentially producing the output pattern shown in Figure

1. This code is generated at the rate of 0.96 ms/bit, or 11.52 ms/word with 11.52 ms reset pulse between words.

In the receiver mode, the incoming signal is compared to the local code in a sequential manner; if there is an error, the system is reset and begins its comparison on the next pulse. If all twelve bits are received correctly, a "valid" signal will be generated. This signal clears a 64 ms counter and clocks a 3 stage counter. The 3 stage counter counts the "valid" pulses and when 4 pulses have been received, the transmit/receive output goes low. After the transmit/receive output is enabled, the next "valid" must be received within 128 ms, giving a one valid in 6 requirement to keep the transmit/receive output low.

Connection diagrams for the device in the Receive and Transmit modes are shown in Figures 2 and 3.

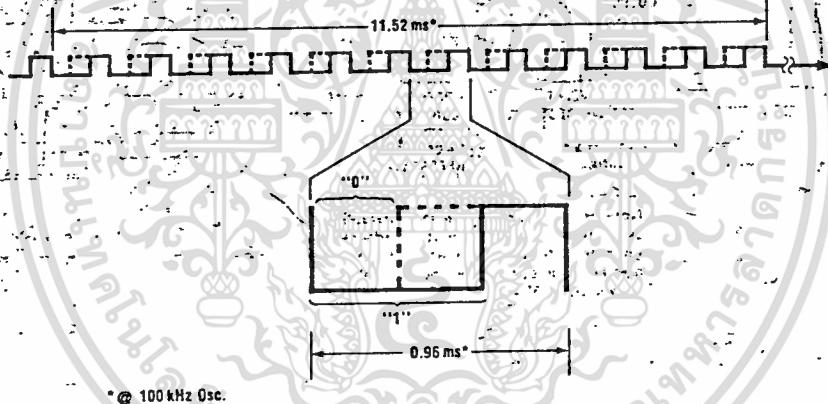


Figure 1. Output Waveform

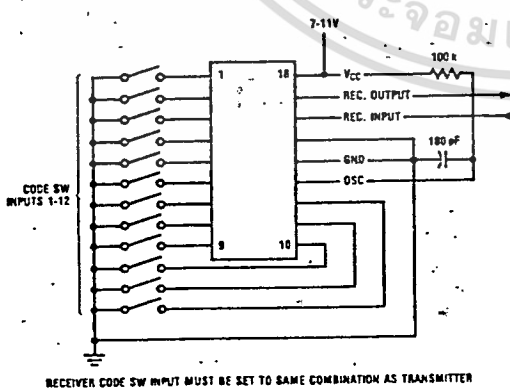


Figure 2. Pin Connections for Receiver Mode

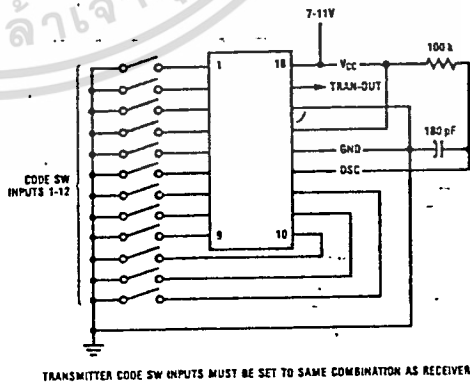


Figure 3. Pin Connections for Transmitter Mode

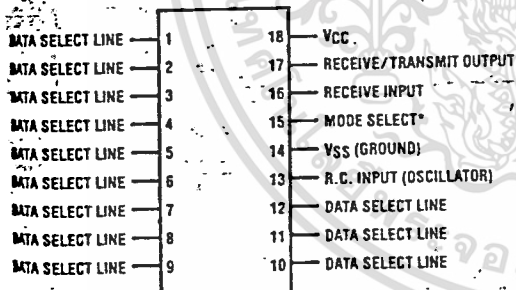
## Design Specifications

Storage Temperature	-65°C to +125°C
Operating Temperature	-25°C to +70°C
Lead Temperature, Max. (Soldering, 10 seconds)	+300°C
Power Supply	$V_{SS} + 7V$ to $V_{SS} + 11V$
$V_{DD}$	12mA Max.
$I_{DD}$	

## Electrical Characteristics

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Input Voltage Levels Schmitt Trigger Input	Level 1	$V_{SS} + 4$		$V_{SS} + 2$	V
	Level 0			$V_{DD}$	V
All Other Inputs	Level 1	$V_{DD} - 0.5$		$V_{DD}$	V
	Level 0	$V_{SS}$		$V_{SS} + 0.5$	V
Input Resistor to $V_{DD}$		200k		1.2M	$\Omega$
Output Voltage (trans/rec)		$V_{DD} - 0.5$		$V_{DD}$	V
Logic High "1"	$I_{SOURCE} 5\mu A$	$V_{DD} - 0.5$		$V_{DD}$	V
Logic Low "0"	$I_{SINK} 2mA$	$V_{SS}$		$V_{SS} + 1.0$	V
Oscillator Frequency	$\pm 15\%$ exclusive of external components		100		kHz

### 18-Pin DIP — Top View



\*a. GROUND CONNECTION IS RECEIVER MODE  
b.  $V_{DD}$  CONNECTION IS TRANSMITTER MODE

Order Number MM53200N  
See Package 20

### Pin Functions

- Pin #**
- 1-12 These Data Select lines are used to set the address of the encoder/decoder pair. They have on-chip pull-ups and input switches should pull them to ground.
  - 13 The R.C. Input is the connection point for the single pin Oscillator. A resistor is hooked from this pin to  $V_{CC}$  and a capacitor from this pin to GND. The frequency =  $2/RC$ . The frequency may be decreased by increasing the resistor value.
  - 14  $V_{SS}$  is the Ground Pin.
  - 15 The Mode Select pin changes operation of the IC from Receiver to Transmitter. By grounding pin 15 the IC is put in the Receiver mode. By connection to  $V_{CC}$  the IC is put in the Transmitter mode.
  - 16 The Receiver Input receives the digital PCM waveform from the Detector circuit.
  - 17 The Output pin produces the PCM waveform when in the Transmit mode and is active low in the Receive mode.
  - 18  $V_{CC}$  is the positive supply pin.

# MPS-H10 (SILICON) MPS-H11

## NPN SILICON EPITAXIAL TRANSISTORS

... designed for use in VHF/UHF common base oscillator applications.

- High Current-Gain-Bandwidth Product -  
 $f_T = 650 \text{ MHz (Min) @ } I_C = 4.0 \text{ mA dc}$
- Low Collector-Base Time Constant -  
 $r_b \cdot C_c = 9.0 \text{ ps (Max) @ } I_C = 4.0 \text{ mA dc}$
- Feedback Capacitance -  
 $C_{rb} = 0.35\text{--}0.65 \text{ pF - MPS-H10}$   
 $0.6\text{--}0.9 \text{ pF - MPS-H11}$

## NPN SILICON VHF/UHF TRANSISTORS



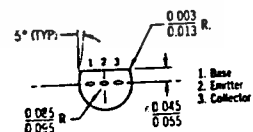
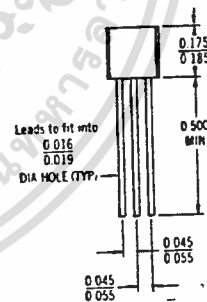
### MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V <sub>CE0</sub>	25	V <sub>dc</sub>
Collector-Base Voltage	V <sub>CB</sub>	30	V <sub>dc</sub>
Emitter-Base Voltage	V <sub>EB</sub>	3.0	V <sub>dc</sub>
Total Device Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub> (1)	310 2.81	mW mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T <sub>J</sub> , T <sub>stg</sub> (1)	-55 to +135	°C

### THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$\theta_{JA}$ (1)	0.357	°C/mW

(1) Continuous package improvements have enhanced these guaranteed Maximum Ratings as follows: P<sub>D</sub> = 1.0 W @ T<sub>C</sub> = 25°C, Derate above 25°C = 8.0 mW/°C, T<sub>J</sub> = -65 to +150°C,  $\theta_{JC}$  = 125°C/W.



CASE 29 (2)  
TO-92

# 2N5179 (SILICON)

## NPN SILICON RF SMALL-SIGNAL TRANSISTOR

... designed primarily for use in high-gain, low-noise amplifier, oscillator, and mixer applications. Can also be used in UHF converter applications.

- High Current-Gain – Bandwidth Product –  $f_T = 1.4 \text{ GHz (Typ) @ } I_C = 10 \text{ mAdc}$
- Low Collector-Base Time Constant –  $r_b \cdot C_C = 14 \text{ ps (Max) @ } I_E = 2.0 \text{ mAdc}$
- Characterized with Scattering Parameters
- Low Noise Figure –  $NF = 4.5 \text{ dB (Max) @ } f = 200 \text{ MHz}$

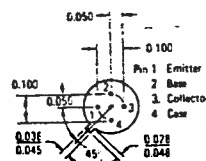
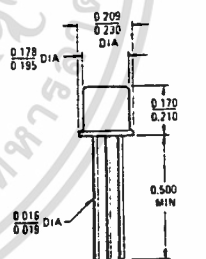
## NPN SILICON RF SMALL-SIGNAL TRANSISTOR



### \*MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage Applicable 1.0 to 20 mAdc	V <sub>CEO</sub>	12	Vdc
Collector-Base Voltage	V <sub>CB</sub>	20	Vdc
Emitter-Base Voltage	V <sub>EB</sub>	2.5	Vdc
Collector Current	I <sub>C</sub>	50	mAdc
Total Device Dissipation @ T <sub>A</sub> = 25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	200 1.14	mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T <sub>C</sub> = 25°C Derate above 25°C	P <sub>D</sub>	300 1.71	mW mW/°C
Storage Temperature Range	T <sub>stg</sub>	-65 to +200	°C

\*Indicates JEDEC Registered Data.



CASE 20(10)  
TO-72 PACKAGE

Active Elements Isolated from Case

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการชิ้นนี้คงจะไม่ประสบความสำเร็จถ้าไม่ได้รับความกรุณาและความร่วมมือจากบุคคลหลายฝ่าย นอกจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา อ.พลผดุง ผดุงกุล แล้ว ทางผู้จัดทำยังได้รับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์จาก อ.ทองทศ วานิชศรี... อาจารย์ประจำภาควิชาโทรคมนาคม อีกด้วย ตลอดจนต้องขอขอบคุณภาควิชาโทรคมนาคมที่ได้ให้ใช้เครื่องมือ เช่น เครื่องวิเคราะห์แถบความถี่ (Spectrum Analyser) ด้วย และตลอดจนถึงเจ้าหน้าที่ห้องทดลองของภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์ ที่ได้ให้บริการเบิกยืมเครื่องมือต่าง ๆ ที่จำเป็นด้วยดีตลอดมา ทางผู้จัดทำขอขอบคุณบุคคลทุกท่านทั้งที่กล่าวนามและมีได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ด้วย  
ใจจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

1. Bernard Grob, "Basic Electronics", McGraw-Hill Book Company, 86-92 p., 1984
2. Charles L. Alley, Kenneth W. Atwood, "Microelectronics", Prentice-Hall International Editions, 519 p., 1986
3. "MOS Data Book", National Semiconductor, 7-728 p.
4. Jack Smitch, "Modern Communication Circuits", McGraw-Hill, 232-237 p., 1986
5. Albert Paul Malvino, Ph.D., "Electronics Principles", TATA McGraw-Hill Publishing, 544-553 p., 1981
6. Jacob Millman & Arvin Grabel, "Microelectronics", McGraw-Hill International Editions, 420-422 p., 1987
7. Louis Nashelsky, "Introduction to digital technology", 243-244 p.

