จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทุนวิจัย
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงานวิจัย

ต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน

INSPECTION PROTOTYPE FOR JEWELRY SETTING ON THE RING

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดย
จิตรา รู้กิจการพานิช

3

มกราคม 2544

QC243
ค456

19 MAR 2003

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
โครงการสิ่งประดิษฐ์
กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

รายงาน

ต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน

INSPECTION PROTOTYPE FOR JEWELRY SETTING ON THE RING

COLLEGE OF ENGINEERING
53647
CHULALONGKORN UNIVERSITY

โดย

ผศ.ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช หัวหน้าโครงการ
นายพิพัฒน์ ไพศาลภาณุมาศ ผู้ร่วมโครงการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มกราคม 2545

ผู้อำนวยการสถาบันวิทยบริการ
มอบให้ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
17 / มี.ค. / 46

ชื่อโครงการ	ต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมีการทดลองมณีบนตัวเรือนแหวน
ชื่อผู้ดำเนินการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช
	นายพิพัฒน์ ไพศาลภานุมาศ
เดือนและปีที่ทำเสร็จ	มกราคม 2545

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ทำการสร้างต้นแบบสำหรับการตรวจสอบสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน โดยการนำทฤษฎีต่างๆ ได้แก่ คลื่น ความถี่ เสียง ไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรไฟฟ้าและอิเลคทรอนิกส์ เป็นต้น มาประยุกต์ในการออกแบบและสร้างต้นแบบ โดยมีหลักการทำงานของต้นแบบดังนี้ เริ่มต้นจากชุดกำเนิดความถี่จะส่งความถี่ใช้งานที่เหมาะสมไปยังอุปกรณ์กำเนิดความถี่และส่งต่อไปที่ตัวเรือนแหวน โดยในการศึกษาครั้งนี้ ความถี่ใช้งานที่เหมาะสมกับขีดความสามารถของอุปกรณ์อยู่ที่ 150 Hz เมื่อแหวนได้รับความถี่นั้นก็จะสั่น ถ้าพลอยที่ติดอยู่หลวมก็จะเกิดความถี่ใหม่เกิดขึ้น จากนั้นใช้อุปกรณ์ตรวจจับความถี่ทำการตรวจจับความถี่ที่เกิดขึ้นที่แหวน แล้วส่งต่อไปยังชุดกรองความถี่ เพื่อทำการกรองความถี่ให้เหลือแต่ความถี่ที่แสดงสภาพการฝังอัญมณีว่าดีหรือไม่ (75-750 Hz) ส่วนชุดขยายสัญญาณจะทำการขยายสัญญาณให้สูงขึ้น แล้วส่งต่อไปยังชุดไมโครคอนโทรเลอร์เพื่อประมวลผลและแสดงผลการติดตั้งอัญมณีบนตัวเรือนแหวน ในการสร้างแต่ละส่วนประกอบได้มีการทดลองเพื่อหาค่าความต้านทาน ค่าความเก็บประจุ อัตราขยายของชุดขยายสัญญาณรวมทั้งช่วงความถี่ใช้งานที่เหมาะสม ในการศึกษานี้ ได้ทำการทดสอบการทำงานของต้นแบบกับการทำงานจริงในโรงงานผลิตเครื่องประดับ

COLLEGE OF ENGINEERING
53647
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Project Title **INSPECTION PROTOTYPE FOR JEWELRY SETTING ON THE RING**

Name of the Investigator Assistant Prof. Dr. Jittra Rukijkanpanich
Mr. Pipat Phaisalpanumas

Year January 2002

Abstract

The present work develops a prototype to inspect jewelry setting on a ring. The theoretical consideration deals with topics related to wave, frequency, sound, microcontroller and electronic circuit, etc. The procedures of the study could be as; the frequency generator sends the appropriate frequency to frequency generating equipment of the prototype and then passes it to rings. The appropriate frequency for this prototype is 150 Hz. When a ring receives the frequency, it will shake. If the jewelry setting is not good, the new frequency will be generated. Then the sensor is used to detect the frequency. The filter is used to screen the frequency band. The desired frequency band (between 75-750 Hz) can identify the status of the jewelry setting. Then the frequency of the desired band is send to the amplifier, micro-controller, respectively. The display of the prototype will present the status of jewelry setting on the ring. For this study, several experiments to find the appropriate characteristics of the circuit and equipment were conducted. This prototype was also tested its functions in the jewelry factory.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความร่วมมือและสนับสนุนจากหลายส่วน ได้แก่ คุณพีระ เชี่ยวหัตถ์พงศ์ และพนักงานบริษัทคราฟท อาท ที่ให้ความอนุเคราะห์ในคำแนะนำ ข้อมูล ตลอดจนอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ ทั้งด้านบุคลากรและสถานที่ นอกจากนี้ยังได้รับความอนุเคราะห์เครื่องมือวัดที่จำเป็นรวมทั้งคำแนะนำจากอาจารย์ชัชวาล พรพัฒน์กุล อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช โครงการสิ่งประดิษฐ์ ที่ให้ทุนสนับสนุน สุดท้ายขอขอบคุณทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในที่นี้ที่เป็นกำลังใจ จนกระทั่งงานสำเร็จ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)......ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)......ข
กิตติกรรมประกาศ......ค
สารบัญ......ง
สารบัญรูป......ฉ
สารบัญตาราง......ญ
บทที่

1. บทนำ......1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา......1
1.2 วัตถุประสงค์......2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย......3
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย......3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ......3

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง......4
2.1 วงจรขยายกับวงจรเปรียบเทียบแรงดันและรายละเอียดอุปกรณ์......4
2.2 เครื่องกำเนิดรูปสัญญาณ......15
2.3 วงจรกรองความถี่......17
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์......19
2.5 ทฤษฎีการควบคุมคุณภาพ......30
2.6 ทฤษฎีการศึกษาการทำงาน......32
2.7 ทฤษฎีเสียง......34
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง......36

3. รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงาน......40
3.1 ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล......40
3.2 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อค้นหาปัญหา......40
3.3 ศึกษาทฤษฎีและสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง......40
3.4 สร้างเครื่องมือต้นแบบ......40
3.5 ทดสอบการทำงานของเครื่องมือต้นแบบ......41

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่

3.6 การนำไปใช้ในงานจริง ประเมินผล และทดสอบทางสถิติ............... 41

3.7 สรุปผลการวิจัย..41

4. การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานตัวอย่าง..43

4.1 กรรมวิธีการผลิตเครื่องประดับ...43

4.2 การตรวจสอบคุณภาพ...45

5. ขั้นตอนการออกแบบสร้างต้นแบบ... 49

5.1 หลักการและแนวคิด... ..49

5.2 ส่วนประกอบของต้นแบบ..53

5.3 ขั้นตอนการสร้างส่วนประกอบแต่ละส่วนของต้นแบบ
และการเลือกใช้อุปกรณ์..58

6. ทดสอบและการประเมินผล...87

6.1 ลำดับขั้นตอนการทำงานของต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวนวิธีการทำงานในการทดสอบโดยใช้ต้นแบบ..................................87

6.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ..88

6.3 การทดสอบในโรงงานตัวอย่าง...89

6.4 การประเมินผล...92

7. สรุปผล ปัญหา อุปสรรค และแนวทางในการขยายผล...93

7.1 สรุปผล 93

7.2 ปัญหา อุปสรรคและข้อจำกัดในการตรวจสอบของต้นแบบ.................................94

7.3 แนวทางในการพัฒนาและขยายผล...95

7.4 ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่...98

รายการอ้างอิง...99

ภาคผนวก 101

ภาคผนวก ก คู่มือการใช้ต้นแบบ...102

ภาคผนวก ข อุปกรณ์และเครื่องมือที่จำเป็นในการสร้างต้นแบบ..............................106

ภาคผนวก ค ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่...109

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.1 หน้าที่ของวงจรขยาย.....4
รูปที่ 2.2 องค์ประกอบต่าง ๆ ที่นำมาต่อเข้ากับวงจรขยาย.....5
รูปที่ 2.3 วงจรขยายแรงดัน.....6
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของไมโครโฟน.....7
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของไมโครโฟนแบบคอนเดนเซอร์.....7
รูปที่ 2.6 ไดอะแกรมการใช้งานอัลตราโซนิก.....8
รูปที่ 2.7 การทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์.....9
รูปที่ 2.8 โครงสร้างของลำโพงแบบขดลวดเคลื่อนที่.....9
รูปที่ 2.9 โครงสร้างและสัญลักษณ์ไดโอด.....10
รูปที่ 2.10 กราฟคุณสมบัติการทำงานของไดโอด.....10
รูปที่ 2.11 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ (ก) NPN (ข) PNP.....11
รูปที่ 2.12 การนำกระแสของทรานซิสเตอร์.....11
รูปที่ 2.13 คุณสมบัติของการจัดวงจรแบบต่างๆ ของทรานซิสเตอร์.....12
รูปที่ 2.14 สัญลักษณ์ของ LED.....13
รูปที่ 2.15 วงจรใช้งาน LED.....13
รูปที่ 2.16 เมื่อใช้ LED กับแรงดันไฟกลับ.....14
รูปที่ 2.17 โครงสร้างของ LCD.....15
รูปที่ 2.18 การแสดงผลของ LCD (ก) แบบทรานสมิสซีฟ (ข) แบบรีเฟล็กซ์ตีฟ.....15
รูปที่ 2.19 มัลติไวเบรเตอร์แบบไบรสเตเบิลที่มีการทริกเกอร์แบบแมนวล.....16
รูปที่ 2.20 มัลติไวเบรเตอร์แบบโมโนสเตเบิลที่มีการทริกเกอร์แบบแมนวล.....16
รูปที่ 2.21 มัลติไวเบรเตอร์แบบอะสเตเบิลหรือแหล่งจ่ายสัญญาณสแควร์เวฟ.....17
รูปที่ 2.22 การจัดตำแหน่งขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51.....22
รูปที่ 2.23 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 การจัดหน่วยความจำ..24
รูปที่ 2.24 รูปการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในส่วนของหน่วยความจำโปรแกรม
และหน่วยความจำข้อมูล.....25
รูปที่ 2.25 การจัดหน่วยความจำและตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษต่างๆ
หน่วยความจำข้อมูล.....26
รูปที่ 2.26 แสดงการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ในโหมด 0.....29

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 2.27 แสดงการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ในโหมด 2 29

รูปที่ 2.28 แสดงการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 ในโหมด 3 30

รูปที่ 3.1 รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงาน 42

รูปที่ 4.1 กระบวนการทำงานของแผนกตรวจสอบคุณภาพ 45

รูปที่ 4.2 การเคาะแหวน และใช้หูฟังเสียงเพื่อดูว่าอัญมณีหลวมหรือไม่ (ด้านหลัง) 46

รูปที่ 4.3 การเคาะแหวน และใช้หูฟังเสียงเพื่อดูว่าอัญมณีหลวมหรือไม่ (ด้านหน้า) 46

รูปที่ 4.4 การใช้เข็มทิ่มอัญมณีเพื่อดูว่าเม็ดไหนหลวม 47

รูปที่ 4.5 การซ่อมแซมโดยวิธีหยอดกาวที่ด้านข้างอัญมณี 48

รูปที่ 5.1 ส่วนประกอบในชุดกำเนิดความถี่ 53

รูปที่ 5.2 แหล่งจ่ายไฟ 53

รูปที่ 5.3 วงจรอิเล็กทรอนิคส์กำเนิดความถี่ 53

รูปที่ 5.4 อุปกรณ์กำเนิดความถี่ 54

รูปที่ 5.5 อุปกรณ์กำเนิดความถี่และฐานยึดแหวน 54

รูปที่ 5.6 ไมโครโฟนแบบ Condenser microphone และ Ultrasonic 54

รูปที่ 5.7 วงจรขยายสำหรับไมโครโฟนโดยเฉพาะ 55

รูปที่ 5.8 วงจรกรองความถี่ 55

รูปที่ 5.9 วงจรขยายสัญญาณ 56

รูปที่ 5.10 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ 56

รูปที่ 5.11 จอ LCD 57

รูปที่ 5.12 LED 57

รูปที่ 5.13 กล่องเก็บเสียง 57

รูปที่ 5.14 บล็อกไดอะแกรมของแอคทีฟไมโครโฟน 60

รูปที่ 5.15 กราฟตอบสนองความถี่และวงจรของ วงจรกรองแถบความถี่ผ่านแบบเวียนฟิลเตอร์ 60

รูปที่ 5.16 วงจรสมบูรณ์ของแอคทีฟไมโครโฟน 61

รูปที่ 5.17 แสดงลายวงจรพิมพ์ 63

รูปที่ 5.18 แสดงตำแหน่งการลงอุปกรณ์ 63

รูปที่ 5.19 รูปคลื่นแบบต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่ 65

รูปที่ 5.20 ลักษณะโครงสร้างภายในของไอซีเบอร์ XR – 2206 ที่ใช้ผลิตความถี่ 66

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 5.21 แผนผังการทำงานของชุดนับความถี่....67

รูปที่ 5.22 วงจรสมบูรณ์ของเครื่องกำเนิดความถี่....69

รูปที่ 5.23 ลายทองแดงของแผ่นวงจรพิมพ์....70

รูปที่ 5.24 การวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์และการเดินสายภายในกล่อง....71

รูปที่ 5.25 การเดินสายภายในกล่อง....73

รูปที่ 5.26 แผนผังเวลาของภาคนับความถี่....75

รูปที่ 5.27 ลายวงจรของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์....81

รูปที่ 5.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ของแหวนรูปแบบ A....82

รูปที่ 5.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ของแหวนรูปแบบ B....83

รูปที่ 5.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ของแหวนรูปแบบ C....84

รูปที่ 5.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ของแหวนรูปแบบ D....84

รูปที่ 5.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ของแหวนรูปแบบ E....85

รูปที่ 5.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ของแหวนรูปแบบ F....86

รูปที่ 6.1 ลำดับการทำงานของต้นแบบสำหรับการตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน..88

รูปที่ 6.2 แหวนรูปแบบ A,B,C....88

รูปที่ 6.3 แหวนรูปแบบ D,E,F....89

รูปที่ 6.4 แหวนรูปแบบ A,B,C....90

รูปที่ 6.5 แหวนรูปแบบ D,E ,F....90

รูปที่ 6.6 แหวนรูปแบบ G....90

รูปที่ 6.7 แหวนรูปแบบ H....90

รูปที่ 6.8 แหวนรูปแบบ I....91

รูปที่ 6.9 อุปกรณ์จับยึดแหวนที่ปรับปรุง....92

รูปที่ 7.1 เครื่องกำเนิดความถี่ที่จะขยายผล....96

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

รูปที่ 7.2 กราฟแสดงตัวอย่างของความถี่..........97
รูป ก.1 ลำดับการทำงานของต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน..........103
รูป ก.2 แผงควบคุมด้านหน้าของต้นแบบ..........104
รูป ก.3 การจับยึดแหวนด้วยที่จับยึดแหวน..........104
รูป ข.1 OSCILLOSCOPE..........106
รูป ข.2 DIGITAL MULTIMETER..........106
รูป ข.3 FREQUENCY GENERATOR..........107
รูป ข.4 FREQUENCY COUNTER..........107
รูป ข.5 MULTIMETER..........108

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูล MCS-51....................20
ตารางที่ 2.2 หน้าที่พิเศษของแต่ละขาของพอร์ต P3...23
ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับความถี่...58
ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองอุปกรณ์กำเนิดความถี่...59
ตารางที่ 5.3 แสดงการเลือกค่า RC ที่ความถี่ศูนย์กลางต่าง ๆ 62
ตารางที่ 5.4 การทดลองปรับความถี่เพื่อหาความถี่ใช้งานสำหรับแหวนรูปแบบ A...............82
ตารางที่ 5.5 การทดลองปรับความถี่เพื่อหาความถี่ใช้งานสำหรับแหวนรูปแบบ B...............83
ตารางที่ 5.6 การทดลองปรับความถี่เพื่อหาความถี่ใช้งานสำหรับแหวนรูปแบบ C...............83
ตารางที่ 5.7 การทดลองปรับความถี่เพื่อหาความถี่ใช้งานสำหรับแหวนรูปแบบ D...............84
ตารางที่ 5.8 การทดลองปรับความถี่เพื่อหาความถี่ใช้งานสำหรับแหวนรูปแบบ E...............85
ตารางที่ 5.9 การทดลองปรับความถี่เพื่อหาความถี่ใช้งานสำหรับแหวนรูปแบบ F...............85
ตารางที่ 6.1 ผลจากการตรวจสอบคุณภาพโดยต้นแบบในห้องปฏิบัติการ..............................89
ตารางที่ 6.2 ผลจากการตรวจสอบคุณภาพโดยต้นแบบที่โรงงานตัวอย่าง.............................91
ตารางที่ 7.1 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบวิธีการเดิมกับวิธีการใหม่..............................93

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมส่งออกที่ทำรายได้เข้าประเทศสูง ปัจจุบันอุตสาหกรรมนี้ได้รับความสนใจจากรัฐบาลในการสนับสนุนการพัฒนาการแข่งขันในระดับสากล รวมทั้งพยายามให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางอุตสาหกรรมนี้ของโลก ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมนี้ย่อมต้องการคุณภาพที่ดี ต้นทุนต่ำ และส่งมอบตรงเวลา ซึ่งจะทำให้อุตสาหกรรมนี้เติบโตได้

จากการศึกษาเบื้องต้นพบว่าคุณภาพสูง ดี 100 เปอร์เซ็นต์ เป็นสิ่งที่ต้องการของผลิตภัณฑ์อัญมณีและเครื่องประดับ จึงต้องมีกระบวนการตรวจสอบคุณภาพอย่างเข้มงวดและละเอียด ซึ่งการตรวจสอบอย่างละเอียดนี้จะมีผลกระทบในด้านลบด้วย ได้แก่ การทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้น และการส่งมอบอาจล่าช้าตามมาได้ เพราะในการทำงานตรวจสอบต้องใช้แรงงานคนและใช้ระยะเวลา

อย่างไรก็ตามการดำเนินการตรวจสอบโดยใช้แรงงานคนอาจทำให้เกิดความผิดพลาด (Human Error) ซึ่งทำให้เกิดผลเสียคือคุณภาพไม่ดีหลุดออกไปสู่มือลูกค้าได้ ในการแก้ปัญหาของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมนี้จึงมักใช้การตรวจซ้ำอีกรอบ ซึ่งยังผลให้ต้นทุนสูงรวมทั้งระยะเวลาในการตรวจสอบมากขึ้น เมื่อประสบปัญหาเช่นนี้ การที่จะให้บรรลุเป้าหมายที่ว่า สนับสนุนให้ประเทศไทยเป็นศูนย์กลางของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของโลกคงเป็นไปได้ยาก การแก้ไขปัญหาด้วยการพัฒนาฝีมือแรงงานเพียงอย่างเดียวนั้นไม่พอ แต่จำเป็นต้องมีเครื่องที่ดีช่วยในการทำงานด้วย

ในการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นที่เครื่องประดับประเภทแหวน ซึ่งมีหลายรูปแบบและเป็นผลิตภัณฑ์หลักของอุตสาหกรรมนี้ การตรวจสอบคุณภาพของแหวนนั้นจะต้องดูความสมบูรณ์เรียบร้อยของสภาพที่มองเห็นทั่วไปด้วยตาเปล่า เช่น อัญมณีมีการบิ่น แตกร้าว รอยขีดข่วน ตัวเรือนมีรอยเปื้อน (หรือที่เรียกว่าปาน) รอยขีดข่วน หรือตำหนิต่าง ๆ ซึ่งการทำงานดังกล่าวต้องใช้สายตามาก นอกจากนี้ยังต้องดูสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวนนั้นว่าได้ระดับหรืออยู่ในแนวไม่บิดเบี้ยว เป็นต้น สิ่งที่สำคัญอีกอย่างของการตรวจสอบคือการตรวจสภาพการฝังอัญมณีว่าสามารถติดบนตัวเรือนได้แน่น ไม่สั่นคลอนหรือไม่ โดยวิธีการตรวจสอบจะใช้นิ้วมือดีดตัวเรือนแหวนให้เกิดการสั่น

แล้วใช้หูคนฟังเสียงผลการสั่นสะเทือน ถ้าสภาพการฝังไม่ดี จะได้ยินเสียงเบา ๆ ที่เม็ดอัญมณีการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหวจากตัวเรือน ซึ่งเป็นการทำงานที่ยากลำบากและเกิดความล้าเมื่อระยะเวลาทำงานนาน การทำงานในลักษณะนี้ต้องมีสภาพการทำงานที่เงียบ แต่ในความเป็นจริงแล้ว โรงงานอุตสาหกรรมนี้จะไม่มีห้องเงียบพอประกอบกับพนักงานมักเปิดเพลงฟังตลอดเวลาเพื่อให้การทำงานไม่เครียด ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบการฝังอัญมณีบนตัวเรือนถึง 2 ซ้ำ นั่นก็คือเป็นการตรวจสอบแบบ 200 เปอร์เซ็นต์

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นจะพบว่าการทำงานในการตรวจสอบคุณภาพต้องใช้การดูและการฟังอย่างตั้งใจ ซึ่งมีโอกาสเกิดความผิดพลาดของคนได้อยู่เสมอ แต่การดูนั้นยังต้องใช้ทักษะที่ค่อนข้างสูงและลักษณะงานหลากหลาย จึงเป็นการยากที่จะใช้เครื่องจักรมาทดแทน แต่ในการฟังเสียงนั้นต้องใช้ความตั้งใจสูงและความสามารถในการได้ยินต้องดี ส่วนลักษณะงานมีความซ้ำซากกว่า ใช้การตัดสินใจที่ง่ายกว่า เพราะเป็นการแยกว่าเกิดเสียงของการสั่นคลอนกับไม่เกิดเสียงของการสั่นคลอน นั่นก็คือมีความเป็นได้ที่จะสร้างเครื่องมือมาทดแทนการตรวจสภาพการฝังอัญมณีโดยใช้แรงงานคน

เมื่อได้ลองสำรวจอุปกรณ์ที่มาช่วยในการตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวนนั้นพบว่าเมื่อปี พ.ศ. 2542 ราคาเครื่องอยู่ระหว่าง 200,000 ถึง 250,000 บาท และเป็นเทคโนโลยีต่างประเทศและเป็นความลับทางการค้า ในการสำรวจเอกสารอ้างอิงต่าง ๆ ไม่สามารถหาได้ จึงเกิดความคิดว่าการสร้างต้นแบบเครื่องสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวนน่าจะมีส่วนช่วยให้เกิดการทำงานดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งลดความผิดพลาดที่เกิดจากการตรวจสอบโดยใช้หูคนฟังเสียงโดยหลักการของการประดิษฐ์ต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวนนั้นได้แนวคิดมาจากการจำลองการใช้นิ้วมือดีดให้ตัวเรือนอหวนสั่น และฟังเสียงของอัญมณีที่มีการสั่นสะเทือนตามมา ซึ่งจะเกิดเสียงของการสั่นสะเทือนให้ได้ยิน ทั้งนี้ได้คำนึงถึงจุดอ่อนที่อาจเกิดขึ้น เช่น การที่อัญมณีมีการสั่นสะเทือนในจังหวะเดียวกันกับการสั่นตัวเรือนซึ่งจะมีผลให้ไม่สามารถตรวจสอบสภาพการฝังได้ถูกต้อง ซึ่งคาดว่าการศึกษานี้จะเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาเครื่องมือนี้ให้ใช้ได้จริงในอุตสาหกรรมต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อสร้างต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน

1.3 ขอบเขตของการศึกษาวิจัย

ทำการศึกษาเฉพาะส่วนของการตรวจสอบคุณภาพของงานฝังอัญมณีบนตัวเรือนของเครื่องประดับประเภทแหวน เนื่องจากมีความหลากหลายของเครื่องประดับแหวนจำนวนมาก บางรูปแบบมีอัญมณีที่ฝังเป็นจำนวนมาก บางรูปแบบอาจมีความสลับซับซ้อนมากเป็นพิเศษ หรือบางรูปแบบอาจมีอัญมณีฝังรอบทั้งตัวเรือน ซึ่งมีการสั่งทำเป็นพิเศษ การศึกษานี้จะเน้นเฉพาะรูปแบบแหวนที่มีการผลิตจำนวนมาก (Mass Production)

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย

1.4.1 ศึกษาลักษณะการทำงานของการตรวจสอบคุณภาพของสภาพการฝังพลอยบนตัวเรือนแหวน รวมทั้งทำการรวบรวมปัญหาอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ทำการศึกษาทฤษฎีและข้อมูลต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้ในการหาแนวคิดในการพัฒนา พร้อมทั้งศึกษาความเป็นไปได้ทั้งทางด้านเทคนิคและค่าใช้จ่าย

1.4.3 ออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวนพร้อมทั้งทำการทดสอบเป็นระยะเพื่อทำการปรับปรุงแก้ไขจุดอ่อน

1.4.4 ทดสอบครั้งสุดท้ายเพื่อทราบขีดความสามารถและข้อจำกัด รวมทั้งจัดทำคู่มือการใช้ก่อนการนำไปทดสอบจริงที่โรงงานตัวอย่าง

1.4.5 การนำไปใช้ในการทำงานจริง เพื่อประเมินผลและหาแนวทางการปรับปรุงต่อไป

1.4.6 สรุปผลการศึกษาและเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เกิดความถูกต้อง แม่นยำ และมีความสม่ำเสมอในการตรวจสอบมากขึ้น ซึ่งมีผลให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงขึ้นด้วย

1.5.2 ใช้เวลาในการตรวจสอบคุณภาพลดลง สามารถลดความเมื่อยล้าในการทำงาน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานได้ดีขึ้น

1.5.3 ไม่จำเป็นต้องใช้พนักงานที่มีทักษะสูงในการตรวจสอบสภาพการฝังอัญมณี

1.5.4 เกิดการพัฒนาด้านเทคโนโลยี ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้ และสามารถแข่งขันทางการค้าในระดับนานาชาติได้

ศูนย์สนเทศคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

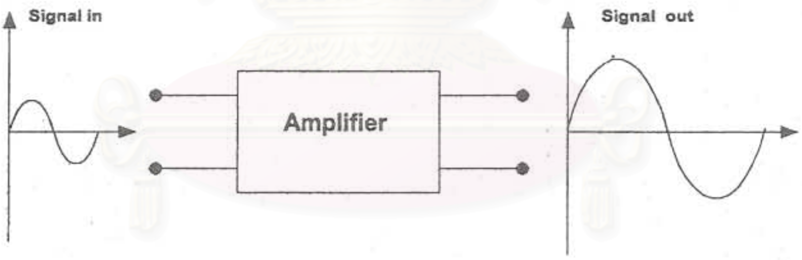
ทฤษฎีและการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้ได้พยายามรวบรวมทฤษฎีต่าง ๆ ที่เป็นพื้นฐานของการออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน ได้แก่ วงจรขยายและวงจรเปรียบเทียบแรงดัน รวมทั้งรายละเอียดของอุปกรณ์ เครื่องกำเนิดรูปสัญญาณ วงจรกรองความถี่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมทั้งหลักการของการควบคุมคุณภาพ หลักการการศึกษาการทำงาน และได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รายละเอียดมีดังต่อไปนี้

2.1 วงจรขยายกับวงจรเปรียบเทียบแรงดันและรายละเอียดอุปกรณ์

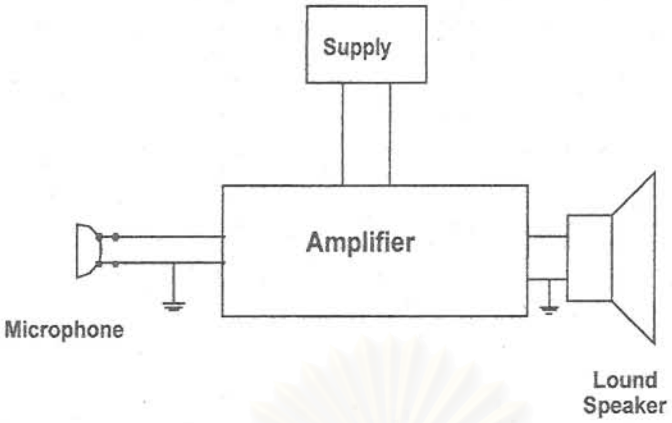
2.1.1 วงจรขยาย (Amplifier)

วงจรขยายทำหน้าที่ขยายสัญญาณอินพุทที่ป้อนผ่าน เป็นสัญญาณเอาท์พุทที่มีรูปร่างโตขึ้น โดยที่ความถี่ยังคงเดิม



รูปที่ 2.1 หน้าที่ของวงจรขยาย (สำเริง รัศมีวิศวะและดำรง จีนขาวขำ , 2529)

โดยสัญญาณอินพุทอาจจะได้รับมาจากวงจรอิเล็คโทรนิคส์อีกส่วนหนึ่ง เช่น จูนเนอร์ ไมโครโฟน และเทอร์โมคับเบิ้ล ส่วนเอาท์พุทเมื่อถูกขยายแล้วก็จะถูกนำไปเพื่อไปป้อนเข้าอุปกรณ์ เช่น เครื่องวัดแรงดัน ออสซิลโลสโคป ลำโพง หรือรีเลย์ ดังวงจรตัวอย่างข้างล่างนี้ ซึ่งจะเห็นไมโครโฟนจะเปรียบได้เหมือนกับเป็นอุปกรณ์เพื่อผลิตสัญญาณอินพุท และลำโพงก็จะทำหน้าที่เป็นโหลด



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบต่าง ๆ ที่นำมาต่อเข้ากับวงจรขยาย
(สำเริง รัศมีวิศวะและดำรง จีนขาวขำ , 2529)

เนื่องจากสัญญาณอินพุทจะมีค่าน้อยมากเพียงมิลลิโวลท์เท่านั้น ดังนั้นในการขยายเพื่อให้สัญญาณเอาท์พุทมีค่ากำลังสูง ๆ นั้น ยังจะต้องมีองค์ประกอบอีกส่วนหนึ่งคือ แหล่งกำเนิดไฟฟ้า ดังแสดงตามรูปที่ 2.2

อัตราขยายแรงดัน (Voltage Gain)

ค่าที่สำคัญค่าหนึ่งสำหรับวงจรขยายคือ อัตราการขยายของแรงดัน (Voltage Gain) ซึ่งค่านี้จะเป็นจำนวนตัวเลขที่ใช้คูณกับสัญญาณอินพุท (V_i) ดังรูปที่ 2.3 จากนั้นก็จะได้สัญญาณเอาท์พุท (V_0) ออกมาดังสมการข้างล่างนี้ คือ

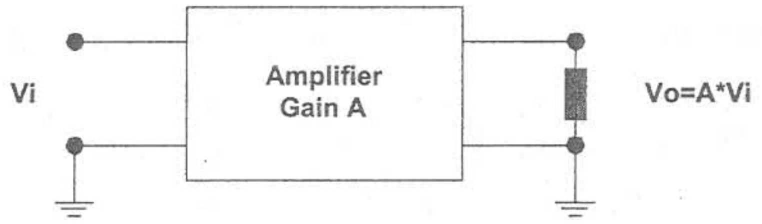
$$V_0 = AVi \qquad (2.1)$$

โดยอัตราการขยายแรงดัน A นั้นจะไม่มีหน่วยและจากสมการที่ 2.1 จะได้อัตราขยายแรงดันเท่ากับอัตราส่วนระหว่างแรงดันเอาท์พุท (Vo) ต่อแรงดันอินพุท (Vi) หรือ

$$A = \frac{Vo}{Vi} \qquad (2.2)$$

ศูนย์สนเทศและวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึ่งอัตราการขยายแรงดันสามารถที่จะกระทำให้อยู่ในย่านที่กว้างตามต้องการได้ เช่น จาก 1 – 100,000 เท่า และทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความต้องการของวงจร



รูปที่ 2.3 วงจรขยายแรงดัน (สำเริง รัศมีวิศวะและดำรง จีนขาวขำ , 2529)

2.1.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparators)

ในการเปรียบเทียบค่าแรงดัน โดยมากจะใช้ออปแอมป์มาเป็นตัวแสดงผลด้วยวิธีการใช้แรงดันที่เปรียบเทียบนั้นมาป้อนเข้าที่อินพุท แล้วทำให้เกิดผลต่างขึ้นที่ขั้วอินพุททั้งสอง จากนั้นก็จะได้แรงดันเอาท์พุทเกิดขึ้นมา

ดังนั้น ถ้าเรามีแรงดันอ้างอิง (Voltage Reference) ป้อนเข้าที่ขั้วใดขั้วหนึ่งของอินพุท และอีกขั้วหนึ่งเป็นแรงดันที่ไม่ทราบค่า เพราะฉะนั้นแรงดันที่ปรากฏขึ้นที่ขั้วเอาท์พุทของออปแอมป์ ก็จะเป็นตัวแสดงให้แรงดันอินพุทที่ไม่ทราบค่านั้นจะมีค่ามากหรือน้อยกว่าแรงดันอ้างอิง (Vref)

วิธีง่ายที่สุดสำหรับการป้อนค่าแรงดันอ้างอิง (Vref) ก็คือการทำให้แรงดันค่านี้เป็นศูนย์หรือต่อลงกราวด์ วิธีนี้ เรียกว่า Zero Crossing Detector เพราะฉะนั้นแรงดันที่ขั้วเอาท์พุทจะเปลี่ยนสถานะทุกครั้ง (จาก+Vsat เป็น –Vsat หรือ จาก –Vsat เป็น +Vsat เมื่อแรงดันอินพุทที่ไม่ทราบค่าใด ๆ นั้นมีการเปลี่ยนแปลงผ่านจุด 0 V.

ความจริงแรงดันอ้างอิง (Vref) ไม่จำเป็นจะต้องมีค่าเท่ากับ 0 V. เสมอไป ทั้งนี้อาจจะมากหรือน้อยกว่าก็ได้ ดังนั้นแรงดันเอาท์พุทก็จะเปลี่ยนสถานะทุกครั้งเมื่อแรงดันที่ไม่ทราบค่าใด ๆ นั้นมีการเปลี่ยนแปลงผ่านแรงดันอ้างอิงค่านี้

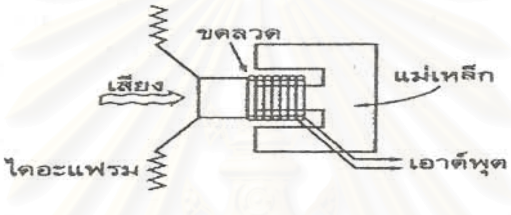
2.1.3 ไมโครโฟน

เป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ไมโครโฟนที่มีใช้งานทั่ว ๆ ไป มี 3 แบบ คือ แบบขดลวดเคลื่อนที่ (Moving coil) แบบอาศัยหลักการของเปียซโซอิเล็กตริกและแบบคอนเดนเซอร์

โครงสร้างของไมโครโฟนแบบขดลวดเคลื่อนที่ แสดงดังรูปที่ 2.4 เมื่อมีคลื่นเสียงมาตกกระทบแผ่นไดอะเฟรม ทำให้ไดอะเฟรมเกิดการเคลื่อนที่ ทำให้ขดลวดที่อยู่ภายในเกิดการ

เคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก เกิดการเหนี่ยวนำแรงดันขึ้น ซึ่งขนาดของแรงดันนั้นก็ขึ้นอยู่กับความเร็วการเคลื่อนที่ของขดลวดอันเป็นผลสืบเนื่องมาจากกำลังของเสียงที่เข้ามากระทบแผ่นไดอะแฟรม ไมโครโฟนแบบขดลวดเคลื่อนที่นี้ จะให้ระดับสัญญาณเอาท์พุตค่อนข้างต่ำ คือ ไม่กี่มิลลิโวลต์ และมีอิมพีแดนซ์ต่ำ ประมาณไม่กี่ร้อยโอห์ม แต่ให้สัญญาณที่มีคุณภาพค่อนข้างมาก คือความเพี้ยนต่ำนั่นเอง

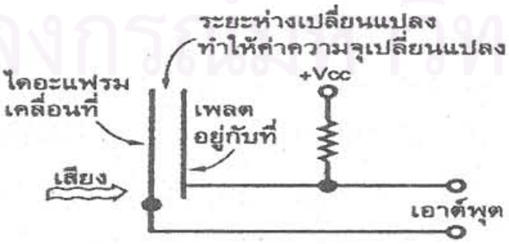
ไมโครโฟนแบบที่สอง จะทำงานภายใต้ปรากฏการณ์ของเปียซโซอิเล็กตริก คือถ้าหากเกิดแรงกดหรือตกกระทบบนตัวทรานสดิวเซอร์ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น หรืออาจเรียกไมโครโฟนแบบนี้ว่า คริสตอลไมโครโฟน ไมโครโฟนแบบนี้อิมพีแดนซ์สูงมากเป็นเมกะโอห์ม ให้ระดับสัญญาณเอาท์พุตสูง ประมาณ 0.5 โวลต์ แต่คุณภาพสัญญาณที่ได้ยังไม่ดีนัก



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของไมโครโฟน (ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , 2538)

ส่วนแบบสุดท้ายคือ แบบคอนเดนเซอร์ มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.5 ใช้หลักการที่ว่าเสียงมาตกกระทบบนไดอะเฟรมทำให้แผ่นเพลต เกิดการเคลื่อนที่ ทำให้ความจุภายในเกิดการเปลี่ยนแปลงแผ่นเพลตที่ทำหน้าที่เสมือนตัวเก็บประจุจะต่อเข้ากับแรงดันไฟตรง โดยผ่านตัวต้านทานทำให้เมื่อความจุไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลง แรงดันตกคร่อมย่อมเปลี่ยนตามไปด้วย จึงเกิดสัญญาณไฟฟ้าออกมาจากเอาท์พุต ไมโครโฟนแบบนี้ให้คุณภาพเสียงค่อนข้างดี ให้เอาท์พุตแรงเหมาะสมกับอิมพีแดนซ์ของมัน แต่มีข้อเสียคือต้องมีแรงดันไฟฟ้าเลี้ยงตลอดเวลา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

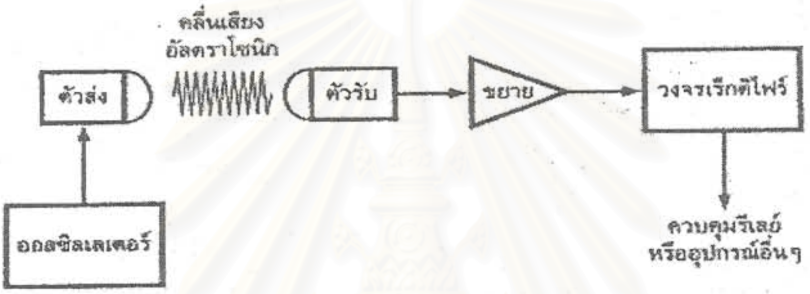


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของไมโครโฟนแบบคอนเดนเซอร์ (ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , 2538)

2.1.4 อัลตราโซนิก

จากปรากฏการณ์เปียซโซอิเล็กตริกที่นำมาใช้ประดิษฐ์ไมโครโฟน ก็ได้รับการนำมาพัฒนาต่อเป็นอัลตราโซนิก ที่แตกต่างจากไมโครโฟน คือ มันจะทำงานที่ย่านความถี่สูงกว่าความถี่เสียง ถ้าหากมีสัญญาณไฟสลับที่มีขนาดใหญ่พอมาปรากฏที่เปียซโซอิเล็กตริกคริสตอล ตัวคริสตอลจะสั่นทำให้เกิดปีนเสียงได้ โดยมีความถี่เท่ากับสัญญาณไฟสลับที่ป้อนเข้ามา

อัลตราโซนิกเป็นตัวทรานสดิวเซอร์ที่ได้ถูกแบ่งเป็น ตัวส่งและตัวรับ โดยจะทำงานก็ต่อเมื่อเกิดการเรโซแนนซ์กับความถี่ของสัญญาณที่มาตกคร่อมตัวมัน คุณสมบัติหลักของตัวส่งอัลตราโซนิกคือ ต้องมีความเข้มของสัญญาณเอาท์พุตสูง ๆ ส่วนของตัวรับคือต้องมีความไวในการรับสัญญาณสูง



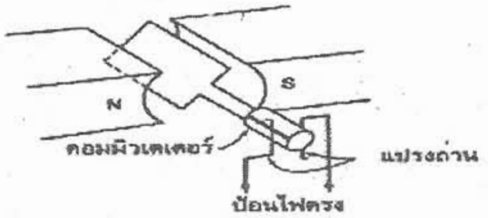
รูปที่ 2.6 ไดอะแกรมการใช้งานอัลตราโซนิก (ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , 2538)

บล็อกไดอะแกรมการใช้งานอัลตราโซนิก แสดงดังรูปที่ 2.6 ตัวส่งจะได้รับสัญญาณความถี่มาจากวงจรออสซิลเลเตอร์ เมื่อตัวรับได้รับสัญญาณแล้วก็จะส่งสัญญาณไปขยายเสียงก่อนจากนั้นจะเข้าสู่วงจรเร็กติไฟร์ เพื่อให้ได้สัญญาณไฟตรงไปควบคุมรีเลย์ต่อไป อัลตราโซนิกมีประโยชน์มาก สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายลักษณะ เช่น ทำเป็นรีโมทคอนโทรล ใช้ระบบกันขโมย และวงจรตรวจวัดระดับ (Level detection)

2.1.5 มอเตอร์ (Motor)

มอเตอร์จะมีลักษณะการทำงานที่ตรงข้ามกับเจนเนอเรเตอร์ ในเจเนอเรเตอร์จะเปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นพลังงานไฟฟ้า แต่ในมอเตอร์จะให้พลังงานจลน์คือ มอเตอร์จะหมุนก็ต่อเมื่อได้รับแรงดันไฟฟ้า โครงสร้างของมอเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.7 เมื่อป้อนแรงดันไฟตรงเข้าที่แปรงถ่าน จะเกิดกระแสไหลผ่านขดลวดตัดสนามแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงผลักให้ขดลวดหมุนตามความสัมพันธ์

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.7 การทำงานเบื้องต้นของมอเตอร์ (ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , 2538)

$$E \propto WB \tag{2.3}$$

โดยที่ W คือ ความเร็วในการหมุน

B คือ ความเข้มของสนามแม่เหล็ก

ถ้าหากกระแส i มีค่าสูงสุด ความเร็วจะกลายเป็น 0 แต่ถ้ากระแสไหลลดลงความเร็วจะเพิ่มขึ้น แรงบิดที่เกิดขึ้นในมอเตอร์ขึ้นอยู่กับกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดของมอเตอร์ตามความสัมพันธ์

$$T = i * B \tag{2.4}$$

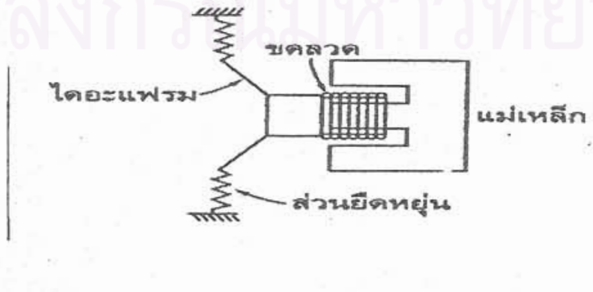
โดยที่ T คือ แรงบิดที่เกิดขึ้นในมอเตอร์

อัตราความเร็วของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งแรงบิดสมดุลย์กับโหลดที่ต่อเข้ากับมอเตอร์

อัตราความเร็วของมอเตอร์ไฟตรงสามารถควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มของสนามแม่เหล็ก หรือปรับแรงดันอาร์เมเจอร์ ส่วนการสร้างสนามแม่เหล็กสามารถใช้แม่เหล็กถาวรหรือจะต่อขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กเสียก่อน

2.1.6 ลำโพง

ลำโพงเป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานเสียง ในรูปที่ 2.8 เป็นโครงสร้างของลำโพงแบบขดลวดเคลื่อนที่อันเป็นที่นิยมใช้มากที่สุด

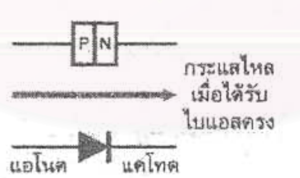


รูปที่ 2.8 โครงสร้างของลำโพงแบบขดลวดเคลื่อนที่ (ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , 2538)

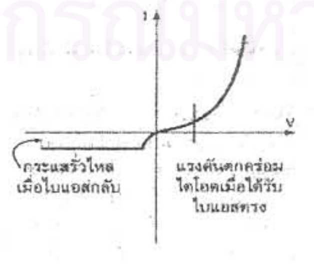
ระหว่างขั้วแม่เหล็กถาวรสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะทำให้มีกระแสไหลในขดลวด และเกิดแรงที่ทำให้แผ่นไดอะเฟรมเคลื่อนที่ จากการเคลื่อนที่เข้าออกของแผ่นไดอะเฟรมนี้เอง จึงเกิดคลื่นเสียงกระจายออกจากตัวลำโพง ในลำโพงที่ถูกออกแบบมาอย่างถูกต้องและดีเยี่ยม คลื่นเสียงที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเหมือนกับสัญญาณไฟฟ้าที่ป้อนเข้ามาทุกประการ

2.1.7 ไดโอด (Diode)

เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำตัวแรกที่ถูกสร้างขึ้น มีโครงสร้างและสัญลักษณ์ ดังรูปที่ 2.9 ไดโอดสามารถนำกระแสได้ ถ้าให้แรงดันบวกที่ขาแอโนด และแรงดันลบที่ขาแคโทด เรียกว่า ให้แรงดันไบแอสตรง ไดโอดจะนำกระแสเมื่อเกิดแรงดันตกคร่อมตัวมันประมาณ 0.2-0.3 โวลต์ สำหรับไดโอดแบบเยอรมันเนียม และ 0.6-0.7 โวลต์ สำหรับไดโอดแบบซิลิกอน ในรูปที่ 2.10 เป็นกราฟแสดงการนำกระแสของไดโอด จะเห็นว่าในช่วงแรกที่แรงดันตกคร่อม (หรือแรงดันไบแอส) ตัวไดโอดยังไม่ถึงจุดทำงานของมัน จะมีกระแสไหลผ่านตัวมันน้อยมาก เรียกว่า เป็นกระแสรั่วไหล (Leakage current) แต่เมื่อแรงดันไบแอสตรงถึงจุดทำงาน กระแสจะไหลอย่างมากมายทันที ไดโอดมักถูกใช้ในวงจรเร็กติไฟร์ (วงจรแปลงกระแสไฟสลับเป็นไฟตรง), วงจรดีเท็กเตอร์, วงจรตัดยอดคลื่น (Clipper) เป็นต้น ไดโอดที่ใช้ในวงจรเร็กติไฟร์จะต้องมีอัตราการทนแรงดัน และกระแสที่ค่อนข้างสูง คือ มีขนาดตั้งแต่ 1 แอมป์ 50 โวลต์ ไปจนถึงหลายสิบแอมป์ หลายร้อยโวลต์ ส่วนไดโอดที่ใช้ในการจัดการกับสัญญาณขนาดเล็ก เช่น ในวงจรดีเท็กเตอร์นั้น จะมีขนาดเล็กกว่ามาก แต่จะมีความเร็วในการทำงานสูงกว่า



รูปที่ 2.9 โครงสร้างและสัญลักษณ์ไดโอด (ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , 2538)



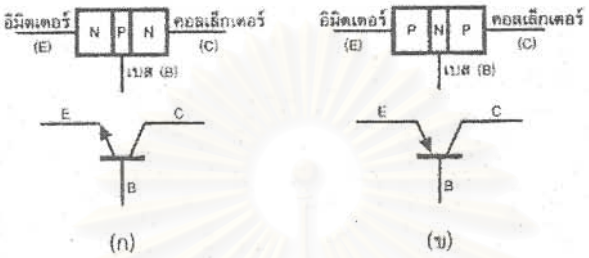
รูปที่ 2.10 กราฟคุณสมบัติการทำงานของไดโอด (ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , 2538)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.8 ทรานซิสเตอร์ (Transistor)

เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่พัฒนาการมาจากไดโอด สามารถที่จะขยายสัญญาณให้มีขนาดโตก็ได้ ทรานซิสเตอร์แบ่งออกได้ 2 ชนิด ตามลักษณะโครงสร้างคือ แบบ NPN และ PNP ในรูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ทั้ง 2 ชนิด

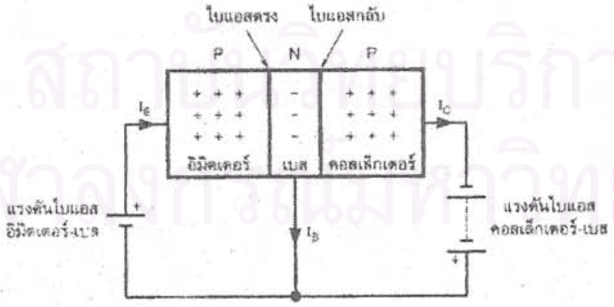
ทรานซิสเตอร์มีขาสัญญาณ 3 ขา คือ เบส (Base) , คอลเล็กเตอร์ (Collector) , และอิมิตเตอร์ (Emitter)



รูปที่ 2.11 โครงสร้างและสัญลักษณ์ของทรานซิสเตอร์ (ก) NPN (ข) PNP
(ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , 2538)

การทำงานของทรานซิสเตอร์

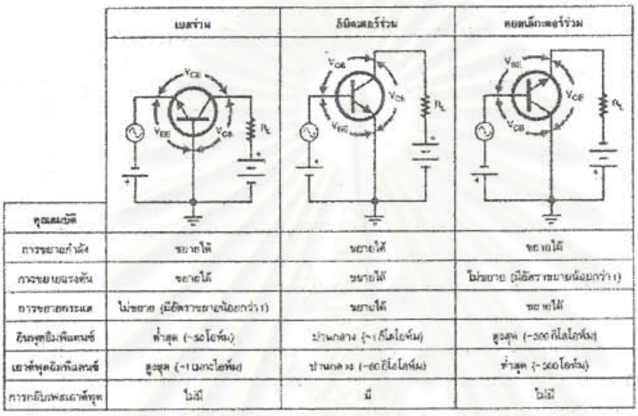
เนื่องจากทรานซิสเตอร์มี 3 ขา การไบแอสให้ทำงานจึงต้องมีวิธีการที่แตกต่างจากไดโอด จะขอยกตัวอย่างทรานซิสเตอร์ชนิด PNP จะต้องให้ไบแอสตรงทางอินพุต คือ ให้ไฟบวกที่ขาอิมิตเตอร์ และไฟลบที่ขาเบส ส่วนทางเอาต์พุตจะให้ไบแอสกลับไว้ คือ ให้ไฟบวกที่ขาเบส และไฟลบที่ขาคอลเล็กเตอร์ ดังในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การนำกระแสของทรานซิสเตอร์ (ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , 2538)

จากรูปพิจารณาดูจะเห็นว่า ที่เบสกับอิมิตเตอร์เสมือนเป็นไดโอดตัวหนึ่ง เมื่อแรงดันที่เบสกับอิมิตเตอร์สูงถึงจุดทำงาน (0.7 โวลต์ สำหรับชนิดซิลิกอน) จะทำให้ช่วงของสาร N แคบลงกระแสจึงสามารถไหลผ่านจากอิมิตเตอร์ไปยังคอลเล็กเตอร์ก็จะทำให้ทรานซิสเตอร์นำกระแส

ทรานซิสเตอร์สามารถจัดวงจรได้ 3 แบบ คือ วงจรเบสร่วม (Common base) วงจรอิมิตเตอร์ร่วม (Common emitter) และวงจรคอลเล็กเตอร์ร่วม (Common collector) โดยมีลักษณะวงจรและคุณสมบัติดังในรูปที่ 2.13



คุณสมบัติ	เบสร่วม	อิมิตเตอร์ร่วม	คอลเล็กเตอร์ร่วม
การขยายกำลัง	ขยายได้	ขยายได้	ขยายได้
การขยายแรงดัน	ขยายได้	ขยายได้	ไม่ขยาย (มีอัตราขยายน้อยกว่า 1)
การขยายกระแส	ไม่ขยาย (มีอัตราขยายน้อยกว่า 1)	ขยายได้	ขยายได้
อินพุตอิมพีแดนซ์	ต่ำสุด (~50 โอห์ม)	ปานกลาง (~1 กิโลโอห์ม)	สูงสุด (~300 กิโลโอห์ม)
เอาต์พุตอิมพีแดนซ์	สูงสุด (~1 เมกะโอห์ม)	ปานกลาง (~50 กิโลโอห์ม)	ต่ำสุด (~300 โอห์ม)
การกลับเฟสเอาต์พุต	ไม่มี	มี	ไม่มี

รูปที่ 2.13 คุณสมบัติของการจัดวงจรแบบต่างๆ ของทรานซิสเตอร์
(ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , 2538)

กระแสไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับทรานซิสเตอร์มีด้วยกัน 3 ตัว คือ กระแสเบส (I_B) , กระแสอิมิตเตอร์ (I_E) และกระแสคอลเล็กเตอร์ (I_C) โดยมีความสัมพันธ์คือ

$$I_C = \beta I_B \qquad (2.5)$$

$$I_E = I_C + I_B = I_B(\beta + 1) \qquad (2.6)$$

โดยที่ β คือ อัตราการขยายกระแสของตัวทรานซิสเตอร์

ตามปกติกระแส I_B จะมีค่าน้อยมาก มีหน่วยเป็นไมโครแอมป์หรือมิลลิแอมป์ ในขณะที่กระแสคอลเล็กเตอร์และอิมิตเตอร์จะมีค่าสูงกว่ามาก คือตั้งแต่เป็นมิลลิแอมป์ไปจนถึงหลายๆ สิบแอมป์ในกรณีที่เป็นทรานซิสเตอร์กำลัง (Power transistor)

สรุปความสัมพันธ์ของ β และ α ของทรานซิสเตอร์

β คือ อัตราส่วนทางกระแส I_C / I_B ซึ่งก็คือ อัตราขยายกระแสทรานซิสเตอร์

α คือ อัตราส่วนของกระแส I_C / I_E ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่า 1 เสมอ

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \tag{2.7}$$

2.1.9 อุปกรณ์กำเนิดแสง LED (Light Emitting Diode)

LED เป็นไดโอดที่สามารถเปล่งแสงได้ในขณะที่มันนำกระแส มีสัญลักษณ์ดังรูปที่ 2.14 เนื่องจากเป็นไดโอดแบบหนึ่ง ดังนั้นการทำให้มันนำกระแสได้ก็ต้องให้ไบแอสเช่นเดียวกับไดโอดคือ ต่อไฟบวกเข้าที่แอโนด ไฟลบเข้าที่แคโนด แต่จะต้องต่อตัวต้านทานอนุกรมกับ LED ด้วยเพื่อจำกัดกระแสไม่ให้ไหลผ่าน LED มากเกินไป ดังรูปที่ 2.15

LED จะสามารถนำกระแสได้เมื่อมีแรงดันตกคร่อมตัวมันตั้งแต่ 2-5 โวลต์ กระแสที่ไหลผ่านจะอยู่ระหว่าง 5-30 มิลลิแอมป์ ไม่ควรเกินกว่านี้ เพราะอาจทำให้ LED เสียหายได้ การเลือกค่าความต้านทานที่เหมาะสมได้แก่ LED เป็นไปตามสูตรดังนี้

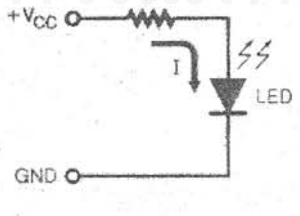
$$R = \frac{V - V_f}{I} \quad \text{โอห์ม} \tag{2.8}$$

โดยที่ V คือ แรงดันไฟเลี้ยง มีหน่วนเป็นโวลต์

V_f คือ ค่าแรงดันไบแอสตรงที่ตกคร่อม LED แล้วทำให้มันทำงานมีหน่วยเป็นโวลต์

I คือ ปริมาณกระแสไฟตรงที่ต้องการให้ไหลผ่าน LED มีหน่วยเป็น แอมแปร์

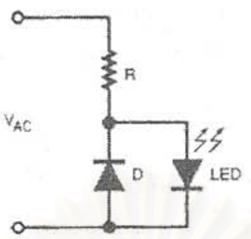
รูปที่ 2.14 สัญลักษณ์ของ LED (ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , 2538)



รูปที่ 2.15 วงจรใช้งาน LED (ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , 2538)

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
...และวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LED เหมาะที่จะใช้กับวงจรไฟตรง แต่ถ้าหากต้องการนำไปใช้ในวงจรไฟสลับก็สามารถทำได้โดยจัดวงจรป้องกัน LED ไม่ให้เสียหาย เมื่อ LED ได้รับแรงดันไบแอสกลับ ด้วยการต่อไดโอดกลับขั้วขนานกับ LED ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 เมื่อใช้ LED กับแรงดันไฟกลับ (ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , 2538)

LED มีให้เลือกใช้งานหลายแสงสีที่มีในปัจจุบันได้แก่ สีแดง เหลือง เขียว ส้ม และอินฟาเรด นอกจากนั้น LED ยังสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจจับแสง เช่น โฟโต้เซล

2.1.10 LCD (Liquid Crystal Display)

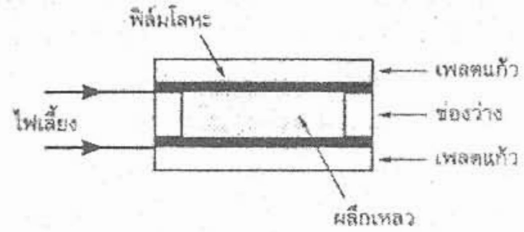
เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงอีกชนิดหนึ่งที่นิยมนำไปใช้เป็นตัวแสดงผลข้อความหรือตัวเลขมากกว่านำมาใช้เป็นอุปกรณ์กำเนิดแสงสว่าง เนื่องจากมันมีความเข้มต่ำมาก และกินกำลังไฟฟ้าต่ำมากด้วยเช่นกัน จึงนิยมนำ LCD มาใช้ในเครื่องคิดเลขและนาฬิกาดิจิตอล

ลักษณะโครงสร้างของ LCD แสดงดังรูปที่ 2.17 จะประกอบด้วย เพลตแก้ว 2 แผ่น ที่วางขนานกันถูกคั่นกลางด้วยช่องว่างอากาศ ซึ่งบรรจุผลึกเหลวเอาไว้ เมื่อจ่ายแรงดันเข้าเพลต ผลึกเหลวก็จะมีการจัดเรียงโมเลกุลแสดงผลออกมา

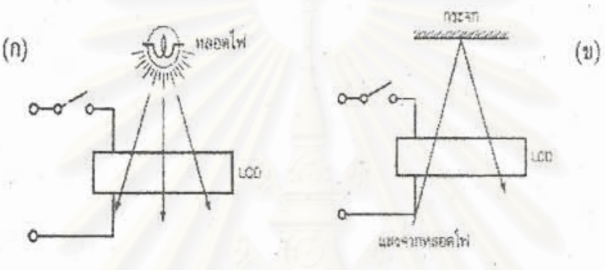
การแสดงผลของ LCD มีด้วยกัน 2 โหมด คือ ทรานสมิสซีส (Transmissive) และรีเฟล็กซ์ตีฟ (Reflextive) การทำงานในโหมดทรานสมิสซีฟ แสดงดังรูปที่ 2.18 โดยจะต้องใช้แสงจากหลอดไฟส่องผ่านมาทางด้านหลัง จึงจะสามารถมองเห็นข้อมูลบนจอ LCD ส่วนแบบโหมดรีเฟล็กซ์ตีฟจะใช้การสะท้อนแสงจากภายนอกมากระทบกระจกที่ติดตั้งอยู่ด้านหลังจอ LCD เพื่อให้เกิดแสงส่องทางด้านหลังของจอ จึงมองเห็นข้อมูลบนจอ LCD

ปกติแล้ว LCD จะกินกระแสไฟฟ้าต่ำมาก ประมาณ 1 ไมโครแอมป์เท่านั้น จึงสามารถใช้แบตเตอรี่ธรรมดาเป็นแหล่งจ่ายไฟได้

การขับ LCD ให้แสดงผลนั้น มักใช้ไอซีซีมอสเป็นตัวขับ ถึงแม้ว่าตัว LCD จะใช้ไฟตรงเป็นไฟเลี้ยงก็ตาม แต่การขับ LCD จะใช้สัญญาณพัลส์สี่เหลี่ยมมากระตุ้นที่แผ่นตัวนำใสและที่แผ่นพื้น (Backplane) ของ LCD



รูปที่ 2.17 โครงสร้างของ LCD (ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , 2538)



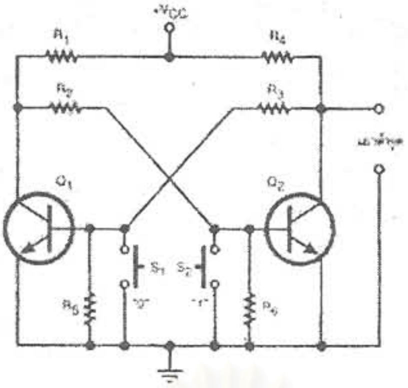
รูปที่ 2.18 การแสดงผลของ LCD (ก) แบบทรานสมิสซีฟ (ข) แบบรีเฟล็กซ์ตีฟ (ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , 2538)

2.2 เครื่องกำเนิดรูปสัญญาณ

หลักการทั่วไปของมัลติไวเบรเตอร์

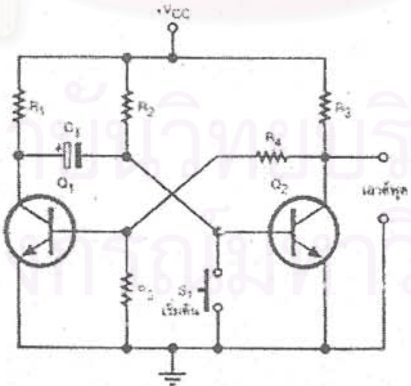
มัลติไวเบรเตอร์ชนิดที่ใช้ทรานซิสเตอร์ในวงจร และ ให้คุณสมบัติของวงจรทั้งการครอส-คับปลิ้ง (Cross coupling) และการสวิตชิ่ง 2 ขั้นนั้นคือ ขั้นแรก เมื่อทรานซิสเตอร์ตัวแรกออนจะมีสัญญาณป้อนไปยังทรานซิสเตอร์อีกตัวให้ออฟ และขั้นที่สองเมื่อทรานซิสเตอร์ตัวที่สองออนตัวแรกก็จะออฟในลักษณะกลับไปกลับมา

การครอส-คับปลิ้งแบบนี้จะทำให้เกิดการสวิตชิ่งเป็นแบบสเตเบิลหรือไม่กึ่งสเตเบิล เมื่อต้องการการครอส-คับปลิ้งเป็นแบบสเตเบิล สวิตช์จะถูกล็อกไว้ที่สภาวะออนหรือออฟ จนกว่าสภาวะดังกล่าวจะถูกเปลี่ยนด้วยสัญญาณจากภายนอก ถ้าวงจรเป็นการครอส-คับปลิ้ง แบบกึ่งสเตเบิล สวิตช์จะถูกล็อกไว้ที่สภาวะออนหรือออฟ และจะคลายล็อกทันทีหลังช่วงการหน่วงเวลาซึ่งกำหนดด้วยค่าคงที่ของเวลาในวงจรครอส-คับปลิ้ง



รูปที่ 2.19 มัลติไวเบรเตอร์แบบไบสเตเบิลที่มีการทริกเกอร์แบบแมนวล
(สุรภัทร วงษ์เวียงจันทร์ , 2538)

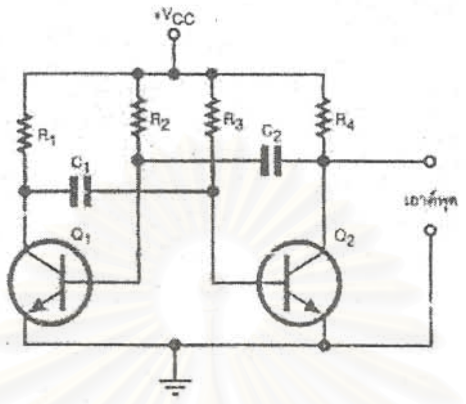
รูปวงจรพื้นฐานของมัลติไวเบรเตอร์แบบทรานซิสเตอร์นี้แสดงในรูปที่ 2.19 ถึง 2.21 วงจรรูปที่ 2.19 เป็นมัลติไวเบรเตอร์แบบไบสเตเบิล มีการทริกเกอร์แบบแมนวล การไบแอสที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์แต่ละตัวจะเกิดขึ้นได้จากขาคอลเลกเตอร์ของอีกตัวหนึ่ง ดังนั้นเมื่อทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งออฟจะทำให้ทรานซิสเตอร์อีกตัวออนหรือตัวหนึ่งออนก็จะทำให้อีกตัวออฟกลับไปกลับมา ทางด้านเอาต์พุตจะอยู่ในสภาวะ "0" โดยการออฟทรานซิสเตอร์ Q_1 ด้วยสวิตช์ S_1 ซึ่งจะทำให้ วงจรล็อกอยู่ที่สภาวะนี้จนกว่าจะออฟทรานซิสเตอร์ Q_2 ด้วยสวิตช์ S_2 และจะทำให้เอาต์พุตล็อกอยู่ที่สถาวะ "1" การออนออฟ จะทำได้ซ้ำไปซ้ำมาตราบใดที่วงจรยังมีไปเลี้ยงอยู่



รูปที่ 2.20 มัลติไวเบรเตอร์แบบโมโนสเตเบิลที่มีการทริกเกอร์แบบแมนวล
(สุรภัทร วงษ์เวียงจันทร์ , 2538)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วงจรรูปที่ 2.20 เป็นมัลติไวเบรเตอร์แบบโมโนสเตเบิล หรืออาจจะเรียกว่าวงจรกำเนิดสัญญาณพัลซ์ช่วงสั้น (One shot pulse generator) คือปกติเอาต์พุตจะอยู่ในสภาวะ “0” แต่เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_2 ถูกออฟด้วยสวิตซ์ S_1 จะทำให้เอาต์พุตอยู่ในสภาวะ “1” ภายในช่วงเวลาที่ตั้งด้วยค่าของ C_1 และ R_2



รูปที่ 2.21 มัลติไวเบรเตอร์แบบอะสเตเบิลหรือแหล่งจ่ายสัญญาณสแควร์เวฟ (สุรภัทร วงษ์เวียงจันทร์ , 2538)

วงจรรูปที่ 2.21 เป็นมัลติไวเบรเตอร์แบบอะสเตเบิล ซึ่งก็คือแหล่งกำเนิดสัญญาณรูปคลื่นแบบสแควร์เวฟ จ่ายออกมาเรื่อย ๆ ช่วงการออน-ออฟ จะถูกกำหนดด้วยค่า R_3 , C_1 , R_2 และ C_2

2.3 วงจรกรองความถี่

วงจรกรองความถี่ (Filter) หมายถึง วงจรที่สามารถเลือกความถี่ในช่วงกว้าง ๆ ได้ ซึ่งแน่นอนความถี่ในช่วงที่เราไม่ต้องการเมื่อผ่านวงจรกรองความถี่จะถูกตัดทิ้งไป วงจรกรองความถี่จะประกอบด้วยตัวต้านทาน (R) ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ประกอบเข้าด้วยกันเรียกรวมว่า วงจรฟิลเตอร์แบบพาสซีฟ (Passive-Filter) ส่วนวงจรฟิลเตอร์แบบแอคทีฟ (Active-Filter) จะรวมเอาออปแอมป์ที่มีอัตราขยายสูง ๆ เข้ากับวงจรฟิลเตอร์แบบพาสซีฟเพื่อที่จะป้อนสัญญาณกลับสู่วงจรอีกครั้ง

วงจรกรองความถี่ที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุถูกเรียกว่า ความต้านทาน - ความจุ (Resistive – Capacitive , RC) ส่วนวงจรกรองความถี่อีกแบบที่ประกอบด้วยตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุจะถูกเรียกว่า ความเหนี่ยวนำ-ความจุ (Inductive-Capacitive , LC) วงจรกรองความถี่โดยทั่ว ๆ ไปจะรวมเอาตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุเข้าด้วยกัน เพราะว่า ค่า

ศูนย์หนังสือสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อินดัคตีฟรีแอคแตนซ์ (XL) จะเพิ่มขึ้นตามความถี่ และค่าคาปาซิตีฟรีแอคแตนซ์ (XC) จะลดลงตามความถี่ ซึ่งผลที่ตรงกันข้ามนี้จะเป็นประโยชน์มากในการออกแบบวงจรฟิลเตอร์

ในตัวเก็บประจุจะมีคุณสมบัติที่สามารถรองไฟฟ้ากระแสสลับได้ เพราะว่าค่าปาซิตีฟรีแอคแตนซ์ (XC) จะเป็นสัดส่วนผกผันกับความถี่ ตามสูตรข้างล่างนี้

$$fc = \frac{1}{2\pi RC} \qquad (2.9)$$

และตัวเก็บประจุยังสามารถกั้นไฟฟ้ากระแสตรงและต้านสัญญาณที่มีความถี่ต่ำไม่ให้ผ่านไปได้ แม้ว่าสัญญาณที่ผ่านจะมีความถี่เพิ่มขึ้นก็ตาม

วงจรกรองความถี่แบบพื้นฐานนั้น จะแบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

1. ชนิดความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass)
2. ชนิดความถี่สูงผ่าน (High-pass)
3. ชนิดแถบความถี่ผ่าน (Bandpass)
4. ชนิดตัดแถบความถี่ (Band-rejection) หรือ Notch

วงจรกรองความถี่ชนิดความถี่ต่ำผ่าน (Low-pass filter)

วงจรกรองความถี่นี้มีส่วนช่วยในการทำงานของวงจรต่าง ๆ มากมาย โดยการขจัดความถี่ที่ไม่ต้องการออก และจะยอมให้เพียงความถี่ที่ต้องการผ่านไปได้ วงจรกรองความถี่แบบ RC เหมาะสำหรับกรองความถี่ที่ต่ำ ๆ คือต่ำกว่า 100 kHz ในขณะที่วงจรกรองความถี่แบบ LC เหมาะสำหรับกรองความถี่ที่สูง ๆ คือสูงกว่า 100 kHz

วงจรกรองความถี่ชนิดความถี่สูงผ่าน (High-pass filter)

วงจรกรองความถี่แบบนี้จะยอมให้สัญญาณที่มีความถี่สูง ๆ ผ่านไปได้ แต่จะกั้นไม่ให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำผ่านไป ซึ่งประกอบด้วยตัวเก็บประจุต่ออนุกรมอยู่กับโหลด และตัวต้านทานต่อขนานอยู่กับโหลด ตัวเก็บประจุนี้จะต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าโดยมีคุณสมบัติแปรผกผันกับความถี่ คือยิ่งความถี่มีค่าสูงขึ้น การต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้าจะยิ่งน้อยลง วงจรชนิดนี้จะกั้นสัญญาณที่มีความถี่ต่ำๆ ได้อย่างสมบูรณ์

วงจรกรองความถี่ชนิดแถบความถี่ผ่าน (Bandpass filter)

วงจรกรองชนิดแถบความถี่ผ่านจะยอมให้แถบความถี่พิเศษผ่านในขณะที่จะไม่ให้ความถี่สูงและต่ำกว่าผ่านไป วงจรกรองแบบนี้สามารถทำได้โดยการรวม (Cascading) วงจรกรองความถี่ชนิดความถี่สูงผ่านและวงจรกรองความถี่ชนิดความถี่ต่ำผ่าน ดังนั้นแถบของความถี่จะไม่ถูกหยุดยั้งโดยวงจรกรองความถี่ทั้งสองนี้และจะสามารถผ่านไปได้ วงจรกรองชนิดแถบความถี่ผ่านโดยทั่วๆ ไปจะมีโค้งตอบสนองของความถี่ ซึ่งจะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู และมีความชันเป็นบวกที่ความถี่ต่ำ ๆ (ด้านซ้ายมือ) ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงขีดจำกัดของการหยุดแถบแบบความถี่สูงผ่าน (High-pass stopband) และมีความชันเป็นลบที่ความถี่สูง ๆ (ด้านขวามือ) โดยมีขีดจำกัดของการหยุดแถบแบบความถี่ต่ำผ่าน (Low - pass stopband) และที่ยอดโค้งนี้จะมีค่า 0 dB ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอัตราการขยายของสัญญาณนั้นคงที่

แบนด์วิดธ์ (Bandwidth) ของวงจรกรองนี้เป็นความแตกต่างของความถี่ระหว่างจุดครึ่งกำลังของวงจรกรองเป็น 3 dB ลดลงจากจุดสูงสุดของโค้งความถี่ซึ่งในที่นี้ก็คือ จุดระหว่าง fcl (วงจรกรองชนิดความถี่สูงผ่าน) และ fc2 (วงจรกรองชนิดความถี่ต่ำผ่าน) ซึ่งสูตรสำหรับคำนวณแบบวิดธ์ คือ fc2 - fcl (มีหน่วยเป็น kHz) ซึ่งแถบผ่านของวงจรกรองความถี่คือขอบเขตของความถี่ที่ผ่านเข้าไปในวงจรกรองความถี่คือขอบเขตของความถี่ที่ผ่านเข้าไปในวงจรซึ่งจะเกิดการสูญเสียความแรงของสัญญาณ เนื่องจากการป้อนความถี่ผ่านแถบของวงจร ฉะนั้นถ้าไม่มีวงจร กรองความถี่และแหล่งจ่ายกับโหลดจะต่อเข้าด้วยกันโดยตรงทำให้สัญญาณเอาต์พุตเพิ่มขึ้นตามปริมาณของความสูญเสียเนื่องจากการป้อนความถี่

วงจรกรองความถี่ชนิดตัดแถบความถี่ (Band-reject filter)

วงจรกรองชนิดตัดแถบความถี่ หรือวงจรกรองแบบช่องบาก (Notch filter) ซึ่งมีการทำงานตรงกันข้ามกับวงจรกรองชนิดแถบความถี่ผ่าน (Passband filter) คือ วงจรกรองแบบช่องบากนี้จะสามารถกั้นความถี่ที่กำหนดได้ เรียกว่า แถบหยุด (Stopband) แต่สามารถให้ความถี่อื่น ๆ ผ่านไปได้

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างภายในของ MCS-51 และการเขียนโปรแกรมเบื้องต้น

คุณสมบัติทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

คุณสมบัติทั่วไปที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีดังนี้

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต
- มีวงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาในไอซี

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- มีขาสัญญาณอินพุตเอาต์พุตจำนวน 32 บิต
- สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External data memory) โดยอ้างตำแหน่งแอดเดรสได้ถึง 64 K
- สามารถเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก (External program memory) โดยอ้างตำแหน่งแอดเดรสได้ถึง 64 K
- มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในตัว (On-chip pro-gram memory) ขนาด 4 K โดยเฉพาะเบอร์ 8052 จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้ถึง 8 K สำหรับเบอร์ 8031 และ M8032 จะไม่มีหน่วยความจำในส่วนนี้
- มีหน่วยความจำข้อมูลภายในตัว (On-chip data memory) ขนาด 128 ไบต์ โดยเฉพาะเบอร์ 8032 และ 8052 จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้ถึง 256 ไบต์

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละเบอร์ในตระกูล MCS-51

ชื่อเบอร์	หน่วยความจำใน		จำนวนไทเมอร์/เคาน์เตอร์	จำนวนอินเตอร์รัปต์
	เก็บโปรแกรม	เก็บข้อมูล		
8052AH	8K×8 ROM	256×8 RAM	3×16-Bit	6
8051AH	4K×8 ROM	128×8 RAM	2×16-Bit	5
8051	4K×8 ROM	128×8 RAM	2×16-Bit	5
8032AH	ไม่มี	256×8 RAM	2×16-Bit	6
8031AH	ไม่มี	128×8 RAM	2×16-Bit	5
8031	ไม่มี	128×8 RAM	2×16-Bit	5
8751H	4K×8 EPROM	128×8 RAM	2×16-Bit	5
8751H-12	4K×8 EPROM	128×8 RAM	2×16-Bit	5

- หน่วยความจำข้อมูลภายในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ด้วย ทำให้การควบคุมหรือการตรวจสอบสถานะบิตทำได้ง่าย ส่งผลให้การเขียนโปรแกรมทำได้ง่ายมากขึ้น
- มีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ (timer/counters) ขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว โดยเฉพาะเบอร์ 8032 หรือ 8052 จะมีไทเมอร์/เคาน์เตอร์จำนวน 3 ตัว
- การอินเตอร์รัปต์สามารถทำได้จาก 5 แหล่งกำเนิดโดยเฉพาะเบอร์ 8032 และ 8052 จะทำการอินเตอร์รัปต์ได้จาก 6 แหล่งกำเนิด โดยการอินเตอร์รัปต์ยังสามารถจัดระดับความสำคัญได้เป็น 2 ระดับ

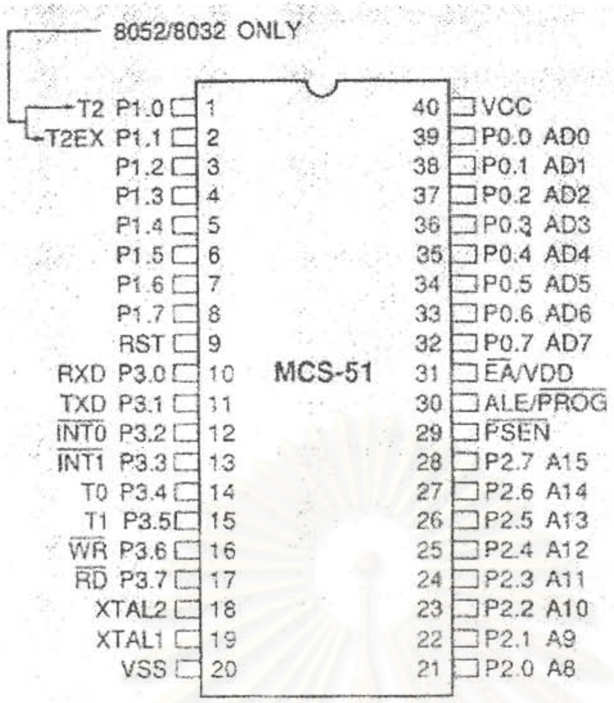
- มีพอร์ตสื่อสารอนุกรมภายในตัวเอง ซึ่งทำงานเป็นแบบฟูลดูเพล็กซ์ (full duplex)
- มีคำสั่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และทางตรรกศาสตร์
- คำสั่งโดยส่วนใหญ่ใช้เวลาการทำงานเพียง 1 ไมโครวินาที เมื่อใช้คริสตอลความถี่ 12 เมกะเฮิรตซ์
- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์ เพียงชุดเดียว

โครงสร้างภายนอกของ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีตำแหน่งขาพื้นฐานที่เหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.22 สำหรับหน้าที่การใช้งานแต่ละขาดังนี้

- ขา V_{CC} เป็นขาป้อนแรงดันไฟเลี้ยง +5 โวลต์
- ขา V_{CC} เป็นขากราวด์
- ขาพอร์ต 0 (Port 0) มี 8 ขา ได้แก่ขา $P_{0.0}$-$P_{0.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทางสำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้ขาพอร์ตเหล่านั้นอยู่ในสถานะปล่อยลอย ซึ่งในสถานะนี้เองที่สามารถนำมาใช้เป็นพอร์ตอินพุตพีแดนซ์สูงได้ นอกจากพอร์ตนี้จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วยังถูกใช้งานในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกด้วย โดยทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสไบต์ต่ำ (A_0-A_7) ซึ่งจะใช้งานเป็นแบบมัลติเพล็กซ์กับการรับส่งข้อมูลขนาด 8 บิต (D_0-D_7)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.22 การจัดตำแหน่งขาต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51
(ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด , 2539)

- ขาพอร์ต 1 (Port 1) มี 8 ขา ได้แก่ $P_{1.0}$-$P_{1.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากนี้สำหรับเบอร์ 8032 และ 8052 ขาพอร์ต $P_{1.0}$ และ $P_{1.1}$ จะถูกนำมาใช้งานเป็นขา T2 และ T2EX ตามลำดับด้วย

- ขาพอร์ต 2 (Port 2) มี 8 ขาได้แก่ขา $P_{2.0}$-$P_{2.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากพอร์ตนี้จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานในการติดต่อกับหน่วยความจำภานนอกด้วยโดยทำหน้าที่ในการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสไบต์สูง (A_8-A_{15})

- ขาพอร์ต 3 (Port 3) มี 8 ขาได้แก่ขา $P_{3.0}$-$P_{3.7}$ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง สำหรับใช้งานทั่วไป โดยถ้าใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตต้องทำการเขียนค่า 1 ไปยังแต่ละบิตของพอร์ต เพื่อกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต นอกจากพอร์ตนี้จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแล้วมันยังถูกใช้งานในหน้าที่พิเศษต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

- ขารีเซต ใช้สำหรับการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการรีเซตต้องคงสถานะเป็น 1 อย่างน้อยนาน 2 แมชีนไซเกิล ในขณะที่ออสซิลเลเตอร์ยังทำงานอยู่

- ขา $\overline{\text{ALE}}$/PROG เป็นขาสัญญาณเพื่อทำหน้าที่ควบคุมการแลตซ์ (Latch) ค่าตำแหน่งแอดเดรสไบต์ต่ำ (Address Latch Enable) เมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก นอกจากนี้ขานี้ยังทำหน้าที่อินพุตรับพัลส์ในการโปรแกรม (Program pulse input) ในส่วนของหน่วยความจำ EPROM สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 ที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน EPROM

ตารางที่ 2.2 หน้าที่พิเศษของแต่ละขาของพอร์ต P_3

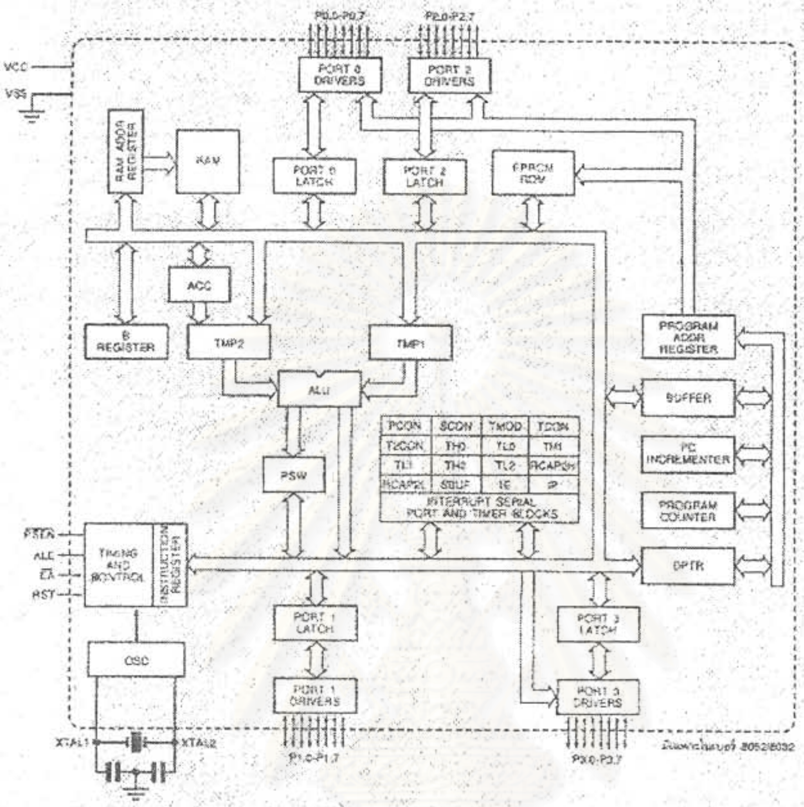
ขาพอร์ต	หน้าที่พิเศษ
$P_{3.0}$	RXD (serial input port)
$P_{3.1}$	TXD (serial output port)
$P_{3.2}$	$\overline{\text{INT0}}$ (external interrupt 0)
$P_{3.3}$	$\overline{\text{INT1}}$ (external interrupt 0)
$P_{3.4}$	T0 (Time 0 external input)
$P_{3.5}$	T1 (Time 1 external input)
$P_{3.6}$	$\overline{\text{WR}}$ (external data memory write strobe)
$P_{3.7}$	$\overline{\text{RD}}$ (external data memory read strobe)

- ขา $\overline{\text{PSEN}}$ (Program Store Enable) ทำหน้าที่เป็นสัญญาณสโตรบเพื่ออ่านคำสั่งจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอก ขานี้จะส่งสัญญาณสโตรบจำนวน 2 ครั้งแต่ละแมชีนไซเกิล แต่ในขณะที่ติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกจะไม่มีการส่งสัญญาณสโตรบแต่อย่างใด
- ขา $\overline{\text{EA}}$/VPP (External Access enable/VPP) เป็นขาสำหรับการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมจากภายในหรือภายจากภายนอก โดยถ้ามีสถานะเป็น 0 จะหมายถึงให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกที่ตำแหน่งแอดเดรส 0-OFFFH (0-OFFFH ถ้าเป็นเบอร์ 8052) อย่างไรก็ตามถ้าบิตป้องกัน (Security bit) ในหน่วยความจำ EPROM ถูกโปรแกรมไว้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่รับคำสั่งจากหน่วยความจำภายนอกเลย นอกจากนี้ขานี้ยังทำหน้าที่รับแรงดันไฟสำหรับการโปรแกรม (V_{PP}) ขนาด 21 โวลต์ เพื่อใช้ในระหว่างการโปรแกรม EPROM
- ขา $XTAL_1$ และขา $XTAL_2$ เป็นขาอินพุตและเอาต์พุตของวงจรอินเวอร์ติ้งออสซิสเลเตอร์แอมปลิไฟเออร์ (Inverting oscillator amplifier) สำหรับใช้ต่อร่วมกับคริสตอลภายนอก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงสร้างภายในของ MCS-51

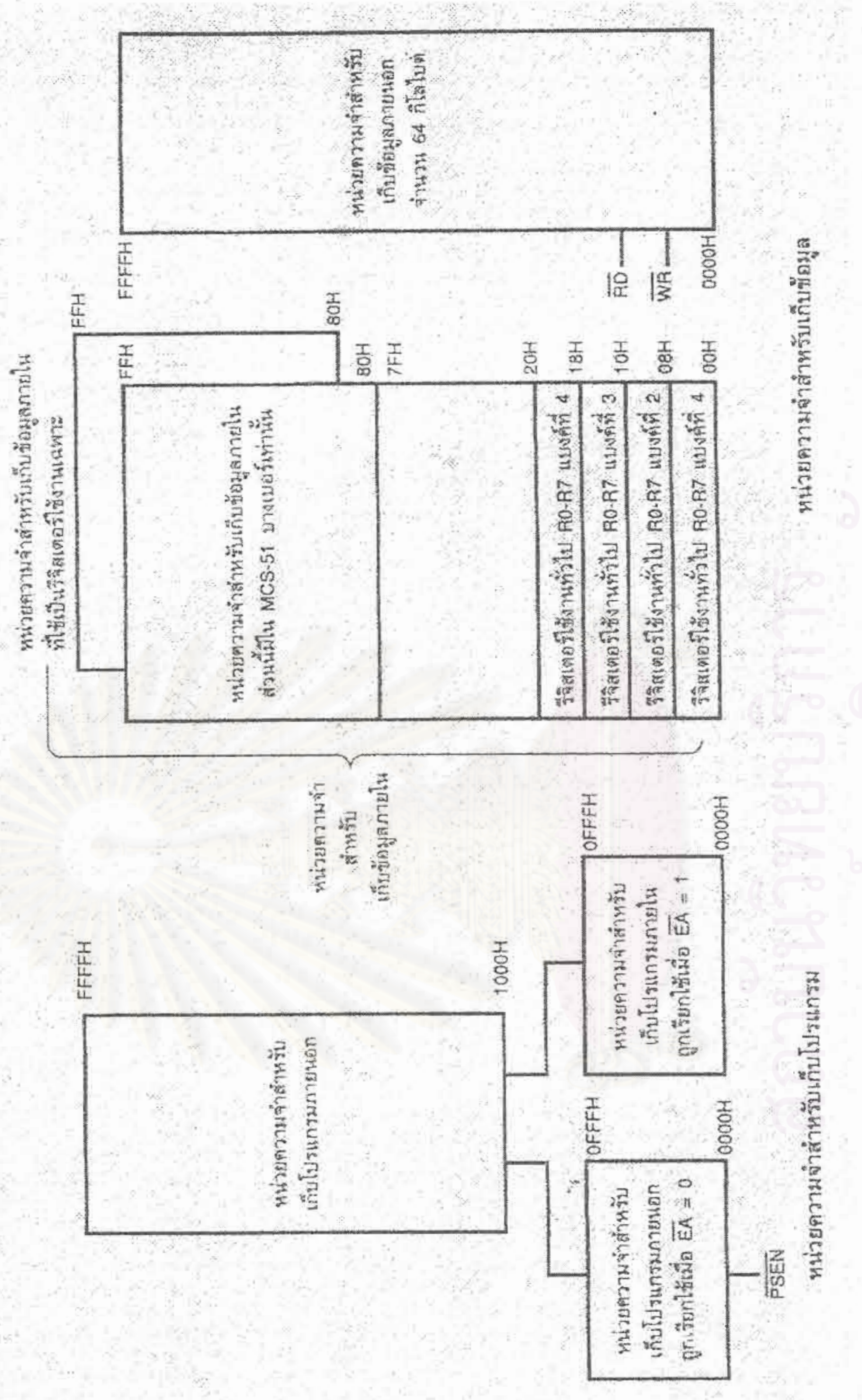
โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แสดงดังในรูปที่ 2.23 โดยส่วนที่มีเครื่องหมายดอกจัน (*) จะมีเฉพาะในเบอร์ 8032 และ 8052 เท่านั้น



รูปที่ 2.23 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 การจัดหน่วยความจำ
(ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด , 2539)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบ่งชนิดหรือหน้าที่ของหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วน คือ **หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data memory)**

หน่วยความจำโปรแกรมจะใช้สำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งบางเบอร์จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้อยู่ภายในตัว โดยอาจจะมีขนาดไม่เท่ากันหรือเป็นหน่วยความจำต่างชนิดกัน เช่น บางเบอร์เป็น ROM และบางเบอร์อาจเป็น EPROM และบางเบอร์อาจไม่มีหน่วยความจำในส่วนนี้เลย โปรแกรมการทำงานจะถูกเก็บไว้ยังหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมด



รูปที่ 2.24 รูปการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในส่วนของหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล (ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด , 2539)

ตำแหน่ง	(MSB)			บิตแอดเดรส				(LSB)	รีจิสเตอร์
แอดเดรส	WDT	T32	SERR	IZC	P3HZ	P2HZ	P1HZ	ALF	หน้าที่พิเศษ
0F8H	FF	FE	FD	FC	FB	FA	F9	F8	IOCON
0F0H	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F0	B
0E0H	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0	ACC
	CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	F1	P	
0D0H	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	PSW
0CDH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TH2
0CCH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TL2
0CBH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								RCAP2H
0CAH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								RCAP2L
	TF2	EXF2	RCLK	TCLK	EXEN2	TR2	$C/\overline{T2}$	$CP/\overline{RL2}$	
0C8H	CF	CE	CD	CC	CB	CA	C9	C8	T2CON
	PCT		PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0	
0B8H	BF	—	BD	BC	BB	BA	B9	B8	IP
0B0H	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	P3
	EA		ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0	
0A8H	AF	—	AD	AC	AB	AA	A9	A8	IE
0A0H	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1	A0	P2
99H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								SBUF
	SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	T1	R1	
98H	9F	9E	9D	9C	9B	9A	99	98	SCON
90H	97	96	95	94	93	92	91	90	P1
8DH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TH1
8CH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TH0
8BH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TL1
8AH	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TL0
89H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								TMOD
	TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0	
88H	8F	8E	8D	8C	8B	8A	89	88	TCON
87H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								PCON
83H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								DPH
82H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								DPL
81H	ไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต								SP
80H	87	86	85	84	83	82	81	80	P0

รูปที่ 2.25 การจัดหน่วยความจำและตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษต่าง ๆ ของหน่วยความจำข้อมูล (ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด , 2539)

ศูนย์สมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำหรับหน่วยความจำข้อมูลจะใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่าง ๆ จากการทำงานของโปรแกรม ซึ่งใน MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้อยู่จำนวนหนึ่ง แต่อาจมีขนาดมากน้อยต่างกันไปในแต่ละเบอร์สำหรับการจัดโครงสร้างของหน่วยความจำทั้งในส่วนของหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลแสดงไว้ดังในรูปที่ 2.24

หน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมภายในและหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก หน่วยความจำโปรแกรมภายในจะถูกเลือกใช้งานถ้าขาดสัญญาณ EA มีค่าเป็น 1 โดยจะถูกใช้งานในช่วงแอดเดรส 0-0FFFH (หรือช่วงแอดเดรส 0-1FFFH ในเบอร์ 8052) นอกเหนือจากช่วงแอดเดรสนี้จะใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมด ในกรณีตรงกันข้ามถ้าขาสัญญาณ EA มีค่าเป็น 0 ในช่วงแอดเดรส 0-0FFFH (หรือช่วงแอดเดรส 0-1FFFH ในเบอร์ 8052) จะถูกใช้จากหน่วยความจำภายนอก หรือกล่าวได้ว่าถ้าขาสัญญาณ $\overline{EA}$ มีค่าเป็น 0 จะเป็นการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกทั้งหมดช่วงแอดเดรส

หน่วยความจำข้อมูลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลภายในและหน่วยความจำข้อมูลภายนอก สำหรับหน่วยความจำข้อมูลภายในยังแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนย่อยคือ ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปและส่วนที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษหรือ SFR (Special Function Register) โดยส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปจะถูกใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่างๆ จากการทำงานของโปรแกรม ส่วนรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษจะถูกใช้งานเป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานและบอกสถานะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์เป็นอย่างน้อย และบางเบอร์อาจมีถึงขนาด 256 ไบต์

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (Special Function Register)

รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษมีบทบาทอย่างมาก ในการควบคุมการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์และทำการเขียนโปรแกรมสามารถทำได้สะดวกมากขึ้น รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษทำหน้าที่สำคัญคือควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์และทำหน้าที่แสดงสถานะการทำงาน ซึ่งในรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษบางตัวยังสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต (bit addressable) ด้วย ดังแสดงรูปการจัดหน่วยความจำและตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษต่างๆ ในรูปที่ 2.25

เคาน์เตอร์และไทเมอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะมีวงจรเคาน์เตอร์และไทเมอร์ (Counters and timers) อยู่ด้วยเช่น ในเบอร์ 8051 จะมีเคาน์เตอร์อยู่ 2 ตัว สำหรับใช้ในการนับค่าต่างๆ แต่เมื่อนำเคาน์เตอร์ที่มีอยู่มาป้อนสัญญาณนาฬิกาจากภายในระบบแทน เคาน์เตอร์ก็อาจถูกใช้เป็นวงจร

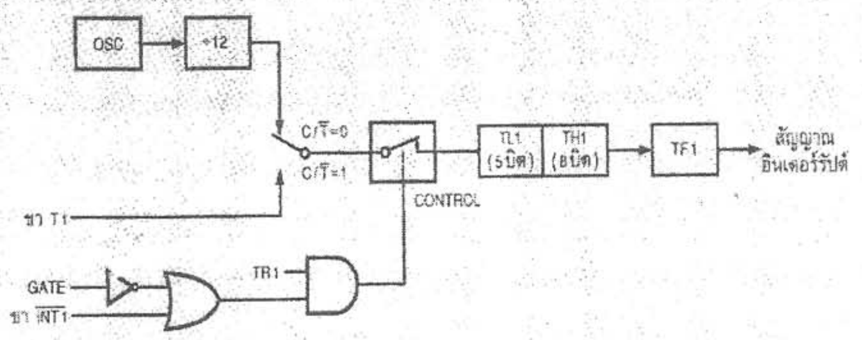
ไทเมอร์ได้ วงจรไทเมอร์แต่ละตัวสามารถทำงานได้ในหลายโหมดแล้วแต่ผู้ใช้งานจะกำหนด การโปรแกรมให้ทำงานในโหมดทำได้โดยการเซตและรีเซตบิตในรีจิสเตอร์พิเศษที่ควบคุมการทำงานของวงจรเคาน์เตอร์และไทเมอร์ที่เกี่ยวข้อง

รีจิสเตอร์พิเศษสำหรับควบคุมการทำงานของไทเมอร์คือ TMOD เป็นรีจิสเตอร์พิเศษ (SFR) ที่แอดเดรส 089H และไม่สามารถเข้าถึงได้ระดับบิต (Not bit addressable) และรีจิสเตอร์พิเศษสำหรับการควบคุมการทำงานของไทเมอร์คือ TCON เป็นรีจิสเตอร์พิเศษที่แอดเดรส 088H วงจรเคาน์เตอร์และไทเมอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นแบบ 16 บิต โดยที่ในวงจรเคาน์เตอร์ไทเมอร์ 1 จะแบ่งเป็นไบต์ต่ำและไบต์สูง ซึ่งในไบต์ต่ำหรือมีชื่อเรียกว่า TL1 จะอยู่ที่แอดเดรส 08BH และไบต์สูงหรือ TH1 จะอยู่ที่แอดเดรส 08DH การกำหนดโหมดการทำงานของเคาน์เตอร์/ไทเมอร์ 1 นี้ทำได้โดยการกำหนดที่บิต TMOD.4 และ TMOD.5 ถ้าทั้ง 2 บิตนี้เป็น “0” เคาน์เตอร์จะถูกเซตให้ทำงานแบบ 13 บิต หรือโหมด 0 สำหรับการทำงานในโหมด 0 นี้แสดงได้ดังในรูปที่ 2.26 จะเห็นได้ว่ามีการติดต่อสัญญาณภายนอกด้วยบางส่วนโดยการควบคุมที่บิต C/T ในรีจิสเตอร์ TMOD ถ้าบิต C/T เป็น “0” นั่นคือเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายในระบบและถ้าบิต C/T เป็น “1” จะเลือกใช้สัญญาณภายนอกมาใช้งานแทน

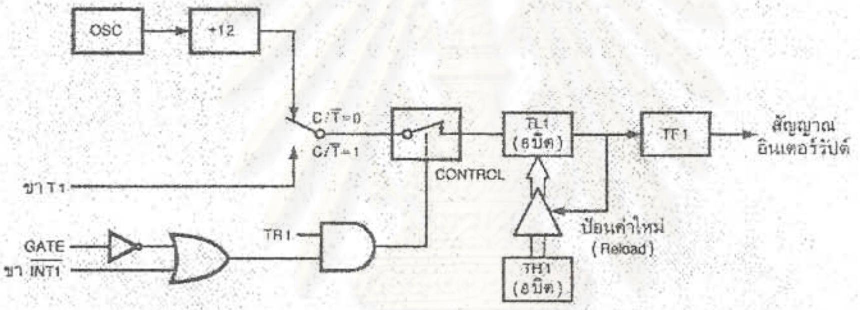
ระดับลอจิกของตำแหน่งบิต TR1, GATE และระดับลอจิกที่ขา $\overline{\text{INT1}}$ เป็นผลต่อการควบคุมการทำงานของวงจรเคาน์เตอร์/ไทเมอร์ ตัวอย่างเช่น ถ้าให้บิต GATE เป็น “0” การควบคุมให้เคาน์เตอร์ทำงานและหยุดทำงาน ทำได้โดยการควบคุมที่บิต TR1 ได้และสำหรับตำแหน่งบิตและขาสัญญาณในโหมดนี้และโหมดอื่นๆ ก็มีผลต่อการควบคุมเช่นเดียวกัน

อีกแฟลกหนึ่งที่เกี่ยวข้องในส่วนนี้คือ TF1 ซึ่งมันจะถูกเซตทุกครั้งเมื่อวงจรเคาน์เตอร์ทำการนับจนเปลี่ยนค่าจากค่าสูงสุดกลับเป็นศูนย์อีกครั้ง หรือพูดอีกอย่างก็คือเกิดการโอเวอร์โฟลว์ แฟลกนี้สามารถตรวจสอบได้จากผู้เขียนโปรแกรมและนำไปเป็นอินเตอร์รัปต์เพื่อใช้งานในโปรแกรมที่คุณเขียนขึ้นได้ แต่นั่นหมายถึงผู้ใช้งานต้องทำการเซตในบิต IE.3 ของรีจิสเตอร์ IE ด้วยเพื่อให้อีนาเบิลแฟลกนี้ด้วย

ความถี่สัญญาณนาฬิกาของระบบที่ให้กับวงจรเคาน์เตอร์/ไทเมอร์ ในกรณีที่กำหนดค่า C/T = “ 0 ” วงจรเคาน์เตอร์จะนับสัญญาณนาฬิกาโดยคิดจากความถี่ของคริสตอลที่ต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์หารด้วยค่า 12 ในกรณีของ MCS-51 บอร์ด ที่ใช้ในที่นี้ก็คือได้ผลลัพธ์เป็นความถี่ 1 เมกะเฮิรตซ์



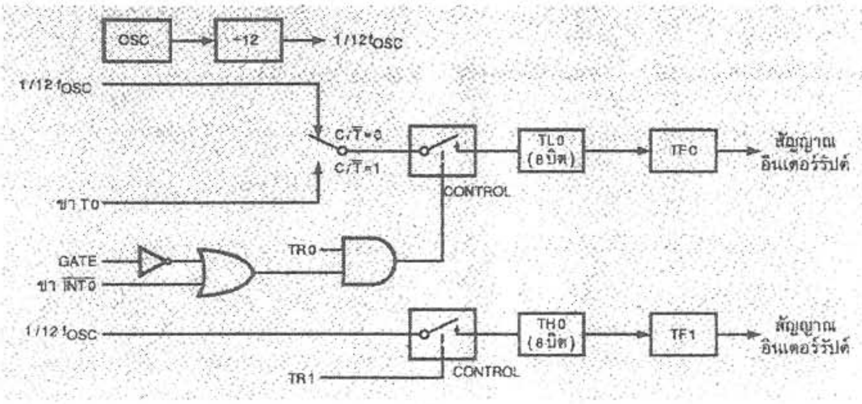
รูปที่ 2.26 การทำงานของไทเมอร์ / เคาน์เตอร์ในโหมด 0
(ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด , 2539)



รูปที่ 2.27 การทำงานของไทเมอร์ / เคาน์เตอร์ในโหมด 2
(ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด , 2539)

การทำงานในโหมดอื่นๆ มีดังนี้ ในโหมด 1 (TMOD.4 = 1 และ TMOD.5 = 0) และวงจรเคาน์เตอร์จะทำงานเช่นเดียวกันในโหมด 0 แต่ว่าขยายเป็นทำงานแบบ 16 บิต แทนในโหมด 2 วงจรเคาน์เตอร์ถูกกำหนดให้ทำงานแบบ 8 บิต โดยค่าที่ทำการนับจะอยู่ที่รีจิสเตอร์ TL1 และเมื่อ TL1 นับค่าจนเกิดการโอเวอร์โฟลว์มันจะถูกป้อนค่าใหม่ (reload) โดยค่าที่เก็บใน TH1 เป็นการทำงานแบบโหมดค่าใหม่อัตโนมัติ (8 bit auto reload) การทำงานในโหมดนี้แสดงดังในรูปที่ 2.27 สำหรับในโหมด 3 วงจรเคาน์เตอร์/ไทเมอร์ 1 นี้จะไม่สามารถใช้งานได้

ในโปรแกรมมอนิเตอร์ EMON51 วงจรเคาน์เตอร์/ไทเมอร์ 1 ถูกใช้ในการสร้างบอดเรต (Baud rate generator) ดังนั้นมันจึงไม่สามารถนำไปใช้งานในการเขียนโปรแกรมของผู้ใช้งานได้ ยกเว้นเสียแต่ถ้าผู้เขียนโปรแกรมไม่ต้องการใช้งานติดต่อกับภายนอกผ่านการอินเตอร์เฟสแบบอนุกรม



รูปที่ 2.28 การทำงานของไทเมอร์ / เคาน์เตอร์ 0 ในโหมด 3
(ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด , 2539)

การทำงานของวงจรเคาน์เตอร์/ไทเมอร์ 0 มีการทำงานเช่นเดียวกับวงจรเคาน์/ไทเมอร์ 1 แตกต่างกันที่ตำแหน่งของบิตและรีจิสเตอร์ในการควบคุมและใช้งานอีกประการหนึ่งแตกต่างกันก็คือวงจรเคาน์เตอร์/ไทเมอร์ 0 สามารถทำงานในโหมด 3 ได้ (TMOD.0 = 1, TMOD.1 =1) ในโหมดนี้มีการทำงานแบบวงจรเคาน์เตอร์ / ไทเมอร์ขนาด 8 บิต 2 ตัว แยกอิสระต่อกันดังแสดงในรูปที่ 2.28

2.5 ทฤษฎีการควบคุมคุณภาพ

การตรวจสอบและการทดสอบการควบคุมคุณภาพ

การทำการตรวจสอบและการทดสอบการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นมีวิธีหลัก ๆ ด้วยกัน 3 วิธีคือ

- วิธีตรวจสอบทุกชิ้น (Screening)
- วิธีสุ่มตัวอย่างจากแต่ละรุ่น (Lot by lot inspection or sampling)
- วิธีตรวจสอบตามขบวนการผลิต (Process inspection)

2.5.1 วิธีตรวจสอบทุกชิ้น

หรืออาจจะเรียกว่าการตรวจสอบแบบ 100% (100% Inspection) วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและใช้กันทั่วไป เพราะเพียงแต่ตรวจสอบทุก ๆ ชิ้น เพื่อหาของเสีย (Defectives) แต่กระนั้นการใช้วิธีนี้ก็ไม่มั่นใจว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ (Product) ที่สมบูรณ์ เพราะวิธีนี้จะเกิดความเบื่อหน่าย (Monotony) และเป็นเหตุให้เกิดความเมื่อยล้า (Fatigue) และความตั้งใจ (Attention) ก็ลดลงเรื่อย ๆ ตามลำดับ ไม่มีผู้

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตรวจสอบ (Inspector) คนไหนที่สามารถจะหาของเสียได้ทั้งหมด ถ้าต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์จริง ๆ ก็อาจต้องทำการตรวจสอบถึง 200% หรือใช้เครื่องมือตรวจสอบแบบอัตโนมัติ (Automatic inspection equipments)

ในกรณีของกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก ๆ (Mass production) วิธีตรวจสอบทุกชิ้นจะเปลืองเงิน และเปลืองเวลามาก และบางครั้งจะทำให้งานหยุดชงัก เช่น ตัวอย่างการทดสอบความคมของใบมีดโกนซึ่งต้องทดสอบที่ปลายคม , การหาค่าแรงดึง (Tensile strength) ของเหล็ก , การทดสอบสารที่เคลือบใบมีด และการทดสอบกับความร้อนเป็นต้น ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้จะทดสอบทุกใบไม่ได้ เพราะการตรวจสอบต้องมีการทำลายผลิตภัณฑ์ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำการสุ่มตัวอย่างทดลอง (Sampling) มาแทนวิธีตรวจสอบแบบ 100% มักนิยมทดสอบในกรณีที่ประกอบเสร็จแล้วและมักจะกลายเป็นงานประจำแบบสม่ำเสมอไป

2.5.2 วิธีสุ่มตัวอย่างจากแต่ละรุ่น

วิธีนี้เพื่อหลีกเลี่ยงวิธีตรวจสอบแบบ 100% เมื่อค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบสูง

"รุ่น" (lot) หมายถึง ผลิตภัณฑ์จำนวนมาก ๆ รวมกันเป็นกลุ่มก้อน เช่น วัสดุที่ส่งเข้ามาในโรงงานชิ้นส่วนที่ประกอบเสร็จบางส่วน หรือผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์แล้ว แทนที่ผู้ตรวจสอบจะตรวจสอบทุกชิ้น เขาจะสุ่มตัวอย่างบางชิ้นจำนวนน้อยจำนวนหนึ่ง และตัดสินว่าจะยอมรับ (Accept) หรือปฏิเสธ (Reject) ทั้งรุ่น

การจำกัดโดยวิธีนี้จะไม่ได้ภาพพจน์ที่แท้จริงนัก จากตัวอย่างที่เขาเลือกมาจากรุ่นหนึ่ง ๆ ตัวอย่างเช่น รุ่นหนึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนเสีย (Defectives) จำนวนมากแต่บังเอิญผู้ตรวจสอบเกิดสุ่มตัวอย่าง (Sampling) ซึ่งมีแต่ชิ้นส่วนดี ๆ ดังนั้นเขาจะยอมรับรุ่นนั้นอย่างผิดพลาด ซึ่งแท้จริงแล้วรุ่น (Lot) นี้ควรปฏิเสธ (Reject) เสีย หรืออีกนัยหนึ่งรุ่นที่มีของเสีย (Defectives) น้อย แต่บังเอิญตัวอย่างมีของเสียมากจึงปฏิเสธทั้ง ๆ ที่ควรยอมรับ ความผิดพลาดดังกล่าวเรียก ความผิดพลาดทางสุ่มตัวอย่าง (Sampling errors) ซึ่งมักเกิดขึ้นเสมอ ๆ วิธีป้องกันความผิดพลาดทางสุ่มตัวอย่างก็คือ มีแผนตัวอย่าง (Sampling plans)

2.5.3 วิธีตรวจสอบตามขบวนการผลิต

คือผู้ตรวจสอบจะถูกจำกัดอยู่ในขอบเขตบริเวณหนึ่ง ๆ เพื่อตรวจสอบเครื่องมือ , วิธีการผลิต และชิ้นส่วนบางอย่างจากวัตถุดิบ (Raw materials) สู่วัตถุสำเร็จรูป วิธีการตรวจสอบวิธีนี้เพื่อจะได้แก้ไขข้อผิดพลาดได้ทันท่วงทีขณะที่พบเห็น

ข้อจำกัดของการตรวจสอบตามขบวนการผลิต คือ ผู้ตรวจสอบไม่สามารถตรวจทุกเครื่องในขณะเดียวกัน เพราะจะเป็นผลให้วัตถุพลาดจากการตรวจเมื่อผู้ตรวจสอบเดินไปเครื่องอื่น

การที่ผู้ตรวจสอบหมุนเวียนไปตรวจสอบตามจุดต่าง ๆ มักจะพบข้อผิดพลาดหลังจากเกิดข้อเสียหายของงานแล้วเท่านั้น

วิธีการที่มักใช้กันในทางควบคุมคุณภาพคือ ใช้สถิติในการวิเคราะห์ตรวจสอบ วิธีที่รู้จักกันทั่วไปก็คือ ระบบแผนภูมิการควบคุม (Control chart system)

งานบางอย่างไม่จำเป็นต้องใช้การควบคุมคุณภาพ ทั้งนี้เพราะลักษณะงานอาจเป็นแบบ

1) ผลิตภัณฑ์ไม่ต้องการความแน่นอน
2) คุณภาพของผลิตภัณฑ์สามารถตรวจสอบได้ง่ายและรวดเร็ว
3) งานที่มีข้อเสียแตกต่างกันหลาย ๆ แบบ

2.6 ทฤษฎีการศึกษาการทำงาน

การวิเคราะห์กระบวนการผลิตและวิธีการทำงาน

ในกระบวนการผลิตใด ๆ ก็ตามย่อมมีการจัดวางเครื่องจักร อุปกรณ์ คนและวัสดุให้สัมพันธ์กัน เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุด ถ้าการจัดวางสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ไม่สัมพันธ์กันย่อมทำให้การทำงานล่าช้า สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและผลผลิตต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์อยู่เสมอว่ากระบวนการผลิตหรือวิธีการทำงานที่เป็นอยู่ในปัจจุบันสามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้หรือไม่

การที่จะวิเคราะห์ว่ากระบวนการผลิตหรือวิธีทำงานนั้นได้จัดไว้ดีหรือไม่ จำเป็นต้องอาศัยข้อมูล การจดบันทึกข้อมูลจึงเป็นสิ่งจำเป็น สิ่งที่ช่วยในการจดบันทึกข้อมูลได้แก่แผนภูมิการเคลื่อนที่ แผนภาพการเคลื่อนที่ แผนภาพเส้นด้าย เป็นต้น

แผนภูมิการเคลื่อนที่ (Flow process chart)

แผนภูมิการเคลื่อนที่ หมายถึงแผนภูมิที่แสดงถึงการเคลื่อนที่ของคน หรือวัสดุ หรือเครื่องจักรในกระบวนการผลิต โดยมีรายละเอียดทุกขั้นตอนของการทำงาน มีเวลาหรือระยะทางที่เกิดขึ้นแสดงไว้ด้วย แผนภูมินี้เหมาะสำหรับใช้วิเคราะห์งานที่ต้องเสียเวลาทำงานนาน หรือวิเคราะห์งานที่เสียเวลาเคลื่อนย้ายหรือเดินทางมาก

สมาคมวิศวกรเครื่องกลของอเมริกาให้คำจำกัดความไว้ว่า "แผนภูมิการเคลื่อนที่เป็นแผนภูมิที่แสดงถึงขั้นตอนการผลิต การเคลื่อนย้าย การตรวจสอบ ความล่าช้า และการเก็บพักที่เกิดขึ้นกับคน วัสดุ หรือเครื่องจักรในระหว่างการผลิต รวมทั้งแสดงเวลาที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนกับระยะทางที่ได้เคลื่อนที่"

ในการบันทึกข้อมูลของแผนภูมิการเคลื่อนที่ทำคล้ายกับแผนภูมิกระบวนการผลิต แต่รายละเอียดที่บันทึกลงในแผนภูมิการเคลื่อนที่มีมากกว่า คือแผนภูมินี้บันทึกรายละเอียดของการทำงาน การตรวจสอบ การเคลื่อนย้าย การหยุดรอ และการเก็บพัก ดังนั้นจึงต้องใช้สัญลักษณ์ทั้งหมด 5 ตัว ตามมาตรฐานของ ASME ซึ่งมีดังนี้

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการเขียนแผนภูมิการเคลื่อนที่

○ - แทนการปฏิบัติการหรือการทำงาน (Operation) เป็นการกระทำที่ได้ผลงานเพิ่มขึ้น

□ - แทนการตรวจสอบ (Inspection) เป็นการกระทำที่ไม่ได้ผลงานเพิ่ม แต่ทำให้ทราบว่าสิ่งที่ทำไปแล้วดีหรือไม่

⇨ - แทนการเคลื่อนที่หรือการขนย้าย (Transportation) เกิดขึ้นเมื่อวัตถุถูกเคลื่อนย้ายจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งจะเป็นแนวตั้งหรือแนวนอนก็ตาม แต่ไม่รวมไปถึงการเคลื่อนย้ายซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการทำงาน (Operation) เช่น ในการลับมีดกลึงหินเจียระไน ในขณะที่ลับมีดกลึงจำเป็นต้องมีการนำมีดกลึงไปจุ่มในน้ำเพื่อระบายความร้อน ในกรณีเช่นนี้ไม่ถือว่าเป็นการเคลื่อนย้าย

D - แทนการล่าช้า หรือรอคอย (Delay) เกิดขึ้นเมื่อสภาพการณ์ไม่อำนวยให้ดำเนินงานต่อไปได้ เช่น การรอลิฟท์เพื่อจะขึ้นไปบนอาคาร ใบสั่งซื้อวางอยู่บนโต๊ะรอผู้จัดการลงนาม เป็นต้น ซึ่งการรอคอยเช่นนี้ไม่ได้ทำให้เกิดงานขึ้นมาหรือต้องเสียเวลาไปโดยใช่เหตุ

▽ - แทนการเก็บรักษา (Storage) หมายถึง การที่วัตถุอยู่ในครอบครองและไม่อาจเคลื่อนย้ายได้โดยไม่ได้รับอนุญาต กล่าวคืออยู่ในความดูแลของคลังพัสดุ

แผนภูมิการเคลื่อนที่โดยทั่ว ๆ ไปมี 3 แบบ คือ

1. แบบบันทึกการทำงานของคน (Man type)
2. แบบบันทึกการกระทำของวัสดุ (Materials type)
3. แบบบันทึกการทำงานของเครื่องจักร (Machine type)

แผนภูมิทั้ง 3 แบบนี้มีวิธีใช้คล้ายกัน ต่างกันตรงที่เป็น **ผู้กระทำหรือถูกกระทำ** เครื่องจักรและคนสามารถเป็นผู้กระทำ ส่วนวัสดุถูกกระทำเสมอ ดังนั้นกิริยาที่ใช้บันทึกจึงต่างกัน

หลักการในการจัดทำแผนภูมิการเคลื่อนที่

1. แผนภูมิการเคลื่อนที่ใช้สำหรับบันทึกเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตามลำดับ เพื่อให้มองเห็นเค้าโครงการทำงานที่ครบถ้วน ทั้งช่วยให้เข้าใจข้อเท็จจริงในการทำงานและความสัมพันธ์กับสิ่งอื่น

2. รายละเอียดที่บันทึกบนแผนภูมิการเคลื่อนที่ต้องได้จากการ **สังเกตจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นนั้นโดยตรง** เมื่อได้บันทึกลงบนแผนภูมิแล้วก็ใช้สำหรับอ้างอิงหรือใช้สำหรับอธิบายให้ผู้อื่นฟังได้ (ทั้งนี้ยกเว้นแผนภูมิที่สร้างขึ้นเพื่อเสนอความคิดเห็นในวิธีการใหม่ สร้างจากความคิดเห็นได้)

3. ต้องรักษามาตรฐานความปราณีตและความแม่นยำไว้อย่างสม่ำเสมอ แผนภูมิที่สร้างขึ้นอย่างไม่มีระเบียบจะทำให้เกิดความรู้สึกที่ไม่ดีต่อแผนภูมิและอาจนำไปสู่ความผิดพลาดได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. เก็บรักษาข้อเท็จจริงนี้ไว้เพื่อเป็นที่สำหรับอ้างอิงในอนาคต สำหรับแบบฟอร์มที่ดีควรมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

ก) ชื่อแผนภูมิว่าเป็นประเภทใด เช่น คน วัสดุ เครื่องมือ

ข) บอกถึงจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของงานได้ชัดเจน และบอกด้วยว่าเป็นวิธีการที่เป็นอยู่ในปัจจุบันหรือเป็นวิธีการที่เสนอขึ้นมาใหม่

ค) บอกถึงบริเวณที่ปฏิบัติงานนั้น (เช่น ในแผนก ก. ในโรงงาน นอกโรงงาน เป็นต้น)

ง) บอกเลขรหัส จำนวนแผ่นและจำนวนทั้งหมด

จ) บอกชื่อของผู้สังเกตการณ์ที่ไปเก็บข้อมูลและชื่อของผู้อนุมัติถ้าต้องการ

ฉ) วันเวลาที่ไปศึกษา

ช) อธิบายชื่อของสัญลักษณ์ที่ใช้ เพื่อว่าผู้อื่นที่ไม่คุ้นเคยกับสัญลักษณ์เหล่านี้จะได้เข้าใจตรงกัน

ฎ) สรุปผลของการทำงานต่าง ๆ ทั้งของวิธีปัจจุบันและที่เสนอใหม่

ฏ) สรุประยะทาง เวลา ที่ใช้ และถ้าหากต้องการข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับค่าจ้างแรงงานและ

วัสดุก็อาจใส่เพิ่มลงในแผนภูมิได้ เพื่อความง่ายในการเปรียบเทียบวิธีการในปัจจุบันและที่เสนอใหม่

5. เมื่อบันทึกเหตุการณ์ต่าง ๆ ตามลำดับหมดแล้ว ก่อนจบการบันทึกควรตรวจสอบจุดต่าง ๆ เหล่านี้คือ

ก) ข้อเท็จจริงต่าง ๆ ได้บันทึกไว้อย่างถูกต้องแล้วหรือยัง

ข) ข้อสรุปต่าง ๆ ได้จดบันทึกถูกต้องหรือไม่

ค) องค์ประกอบต่าง ๆ ที่มีส่วนช่วยในกระบวนการผลิตได้บันทึกไว้ครบถ้วนหรือไม่

ถ้าขั้นตอนต่าง ๆ เหล่านี้ได้จัดทำไว้อย่างถูกต้อง แสดงว่าได้ข้อมูลจากแผนภูมิการเคลื่อนที่ที่สมบูรณ์ ซึ่งจะมีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์เพื่อหาทางปรับปรุงวิธีการทำงานให้ดีขึ้นต่อไป

2.7 ทฤษฎีเสียง

เสียงในแง่ของวิศวกรรมมนุษย์ปัจจัยนั้นมีอยู่ 2 ชนิด คือ

1. Sound คือ เสียงที่เมื่อได้ยินแล้วผู้ฟังรู้สึกไม่รำคาญ หรือไม่รู้สึกว่าถูกรบกวน เช่น เสียงนกร้อง เสียงดนตรีที่ตนชื่นชอบ เสียงลมพัดเบา ๆ เสียงพูดคุยสนทนาในกลุ่ม มีผู้รู้บางท่านเรียกเสียงเช่นนี้ว่า เสียงสบอารมณ์

2. Noise คือเสียงที่ไม่ต้องการ (Unwanted Sound) หรือเสียงที่ได้ยินแล้วมีผลกระทบต่อ

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สรีระร่างกาย สภาวะจิตใจ และประสิทธิภาพในการทำงาน เสียงเครื่องบิน ฯลฯ มีผู้เชี่ยวชาญบางท่านเรียกเสียงลักษณะเช่นนี้ว่า เสียงอึกทึก เสียงไม่สบอารมณ์หรือเสียงรบกวน

เบอร์โรวส์ (ค.ศ. 1960) ให้จำกัดความของคำว่าเสียงดังว่า เสียงดังเป็นสิ่งเร้าหรือสิ่งกระตุ้นที่สื่อออกมากับตัวเสียงนั้น โดยไม่มีความหมายที่เกี่ยวข้องกับการมีอยู่หรือความสำเร็จของงาน จากนิยามนี้เราพอจะตีความหมายออกได้เป็น 2 ประเด็นคือ

1. เสียงดัง คือเสียงที่เกิดจากการทำงานที่ไม่สื่อสารข้อมูลที่มีประโยชน์ออกมา เช่น เสียงเครื่องจักร เสียงเครื่องยนต์ เสียงที่ก่อให้เกิดความรำคาญ ฯลฯ

2. เสียงดัง คือเสียงที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทำงาน เช่น เสียงรบกวนจากภายนอกหรือเสียงที่ผู้ฟังไม่ต้องการได้ยิน ฯลฯ

เสียงดังที่เกิดขึ้นนั้น เราอาจจะพิจารณาจากลักษณะของเสียงได้ 3 ประการคือ

1. ความถี่เสียง (Pitch) คือ ความถี่ของเสียง (Frequency of sound) มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hertz; Hz) โดยที่เสียงที่มีความถี่มาก ๆ จะถือว่าเป็นเสียงสูง ส่วนเสียงที่มีความถี่น้อย ๆ จะเป็นเสียงต่ำหรือเสียงทุ้ม

2. ความเข้มเสียง (Intensity) คือ ความดังของเสียง (Loudness) มีหน่วยวัดเป็นเดซิเบล (Decibel-dB)

3. คุณภาพ (Quality) ของเสียง ความชัดเจน ความใสของเสียง เสียงบางชนิดอาจดังมากเกินไป ก็ทำให้กลายเป็นเสียงรบกวนไป เราก็จะถือว่าเป็นเสียงที่มีคุณภาพไม่ดี

สภาวะของเสียงเหล่านี้นั้นจะมีผลกระทบทั้งในทางที่เพิ่มและลดประสิทธิภาพในการทำงาน รวมทั้งมีผลต่อความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยของผู้ได้ยินเสียงเองด้วย มันจะทำให้เกิดอันตรายต่อระบบการได้ยิน ทำให้อวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์ทำงานผิดปกติ และเป็นอันตรายต่อความปลอดภัยในการทำงานของมนุษย์ จากข้อมูลของประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ. 1982 ได้มีการสำรวจพบว่าเสียงดังนั้นติดอยู่ในสิบอันดับแรกของสาเหตุการเกิดโรคและการบาดเจ็บอันเนื่องมาจากการทำงาน (The ten leading work related diseases and injuries) เลยทีเดียว

เสียงและการได้ยิน (Noise and Hearing)

เสียงเป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของแหล่งกำเนิดเสียง และการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เกิดขึ้นในตัวกลาง (Media) ใดตัวกลางหนึ่ง เช่น อากาศ น้ำ ฯลฯ เสียงนั้นอาจจะเกิดมาจากการพูดของตน การทำงานของเครื่องจักรกล การสั่นสะเทือน การเสียดสี การกระทบกันของวัตถุ และการสะท้อนของเสียงเองก็ได้

ปกติแล้วเสียงจะมีช่วงความถี่ที่กว้างมาก แต่พิสัยการได้ยินเสียงของหูมนุษย์จะอยู่ระหว่างช่วงความถี่เสียง 20-20,000 เฮิรตซ์ ปกติหูของคนจะมีความไวต่อเสียงที่มีความถี่ต่าง ๆ แตกต่างกันไปไม่เท่ากัน โดยหูคนเราจะมีความไวน้อยต่อเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 1,000 เฮิรตซ์ และหูคน

จะมีความไวมากต่อเสียงที่มีความถี่สูง ๆ ดังนั้นมีความเข้มเสียง (Intensity) เท่ากัน เสียงที่มีความถี่สูงหรือเสียงแหลม หรือกล่าวได้อีกอย่างว่า เสียงที่มีความถี่ต่ำจะต้องมีความเข้มของเสียงมากจึงจะดังเท่ากับเสียงที่มีความถี่สูงกว่า

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบและสร้างแม่พิมพ์แบบต่อเนื่องสำหรับผลิตตลับใส่เครื่องประดับ

(พีระยุทธ สุระมณี , ทรงพล กายกูล , สุรชัย กมลหรรษาและธิติพันธุ์ สมบูรณ์ศักดิ์ , 2541)

จากการวิจัยพบว่าผลิตภัณฑ์ตลับใส่เครื่องประดับในประเทศ ส่วนมากใช้กระบวนการผลิตด้วยแม่พิมพ์แบบ Single die ซึ่งต้องใช้ขั้นตอนมาก โดยทำ ให้ต้องใช้พนักงาน เครื่องจักร และเวลาใน การผลิตมาก คณะผู้จัดทำได้รวม กระบวนการผลิตขั้นตอนให้สามารถผลิตด้วย แม่พิมพ์แบบต่อเนื่อง เพื่อประสิทธิภาพการทำงานที่ดีขึ้น โดยออกแบบและสร้างแม่พิมพ์แบบต่อเนื่องจากการรวมขั้นตอน การผลิตบางขั้นตอนสำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ใส่เครื่องประดับ

ขั้นตอนการผลิตจาก Single die มีกระบวนการ ผลิต 5 ขั้นตอน แต่รวมกระบวนการผลิตไว้ใน แม่พิมพ์แบบต่อเนื่องนี้ได้เพียง 3 ขั้นตอน การวาง Lay out strip เป็นไปในแนวทางที่สามารถขึ้นรูปและสร้างแม่พิมพ์ได้ จากการออก สามารถจัดซื้อชิ้นส่วนมาตรฐาน สร้างชิ้นส่วนต่าง ๆ ของแม่พิมพ์โดยใช้เครื่องจักรภายในแผนกได้ สามารถถอดประกอบและถอดปรับแต่งแม่พิมพ์ได้ ชิ้นงานที่ได้มีขนาดถูก ต้องตามกำหนด

การประเมินผลความร่วมมือระหว่างภาครัฐกับภาคเอกชน ในการผลิตบุคลากรสู่อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ (เกียรติมา ศรีอุดม , 2541)

การวิจัยครั้งนี้ ผู้เขียนทำการศึกษาเพื่อประเมินผลความร่วมมือระหว่าง ภาครัฐกับภาคเอกชน ในการผลิตบุคลากรสาขาวิชาวัสดุศาสตร์ (อัญมณีและเครื่องประดับ) สู่ตลาดอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลจากกลุ่มประชากรที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วยกลุ่มผู้สำเร็จการศึกษาจากสาขาวิชาวัสดุศาสตร์ กลุ่มนิสิตชั้นปีที่ 4 กลุ่มอาจารย์ผู้สอนวิชาเอก และกลุ่มหัวหน้างานหรือผู้บังคับบัญชาของผู้สำเร็จ การศึกษาดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลภายใน ปี พ.ศ. 2541 โดยใช้แบบสอบถาม จำนวน 4 ชุด แปลผลข้อมูลด้วยสถิติร้อยละค่าคะแนนเฉลี่ย ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน และทดสอบความแตกต่างของความคิดเห็นของกลุ่มประชากร 3 กลุ่ม ด้วยความแปรปรวนแบบทางเดียวที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = .05$

ผลการวิจัยพบว่า ความร่วมมือระหว่างภาครัฐกับภาคเอกชน ในการผลิตบุคลากรสู่อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ ด้านการจัดการเรียนการสอน ในเรื่องสถานที่เรียนภาคทฤษฎี อุปกรณ์ในการฝึกปฏิบัติ การฝึกปฏิบัติด้านการจัดการมีความเหมาะสม ส่วนวิชาเอกบางวิชาผู้สำเร็จการศึกษาได้นำเนื้อหาไปใช้ในการประกอบอาชีพ ได้แก่ การปฏิบัติการวิเคราะห์อัญมณี

และการผลิตเครื่องประดับ นอกจากนี้ผู้สำเร็จการศึกษา ยังมีคุณลักษณะที่เหมาะสมตามความต้องการของตลาดแรงงาน ได้แก่ มีความคิดริเริ่มสร้างสรรค์ มีความซื่อสัตย์ มีจรรยาบรรณในวิชาชีพ ฯลฯ

<u>กลยุทธ์ในการเพิ่มขีดความสามารถทางการตลาดของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ</u>
(นราศรี ไววรรณกุล , ธนวรรณกรรม แสงสุวรรณและกัฐ พูนเจริญ , 2542)

ความสามารถในการแข่งขันที่ลดลงของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทย ตั้งแต่ปี 2535 เป็นต้นมานั้น เป็นผลมาจากการใช้เทคโนโลยีที่ยังไม่สูงพอ ความรู้ในด้านการบริหารและการผลิตยังมีน้อย บุคลากรที่มีความชำนาญในระดับสูงมีไม่เพียงพอ และขาดแคลนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ในยุคที่ตลาดโลกได้มีระดับการแข่งขันเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ต้องแข่งขันกับประเทศต่าง ๆ มากขึ้น ประเทศที่เป็นคู่แข่งสำคัญของไทย มีทั้งจากประเทศที่กำลังพัฒนาอย่าง จีนและอินเดีย หรือประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐฯ อิสราเอล เบลเยี่ยม และสวิตเซอร์แลนด์ ดังนั้นนอกเหนือจากการแก้ไขปัญหาที่กล่าวมาแล้ว ยังต้องมีความรู้เพิ่มขึ้น ในด้านการตลาดทั้งภายในและภายนอกประเทศพร้อมกันไปด้วย

<u>การศึกษาวิเคราะห์ศักยภาพการส่งออกของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทย</u>
(สุพินดา วะศินรัตน์ , 2539)

การศึกษานี้มุ่งที่จะศึกษาวิเคราะห์ถึงศักยภาพการส่งออกของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทย ดังนี้ (1) เพื่อศึกษาถึงปัจจัยหรือตัวกำหนดความมีศักยภาพของการส่งออกของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทย (2) เพื่อวัดหรือประเมินผลถึงความมีศักยภาพของการส่งออกของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทย (3) ศึกษาถึงปัญหาและอุปสรรคที่มีผลกระทบต่อความมีศักยภาพในการส่งอออกของ อุตสาหกรรมนี้ และ (4) เพื่อใช้ความรู้และข้อมูลที่ได้จากการศึกษาตามวัตถุประสงค์ที่กล่าวมา ข้างต้น ในการให้ข้อเสนอแนะแนวทางเพื่อแก้ไขปรับปรุงการส่งออกสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับของไทย ให้มีขีดความสามารถและศักยภาพยิ่งขึ้น โดยกรอบการศึกษาวิเคราะห์อยู่บน พื้นฐานทฤษฎีความได้เปรียบโดยเปรียบเทียบ (Comparative Advantage) และแบบจำลองส่วนแบ่งตลาดคงที่ (Constant Market Share Model)

ผลที่ได้รับจากการศึกษาวิเคราะห์พบว่าไทยสามารถส่งออกสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับเพิ่มขึ้นในทุกรายการ แสดงว่าประเทศไทยมีความสามารถในการแข่งขันกับประเทศอื่น ๆ ในตลาดโลกได้ ในส่วนตลาดที่สำคัญที่ทำการศึกษาอันได้แก่ เบลเยี่ยม ฝรั่งเศส เยอรมัน ฮ่องกง อิสราเอล ญี่ปุ่น สิงคโปร์ สวิตเซอร์แลนด์ สหราชอาณาจักร และสหรัฐอเมริกา ปรากฏว่าประเทศไทยสามารถส่งออกสินค้าอัญมณีและเครื่องประดับได้เพิ่มขึ้นในแทบทุกตลาดที่ทำการศึกษา ยก

เว้นสหราชอาณาจักร โดยเหตุปัจจัยที่ทำให้สินค้าอัญมณีและเครื่องประดับของไทยขยายตัวเพิ่มขึ้นในตลาดเหล่านี้ได้มากจากการขยายตัวของตลาดโลก ผลจากส่วนประกอบของสินค้า และผลจากความสามารถในการแข่งขัน

การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับคำนวณต้นทุนแหวนประดับ

(เพชรรัตน์ อุบลเรียบร้อย , 2536)

การวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับคำนวณต้นทุนแหวนประดับขึ้น โดยใช้โครงระบบผู้เชี่ยวชาญของวิทยานิพนธ์เรื่อง "การพัฒนาต้นแบบเพื่อการสาธิตโครงระบบผู้เชี่ยวชาญ" ของนายโอภาส น้ำนิรัติศัย มาทำการดัดแปลงให้เหมาะสมในการคำนวณต้นทุนแหวน ซึ่งใช้วิธีการอนุมานความรู้แบบหาเหตุผลไปข้างหน้า และการแทนค่าความรู้เป็นแบบกฎ เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ผลลัพธ์จากการอนุมานความรู้ยังสามารถนำไปคำนวณหาข้อสรุปต่อได้ และสามารถปรับปรุงค่าของการกระทำของกฎให้ทันสมัยได้ เพื่อให้ระบบมีความยืดหยุ่น

จากการทดสอบระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับคำนวณต้นทุนแหวนประดับ โดยใช้โครงระบบ ผู้เชี่ยวชาญที่ดัดแปลงแล้วและฐานความรู้ในการคำนวณต้นทุนแหวนประดับ ซึ่งพลอยที่ใช้ในการวิจัยนี้ประกอบด้วยพลอย 7 ชนิด และเพชร 2 ชนิด ปรากฏว่าระบบสามารถหาต้นทุนของแหวนประดับได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

การประยุกต์ใช้ระบบเวลาที่กำหนดไว้กับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ

(ศักรินทร์ นาครทรรพ , 2535)

การศึกษามีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ 1) เพื่อสร้างข้อมูลมาตรฐานและสูตรเวลาในการทำงานของโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องประดับ โดยประยุกต์ใช้การวัดวิธี - เวลาซึ่งเป็นหนึ่งในระบบการเคลื่อนที่ที่กำหนดไว้เป็นหลัก และใช้คอมพิวเตอร์เข้าช่วย 2) เพื่อใช้เป็นมาตรฐานสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องประดับ 3) เพื่อนำไปใช้อ้างอิงต่อโรงงานอุตสาหกรรมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน

การสร้างข้อมูลมาตรฐานโดยใช้ระบบเวลาที่กำหนดไว้สำหรับงานวิจัยนี้มี 7 ขั้นตอน คือ 1) การสำรวจเบื้องต้นและจัดงานให้เป็นมาตรฐาน 2) การกำหนดงานที่ครอบคลุม 3) การแยกแยะส่วนย่อยงาน 4) การกำหนดเวลาส่วนย่อยที่ทำโดยคน การสร้างส่วนย่อยที่ควบคุมโดยกระบวนการและการรวมข้อมูลและสูตรทั้งหมด 5) การกำหนดและให้รหัสส่วนย่อยงานที่ต้องการ 6) การทดสอบความ
ถูกต้อง 7) การประมวลผลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และการเตรียมรายงานขั้นสุดท้าย

การวิจัยนี้ทำการวิจัยในสามแผนกของการผลิตเครื่องประดับก็คือ แผนกแต่ง แผนกฝัง และแผนกขัดและขูด ได้ผลสรุปว่าสามารถสร้างข้อมูลมาตรฐานและสูตรเวลาสำหรับอุตสาหกรรม

เครื่องประดับ โดยการประยุกต์ใช้ระบบเวลาที่กำหนดไว้ จากค่าเวลาที่ได้จากข้อมูลมาตรฐานและสูตรเวลานี้สามารถใช้เป็นมาตรฐานได้ในระดับหนึ่ง นอกจากนั้นข้อมูลมาตรฐานและสูตรเวลานี้สามารถถูกพัฒนาเพื่อใช้สำหรับแบบอื่นของงานที่จะเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้จะทำให้ข้อมูลมาตรฐานและสูตรเวลานี้สามารถนำไปอ้างอิงกับอุตสาหกรรมที่คล้ายคลึงกันได้

<u>ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการสำหรับควบคุมต้นทุนการผลิตของอุตสาหกรรมเครื่องประดับ</u>
(จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์, 2535)

การศึกษาได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานทางการผลิตอันจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนางานบริหารการผลิต การประมาณต้นทุนการผลิต ส่วนตัวเรือนของเครื่องประดับหล่อที่มีคุณภาพระดับปานกลางในกลุ่มประเภทเครื่องทอง เครื่องเงิน และทองเหลือง โดยได้แบ่งกลุ่มชนิดของเครื่องประดับด้วยเกณฑ์การแบ่งแยกที่เหมาะสม ทำการศึกษา และวิเคราะห์ระบบการผลิตของอุตสาหกรรมเครื่องประดับหล่อ เพื่อออกแบบโครงสร้างของต้นทุนการผลิตและประมาณต้นทุนการผลิตโดยการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ยังได้ออกแบบและปรับปรุงระบบสารสนเทศทางการผลิต อันประกอบด้วยรายงานและแบบบันทึกต่าง ๆ สำหรับใช้ควบคุมงานบริหารการผลิตให้มี ประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ผลการศึกษาวิจัยพบว่าระบบเอกสารที่มีใช้อยู่สามารถใช้ควบคุมงานบริหารการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพเนื่องจากขาดข้อมูลพื้นฐานทางการผลิต ขาดความสมบูรณ์ในตัวของระบบและยังขาดรายงานที่จำเป็นสำหรับผู้บริหาร ดังนั้นงานวิจัยนี้จะช่วยให้ผู้บริหารได้มีข้อมูลที่จำเป็นทางการผลิต ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการตัดสินใจและการวางแผนงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวางแผนเพื่อหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมต้นทุนการผลิตให้อยู่ในระดับปกติ

<u>การศึกษาเพื่อปรับปรุงระบบการควบคุมการผลิตในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ</u>
(นุชสรา รักอำนวยกิจ, 2538)

งานวิจัยได้ทำการศึกษาปัญหา เพื่อหาแนวทางปรับปรุงระบบการควบคุมการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมเครื่องประดับ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาระบบการควบคุมการผลิตของโรงงานประเภทนี้ ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ผลการศึกษาวิจัย ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพทางการผลิตของแต่ละหน่วยงาน มีแนวโน้ม สูงขึ้น มีการใช้เอกสารทางการผลิตที่เสนอ ในการควบคุมงานและเก็บข้อมูลพื้นฐานทางการผลิตสำหรับหัวหน้างานและผู้บริหาร ใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจและวางแผนงานผลิต และทำให้แต่ละหน่วยงาน มีการควบคุมและติดตามงานในระหว่างผลิต ที่เป็นระบบและรัดกุมยิ่งขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์ความสูญเสียของชิ้นงานในระหว่างการผลิตลดลง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงาน

ในบทนี่จะกล่าวถึงรายละเอียดของแต่ละขั้นตอน ซึ่งประกอบไปด้วยการศึกษาและรวบรวมข้อมูล รวมทั้งการศึกษาทฤษฎีต่างๆ การวิเคราะห์ข้อมูล การออกแบบและการสร้างต้นแบบ การทดสอบการทำงานของต้นแบบ การปรับปรุงแก้ไขเพื่อการนำไปทดลองจริงที่โรงงานตัวอย่าง หลังจากที่ทำการทดลองแล้วจึงทำการประเมินผลและปรับปรุงแก้ไข ทำการสรุปและจัดทำรายงาน โดยรูปที่ 3.1 ได้แสดงรายละเอียดของการดำเนินงาน

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูล

ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการตรวจสอบคุณภาพของแหวน ได้แก่ ชนิดและประเภทของแหวนที่ได้ทำการตรวจ กระบวนการผลิต วิธีการตรวจสอบที่ใช้อยู่ในปัจจุบันและจุดที่ทำการตรวจสอบคุณภาพ ความผิดพลาดที่เกิดจากการตรวจสอบ

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ได้ทำการศึกษารายละเอียดของการทำงานตรวจสอบคุณภาพของสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน รวมถึงระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบ รวมถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากจุดอ่อนของการตรวจสอบในปัจจุบัน

3.3 การศึกษาทฤษฎีเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบต้นแบบ

ทำการรวบรวมทฤษฎีต่างๆ ที่คิดว่าเกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบเครื่องต้นแบบ โดยลองทดลองด้วยวธีต่างๆ เพื่อหาแนวทางที่เป็นไปได้ ทฤษฎีต่างๆ ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.4 การสร้างต้นแบบการตรวจสอบคุณภาพของการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน

จัดหาอุปกรณ์ เครื่องมือต่างๆ เพื่อใช้ในการออกแบบและสร้างต้นแบบรายละเอียดได้กล่าวไว้ในบทที่ 5

3.5 ทดสอบการทำงานของต้นแบบ

ทำการทดสอบในห้องทดลองเพื่อปรับปรุงแก้ให้สามารถทำงานได้จริง ก่อนการนำไปทดลองที่โรงงานตัวอย่าง รวมทั้งหาข้อจำกัดต่างๆ และขีดความสามารถ รวมทั้งจัดทำคู่มือการใช้ต้นแบบ

3.6 การทดลองนำไปใช้กับการทำงานจริงและทำการประเมินผล

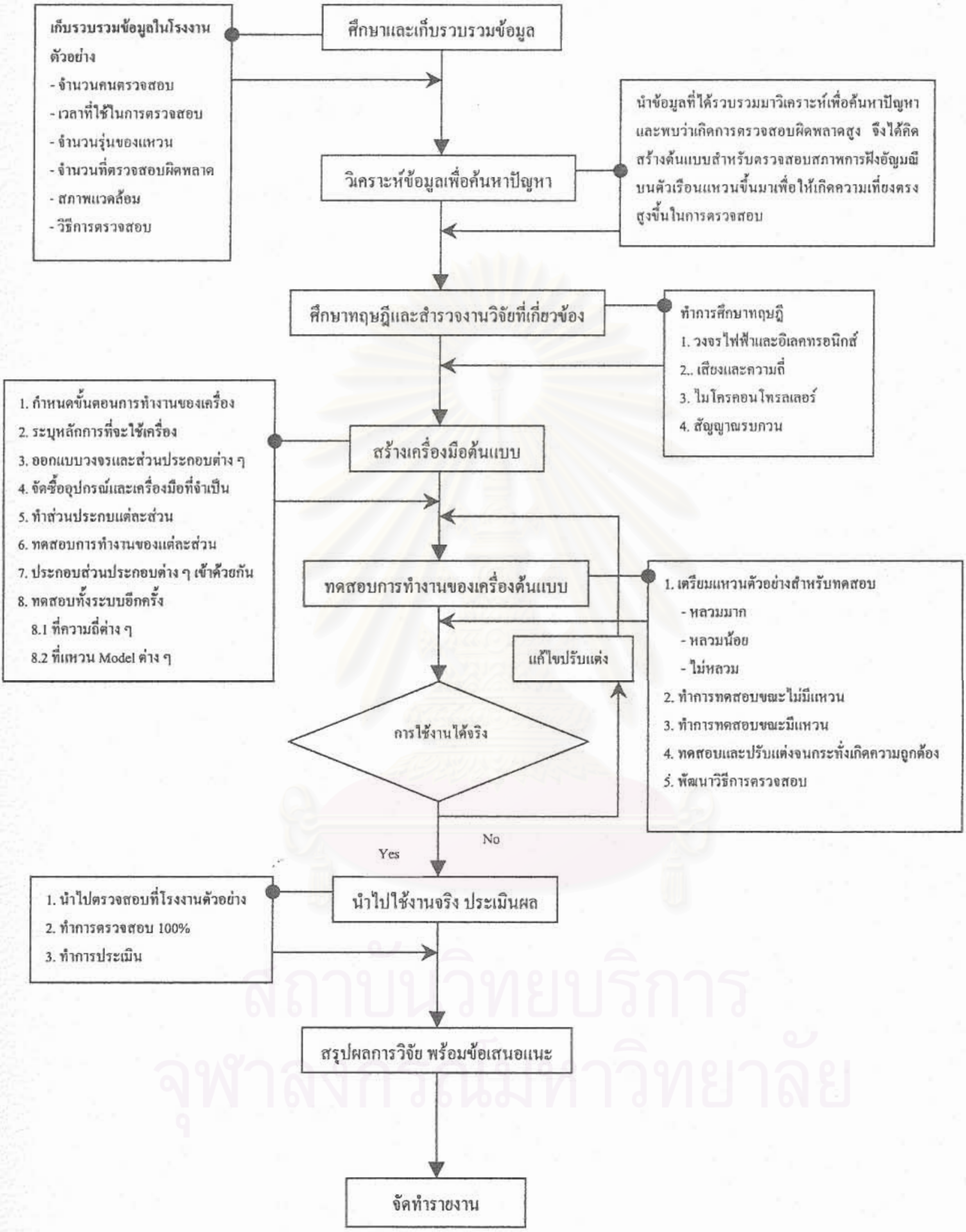
หลังจากที่ทำการปรับปรุงแก้ไขให้สามารถทดสอบสภาพการฝังอัญมณีได้อย่างสม่ำเสมอแล้ว จึงนำไปทดสอบกับงานจริงและทำการเก็บข้อมูล เพื่อทำการประเมินผลการทำงานของต้นแบบและทำการปรับปรุงให้ดีขึ้น

3.7 สรุปผลงานวิจัยและจัดทำรายงาน

ทำการสรุปผลการทดสอบ และทำการประเมินผล วิจารณ์ผลและเสนอแนะในการขยายผลต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงาน

บทที่ 4

การศึกษาข้อมูลเบื้องต้นของโรงงานตัวอย่าง

จากการที่ได้เข้าไปสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูลของโรงงานตัวอย่าง ซึ่งเป็นโรงงานผลิตเครื่องประดับในจังหวัดปทุมธานี มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- กรรมวิธีการผลิตเครื่องประดับ
- การทำงานของแผนกตรวจสอบคุณภาพของโรงงานตัวอย่าง

4.1 กรรมวิธีการผลิตเครื่องประดับ

การผลิตเครื่องประดับคือ การทำตัวเรือนเครื่องประดับ เช่น แหวน ต่างหู จี้ ขึ้นมาด้วยโลหะมีค่า (Precious metal) และมีการนำอัญมณีฝังประดับลงบนตัวเรือนเหล่านี้ ซึ่งการผลิตเครื่องประดับและอัญมณีมีส่วนประกอบที่สำคัญหลายอย่าง ทั้งส่วนประกอบเป็นตัวเรือนและส่วนที่เป็นอัญมณี ตัวเรือนจึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องประดับ ช่างรูปพรรณ จึงเป็นผู้ทำหน้าที่ผลิตส่วนประกอบต่าง ๆ ของตัวเรือนเพื่อใช้ในการประดับอัญมณี ตัวเรือนจึงเปรียบเสมือนโครงสร้างและเครื่องประดับ ถ้าจะเปรียบเทียบกับบ้าน ตัวเรือนทำเหมือนโครงสร้างของบ้าน เช่น เสา ขื่อ ฝาบ้าน หลังคา ซึ่งประกอบเข้าด้วยกันทำให้บ้านนั้นมีความแข็งแรงมั่นคง โครงสร้างของตัวเรือนก็เช่นเดียวกัน ที่จะต้องทำหน้าที่ในการยึดชิ้นส่วนต่าง ๆ ของเครื่องประดับนั้น ๆ ให้มีความมั่นคงแข็งแรงสวยงาม นอกจากนี้ตัวเรือนยังต้องเป็นส่วนที่ช่วยเน้นความสวยงามของอัญมณีที่ประดับอยู่บนเครื่องประดับนั้นให้โดดเด่น และมีคุณค่ามากยิ่งขึ้นอีกด้วย

ปัจจุบันตัวเรือนของเครื่องประดับ มีหลายลักษณะซึ่งจะสามารถพบเห็นได้โดยทั่วไป เช่น แหวน สร้อย กำไล สังวาล เข็มขัด นาฬิกา มงกุฎ ฯลฯ ซึ่งในแต่ละลักษณะของตัวเรือนนั้น ก็จะแตกต่างกันทั้งส่วนประกอบของตัวเรือน และการใช้งานทำชิ้นส่วนตัวเรือนของช่างรูปพรรณจะเริ่มจากช่างทำการเตรียมวัตถุดิบ โดยพิจารณาจากใบสั่งงาน แล้วว่าควรจะใช้วิธีใด โดยทั่วไปช่างรูปพรรณสามารถทำชิ้นส่วนตัวเรือนได้ 2 วิธี โดยขึ้นกับลักษณะงานดังนี้

วิธีที่ 1 การขึ้นตัวเรือนด้วยโลหะ วิธีนี้ช่างรูปพรรณพิจารณาแล้วว่า ตัวเรือนจากใบสั่งงานไม่มีความสลับซับซ้อน ไม่มีความละเอียดมากนัก สามารถใช้วิธีการผลิตโดยการขึ้นรูปโลหะออกเป็นตัวเรือนด้วยมือ ซึ่งก็เป็นตัวเรือนที่มีการออกแบบเป็นพิเศษและมีการผลิตน้อย

วิธีที่ 2 การขึ้นตัวเรือนด้วยขี้ผึ้ง (WAX) การขึ้นตัวเรือนด้วยวิธีนี้ ช่างรูปพรรณพิจารณาแล้วว่าชิ้นงานมีความละเอียดและซับซ้อน ถ้าขึ้นตัวเรือนด้วยโลหะ การจัดแต่งรูปทรงที่มีความสลับซับซ้อนมาก ๆ จะไม่สามารถทำได้ง่าย จึงได้ใช้ขี้ผึ้งแทนการขึ้นตัวเรือนด้วยโลหะ

เพราะขี้ผึ้งมีคุณสมบัติเป็นวัสดุเนื้ออ่อน ซึ่งสามารถอ่อนตัวได้ง่ายเมื่อโดนความร้อนเพราะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่าโลหะมาก จึงทำให้การปรับแต่งรูปทรงทำได้ง่ายกว่า และวิธีนี้เป็นการใช้หลักการหล่อ (casting) ซึ่งเหมาะสำหรับการผลิตที่มีปริมาณมาก

กระบวนการผลิตเครื่องประดับโดยวิธีการขึ้นตัวเรือนด้วยขี้ผึ้ง แบ่งออกได้ 2 แบบใหญ่ ๆ ได้แก่

- กระบวนการผลิตแบบฝังแว็กซ์
- กระบวนการผลิตแบบฝังมือ

กระบวนการผลิตแบบฝังแว็กซ์ (WAX)

วิธีนี้เป็นการใช้หลักการหล่อ ซึ่งในขั้นตอนแรกก็ต้องอาศัยการทำกระสวน (แบบพิมพ์) ขึ้นมาก่อน ซึ่งก็ต้องใช้การขึ้นรูปโลหะให้ออกมาเป็นรูปร่างกระสวนด้วยมือ เช่นเดียวกับการขึ้นตัวเรือนด้วยมือ โดยที่ทำการกระสวนนี้ใช้เงิน 92.5% เป็นวัตถุดิบ การขึ้นรูปนี้จะต้องใช้ความชำนาญเป็นอย่างสูง

หลังจากนั้นก็จะเป็นการทำโมลยาง โดยใช้ยางเคลือบกระสวนด้วยความร้อนและแรงกดและทำการผ่าโมลยางออกเป็น 2 ด้าน ซึ่งต้องใช้ความชำนาญเป็นพิเศษ ต่อจากนั้นก็เป็นการฉีดขี้ผึ้ง (Wax) ลงในโมลยางตามจำนวนที่ต้องการหลังจากนั้นทำการคัดเลือกอัญมณีมาฝังที่ตัวขี้ผึ้งหลังจากนั้นนำไปติดไว้กับต้นขี้ผึ้ง โดยทั่วไปแต่ละต้นจะสามารถติดแบบขี้ผึ้งของแหวนได้ประมาณ 30 อัน นำต้นขี้ผึ้งเหล่านี้ไปหุ้มด้วยการเทปูนทนไฟพร้อมทั้งทำการดูดฟองอากาศออกจากแบบหล่อปูน นำแบบหล่อไปอบด้วยความร้อนเพื่อเป็นการไล่ขี้ผึ้งออกแล้วนำแบบหล่อมาเข้าเครื่องเหวี่ยง เพื่อเทน้ำโลหะมีค่าลงในแบบและทำการเหวี่ยงหลังจากนั้นรอชิ้นงานเย็นทำการแกะชิ้นงานออกจากแบบหล่อ

หลังจากได้ชิ้นงานตัวเรือนพร้อมอัญมณี ทำความสะอาดชิ้นงานจากการหล่อแล้ว ขั้นตอนสำคัญต่อมาก็คือการตัดต่อขนาดหรือการประกอบชิ้นงานตัวเรือนรวมทั้งการตกแต่งผิวชิ้นงานตัวเรือนโดยช่างฝีมือ ติดตามด้วยการขัดดิบและขัดสุกตามลำดับต่อจากนั้นก็เป็นการขูดทำความสะอาดและชุบเคลือบผิว และขั้นที่สำคัญมากที่ขาดไม่ได้ คือ **การตรวจสอบคุณภาพของแหวน** สุดท้ายคือการบรรจุหีบห่อเพื่อส่งจำหน่ายต่อไป

กระบวนการผลิตแบบฝังมือ

วิธีนี้เป็นการใช้หลักการหล่อ ซึ่งในขั้นตอนแรกก็ต้องอาศัยการทำกระสวน (แบบพิมพ์) ขึ้นมาก่อน ซึ่งก็ต้องใช้การขึ้นรูปโลหะให้ออกมาเป็นรูปร่างกระสวนด้วยมือ เช่นเดียวกับการขึ้นตัวเรือนด้วยมือ โดยที่ทำการกระสวนนี้ใช้เงิน 92.5% เป็นวัตถุดิบ การขึ้นรูปนี้จะต้องใช้ความชำนาญเป็นอย่างสูง

หลังจากนั้นก็จะเป็นการทำโมลยาง โดยใช้ยางเคลือบกระสวนด้วยความร้อนและแรงกดและทำการผ่าโมลยางออกเป็น 2 ด้าน ซึ่งต้องใช้ความชำนาญเป็นพิเศษ ต่อจากนั้นก็เป็นการฉีดขี้ผึ้ง ลงในโมลยางตามจำนวนที่ต้องการจากนั้นนำไปติดไว้กับต้นขี้ผึ้ง โดยทั่วไปแต่ละต้นจะสามารถติดแบบขี้ผึ้งของแหวนได้ประมาณ 30 อัน นำต้นขี้ผึ้งเหล่านี้ไปหุ้มด้วยการเทปูนทนไฟพร้อมทั้งทำการดูดฟองอากาศออกจากแบบหล่อปูน นำแบบหล่อไปอบด้วยความร้อน เพื่อเป็นการไล่ขี้ผึ้งออกแล้วนำแบบหล่อมาเข้าเครื่องเหวี่ยง เพื่อเทน้ำโลหะมีค่าลงในแบบและทำการเหวี่ยง

หลังจากได้ชิ้นงานตัวเรือนจากการหล่อและทำความสะอาดชิ้นงานตัวเรือนจากการหล่อแล้ว ขั้นตอนสำคัญต่อมาก็คือการตัดต่อขนาดหรือการประกอบชิ้นงานตัวเรือนรวมทั้งการตกแต่งผิวชิ้นงานตัวเรือน โดยช่างฝีมือ

ติดตามด้วยการขัดผิวและการฝังอัญมณีลงบนตัวเรือนซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญที่ต้องใช้ผู้ที่มีความชำนาญและมีความปราณีตในการทำ ต่อจากนั้นก็เป็นการทำความสะอาดและชุบเคลือบผิว และขั้นที่สำคัญมากที่ขาดไม่ได้ คือ **การตรวจสอบคุณภาพของแหวน** สุดท้ายคือการบรรจุหีบห่อเพื่อส่งจำหน่ายต่อไป

4.2 การทำงานของแผนกตรวจสอบคุณภาพ

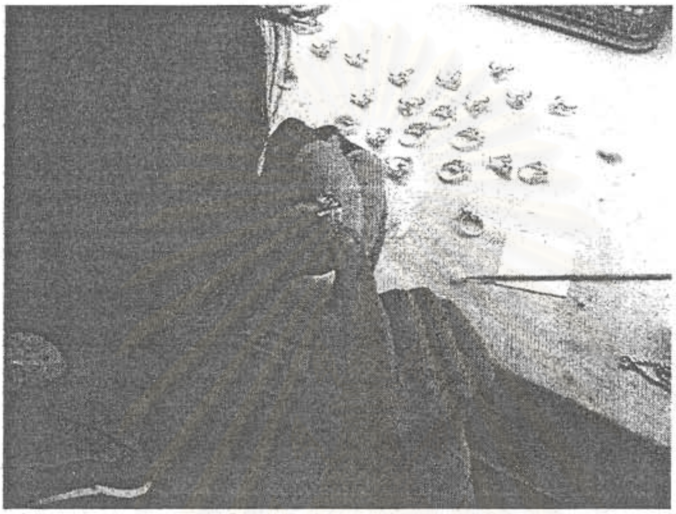
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.1 กระบวนการทำงานของแผนกตรวจสอบคุณภาพ

จากรูป 4.1 แผนกที่ 1 แผนก QC รับแหวนที่ผลิตเสร็จจากแผนกชุบเคลือบ มาทำการตรวจสอบ 100% โดยในการตรวจสอบสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือน ในโรงงานนี้ใช้คนในการตรวจสอบ ซึ่งมีเกณฑ์ในการตรวจสอบ 2 ลักษณะ คือ

1. รอยตำหนิ หรือรอยขีดข่วนที่ตัวเรือนแหวนและอัญมณี (เพชร , พลอย)
2. เกิดการหลวมหรือคลอนระหว่างอัญมณีกับตัวเรือนแหวนหรือไม่ ?

ในข้อที่ 1 ก็จะใช้ตาเปล่าตรวจสอบได้ ส่วนข้อที่ 2 ใช้หูคนตรวจสอบ ซึ่งก็มีวิธีการตรวจสอบดังนี้ คือ นำแหวนมาแนบใกล้ ๆ หู แล้วใช้นิ้วเคาะเบา ๆ ที่แหวน แล้วใช้หูฟังเสียงเพื่อแยกว่าหลวมหรือไม่หลวม ซึ่งถ้าแหวนหลวมเสียงที่ได้ยิน เสียงจะไม่ใช่เสียงเดียวและสั่น ถ้าหลวมมากจะได้ยินเสียงซ้อนดังกิ๊ก ๆ (เสียงจะเหมือนวัตถุ 2 ชิ้นกระทบกัน) และถ้าแหวนไม่หลวม คือแน่น จะได้ยินเสียงในลักษณะเสียงเดียวไม่มีเสียงแทรกซ้อน ดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 การเคาะแหวน และใช้หูฟังเสียงเพื่อดูว่าอัญมณีหลวมหรือไม่ (ด้านหลัง)

รูปที่ 4.3 การเคาะแหวน และใช้หูฟังเสียงเพื่อดูว่าอัญมณีหลวมหรือไม่ (ด้านหน้า)

เมื่อตรวจสอบเสร็จพบว่า

ก. กรณีแน่น จะทำแยกไว้ในกล่อง A

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. กรณีหลวมน้อย จะต้องนำมาตรวจโดยวิธีใช้เข็มทิ่มที่อัญมณีดูอีกครั้ง ดังรูปที่ 4.4 เพื่อเช็คว่าหลวมหรือไม่ และถ้าหลวมให้ทำการระบุตำแหน่งเม็ดที่หลวม โดยใส่ในกล่อง B (ถ้าหลวม) และใส่ในกล่อง A (ถ้าแน่น)

ค. กรณีหลวมมาก จะต้องนำมาตรวจโดยวิธีใช้เข็มทิ่มที่อัญมณีอีกครั้ง เพื่อเช็คว่าอัญมณีเม็ดไหนหลวม และทำการระบุตำแหน่งเม็ดที่หลวม เพื่อทำการ Rework ใหม่ โดยการหยอดกาวที่ด้านข้างอัญมณีเพื่อให้ติดแน่น ดังรูปที่ 4.5 และใส่ไว้ในกล่อง B

หมายเหตุ : กล่อง A ส่งต่อไปแผนกต่างประเทศและกล่อง B ส่งกลับไป Rework

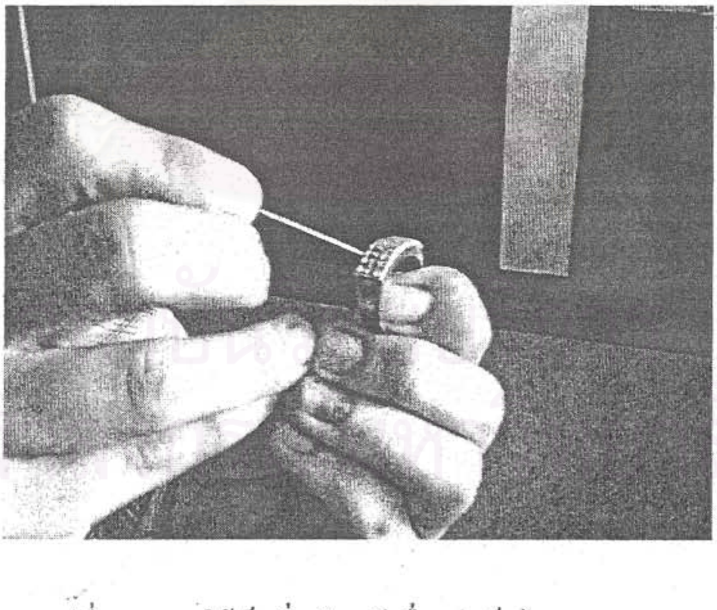
แผนกที่ 2 แผนกต่างประเทศ รับแหวนที่ตรวจผ่านมาจากแผนก QC เพื่อทำการตรวจสอบ 100 เปอร์เซ็นต์ อีกครั้ง ก่อนบรรจุหีบห่อ เพื่อที่จะได้มั่นใจได้ว่าไม่มีของเสียตกไปถึงมือลูกค้า โดยมีเงื่อนไขการตรวจสอบดังนี้

1. จะทำการตรวจสอบโดยใช้หูคนทุกวง
2. จะใช้เข็มทิ่มอัญมณีดูทุกวง

โดยในการตรวจสอบใช้วิธีการเดียวกันกับแผนก QC ซึ่งเมื่อตรวจสอบแล้วพบว่า

- ♦ อัญมณีที่หัวแหวนไม่หลวม ก็ทำการบรรจุหีบห่อต่อไป
- ♦ อัญมณีที่หัวแหวนหลวมก็จะถูกส่งกลับไป Rework ใหม่

หมายเหตุ : โดยในขั้นตอนต่าง ๆ จะมีการบันทึกผลการตรวจสอบ



รูปที่ 4.4 การใช้เข็มทิ่มอัญมณีเพื่อดูว่าเม็ดไหนหลวม

รูปที่ 4.5 การซ่อมแซมโดยวิธีหยอดกาวที่ด้านข้างอัญมณี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ขั้นตอนการออกแบบสร้างต้นแบบ

จากการที่ได้ศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ก็ได้เกิดแนวคิดในการสร้างต้นแบบและได้แบ่งต้นแบบออกเป็นส่วน ๆ พร้อมหลักการและขั้นตอนการสร้างต้นแบบนั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- หลักการและแนวคิด
- ส่วนประกอบของต้นแบบ
- ขั้นตอนการสร้างส่วนประกอบแต่ละส่วนของต้นแบบและการเลือกใช้อุปกรณ์

5.1 หลักการ แนวคิด ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงปัจจุบัน

จากการที่ได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องก็ได้เกิดแนวคิด และได้ลองผิดลองถูกทดลองมาเรื่อย ๆ ก็ได้ปรับเปลี่ยนแนวคิด ตั้งแต่เริ่มต้นมาจนถึงปัจจุบัน ดังนี้

แนวคิดที่ 1

วงจรกำเนิดความถี่ป้อนความถี่ให้อุปกรณ์กำเนิดความถี่ และส่งไปที่ตัวเรือนแหวน ทำให้แหวนสั่นเกิดความถี่ขึ้นมา ใช้คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนจับสัญญาณแล้วใช้วงจรขยายสำหรับไมโครโฟนขยายก่อน หลังจากนั้นใช้วงจรกรองความถี่ชนิดแบนพาส คือกรองความถี่ต่ำกว่าที่ต้องการออก สูงกว่าที่ต้องการออก ก็จะเหลือความถี่ที่ต้องการ และกำหนดช่วงความถี่มาตรฐานที่ยอมรับและผ่านวงจรเปรียบเทียบความถี่ ถ้าสูงกว่าหรือต่ำกว่าช่วงที่ยอมรับได้แสดงว่าหลวม แต่ถ้าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้แสดงว่า อัญมณีแน่น และส่ง เอาท์พุท แสดงที่ LED สีแดงและสีเขียว (สีเขียว คือ แน่น สีแดง คือ หลวม) และแสดงเอาท์พุท ผ่านจอ LCD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แนวคิดที่ 2

วงจรกำเนิดความถี่ป้อนความถี่ให้อุปกรณ์กำเนิดความถี่ และส่งต่อไปยังตัวเรือนแหวน ทำให้แหวนสั่นและเกิดความถี่ใหม่ขึ้นมา ใช้คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนจับสัญญาณแล้วใช้วงจรขยายสำหรับไมโครโฟนขยายก่อน หลังจากนั้นใช้วงจรกรองความถี่ชนิดแบนพาส คือกรองความถี่ต่ำกว่าที่ต้องการออก สูงกว่าที่ต้องการออก ก็จะเหลือความถี่ที่ต้องการและนำสัญญาณที่ได้

ผ่านวงจรขยายสัญญาณก่อนเพื่อขยายสัญญาณให้ได้ 5 Vp-p แล้วส่งไปเข้าวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลผลและแสดงผล โดย LED สีแดงและสีเขียวและจอ LCD

แนวคิดที่ 3

วงจรกำเนิดความถี่ป้อนความถี่ให้อุปกรณ์กำเนิดความถี่ และส่งต่อไปยังตัวเรือนแหวน ทำให้แหวนสั่นและเกิดความถี่ใหม่ขึ้นมา ก็ใช้คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนจับความถี่มาและเข้าวงจร ขยายสำหรับไมโครโฟน เพื่อขยายและส่งต่อเข้าการ์ด DSP เพื่อประมวลผล โดยในการ์ดนี้เราจะเขียนโปรแกรมควบคุมสั่งให้การ์ด DSP ทำงานตามที่เราต้องการ เมื่อประมวลผลเสร็จ ก็แสดงเอาท์พุท ผ่าน LED สีแดงและสีเขียวและจอ LCD

แนวคิดที่ 4

กรณีมีสัญญาณรบกวนจากภายนอกมากเกิน ก็ให้ใช้ไมโครโฟนสองตัวจับสัญญาณ ตัวที่1 จับที่ตัวเรือนแหวน ตัวที่ 2 จับที่สภาวะแวดล้อมภายนอก แล้วนำมาเข้าวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) เพื่อทำการเปรียบเทียบสัญญาณที่ได้ โดยถ้าสัญญาณเหมือนกันตัดทิ้ง สัญญาณต่างกันให้ผ่านได้ แล้วนำสัญญาณที่ได้ไปเข้าวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อประมวลผลและแสดงผล โดย LED สีแดงและสีเขียวและจอ LCD

สมมุติฐาน

เริ่มมาจากทฤษฎีของ เสียงได้กล่าวว่า " เสียงเกิดจากวัตถุ 2 ชิ้นกระทบกัน" ดังนั้นถ้าป้อนความถี่ค่าหนึ่งให้แหวน แหวนนั้นจะสั่นตามและจะมีพฤติกรรมดังนี้

กรณีที่ 1 แหวนหลวม จะมีเสียงเกิดขึ้นมาใหม่ และแทรกซ้อนกับเสียงที่เกิดจากความถี่ที่ป้อนเข้าไป

กรณีที่ 2 แหวนไม่หลวม เสียงที่ได้จะมีเสียงเดียว คือ เสียงที่เกิดจากความถี่ที่ป้อนเข้าไปจะไม่มีเสียงแทรกเกิดขึ้นมาใหม่

หมายเหตุ แนวคิดนี้ได้จากการเข้าไปในโรงงาน แล้วดูวิธีการตรวจสอบจริงของพนักงานตรวจสอบ โดยในการตรวจสอบนั้นจะนำเอาแหวนมาไว้แนบหูแล้วใช้นิ้วเคาะเบา ๆ และฟังเสียงที่เกิดขึ้น

รวมหลักการและแนวคิด

จากแนวคิดทั้งหมดได้ทำการทดลองโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1

นำเครื่องกำเนิดความถี่ ป้อนความถี่ให้กับอุปกรณ์กำเนิดความถี่ ซึ่งในที่นี้ใช้ตลับสั่นมอเตอร์ชนิดสั่นได้ ลำโพง ซึ่งมีรายละเอียดกล่าวในหัวข้อ 5.3.2 และส่งผ่านไปที่ตัวแหวน โดยตัวจับยึดแหวน ดังรูปที่ 5.8 และรูปที่ 5.9 จากนั้นก็ใช้ตาสังเกตที่แหวน หูฟังเสียง หลังจากที่ได้ทำการทดลอง ก็ได้เลือกใช้ลำโพงเป็นอุปกรณ์กำเนิดความถี่ ซึ่งรายละเอียดการเลือกลำโพงกล่าวไว้ในหัวข้อ 5.3.2

ผล สอดคล้องกับแนวคิดข้างต้น คือถ้าแหวนหลวมจะได้ยินเสียงแทรกปะปน และถ้าแหวนไม่หลวมก็จะได้ยินเสียงเดียว ไม่มีเสียงแทรก

อ้างถึงทฤษฎี เสียง (ธนกร คีรีพิทักษ์ , 2542 : 11-24)

ขั้นตอนที่ 2

เมื่อเราสามารถแยกเสียงระหว่างแหวนหลวมกับแหวนไม่หลวมได้ แต่เสียงที่ได้นั้นไม่เหมาะที่จะใช้หูคนฟัง จึงได้มีการใช้อุปกรณ์ตรวจจับความถี่ ดังรูปที่ 5.10 ซึ่งในที่นี้ได้ลองใช้ไมโครโฟนกันอุลตร้าโซนิครับอินพุทเข้ามา แล้วผ่านวงจรขยายสำหรับไมโครโฟน แล้วส่งต่อไปที่วงจรกรองความถี่ เพื่อกรองความถี่ที่ไม่ต้องการออกแล้วนำสัญญาณที่ได้ วัดโดยออสซิลโลสโคป เพื่อแยกหาช่วงความถี่ที่ปะปนมา ซึ่งวิธีนี้ถ้าสามารถแยกความถี่ดังกล่าวได้จะสามารถระบุได้ว่าแหวนนั้นหลวมหรือไม่หลวม หลังจากที่ได้ทำการทดลองก็ได้เลือกใช้ Condenser microphone เป็นอุปกรณ์ตรวจจับความถี่ ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.3.1

ผล สัญญาณที่วัดได้โดยออสซิลโลสโคปนั้นเห็นไม่ชัดเจน และมีความถี่รบกวนสูงมาก จึงต้องมีการแก้ปัญหาโดยการขยายสัญญาณและกำจัดสัญญาณรบกวนดังกล่าว

อ้างถึงทฤษฎี วงจรขยายสำหรับไมโครโฟน

ขั้นตอนที่ 3

การที่มีสัญญาณอินพุทต่ำไป ทำให้ต้องมีการขยายสัญญาณก่อน โดยใช้วงจรขยายเพื่อที่จะให้นำสัญญาณนี้ไปใช้ต่อได้ และการปรับอัตราการขยายก็ปรับที่ความต้านทานปรับค่าได้ และวัดสัญญาณดังกล่าวโดยออสซิลโลสโคป

ผล สัญญาณที่ขยายแล้วเหมาะสมที่จะนำไปใช้ต่อ แต่เกิดปัญหาคือ สัญญาณไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณตลอดเวลา เฟสเลื่อนและมีความถี่รบกวนสูง และเริ่มเห็นความถี่ที่

ปะปนมาบ้างไม่เห็นบ้าง เมื่อสัญญาณดังกล่าวมีพฤติกรรมเป็นอย่างนี้ ก็ไม่สามารถนำสัญญาณนี้ไปประมวลผลต่อได้

อ้างถึงทฤษฎี วงจรขยาย

ขั้นตอนที่ 4

จากการที่สัญญาณไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณตลอดเวลา เฟสเลื่อน อาจเกิดมาจากอุปกรณ์กำเนิดความถี่ อุปกรณ์ตรวจจับความถี่ วงจรขยายสำหรับไมโครโฟน วงจรกรองความถี่และวงจรขยายสัญญาณ จึงได้ทำการทดลองปรับเปลี่ยนอุปกรณ์และวงจรต่างๆ เพื่อปรับปรุงสัญญาณเอาท์พุทให้ดีขึ้นซึ่งรายละเอียดของการปรับเปลี่ยนวงจรได้อธิบายในภาคผนวก ค

ผล สัญญาณเอาท์พุทชัดเจนและดีขึ้น เห็นสัญญาณที่ปะปนมา แต่ก็ยังมีความไม่แน่นอนอยู่บ้าง และมีสัญญาณรบกวนจึงไม่สามารถนำสัญญาณนี้ไปประมวลผลเพื่อแสดงผลได้ในตอนนี้ เพราะจะทำให้ความถูกต้องของต้นแบบลดลง

หมายเหตุ : ขั้นตอนที่ 1 - 4 ได้ทำการทดลองในห้องโล่ง

ขั้นตอนที่ 5

การที่สัญญาณไม่คงที่ และมีสัญญาณรบกวน อาจเกิดมาจากสภาพแวดล้อม เพื่อขจัดปัญญานี้ จึงได้มีการสร้างกล่องเก็บเสียง แล้วนำอุปกรณ์วงจรต่าง ๆ ประกอบลงไปในกล่อง แล้วทำการทดลองต่อ

ผล สัญญาณรบกวนจากสภาพแวดล้อมโดนขจัดทิ้งไปเกือบหมด ทำให้เหลือแต่สัญญาณเอาท์พุทที่ต้องการ ชัดเจนยิ่งขึ้น

ขั้นตอนที่ 6

จากการที่แนวคิดที่ 1 ไม่สามารถที่จะทำให้เครื่องมือนี้สำเร็จลงได้ จึงได้มีการนำหลักการของไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดความถูกต้องของเครื่องมือสูงขึ้น โดยใช้ในส่วนของการประมวลผลด้วยวิธีนำสัญญาณเอาท์พุทเดิมป้อนเป็นอินพุทให้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผลแยกหาช่วงความถี่ที่ต้องการ แล้วแสดงผลในรูปแบบต่าง ๆ ตามต้องการ เช่น ถ้าแหวนหลวมให้หลอด LED สีแดงติดสว่าง ถ้าแหวนไม่หลวมให้ LED สีแดงไม่ติด

ผล ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์นี้สามารถประมวลผลสอดคล้องกับแนวคิด จึงทำให้สามารถสร้างต้นแบบฯ ได้สำเร็จ และทำการตรวจสอบได้อย่างถูกต้องแม่นยำประมาณ 99 %

อ้างถึงทฤษฎี ไมโครคอนโทรลเลอร์

5.2 ส่วนประกอบของต้นแบบ

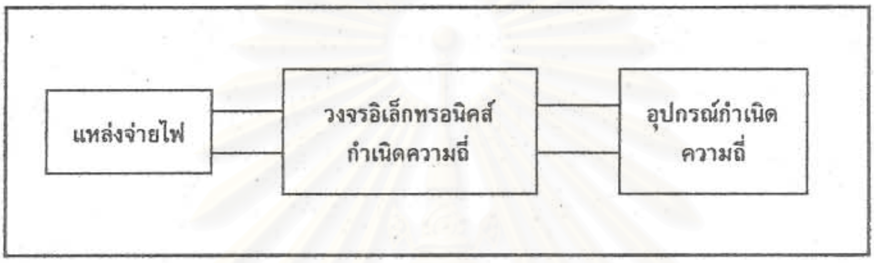
ส่วนที่ 1 คือชุดกำเนิดความถี่ มีหน้าที่ป้อนความถี่ให้กับอุปกรณ์ที่สร้างการสั่นสะเทือน(vibration) เพื่อทำการสั่นไปที่แหวน เพื่อให้แหวนเกิดความถี่ขึ้นมาความถี่หนึ่ง ซึ่งมีส่วนประกอบย่อยดังต่อไปนี้ ดังรูปที่ 5.1

1.1 วงจรอิเล็กทรอนิคส์กำเนิดความถี่

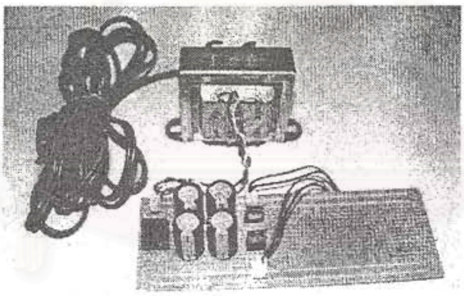
1.2 อุปกรณ์กำเนิดความถี่

1.3 แหล่งจ่ายไฟ

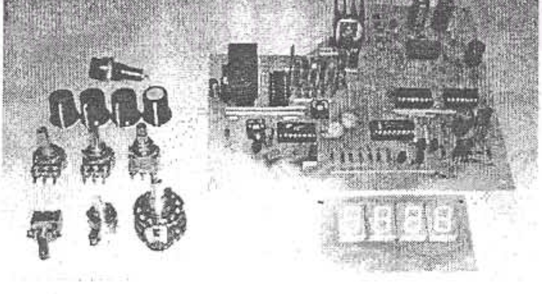
1.4 ฐานยึดแหวน



รูปที่ 5.1 ส่วนประกอบในชุดกำเนิดความถี่

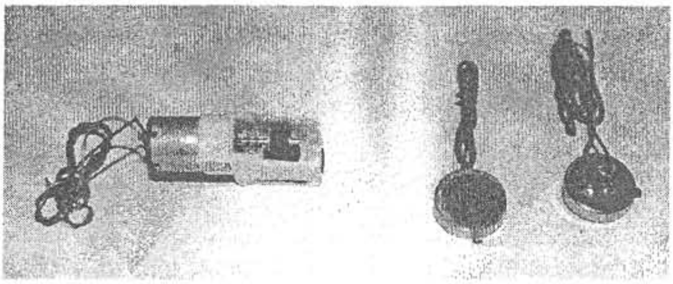


รูปที่ 5.2 แหล่งจ่ายไฟ

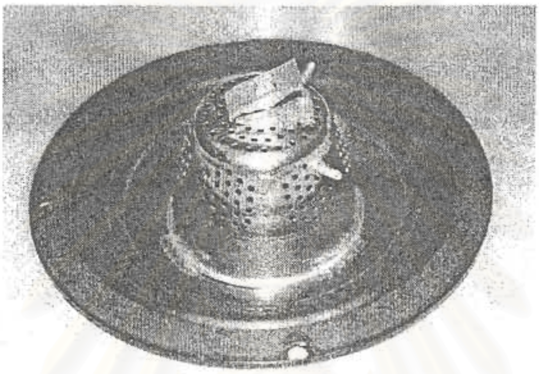


รูปที่ 5.3 วงจรอิเล็กทรอนิคส์กำเนิดความถี่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.4 อุปกรณ์กำเนิดความถี่



รูปที่ 5.5 อุปกรณ์กำเนิดความถี่พร้อมฐานยึดแหวน

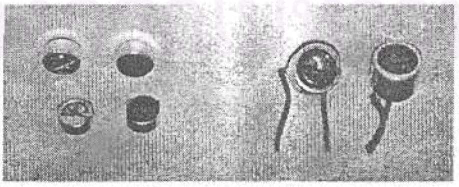
ส่วนที่ 2 คือชุดตรวจจับสัญญาณ (Sensor) ซึ่งจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้ ดังรูปที่ 5. 6 และรูปที่ 5. 7

2.1 ไมโครโฟนแบบ Condenser microphone

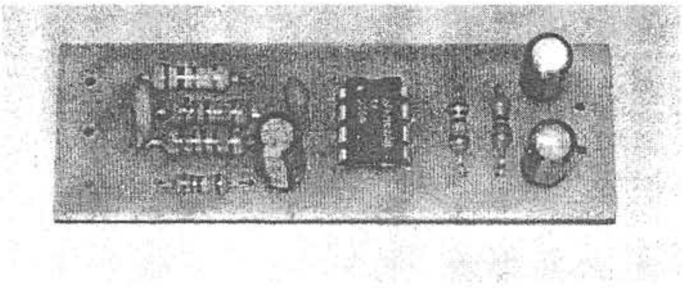
2.2 ตัว Sensor แบบ Ultrasonic

2.3 วงจรขยายสำหรับไมโครโฟนโดยเฉพาะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



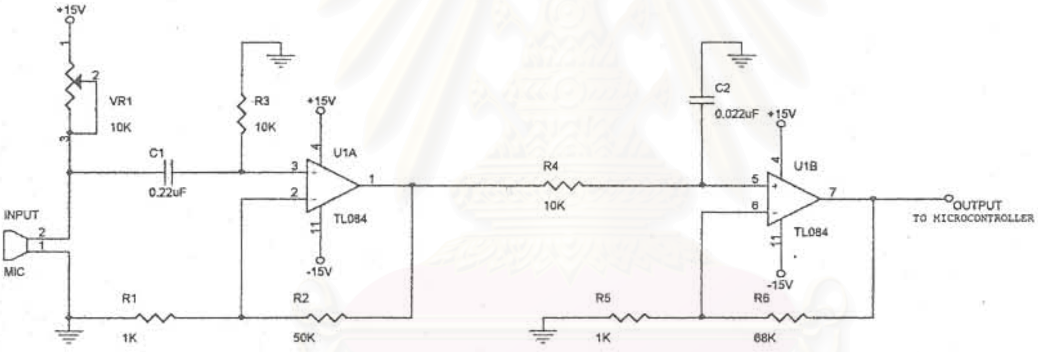
รูปที่ 5. 6 ไมโครโฟนแบบ Condenser microphone และ Ultrasonic

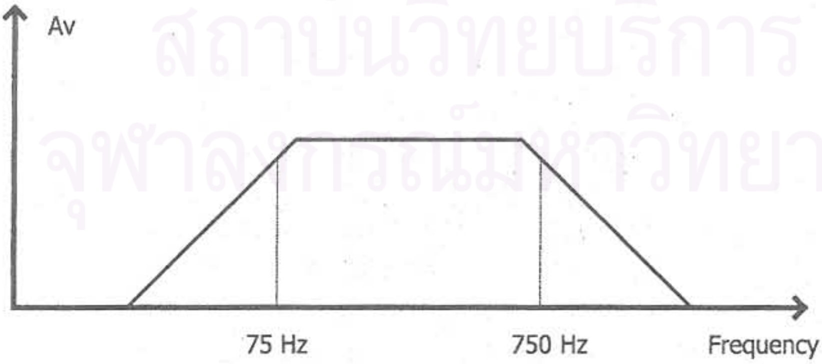


รูปที่ 5.7 วงจรขยายสำหรับไมโครโฟนโดยเฉพาะ

ส่วนที่ 3 คือ ชุดวงจรกรองความถี่

วงจรกรองความถี่ที่ใช้ในต้นแบบนี้เป็นแบบ Band pass filters ดังรูปที่ 5.8 ทำหน้าที่กรองสัญญาณที่ต้องการ ซึ่งอยู่ในช่วงความถี่ที่ได้ทำการกำหนดไว้ 75 - 750 Hz. เพราะป้องกันการเกิดออสซิลเลต

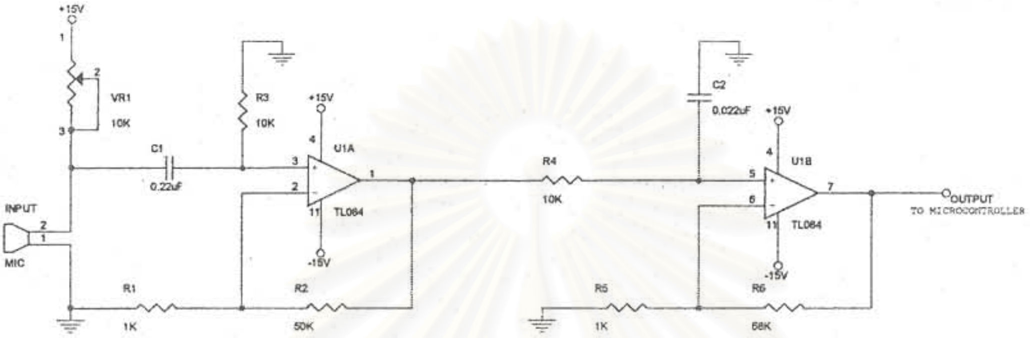




รูปที่ 5.8 วงจรกรองความถี่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนที่ 4 คือ ชุดขยายสัญญาณ ดังรูปที่ 5.9 จะประกอบด้วย วงจรอิเล็กทรอนิคส์ ซึ่งใช้ในการขยายสัญญาณเนื่องจากความถี่ที่กรองได้ ยังนำไปใช้งานไม่ได้เพราะสัญญาณไม่แรงพอ เราจึงมีวงจรขยายขยายอีกที เพื่อให้ได้สัญญาณที่ชัดเจน ซึ่งในส่วนนี้จะต้องทำการทดลอง เพื่อหาอัตราการขยายสัญญาณที่เหมาะสม แล้วส่งสัญญาณต่อไปยังชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

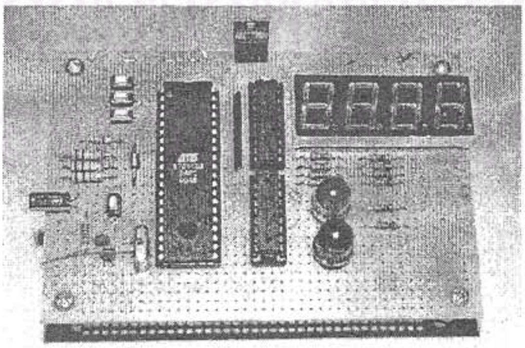


รูปที่ 5.9 วงจรขยายสัญญาณ

ส่วนที่ 5 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 5.10 ทำหน้าที่ประมวลผลว่าแหวนหลวมหรือไม่ ซึ่งใช้หลักการนับความถี่และการเปรียบเทียบความถี่กับความถี่อ้างอิงโดยการตรวจจับสัญญาณว่ามีความถี่สูงกว่าช่วงที่กำหนดหรือไม่

กรณี มี จะส่งสัญญาณไปโชว์ที่ชุดแสดงผลว่าแหวนหลวม LED สีแดงติด

กรณี ไม่มี จะส่งสัญญาณไปโชว์ที่ชุดแสดงผลว่าแหวนไม่หลวม LED สีแดงไม่ติด

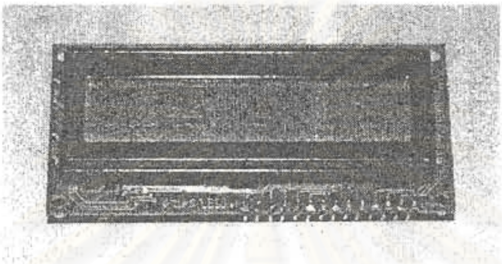


รูปที่ 5.10 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนที่ 6 คือ ชุดแสดงผล จะประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้ ดังรูปที่ 5.11 และรูปที่ 5.12 การแสดงผลจะแสดงในรูปแบบดังต่อไปนี้

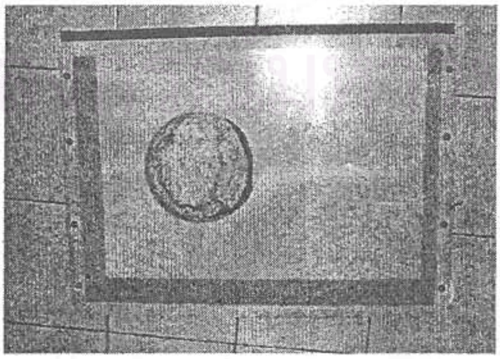
1. Display จอ LCD จะแสดงสถานะต่าง ๆ ควบคุมด้วยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์
2. LED
    2.1 ถ้าแหวนไม่หลวมก็ให้ LED สีแดงไม่ติด
    2.2 ถ้าแหวนหลวมก็ให้ LED สีแดงติดสว่าง



รูปที่ 5.11 จอ LCD

รูปที่ 5.12 LED

ส่วนที่ 7 คือ กล่องเก็บเสียงทำหน้าที่ป้องกันสัญญาณรบกวนจากสภาวะแวดล้อมภายนอกกล่องไม่ให้เข้ามารบกวนการทำงานของต้นแบบฯ และเพิ่มความแข็งแรงให้กับต้นแบบฯ ซึ่งมีขนาด 33 * 45 * 25.5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 กล่องเก็บเสียง

5.3 ขั้นตอนการสร้างส่วนประกอบแต่ละส่วนของต้นแบบและการเลือกใช้อุปกรณ์

5.3.1 การเลือกใช้อุปกรณ์ตรวจจับความถี่

จากการที่ได้ศึกษาในเรื่องของอุปกรณ์ตรวจจับความถี่ ก็ได้จัดหามาทดลอง 2 อย่าง ดังรูปที่ 5.6 ซึ่งประกอบไปด้วย

1. ไมโครโฟน ซึ่งมี 2 ชนิดดังนี้

   1.1 ไดนามิคไมโครโฟน

   1.2 คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน

2. อุลตร้าโซนิค

วิธีการทดลอง นำไมโครโฟนทั้งสองชนิดและอุลตร้าโซนิค มาตรวจจับความถี่ของแหล่งกำเนิดเสียงอ้างอิง และนำสัญญาณที่ตรวจจับได้ วัดด้วยออสซิลโลสโคป

หมายเหตุ การใช้คอนเดนเซอร์ไมโครโฟนนั้นจะต้องมีวงจรขยายสำหรับไมโครโฟนโดยเฉพาะมาต่อร่วมด้วย ซึ่งวงจรขยายดังกล่าวได้กล่าวไว้แล้วในขั้นตอนการสร้าง Pre – Amplifier สำหรับไมโครโฟน

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับความถี่ สรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

อุปกรณ์	ความไว	ตอบสนองในช่วงความถี่
1. ไดนามิคไมโครโฟน	ปานกลาง	100 – 20 kHz
2. คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน	สูง	60 – 20 kHz
3. อุลตร้าโซนิค	สูง	> 40 kHz

ดังนั้น จึงได้เลือกคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนเป็นอุปกรณ์ตรวจจับความถี่ เนื่องจากมีความไวสูง และตอบสนองในช่วงความถี่ต่ำได้ดี

5.3.2 การเลือกใช้อุปกรณ์กำเนิดความถี่

1. ในขั้นตอนแรกนั้น ได้นำอุปกรณ์ 3 ชนิดมาทดลอง คือ

   1.1 ตลับสั่น ดังรูปที่ 5.4

   1.2 มอเตอร์ชนิดสั่นได้ ดังรูปที่ 5.4

1.3 ลำโพง แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังรูปที่ 5.5

- ลำโพงเสียงแหลม ขนาด 2 นิ้ว 30 วัตต์ อิมพีแดนซ์ 8 โอห์ม
- ลำโพงเสียงกลาง ขนาด 4 นิ้ว 40 วัตต์ อิมพีแดนซ์ 8 โอห์ม ยี่ห้อ Walom
- ลำโพงเสียงต่ำ ขนาด 6 นิ้ว 100 วัตต์ อิมพีแดนซ์ 8 โอห์ม ยี่ห้อ Versa –Tronic

วิธีการทดลอง ทำได้โดยใช้เครื่องกำเนิดความถี่ป้อนความถี่ให้อุปกรณ์ทั้ง 3 ชนิด และสังเกตการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น แล้วใช้เครื่องนับความถี่วัดความถี่ที่เกิดขึ้นว่า อินพุทเท่ากับเอาท์พุทหรือไม่ เพื่อดูผลตอบสนองที่ความถี่ต่าง ๆ และดูแรงที่เกิดขึ้น เพราะสุดท้ายจะต้องใช้แรงนี้ส่งให้ตัวเรือนแหวน เพื่อให้แหวนสั่น

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองอุปกรณ์กำเนิดความถี่ สรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

อุปกรณ์	ความคงทน	แรงที่เกิดขึ้น	ความถูกต้องของการตอบสนอง	ความไวในการตอบสนอง
1. ตลับสั่น	น้อย	ดี	ไม่ดี	ไม่ดี
2. มอเตอร์ชนิดสั่นได้	น้อย	ดี	ไม่ดี	ไม่ดี
3. ลำโพงเสียงแหลม	มาก	ปานกลาง	ปานกลาง	ดี
4. ลำโพงเสียงกลาง	มาก	ปานกลาง	ดี	ดี
5. ลำโพงเสียงต่ำ	มากที่สุด	ดี	ดีมาก	ดี

ดังนั้นจึงเลือกใช้ลำโพงเสียงต่ำ Versa – Tronic เป็นอุปกรณ์กำเนิดความถี่ในเครื่องต้นแบบ

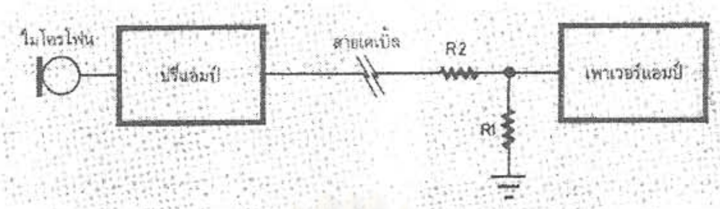
5.3.3 Pre - Amplifier สำหรับไมโครโฟน

การที่จะนำคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนไปใช้งานนั้นจะต้องต่อปรีแอมป์สำหรับไมโครโฟนโดยเฉพาะด้วย ไมโครโฟนจึงจะทำงานได้เพราะสัญญาณที่ออกจากไมโครโฟนค่อนข้างต่ำมาก และการใช้ไมโครโฟนที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำจะช่วยลดสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 5.14 เมื่อสัญญาณผ่านการขยายแล้วจำเป็นต้องมีการลดขนาดของสัญญาณลง โดยใช้วงจรแบ่งแรงดันทางอินพุตของเครื่องขยายเสียง ซึ่งสามารถหาค่าของ R_1 และ R_2 ได้จาก

$$R_2 \approx 0.9\,AR_1 \tag{5.1}$$

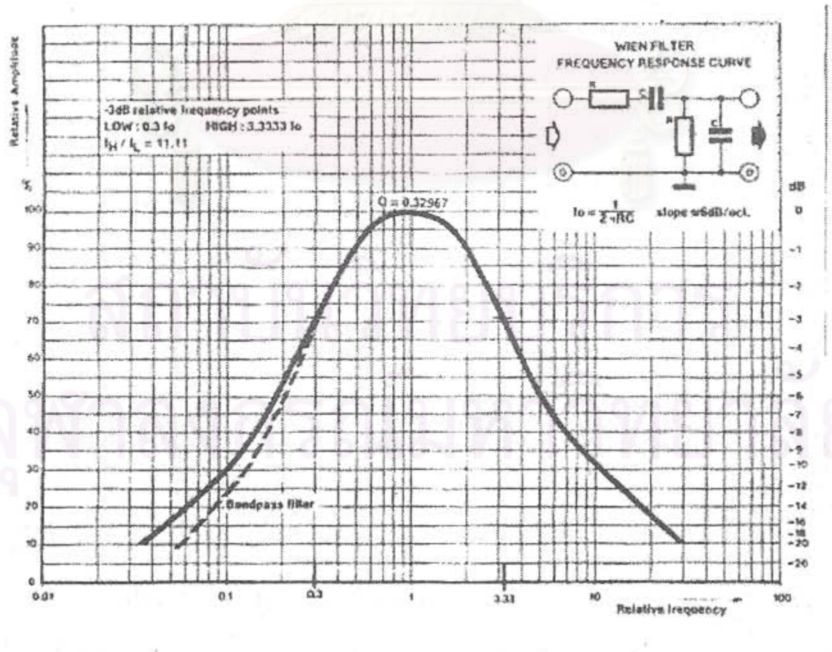
เมื่อ A เป็นอัตราขยายแรงดันของวงจร



รูปที่ 5.14 บล็อกไดอะแกรมของแอคทีฟไมโครโฟน

รูปที่ 5.15 แสดงวงจรและกราฟตอบสนองความถี่ของ เวียนฟิลเตอร์ (wien filter) เมื่อสัญญาณผ่านเข้ามาในวงจรเวียนฟิลเตอร์ สเปกตรัมของสัญญาณบางส่วนถูกกำจัดออกไป ทำให้อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนดีขึ้นด้วย ดังนั้นในการนำไปใช้งานจึงเหมาะกับการบันทึกเสียงดนตรีที่มีเครื่องดนตรีหลายๆ ชิ้นซึ่งแต่ละชิ้นก็มีความถี่ต่างกัน หรือใช้กรองเสียงพูดโดยเฉพาะแล้วนำไปบันทึกก็ได้ การกำหนดความถี่ศูนย์กลางสามารถกำหนดได้จาก

$$f_o = 1/(2\pi RC) \tag{5.2}$$

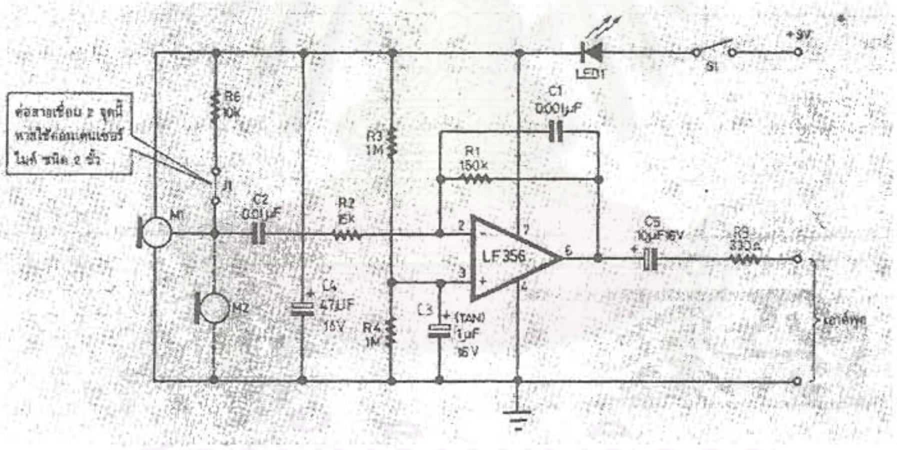


รูปที่ 5.15 กราฟตอบสนองความถี่และวงจรของ วงจรกรองแถบความถี่ผ่านแบบเวียนฟิลเตอร์

หลักการทำงาน

จากรูปที่ 5.16 M_1 เป็นคอนเดนเซอร์ไมโครโฟน ทำหน้าที่เปลี่ยนเสียงเป็นสัญญาณไฟฟ้า เหตุที่เลือก M_1 เป็นคอนเดนเซอร์ไมโครโฟนเพราะมีการตอบสนองความถี่ที่กว้างและมีขนาดเล็กกระทัดรัด IC_1 เป็นออปแอมป์แบบสัญญาณรบกวนต่ำ เบอร์ LF356 ที่ขาอินเวอร์ติ้งอินพุตต่อเป็นวงจรเวียนฟิลเตอร์ ความถี่ศูนย์กลางของวงจรถูกกำหนดด้วยค่าของ R_1 และ C_1 จาก $f_o = 159155 / (R_1 C_1)$ ซึ่งวงจรนี้กำหนดไว้ที่ 1 kHz ที่ความถี่ศูนย์กลางนี้สามารถหาอัตราขยายได้จาก $R_1 = 2AR_2$ หรือ $C_2 = 2AR_1$ ซึ่งวงจรนี้กำหนดไว้ที่ 5 เท่า

C_5 และ R_5 เป็นวงจร บล็อกกิ้ง (Blocking) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้ไฟตรงจากวงจรออกไปทางเอาต์พุต นอกจากนี้ยังทำหน้าที่แยกค่าความจุของสายเคเบิ้ลกับการป้อนกลับของตัว IC_1 ทำให้วงจรไม่เกิดการออสซิลเลตทางความถี่สูงค่าของ R_5 ควรมีค่าต่ำ ๆ เพื่อให้เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ของวงจรมีค่าต่ำ ถ้าใช้ IC_1 เป็นเบอร์ LM741 ไม่ต้องใส่ R_5 เพราะไอซีเบอร์นี้จะมีสัญญาณรบกวนมากกว่า ตัวต้านทาน R_3 และ R_4 เป็นวงจร แบ่งแรงดันเพื่อไบอัสให้กับขานอนอินเวอร์ติ้งอินพุต แรงดันไบอัสนี้ เท่ากับ ครึ่งหนึ่งของแหล่งจ่าย LED_1 ทำหน้าที่แสดงการทำงานของวงจร สังเกตดูจะเห็นว่า LED_1 ต่ออนุกรมกับวงจร



รูปที่ 5.16 วงจรสมบูรณ์ของแอคทีฟไมโครโฟน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การดัดแปลงแอคทีฟฟิลเตอร์

ความถี่ศูนย์กลางของวงจรแอคทีฟฟิลเตอร์ (IC_1) ถูกกำหนดโดยค่าของ R_1 , R_2, C_1 และ C_2 ในตารางที่ 3 แสดงการเลือกค่าของ R_1 , R_2, C_1 และ C_2 ให้ได้ความถี่ศูนย์กลางค่าต่างๆ ที่ยกตัวอย่างไว้คือ 723 Hz, 1kHz, 1.5 kHz, 2.2 kHz, 3.3 kHz, 4.8 kHz และการกำหนดช่วงความถี่ต่ำสุดถึงสูงสุดโดยไม่กำหนดศูนย์กลางก็ได้ โดยที่ :

f_o คือ ความถี่ศูนย์กลาง

f_L คือ ความถี่ต่ำสุด

f_H คือ ความถี่สูงสุด

Bw คือ ความกว้างของแถบความถี่ผ่าน

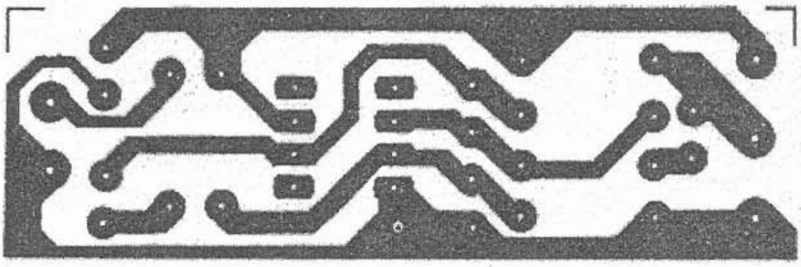
ตารางที่ 5.3 แสดงการเลือกค่า RC ที่ความถี่ศูนย์กลางต่าง ๆ ที่ A (อัตราขยาย) เท่ากับ 5

f_L (Hz)	f_o (Hz)	f_H (Hz)	RC (μs)	Bw (Hz)	R_1 (Ω)	C_1 (F)	R_2 (Ω)	C_2 (F)
217	723	2410	220	2193	220 k	.001 μ	22 k	.01 μ
300	1000	3333	150	3033	150 k	001 μ	15 k	.01 μ
450	1500	5000	110	4550	330 k	330 p	33 k	.0033 μ
660	2200	7333	72	6673	220 k	330 p	22 k	.0033 μ
990	3300	11000	47	10010	47 k	.001 μ	4.7 k	.01 μ
1480	4800	16000	33	14650	100 k	330 p	10 k	.0033 μ
208	-	6100	81626	5900	68 k	390 p	12 k	.068 μ
20	-	20000	81607.95	19980	68 k	120 p	12 k	.68 μ

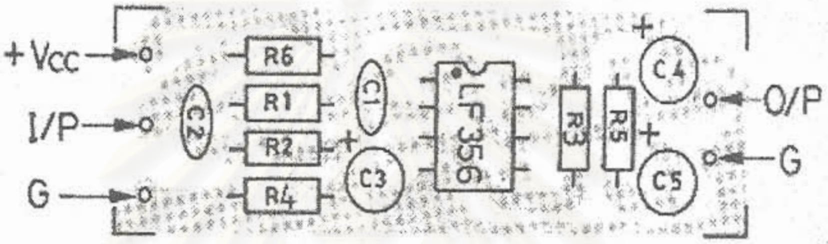
การสร้าง

เริ่มต้นทำแผ่นวงจรพิมพ์ตามแบบที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.17 และลงอุปกรณ์ตามรูปที่ 5.18 สำหรับไอซีควรใส่ซ็อกเก็ตด้วยเพื่อจะได้ถอดเปลี่ยนได้ง่าย

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.17 แสดงลายวงจรพิมพ์



รูปที่ 5.18 แสดงตำแหน่งการลงอุปกรณ์

รายการอุปกรณ์

ตัวต้านทาน

R_1	-	150 kΩ ¼ W 1%	1 ตัว
R_2	-	5 kΩ ¼ W 1%	1 ตัว
R_3 , R_4	-	1 MΩ ¼ W 1%	2 ตัว
R_5	-	330 Ω ¼ W 1%	1 ตัว
R_6	-	10 kΩ ¼ W 1%	1 ตัว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวเก็บประจุ

C_1	-	0.001 μF 50 V เซรามิก	1 ตัว
C_2	-	0.01 μF 50 V เซรามิก	1 ตัว
C_3	-	1 μF 16 V แทนทาลัม	1 ตัว
C_4	-	47 μF 16 V อิเล็กทรอไลต์	1 ตัว
C_5	-	10 μF 16 V อิเล็กทรอไลต์	1 ตัว

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ

IC_1	-	LF356	1 ตัว
LED_1	-	ไดโอดเปล่งแสงสีอะไรก็ได้	1 ตัว
อื่น ๆ	-	คอนเดนเซอร์ไมโครโฟน สายนำสัญญาณ แหล่งจ่ายไฟ 9 โวลท์	

5.3.4 เครื่องกำเนิดความถี่

คุณลักษณะ

เป็นฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ที่สามารถกำเนิดความถี่ได้ตั้งแต่ 10 Hz ไปจนถึง 150 kHz พร้อมด้วยการแสดงค่าความถี่เป็นตัวเลขดิจิตอลที่มีความเที่ยงตรงสูง เลือกรูปคลื่นสัญญาณได้ 3 แบบคือ รูปซายน์ รูปสามเหลี่ยมและรูปสี่เหลี่ยม

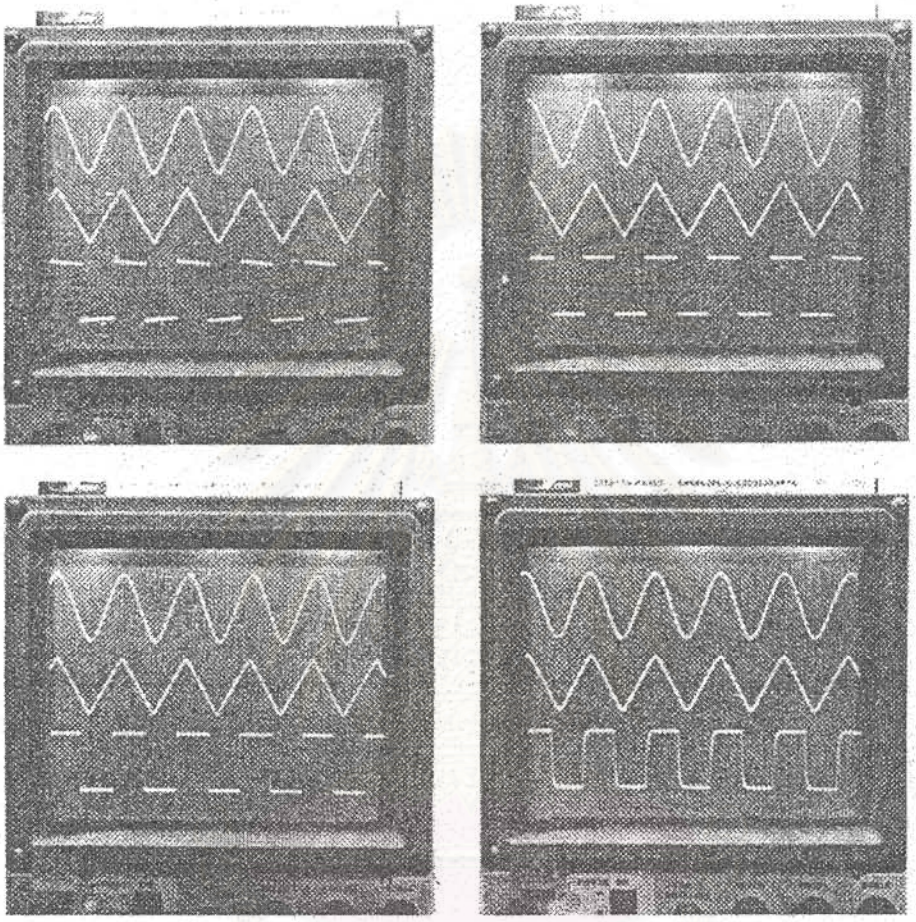
รายละเอียดคุณสมบัติทางเทคนิค

1. ย่านความถี่แบ่งออกเป็น 3 ย่าน โดยกำเนิดความถี่ตั้งแต่ 10 Hz - 150 kHz
2. ระดับแรงดันเอาต์พุต ประมาณ 3 mV p-p ถึง 2 V p-p
3. เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ 600 Ω
4. กำเนิดรูปคลื่นได้ 3 แบบ คือ
   1. รูปคลื่นซายน์
   2. รูปคลื่นสามเหลี่ยม
   3. รูปคลื่นสี่เหลี่ยม
5. ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นซายน์ น้อยกว่า 0.7% ที่ 1 kHz : 1% ที่ 10 kHz และ 2% ที่ 100 kHz
6. ความเป็นลิเนียร์ของรูปคลื่นสามเหลี่ยม มากกว่า 1% ที่ 1 kHz
7. สัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม มีค่าไรซ์ไทม์ $\approx$ 0.4 μS ที่ความถี่ 100 kHz
8. ความผิดพลาดของภาคแสดงผลประมาณ $\pm$2%
9. ความเสถียรภาพของแรงดันเอาต์พุต มากกว่า 0.1 dB ที่ทุกย่านความถี่
10. กินไฟประมาณ 6.5 W ที่ไฟ 220V.

ภาคกำเนิดสัญญาณความถี่

ในรูปที่ 5.20 แสดงให้เห็นบล็อกไดอะแกรมภายในของไอซีเบอร์ XR-2206 ตัวกำเนิดความถี่ โดยใช้รวมการทำงานต่าง ๆ ไว้ในตัวเดียวกันดังนี้

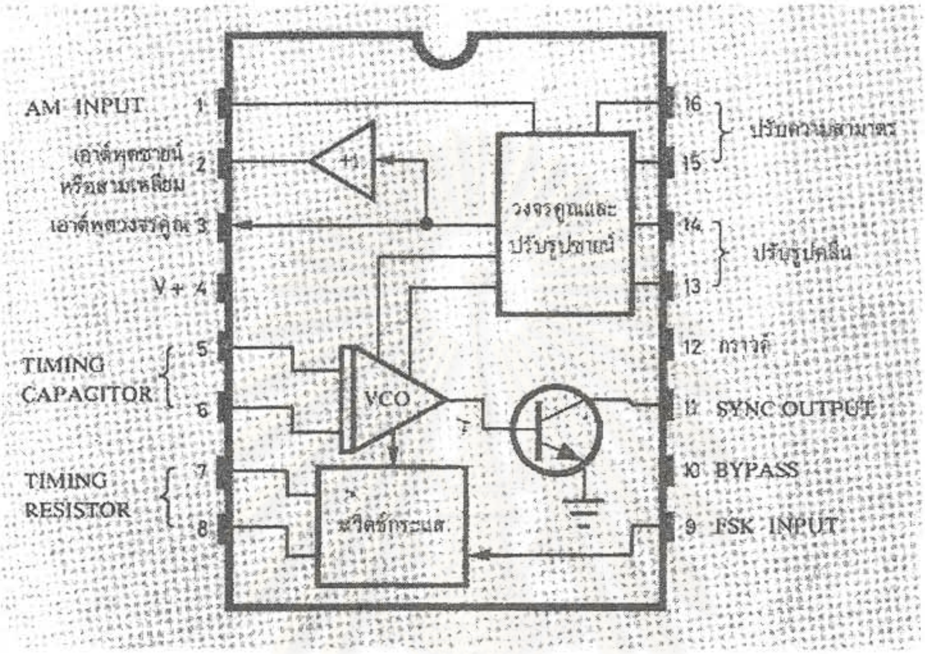
- แอมปลิจูดมอดูเลชั่น (AM)
- ฟรีเควนซี่ชิฟต์คีย์อิ้ง (Frequency Shift Keying (FSK))
- ฟรีเควนซี่มอดูเลชั่น (FM)
- เคอร์เรนต์สวิตซ์ (Current Switch)



รูปที่ 5.19 รูปคลื่นแบบต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องกำเนิดสัญญาณความถี่
ก. ที่ความถี่ 100 Hz ข. ที่ความถี่ 1 kHz
ค. ที่ความถี่ 10 kHz ง. ที่ความถี่ 100 kHz

จุดสำคัญของไอซีเบอร์นี้อยู่ที่ VCO (Voltage Control Oscilator) ซึ่งทำหน้าที่ผลิตสัญญาณซายน์ และสัญญาณรูปสี่เหลี่ยม ความถี่ที่ได้จะถูกควบคุมด้วยเคอร์เร้นต์สวิตซ์ โดยมีค่าความต้านทานซึ่งต่ออยู่ที่ขา 7-8 เป็นตัวกำหนดการทำงานของเคอร์เร้นต์สวิตซ์ ในส่วนของบล็อกการคูณและปรับแต่งรูปคลื่นซายน์ (Multiplier and sine shaper) จะรับสัญญาณรูป คลื่นสามเหลี่ยม จาก VCO มาทำการแต่งรูปให้เป็นคลื่นรูปซายน์ ซึ่งความแรงของสัญญาณซายน์และสามเหลี่ยมสามารถปรับได้โดยตัวต้านทานที่ต่ออยู่กับขา 3 ลงกราวด์ และแรงดันที่ขา 1

ส่วนตัวต้านทานที่ต่ออยู่กับขา 13, 14 จะเป็นตัวปรับรูปคลื่นของคลื่นรูปซายน์ ที่ขา 11 เป็นสัญญาณซิงค์เอาต์พุต (Sync) ซึ่งจุดนี้เป็นคอลเลคเตอร์เปิด (Open collector) สัญญาณจุดนี้จะเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมซึ่งซิงค์กันกับความถี่ที่ VCO



รูปที่ 5.20 ลักษณะโครงสร้างภายในของไอซีเบอร์ XR – 2206 ที่ใช้ผลิตความถี่

ภาควัดความถี่

ในรูปที่ 5.21 เป็นแผนผังการทำงานของชุดวัดความถี่ ซึ่งแบ่งการทำงานออกได้เป็น 3 ส่วนคือ

1. วงจรนับและแสดงผล
2. แลตซ์และรีเซต
3. ส่วนของสัญญาณฐานเวลา

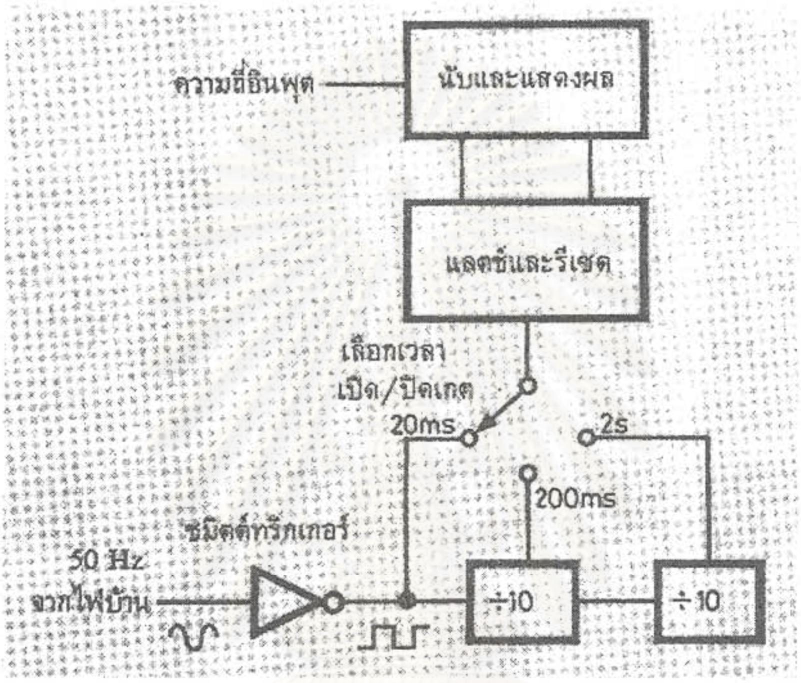
โดยในส่วนของสัญญาณฐานเวลาจะแบ่งย่านวัดเป็น 3 ช่วง คือ 20ms. 200ms. และ 2 s.

หลักการของภาควัดความถี่

ในขั้นแรกขอให้พิจารณาที่การเลือกฐานเวลาที่ 2 วินาทีก่อน จากรูปจะเห็นว่าความถี่ 50Hz จะถูกทำให้เป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยมด้วยไอซีชนิดทริกเกอร์ จากนี้จึงส่งผ่านวงจรหาร 10 อีก 2 ครั้ง ซึ่งก็คือ ถูกหารด้วย 100 นั่นเอง ก็จะได้รูปคลื่นที่มีคาบเวลาเป็น 2 วินาที ตามต้องการพร้อมส่งให้วงจรแลตซ์และรีเซต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วงจรนับความถี่จะทำการนับสัญญาณที่เข้ามา โดยจะนับอยู่นาน 1 วินาที (ครึ่งคาบแรกของสัญญาณฐานเวลา) และเมื่อเริ่มครึ่งคาบหลังจะทำการแลตซ์ไว้จากนั้นภาควัดความถี่จะถูกรีเซตและเริ่มนับอีกทีเมื่อเริ่มสัญญาณฐานเวลาลูกต่อมา
ในกรณีที่ฐานเวลามีค่าเป็น 0.2 วินาที ค่าที่อ่านได้จะต้องคูณด้วย 10 และสำหรับ 0.02 วินาทีต้องคูณด้วย 100



รูปที่ 5.21 แผนผังการทำงานของชุดนับความถี่

การทำงานของวงจรภาคกำเนิดความถี่

จากวงจรในรูปที่ 5.22 IC_1 เบอร์ XR-2206 ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณความถี่โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ สัญญาณซายน์สามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม R_2 และ R_3 เป็นตัวต้านทานปรับค่าได้เพื่อปรับระดับแรงดันสัญญาณคลื่นรูปซายน์ และสามเหลี่ยม

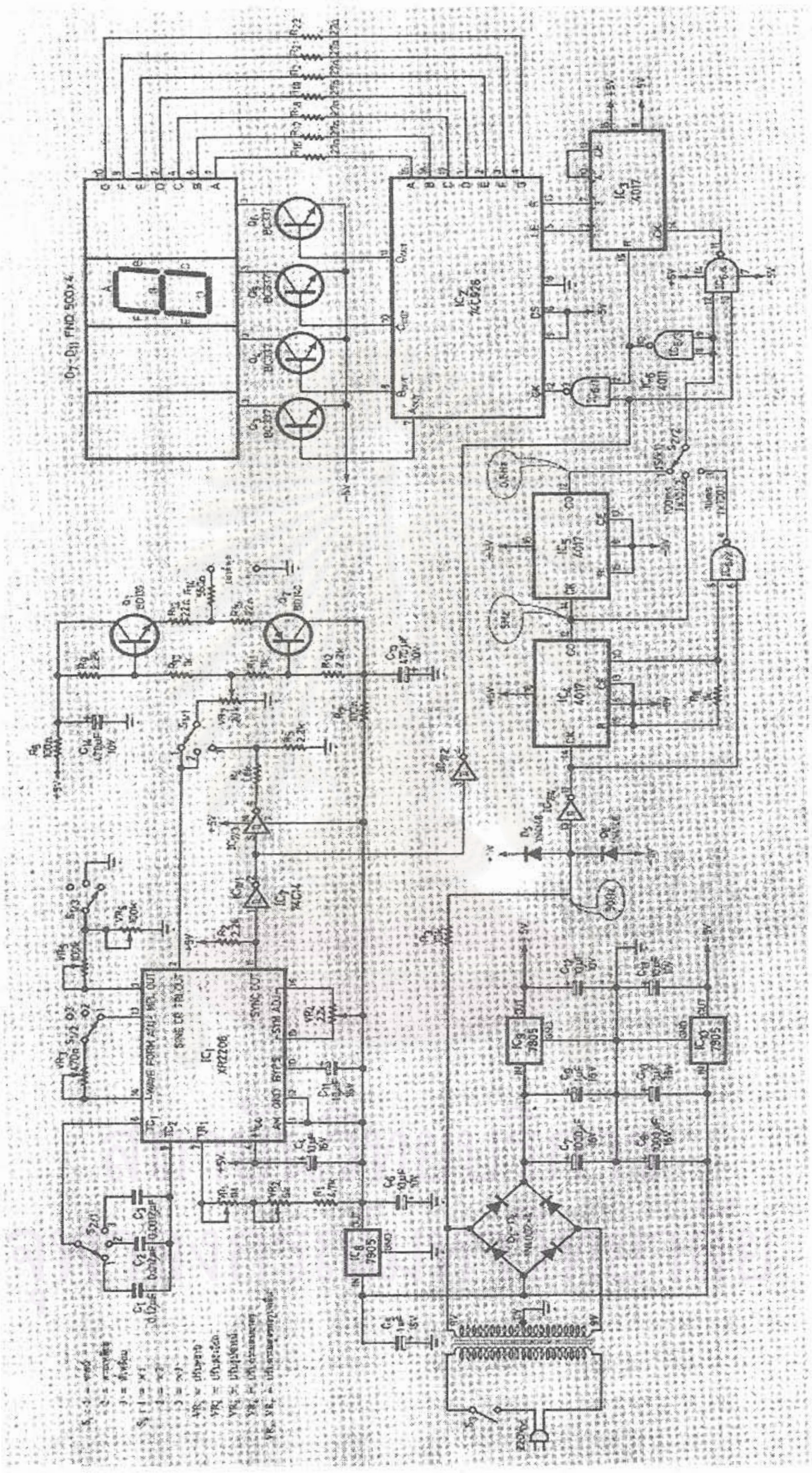
เมื่อเลื่อน S_1 ไปที่ตำแหน่ง 2 จะได้คลื่นรูปสามเหลี่ยมปรากฏที่ขา 2 ปรับระดับแรงดันได้ด้วย VR_5 เนื่องจาก R_3 ถูกชอร์ตกลงกราวด์ (ที่ $S_{1/3}$) เมื่อ $S_{1/2}$ อยู่ที่ตำแหน่ง 1 จะได้คลื่นรูปซายน์ปรากฏที่เอาต์พุตขา 2 โดยปรับระดับแรงดันด้วย VR_5 และ R_3 ซึ่ง R_3 จะเป็นตัวช่วยให้ระดับแรงดันของคลื่นรูปซายน์มีขนาดเท่ากับสัญญาณรูปสามเหลี่ยมที่ขา 13, 14 มีตัวต้านทานปรับค่าได้ต่อไว้เพื่อปรับแต่งคลื่นรูปซายน์ให้มีความผิดเพี้ยนน้อยที่สุด ตัวต้านทานที่ขา 15, 16 ใช้ปรับความสมมาตรของซีกบวกกับซีกลบของรูปคลื่นซายน์ และรูปคลื่นสามเหลี่ยมซึ่งปกติจะปรับเป็นตัวสุดท้าย S_2 ใช้เลือกย่านวัดทั้ง 3 ย่าน โดยความถี่แต่ละย่านถูกกำหนดด้วยตัวเก็บประจุ

ที่ต่ออยู่ที่ขา 5 และ 6 ในแต่ละย่านยังสามารถปรับความถี่ได้ด้วยตัวต้านทานปรับค่าได้เป็นละเอียด และหยาบ ส่วน R_1 จะเป็นตัวกำหนดความถี่ต่ำสุดของแต่ละย่านวัด จะเห็นว่าค่าความถี่ถูกกำหนดด้วยค่าตัวเก็บประจุที่ต่ออยู่ที่ขา 5 และ 6 และตัวต้านทานที่ขา 7 ซึ่งค่าความถี่สามารถแสดงได้ด้วยสมการดังนี้

$$F = \frac{1}{RC} \tag{5.3}$$

เนื่องจากตัวเก็บประจุเป็นค่าคงที่ ดังนั้นความถี่ที่เปลี่ยนแปลงจึงขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน เพราะฉะนั้นเพื่อให้สามารถปรับความถี่ได้อย่างละเอียดต่อเนื่อง ความต้านทานปรับค่าได้นี้ควรมีความลิเนียร์มากๆ และสามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ทีละน้อยๆ ทำให้ได้การเปลี่ยนแปลงความถี่ทีละน้อยๆ และเป็นไปอย่างช้าๆ ซึ่งในที่นี้ใช้ค่าความต้านทานปรับค่าได้ขนาด 5 kΩ (ปรับละเอียด) แต่ในบางกรณีเราต้องการปรับความถี่ให้เปลี่ยนแปลงทีละมากๆ โดยเร็ว ซึ่งค่าความต้านทานก็ต้องเปลี่ยนแปลงค่าได้ทีละมากๆ และค่อนข้างเร็วในที่นี้ใช้ตัวต้านทาน VR_1 ขนาด 1MΩ (ปรับหยาบ) เพื่อปรับความถี่อย่างหยาบ ๆ ที่ขา 11 ของ IC_1 ซึ่งภายในเป็นคอลเลคเตอร์เปิด ณ จุดนี้เราจะได้สัญญาณเอาต์พุตเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยม โดยมี R_2 ต่อเป็นตัวต้านทานพูลอัพ (Pullup resistor) สัญญาณที่ได้ป้อนเข้า $IC_{7/1}$ ซึ่งเป็นไอซีชมิตทริกเกอร์ เพื่อให้แน่ใจว่าได้สัญญาณรูปสี่เหลี่ยมอย่างแน่นอน $IC_{7/3}$ ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ โดยเอาต์พุตป้อนผ่านชุดความต้านทานลดทอนสัญญาณซึ่งต่อเป็นวงจรแบ่งแรงดันด้วยตัวต้านทาน R_4 และ R_5 S_1 ใช้ปรับเลือกสัญญาณรูปซายน์ สามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม โดยสัญญาณที่ถูกเลือกจะถูกต่อผ่าน VR_7 เพื่อปรับระดับแรงดันที่ป้อนให้อินพุตของวงจรอิมิตเตอร์ตามซึ่งเป็นภาคเอาต์พุต

ภาคเอาต์พุตประกอบด้วย Q_1 และ Q_2 เบอร์ BD139 และ BD140 ซึ่งจัดวงจรแบบคอมพลีเมนทารี่ โดย Q_1 จะทำงานเมื่อสัญญาณอินพุตเป็นบวก ส่วน Q_2 จะทำงานเมื่อสัญญาณอินพุตเป็นลบเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความผิดเพี้ยนของสัญญาณทางเอาต์พุตที่เรียกว่าครอสโอเวอร์ดิสทอร์ชัน จึงจัดไบแอสให้ทรานซิสเตอร์ทั้งสองให้เหมาะสมด้วย R_9 - R_{12} ซึ่งจะจำกัดกระแสให้มีค่าประมาณ 40 mA ที่แหล่งจ่ายไฟของทรานซิสเตอร์ทั้งสองจะมี R_6 และ C_{14} ทำหน้าที่เป็นดีคัปปลิ้ง เพื่อให้ได้แรงดันไฟตรงที่เรียบจริงๆ โดยมีริปเปิ้ลน้อยที่สุด ซึ่งจะทำให้เอาต์พุตของภาคนี้ปราศจากสัญญาณรบกวนแม้ว่าสัญญาณเอาต์พุตจะมีขนาดต่ำเป็นมิลลิโวลต์ก็ตาม

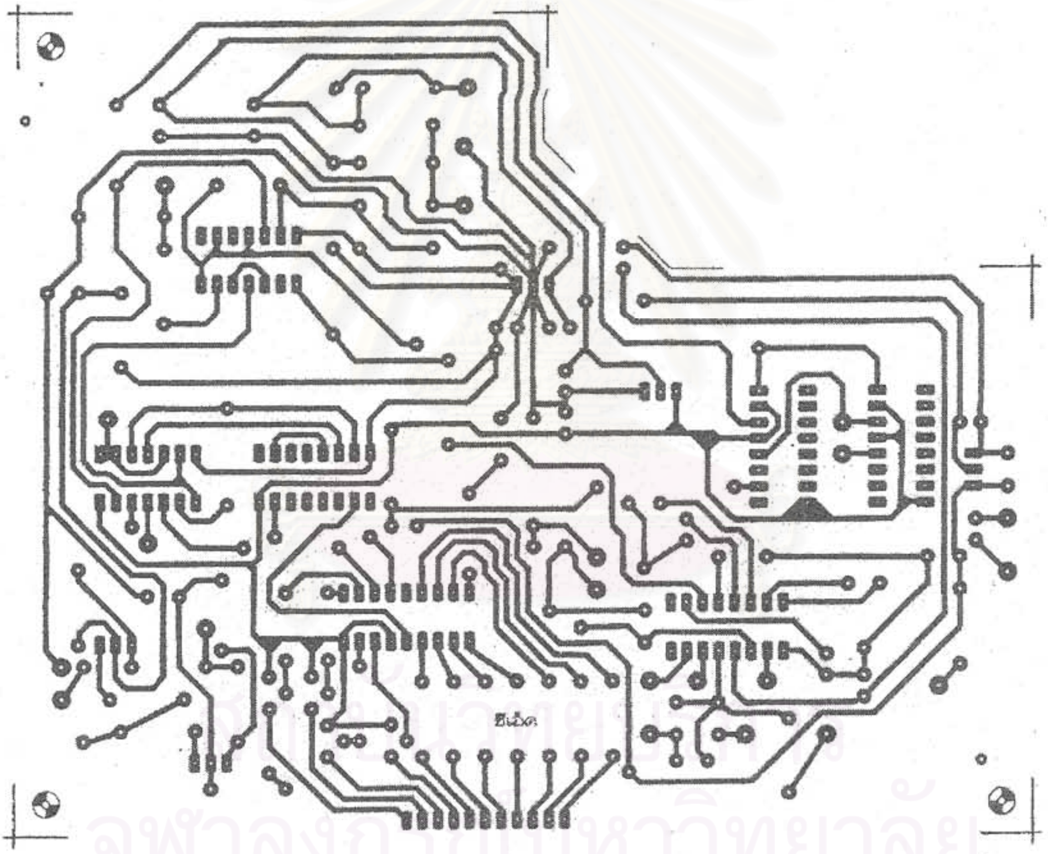


รูปที่ 5.22 วงจรสมบูรณ์ของเครื่องกำเนิดความถี่

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

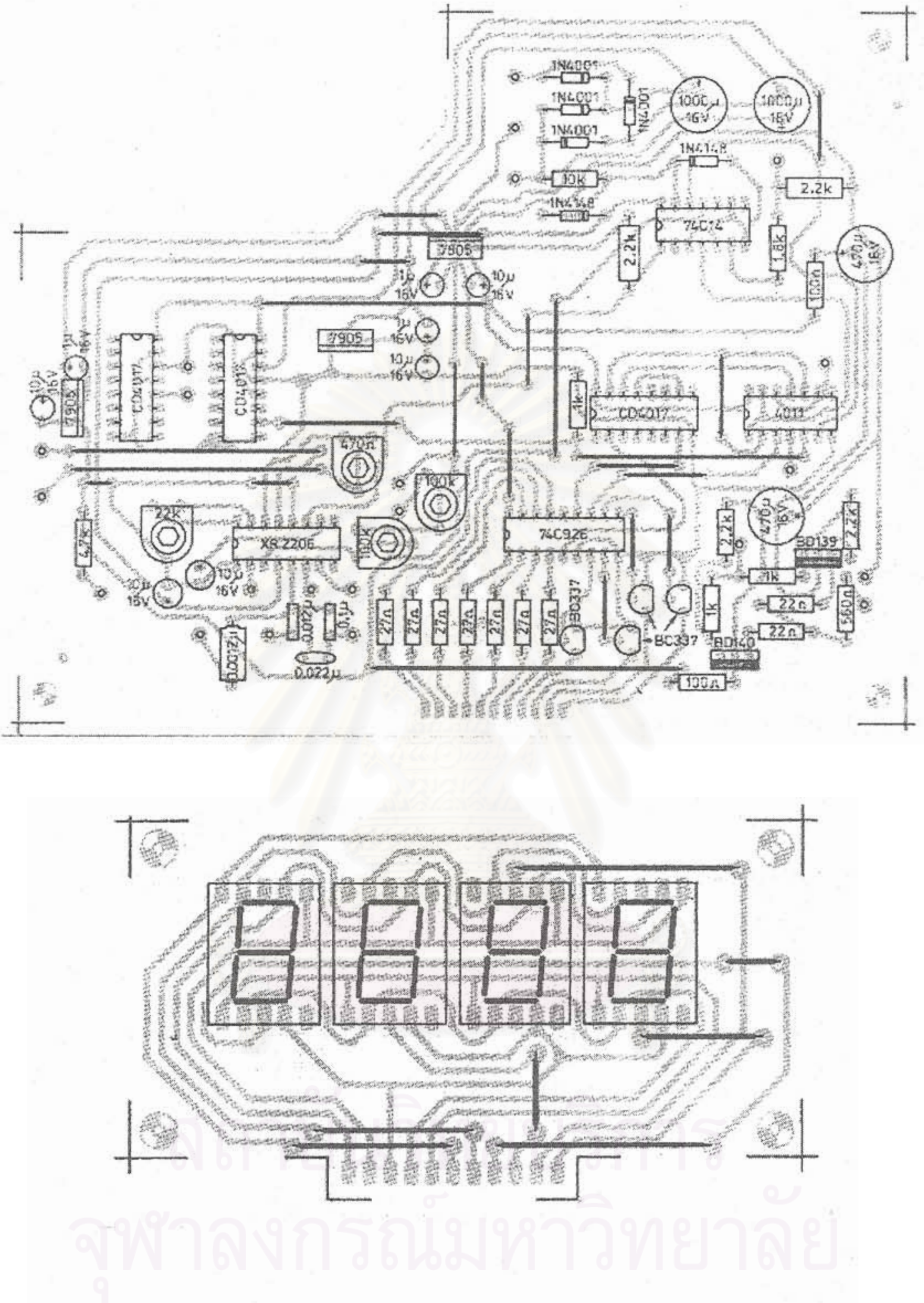
ภาคนับความถี่

จากวงจรในรูปที่ 5.23 หัวใจของภาคนับความถี่อยู่ที่ IC_2 เบอร์ 74C926 ภายในประกอบด้วยวงจรนับสิบ 4 ชุด พร้อมด้วยแลตซ์ขนาด 4 บิต สำหรับวงจรนับแต่ละชุดภาคถอดรหัส BCD และภาคมัลติเพล็กเซอร์ไว้ขับ LED แบบ 7 ส่วน ชนิดแคโทดร่วม โดยขับผ่าน Q_3 – Q_6 ซึ่งต่อ อยู่ภายนอกตัวไอซี สัญญาณฐานเวลาของวงจรคือความถี่ 50 Hz ซึ่งได้จากหม้อแปลง T_1 ทางด้านขดทุติยภูมิ โดยต่อผ่านตัวต้านทาน R_5 ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกขลิบโดยไดโอด 2 ตัวซึ่งต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟบวก และลบ จากนั้นป้อนเข้าขา 13 ของ $IC_{7/4}$ ซึ่งเป็นชมิตทริกเกอร์ ได้เอาต์พุตเป็นรูปคลื่นสี่เหลี่ยมป้อนให้ IC_4 และ IC_5 ทำการหารความถี่ได้เป็นสัญญาณฐานเวลาให้วงจรนับความถี่



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.23 ลายทองแดงของแผ่นวงจรพิมพ์



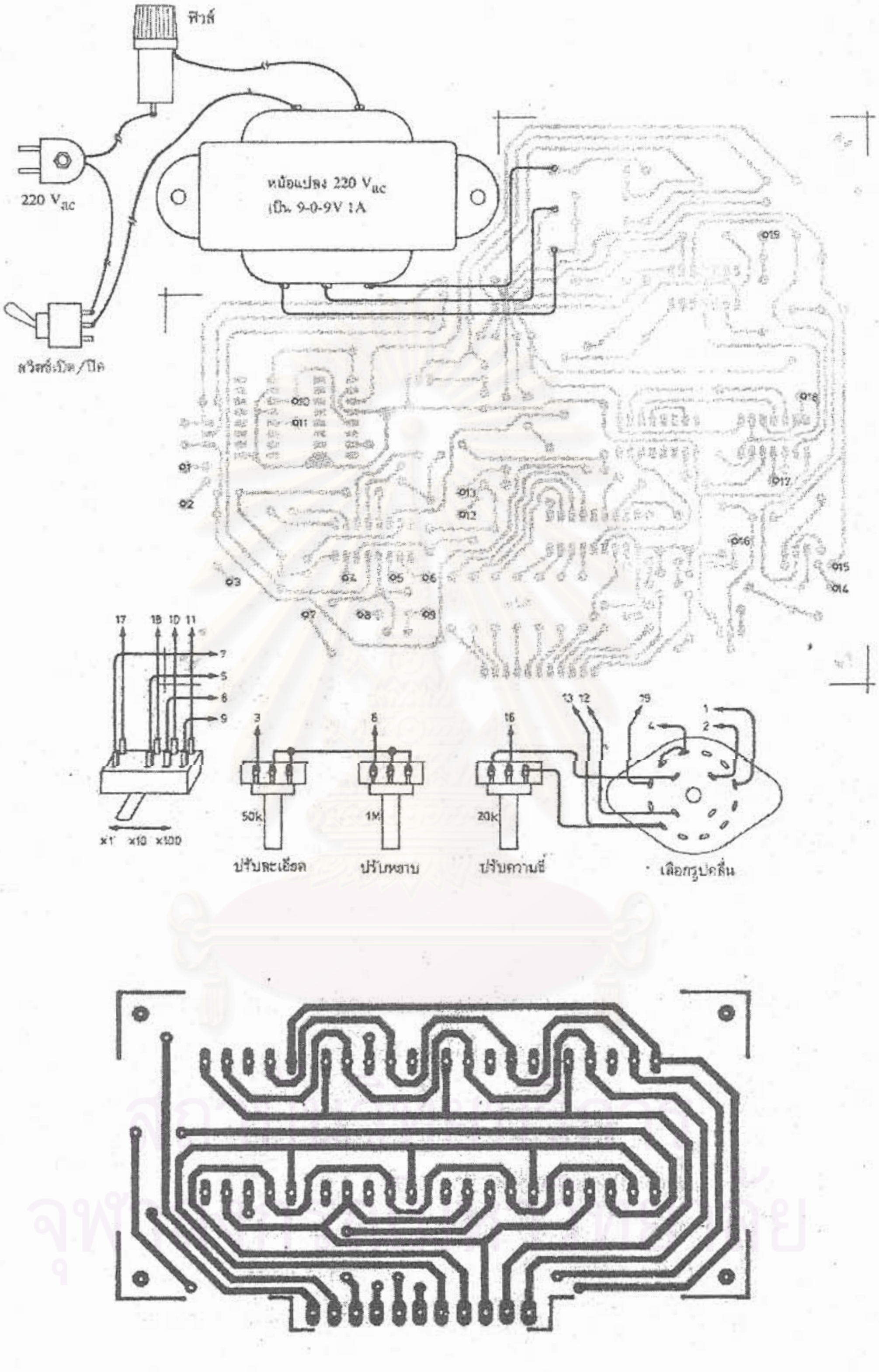
รูปที่ 5.24 การวางอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์และการเดินสายภายในกล่อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อธิบายตามแผนผังเวลาในรูปที่ 5.26 ได้ดังนี้

ขั้นแรกสมมติว่า $S_{2/2}$ อยู่ที่ตำแหน่ง 1 เมื่อแรงดันของสัญญาณฐานเวลาตกเป็น "0" จะได้เอาต์พุตของ $IC_{6/3}$ เป็น "1" เป็นการเปิดเกตให้สัญญาณนาฬิกา (ที่กำเนิดโดย IC_1 ผ่าน $IC_{7/2}$) ผ่านไปให้กับ IC_3 ทำการนับความถี่นี้ได้เมื่อแรงดันที่ $S_{2/2}$ มีสถานะเป็น "1" จะทำให้ขา 10 ของ $IC_{6/3}$ มีสถานะเป็น "0" เป็นการปิดเกตไม่ให้สัญญาณนาฬิกาผ่าน $IC_{6/1}$ ไปยังวงจรนับได้ ดังนั้นที่เอาต์พุตของวงจรนับจึงไม่เปลี่ยนค่า ขณะที่ $IC_{6/1}$ ถูกปิดเกต ขณะเดียวกัน $IC_{6/4}$ จะถูกเปิดเกต ทำให้สัญญาณนาฬิกาป้อนให้ขา 14 (ck) ของ IC_3 ที่ IC_3 เมื่อสัญญาณนาฬิกาลูกแรกเข้ามาจะทำให้ขา 2 มีสถานะเป็น "1" ซึ่งจะเป็นสัญญาณไปให้ขา 5 (LE) ของ IC_2 เพื่อแลตซ์ข้อมูลของวงจรนับไว้ (ตอนนี้ค่าที่วงจรนับได้จะถูกเก็บไว้ในส่วนของวงจรแลตซ์และแสดงผลค้างไว้) หลังจากสัญญาณนาฬิกา 2 ลูกต่อมาจะทำให้ขา 7 ของ IC_3 มีสถานะเป็น "1" เป็นสัญญาณไปทำการรีเซตวงจรนับ IC_2 ซึ่งเป็นการสิ้นสุดการนับในชุดแรก และหลังจากสัญญาณนาฬิกาลูกต่อมาจะทำให้ขา 10 และขา 13 ของ IC_3 มีสถานะเป็น "1" ทำให้ IC_3 หยุดรับสัญญาณนาฬิกา โดยจะเริ่มทำงานอีกครั้งก็ต่อเมื่อได้รับสัญญาณรีเซตจากขา 10 ของ $IC_{6/3}$

สรุปการทำงานโดยย่อได้ดังนี้ เริ่มต้นด้วย IC_2 ทำการนับความถี่โดยเริ่มตั้งแต่มีสัญญาณฐานเวลาเข้ามาเป็น "0" และจะหยุดนับเมื่อเวลาผ่านไปเป็นครึ่งหนึ่งของคาบเวลาสัญญาณฐานเวลา ที่จุดนี้หลังจากสัญญาณนาฬิกาลูกแรกเข้ามามันจะทำการแลตซ์ข้อมูลเพื่อแสดงผล และวงจรนับจะถูกรีเซตหลังจากสัญญาณนาฬิกา 2 ลูกต่อมา โดย IC_3 แล้ว IC_3 จะหยุดทำงานจนกว่าจะได้รับการรีเซต ซึ่งมันจะถูกรีเซตที่จุดเริ่มต้นของสัญญาณฐานเวลาลูกต่อมาแล้ววงจรนับก็จะเริ่มนับความถี่อีก เป็นเช่นนี้เรื่อยไป ขณะที่ $S_{2/2}$ อยู่ที่ตำแหน่ง 1 ค่าที่อ่านได้จากจอแสดงผลจะมีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ เนื่องจากค่าที่ได้เกิดจากการนับในเวลา 1 วินาทีพอดี แต่เมื่อ $S_{2/2}$ อยู่ที่ตำแหน่ง 2 ค่าที่อ่านได้ จะต้องนำมาคูณด้วย 10Hz จึงจะเป็นค่าที่ถูกต้องเพราะเวลาที่ใช้นับคือ 0.1 วินาที เช่นกันหาก $S_{2/2}$ อยู่ที่ตำแหน่ง 3 ค่าที่อ่านได้ต้องคูณด้วย 100 Hz เวลาที่ใช้นับคือ 0.01 วินาที เมื่อ $S_{2/2}$ อยู่ที่ตำแหน่ง 3 คาบเวลาของสัญญาณฐานเวลาคือ 20 ms ดังนั้นค่าที่แสดงที่จอแสดงผลจะถูกนำมาแสดงทุกๆ 20ms ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เร็วเกินกว่าที่ตาเราจะสามารถดูได้ทัน จึงจำเป็นต้องทำการแสดงผลให้ช้าลงโดยนำสัญญาณฐานเวลา 50Hz มาทำการ NAND กับสัญญาณที่ได้จากขา 10 ของ IC_4 ซึ่งจะได้สัญญาณเอาต์พุตที่ขา 4 ของ $IC_{6/2}$



รูปที่ 5.25 การเดินสายภายในกล่อง

โดยจะได้สัญญาณฐานเวลาทุกๆ ครั้งที่ขา 10 ของ IC_{10} มีสถานะเป็น "1" ซึ่งทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าในจอแสดงผลอยู่ในระดับที่ตาเราสามารถมองเห็นได้

แหล่งจ่ายไฟ

แหล่งจ่ายไฟได้จากวงจรเรกติฟายแบบเต็มคลื่น โดยแยกแหล่งจ่ายออกเป็น 3 ชุด คือ +5V 1 ชุด และ -5V อีก 1 ชุด โดยมี IC_8 และ IC_{10} เบอร์ 7905 ทำหน้าที่รักษาแรงดันให้คงที่ที่ -5V และ IC_9 เบอร์ 7805 รักษาระดับแรงดันให้คงที่ที่ +5V

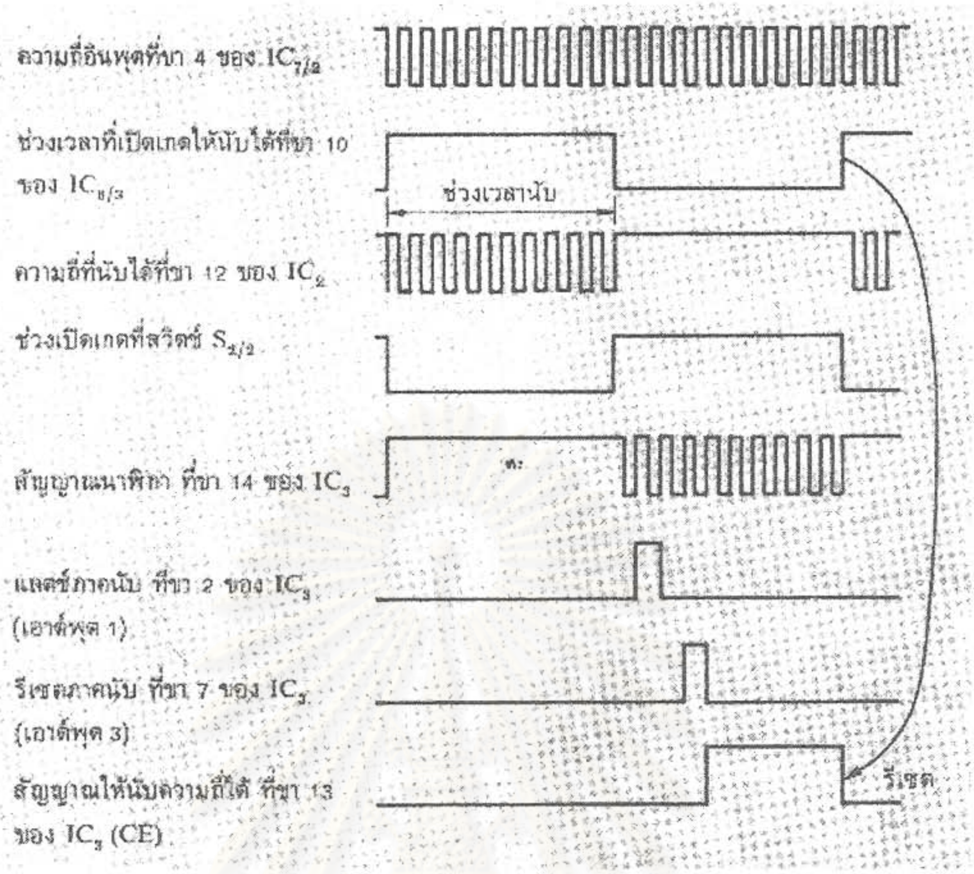
ที่ขา IC_1 และ IC_7 จะใช้แหล่งจ่ายไฟ -5V แยกต่างหากจากส่วนอื่น เหตุผลเนื่องจากต้องการป้องกันสัญญาณรบกวนซึ่งจะมากับไฟลบ อันเกิดจากการกำเนิดสัญญาณรบกวนในตัว IC_2 (ภายใน IC_2 มีการผลิตสัญญาณมัลติเพล็กซ์) ส่วน IC_9 , IC_{10} และ IC_{11} , IC_{12} ที่ต่ออยู่กับอินพุตและเอาต์พุตของไอซีเรกูเลเตอร์ทั้ง 3 ตัวมีไว้เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนจำพวกทรานเชี่ยนต์และริปเปิ้ล ที่ขาIC_2 ใช้แหล่งจ่ายไฟ 5V แต่ที่ขา ck, LE และ R ต่ออยู่กับ IC_6 และ IC_3 ซึ่งใช้แหล่งจ่ายไฟ $\pm 5V$ ดังนั้น แรงดันเอาต์พุตจะสวิงอยู่ในช่วง $\pm 5V$ แต่ก็สามารถใช้ได้กับ IC_2 โดยไม่ทำให้เกิดความเสียหาย เพราะ IC_2 สามารถทนแรงดันได้ถึง 15V.

การสร้าง

การสร้างสิ่งที่ควรระมัดระวังเรื่องอุปกรณ์พวกไอซีก็ควรใช้ซ็อกเก็ต และการใส่อุปกรณ์อย่าให้กลับขั้ว เช่นพวก ไดโอด ไอซี โดยเฉพาะไอซีเรกูเลเตอร์เบอร์ 7805, 7905 ระวังอย่าใส่กลับด้าน และตัวเก็บประจุชนิดมีขั้วก็ต้องระวัง เช่น ชนิดแทนทาลั่ม เป็นต้น

แผ่นวงจรพิมพ์แยกเป็น 2 ส่วน คือ แผ่นหลัก กับแผ่นสำหรับจอแสดงผล LED ส่วนการเดินสายก็แสดงไว้แล้วในรูปที่ 5.24 พร้อมตำแหน่งอุปกรณ์ หน้าปัทม์ของเครื่องออกแบบตามความเหมาะสม S_1 ใช้สวิตซ์แบบ 3 ทาง 2 ชุด S_2 ใช้สวิตซ์บิดเลือกแบบ 3 จุด ต่อ 1 ชั้น หลังจากบัดกรีเสร็จเรียบร้อย ควรตรวจความเรียบร้อยอีกครั้ง เช่น จุดจั๊มพ์ต่าง ๆ ต่อครบแน่นอน และไม่มีอุปกรณ์ต่อผิดขั้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.26 แผนผังเวลาของภาคนับความถี่

การปรับแต่ง

การปรับแต่งเพื่อให้ได้ผลดีควรใช้ออสซิลโลสโคปช่วย แต่ถ้าไม่มีก็สามารถใช้ลำโพงแทนได้ โดยวิธีการฟังเสียง ว่ามีการเปลี่ยนแปลงของระดับความดัง และระดับความถี่หรือไม่ในขณะที่เราปรับตัวต้านทานตำแหน่งนั้นๆ โดยปรับ VR_3 - VR_6 ไว้ตำแหน่งกึ่งกลางก่อน

ในกรณีที่สโคปก็ปรับแต่งได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. ปรับ VR_3 - VR_6 ไว้ที่ตำแหน่งกึ่งกลางก่อน

2. เปิดไฟเข้าเครื่อง แล้วเลื่อน S_1 ไปที่ตำแหน่ง 1 (ซายน์) S_2 เลื่อนไปตำแหน่ง 2 (X 10Hz) และปรับแรงดันเอาต์พุตให้มีค่าสูงสุด โดยปรับที่ VR_5

3. ปรับ VR_3 (ปรับรูปซายน์) ให้ได้รูปคลื่นซายน์ที่สมบูรณ์ที่สุด โดยปรับ VR_5 และ VR_6 ช่วย โดยปรับ VR_5 และไม่ถูกขลิบ

4. จากนี้เลื่อน S_1 ไปที่ตำแหน่ง 2 (รูปคลื่นสามเหลี่ยม) แล้วปรับ VR_5 ให้ได้ระดับสัญญาณเท่ากับคลื่นรูปซายน์

5. เลื่อน S_1 ไปที่ตำแหน่งซายน์อีกที เพื่อปรับระดับแรงดันให้ได้รูปคลื่นซายน์ที่มีขนาดสูงที่สุดอีกครั้งโดยไม่ขลิบโดยปรับเฉพาะ VR_6 เท่านั้น ตอนนี้ระดับแรงดันของรูปซายน์

หอสมุดกลางสถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

และสามเหลี่ยม ต้องเท่ากัน ถ้าหากไม่เท่ากันก็กลับไปทำข้อ 4 และ 5 จนกว่าจะได้ระดับแรงดันที่เท่ากันอีกที

6. เลื่อนสวิตซ์ S_1 ไปที่ตำแหน่ง 3 (คลื่นรูปสี่เหลี่ยม) ตำแหน่งนี้เราไม่ต้องปรับแต่งอะไร ถ้าวงจรทำงานถูกต้องก็จะได้คลื่นรูปสี่เหลี่ยมตามรูปที่ 1 เป็นอันสิ้นสุดการปรับแต่ง

รายการอุปกรณ์

ไอซี

XR – 2206	1 ตัว
74C926	1 ตัว
4017	3 ตัว
4011	1 ตัว
74C14	1 ตัว
7905	2 ตัว

ทรานซิสเตอร์

BD139	1 ตัว
BD140	1 ตัว
BC337	6 ตัว

ไดโอด

IN4002	4 ตัว
IN4148	2 ตัว

ตัวต้านทาน

4.7 kΩ	1 ตัว
2.2 kΩ	4 ตัว
10 kΩ	1 ตัว
1.8 kΩ	1 ตัว
27 Ω	7 ตัว
100 Ω	2 ตัว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1 kΩ	3 ตัว
22 Ω	2 ตัว
560 Ω	1 ตัว

ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบเกือกม้า

22 kΩ	1 ตัว
470 Ω	1 ตัว
100 kΩ	2 ตัว

ตัวต้านทานปรับค่าได้แบบมีแกน

1 MΩ	1 ตัว
5 MΩ	1 ตัว
20 kΩ	1 ตัว

ตัวเก็บประจุแบบไมลาร์ 50 V

0.12 μF	1 ตัว
0.012 μF	1 ตัว
0.0012 μF	1 ตัว

ตัวเก็บประจุแบบอิเล็กทรอไลต์

10 μF 16 V	2 ตัว
1 μF 16 V	3 ตัว
10 μF 10 V	3 ตัว
1000 μF 16 V	2 ตัว
470 μF 10 V	2 ตัว

สวิตช์

แบบบิดเลือก 3 ทาง	4 ชุด
สวิตช์โยก 3 ทาง	2 ชุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุกรณ์อื่นๆ

แอลอีดีเจ็ดส่วน เบอร์ FND500 4 ตัว

หม้อแปลง 220 V เป็น 9-0-9 V 1A 1 ตัว

ปลั๊ก กล่อง ลูกบิด แผ่นระบายความร้อน

หมายเหตุ เมื่อทำวงจรกำเนิดความถี่เสร็จ ได้มีการทดสอบพบว่ามีข้อบกพร่องอยู่ คือ มีความเที่ยงตรงต่ำ จึงควรมีการแก้ไขในภายหลัง

5.3.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์

คุณสมบัติ ใช้แยกช่วงความถี่เพื่อระบุว่าแหวนหลวมหรือไม่หลวม

หลักการ ใช้หลักการนับความถี่และการเปรียบเทียบความถี่กับความถี่อ้างอิง

รายการอุปกรณ์ของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

1. AT89C52 1 ตัว
2. คริสตอล 11.059 MHz 1 ตัว
3. C 30 pF 2 ตัว
4. C 10 μF 16 v. 1 ตัว
5. R 10 kΩ 1% 0.25 W. 1 ตัว
6. R pack 10 kΩ 9 ขา 1 ตัว
7. สวิตซ์ กดติดปล่อยคำ 2 ขา 5 ตัว
8. IC 74 HC 244 1 ตัว
9. IC ULN2803 1 ตัว
10. R 330 Ω 9 ตัว
11. LED สีแดงและสีเขียวขนาด 10 มม. อย่างละ 1 ตัว
12. Seven segment คอมมอนคาโทด 4 หลักใน 1 ตัว 12 ขา 1 ตัว
13. สายไวแลป 5 เมตร
14. IC 7805 1 ตัว
15. ตะกั่ว 1 ม้วน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายละเอียดของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

1. ใช้ไฟเข้า 5 v. 100 mA.
2. ใช้คริสตอล 11.059 MHz.
3. ใช้วัดความถี่ตั้งแต่ 0 – 9999 Hz.
4. ความผิดพลาดในการวัด ± 1 Hz.
5. ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ใช้วัดความถี่ที่มากกว่าความถี่อ้างอิงแล้วแสดงผลด้วย LED สีแดงติดสว่าง ถ้าน้อยกว่าความถี่อ้างอิง LED สีแดงไม่ติด
6. เครื่องเริ่มทำงาน โดยค่าเริ่มต้นเท่ากับ 110 Hz รวมถึงกดปุ่ม reset

การทำงาน ใช้การนับความถี่ (Frequency counter) เป็น Hz. คือ นับว่าเกิดพัลส์กี่ลูกใน 1 วินาที เช่น

1 ลูก	ใน 1 วินาที	คือ	1	Hz.
10 ลูก	ใน 1 วินาที	คือ	10	Hz.
100 ลูก	ใน 1 วินาที	คือ	100	Hz.

และการเปรียบเทียบความถี่ คือ ในวงจรคอนโทรลเลอร์นี้จะมีการตั้งค่าความถี่อ้างอิง และเมื่อเครื่องทำงานจะทำการเปรียบเทียบความถี่ว่า มีความถี่สูงกว่าความถี่อ้างอิงหรือไม่ ถ้าไม่มี คือ มีความถี่ต่ำกว่าหรือเท่ากับความถี่อ้างอิง ก็จะมีสถานะเป็น 0 และ LED สีแดงจะไม่ติด แต่ถ้ามีความถี่สูงกว่าความถี่อ้างอิงก็จะมีสถานะเป็น 1 LED สีแดงจะติดสว่างและในขณะเข้า Mode ตั้งค่าความถี่อ้างอิง LED สีเขียวจะติดสว่าง ขณะนี้เครื่องจะยังไม่ทำการประมวลผล เมื่อออกจาก Mode LED สีเขียวจะดับแสดงว่าเครื่องเริ่มทำงานพร้อมที่จะประมวลผลเมื่อใส่แหวนเข้าไปเครื่องจะประมวลผลทันที

ในการประมวลใช้ IC AT89C52 ทำหน้าที่เป็น CPU และ IC74HC244 กับ ULN2803 เป็นตัวขับ 7 segment กับ LED ทุกครั้งที่ Reset ค่าความถี่อ้างอิงเริ่มต้นอยู่ที่ 110 Hz.

วิธีการใช้งาน

1. กดสวิตซ์ Power เพื่อจ่ายไฟ 5 v. เข้าวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์
2. กดปุ่มเลือก Mode ตั้งความถี่อ้างอิงเพื่อใช้เป็นความถี่มาตรฐานในการเปรียบเทียบ เช่น ต้องการ 150 Hz. ก็กดปุ่มเพิ่มความถี่ไปจนถึง 150 Hz. ในช่วงนี้ LED สีเขียวติดสว่าง ในขณะนี้เครื่องจะยังไม่เริ่มวัดความถี่เพราะอยู่ในช่วงตั้งค่าความถี่ หลังจากตั้งความถี่เรียบร้อยแล้วก็กดปุ่มเลือก Mode การทำงานเพื่อออกจากขั้นตอนการตั้งค่าความถี่ เครื่องจะเริ่มทำงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

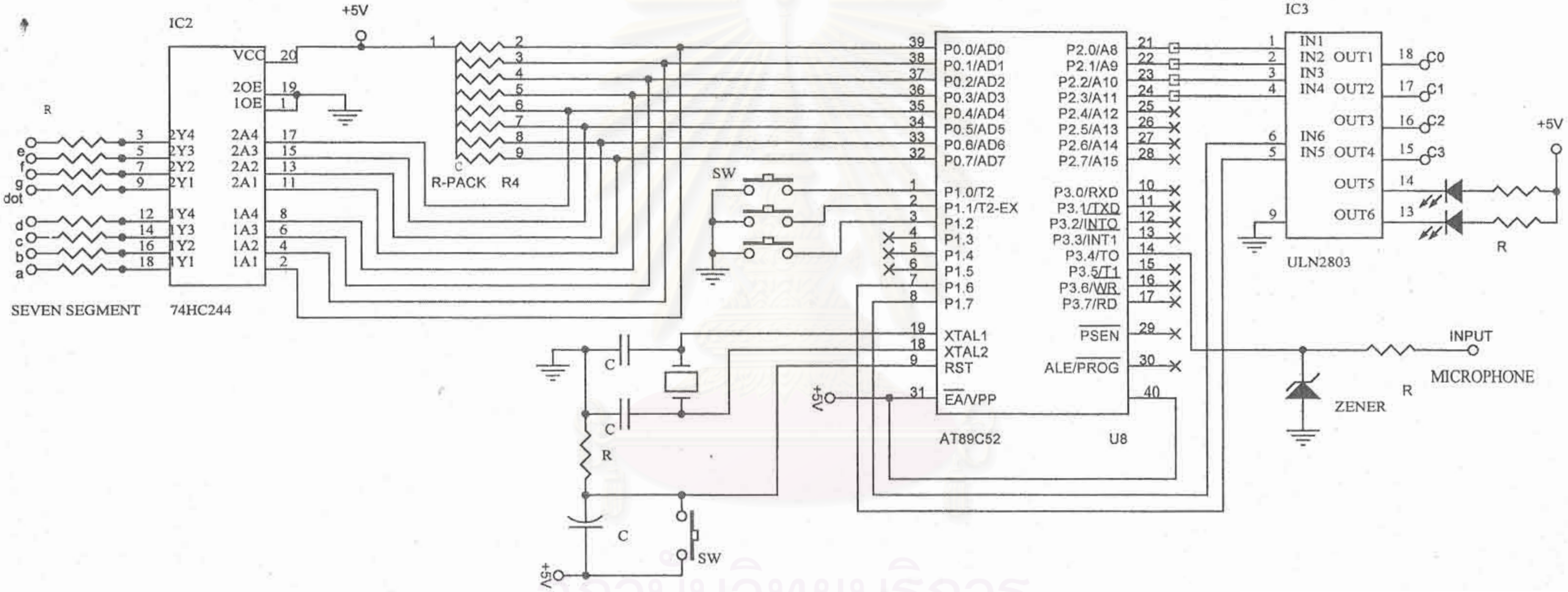
ถ้ามีความถี่ที่วัดนั้นมีค่ามากกว่า 150 Hz. สมมุติเป็น 170 Hz. จอแสดงผลของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะแสดงขึ้นมา 170 Hz. และ LED สีแดงติดสว่าง

ถ้าต่ำกว่า 150 Hz. สมมุติ 149 Hz. จอแสดงผลของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะแสดงความถี่ที่วัดได้เป็น 149 Hz. และ LED สีแดงไม่ติด

3. ถ้าต้องการเปลี่ยนความถี่อ้างอิงเป็น 250 Hz. ก็ทำตามขั้นตอนข้อที่ 2

รูปหน้าถัดไป คือ รูปที่ 5.27 ลายวงจรของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



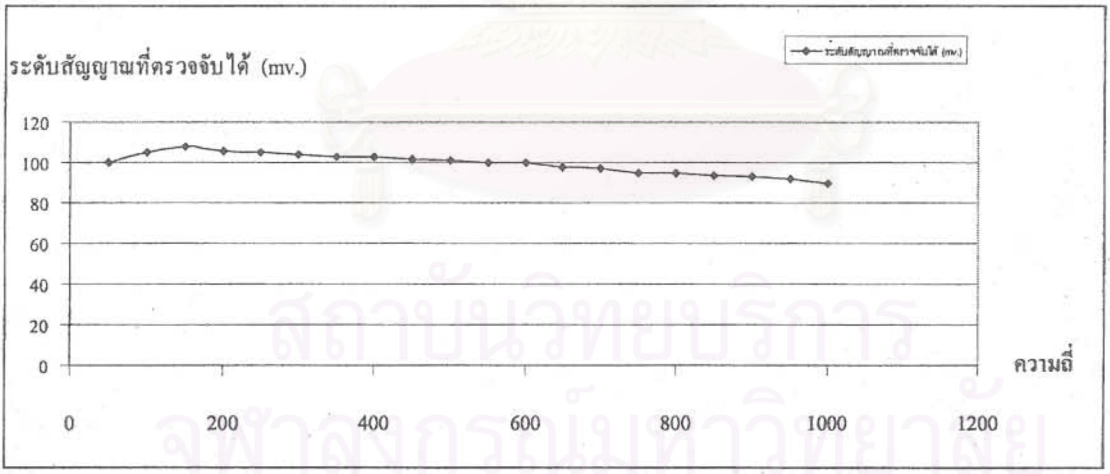
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.6 การหาค่าความถี่ใช้งาน

จากการทดลองโดยวิธีการปรับค่าความถี่ตั้งแต่ 50 Hz. ถึง 1,000 Hz. โดยมีช่วงห่างของความถี่ก็คือ 50 Hz. แล้วป้อนให้อุปกรณ์กำเนิดความถี่ กำเนิดความถี่ขึ้นมาแล้วส่งไปยังตัวเรือนแหวน เมื่อแหวนสั่นก็จะเกิดความถี่ขึ้นมาที่ความถี่เดิมกรณีไม่หลวม และเกิดความถี่ค่าใหม่ขึ้นมากรณีแหวนหลวม หลังจากนั้นก็ใช้ไมโครโฟนตรวจจับสัญญาณดังกล่าวและวัดสัญญาณโดยออสซิลโลสโคป จากนั้นนำค่าของระดับสัญญาณที่วัดได้บันทึกผลลงในตาราง ต่อมาก็พิจารณาว่าที่ความถี่ใดให้ค่าของระดับสัญญาณที่มากที่สุด ก็จะกำหนดค่าความถี่นั้นเป็นความถี่ใช้งาน ซึ่งผลการทดลองสำหรับแหวนทั้ง 6 รูปแบบ แสดงในตารางที่ 5.4 – 5.9 และรูปที่ 5.28 ถึงรูปที่ 5.33

ตารางที่ 5.4 การทดลองปรับความถี่เพื่อหาความถี่ใช้งานสำหรับแหวนรูปแบบ A

ความถี่ (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ (mv.)	100	105	108	106	105	104	103	103	102	101
ความถี่ (Hz)	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
ระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ (mv.)	100	100	98	97	95	95	94	93	92	90



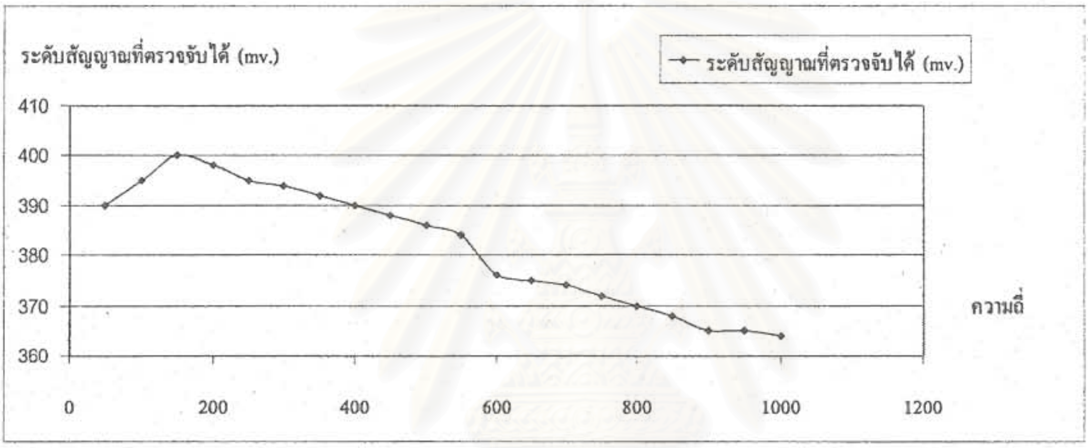
รูปที่ 5.28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ของแหวนรูปแบบ A

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.5 การทดลองปรับความถี่เพื่อหาความถี่ใช้งานสำหรับแหวนรูปแบบ B

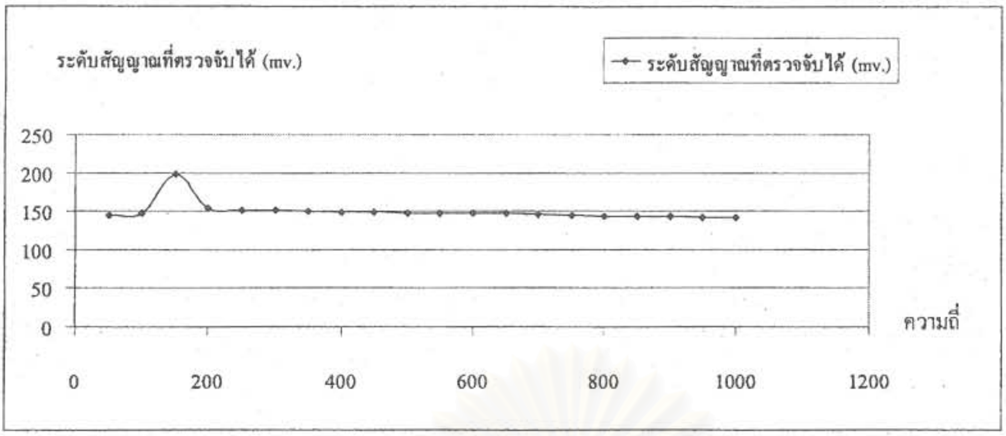
ความถี่ (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ (mv.)	390	395	400	398	395	394	392	390	388	386
ความถี่ (Hz)	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
ระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ (mv.)	384	376	375	374	372	370	368	365	365	364



รูปที่ 5.29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ของแหวนรูปแบบ B

ตารางที่ 5.6 การทดลองปรับความถี่เพื่อหาความถี่ใช้งานสำหรับแหวนรูปแบบ C

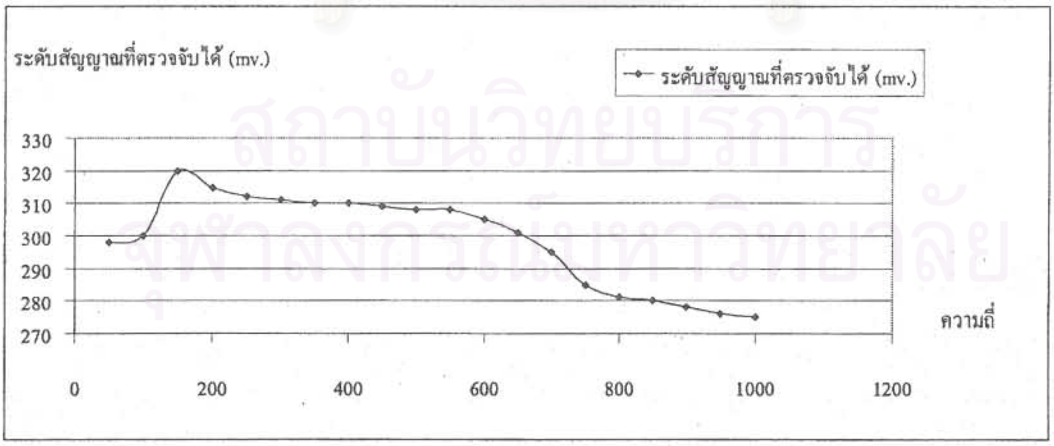
ความถี่ (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ (mv.)	145	147	198	154	152	152	150	149	149	148
ความถี่ (Hz)	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
ระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ (mv.)	147	147	147	146	145	144	144	143	142	142



รูปที่ 5.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ของแหวนรูปแบบ C

ตารางที่ 5.7 การทดลองปรับความถี่เพื่อหาความถี่ใช้งานสำหรับแหวนรูปแบบ D

ความถี่ (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ (mv.)	298	300	320	315	312	311	310	310	309	308
ความถี่ (Hz)	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
ระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ (mv.)	308	305	301	295	285	281	280	278	276	275

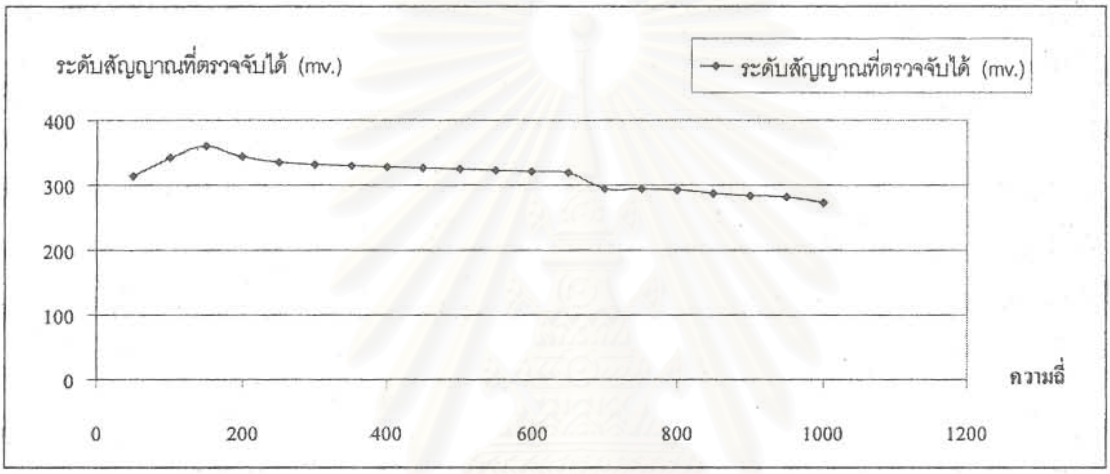


รูปที่ 5.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ของแหวนรูปแบบ D

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.8 การทดลองปรับความถี่เพื่อหาความถี่ใช้งานสำหรับแหวนรูปแบบ E

ความถี่	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ (mv.)	315	342	360	345	335	333	331	328	327	325
ความถี่	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
ระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ (mv.)	324	322	319	295	294	292	287	284	282	274

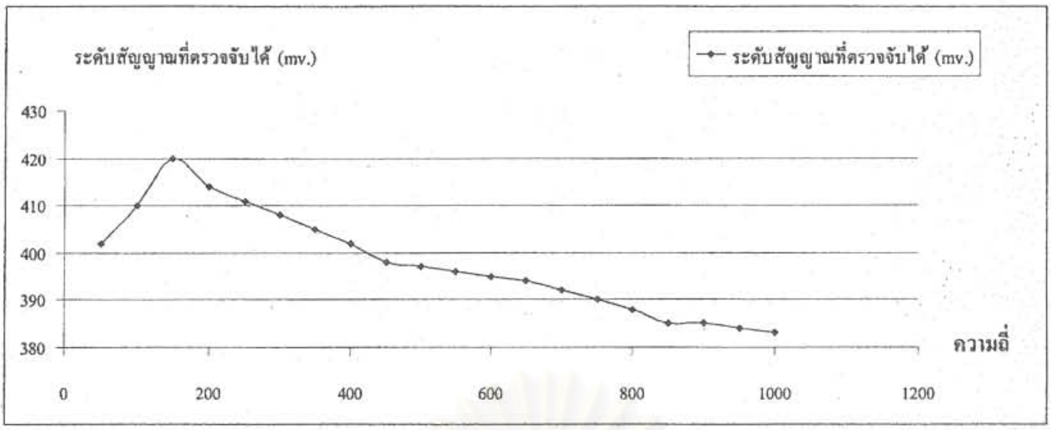


รูปที่ 5.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ของแหวนรูปแบบ E

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.9 การทดลองปรับความถี่เพื่อหาความถี่ใช้งานสำหรับแหวนรูปแบบ F

ความถี่ (Hz)	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500
ระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ (mv.)	402	410	420	414	411	408	405	402	398	397
ความถี่ (Hz)	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000
ระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ (mv.)	396	395	394	392	390	388	385	385	384	383



รูปที่ 5.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้ของแหวนรูปแบบ F

ผลจากตารางที่ 5.4 - 5.9 และรูปที่ 5.28 ถึงรูปที่ 5.33 จะเห็นได้จากการปรับความถี่ที่ค่าต่าง ๆ ตั้งแต่ 50 ถึง 1000 Hz. แล้วทำการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ความถี่ 150 Hz. ให้ผลตอบสนองที่ดีที่สุดสำหรับแหวนรูปแบบที่ A ถึง F

ผลสรุปจะเห็นได้ว่าแหวนรูปแบบ B,D,E,F,G,I เป็นแหวนที่มีอัญมณีเม็ดใหญ่อยู่บนตัวเรือนแหวน ที่ความถี่ต่างๆ จะมีระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้อยู่ในระดับที่สูง แต่แหวนรูปแบบ A,C,H เป็นแหวนที่อัญมณีเม็ดเล็ก ๆ อยู่บนตัวเรือนแหวน จะมีระดับสัญญาณที่ตรวจจับได้อยู่ในระดับที่ต่ำ และมีบางช่วงความถี่เท่านั้นที่แหวนสั่นและสามารถตรวจจับสัญญาณออกมาได้ คือช่วงความถี่ต่ำประมาณ 150 Hz. และที่ความถี่ 150 Hz. เป็นความถี่ใช้งานที่เหมาะสมกับแหวนที่มีอัญมณีทั้งเม็ดเล็กและเม็ดใหญ่อยู่บนตัวเรือนแหวน

บทที่ 6

ทดสอบและการประเมินผล

ในบทนี้จะอธิบายถึงวิธีการนำต้นแบบไปทดสอบการใช้งานและประเมินผลการทดสอบดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

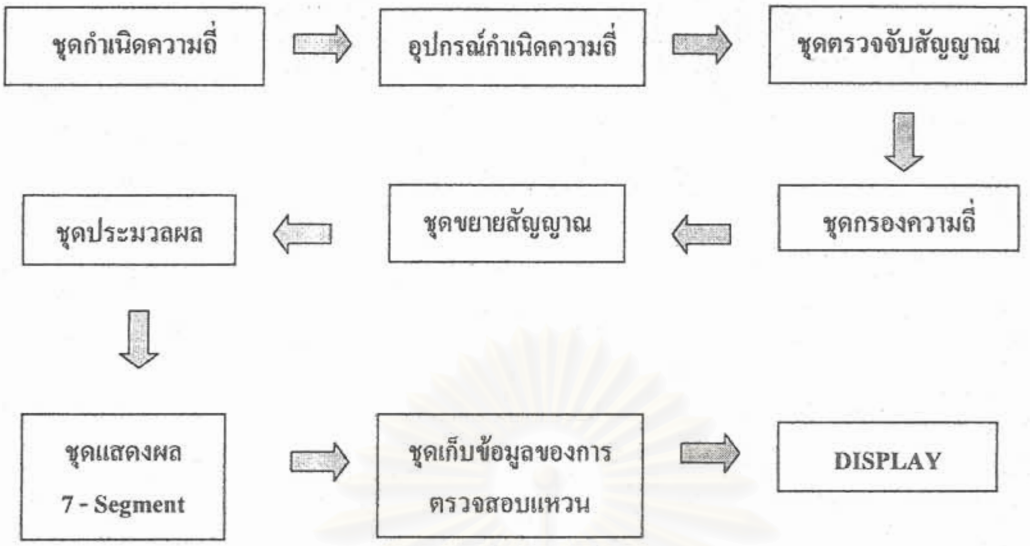
6.1 ลำดับขั้นตอนการทำงานของต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน ดังรูปที่ 6.1 ซึ่งวิธีการตรวจสอบมีขั้นตอนดังนี้

1. ป้อนไฟ 220 V. 50 Hz ให้กับชุดกำเนิดความถี่
2. ชุดกำเนิดความถี่ จะทำการส่งความถี่ในช่วงความถี่ต่ำคือ 150 Hz ไปให้กับอุปกรณ์กำเนิดความถี่
3. อุปกรณ์กำเนิดความถี่ จะเกิดการสั่นสะเทือน และส่งต่อไปยังแหวนวงที่จับยึดอยู่บนอุปกรณ์กำเนิดความถี่
4. แหวนเมื่อได้รับการสั่นสะเทือน จะเกิดความถี่ขึ้นมาค่า ๆ หนึ่ง
5. ใช้ อุปกรณ์ตรวจจับความถี่ตรวจจับความถี่ที่เกิดขึ้นจากแหวน
6. นำสัญญาณที่ตรวจจับได้จากแหวน มาทำการกรองความถี่ช่วงที่ไม่ต้องการออก ให้เหลือแต่ความถี่ช่วงที่ต้องการ โดยวงจรกรองความถี่ชนิด Band Pass Filter
7. สัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณที่อ่อนมาก จึงต้องส่งไปยังวงจรขยายสัญญาณ เพื่อขยายสัญญาณให้อยู่ในระดับที่ต้องการ คือ 5 V.p-p
8. นำสัญญาณที่ขยายแล้ว มาเข้าชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเปรียบเทียบสัญญาณว่ามีสัญญาณที่สูงกว่าสัญญาณอ้างอิงปะปนมาหรือไม่

   กรณี มี ก็จะส่งสัญญาณไปโชว์ที่ชุดแสดงผลโดย LED สีแดงติด แสดงว่า " แหวนหลวม "

   กรณี ไม่มี ก็จะส่งสัญญาณไปโชว์ที่ชุดแสดงผลโดย LED สีแดงไม่ติด แสดงว่า " แหวนไม่หลวม "
9. ชุดแสดงผลจะรับสัญญาณมาจากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วแสดงผลผ่าน หลอด LED หรือ จอ LCD
10. ดูผลที่หลอด LED หรือ จอ LCD ว่าหลวมหรือไม่ และดูที่แหวนว่าอัญมณีเม็ดไหนหลวมบ้าง (กรณี พลอยหลวมมาก)
11. บันทึกผลการตรวจสอบ

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.1 ลำดับการทำงานของต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน

6.2 การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบในห้องปฏิบัติการได้ทำการทดสอบกับแหวน 6 รูปแบบ ดังในรูป 6.2 A,B,C และรูป 6.3 D,E,F มีตัวอย่างรูปแบบละ 1 วง และทำการทดสอบรูปแบบละ 10 ครั้ง ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 6.1

รูปที่ 6.2 แหวนรูปแบบ A,B,C

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 6.3 แหวนรูปแบบ D,E,F

ตารางที่ 6.1 ผลจากการตรวจสอบคุณภาพโดยต้นแบบในห้องปฏิบัติการ

รูปแบบ	สภาพ	ผลการตรวจสอบครั้งที่										จำนวนครั้งในการตรวจผิดพลาด	เปอร์เซ็นต์การตรวจผิดพลาด
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	0	0
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0	0
C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0	0
D	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0	0
E	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0	0
F	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0	0

จากผลในตารางที่ 6.1 จะเห็นได้ว่าสามารถทำการตรวจสอบได้ทุกรูปแบบ คือ

รูปแบบ A ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง 100%
รูปแบบ B ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง 100%
รูปแบบ C ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง 100%
รูปแบบ D ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง 100%
รูปแบบ E ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง 100%
รูปแบบ F ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง 100%

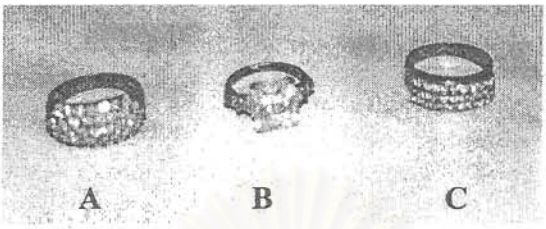
หมายเหตุ รูปแบบ C เป็นแหวนที่มีอัญมณีเม็ดเล็กมาก ไมโครโฟนตรวจจับสัญญาณไม่ได้ จึงใช้วิธีดูด้วยสายตา

6.3 การทดสอบในโรงงานตัวอย่าง

การทดสอบในโรงงานได้ทำการทดสอบกับแหวนจำนวน 9 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบ A ถึง I ดังรูปที่ 6.4 A,B,C รูปที่ 6.5 D,E,F รูปที่ 6.6 G รูปที่ 6.7 H และรูปที่ 6.8 I โดยรูปแบบ A - F เป็นรูปแบบเดียวกับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ส่วนรูปแบบ G ถึง I เป็นรูปแบบที่ได้เพิ่มเติม

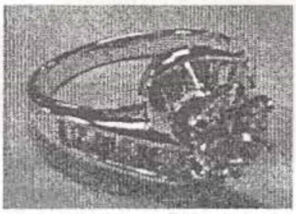
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในวันที่ทดสอบที่โรงงาน การทดสอบได้ทำการทดสอบรูปแบบละ 10 ครั้ง ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 6.2

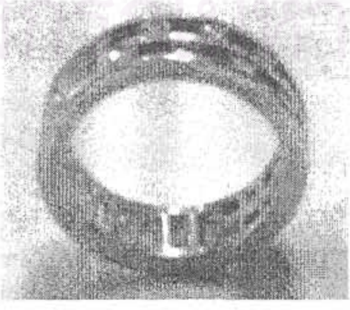


รูปที่ 6.4 แหวนรูปแบบ A , B , C

รูปที่ 6.5 แหวนรูปแบบ D ,E , F



รูปที่ 6.6 แหวนรูปแบบ G



รูปที่ 6.7 แหวนรูปแบบ H

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 6.8 แหวนรูปแบบ I

ตารางที่ 6.2 ผลจากการตรวจสอบคุณภาพโดยต้นแบบที่โรงงานตัวอย่าง

รูปแบบ	สภาพ	ผลการตรวจสอบครั้งที่										จำนวนครั้งในการตรวจผิดพลาด	เปอร์เซ็นต์การตรวจผิดพลาด
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	0	0
B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0	0
C	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0	0
D	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	0	0
E	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0	0
F	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0	0
G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	0	0
H	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	0	0
I	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	G	0	0

จากผลในตารางที่ 6.2 จะเห็นได้ว่า สามารถทำการตรวจสอบได้ทุกรูปแบบ คือ

รูปแบบ A ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง 100%
รูปแบบ B ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง 100%
รูปแบบ C ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง 100%
รูปแบบ D ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง 100%
รูปแบบ E ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง 100%
รูปแบบ F ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง 100%
รูปแบบ G ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง 100%
รูปแบบ H ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง 100%
รูปแบบ I ผลการตรวจสอบมีความถูกต้อง 100%

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หมายเหตุ รูปแบบ C เป็นแหวนที่มีอัญมณีเม็ดเล็กมาก เสียงที่เกิดไมโครโฟนตรวจจับสัญญาณไม่ได้ จึงใช้วิธีดูตรวจสอบด้วยสายตา

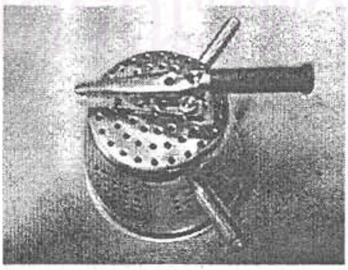
6.4 การประเมินผล

จากแหวน 6 รูปแบบที่เหมือนกันคือ A , B , C , D , E , F ที่ทำการตรวจสอบทั้งในห้องปฏิบัติการและที่โรงงาน ปรากฏว่าได้ผลถูกต้องเหมือนกัน และแหวนอีก 3 รูปแบบ คือ G , H , I ที่ทำการตรวจสอบเพิ่มที่โรงงานนั้นสามารถทำการตรวจสอบได้ผลถูกต้องเหมือนกันและเหมือนกับพนักงานตรวจสอบ

ผลจากการสอบถามจากพนักงานตรวจสอบในโรงงานตัวอย่าง หลังจากที่ได้นำต้นแบบเข้าไปใช้งานจริงในโรงงานตัวอย่าง ให้ความคิดเห็นและคำแนะนำในการแก้ไขปรับปรุง ดังนี้

1. ฝาปิดด้านบนควรเจาะรูสี่เหลี่ยมแล้วใส่กระจกแทน เพราะเวลาตรวจสอบจะทำให้สามารถมองเห็นเม็ดอัญมณีเม็ดที่หลวมเวลาทำการตรวจสอบ
2. ไมโครโฟนที่ใช้ตรวจจับสัญญาณ ควรมีทิศทางที่ชี้ลง
3. ในการจับแหวนเพื่อทำการตรวจสอบควรจับตัวเรือนแหวนทิศทางตั้งขึ้น
4. ในปัจจุบันมีการผลิตแหวนที่มีขนาดของอัญมณีมีขนาดเล็กมากทำให้ต้นแบบตรวจสอบไม่ได้
5. เป็นเครื่องตรวจสอบแทนการฟังเสียงโดยหูคน และให้ผลการตรวจสอบที่ถูกต้องมากขึ้น
6. ในกรณีที่พลอยหลวมมาก สามารถทำการตรวจสอบได้ทันทีว่าเม็ดใดหลวม ช่วยลดเวลาที่ต้องนำเข็มมาทิ่มที่อัญมณีเพื่อหาเม็ดหลวมอีก
7. อุปกรณ์จับยึดแหวนควรออกแบบให้มีการใช้งานได้ดีขึ้นกว่านี้
8. ระยะเวลาในการตรวจสอบโดยต้นแบบยังล่าช้ากว่าการใช้หูคน

หมายเหตุ ได้มีการแก้ไขอุปกรณ์จับยึดแหวน ดังรูปที่ 6.9



รูปที่ 6.9 อุปกรณ์จับยึดแหวนที่ปรับปรุง

บทที่ 7

สรุปผล ปัญหา อุปสรรค อุปสรรคและแนวทางในการขยายผล

7.1 สรุปผล

จากปัญหาที่เกิดขึ้นในหน่วยงานตรวจสอบคุณภาพ คือ การเกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบ โดยพนักงานตรวจสอบคุณภาพเนื่องจากตรวจไม่พบของเสีย แม้จะตรวจ 100 เปอร์เซ็นต์ 2 รอบ ทำให้มีของเสียหลุดออกไป ดังนั้นจึงได้การสร้างต้นแบบสำหรับการตรวจสอบคุณภาพบนตัวเรือนแหวนขึ้นมาเพื่อแก้ปัญหานี้ และได้นำทฤษฎีต่าง ๆ ได้แก่ คลื่น ความถี่ เสียง ไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น มาประยุกต์ในการออกแบบและสร้าง ส่วนประกอบของต้นแบบ มีดังนี้ ชุดกำเนิดความถี่ ชุดตรวจจับสัญญาณ ชุดขยายสัญญาณ ชุดประมวลผล ชุดแสดงผล และกล่องต้นแบบ

จากการที่ได้นำต้นแบบไปทดลองในห้องปฏิบัติการและได้นำไปทดสอบที่โรงงานตัวอย่าง ผลปรากฏว่าได้ผลเหมือนกันและต้นแบบมีความถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบวิธีการเดิมกับวิธีการใหม่ ดูได้ดังตาราง 7.1

ตารางที่ 7.1 ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบวิธีการเดิมกับวิธีการใหม่

ข้อที่	ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบ	
	วิธีการเดิม (ใช้การฟังเสียง)	วิธีการใหม่ (ใช้ต้นแบบ)
1	ใช้วิธีการเคาะที่ตัวเรือนแหวนแล้วฟังเสียงโดยใช้หูคนฟัง ทำให้เกิด Human Error	ใช้ต้นแบบตรวจสอบนั้นให้ความถูกต้อง 100% สามารถลดปัญหา Human Error ลงได้
2	จำเป็นต้องใช้พนักงานตรวจสอบที่มีความชำนาญ	ไม่จำเป็นต้องใช้พนักงานตรวจสอบที่มีความชำนาญ
3	ทำการตรวจสอบ 100 เปอร์เซ็นต์ 2 รอบ	ทำการตรวจสอบ 100 เปอร์เซ็นต์รอบแรก รอบที่สองใช้การสุ่มตรวจ หรือทำการตรวจสอบ 100 เปอร์เซ็นต์รอบเดียว
4	ใช้เข็มทิ่มอัญมณีเพื่อดูว่าเม็ดไหนหลวม (ทิ่มทุกเม็ด)	ใช้สายตาดูก็ทราบว่าเม็ดไหนหลวมบ้าง (กรณีพลอยหลวมมาก)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.2 ปัญหา อุปสรรคและข้อจำกัดในการตรวจสอบของต้นแบบ

โดยส่วนใหญ่เป็นปัญหาทางด้านเทคนิคเพราะเป็นการสร้างขึ้นมาใหม่ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

7.2.1 ในต้นแบบความถี่ที่เกิดขึ้นที่แหวนมีค่ามากกว่า 150 Hz แต่ความถี่ที่เกิดขึ้นนั้นมีค่า Amplitude ต่ำ จึงทำให้ไมโครโฟนตรวจจับความถี่นั้นไม่ได้ดี เพื่อเพิ่มขีดความสามารถและความถูกต้องในการตรวจสอบให้กับต้นแบบ จึงควรจัดหาไมโครโฟนที่มีคุณภาพสูงกว่านี้โดยมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ ตอบสนองความถี่ในช่วงความถี่ 20 ถึง 20,000 Hz และ 6 dB ขึ้นไป

7.2.2 ขนาดของอัญมณีบนตัวเรือนแหวนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 1 มิลลิเมตรนั้น เมื่อทำการทดสอบเสียงที่เกิดขึ้นมีความดังน้อยมากและโดนข่มจากเสียงที่เกิดจากอุปกรณ์กำเนิดความถี่ ทำให้ต้นแบบตรวจสอบไม่ได้

7.2.3 ความเร็วในการตรวจสอบโดยใช้เครื่องต้นแบบยังล่าช้ากว่าการใช้คนเพราะต้องมีการยึดตัวเรือนแหวนติดตั้งลงบน Fixture แล้วจึงทำการตรวจสอบซึ่งสามารถตรวจสอบได้ครั้งละ 1 วง ส่วนในขณะที่ใช้หูคนฟังนั้นใช้มือจับแล้วดีดที่ตัวเรือนบริเวณใกล้หูและใช้หูฟังจึงเร็วกว่า จึงยังไม่สามารถนำต้นแบบไปใช้งานแทนคนได้ ในอนาคตสามารถพัฒนาให้สามารถตรวจสอบได้ครั้งละหลาย ๆ วง จะได้ทำให้การตรวจสอบด้วยต้นแบบนั้นตรวจได้เร็วขึ้น หรือทำเป็นระบบอัตโนมัติได้ ซึ่งใช้ในการผลิตจำนวนมากก็จะสามารถช่วยลดเวลาลงได้เช่นกัน

7.2.4 เสียงที่เกิดจากอุปกรณ์กำเนิดความถี่ดังกว่าเสียงของแหวนหลวมทำให้ต้นแบบไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าแหวนหลวมหรือไม่ เนื่องจากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีคุณสมบัติในการประมวลและแสดงผลได้เฉพาะเสียงที่ Amplitude สูงสุดค่าเดียวเท่านั้น

7.2.5 แรงที่เกิดจากอุปกรณ์กำเนิดความถี่ไม่สามารถกระตุ้นให้อัญมณีของแหวนที่หลวมไม่มากสั่นแล้วเกิดเสียงเพื่อแสดงว่าแหวนหลวมได้ ทำให้ตรวจสอบไม่พบทั้ง ๆ ที่แหวนหลวม

7.2.6 มีสัญญาณรบกวนสูงจากภายนอก เนื่องจากทดสอบในห้องโล่ง ก็ได้ทำการแก้ไขโดยตัวเครื่องต้นแบบทำจากไม้ที่สามารถเก็บเสียงได้ เพื่อลดสัญญาณรบกวนจากภายนอก

7.2.7 วงจรขยายแล้วสัญญาณเพี้ยนและเฟสเลื่อน ได้ทำการแก้ปัญหาโดยการเลือกดู IC ในหนังสือ ECG และได้นำ IC เหล่านั้นไปทดลองจนได้ IC ที่เหมาะสมในการใช้งาน

7.2.8 ชุดวงจรกำเนิดความถี่มีค่าผิดพลาดสูง ควรมีการปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาต่อไป โดยปรับปรุงจากวงจรเดิมหรือออกแบบวงจรใหม่

ข้อจำกัดในการตรวจสอบของต้นแบบ

1. ขีดความสามารถสูงสุดในการตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวนนั้น คือ เสียงที่เกิดจากสั่นของแหวนที่หลวมนั้นขณะทำการตรวจสอบในต้นแบบจะต้องมีค่าความดังของเสียงไม่น้อยกว่า 72 dBA ต้นแบบจึงสามารถทำการตรวจสอบได้ถูกต้อง เนื่องจากเสียงที่เกิดจากอุปกรณ์กำเนิดความถี่มีความดัง 72 dBA ถ้าเสียงที่เกิดจากแหวนมีค่าความดังน้อยกว่า 72 dBA ก็จำทำให้ต้นแบบไม่สามารถเปรียบเทียบสัญญาณเสียงนั้นได้ เพราะชุดไมโครคอนโทรลเลอร์มีคุณสมบัติในการประมวลผลสัญญาณที่มีค่าของ Amplitude สูงที่สุดเท่านั้น

หมายเหตุ ค่าความดังของเสียงที่เกิดจากอุปกรณ์กำเนิดความถี่มีความดัง 72 dBA ได้มาจากการใช้เครื่องวัด CEL – 275/3 Precision Integrating Sound Level Meter วัดเสียงที่เกิดภายในต้นแบบ โดยมีวิธีการวัดดังนี้

- ใช้ CEL-275/3 วัดเสียงที่เกิดขึ้นในต้นแบบขณะไม่มีแหวน
- ใช้ CEL-275/3 วัดเสียงที่เกิดขึ้นในต้นแบบขณะมีแหวนที่แน่น
- ใช้ CEL-275/3 วัดเสียงที่เกิดขึ้นในต้นแบบขณะมีแหวนที่หลวมไม่มาก
- ใช้ CEL-275/3 วัดเสียงที่เกิดขึ้นในต้นแบบขณะมีแหวนหลวมมาก

2. กรณีแหวนนั้นเป็นแหวนที่มีอัญมณีประดับรอบวงจะต้องตรวจ 4 ครั้ง คือ ใช้วิธีจับที่ตัวเรือนครั้งแรก แล้วตรวจสอบ ¼ วงก่อน จากนั้นก็จับด้านตรงกันข้ามจุดเดิม แล้วตรวจสอบอีก ¼ วง จากนั้นก็จับอีก 2 ด้านที่เหลือและทำการตรวจสอบเหมือนเดิม

3. ใช้กับแหวนที่ตัวเรือนมีความกว้าง ไม่เกิน 4 มิลลิเมตร

4. ใช้ตรวจสอบสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวนเท่านั้น

7.3 แนวทางในการพัฒนาและขยายผล

7.3.1 พัฒนาในส่วนของอุปกรณ์ตรวจจับความถี่ คือ หาไมโครโฟนคุณภาพสูงแทนไมโครโฟนเดิม เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการตรวจจับความถี่ให้กับต้นแบบ ซึ่งมีผลทำให้เกิดความถูกต้องในการตรวจสอบสูงขึ้น

7.3.2 พัฒนาปรับปรุงชุดกำเนิดความถี่ เพราะวงจรกำเนิดความถี่ให้ความผิดพลาดสูง ควรมีการแก้ไขปรับปรุงให้ความผิดพลาดให้น้อยลงและสร้างเครื่องกำเนิดความถี่ใหม่ให้สามารถสร้างความถี่ได้ดังนี้

หลักการที่ 1

วินาทีที่ 1 = 100 Hz
วินาทีที่ 2 = 125 Hz
วินาทีที่ 3-7 = 150 Hz
และวน Loop ต่อไป

→ ส่งไปยังอุปกรณ์กำเนิดความถี่

เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ที่ป้อนให้ตัวเรือนแหวนตลอดเวลา เกิดแรงกระทำที่เปลี่ยนแปลงกับตัวเรือนแหวน ทำให้สามารถกระตุ้นอัญมณีที่อยู่บนตัวเรือนแหวนให้สั่นเกิดเสียงได้ดีขึ้น โดยเครื่องนี้สร้างความถี่เริ่มที่ 100 Hz เป็นระยะเวลา 1 วินาที ต่อมาเป็น 125 Hz เป็นระยะเวลา 1 วินาที หลังจากนั้นเป็น 150 Hz เป็นระยะเวลา 5 วินาที และวน Loop ต่อไปเรื่อย ๆ

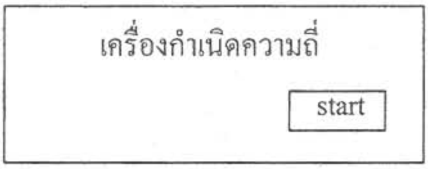
หลักการที่ 2

วินาทีที่ 1 = 100 Hz
วินาทีที่ 2 = 125 Hz
วินาทีที่ 3 เป็นต้นไป = 150 Hz

→ ส่งไปยังอุปกรณ์กำเนิดความถี่

เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าความถี่ที่ป้อนให้ตัวเรือนแหวน เกิดแรงกระทำที่เปลี่ยนแปลงกับตัวเรือนแหวน ทำให้สามารถกระตุ้นอัญมณีที่อยู่บนตัวเรือนแหวนให้สั่นเกิดเสียงได้ดีขึ้น โดยจะต้องมีปุ่ม Start ที่เครื่องกำเนิดความถี่ ดังรูปที่ 7.1 โดยกดเมื่อใส่แหวนที่จะทำการตรวจสอบบนอุปกรณ์จับยึดแหวนเสร็จเรียบร้อย เพื่อให้เกิดการสร้างความถี่เริ่มที่ 100 Hz เป็นระยะเวลา 1 วินาที เป็น 125 Hz เป็นระยะเวลา 1 วินาที หลังจากนั้นเป็น 150 Hz ต่อไป จนกระทั่งมีการทดสอบแหวนวงต่อไปก็จะกด Start อีกครั้ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.1 เครื่องกำเนิดความถี่ที่จะขยายผล

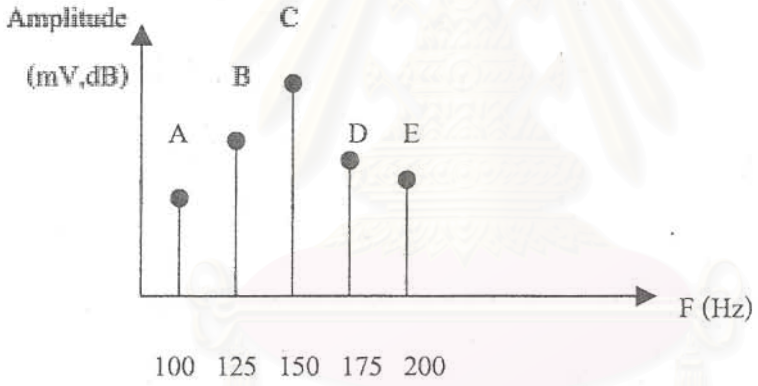
7.3.3 พัฒนาในส่วนของชุดกรองความถี่

7.3.3.1 ทำชุด Filter กรองความถี่ 150 Hz เพื่อกรองความถี่จากสัญญาณที่ตรวจจับได้ว่ามีต่ำกว่า 150 Hz หรือไม่ ถ้ามีก็สร้างชุดไมโครคอนโทรลเลอร์เช็คความถี่ต่ำกว่า 150 Hz ด้วยเพราะบางทีความถี่ที่เกิดจากแหวนหลวมอาจมีค่าต่ำ 150 Hz

7.3.3.2 ทำการสร้าง Filter ขึ้นมาใหม่อีก 1 ตัว โดยเป็นชนิด Hi Pass ตัดที่ 150 Hz คือ ถ้ามีความถี่สูงกว่า 150 Hz ผ่านได้ แต่ 150 Hz หรือต่ำกว่า ผ่านไม่ได้ เพราะในต้นแบบขณะนี้ถูกรบกวนจากเสียงที่เกิดจากอุปกรณ์กำเนิดความถี่มีความดังของเสียงค่อนข้างมากจึงมีผลต่อชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการประมวลผลสัญญาณ ดังนั้น เมื่อกรองความถี่ 150 Hz หรือต่ำกว่าออก จะทำให้ความถี่ที่เกิดจากแหวนหลวมที่มีค่าสูงกว่า 150 Hz ชัดเจนขึ้นทำให้ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเปรียบเทียบความถี่ได้และมีความถูกต้องในการตรวจสอบสูงขึ้น

7.3.4 พัฒนาในส่วนของชุดประมวลผล

เปลี่ยนไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็น DSP (Digital Signal Processing)



รูปที่ 7.2 กราฟแสดงตัวอย่างของความถี่

เพราะชุดไมโครคอนโทรลเลอร์จะแสดงค่า C เพียงอย่างเดียว แต่ DSP จะสามารถวิเคราะห์และแสดงค่าของ A,B,C,D และ E ได้ ดังรูปที่ 7.2 จึงสามารถวิเคราะห์เพื่อหาช่วงความถี่ต้องการได้ และมีความแน่นอนมากขึ้น

7.3.5 พัฒนาในส่วนของการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เพื่อสะดวกต่อการใช้งานและแสดงผล และใช้ร่วมกับ Image Processing เพื่อตรวจว่าอัญมณีเม็ดไหนหลวมแล้วแสดงผลผ่านทางจอภาพ เพื่อให้เกิดชัดเจนมากขึ้น

7.3.6 พัฒนาในส่วนของการตรวจสอบของต้นแบบ

ในอนาคตหากมีการนำไปประยุกต์ใช้และพัฒนาเครื่องมือให้มีคุณภาพสูงขึ้น ควรมีการทดลองใช้จริงในภาคอุตสาหกรรมจริง 3 เดือน ก่อนทำการปรับปรุงเครื่องมือ เพราะจะสามารถทำให้ครอบคุลมรายละเอียดที่ต้องทำการปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

7.3.7 พัฒนาในส่วนของบุคลากร

การประยุกต์ใช้และการพัฒนาเครื่องมือให้มีคุณภาพสูงขึ้นนั้น ควรมีการพัฒนาวิธีการทำงานพนักงานตรวจสอบในการใช้เครื่องมือตรวจสอบ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมเครื่องประดับของไทย

7.3.8 ในการพัฒนาขั้นต่อไป ควรมีการนำเสนอโครงการต่อเนื่อง เช่น การปรับปรุงเครื่องมือให้เหมาะสมกับเครื่องประดับทุกประเภทและอัญมณีทุกขนาด การพัฒนาหัวจับตัวเรือนให้เหมาะสมกับรูปทรงต่างๆ การพัฒนาให้สามารถตรวจสอบแหวนครั้งละหลายๆ วงได้ หรือทำเป็นระบบอัตโนมัติ ซึ่งใช้ในการผลิตจำนวนมากและสามารถลดเวลาในการตรวจสอบลงได้ นอกจากนี้ควรมีการเปรียบเทียบเครื่องมือต่างประเทศในเชิงคุณภาพและราคา และมีการเพิ่มต้นทุนรายละเอียดของตัวเครื่องมากยิ่งขึ้น ซึ่งอาจนำไปสู่การจดสิทธิบัตรและผลิตจำหน่ายได้จริง

7.4 ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

งานวิจัยนี้ได้นำไปเผยแพร่ในงานการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ในช่วงวันที่ 25 - 26 ตุลาคม พ.ศ. 2544 ที่จังหวัดอุบลราชธานี ในการบรรยายครั้งนี้มีผู้คนให้ความสนใจพอสมควร รายละเอียดของคำถามจากผู้ร่วมฟังบรรยายได้แสดงในภาคผนวก ค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COLLEGE OF ENGINEERING 53647 CHULALONGKORN UNIVERSITY

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล , การศึกษางาน , ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล รังสิต , กรุงเทพฯ , 2539

ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด , ไมโครโปรเซสเซอร์ 2 . บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน) ,กรุงเทพฯ , 2539

จันทร์เพ็ญ อนุรัตนานนท์ , ระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการสำหรับควบคุมต้นทุน , วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2535

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , คู่มือนักอิเล็กทรอนิกส์ , กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) , 2538

ธนกร คีรีพิทักษ์ , ทฤษฎีเครื่องเสียง , ศูนย์หนังสือพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , พิมพ์ครั้งที่ 2 , กรุงเทพฯ , สกายบุคส์ , 2542

นราศรี ไววรรณกุล , ธนวรรณกรรม แสงสุวรรณและกัฐ พูนเจริญ , กลยุทธ์ในการเพิ่มขีดความสามารถทางการตลาดของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ , ศูนย์วิจัยสถาบันบัณฑิตบริหารธุรกิจศศินทร์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2542

นุชสรา รักอำนวยกิจ , การศึกษาเพื่อปรับปรุงระบบการควบคุมการผลิตในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ , วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2538

ประเสริฐ โรจน์สุธีวัฒน์ , รวมโครงงานอิเล็กทรอนิคส์ เล่ม 7 , บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) , กรุงเทพฯ , 2539 , หน้า 46 - 49

เพชรรัตน์ อุบลเรียบร้อย , การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับคำนวณต้นทุนแหวนประดับ , วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2536

วันชัย คุณากรมวงศ์, บัณฑิต บัวบูชา, รัฐวุฒิ ประทุมราชและรุ่งแสง เครือไวศยวรรณ , การคำนวณวงจรทรานซิสเตอร์, ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ , กรุงเทพฯ , 2534

วาสนา สุริยาศศินและวีระศักดิ์ ลักษมีการค้า , RC Filer , คอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิคส์เวิร์ล , เล่มที่ 144 , กรุงเทพฯ , 2537 , หน้า 24-30

วิจิตร ตันฑสุทธิ์ , วันชัย ริจิรวนิช ,จรูญ มหิทธาฟองกุล และชูเวช ชาญสง่าเวช , การศึกษาการทำงาน , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , กรุงเทพฯ , 2524

ศักรินทร์ นาครทรรพ , การประยุกต์ใช้ระบบเวลาที่กำหนดไว้กับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ , วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2535

สุพินดา วะศินรัตน์ , การศึกษาวิเคราะห์ศักยภาพการส่งออกของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทย , วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2539

สุรภัทร วงษ์เวียงขันทร์ , แหล่งกำเนิดรูปสัญญาณจากทรานซิสเตอร์ , เซมิคอนดัคเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ , ฉบับที่ 150 , กรุงเทพฯ , 2538 , หน้า 97-104

เสรี ยูนิพันธ์ , จรูญ มหิทธาฟองกุล , ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย , เทคนิคการควบคุมคุณภาพ , ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำเริง รัศมีวิศวะและดำรง จีนขาวขำ , ทฤษฎีและการนำไปใช้งานออปแอมป์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , กรุงเทพฯ , 2529

ภาษาอังกฤษ

Add S. Sedra and Kemneth C. Smith , Microelectronic Circuits , Oxford University Press , New York , 1998

Rupert Taylor , Noise , Penguin Books , Second Edition , 1975 .

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

คู่มือการใช้ต้นแบบ

รายละเอียดต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน

- เป็นเครื่องตรวจสอบการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน โดยใช้คลื่นความถี่ต่ำ 150 Hz ในการตรวจสอบ
- เป็นเครื่องที่มีตัวจับชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบอยู่บนตัวเครื่อง สามารถใช้งานโดยใช้ตัวจับชิ้นงานนี้จับชิ้นงานได้ โดยไม่ทำให้ตัวเรือนแหวนเป็นรอยขีดข่วน
- เป็นเครื่องที่ง่ายต่อการใช้ และสามารถให้การตรวจสอบอย่างถูกต้อง โดยจะมี
  LED สีแดงไม่ติด หมายถึง ชิ้นงานนั้นฝังพลอยหรือเพชรได้ดีไม่ต้องทำการแก้ไข
  LED สีแดงติด หมายถึง ชิ้นงานนั้นฝังพลอยหรือเพชรไม่แน่น ต้องทำการแก้ไขต่อไป
- เป็นเครื่องที่ใช้ไฟฟ้า 220 โวลท์ 750 mA. 50 Hz. และใช้กำลังไฟ 165 วัตต์ และใช้ฟิวส์ 2 A.
- เป็นเครื่องตรวจสอบการฝังพลอยหรือเพชรที่ให้ความเที่ยงตรงสูง และในอนาคตโรงงานผลิตจิวเวลรี่จะให้การยอมรับและนำมาใช้

ลำดับขั้นตอนการทำงานของต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน ดังรูป ก. 1

1. ป้อนไฟ 220 V. 50 Hz ให้กับชุดกำเนิดความถี่
2. ชุดกำเนิดความถี่ จะทำการส่งความถี่ในช่วงความถี่ต่ำคือ 150 Hz ไปให้กับอุปกรณ์กำเนิดความถี่
3. อุปกรณ์กำเนิดความถี่ จะเกิดการสั่นสะเทือน และส่งต่อไปยังแหวนวงที่จับยึดอยู่บนอุปกรณ์กำเนิดความถี่
4. แหวนเมื่อได้รับการสั่นสะเทือน จะเกิดความถี่ขึ้นมาค่า ๆ หนึ่ง
5. ใช้ อุปกรณ์ตรวจจับความถี่ตรวจจับความถี่ที่เกิดขึ้นจากแหวน
6. นำสัญญาณที่ตรวจจับได้จากแหวน มาทำการกรองความถี่ช่วงที่ไม่ต้องการออก ให้เหลือแต่ความถี่ช่วงที่ต้องการ โดยวงจรกรองความถี่ชนิด Band Pass Filter
7. สัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณที่อ่อนมาก จึงต้องส่งไปยังวงจรขยายสัญญาณ เพื่อขยายสัญญาณให้อยู่ในระดับที่ต้องการ คือ 5 V.p-p

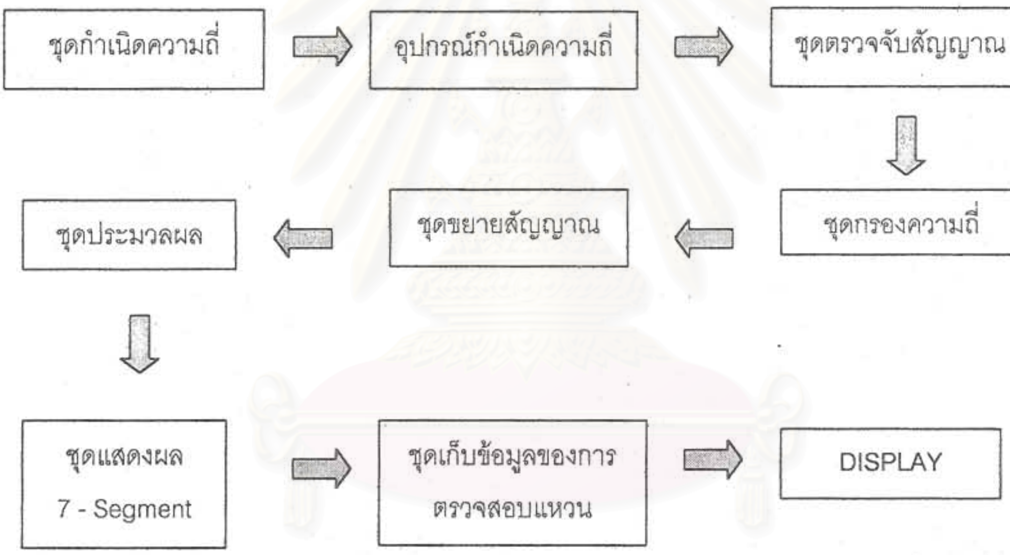
ศูนย์หนังสือคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. นำสัญญาณที่ขยายแล้ว มาเข้าชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อเปรียบเทียบสัญญาณว่ามีสัญญาณที่สูงกว่าสัญญาณอ้างอิงปะปนมาหรือไม่

   กรณี มี ก็จะส่งสัญญาณไปโชว์ที่ชุดแสดงผลโดย LED สีแดงติด แสดงว่า " แหวนหลวม "

   กรณี ไม่มี ก็จะส่งสัญญาณไปโชว์ที่ชุดแสดงผลโดย LED สีแดงไม่ติด แสดงว่า " แหวนไม่หลวม "

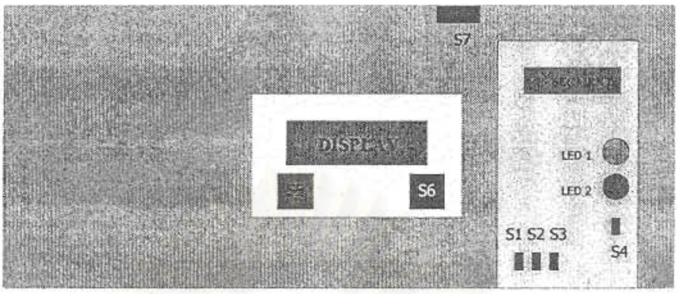
9. ชุดแสดงผลจะรับสัญญาณมาจากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วแสดงผลผ่าน หลอด LED หรือ จอ LCD
10. ดูผลที่หลอด LED หรือ จอ LCD ว่าหลวมหรือไม่ และดูที่แหวนว่าอัญมณีเม็ดไหนหลวมบ้าง (กรณี พลอยหลวมมาก)
11. บันทึกผลการตรวจสอบ



รูปที่ ก .1 ลำดับการทำงานของต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน

ขั้นตอนการใช้ต้นแบบ

1. กดสวิตซ์ Power ซึ่งอยู่ข้างกล่องด้านในทางขวาเพื่อจ่ายไฟให้กับต้นแบบ ซึ่งด้านหน้าต้นแบบมีแผงควบคุมดังรูปที่ ก. 2



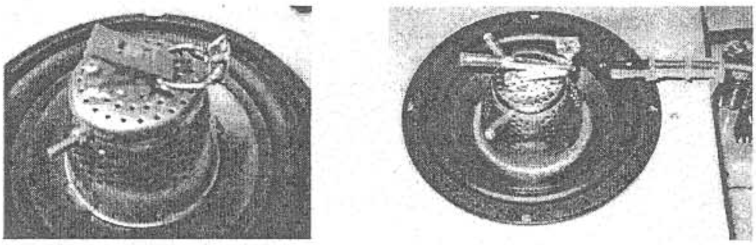
รูปที่ ก. 2 แผงควบคุมด้านหน้าของต้นแบบ

2 ปิดฝา ชุดกำเนิดความถี่จะทำการส่งความถี่ในช่วงความถี่ต่ำคือ 150 Hz ไปให้กับอุปกรณ์กำเนิดความถี่อุปกรณ์กำเนิดความถี่ จะเกิดการสั่นสะเทือน และส่งต่อไปยังแหวนวงที่จับยึดอยู่บนอุปกรณ์กำเนิดความถี่ แหวนเมื่อได้รับการสั่นสะเทือน จะเกิดความถี่ขึ้นมาค่า ๆ หนึ่ง อุปกรณ์ตรวจจับความถี่ตรวจจับความถี่ที่เกิดขึ้นจากแหวน แล้วขยายสัญญาณ ส่งต่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลโชว์ความถี่ที่ตรวจจับได้ที่ 7 – Segment

3 กดสวิตซ์ S1 เพื่อเลือก Mode ตั้งความถี่อ้างอิงเพื่อใช้เป็นความถี่มาตรฐานในการเปรียบเทียบ เช่น ต้องการ 150 Hz. ก็กดปุ่ม S2 เพื่อเพิ่มความถี่ไปจนถึง 150 Hz. ในช่วงนี้ LED สีเขียวติดสว่าง ในขณะนี้เครื่องจะยังไม่เริ่มวัดความถี่เพราะอยู่ในช่วงตั้งค่าความถี่ หลังจากตั้งความถี่เรียบร้อยแล้วก็กดสวิตซ์ S1 เลือก Mode การทำงานเพื่อออกจากขั้นตอนการตั้งค่าความถี่ LED สีเขียวดับเครื่องจะเริ่มทำงาน ในการตั้งค่าความถี่ให้ดูจากความถี่ที่เกิดขึ้นในข้อ 2 (ดูที่ 7 – Segment) นั้นมีค่าสูงสุดเท่าไร ก็นำค่านั้นมาตั้งเป็นค่าความถี่อ้างอิง

4 เปิดฝาต้นแบบขึ้น Display จะแสดงสถานะว่า “RING CHECK, OPEN BOX” จากนั้นนำแหวนที่จะตรวจสอบมาจับยึดด้วยที่จับยึดแหวน ดังรูป ก. 3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ก. 3 การจับยึดแหวนด้วยที่จับยึดแหวน

5 ทำการปิดฝา S7 = 1 Display จะแสดงสถานะว่า “RING CHECK, STAND BY” ให้กด S6 Display จะแสดงสถานะว่า “RING CHECK, START” เครื่องจะเริ่มเช็คว่าอัญมณีหลวมหรือไม่ ใน 5 วินาทีตั้งแต่กด S6 เพราะว่ากล่องดำรับสัญญาณมาจ”ากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงผลที่ LCD เป็นเวลา 5 วินาทีว่า “RING CHECK, GOOD” แสดงว่าแหวนไม่หลวมใน กรณีที่แหวนหลวมจะแสดงว่า “RING CHECK, BAD” แทน และต่อมา Display จะแสดงว่า “BAD(000), GOOD(000)” ซึ่งเป็นการแสดงจำนวนแหวนหลวมและไม่หลวม เช่น ถ้ามีการตรวจพบแหวนหลวมจำนวน 1 วง แล้วเก็บค่านั้นในหน่วยความจำ และDisplay จะเป็น “BAD (001), GOOD(000)” แล้วข้อความนี้จะแสดงไปจนกระทั่งเปิดฝากล่อง S7 = 0 และจะหน่วงเวลาไปอีก 3 วินาที หลังจากนั้น Display จะแสดงว่า “RING CHECK, OPEN BOX”

6 ในขณะตรวจสอบให้ดูอัญมณีที่หัวแหวน เพื่อดูว่าเม็ดไหนหลวมบ้าง กรณีที่หลวมมาก ๆ จะสามารถมองเห็นด้วยตาได้

7 ในการตรวจสอบแหวนวงต่อไป ให้ทำตามขั้นตอนที่ 4 และ 5 และเมื่อครบ 200 วง ให้ Calibrate เครื่อง 1 ครั้งตามขั้นตอนที่ 3 โดยถ้าป้อนความถี่เท่าใดไปยังแหวน ค่าความถี่ปรากฏที่ 7-Segment นั้นจะต้องมีค่าเท่ากัน

8 กรณีต้องการ Reset ข้อมูลของจำนวนแหวนที่ตรวจสอบไปแล้วก็กด S5

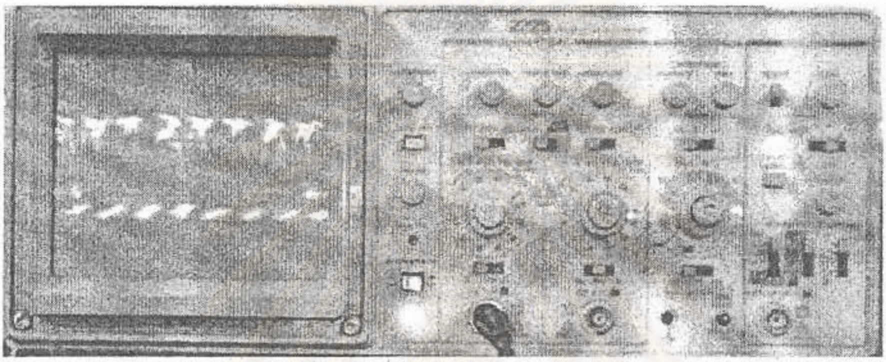
หมายเหตุ

1. กรณีแหวนนั้นเป็นแหวนที่มีอัญมณีประดับรอบวงจะต้องตรวจ 4 ครั้ง คือ ใช้วิธีจับที่ตัวเรือนครั้งแรก แล้วตรวจสอบ $\frac{1}{4}$ วงก่อน จากนั้นก็จับด้านตรงกันข้ามจุดเดิม แล้วตรวจสอบอีก $\frac{1}{4}$ วง จากนั้นก็จับอีก 2 ด้านที่เหลือและทำการตรวจสอบเหมือนเดิม
2. ใช้กับแหวนที่ตัวเรือนมีความกว้าง ไม่เกิน 4 มิลลิเมตร
3. ใช้ตรวจสอบสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวนเท่านั้น

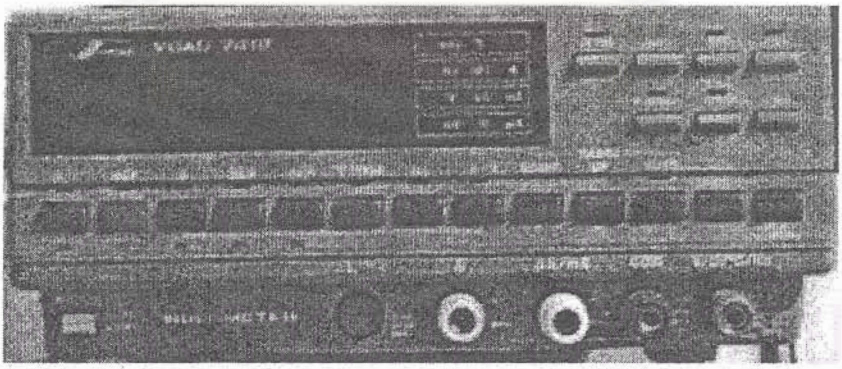
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

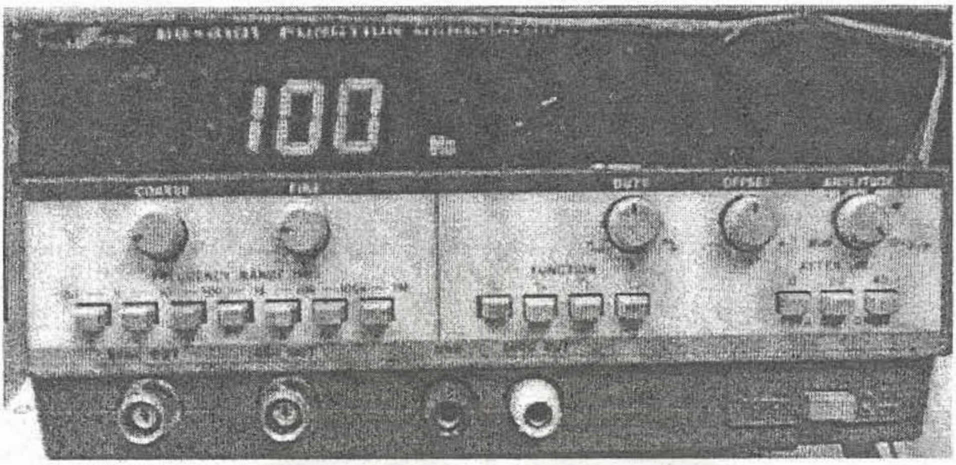
อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่จำเป็นในการสร้างต้นแบบ



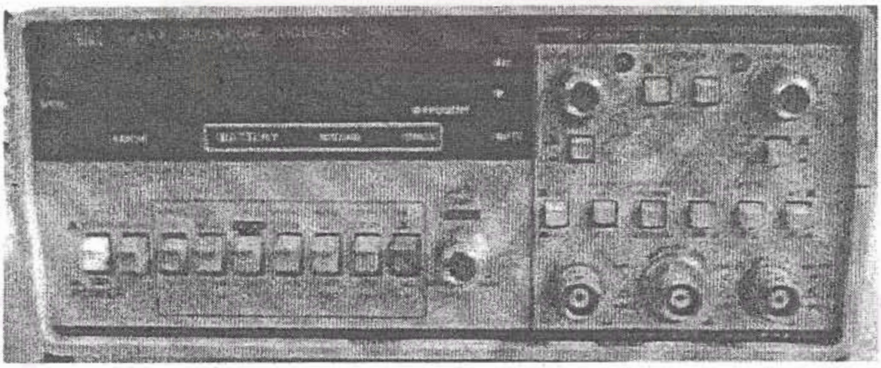
รูป ข.1 OSCILLOSCOPE



รูป ข.2 DIGITAL MULTIMETER

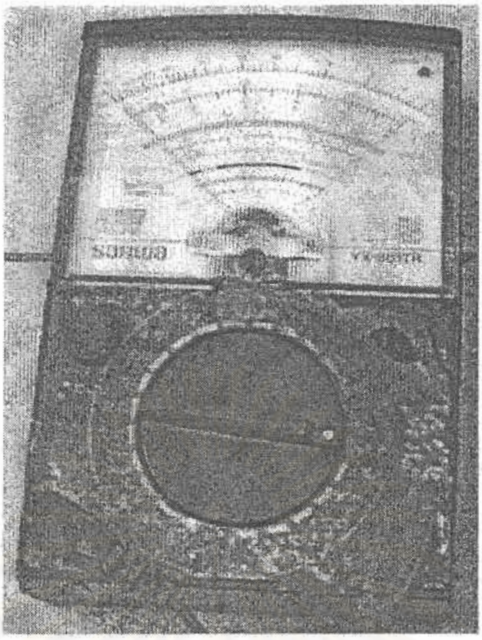


รูป ข.3 FREQUENCY GENERATOR



รูป ข.4 FREQUENCY COUNTER

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ข.5 MULTIMETER

- **POWER SUPPLY**
- **PHOTOBOARD**
- **หัวแร้ง**
- **ตัวต้านทาน , ตัวเก็บประจุ , IC**
- **ที่ดูดตะกั่ว**
- **ตะกั่วบัดกรี**
- **สายนำสัญญาณ**
- **สายไฟ**
- **ไขควง**
- **ไม้ MDF หนา 16 มิลลิเมตร 1 แผ่น**
- **เลื่อยตัดไม้**
- **สกรู**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

งานวิจัยนี้ได้นำไปเผยแพร่ในงานการประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ในช่วงวันที่ 25 - 26 ตุลาคม พ.ศ. 2544 ที่จังหวัดอุบลราชธานี ในการบรรยายครั้งนี้มีผู้คนให้ความสนใจเป็นจำนวนมาก และได้มีคำถามจากผู้ร่วมฟังบรรยายหลายคำถามดังนี้

1. อุปกรณ์จับยึดตัวเรือนแหวนต้องจับแน่นและมั่นคงหรือไม่

   ตอบ ต้องจับแน่นและมั่นคง

2. ทำไมในการตรวจสอบไม่ใช้ Ultra Sonic

   ตอบ เพราะว่า Ultra Sonic ใช้ช่วงความถี่ประมาณ 40 kHz เป็นความถี่ที่สูงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ ซึ่งในการตรวจสอบควรใช้ช่วงความถี่ต่ำ

3. ข้อจำกัดในการตรวจสอบขนาดของอัญมณีเล็กที่สุดเท่าไร

   ตอบ ข้อจำกัดของต้นแบบ 9 ตอนนี้สามารถตรวจสอบอัญมณีที่มีขนาดเล็ก ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร

4. ต้นแบบสามารถตรวจสอบเครื่องประดับชนิดอื่นได้หรือไม่

   ตอบ ไม่ได้ครับ ตอนนี้ต้นแบบที่สร้างขึ้นสามารถตรวจสอบได้เฉพาะแหวนเท่านั้น ในอนาคตมีความเป็นไปได้ที่จะตรวจสอบเครื่องประดับชนิดอื่นได้

5. เครื่องนี้มีการ CALIBRATE ก่อนการใช้งานอย่างไร

   ตอบ 1. เปิดเครื่องไว้ประมาณ 5 นาที

   2. ป้อนความถี่ให้กับต้นแบบ 150 Hz โดยทำการตรวจสอบแหวนที่ฝังแน่น หรือไม่ต้องใส่แหวนในต้นแบบ

   3. ทำการตรวจจับความถี่ที่เกิดขึ้นที่แหวนหรือในต้นแบบ (กรณีไม่ใส่แหวน) โดยที่ความถี่ที่ตรวจจับได้นั้นจะต้องมีความถี่ที่เท่ากับ 150 Hz $\pm$1Hz คือช่วง 149 – 151 Hz แสดงว่าต้นแบบพร้อมใช้งาน ถ้าอยู่นอกช่วงความถี่ดังกล่าวแสดงว่าต้นแบบมีความผิดพลาดต้องมีการปรับแต่งใหม่

6. ความผิดพลาดของการเปรียบเทียบหรือตรวจจับความถี่เป็นอย่างไร

   ตอบ มีความผิดพลาดเพียง 1 Hz เท่านั้น

7. ในการใช้ต้นแบบตรวจสอบสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวนนั้นทำให้เกิดรอยบนตัวเรือนหรือไม่

ตอบ ในการตรวจสอบทำให้ไม่เกิดรอยบนตัวเรือนแหวน เนื่องจากตรงปากคีบที่ใช้จับยึดแหวนนั้นได้การรองด้วยวัสดุชนิดอ่อนที่จะช่วยทำให้ไม่เกิดรอยบนตัวเรือนแหวน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน
PROTOTYPE FOR INSPECTION OF JEWELRY SETTING ON A RING

จิตรา รู้กิจการพานิช
พิพัฒน์ ไพศาลภาณุมาศ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพ ฯ 10330
E-mail : pipatph@yahoo.com 01-9169945

บทคัดย่อ

ปัญหาที่มักพบในอุตสาหกรรมเครื่องประดับเกี่ยวกับการตรวจสอบคุณภาพ คือ การเกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบโดยพนักงานตรวจสอบคุณภาพสูง วิธีการตรวจสอบใช้วิธีการเคาะตัวเรือนแหวนแล้วฟังเสียง ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบคุณภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ 2 ครั้ง ซึ่งทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบสูง เนื่องจากเครื่องประดับมีมูลค่าสูง และคุณภาพมีผลต่อความพึงพอใจและมีคุณค่าทางจิตใจ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างต้นแบบสำหรับการตรวจสอบสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน โดยการนำทฤษฎีต่าง ๆ ได้แก่ คลื่น ความถี่ เสียง ไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น มาประยุกต์ในการออกแบบและสร้างต้นแบบ โดยมีหลักการทำงานของต้นแบบดังนี้ เริ่มต้นจากชุดกำเนิดความถี่จะส่งความถี่ใช้งานที่เหมาะสมไปยังอุปกรณ์กำเนิดความถี่และส่งต่อไปที่ตัวเรือนแหวน โดยในการศึกษาครั้งนี้ความถี่ใช้งานที่เหมาะสมกับขีดความสามารถของอุปกรณ์อยู่ที่ 150 Hz เมื่อแหวนได้รับความถี่นั้นก็จะสั่นและเกิดความถี่ขึ้นมา ต่อจากนั้นใช้อุปกรณ์ตรวจจับความถี่ตรวจจับความถี่ที่เกิดขึ้นที่แหวนส่งต่อไปยังชุดกรองความถี่ เพื่อทำการกรองความถี่ที่ไม่ต้องการออก ส่งต่อไปยังชุดขยายสัญญาณเพื่อขยายสัญญาณให้สูงขึ้น ส่งต่อไปยังชุดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อประมวลผล และส่งผลนั้นไปแสดงผลที่ชุดแสดงผล เพื่อแสดงว่าแหวนหลวมหรือไม่หลวม ในการสร้างแต่ละส่วนประกอบมีการทดลองเพื่อหาค่าความต้านทาน ค่าความเก็บประจุ อัตราขยายของชุดขยายสัญญาณช่วงความถี่ใช้งานที่เหมาะสม

การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดสอบต้นแบบที่สร้างขึ้น โดยทำการทดสอบต้นแบบที่ห้องปฏิบัติการและที่โรงงานตัวอย่าง ได้ทำการทดสอบกับแหวนที่มีรูปแบบแตกต่างกันจำนวน 9 รูปแบบ และทำการทดสอบรูปแบบละ 10 ครั้ง ผลการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดของการตรวจสอบระหว่างวิธีการเดิมกับวิธีการใหม่ พบว่าการใช้ต้นแบบนั้นมีความผิดพลาดน้อยกว่าและการตรวจสอบโดยใช้ต้นแบบนี้สามารถตรวจสอบได้ทั้ง 9 รูปแบบให้ผลการตรวจสอบที่ถูกต้องและสามารถใช้งานได้จริงในการตรวจสอบสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน

คำหลัก : ต้นแบบ, การตรวจสอบ, การฝังอัญมณี

ผลงานนี้ ได้รับเงินทุนสนับสนุนจาก " กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช "

1. บทนำ

อุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับเป็นอุตสาหกรรมส่งออกที่ทำรายได้เข้าประเทศไทยในแต่ละปีมีมูลค่าสูงมาก แม้ว่าเศรษฐกิจโลกจะเกิดการชะลอตัว โดยเฉพาะอย่างยิ่งภูมิภาคแถบเอเชีย ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่ได้รับผลกระทบอย่างมากในด้านเศรษฐกิจ และภาคการผลิตจนทำให้ธุรกิจเกิดการชะลอตัว แต่ความต้องการผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องประดับยังคงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี

ในการผลิตนั้นเรื่องสำคัญ นอกจากแรงงานคน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือต้นทุน , คุณภาพ และการส่งมอบ ซึ่งปัจจัยทั้งสามนี้สามารถควบคุมได้โดยใช้วัตถุดิบที่มีคุณภาพ ผลิตครั้งละมาก ๆ และทำการวางแผนการผลิตที่ดี แต่ในอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับนั้น สิ่งจำเป็นที่จะขาดไม่ได้เลย คือ คุณภาพ 100 เปอร์เซ็นต์ เพราะมีคุณค่าทางด้านจิตใจ ซึ่งคุณภาพนี้ก็ย่อมได้มาจากกระบวนการผลิตที่ดีแต่ก็ไม่สามารถการันตีได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ออกมามีของดี 100 เปอร์เซ็นต์ จึงจำเป็นต้องมีการตรวจสอบที่ดีก่อนถึงมือลูกค้า

ดังนั้นการตรวจสอบแบบ 100% เป็นวิธีที่จำเป็นอย่างมากในอุตสาหกรรมนี้ เพราะต้องตรวจสอบทุก ๆ ชิ้นเพื่อหาของเสีย แต่กระนั้นการใช้วิธีนี้ก็ไม่มั่นใจว่าจะได้ผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์ เพราะวิธีนี้จะทำให้ผู้ตรวจสอบเกิดความเบื่อหน่าย และเป็นเหตุให้เกิดความเมื่อยล้า และความตั้งใจ ก็ลดลงเรื่อย ๆ ตามลำดับ ไม่มีผู้ตรวจสอบคนไหนที่สามารถจะหาของเสียได้ทั้งหมด ถ้าต้องการให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่สมบูรณ์จริง ๆ ก็อาจต้องทำการตรวจสอบถึง 200% หรือใช้เครื่องมือตรวจสอบแบบอัตโนมัติ (Automatic Inspection Equipments) ด้วยเหตุนี้เองจึงได้ทำการสร้าง **ต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน** ขึ้นมา เพื่อลดเวลาและค่าใช้จ่าย และใช้แก้ปัญหาดังต่อไปนี้

1. MAN ลดปัญหาการตรวจสอบผิดพลาดและตรวจไม่พบของเสียของพนักงานตรวจสอบคุณภาพ
2. PRODUCT การตรวจสอบไม่ได้เมื่ออัญมณีมีขนาดเล็กมาก
3. SKILL ลดความจำเป็นที่ต้องใช้ผู้ชำนาญในการตรวจสอบ
4. CUSTOMER ลดการเคลมของแหวนที่ไม่ได้คุณภาพและสร้างความพึงพอใจจากลูกค้า
5. METHOD แก้ปัญหาวิธีการตรวจสอบคุณภาพ 200 % ซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายสูง

2. ทฤษฎีในการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานที่เกี่ยวกับการสร้างเครื่องมือตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน เพื่อตรวจสอบว่าอัญมณีบนตัวเรือนแหวนนั้นหลวมหรือไม่ ซึ่งในการวิจัยนี้ได้นำทฤษฎีมาประกอบการสร้าง ดังต่อไปนี้

2.1 วงจรขยายและวงจรเปรียบเทียบแรงดัน

วงจรขยายทำหน้าที่ขยายสัญญาณอินพุทที่ป้อนผ่าน เป็นสัญญาณเอาท์พุทที่มีรูปร่างโตขึ้น โดยที่ความถี่ยังคงเดิม วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Voltage Comparators) ในการเปรียบเทียบค่าแรงดัน โดยมากจะใช้ออปแอมป์มาเป็นตัวแสดงผลด้วยวิธีการใช้แรงดันอ้างอิง (Voltage Reference) นั้นมาป้อนเข้าที่อินพุท แล้วทำให้เกิดผลต่างขึ้นที่ขั้วอินพุททั้งสอง จากนั้นก็จะได้แรงดันเอาท์พุทเกิดขึ้นมา ก็จะเป็นตัวแสดงให้แรงดันอินพุทที่ไม่ทราบค่านั้นจะมีค่ามากหรือน้อยกว่าแรงดันอ้างอิง (Vref)

2.2 วงจรกรองความถี่ (Filter)

วงจรกรองความถี่ หมายถึง วงจรที่สามารถเลือกความถี่ในช่วงกว้าง ๆ ได้ ซึ่งแน่นอนความถี่ในช่วงที่เราไม่ต้องการเมื่อผ่านวงจรกรองความถี่จะถูกตัดทิ้งไป วงจรกรองความถี่จะประกอบด้วยตัวต้านทาน (R) ตัวเหนี่ยวนำ (L) , และตัวเก็บประจุ (C) ประกอบเข้าด้วยกันเรียกรวมว่า วงจรฟิลเตอร์แบบพาสซีฟ (Passive-filter) ส่วนวงจรฟิลเตอร์แบบแอคทีฟ (Active filter)

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบ่งชนิดหรือหน้าที่ของหน่วยความจำออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data memory) หน่วยความจำโปรแกรมจะใช้สำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับหน่วยความจำข้อมูลจะใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือค่าตัวแปรต่าง ๆ จากการทำงานของโปรแกรม ซึ่งใน MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำในส่วนนี้อยู่จำนวนหนึ่ง แต่อาจมีขนาดมากน้อยต่างกันไปในแต่ละเบอร์

2.4 ทฤษฎีการควบคุมคุณภาพ

การทำการตรวจสอบและการทดสอบการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นมีวิธีหลัก ๆ ด้วยกัน 3 วิธี คือ

- วิธีตรวจสอบทุกชิ้น (Screening)
- วิธีสุ่มตัวอย่างจากแต่ละรุ่น (Lot by lot inspection or sampling)
- วิธีตรวจสอบตามขบวนการผลิต (Process inspection)

2.5 ทฤษฎีการศึกษาการทำงาน

ในกระบวนการผลิตใด ๆ ก็ตามย่อมมีการจัดวางเครื่องจักร อุปกรณ์ คนและวัสดุให้สัมพันธ์กัน เพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพสูงสุด ถ้าการจัดวางสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ไม่สัมพันธ์กันย่อมทำให้การทำงานล่าช้า สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและผลผลิตต่ำ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องวิเคราะห์อยู่เสมอว่ากระบวนการผลิตหรือวิธีการทำงานที่เป็นอยู่ในปัจจุบันสามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้หรือไม่ การที่จะวิเคราะห์ว่ากระบวนการผลิตหรือวิธีทำงานนั้นได้จัดไว้ดีหรือไม่ จำเป็นต้องอาศัยข้อมูล การจดบันทึกข้อมูลจึงเป็นสิ่งจำเป็น สิ่งที่ช่วยในการจดบันทึกข้อมูลได้แก่แผนภูมิการเคลื่อนที่ แผนภาพการเคลื่อนที่ แผนภาพเส้นด้าย เป็นต้น

2.6 เสียงและการได้ยิน (Noise and Hearing)

เสียงเป็นพลังงานชนิดหนึ่งที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของแหล่งกำเนิดเสียง และการเปลี่ยนแปลงของความดันที่เกิดขึ้นในตัวกลาง (Media) ใดตัวกลางหนึ่ง เช่น อากาศ น้ำ ฯลฯ เสียงนั้นอาจจะเกิดมาจากการพูดของตน การทำงานของเครื่องจักรกล การสั่นสะเทือน การเสียดสี การกระทบกันของวัตถุ และการสะท้อนของเสียงเองก็ได้

พิสัยการได้ยินเสียงของหูมนุษย์จะอยู่ระหว่างช่วงความถี่เสียง 20-20,000 เฮิรตซ์ ปกติหูของคนจะมีความไวต่อเสียงที่มีความถี่ต่าง ๆ แตกต่างกันไปไม่เท่ากัน โดยหูคนเราจะมีความไวน้อยต่อเสียงที่มีความถี่ต่ำกว่า 1,000 เฮิรตซ์ และหูคนจะมีความไวมากต่อเสียงที่มีความถี่สูง ๆ ดังนั้นมีความเข้มเสียง (Intensity) เท่ากัน เสียงที่มีความถี่สูงหรือเสียงแหลม หรือกล่าวได้อีกอย่างว่า เสียงที่มีความถี่ต่ำจะต้องมีความเข้มของเสียงมากจึงจะดังเท่ากับเสียงที่มีความถี่สูงกว่า

สภาวะของเสียงนั้นจะมีผลกระทบทั้งในทางที่เพิ่มและลดประสิทธิภาพในการทำงาน รวมทั้งมีผลต่อความปลอดภัยและสุขภาพอนามัยของผู้ได้ยินเสียงเองด้วย มันจะทำให้เกิดอันตรายต่อระบบการได้ยิน ทำให้อวัยวะต่าง ๆ ของร่างกายมนุษย์ทำงานผิดปกติ และเป็นอันตรายต่อความปลอดภัยในการทำงานของมนุษย์

3. แนวคิดในการวิจัย

เริ่มมาจากทฤษฎีของ เสียงได้กล่าวว่า " เสียงเกิดจากวัตถุ 2 ชิ้นกระทบกัน" ดังนั้นถ้าป้อนความถี่ค่าหนึ่งให้แหวน แหวนนั้นจะสั่นตามและจะมีพฤติกรรมดังนี้

กรณีที่ 1 แหวนหลวม จะมีเสียงเกิดขึ้นมาใหม่ และแทรกซ้อนกับเสียงที่เกิดจากความถี่ที่ป้อนเข้าไป

กรณีที่ 2 แหวนไม่หลวม เสียงที่ได้จะมีเสียงเดียว คือ เสียงที่เกิดจากความถี่ที่ป้อนเข้าไปจะไม่มีเสียงแทรกเกิดขึ้นมาใหม่

4. ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย

4.1 ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล

ดำเนินการติดต่อโรงงานขอความร่วมมือในการเข้าไปเก็บข้อมูลเพื่อทำวิจัย

4.2 วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อค้นหาปัญหา

นำข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมข้อมูลมาไปวิเคราะห์เพื่อหาปัญหา พบว่าเกิดปัญหาในส่วนของการตรวจสอบคุณภาพ เนื่องจากตรวจสอบผิดพลาดจากคนจึงเป็นผลทำให้เกิดการคืนของแหวนที่ไม่ได้คุณภาพเป็นจำนวนมาก ทำให้บริษัทสูญเสียความน่าเชื่อถือ ด้วยเหตุนี้จึงได้นำปัญหานี้มาเป็นหัวข้อในการวิจัย เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

4.3 ศึกษาทฤษฎีเพื่อนำมาใช้วิเคราะห์แก้ไขปัญหาและสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

หลังจากที่ทราบปัญหาจึงได้ทำการศึกษาทฤษฎีและสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้น รวบรวมและนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหา

4.4 สร้างต้นแบบ (Prototype) สำหรับช่วยในงานตรวจสอบคุณภาพของแหวน

จัดเตรียมเครื่องมือวัด จัดหาอุปกรณ์ ออกแบบและสร้างส่วนประกอบแต่ละส่วนของต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน หลังจากนั้นทำการประกอบส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกันโดยให้มีลำดับการทำงานตามที่ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 1 และทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ เช่น หาค่าความถี่ใช้งาน โดยวิธีการปรับค่าความถี่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตั้งแต่ 50 Hz. ถึง 1,000 Hz. โดยมีช่วงห่างของความถี่ คือ 50 Hz. แล้วป้อนให้อุปกรณ์กำเนิดความถี่ กำเนิดความถี่ขึ้นมาแล้วส่งไปยังตัวเรือนแหวน เมื่อแหวนสั่นก็จะเกิดความถี่ขึ้นมาที่ความถี่เดิมกรณีไม่หลวม และเกิดความถี่ค่าใหม่ขึ้นมากรณีแหวนหลวม หลังจากนั้นก็ใช้ไมโครโฟนตรวจจับสัญญาณดังกล่าวและวัดสัญญาณโดยออสซิลโลสโคป จากนั้นนำค่าของระดับสัญญาณที่วัดได้บันทึกผลลงในตาราง ต่อมาก็พิจารณาว่าที่ความถี่ใดให้ค่าของระดับสัญญาณที่มากที่สุด ก็จะกำหนดค่าความถี่นั้นเป็นความถี่ใช้งาน และรายละเอียดต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน มีดังนี้

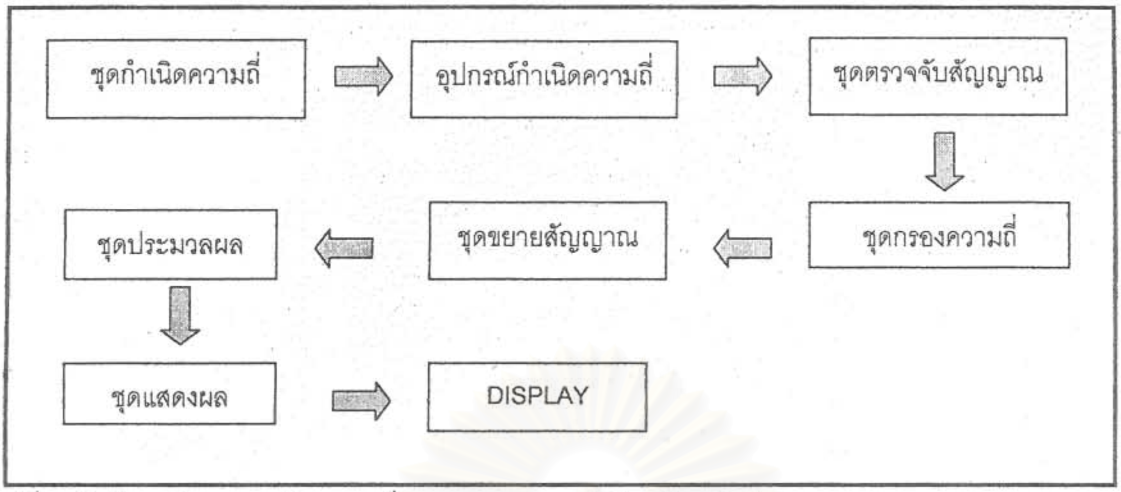
- เป็นเครื่องตรวจสอบการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน โดยใช้คลื่นความถี่ต่ำ 150 Hz ในการตรวจสอบ
- เป็นเครื่องที่มีตัวจับชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบอยู่บนตัวเครื่อง สามารถใช้งานโดยใช้ตัวจับชิ้นงานนี้จับชิ้นงานได้ โดยไม่ทำให้ตัวเรือนแหวนเป็นรอยขีดข่วน
- เป็นเครื่องที่ง่ายต่อการใช้ และสามารถให้การตรวจสอบอย่างถูกต้อง โดยจะมี
  สัญญาณไฟสีเขียว หมายถึง ชิ้นงานนั้นฝังอัญมณีแน่น ไม่ต้องทำการแก้ไข
  สัญญาณไฟสีแดง หมายถึง ชิ้นงานนั้นฝังอัญมณีไม่แน่น จะต้องทำการแก้ไข
- เป็นเครื่องที่ใช้ไฟฟ้า 220 โวลท์ 750 mA. 50 Hz. และใช้กำลังไฟ 165 วัตต์ และใช้ฟิวส์ 2 A.
- เป็นเครื่องตรวจสอบการฝังอัญมณีที่ให้ความเที่ยงตรงสูง และในอนาคตจะมีการใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานผลิตอัญมณีและเครื่องประดับ

ลำดับขั้นตอนการทำงานของต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน มีดังนี้

1. ป้อนไฟ 220 V. 50 Hz ให้กับชุดกำเนิดความถี่
2. ชุดกำเนิดความถี่ จะทำการส่งความถี่ในช่วงความถี่ต่ำคือ 150 Hz ไปให้กับอุปกรณ์กำเนิดความถี่
3. อุปกรณ์กำเนิดความถี่ จะเกิดการสั่นสะเทือน และส่งต่อไปยังแหวนวงที่จับยึดอยู่บนอุปกรณ์กำเนิดความถี่
4. แหวนเมื่อได้รับการสั่นสะเทือน จะเกิดความถี่ขึ้นมาค่า ๆ หนึ่ง
5. ใช้ อุปกรณ์ตรวจจับความถี่ตรวจจับความถี่ที่เกิดขึ้นจากแหวน
6. นำสัญญาณที่ตรวจจับได้จากแหวน มาทำการกรองความถี่ช่วงที่ไม่ต้องการออก ให้เหลือแต่ความถี่ช่วงที่ต้องการ โดยวงจรกรองความถี่ชนิด Band pass filter
7. สัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณที่อ่อนมาก จึงต้องส่งไปยังวงจรขยายสัญญาณ เพื่อขยายสัญญาณให้อยู่ในระดับที่ต้องการ คือ 5 V.p-p
8. นำสัญญาณที่ขยายแล้ว มาเข้าชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อแยกสัญญาณว่ามีสัญญาณที่มากกว่าสัญญาณอ้างอิงปะปนมาหรือไม่

   กรณี มี ก็จะส่งสัญญาณไปโชว์ที่ชุดแสดงผลว่า " แหวนหลวม "
   กรณี ไม่มี ก็จะส่งสัญญาณไปโชว์ที่ชุดแสดงผลว่า " แหวนไม่หลวม "
9. ชุดแสดงผลจะรับสัญญาณมาจากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วแสดงผลผ่าน หลอด LED หรือ จอ LCD
10. ดูผลที่จอ LCD ว่าหลวมหรือไม่ และดูที่แหวนว่าอัญมณีเม็ดไหนหลวมบ้าง พร้อมกันนี้จอ LCD ได้แสดงค่าของจำนวนแหวนที่ตรวจแล้วหลวมกี่วงและไม่หลวมกี่วง
11. บันทึกผลการตรวจสอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 ลำดับการทำงานของต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน

4.5 ทดสอบการทำงานของต้นแบบ

หลังจากที่สร้างต้นแบบขึ้นมาแล้ว ก่อนนำไปใช้กับงานจริง จะต้องมีการนำต้นแบบเครื่องนี้มาทำการทดสอบก่อน ดูฟังก์ชั่นการทำงานต่าง ๆ ว่าสามารถใช้งานได้จริงหรือไม่ พร้อมระบุขีดความสามารถ เงื่อนไขต่าง ๆ ที่ต้องคำนึง และจัดทำคู่มือในการใช้เครื่องมือ

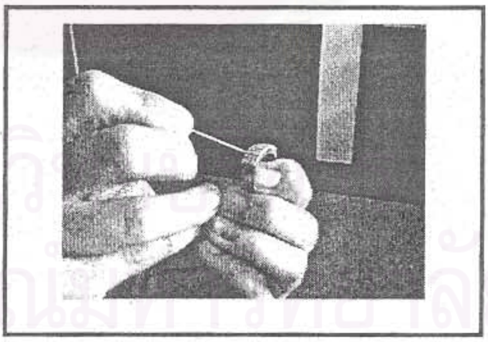
4.6 การนำไปใช้ในงานจริง ประเมินผล (Implementation & Evaluation)

หลังจากที่ทดสอบการทำงานของเครื่องมือต้นแบบผ่านแล้ว ก็นำเครื่องนี้ไปใช้กับงานจริง และเก็บบันทึกข้อมูลมาตรวจสอบ หลังจากนั้นทำการประเมินผลการทำงานของเครื่องมือ

4.7 สรุปผลการวิจัย

จากการนำต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน ไปใช้งานจริงผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบวิธีการเดิมดังรูปที่ 2 และ 3 กับวิธีการใหม่ดังรูปที่ 4 ได้ผลดังตารางที่ 1

รูปที่ 2 การเคาะแหวน และใช้หูฟังเสียง เพื่อดูว่าฝังอัญมณีหลวมหรือไม่



รูปที่ 3 การใช้เข็มทิ่มอัญมณีเพื่อ ดูว่าอัญมณีเม็ดไหนหลวม

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4 การตรวจโดยใช้ต้นแบบเครื่องตรวจสภาพการฝังอัญมณีบนตัวเรือนแหวน

ตารางที่ 1 ผลเปรียบเทียบการตรวจสอบวิธีการเดิมกับวิธีการใหม่

ข้อที่	ผลการเปรียบเทียบการตรวจสอบวิธีการเดิมกับวิธีการใหม่	
	วิธีการเดิม (ใช้การฟังเสียง)	วิธีการใหม่ (ใช้ต้นแบบ)
1	ใช้วิธีการเคาะที่ตัวเรือนแหวนแล้วฟังเสียงโดยใช้หูคนฟัง ทำให้เกิด Human Error	ใช้ต้นแบบตรวจสอบนั้นให้ความถูกต้อง 100% สามารถลดปัญหา Human Error ลงได้
2	จำเป็นต้องใช้พนักงานตรวจสอบที่มีความชำนาญ	ไม่จำเป็นต้องใช้พนักงานตรวจสอบที่มีความชำนาญ
3	ทำการตรวจสอบ 100 เปอร์เซ็นต์ 2 รอบ	ทำการตรวจสอบ 100 เปอร์เซ็นต์รอบแรก รอบที่สองใช้การสุ่มตรวจ
4	ใช้เข็มทิ่มอัญมณีเพื่อดูว่าเม็ดไหนหลวม (ทิ่มทุกเม็ด)	ใช้สายตาดูก็ทราบว่าเม็ดไหนหลวมบ้าง

สรุปผลงานวิจัยนี้ก่อให้เกิดประโยชน์

1. เกิดความถูกต้อง เที่ยงตรงและความแม่นยำสูงขึ้นในการตรวจสอบเมื่อใช้เครื่องมือตรวจสอบ
2. มีความสม่ำเสมอในการตรวจสอบ
3. ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานของคุณภาพสูงขึ้นและสามารถตรวจสอบอัญมณีได้ทุกขนาด
4. ใช้เวลาลดลงในการตรวจสอบคุณภาพแหวน
5. ลดความเมื่อยล้าจากการทำงาน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานทำงานได้ดีขึ้น
6. สามารถผลิต ตรวจสอบและแก้ไขได้ในหน่วยงานเดียว
7. ทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้ผู้ปฏิบัติงานที่มีความชำนิชำนาญในหน่วยงานตรวจสอบคุณภาพเครื่องประดับประเภทแหวน
8. เกิดการพัฒนาในการใช้เครื่องมือตรวจสอบคุณภาพของแหวนและแพร่หลายในอุตสาหกรรมนี้ต่อไป
9. ผลของการประดิษฐ์ สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้ เพราะสามารถนำไปใช้ได้ในงานจริง และน่าจะขยายผลไปถึงขั้นจดสิทธิบัตรได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล (2538), "คู่มือนักอิเล็กทรอนิกส์" , กรุงเทพมหานคร : บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) ,

เสรี ยูนิพันธ์ , จรูญ มหิทธาฟองกุล , ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย , " เทคนิคการควบคุมคุณภาพ " , ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิจิตร ตัณฑสุทธิ์ , วันชัย ริจิรวนิช ,จรูญ มหิทธาฟองกุล และชูเวช ชาญสง่าเวช (2524), "การศึกษาการทำงาน ", จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , กรุงเทพฯ

เกษม พิพัฒน์ปัญญานุกูล (2539), "การศึกษางาน" , ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล รังสิต , กรุงเทพฯ

สำเริง รัศมีวิศวะและดำรง จีนขาวขำ "2529", "ทฤษฎีและการนำไปใช้งานออปแอมป์ ", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , กรุงเทพฯ ,

ไกรวุฒิ โรจน์ประเสริฐสุด (2539), "ไมโครโปรเซสเซอร์ 2" , บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด(มหาชน) ,กรุงเทพฯ

ธนกร คีรีพิทักษ์ (2542), "ทฤษฎีเครื่องเสียง" , ศูนย์หนังสือพระจอมเกล้าพระนครเหนือ , พิมพ์ครั้งที่ 2 , กรุงเทพฯ , สกายบุคส์

ประเสริฐ โรจน์สุธีวัฒน์ (2539), "รวมโครงงานอิเล็กทรอนิคส์ เล่ม 7 ", บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) , กรุงเทพฯ, หน้า 46 - 49

สุรภัทร วงษ์เวียงขันทร์ (2538), "แหล่งกำเนิดรูปสัญญาณจากทรานซิสเตอร์ ", เซมิคอนดัคเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ , ฉบับที่ 150, หน้า 97-104

วาสนา สุริยาศศิน และวีระศักดิ์ ลักษมีการค้า (2537), RC Filter , "คอมพิวเตอร์อิเล็กทรอนิคส์เวิร์ล " , เล่มที่ 144, หน้า 24-30

นราศรี ไววรรณกุล , ธนวรรณกรรม แสงสุวรรณและกัฐ พูนเจริญ (2542), "กลยุทธ์ในการเพิ่มขีดความสามารถทางการตลาดของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับ" , ศูนย์วิจัยสถาบันบัณฑิตบริหารธุรกิจศศินทร์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุพินดา วะศินรัตน์ (2539), "การศึกษาวิเคราะห์ศักยภาพการส่งออกของอุตสาหกรรมอัญมณีและเครื่องประดับของไทย" , วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาเศรษฐศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เพชรรัตน์ อุบลเรียบร้อย (2536), "การพัฒนาระบบผู้เชี่ยวชาญสำหรับคำนวณต้นทุนแหวนประดับ" , วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศักรินทร์ นาครทรรพ (2535), "การประยุกต์ใช้ระบบเวลาที่กำหนดไว้กับอุตสาหกรรมเครื่องประดับ" , วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นุชสรา รักอำนวยกิจ (2538), "การศึกษาเพื่อปรับปรุงระบบการควบคุมการผลิตในอุตสาหกรรมเครื่องประดับ" , วิทยานิพนธ์ ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,

Sedra, A. S., and Smith, K. C. (1998) ,"MICROELECTRONIC CIRCUITS" , Oxford University Press , New York ,

Rupert Taylor (1975), "Noise" , Penguin Books , Second Bdition