สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องสั่งอาหารไร้สาย

WIRELESS FOOD ORDERING MACHINE

T 046568

โดย

นายเกษียร สินธุวงษ์

นายโฆษวัฒน์ สุขฉายา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46568
วัน, เดือน, ปี 4 เม.ย. 2546

.b.....
.i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องสั่งอาหารไร้สาย

WIRELESS FOOD ORDERING MACHINE

โดย

นายเกียรติ สินธุวงษ์ 41014044

นายโฆษวัฒน์ สุขฉายา 41014058

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง **เครื่องสั่งอาหารไร้สาย**

WIRELESS FOOD ORDERING MANCHINE

ผู้จัดทำ

1. นายเกษียร สินธุวงษ์ **41014044**

2. นายโมษวัฒน์ สุขฉายา **41014058**

.....ปราโมทย์..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องสั่งอาหารไร้สาย

WIRELESS FOOD ORDERING MANCHINE

โดย นายเกษียร สินธุวงษ์ 41014044
นายโฆษวัฒน์ สุขฉายา 41014058

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน

บทคัดย่อ

ปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและประดิษฐ์เครื่องสั่งอาหารแบบไร้สาย เพื่อให้ลูกค้าสามารถสั่งรายการอาหารได้ด้วยตัวเองโดยไม่ผ่านบริกร ทั้งนี้จะใช้วิธีการป้อนรหัสรายการอาหารเข้าสู่เครื่องสั่งอาหารซึ่งมีจอแสดงผลการสั่งอาหาร จากนั้นเครื่องจะทำการส่งข้อมูลรายการอาหารนี้ไปยังเครื่องรับด้วยวิธีการส่งแบบไร้สาย

ABSTRACT

This thesis is to study and implement the wireless food ordering machine. The function of work is to let the customer entering the code of food from the menu, where the result will be displayed on the LCD monitor then the machine will send this data to the receiver.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	**1**
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	**2**
2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051	2
2.2 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051	4
2.2.1 การสื่อสารแบบอนุกรม	5
2.2.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	5
2.2.3 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232	7
2.2.4 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ	8
2.2.5 UART	10
2.2.6 MCS-51 กับการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม	11
2.2.7 การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตอนุกรม	17
2.3 การเชื่อมต่อกับคีย์แพด (Keypad)	19
2.3.1 การเชื่อมต่อคีย์แพดเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	20
2.4 การเชื่อมต่อกับโมดูลแอลซีดี (LCD Module)	20
2.4.1 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD	21
2.4.2 คำสั่งควบคุมโมดูล LCD	23
2.5 โพล และ ซีเลคท์	26
2.6 การมอดูเลตแบบฟรีเควนซีชิพท์คีย์อิ้ง (Frequency Shift Keying)	28
2.7 การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation: FM)	32
2.7.1 ระบบสังเคราะห์ความถี่ที่ใช้เฟสล็อกลูป	35
2.7.2 ระบบเฟสล็อกลูป	38
2.7.3 วงจรสังเคราะห์ความถี่เฟสล็อกลูปแบบพรีสเกลเลอร์สองโมดูลัส	44
2.8 วงจรภาคไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์	46
บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง	**47**
3.1 วงจรเชื่อมต่อ MAX232 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	47
3.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	47
3.3 วงจรแหล่งจ่ายกำลัง (Power Supply)	48
3.4 วงจรฟรีเควนซีชิพท์คีย์อิ้งมอดูเลชั่น (Frequency Shift Keying Modulation)	50
3.5 วงจรฟรีเควนซีชิพท์คีย์อิ้งดีมอดูเลชั่น (Frequency Shift Keying Demodulation)	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูปความถี่ 60 เมกกะเฮิรตซ์ 55
3.6.1 การกำเนิดความถี่อ้างอิง 55
3.6.2 การกำหนดค่าตัวหารความถี่ 56
3.6.3 วงจรลูปฟิลเตอร์ 57
3.6.4 วงจรพรีสเกลเลอร์แบบสองโมดูลัส 60
3.7 วงจรภาคไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์ 61
3.8 วงจรรวมสัญญาณ (Summing) 65
3.9 วงจรโวลต์เตจคอนโทรลออสซิลเลเตอร์ 65
3.10 การออกแบบระบบเครื่องสั่งอาหาร 67
3.11 การติดต่อกับฐานข้อมูลที่เครื่องคอมพิวเตอร์ 67

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 วงจรแปลงแปลงค่าระดับแรงดันกระแสตรง 69
4.2 วงจรเอฟเอสเค มอดูเลเตอร์ 70
4.3 วงจรเอฟเอสเค ดีมอดูเลเตอร์ 71
4.4 วงจรภาคส่ง 72
4.5วงจรภาครับ 74
4.6 ขั้นตอนการทำงานของระบบ 75

บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์ **79**

กิตติกรรมประกาศ

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะการทำงานโดยสังเขปของระบบ 1

รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงหน่วยการทำงานพื้นฐานของ MCS51 2

รูปที่ 2.2 แสดงการจัดขาของไอซี 8051 3

รูปที่ 2.3 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรม 5

รูปที่ 2.4 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 6

รูปที่ 2.5 การจัดขาของคอนเน็กเตอร์
พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25 8

รูปที่ 2.6 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่าง 9

รูปที่ 2.7 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม 12

รูปที่ 2.8 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 1
ของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 13

รูปที่ 2.9 รายละเอียดเบื้องต้นของไอซีแปลงสัญญาณ
เพื่อเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ 16

รูปที่ 2.10 วงจรเชื่อมต่อ MAX232 หรือ ICL232 เข้ากับพอร์ตอนุกรม 16
ของคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

รูปที่ 2.11 แสดงวงจรของสวิตช์แบบเมตริกซ์หรือคีย์แพด 20

รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของโมดูล LCD แบบอักขระ 21

รูปที่ 2.13 แสดงรูปการจัดขาของโมดูล LCD แบบอักขระ 22

รูปที่ 2.14 แสดงลำดับการทำงานของโพลและซีเลคท์ 27

รูปที่ 2.15 ลักษณะของสัญญาณเอฟเอสเค 28

รูปที่ 2.16 อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุต 29

รูปที่ 2.17 การเบี่ยงเบนความถี่ของเอฟเอสเค 30

รูปที่ 2.18 สัญญาณเอฟเอ็ม 32

รูปที่ 2.19 แอมปลิจูดของคลื่นพาหะและไซด์แบนด์ของการมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม 35

รูปที่ 2.20 สเปกตรัมของคลื่นมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม เมื่อ m_f = 0.5, 1, 2.5 และ 4.0 36

รูปที่ 2.21 บล็อกไดอะแกรมของวงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ใช้เฟสล็อกลูป 37

รูปที่ 2.22 ผลต่างเฟสเมื่อความถี่เท่ากัน 38

รูปที่ 2.23 ผลต่างเฟสเมื่อความถี่อินพุตไม่เท่ากัน 38

รูปที่ 2.24 วงจรสังเคราะห์ความถี่เฟสล็อกลูปแบบพรีสเกลเลอร์สองโมดูลัส 45

รูปที่ 2.25 แสดงแผนผังของไอซีเบอร์ MC3362 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 วงจรเชื่อมต่อ MAX232 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 47
รูปที่ 3.2 แสดงการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับคีย์แพดและโมดูลแอลซีดี 48
รูปที่ 3.3 วงจรแหล่งจ่ายกำลัง DC 48
รูปที่ 3.4 หลักการทำงานของ Bridge Rectifier แบบไดโอด 49
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างของไอซี Rectifier 49
รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของไอซีเบอร์ XR2206 50
รูปที่ 3.7 วงจรของไอซีเบอร์ XR2206 51
รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของไอซีเบอร์ XR2211 52
รูปที่ 3.9 วงจรของไอซีเบอร์ XR2211 54
รูปที่ 3.10 วงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูป 55
รูปที่ 3.11 การโปรแกรมตัวหารความถี่ 56
รูปที่ 3.12 วงจรลูปฟิลเตอร์ 58
รูปที่ 3.13 วงจรลูปฟิลเตอร์ของวงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูป 60 เมกกะเฮิรตซ์ 60
รูปที่ 3.14 การต่อวงจรของไอซี MC12017 60
รูปที่ 3.15 การเซตขาต่างๆของไอซีเบอร์ MC 145152 – 2 เมื่อสังเคราะห์ความถี่ 60 เมกกะเฮิรตซ์ 61
รูปที่ 3.16 วงจรภาคไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์ 62
รูปที่ 3.17 วงจรลูปฟิลเตอร์ของวงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูป 70.7 เมกกะเฮิรตซ์ 63
รูปที่ 3.18 การเซตขาต่างๆของไอซีเบอร์ MC 145152 – 2 เมื่อสังเคราะห์ความถี่ 70.7 เมกกะเฮิรตซ์ 64
รูปที่ 3.19 แสดงวงจรรวมสัญญาณ 65
รูปที่ 3.20 วงจรโวลต์เตจคอนโทรลออสซิลเลเตอร์ 66
รูปที่ 4.1 แสดงผลที่ได้จากวงจรแปลงระดับแรงดันไฟตรงอ้างอิงโดยใช้ ไอซี MAX232 69
รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์ 70
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์ 70
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจร เอฟเอสเค ดีมอดูเลเตอร์ 71
รูปที่ 4.5 แสดงคุณสมบัติของวงจรกำเนิดสัญญาณควบคุมโดยแรงดันที่ใช้ในเครื่องส่งความถี่ 60MHz 72
รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่ได้จาก ขาล็อคดีเทค ของ ไอซี MC145152 72
รูปที่ 4.7 แสดงสเปกตรัม ของสัญญาณคลื่นพาห์ของเครื่องส่งก่อนทำการมอดูเลชั่น 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้ของเครื่องส่งเมื่อทำการมอดูเลชั่น ด้วยสัญญาณไซน์ความถี่ 1 kHz 73
รูปที่ 4.9 แสดงคุณสมบัติของวงจรกำเนิดสัญญาณควบคุมโดยแรงดันที่ใช้ในเครื่องรับ ความถี่ 70.7MHz 74
รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณที่ได้จาก ขาล็อคดีเทค ของ ไอซี MC145152 74
รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณที่ดีเทคได้จาก ไอซี MC3362 เมื่อ สัญญาณมอดูเลต คือ สัญญาณไซน์ ความถี่ 1 kHZ 75
รูปที่ 4.12 แสดงขั้นตอนขั้นแรกของการทำงาน 75
รูปที่ 4.13 แสดงหน้าจอขณะทำการสั่งอาหาร 76
รูปที่ 4.14 แสดงข้อความการสั่งอาหาร 76
รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะของโปรแกรมบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่เครื่องเซอร์ฟเวอร์ในห้องครัว 76
รูปที่ 4.16 แสดงผลที่ได้รับจากการสั่งอาหารของตัวลูก 77
รูปที่ 4.17 แสดงข้อความยืนยันการสั่งอาหารจากตัวแม่ 77
รูปที่ 4.18 แสดงการทำงานของระบบตามเส้นของเวลา 78
รูปที่ 4.19 แสดงการรูปการส่งสัญญาณจากตัวแม่และตอบกลับด้วยตัวลูกที่มีข้อมูล 78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

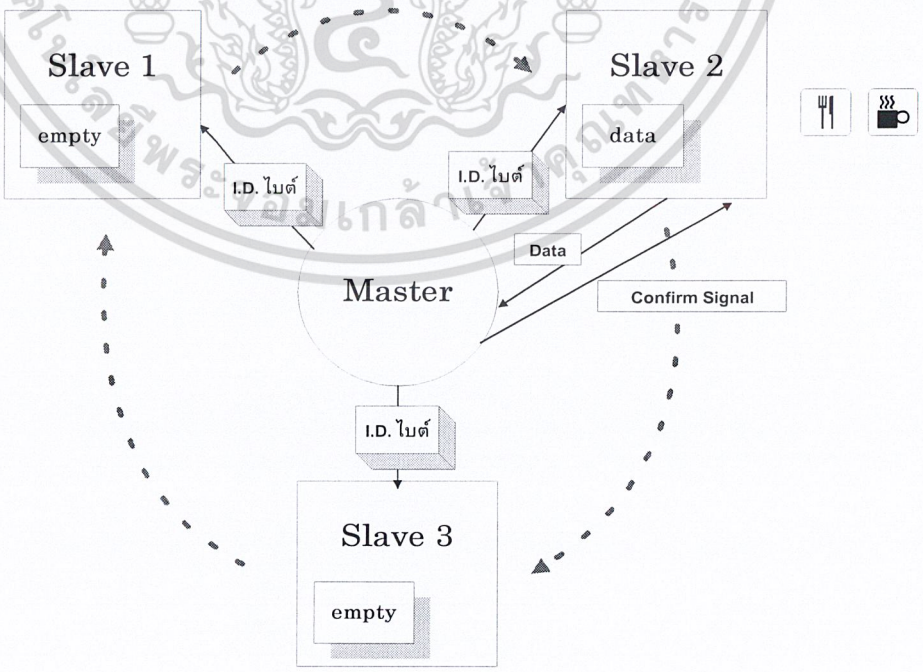
	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงบิตพาริตี้ของข้อมูล	6
ตารางที่ 2.2 การเลือกอัตราบอดของวงจรพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	14
ตารางที่ 2.3 การกระจายคลื่นพาหะและไซด์แบนด์ที่ดัชนีการมอดูเลตต่างๆ	35
ตารางที่ 3.1 ค่าในการโปรแกรม	56
ตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างฐานข้อมูลรายการอาหาร	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีต่างๆในชีวิตประจำวันได้มีการพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้มนุษย์แสวงหาและอาศัยเทคโนโลยีเหล่านี้อย่างเคยชิน จนในบางครั้งดูเหมือนจะกลายเป็นค่านิยมของสังคมเมืองไปแล้วว่า ถ้ามนุษย์คนใดได้บริโภคเทคโนโลยีที่นำสมัย จะทำให้มนุษย์ผู้นั้นดูมีรสนิยมสูงและเป็นที่ต้องการในสังคม ด้วยเหตุผลนี้เองจึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในชีวิตประจำวันตามคุณลักษณะข้างต้น

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาเครื่องสั่งอาหารไร้สาย (WIRELESS FOOD ORDERING MACHINE) โดยมีลักษณะการทำงานคือ เครื่องสั่งอาหารเหล่านี้ จะถูกวางบนโต๊ะทุกโต๊ะในร้านอาหารตัวอย่าง เมื่อลูกค้าเข้ามาถึง ก็จะเลือกรายการอาหารจากเมนูที่วางอยู่บนโต๊ะ โดยในเมนูนี้จะมีรหัสรายการอาหารแต่ละชนิดอยู่ จากนั้นลูกค้าจึงทำการสั่งอาหาร โดยกดหมายเลขรหัสรายการอาหารลงในเครื่องสั่งอาหาร ซึ่งเมื่อกดรหัสแล้ว บนหน้าจอของเครื่องสั่งอาหารจะปรากฏชื่อและราคาของรายการอาหารที่ได้ทำการกดลงไป เมื่อครบทุกรายการแล้ว ผู้สั่งก็จะกดปุ่มอีกครั้งเพื่อทำการสั่งอาหาร โดยรายการอาหารทั้งหมดนี้จะถูกส่งไปสู่เครื่องรับที่อยู่ในห้องครัว ทางด้านเครื่องรับใช้คอมพิวเตอร์ในการแสดงและประมวลผลโดยใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก(Visual Basic) มาทำการควบคุม เมื่อข้อมูลรายการอาหารทั้งหมดได้ถูกส่งมาถึงที่เครื่องรับเรียบร้อยแล้ว เครื่องรับจะทำการส่งสัญญาณยืนยันกลับมาที่เครื่องสั่งอาหารเครื่องนั้น โดยจะปรากฏข้อความเป็นคำพูดแสดงการยืนยันว่าที่เครื่องรับได้รับข้อมูลรายการอาหารนั้นเรียบร้อยแล้ว



รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะการทำงานโดยสังเขปของระบบ

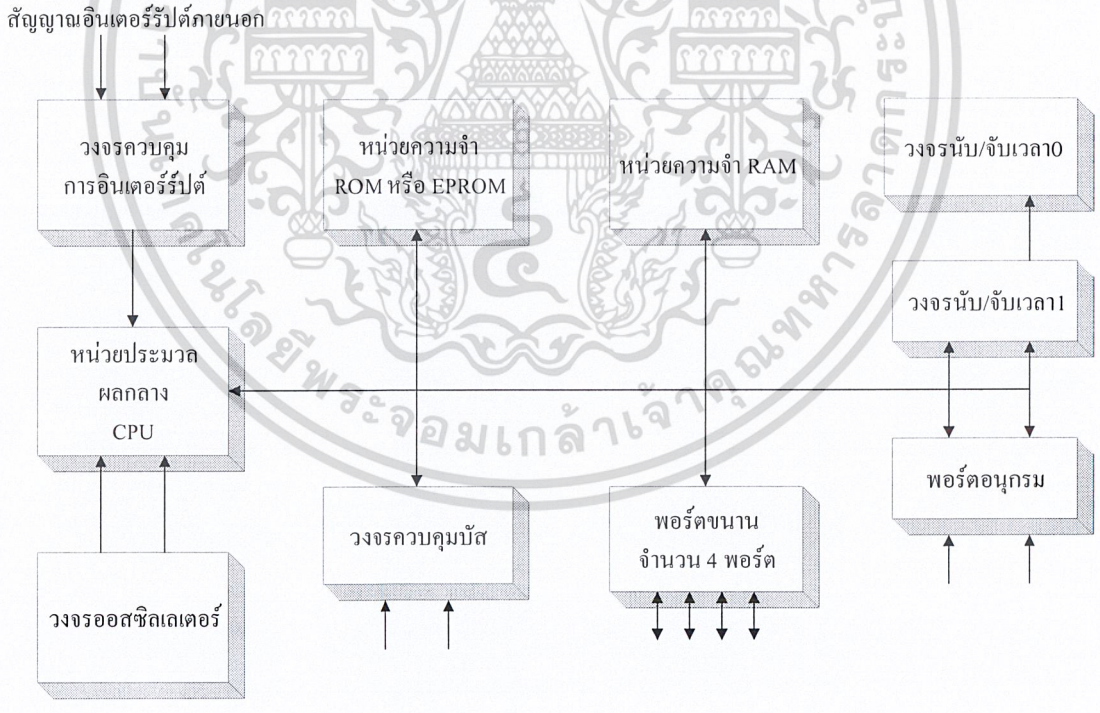
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นโปรเซสเซอร์ประเภทหนึ่งที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้งานกับระบบควบคุมขนาดเล็ก โดยภายในไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวหนึ่งจะประกอบด้วยหน่วยการทำงานหลักของระบบคอมพิวเตอร์ครบถ้วน เช่น หน่วยประมวลกลางหรือซีพียู (CPU) หน่วยความจำ พอร์ตในการติดต่ออุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น ซึ่งหากว่าเป็นการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไป ก็จะต้องใช้ไอซีภายนอกมาประกอบเพื่อทำหน้าที่เหล่านี้ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นระบบคอมพิวเตอร์เพื่อทำงานควบคุมที่สมบูรณ์ โดยบรรจุอยู่ในตัวไอซีเพียงหนึ่งตัวเท่านั้น ในบางครั้งจึงอาจมีการเรียกไมโครคอนโทรลเลอร์ว่าเป็น ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ชิบเดี่ยว (1 chip microcomputer)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS51 ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์หลายรุ่น ซึ่งมีสถาปัตยกรรมพื้นฐานที่เหมือนกัน เพียงแต่มีขนาดหรือจำนวนของหน่วยทำงานภายในที่ต่างกันออกไปเพื่อความเหมาะสมในงานประยุกต์ต่างๆ ตามความต้องการ โดยมีทั้งลักษณะที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตไอซีวงจรรวมความจุสูงมาก (LSI)



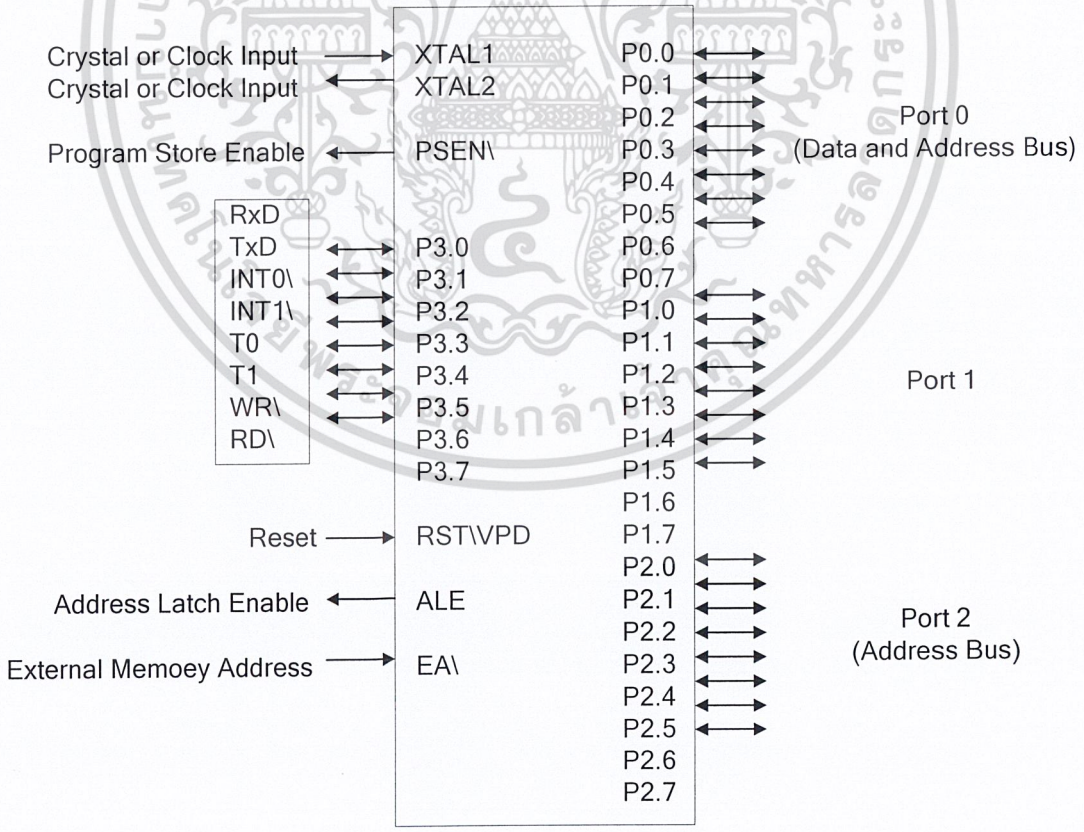
รูปที่ 2.1 แผนภาพแสดงหน่วยการทำงานพื้นฐานของ MCS51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะพื้นฐานของ 8051

จากแผนภาพในรูปที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงหน่วยการทำงานพื้นฐาน ของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ต่างๆ ที่จัดอยู่ภายในตระกูล MCS51 นี้ ประกอบด้วย

- หน่วยประมวลผลกลางขนาด 8 บิต
- หน่วยประมวลผลสำหรับข้อมูลแบบบิต (Boolean Processor)
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำโปรแกรม 64 กิโลไบต์
- ความสามารถในการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำข้อมูล 64 กิโลไบต์
- หน่วยความจำโปรแกรมภายในขนาด 4 กิโลไบต์ แบบ EPROM หรือ ROM
- หน่วยความจำแบบ RAM ภายในจำนวน 128 กิโลไบต์
- พอร์ตรับ/ส่ง แบบขนานจำนวน 32 เส้น ซึ่งสามารถแยกทำงานได้อย่างอิสระ
- วงจรนับ/จับเวลาขนาด 16 บิต จำนวน 2 วงจร
- วงจรสื่อสารแบบอนุกรมแบบฟูลดูเพลกซ์ (Full Duplex)
- วงจรควบคุมการอินเตอร์รัปต์จากแหล่งกำเนิดสัญญาณ 6 ประเภท พร้อมกำหนดค่าความสำคัญได้ 2 ระดับ
- วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน



รูปที่ 2.2 แสดงการจัดขาของไอซี 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมากแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ มักจะมีรูปร่างไอซีเป็นแบบ DIP ขนาด 40 ขา ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ซึ่งแต่ละขาสัญญาณจะมีหน้าที่ระบุชัดเจนตามสัญลักษณ์ ชื่อย่อที่กำกับแต่ละขา อย่างไรก็ตามจะมีบางขาสัญญาณที่อาจจะมีหน้าที่ได้มากกว่า 1 หน้าที่ (ที่อยู่ในกรอบสี่เหลี่ยมเล็ก) ซึ่งจะไม่สาสารถใช้งานในเวลาเดียวกันได้ ตัวอย่างเช่น ขาสัญญาณบิต 0 ของพอร์ต 3 (ใช้ตัวย่อเป็น P3.0) อาจจะใช้เป็นขาสัญญาณเอาท์พุต หรืออินพุตตามปกติ หรืออาจทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณอินพุตของข้อมูลสื่อสารแบบอนุกรม (RxD) ให้กับวงจรสื่อสารแบบอนุกรมของ 8051 ได้ ซึ่งการกำหนดว่าจะทำงานในลักษณะใดก็ขึ้นอยู่กับการเชื่อมต่อวงจรเข้ากับขาสัญญาณและโปรแกรมควบคุมของระบบนั้น

โครงสร้างภายในของ 8051

ไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ประกอบด้วยหน่วยการทำงานต่างๆ ภายในไอซี โดยแต่ละชุด ซึ่งเป็น วงจรควบคุม รีจิสเตอร์(Register) หรือ หน่วยความจำภายในของ 8051 จะถูกเชื่อมต่อเข้าด้วยกันผ่านทางเส้นสัญญาณที่เรียกว่า บัสข้อมูลภายใน รีจิสเตอร์และหน่วยความจำเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในระหว่างการประมวณผลคำสั่ง หน้าที่ของโปรแกรม ที่ผู้ใช้สร้างขึ้นมาก็เป็นการควบคุมการรับหรือส่งข้อมูลระหว่างรีจิสเตอร์เหล่านี้ ซึ่งอาจจะมีการดำเนินการร่วมกับหน่วยดำเนินการประมวณผลทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU: Arithmetic and Logic Unit) ด้วย

2.2 การเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 กับคอมพิวเตอร์ ผ่านพอร์ตอนุกรม

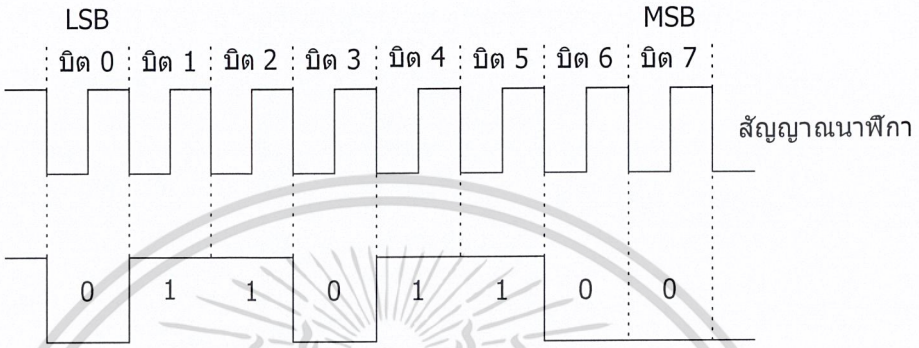
การเคลื่อนย้ายข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่น ๆ หรือคอมพิวเตอร์ด้วยกันนั้น มี 2 วิธีคือการรับส่งข้อมูลแบบขนานและการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม การรับส่งข้อมูลแบบขนาน จะเป็นการรับหรือส่งข้อมูลคราวละ 4 หรือ 8 บิต ในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้การรับและส่งข้อมูลทำได้ที่ความเร็วสูง ซึ่งหมายความว่าจำนวนของสายที่ใช้ในการส่งจะต้องมีมากเท่ากับจำนวนบิตของข้อมูลที่จะส่งด้วย นอกจากนี้ยังจะต้องรวมถึงสายที่ใช้สำหรับควบคุมและการตรวจสอบการรับส่งข้อมูลด้วย ซึ่งอาจจะต้องใช้สายมากเป็น 2 เท่าของจำนวนบิตข้อมูลที่จะส่งก็ได้ ซึ่งก็เป็นปัญหาในเรื่องของราคาของสายที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบขนานมักจะมีราคาแพง

ในขณะที่การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมเป็นการรับส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต แต่ก็สามารถรับส่งข้อมูลได้คราวละหลาย ๆ บิตได้ หากแต่จะต้องมีการตกลงกันระหว่างตัวส่งและตัวรับว่า จะรับส่งข้อมูลคราวละกี่บิต ตัวรับจะต้องรอข้อมูลมาให้ครบทุกบิตเสียก่อนจึงทำการประมวลผล ส่งผลให้การสื่อสารข้อมูลอนุกรมอาจมีความเร็วต่ำกว่าแบบขนาน ในด้านจำนวนสายสัญญาณการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมจะใช้จำนวนสายที่น้อยกว่ามาก อย่างน้อยที่สุดใช้เพียง 2-3 เส้นเท่านั้น แต่อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลอาจต่ำกว่าแบบขนาน อย่างไรก็ตามการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมสามารถใช้สายสัญญาณที่มีความยาวมากกว่าแบบขนาน ทำให้ระยะทางในการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมสามารถทำได้มากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การสื่อสารแบบอนุกรม

การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นจะแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส และการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส การสื่อสารแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิการ่วมอยู่กับการรับและส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการส่งข้อมูลแบบซิงโครนัสคือคีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งสายเส้นหนึ่งจะเป็นสายของสัญญาณนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อกันแบบซิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา , ข้อมูล และกราวน์



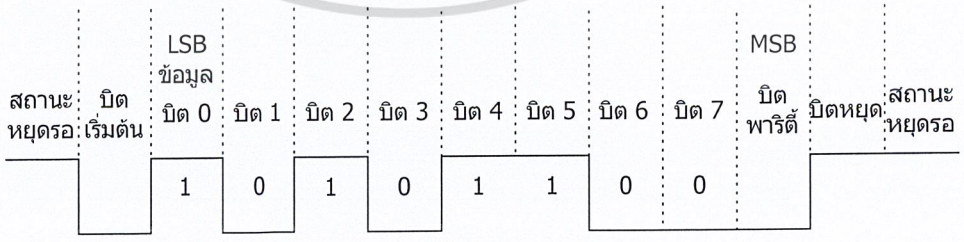
รูปที่ 2.3 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรม

2.2.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือการรับและส่งข้อมูลไปในสาย โดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิการ่วมด้วยเหมือนกับการรับส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส แต่จะใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งภาครับและภาคส่งให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดค่าให้ภาครับและภาคส่งนี้ว่า อัตราการถ่ายทอดข้อมูล หรือ บอดเรต (baudrate) ที่มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bit per second ; bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. บิตเริ่มต้น (Start Bit) ซึ่งจะมีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรมจะมีขนาด 5 , 6 , 7 หรือ 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี้ (Parity Bit) จะมีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตปิดท้าย (Stop Bit) จะมีขนาด 1,1.5, หรือ 2 บิต



รูปที่ 2.4 รูปแบบอย่างง่ายที่สุดของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส ซึ่งเมื่อไม่มีข้อมูลที่จะส่ง ขาเดต้าจะมีสถานะลอจิก “1” ซึ่งจะเรียกสถานะนี้ว่าสถานะว่าง (idle stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขาเดต้ามีลอจิก “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต ซึ่งจะเรียกบิตนี้ว่าบิตเริ่มต้น จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (LSB) ก่อน ซึ่งข้อมูลในไบต์ที่จะส่งอาจจะมีจำนวนบิต 5,6,7 หรือ 8 บิต ก็ได้ จากนั้นจะตามด้วยบิตพาริตี้ ซึ่งใช้เพื่อตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือบิตปิดท้าย ซึ่งจะให้ขาเดต้ามีสถานะลอจิก 1 อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต, 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

อุปกรณ์พิเศษที่ได้รับการออกแบบมาสำหรับการรับและการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสเรียกว่า Universal Asynchronous Receiver / Transmitter หรือ UART อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือ ค่าบอดเรต ซึ่งก็คือค่าอัตราการเข้ารหัสที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูล บอดเรตมาตรฐานที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 ได้แก่ 110,150,300,600,1200,2400,4800,9600 และ 19200 บิตต่อวินาที และมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ซึ่งการรับส่งแบบอนุกรมโดยไม่ผ่านโมเด็มอาจจะสามารถกำหนดค่าบอดเรตได้สูงถึง 115200 บิตต่อวินาที เนื่องจากบอดเรตคือจำนวนบิตของข้อมูลที่สามารถถ่ายทอดได้ภายใน 1 วินาที ยกตัวอย่าง ข้อมูลอนุกรมถูกส่งในลักษณะ 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ มีบิตเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูลที่รับส่งนี้เท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9600 บิตต่อวินาที ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที และถ้ามีการใช้พาริตี้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลจะเหลือเป็น 872 ไบต์ต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตี้สามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (odd),แบบคู่ (even) หรืออาจไม่มีการตรวจสอบพาริตี้ก็ได้ การตรวจสอบพาริตี้เป็นการตรวจสอบจำนวนรวมของบิตที่เป็นลอจิก “1” ภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์ว่ามีจำนวนรวมเป็นเลขคู่หรือเลขคี่โดยต้องรวมบิตพาริตี้เข้าไปด้วย ยกตัวอย่างข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิตและมีค่าเท่ากับ 99 ฐานสิบหก หรือ 10011001 ฐานสอง จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีลอจิก “1” จำนวน 4 ตัวซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตี้เป็นคู่ค่าในบิตพาริตี้ จะต้องมีลอจิก “0” แต่ถ้าพาริตี้เป็นคี่ ค่าที่บิตพาริตี้จะต้องเป็น “1” เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตี้มีจำนวนบิตที่เป็นลอจิก ”1” มีจำนวนรวมกันเป็นเลขคี่ ในตารางที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของบิตพาริตี้ในการรับส่งข้อมูลอนุกรม

ข้อมูล	บิตพาริตี้คู่	บิตพาริตี้คี่
00000000	0	1
00000001	1	0
00000010	1	0
00000011	0	1
00000100	1	0
11111110	0	1
11111111	1	0

ตารางที่ 2.1 แสดงบิตพาริตี้ของข้อมูล

บิตพาริตี้ถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART ซึ่งทางภาครับจะต้องทำการกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตี้ให้ตรงกันว่าจะตรวจสอบพาริตี้คี่หรือพาริตี้คู่ จากนั้นภาครับของ UART จะทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบค่าพาริตี้ที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือเป็นคี่ โดยการนับจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตี้ด้วย ถ้ากำหนดพาริตี้ไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขเป็นคี่ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้ทราบ นับเป็นการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการถ่ายทอดข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่จะเชื่อถือได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิตผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตี้บิตเป็น NONE นั้นทั้งภาครับและภาคส่ง จะไม่มีการตรวจสอบพาริตี้

คอมพิวเตอร์ในรุ่น AT เกือบทั้งหมดจะชิ้ UART เบอร์ 16450 และ 16550 ส่วนคอมพิวเตอร์ในรุ่น XT ใช้ UART เบอร์ 8250 UART ชิปเหล่านี้มีระดับแรงดันเป็นแบบทีทีแอล (0 และ +5V) แต่เพื่อให้มีแรงดันเป็นไปตามมาตรฐาน RS-232 และเพื่อให้การรับส่งข้อมูลสามารถทำได้ที่ระยะทางไกลมากขึ้น ระดับแรงดันทีทีแอลจะถูกแปลงเป็นระดับแรงดันที่สูงขึ้น โดยลอจิก “0” มีระดับแรงดัน +3V ถึง +12V ในขณะที่ลอจิก “1” มีระดับแรงดัน –3V จนถึง –12V

2.2.3 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้สื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดที่อยู่ห่างไกลกัน โดยคณะกรรมการที่เรียกว่า สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Industries Association: EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ –3 ถึง –12V แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) และ +3 ถึง +12V แสดงว่าเป็นช่องว่าง (Space)

มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment :DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating : DCE) ไว้ว่า อุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัวเช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐาน RS-232

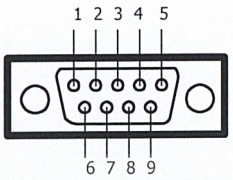
ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เห็นได้ชัดคือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่กับโมเด็มจะเป็นแบบ DCE

สำหรับการใช้งานบนคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 มักถูกใช้เชื่อมต่อกับโมเด็มหรือเมาส์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความยาวของสายสัญญาณสูงสุดถึง 20 เมตร

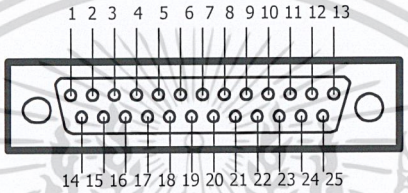
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้หรือ DB-9 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้น เช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่น ๆ ที่เคยใช้งานในอดีต ปัจจุบันมีการใช้งานไม่มากนัก จึงถูกยกเลิกไป โดยแสดงดังรูปร่างและตำแหน่งขาในรูปที่ 2.5



(ก) คอนเน็กเตอร์ 9 ขาหรือแบบ DB-9 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)



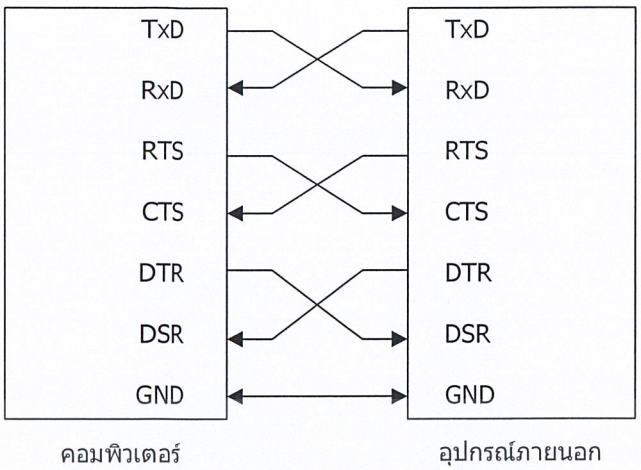
(ข) คอนเน็กเตอร์อนุกรม 25 ขาหรือแบบ DB-25 (มองจากด้านหลังคอมพิวเตอร์)

คอนเน็กเตอร์ DB-9	คอนเน็กเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data Carrier Detect:DCD	อินพุต
2	3	Received Data:RxD	อินพุต
3	2	Transmitted Data:TxD	เอาต์พุต
4	20	Data Terminal Ready:DTR	เอาต์พุต
5	7	Signal Ground:GND	-
6	6	Data Set Ready:DSR	อินพุต
7	4	Request To Send:RTS	เอาต์พุต
8	5	Clear To Send:CTS	อินพุต
9	22	Ring Indicator:RI	อินพุต

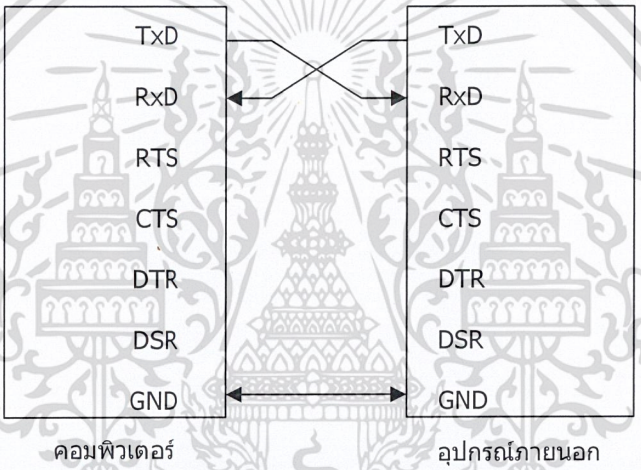
รูปที่ 2.5 การจัดขาของคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232 ทั้งแบบ DB-9 และ DB-25

สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกแสดงดังในรูปที่ 2.6 ลูกศรในรูปแสดงถึงทิศทางของข้อมูล ในรูปที่ 2.6 (ก) เป็นการเชื่อมต่อแบบโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม (Null modem) โดยมีการตรวจสอบหรือแฮนด์เช็กเต็มรูปแบบ ส่วนในรูปที่ 2.6 (ข) เป็นการเชื่อมต่อแบบโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นกราวน์ สำหรับรายละเอียดหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ แบบ Null modem



(ข) การต่ออุปกรณ์ภายนอกเข้ากับคอมพิวเตอร์ แบบ RS-232
โดยใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น

รูปที่ 2.6 การต่ออุปกรณ์ภายนอกกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ในลักษณะต่าง ๆ

- **Data Carrier Detect : DCD** หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกตีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห์จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลเช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก
- **Receive Data : RD** หรือ **RxD** ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ บัฟเฟอร์
- **Transmitted Data : TD** หรือ **TxD** ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลส่งออกไป
- **Data Terminal Ready : DTR** เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่า ต้องการติดต่อด้วย โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้การเชื่อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อเป็นแบบโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห์

- **Signal Ground : GND** ขากราวน์ของระบบ
- **Data Set Ready : DSR** ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อการตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR
- **Request To Send : RTS** เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกันเพื่อจะให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา
- **Clear To Send : CTS** ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่
- **Ring Indicator : RI** ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะถูกใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มและโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น

2.2.5 UART

UART มาจากคำว่า Universal Asynchronous Receiver Transmitter ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสนั่นเอง สำหรับการสื่อสารอนุกรมบนคอมพิวเตอร์แล้ว UART ถือว่าเป็นหัวใจสำคัญของการสื่อสารอนุกรม

หน้าที่หลักของ UART คือทำหน้าที่แปลงข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบขนานจากคอมพิวเตอร์ให้อยู่ในรูปแบบอนุกรมแบบอะซิงโครนัส แล้วส่งออกไป และทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนุกรมแบบอะซิงโครนัสที่ป้อนเข้ามายัง UART ให้เป็นแบบขนานก่อนที่จะส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์ ซึ่งนอกจาก UART จะส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์แล้ว ยังแจ้งข้อมูลอื่น ๆ ให้คอมพิวเตอร์รับทราบด้วย เช่นอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (บอดเรต), รูปแบบการส่งข้อมูล, ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล (ผิดพลาดจากพาริตี้, เฟรมข้อมูล, โอเวอร์รัน) เป็นต้น

ภายใน UART จะมีส่วนของวงจรสร้างบอดเรตแบบโปรแกรมได้ (programmable buadrate generator) โดยการกำหนดค่าตัวหารให้กับสัญญาณนาฬิกาของ UART โดยตัวหารนี้มีขนาด 16 บิต ดังนั้นจึงสามารถกำหนดตัวหารอยู่ในช่วง 1 - 65,535 UART สามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (half duplex) และฟูลดูเพล็กซ์ (full duplex) โดยการส่งแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์เป็นการส่งแบบทิศทางเดียว ส่วนการส่งแบบฟูลดูเพล็กซ์นั้นสามารถรับและส่งข้อมูลได้ในคราวเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของ UART

ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไปมี UART ที่ใช้งานกันอยู่ 2 เบอร์คือ 8250 ซึ่งเป็น UART มาตรฐานที่มีใช้กันมายาวนาน UART เบอร์นี้จะมีบัฟเฟอร์สำหรับรับและส่งข้อมูลตำแหน่งเดียวกัน ทำให้การรับและส่งข้อมูลถูกจำกัดความเร็วอยู่ที่ 57.6 กิโลบิตต่อวินาทีเท่านั้น แต่ UART เบอร์นี้ก็ถือว่าเป็นต้นแบบของ UART ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ โดยคอมพิวเตอร์ทุก ๆ รุ่นจะต้องสนับสนุนการทำงานตามรูปแบบของ UART เบอร์นี้

UART อีกเบอร์หนึ่งคือ 16450 มีความสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความเร็ว 115,200 บิตต่อวินาที และเพิ่มรีจิสเตอร์สำหรับพักข้อมูลสำหรับ UART นอกจากนั้นยังเพิ่มส่วนของชิฟต์รีจิสเตอร์แบบ FIFO (First In First Out) ขนาด 16 ไบต์เข้าไป ทำให้สามารถสนับสนุนความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่ 256 กิโลบิตต่อวินาทีได้ โดยคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันใช้ UART เบอร์นี้หรือใหม่กว่า เช่น เบอร์ TL16C750 ซึ่งมีรีจิสเตอร์แบบ FIFO ขนาด 64 ไบต์ ทำงานได้ที่ระดับแรงดัน +5V และ +3V มีโหมดประหยัดพลังงาน สามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความเร็ว 1 เมกะบิตต่อวินาที เมื่อใช้สัญญาณนาฬิกา 16 MHz

อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการส่งข้อมูลที่มากมายของ UART เบอร์ใหม่ ๆ ก็ไม่ได้ช่วยให้การรับส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์เร็วขึ้น เนื่องจากว่าคอมพิวเตอร์ยังใช้ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาในการแปลงข้อมูลเพียง 1.8432 MHz เท่านั้น

2.2.6 MCS-51 กับการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

พอร์ตอนุกรมของ MCS-51 จะใช้ขา TxD และ RxD ในการรับส่งข้อมูลโดยขาทั้งสองจะอยู่ในพอร์ต 3 คือ P3.1 เป็น TxD และ P3.0 เป็น RxD พอร์ตอนุกรมของ MCS-51 สามารถทำงานแบบฟูลดูเพล็กซ์ได้ คือสามารถส่งและรับข้อมูลในเวลาเดียวกันได้โดยในการรับและส่งข้อมูลจะมีบัฟเฟอร์สำหรับเก็บข้อมูลให้ใช้

รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

ในการทำงานของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่ 2 ตัว ดังนี้

- รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรมหรือ SBUF (Serial data buffer register)

มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษหรือ SFR (Special Function Register) มีขนาด 8 บิต แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (transmit buffer register) และรับข้อมูล (receive buffer register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล เพื่อส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TxD หรือขา P3.1 ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป สำหรับการรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านมาทางขา RxD หรือ P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

- รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรมหรือ SCON (Serial port Control Register)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 98H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีรายละเอียดการทำงานดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

รูปที่ 2.7 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม

SM0-SM1 (Serial port mode bit 0-1) : ใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้

SM2 : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการสื่อสารในแบบมัลติโปรเซสเซอร์ (multiprocessor) ในการทำงานของโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ถ้าบิตนี้เป็น "1" บิต RI จะไม่แอกตีฟถ้าบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาเป็น "0" (ข้อมูลบิตที่ 9 เก็บไว้ที่บิต RB8) ในการทำงานโหมด 1 ถ้าบิตนี้เซต บิต RI จะไม่แอกตีฟถ้ายังไม่ได้รับบิตหยุด ส่วนในโหมด 0 บิตนี้ไม่มีการใช้งาน

REN (Enable serial reception) : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรม ทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้มีการรับข้อมูลต้องเซตบิตนี้ให้เป็น "1"

TB8 : ใช้สำหรับเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่ต้องการส่งออกไปในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

RB8 : ใช้สำหรับรับข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามาในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แต่ถ้าหากพอร์ตอนุกรมทำงานอยู่ในโหมด 1 และบิต SM2 เป็น "0" ข้อมูลที่บิต RB8 คือข้อมูลของบิตหยุด (Stop bit) สำหรับในการทำงานโหมด 0 บิตนี้จะไม่ใช้งาน บิต RB8 นี้สามารถเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการการทางซอฟต์แวร์

TI (Transmit Interrupt flag) : ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการส่งข้อมูลบิตที่ 8 ไปเรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ส่วนในการทำงานโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อมีการเริ่มต้นส่งบิตหยุดออกไป การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

RI (Receive Interrupt flag) : ใช้แสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการรับข้อมูลเข้าสู่พอร์ตอนุกรม สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการรับข้อมูลบิตที่ 8 เรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ส่วนในการทำงานโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อมีการรับบิตหยุดของข้อมูลอนุกรมไปได้ครึ่งทางแล้ว ยกเว้นในกรณีที่บิต SM2 มีการเซต บิตนี้จะเซตได้ก็ต่อเมื่อการรับบิตหยุดหรือบิตที่ 9 เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเลือกการทำงานได้ถึง 4 โหมดคือ

1. โหมด 0 เป็นการกำหนดให้พอร์ตอนุกรมทำงานในลักษณะชิฟต์รีจิสเตอร์
2. โหมด 1 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 8 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

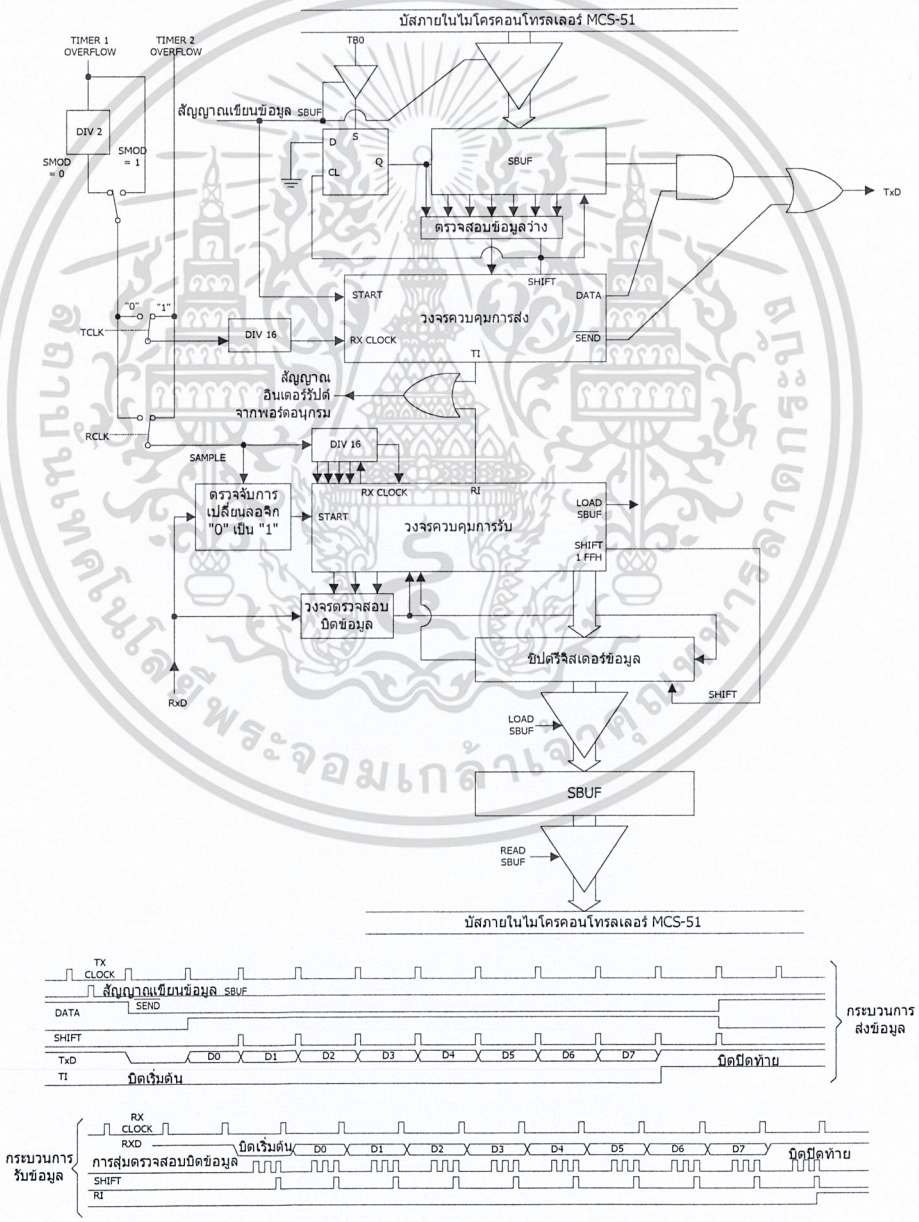
3. โหมด 2 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต โดยมีอัตราบอดคงที่

4. โหมด 3 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้

การเลือกโหมดทำได้โดยการกำหนดข้อมูลให้แก่บิต SM0 และ SM1 ในรีจิสเตอร์ SCON

การทำงานในโหมด 1 ของวงจรพอร์ตอนุกรม

โครงงานนี้ได้เลือกใช้การติดต่อสื่อสารในโมด1 ซึ่งมีไดอะแกรมแสดงดังในรูปที่ 2.8 ในโหมดนี้ใช้ในการรับส่งข้อมูลรวม 10 บิต โดยส่งข้อมูลออกทางขา P3.1 หรือ TxD และรับข้อมูลเข้าทางขา P3.0 หรือ RxD ข้อมูลทั้ง 10 บิตประกอบด้วย บิตเริ่มต้น (มีค่าเป็น “0”) 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิต โดยรับหรือส่งข้อมูลในบิต LSB ก่อน และบิตหยุดหรือบิตปิดท้าย (มีค่าเป็น “1”) ในการรับข้อมูล บิตหยุดจะถูกเก็บไว้ในบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON อัตราบอดในโหมดนี้ได้รับการกำหนดโดยอัตราการเกิดโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 1



รูปที่ 2.8 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 1 ของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราบอดของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในโหมดนี้สามารถเลือกแหล่งกำเนิดอัตราบอดได้ 2 แหล่งคือ จากอัตราการโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 1 และ 2 สำหรับอัตราบอดเมื่อใช้การโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 1 จะต้องใช้ค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON มาพิจารณาประกอบด้วย สามารถคำนวณค่าอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด = $(2^{\text{ค่าของบิต SMOD}} / 32)$ * อัตราการโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 1

ถ้าหากในไทเมอร์ 1 ไม่ได้เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ไว้ สามารถคำนวณค่าอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด = $(2^{\text{ค่าในรีจิสเตอร์ SMOD}} / 32)$ * {ความถี่สัญญาณนาฬิกา / [12 * (256 – (TH1))]}

ในตารางที่ 2.2 แสดงการกำหนดอัตราบอดโดยใช้ไทเมอร์ 1

ในกรณีที่ใช้ไทเมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอด โดยกำหนดให้ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดกำเนิดอัตรา (buad rate generator) สามารถคำนวณหาค่าอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด = อัตราการโอเวอร์โฟลวของไทเมอร์ 2 / 16 หน่วยเป็น บิตต่อวินาที

ถ้าหากกำหนดให้ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดปกติ สามารถคำนวณหาค่าอัตราบอดได้จาก

อัตราบอด = ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา / (32 * (65536 – (RCAP2H, RCAP2L)))

โดยที่ (RCAP2H, RCAP2L) เป็นค่าของรีจิสเตอร์ RCAP2H และ RCAP2L มีขนาด 16 บิตไม่คิดเครื่องหมาย

อัตราบอด (บิตต่อวินาที : bps)	ความถี่สัญญาณนาฬิกา	SMOD	ไทเมอร์ 1		
			C/T	Mode	ค่ารีโหลด
โหมด0 : สูงสุด 1 MHz	12 MHz	X	X	X	X
โหมด2 : สูงสุด 375K	12 MHz	1	X	X	X
โหมด 1,3 : 62.5K	12 MHz	1	0	2	FFH
19.2K (19,200)	11.0592 MHz	1	0	2	FDH
9.6K(9600)	11.0592 MHz	0	0	2	FDH
4.8K(4800)	11.0592 MHz	0	0	2	FAH
2.4K(2400)	11.0592 MHz	0	0	2	F4H
1.2K(1200)	11.0592 MHz	0	0	2	E8H
137.5	11.0592 MHz	0	0	2	1DH
110	6 MHz	0	0	2	72H
110	12 MHz	0	0	1	FEEBH

ตารางที่ 2.2 การเลือกอัตราบอดของวงจรพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเขียนหรือส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรม

ข้อมูลที่ต้องการส่งออกทุกค่าต้องนำไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรม ซึ่งก็คือรีจิสเตอร์ SBUF ดังตัวอย่าง

```
MOV SBUF, #'A'
```

จากคำสั่งข้างต้นเป็นการส่งข้อมูลของตัวอักษร A ออกไปยังพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ อย่างไรก็ตามก่อนทำการส่งข้อมูลทุกครั้ง ต้องแน่ใจว่าบิต TI เคลียร์หรือมีค่าเป็น "0" และเมื่อทำการส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ก็จะเกิดการเซตบิต TI เพื่อแจ้งให้ทราบ ดังตัวอย่างโปรแกรมต่อไปนี้

```
CLR   TI          ; เคลียร์บิต TI เพื่อเตรียมการส่งข้อมูลออก
MOV   SBUF, #'A'  ; ส่งข้อมูลของตัวอักษร A ไปยังพอร์ตอนุกรม
JNB   TI, $       ; รอการเซตของบิต TI เพื่อแจ้งการส่งข้อมูลที่สมบูรณ์
```

การอ่านหรือรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม

การรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรมสามารถกระทำได้โดยทำการตรวจสอบว่าบิต RI เกิดการเซตขึ้นหรือไม่ ถ้าพบว่ามีการเซตเกิดขึ้นแล้ว ให้ทำการอ่านค่าจากรีจิสเตอร์ SBUF โดยทำการโอนข้อมูลผ่านทางแอกคิวมูเลเตอร์หรือรีจิสเตอร์ A ดังตัวอย่าง

```
CLR   RI          ; เคลียร์บิต RI เพื่อเตรียมการรับข้อมูล
JNB   RI, $       ; รอคอยการเซตของบิต RI อันเป็นการแจ้งให้ทราบว่า การรับข้อมูล
                  ; เสร็จสมบูรณ์ และมีข้อมูลเกิดขึ้นที่รีจิสเตอร์ SBUF
MOV   A, SBUF     ; อ่านค่าจากรีจิสเตอร์ โดยการโอนย้ายข้อมูลผ่านทางรีจิสเตอร์ A
CLR   RI          ; หลังจากทำการอ่านข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ต้องทำการเคลียร์บิต RI
                  ; เสมอ
```

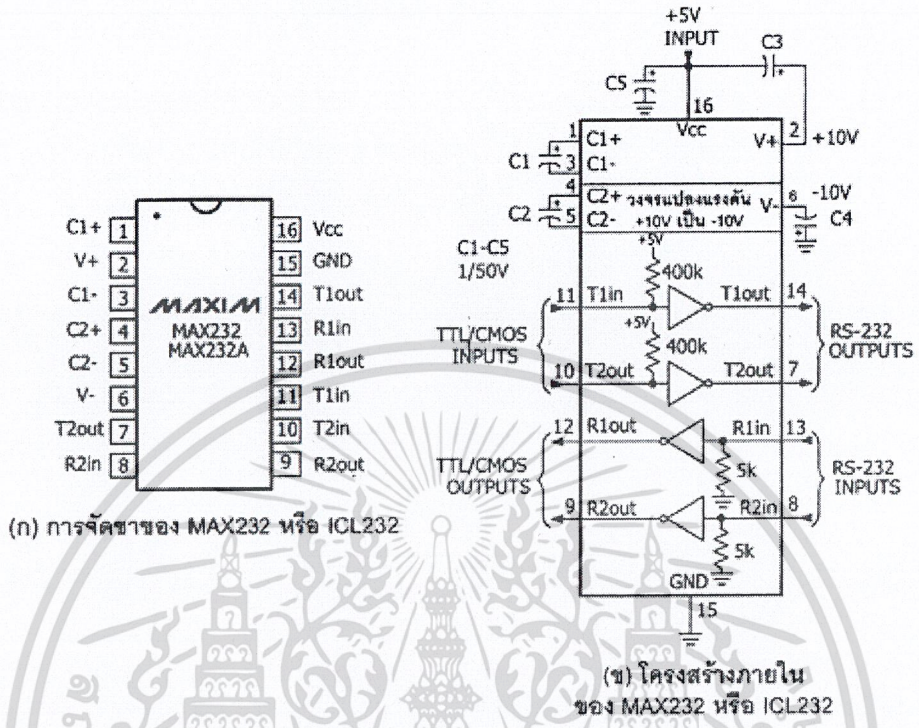
การเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์

การใช้งานวงจรพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มักนิยมใช้ในการติดต่อเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมในมาตรฐาน RS-232 เป็นส่วนใหญ่ แต่เนื่องจากระดับสัญญาณของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีระดับตั้งแต่ +3 ถึง +12V และ –3 ถึง –12V ในขณะที่ระดับสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อยู่ในระดับทีทีแอล ดังนั้นจึงไม่สามารถเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ได้โดยตรง จึงต้องอาศัยการเชื่อมต่อผ่านไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณ

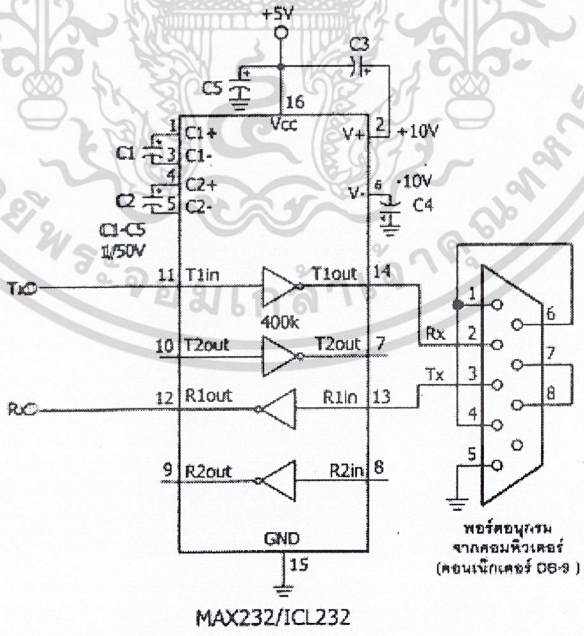
ไอซีที่ทำหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณนี้ต้องทำการแปลงข้อมูลส่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จากระดับทีทีแอลไปเป็นระดับของ RS-232 และทำการแปลงข้อมูลรับจากคอมพิวเตอร์จากระดับของ RS-232 เป็นระดับทีทีแอลเพื่อให้สามารถถ่ายทอดไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ได้อย่างสมบูรณ์ ไอซีดังกล่าวมีด้วยกันหลายเบอร์จากหลายผู้ผลิต อาทิ MAX232 จาก MAXIM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ ICL232 จาก HARRIS เป็นต้น ในรูปที่ 2.9 แสดงการจัดขาของไอซี ICL232 ซึ่งใช้ในการแปลงสัญญาณ RS-232 ส่วนวงจรของการต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 รายละเอียดเบื้องต้นของไอซีแปลงสัญญาณเพื่อเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.10 วงจรเชื่อมต่อ MAX232 หรือ ICL232 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.2.7 การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตอนุกรม

ในการออกแบบโปรแกรมควบคุมในส่วนของคอมพิวเตอร์นั้น มีหลายโปรแกรมที่สามารถนำมาใช้งานได้ ในโครงงานนี้เราได้เลือกใช้โปรแกรม Visual Basic เพราะเป็นโปรแกรมที่ออกแบบหน้าจอและใช้งานง่าย อีกทั้งยังมี Component MSComm เพื่อใช้ในการติดต่อผ่านพอร์ตอนุกรมอีกด้วย

ในการเขียนโปรแกรมสามารถทำได้โดยใช้ VB Control ที่ชื่อว่า MSComm โดยการกำหนด Custom Control เข้าไปที่เมนู Project > Components แล้วเลือกที่ช่อง MSComm ก็จะปรากฏเป็นรูปไอคอนโทรศัพท์สีเหลือง ให้คลิกที่ไอคอนลากนำมาวางไว้บน Form ใน Project ของโปรแกรมเรา

การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตอนุกรม สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

1.การติดต่อแบบอินเตอร์รัปต์

ขบวนการอินเตอร์รัปต์ อุปกรณ์รอบข้างเกือบทุกชิ้นจะต้องปฏิบัติงานอยู่เพื่อส่งสัญญาณไปให้แก่ซีพียูเสมอ ถ้าอุปกรณ์นั้นพร้อมที่จะรับส่ง อุปกรณ์จะส่งเป็นรหัสแอสกี้ เราจะเขียนโปรแกรมอินเตอร์รัปต์ โดยเมื่อที่ข้อมูลเข้ามาก็จะทำให้มี CommEvent กับ OnComm Event

2. การติดต่อแบบโพลลิ่ง

ในระบบพีซี การโพลมีบ้างที่ใช้การส่งผ่านข้อมูลระหว่าง เทอร์มินัล กับ ซีพียู กรณีข้อมูลเป็นประเภทไบต์ที่ส่งจากคีย์บอร์ด โดยวิธีนี้จะทำการตรวจสอบ คีย์บอร์ดว่ามีข้อมูลส่งมาหรือเปล่า โดยจะตรวจสอบตลอดเวลา การทำงานกับข้อมูลที่รับเข้ามาจะตรวจสอบด้วยความเร็วที่สูงกว่าอัตราความเร็วข้อมูลที่ส่งเข้ามาทางคีย์บอร์ด การที่ซีพียูส่งสัญญาณออกไปตรวจสอบพบว่ามีข้อมูลที่ต้องส่งเข้ามา เรียกว่า "Wait Poll" ซึ่งจะเสียช่วงเวลา 90 เปอร์เซ็นต์ คาบเวลาที่เสียไปนั้น เราเลี่ยงไปใช้เทคนิคการโพลแบบ "Round Robin" แทน แต่ใน Visual Basic เราจะใช้การตรวจสอบข้อมูลที่มาจากพอร์ตอนุกรมตลอด โดยจะใช้คอนโทรล ไทเมอร์ เข้ามาช่วยในการเขียนโปรแกรมซึ่งสามารถตรวจสอบได้ถึงระดับ 1 มิลลิวินาที หรือจะใช้ Do…Loop ก็ได้

ในตัวคอนโทรล MSComm มี Event ที่ใช้เพียง Event เดียวเท่านั้นเอง ก็คือ OnComm Event ซึ่งจะใช้ในการติดต่อแบบอินเตอร์รัปต์ การเขียนโปรแกรมติดต่อพอร์ตอนุกรมแบบธรรมดาจะใช้ CommEvent เพียง ComEvReceive, ComEvSend ถ้าเป็นการติดต่อสื่อสารแบบโมเด็มจะใช้หลายตัวในการตรวจสอบสัญญาณ

องค์ประกอบในการใช้ MSComm

การตั้งค่าติดต่อกับพอร์ต

CommPort คือ เราต้องกำหนดหมายเลขพอร์ตที่ใช้ต่อ RS-232 (Com1, Com2)

Setting คือ เราต้องกำหนดอัตราบอดเรต, พาริตี้, เดต้า(จำนวนบิต) และ บิตหยุด ตัวอย่างเช่น 9600, n,8 ,1 เป็นต้น

HandShaking เราจะกำหนดได้ 4 แบบ

1. comNone
2. comXonXoff

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

46568

3. comRTS
4. comTRSXoffXon

การใช้บัฟเฟอร์ในการรับส่งข้อมูล

InBuffersize คือ การกำหนดบัฟเฟอร์ในการรับข้อมูลเข้ามา

OutBuffersize คือ การกำหนดบัฟเฟอร์ในการส่งข้อมูลออกไป

Rthreshold คือ การที่เรากำหนดการเกิด Event-driven ในการรับข้อมูลเข้ามา

Sthreshold คือ การที่เรากำหนดการเกิด Event-driven ในการส่งข้อมูลออกไป

Inputlen คือ จำนวนของข้อมูลที่ไปอ่านในบัฟเฟอร์รับข้อมูล

EOFEnable คือ การที่บอกว่าสิ้นสุดของไฟล์ (End Of File : EOF)

ด้านฮาร์ดแวร์

ParityReplace คือ ค่าของคาแรกเตอร์ที่จะแทนเมื่อเกิดพาริตี้ผิดพลาด

NullDiscard คือ การกำหนดให้รับหรือไม่รับ Null Character

RTSEnable คือ ทำให้มีสัญญาณ RTS (Request To Send)

DTSEnable คือ ทำให้มีสัญญาณ DTR (Data Terminal Ready)

การกำหนดคุณสมบัติของ MSComm Control ให้สามารถติดต่อกับพอร์ตได้

Property ชื่อ CommPort คือ เลือกคอมพอร์ตที่เราจะต่อใช้งาน เช่น

MSComm1.CommPort = 1

ในที่นี้เราจะเลือกใช้ พอร์ต Com1 ที่อยู่ด้านหลังเครื่องคอมพิวเตอร์

Property ชื่อ Settings คือ การตั้งค่าของการรับส่งข้อมูล ซึ่งจะต้องรู้ด้วยว่าอัตราบอดของอุปกรณ์ที่จะติดต่อด้วยเป็นเท่าไร โดยมีรายละเอียดการใส่ค่าต่าง ๆ ดังนี้

MSComm1.Settings = "Buad (อัตราการรับส่งข้อมูล), Parity (ถ้าไม่ใช้ใส่ N), จำนวนบิตข้อมูล, บิตหยุด" เช่น MSComm1.Settings = "9600, N, 8, 1"

Property ชื่อ InputLen คือ กำหนดขนาดขณะที่มีข้อมูลเข้ามาให้ไปอ่านข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ในบัฟเฟอร์ เช่น MSComm1.InputLen = 1

Property ชื่อ PortOpen คือ จะเปิดให้พอร์ตใช้งานหรือไม่ ถ้าเปิด = True ถ้าปิด = False

เช่น MSComm1.PortOpen = True

Property ชื่อ Rthreshold คือ ทำให้เกิดการกระตุ้นด้วย Event-driven เมื่อมีข้อมูลในบัฟเฟอร์รับข้อมูล (Comport) มันทำให้เกิด CommEvent ใน OnComm Event

เช่น MSComm1.Rthreshold = 1

ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้ติดต่อสื่อสารผ่านทางคอมพอร์ต

เราสามารถเขียน โพรซีเดอร์ Visual Basic ซึ่งจะไว้ที่ Sub Form_Load( ) หรือจะสร้าง Sub ขึ้นใหม่ในกรณีที่จะเรียกใช้ภายหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Form_Load( )
        MSComm1.Settings = "9600, N, 8, 1"
        MSComm1.CommPort = 1
        MSComm1.InputLen = 1
        MSComm1.PortOpen = True
        MSComm1.Rthreshold = 1
End Sub
```

วิธีการรับส่งข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม

จากวิธีการเขียนโปรแกรมก่อนหน้านี้เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับคอมพอร์ตและเปิดใช้การรับและส่งของพอร์ต RS-232 ดังนั้นก็สามารถจะรับและส่งข้อมูลทางพอร์ตได้ โดยใช้ Property ดังนี้

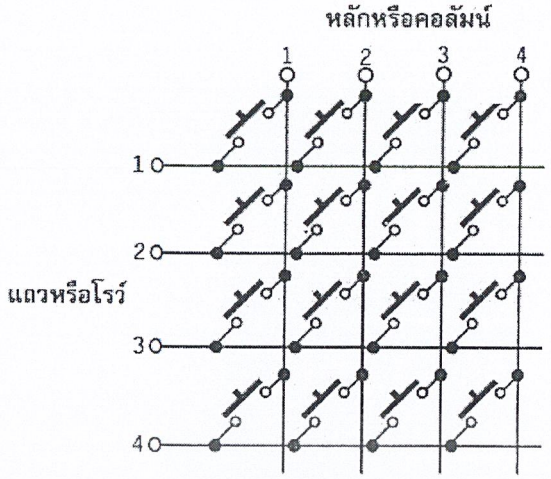
Output = ซึ่งจะเป็นการส่งข้อมูลไปที่พอร์ต

Input = เป็นส่วนของการรับข้อมูลจากพอร์ต แต่ในส่วนนี้จะต้องนำคำสั่งไปเขียนที่ Event Property OnComm จะอยู่ใน Sub MSComm_OnComm ซึ่งจะอ่านข้อมูลเข้ามาจากทางพอร์ต RS-232 นั่นเอง

2.3 การเชื่อมต่อกับคีย์แพด (Keypad)

การอ่านค่าหรือรับค่าการกดสวิตช์มีด้วยกัน 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ ต่อแบบเข้ากับไฟเลี้ยงหรือกราวด์โดยตรง และต่อแบบวงจรเมตริกซ์ (Matrix Switch) ดังในรูปที่ 2.11 โดยในโครงงานนี้จะใช้การต่อสวิตช์แบบนี้ซึ่งสวิตช์จะถูกต่อกันในแนวแกนตั้งและแกนนอน จะเรียกแนวตั้งว่า หลักหรือคอลัมน์ (Column) ในขณะที่แนวนอนจะเรียกว่าแถวหรือโรว(Row) ดังนั้นค่าของสวิตช์จะต้องประกอบด้วยตำแหน่งในแนวหลักและแถว กระบวนการซึ่งจะทำให้ได้มาซึ่งค่าของสวิตช์มีขั้นตอนที่ซับซ้อนพอสมควร แต่วงจรของสวิตช์แบบนี้มีข้อดีคือสามารถรองรับการเพิ่มของสวิตช์ได้อย่างสะดวก เพียงเพิ่มเติมจำนวนสวิตช์และแก้ไขซอฟต์แวร์อีกเล็กน้อยเท่านั้น ทำให้วงจรสวิตช์แบบเมตริกซ์เป็นที่นิยมกันมาก ในระบบควบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติที่มีจำนวนสวิตช์มากกว่า 8 ตัว ในการใช้งานทั่วไปจะเรียกสวิตช์แบบเมตริกซ์นี้ว่า คีย์แพด (Keypad)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 แสดงวงจรของสวิตซ์แบบเมตริกซ์หรือคีย์แพด

2.3.1 การเชื่อมต่อคีย์แพดเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

จากโครงงานเราจะทำการต่อคีย์แพดเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ที่พอร์ต2 โดยใช้สายทั้งหมด 8 เส้น เป็นสายของคอลัมน์และสายของโรวอย่างละ 4 เส้น โดยเฉพาะที่ขาพอร์ต P2.0 – P2.3 จะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพไว้เพื่อกำหนดสภาวะเริ่มต้นที่ไม่มีการกดคีย์ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการส่งข้อมูล "0"ไปยัง P2.4 – P2.7 ตามลำดับ ในทุกครั้งที่มีการส่งข้อมูลไปยังสายคอลัมน์ของคีย์แพด ไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการอ่านค่าที่ P2.0 – P2.3 เข้ามาด้วย หากไม่มีการกด ค่าของ P2.0 – P2.3 ก็จะเป็น "1" ทั้งหมด ถ้าหากมีการกดคีย์ ค่าของ P2.0 – P2.3 ก็จะไม่เป็น 1111 อีกต่อไป เป็นการแจ้งให้ทราบว่า มีการกดคีย์แพดขึ้นแล้ว จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำการค้นหาตำแหน่งต่อไป โดยการค้นหาตำแหน่งนั้น สิ่งที่จะได้มาอย่างแรกคือ ค่าตำแหน่งของคีย์นั้น จากนั้นก็จะนำค่าตำแหน่งนั้นไปเปิดตารางข้อมูล เพื่อที่จะได้ค่าที่ต้องการนำไปแสดงผลที่แท้จริง

2.4 การเชื่อมต่อกับโมดูลแอลซีดี (LCD Module)

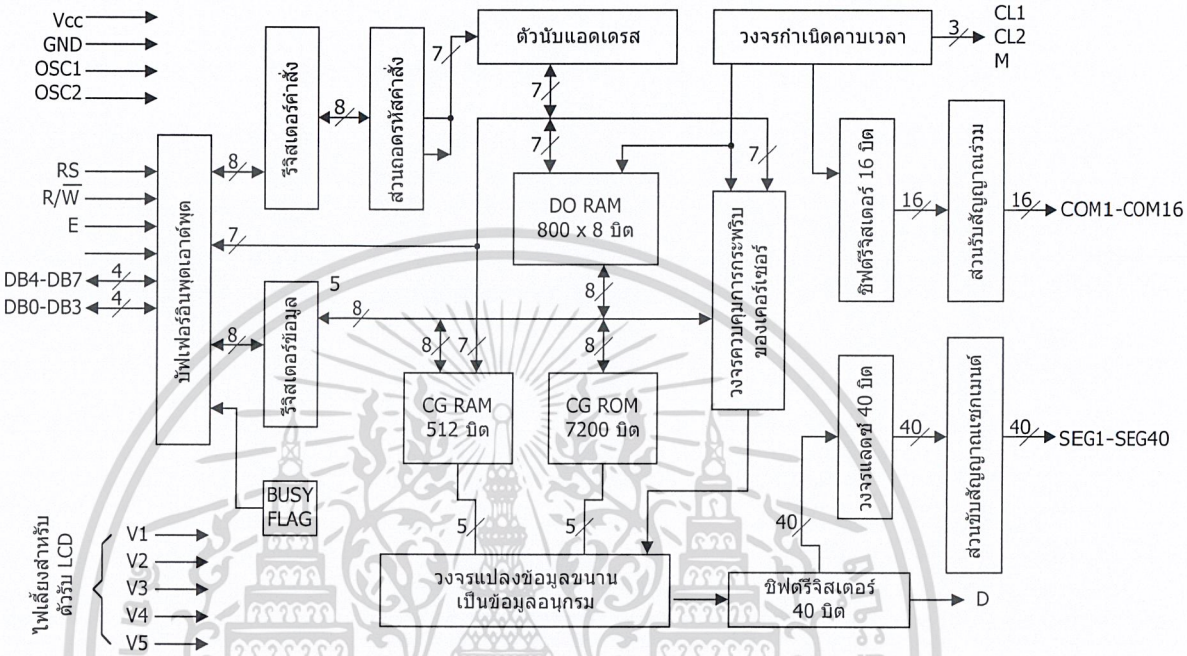
ในโมดูลแอลซีดีนั้นจะมีส่วนประกอบ 3 ส่วนหลักดังนี้

- **ตัวแสดงผล (Display)** ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็นได้โดยอาศัยแสงจากภายนอก ดังนั้นจึงต้องมีมุมในการมองข้อมูลที่แสดงบนจอแอลซีดี
- **ตัวควบคุม (Controller)** เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก มาควบคุมการทำงานของโมดูลแอลซีดี เช่นลบจอภาพ แสดงตัวอักษรหรือเลื่อนเคอร์เซอร์เป็นต้น ตัวควบคุมนี้ใช้ชิบควบคุมโดยเฉพาะชิบ ที่นิยมใช้คือเบอร์ HD44780 และ HD61830 โดย HD44780 จะใช้ควบคุม LCD แบบอักขระ และ HD61830 ใช้ควบคุม LCD แบบกราฟิก
- **ตัวขับ (Driver)** เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลตามที่กำหนด ชิบที่ใช้ทำงานเป็นตัวขับนี้ได้แก่ เบอร์ HD44100H และ MSM5259 เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 โครงสร้างภายในของตัวควบคุมโมดูล LCD

ในการใช้งานโมดูล LCD จำเป็นต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับโครงสร้างและคำสั่งที่ใช้ในการควบคุมให้ดีเสียก่อน โดยในที่นี้จะทำการแสดงตัวอย่างโมดูล LCD แบบอักขระ เพราะสามารถเข้าใจง่าย โดยรูปที่ 2.12 แสดงบล็อกไดอะแกรมภายในของชิบควบคุม LCD เบอร์ HD44780H ซึ่งใช้ในโมดูล LCD แบบอักขระ ประกอบด้วย



รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของโมดูลแอลซีดีแบบอักขระ

บัฟเฟอร์อินพุตเอาท์พุต เป็นส่วนที่ใช้ในการติดต่อรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อที่จะถ่ายทอดข้อมูลเข้าออกภายในตัวควบคุม

รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register: IR) เป็นรีจิสเตอร์ใช้รับข้อมูลคำสั่งจากอุปกรณ์ภายนอกเพื่อนำไปควบคุมการแสดงผล

รีจิสเตอร์ข้อมูล (Data Register: DR) เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้รับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อถ่ายทอดต่อไปยังหน่วยความจำที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลแสดงผล หรือนำข้อมูลไปสร้างตัวอักษรเพิ่มเติมในแรมเก็บตัวอักษร

แรมเก็บข้อมูลแสดงผล (Display Data RAM: DDRAM) เป็นหน่วยความจำแบบแรมทำหน้าที่เก็บข้อมูลที่มาจากรีจิสเตอร์ DR ตัวควบคุมจะนำข้อมูลใน DDRAM นี้ไปเปิดตาราง (Look up table) ของตัวอักษรที่เก็บไว้ในหน่วยความจำรอมและแรมเก็บตัวอักษร เพื่อนำไปแสดงที่ตัวแสดงผล

รอมเก็บตัวอักษร (Character Generator ROM: CGROM) เป็นหน่วยความจำแบบรอมที่ใช้เก็บข้อมูลตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ที่สามารถอ่านออกไปแสดงที่ตัวแสดงผลได้ มีขนาด 7,200 บิต โดยจะถูกอ่านด้วยของข้อมูลใน DDRAM

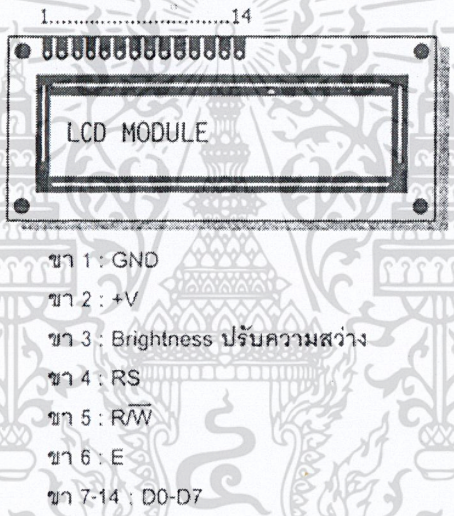
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรมเก็บตัวอักษร (Character Generator RAM: CGRAM) เป็นหน่วยความจำแรมที่ใช้เก็บอักษรที่มีการสร้างเพิ่มเติมขึ้นใหม่ ในกรณีที่ตัวอักษรใน CGROM ไม่เพียงพอ มีขนาด 512 บิต การเขียนและอ่านค่าไปใช้นั้นทำได้เช่นเดียวกับ CGROM คือ เขียนข้อมูลลงใน DDRAM แล้วตัวควบคุมจะมาอ่านค่าจาก CGRAM เอง

แฟลกบิซซี (Busy Flag) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่แจ้งสถานะการทำงานของตัวควบคุมให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่าตัวควบคุมพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือคำสั่งหรือไม่ ดังนั้นก่อนที่จะส่งข้อมูลหรือคำสั่งมายังตัวควบคุมต้องตรวจสอบสถานะของแฟลกบิซซีนี้เสียก่อน

โมดูล LCD ขนาด 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด (LCD 20 x 4)

สำหรับโมดูล LCD ที่ใช้ในโครงงาน เป็นขนาด 20 ตัวอักษร 4 บรรทัด เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุดในการใช้การเป็นจอแสดงผลสำหรับการสั่งอาหารซึ่งพิจารณาจากประโยชน์ใช้สอยและความประหยัด ซึ่งประกอบด้วยขาทั้งหมด 14 ขา มีการจัดวางตามรูปที่ 2.13 สำหรับรายละเอียดการทำงานของแต่ละขามีดังนี้



รูปที่ 2.13 แสดงรูปการจัดขาของโมดูลแอลซีดีแบบอักขระ

V_{SS} (ขา1): ต่อกราวด์

V_{DD} (ขา2): ต่อไฟเลี้ยง +5V

V_O (ขา3): เป็นขาอินพุตรับแรงดันเพื่อปรับความเข้มของการแสดงผล

RS (ขา4): เป็นขาอินพุตใช้ในการแยกชนิดของข้อมูลที่ทำการประมวลผลในขณะนั้นว่าเป็นคำสั่งสำหรับรีจิสเตอร์ IR หรือเป็นข้อมูลสำหรับรีจิสเตอร์ DR โดยขานี้เป็น “0” ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นคำสั่งแต่ถ้าขานี้เป็น“1”ข้อมูลที่ส่งมาจะเป็นข้อมูลสำหรับการแสดงผล

R/W(ขา 5): เป็นขาที่ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูลจากโมดูล LCD ถ้าเป็น “0” เป็นการกำหนดให้เขียนข้อมูล แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูล

E (ขา 6): เป็นขาสำหรับรับสัญญาณพัลส์เอ็นเอเบิลโมดูล LCD ให้ทำงาน

D0 - D7 (ขา 7-14) : เป็นขาที่ใช้เป็นทางผ่านของข้อมูลระหว่าง LCD กับอุปกรณ์ภายนอกขนาด 8 บิต อนึ่งขา RS, R/W และ E จะให้งานร่วมกัน โดยมีความสัมพันธ์แสดงในตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 คำสั่งควบคุมโมดูล LCD

ในการเขียนคำสั่งลงในตัวควบคุม แน่นอนว่าต้องกำหนดให้ขา RS และ R/W เป็น “0” แล้วเขียนคำสั่งตามไป คำสั่งควบคุมโมดูล LCD ของชิปควบคุม HD44780 ที่สำคัญมี 10 คำสั่งดังนี้

1. คำสั่งเคลียร์ตัวแสดงผล (Clear display)

มีข้อมูลคำสั่งเป็น 01H เป็นคำสั่งที่ใช้เขียนข้อมูลช่องว่าง หรือ space เข้าไปใน DDRAM ทั้งหมด เมื่อตัวควบคุมเอ็กซิคิวต์คำสั่งนี้ จะทำการกำหนดแอดเดรสของ DDRAM เป็น 0 เคอร์เซอร์จะกลับไปอยู่ที่ตำแหน่งซ้ายมือสุดของจอแสดงผล แล้วเซตบิต I/D (ซึ่งจะกล่าวถึงภายหลัง) ให้เป็น “1”

2. คำสั่ง (Return home)

ต้องกำหนดให้บิต 1 ของข้อมูลเป็น “1” เป็นคำสั่งให้เคอร์เซอร์เคลื่อนที่กลับไปยังตำแหน่งซ้ายสุดของจอแสดงผล แต่ข้อมูลบนจอแสดงผลไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือ ข้อมูลคำสั่งของคำสั่งนี้จะเป็น 02H หรือ 03H ก็ได้

3. คำสั่งเลือกโหมดการป้อนข้อมูล (Entry mode set)

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่ง ดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
0	0	0	0	0	1	I/D	S

- บิต S เป็นบิตที่ใช้ในการกำหนดลักษณะของการแสดงผล เมื่อมีการป้อนข้อมูล ถ้าหากบิต S เป็น “1” เมื่อเกิดข้อมูลใหม่บนจอแสดงผล ตัวเคอร์เซอร์จะอยู่กับที่ แต่ตัวอักษรข้อมูลเดิมจะถูกดันไปทางซ้าย แต่ถ้าหากบิตนี้เป็น “0” เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ตัวเคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ

- บิต I/D เป็นบิตที่ใช้กำหนดว่า เมื่อเขียนหรืออ่านข้อมูลแล้ว แอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้นหรือลดลงหนึ่งแอดเดรส โดยถ้าบิตนี้เป็น “1” แอดเดรสของ DDRAM จะเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเป็น “0” แอดเดรสจะลดลง ดังนั้นข้อมูลคำสั่งที่เกิดขึ้นสำหรับคำสั่งนี้ได้แก่ 04H – 07H (4 ข้อมูลคำสั่งและที่ใช้บ่อยคือ 06H หมายถึง กำหนดให้เมื่อเกิดข้อมูลใหม่ เคอร์เซอร์จะเลื่อนไปทางขวามือ และแอดเดรสของ DDRAM เพิ่มขึ้น

4. คำสั่งควบคุมการแสดงผล

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
0	0	0	0	1	D	C	B

- บิต D ใช้ควบคุมการเปิดปิดจอแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น “1” จะเป็นการเปิดจอแสดงผล ถ้าเป็น “0” จะเป็นการปิดจอแสดงผล

- บิต C ใช้ควบคุมการแสดงตัวเคอร์เซอร์บนจอแสดงผล ถ้าต้องการให้มีเคอร์เซอร์แสดงผลบนจอแสดงผล ต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1” ถ้ากำหนดให้เป็น “0” จะเป็นการปิดเคอร์เซอร์ หรือไม่แสดงเคอร์เซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- บิต B ใช้ควบคุมการกระพริบของเคอร์เซอร์ ถ้าบิตนี้เป็น “1” เคอร์เซอร์จะกระพริบดังนั้นจะมีข้อมูลคำสั่งได้ตั้งแต่ 08H –0FH (8 รูปแบบคำสั่ง) ที่ใช้บ่อยคือ 0CH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผล แต่ไม่แสดงเคอร์เซอร์ และ 0FH เป็นการสั่งให้เปิดจอแสดงผล แสดงเคอร์เซอร์ และสั่งให้เคอร์เซอร์กระพริบ

5. คำสั่งควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และข้อมูลตัวอักษร

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
0	0	0	1	S/C	R/L	*	*

การควบคุมการเลื่อนเคอร์เซอร์และตัวอักษรบนจอแสดงผล ขึ้นอยู่กับการกำหนดบิต S/C และ R/L ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

S/C	R/L	ลักษณะการเลื่อน	ข้อมูลคำสั่ง
0	0	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางซ้าย	10H-13H
0	1	เลื่อนเคอร์เซอร์ไปทางขวา	14H-17H
1	0	เลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางซ้าย	18H-1BH
1	1	เลื่อนตัวอักษรใหม่ไปทางขวา	1CH-1FH

6. คำสั่งกำหนดฟังก์ชันการทำงาน

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
0	0	1	DL	N	F	*	*

- บิต DL ใช้กำหนดจำนวนบิตที่ใช้ติดต่อส่งผ่านข้อมูล ถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการติดต่อแบบ 4 บิต แต่ถ้าเป็น “1” จะเป็นแบบ 8 บิต

- บิต N ใช้กำหนดจำนวนบรรทัดของการแสดงผล ถ้าเป็น “0” จะแสดงผล 1 บรรทัด ถ้าเป็น “1” จะแสดงผล 2 บรรทัด ในกรณีที่จอแสดงผลสามารถแสดงได้มากกว่า 2 บรรทัด และต้องการให้แสดงผลมากกว่า 2 บรรทัดก็กำหนดบิต N นี้ให้เป็น “1” จุดที่น่าสังเกตคือ โมดูล LCD แบบ 16 ตัวอักษร 1 บรรทัด แม้จะมีบรรทัดการแสดงผลเพียง 1 บรรทัด แต่จะต้องกำหนด N ให้เป็น “1” เนื่องจากแอดเดรสของ DDRAM แบ่งเป็น 2 ช่องคือ 00H และ 40H

- บิต F ใช้เลือกความละเอียดของตัวอักษรในการแสดงผล ถ้าบิตนี้เป็น “0” จะเป็นการแสดงผลแบบ 5x7 จุด และถ้าเป็น “1” จะแสดงเป็นแบบ 5x10 จุด ข้อมูลคำสั่งที่ใช้บ่อยคือ 38H เป็นการกำหนดให้โมดูล LCD ทำงานในแบบ 8 บิต แสดงผล 4 บรรทัด และเลือกความละเอียดเป็น 5x7 จุด

7. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ CGRAM

เมื่อต้องการกำหนดแอดเดรสของ CGRAM ต้องกำหนดให้บิต 7 เป็น “0” บิต 6 เป็น “1” ส่วนอีก 6 บิตที่เหลือจะแทนด้วยค่าแอดเดรสของ CGRAM จะต้องทำการกำหนดแอดเดรสด้วยคำสั่งนี้ ก่อนจะอ่านหรือเขียนข้อมูลให้ CGRAM โดยแอดเดรสของ CGRAM อยู่ระหว่าง 00H-3FH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. คำสั่งเลือกแอดเดรสของ DDRAM

ใช้ในการเลือกแอดเดรสของDDRAM ก่อนที่จะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูล โดยบิต7 ต้องเป็น “1” และข้อมูลอีก 7บิตที่เหลือจะเป็นคู่แอดเดรสของ DDRAM ซึ่งแอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 8CH – 0FFH ทั้งนี้จำนวนแอดเดรสยังขึ้นกับการกำหนดสถานะบิตที่ N ด้วย เป็น ”0” แอดเดรสของ DDRAM จะอยู่ระหว่าง 80H – 0CFH และถ้าบิต N เป็น “1” แอดเดรสของ DDRAM จะมีสองช่วงคือ 8CH – 87H และ 0C0H – 0C7H

9. คำสั่งอ่านบิตซีแฟลกและแอดเดรส

มีรายละเอียดของรูปแบบข้อมูลคำสั่งดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
BF	A	A	A	A	A	A	A

เป็นคำสั่งที่ใช้อ่านบิซซีแฟลก (BF) โดยแฟลกนี้จะเป็นตัวบอกสถานะของตัวควบคุม LCD ว่าพร้อมจะรับข้อมูลอยู่หรือไม่ ถ้าหากบิต BF เป็น “0” แสดงว่าพร้อมรับข้อมูลหรือคำสั่ง แต่ถ้าเป็น “1” แสดงว่า ขณะนี้ตัวควบคุม LCD ยังอยู่ในกระบวนการทำงานภายในหรือกำลังประมวลผลข้อมูลอยู่ ยังไม่พร้อมรับข้อมูลหรือคำสั่ง เมื่อต้องการอ่านค่าแฟลกต้องกำหนดให้ขา R/W เป็น “1” ด้วย แต่สัญญาณที่ RS ยังต้องเป็น “0” อยู่เพราะข้อมูลนี้เป็นข้อมูลคำสั่ง นอกจากนี้ ยังใช้เป็นคำสั่งอ่านข้อมูล แอดเดรสของ CGRAM และ DDRAM ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 โพล และ ซีเลคท์

ในการเชื่อมต่อแบบหลายจุด ระหว่างสถานีปฐมภูมิและสถานีทุติยภูมิมากกว่า 1 ตัวนั้น โอกาสที่จะเกิดการผิดพลาด เนื่องจากการส่งข้อมูลมาพร้อมกันนั้นมีสูง ดังนั้นเพื่อที่จะหลีกเลี่ยงปัญหานี้ ในโครงงานนี้จึงใช้วิธีการ โพล และ ซีเลคท์

โพล (Poll) คือการที่สถานีปฐมภูมิสั่งการร้องขอข้อมูลจากสถานีทุติยภูมิ

ซีเลคท์ (Select) คือการที่สถานีปฐมภูมิเลือกที่จะติดต่อกับสถานีทุติยภูมิ เมื่อมันมีข้อมูลที่จะส่งและเป็นการบอกแก่สถานีทุติยภูมิว่าข้อมูลกำลังมาถึง

รูป 2.14 เป็นการอธิบายหลักการเหล่านี้ ในรูปทางซ้าย สถานีปฐมภูมิทำการโพล สถานีทุติยภูมิโดยการส่งข่าวโพล โดยย่อให้ในกรณีนี้ สถานีทุติยภูมิไม่มีอะไรที่จะส่งก็ตอบรับด้วยข่าวสาร (nak) เวลาทั้งหมดที่แสดงลำดับในการทำงานคือ

$$T_N = t_{prop} + t_{poll} + t_{proc} + t_{nak} + t_{prop}$$

โดยที่

T_N = เวลาที่ใช้ทั้งหมดในการโพลสถานีปลายทาง โดยไม่มีการส่งข้อมูล
(total time to poll terminal with nothing to Send)

t_{prop} = เวลาที่ข้อมูลใช้ในการเดินทาง
(propagation time = $t_1 - t_0$, $t_5 - t_4$

t_{poll} = เวลาที่ใช้ส่งการ โพล
(time ti transmit a poll = $t_2 - t_1$)

t_{proc} = เวลาที่จัดการกับการ โพลก่อนการตอบรับ
(time to process poll before acknowledging = $t_3 - t_2$)

t_{nak} = เวลาที่ใช้ส่งการรับรู้เชิงปฏิเสธ
(time to transmit a negative acknowledging = $t_4 - t_5$)

รูปทางขวา แสดงกรณีที่โพลทำงานได้สำเร็จ เวลาที่ใช้ทั้งหมดก็คือ

$$T_p = t_{prop} + t_{poll} + t_{ack} + t_{data} + 2t_{proc}$$
$$= T_N + t_{prop} + t_{data} + t_{proc}$$

โดยเราสมมุติว่าเวลาของขบวนการที่ตอบสนองต่อข่าวสารใด ๆ คงที่

รูปแบบที่เป็นที่รู้จักกับมากที่สุดของการโพลก็คือ roll-call polling โดยที่สถานีปฐมภูมิเลือกโพลสถานีทุติยภูมิแต่ละสถานี โดยการตรวจสอบตามลำดับ ในกรณีที่ง่ายที่สุด สถานีปฐมภูมิจะเลือกทุก ๆ สถานีทุติยภูมิในลำดับวนรอบ $S_1, S_2, \ldots, S_n$ สำหรับทุกค่าของ n ของสถานีทุติยภูมิ และทำซ้ำเป็นลำดับ โดยในโครงงานนี้ในเลือกใช้การโพลในลักษณะนี้ และรูปแบบของเวลาสามารถแสดงได้ดังนี้

$$T_c = nT_N + kT_D$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่

T_c = เวลาในการโพล 1 รอบ ที่สำเร็จสมบูรณ์

(time for one complete polling cycle)

T_N = เวลาเฉลี่ยเพื่อที่จะโพลการส่งถ่ายข้อมูลทุติยภูมิ

(average time to poll a secondary exclusive of data transfer)

T_D = เวลาที่ส่งถ่ายข้อมูล

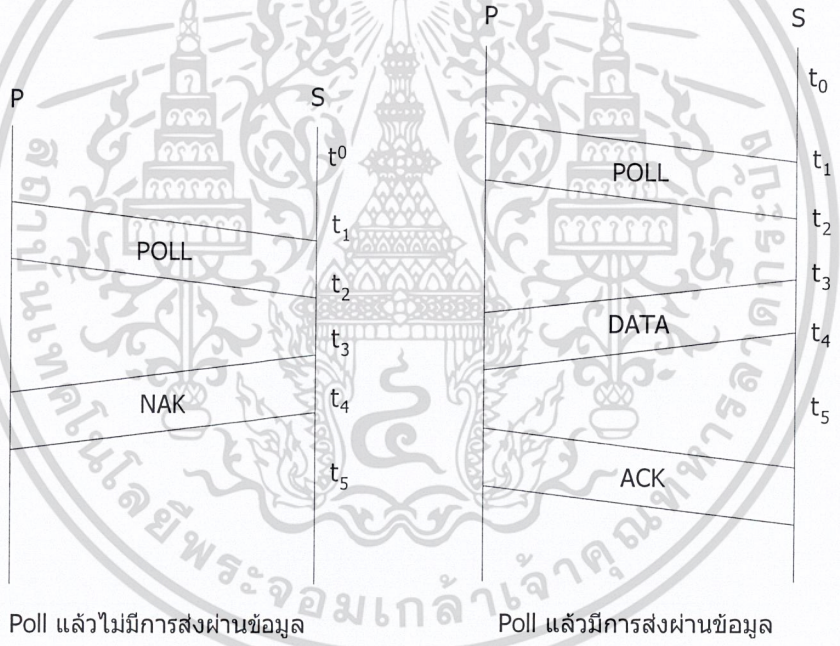
(time to transfer data = $t_{prop} + t_{data} + t_{proc}$)

n = จำนวนของสถานีทุติยภูมิ

(number of Secondary stations)

k = จำนวนของสถานีทุติยภูมิที่ส่งข้อมูลระหว่างรอบปฏิบัติการนั้น

(number of Secondary Stations with data send during the cycle)



รูปที่ 2.14 แสดงลำดับการทำงานของโพลและซีเลคท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การมอดูเลตแบบฟรีเควนซีชิพท์คีย์อิ้ง (Frequency Shift Keying)

การมอดูเลตสัญญาณดิจิตอล (Digital Modulation) เข้ากับคลื่นพาห์ที่เป็นสัญญาณรูปไซน์ (Sinusoidal Wave) นั้น ทำเพื่อต้องการให้สัญญาณดิจิตอลเหล่านั้นสามารถส่งผ่านตัวกลางที่ออกแบบมาสำหรับสัญญาณแบบอนาลอกได้ หรือทำการแปลงจากสัญญาณดิจิตอลให้เป็นสัญญาณอนาลอกนั่นเอง ซึ่งวิธีที่นิยมใช้ 4 แบบ คือ

1. แอมปลิจูดชิพท์คีย์อิ้ง (Amplitude Shift Keying หรือ ASK)
2. ฟรีเควนซีชิพท์คีย์อิ้ง (Frequency Shift Keying หรือ FSK)
3. เฟสชิพท์คีย์อิ้ง (Phase Shift Keying หรือ PSK)
4. ควอดราเจอร์แอมปลิจูดมอดูเลชั่น (Quadrature Amplitude Modulation หรือ QAM)

การมอดูเลตแบบเอฟเอสเค เป็นการมอดูเลตที่รูปคลื่นสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ซึ่งถูกควบคุมโดยระดับแรงดันของสัญญาณข่าวสาร โดยเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันสัญญาณก็จะมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์ส่วนแอมปลิจูดและเฟสคงที่ตลอด การสร้างสัญญาณเอฟเอสเคสามารถทำได้ 2 แบบ คือ

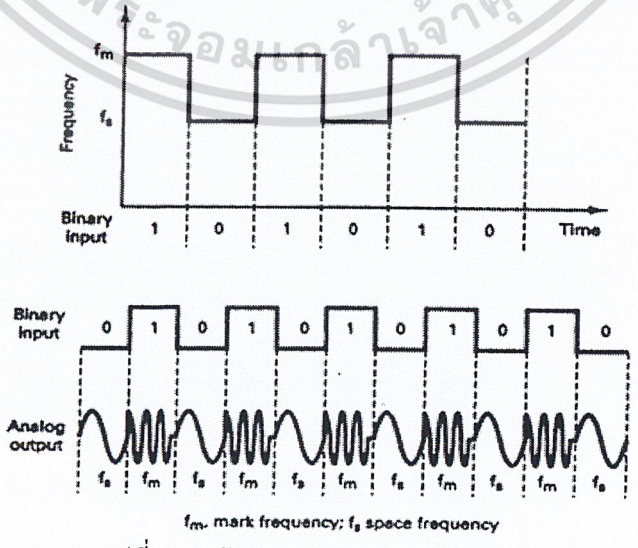
1. สร้างจากสวิตซ์แบบดิจิตอล สัญญาณดิจิตอลจะเลือกออสซิลเลเตอร์ที่มีความถี่ที่ต้องการเพื่อส่งสัญญาณออกไป โดยจำนวนออสซิเลเตอร์ที่ใช้จะต้องมีจำนวนเท่ากับจำนวนระดับแรงดันของสัญญาณข่าวสาร จึงทำให้เฟสของสัญญาณแต่ละช่วงไม่มีความต่อเนื่องกัน

2. สร้างโดยการใช้ออสซิเลเตอร์ตัวเดียวกัน โดยที่ออสซิเลเตอร์นั้นสามารถเปลี่ยนแปลงความถี่ได้ สัญญาณที่ได้จากวิธีนี้จะมีความต่อเนื่องของสัญญาณ จึงเรียกว่า เอฟเอสเคเฟสต่อเนื่อง

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของสัญญาณเอฟเอสเคพบว่า เป็นการเปลี่ยน Digital Signal ให้เป็น Analog Data โดยเมื่อข้อมูล “0” เข้ามา จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ ω_1 และเมื่อข้อมูล “1” เข้ามา ก็จะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณไซน์ที่มีความถี่ ω_2 ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$s_1(t) = A\cos(\omega_1 t) \qquad \text{สำหรับสัญญาณไบนารี 0} \qquad (2.1)$$

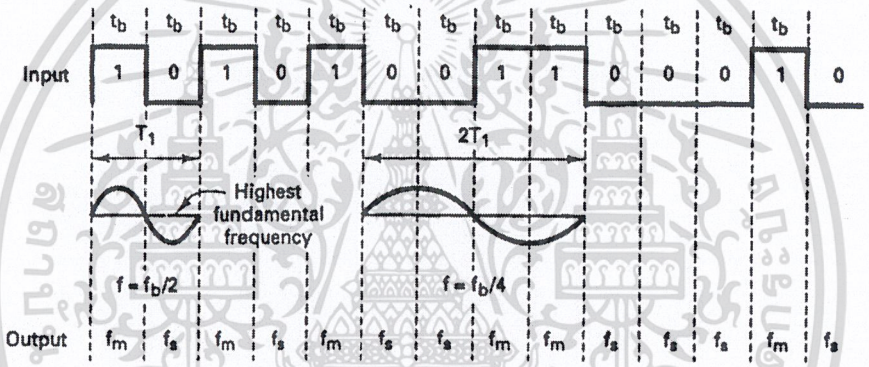
$$s_2(t) = A\cos(\omega_2 t) \qquad \text{สำหรับสัญญาณไบนารี 1} \qquad (2.2)$$



รูปที่ 2.15 ลักษณะของสัญญาณเอฟเอสเค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการของเอฟเอสเค คือ เมื่อสัญญาณดิจิตอลที่มีลักษณะเป็นข้อมูลไบนารีถูกส่งเข้า จะทำให้ความถี่เลื่อนหรือเบี่ยงเบนไปตามการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลไบนารีที่เข้ามา ดังนั้นสัญญาณทางเอาต์พุตของเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์จะอยู่ในรูปของความถี่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง (Frequency Continuous) เมื่อข้อมูลไบนารีด้านอินพุตเปลี่ยนแปลงจากสถานะลอจิก "1" เป็นลอจิก "0" (หรือในทางกลับกันคือ ลอจิก "0" เป็นลอจิก "1") สัญญาณเอาต์พุตก็จะเลื่อนความถี่ระหว่าง 2 ความถี่ด้วยกัน คือ ความถี่ที่ลอจิก "1" หรือ Mark frequency (f_m) และความถี่ที่ลอจิก "0" หรือ Space frequency (f_s) โดยการเปลี่ยนแปลงหรือการเลื่อนของความถี่แต่ละครั้งจะเกิดขึ้นเมื่อสถานะของลอจิกด้านสัญญาณเข้าเปลี่ยนแปลง นั่นคืออัตราการเปลี่ยนแปลงสัญญาณออกจะเท่ากับสัญญาณเข้า ซึ่งในดิจิตอลมอดูเลชั่นนั้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณด้านอินพุตของเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์จะเรียกว่า อัตราบิต (Bit Rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bps) ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณด้านเอาต์พุตของของเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์เรียกว่า อัตราบอด (Baud Rate) ดังนั้น ในการส่งข้อมูลของเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์ อัตราบิตจะเท่ากับอัตราบอดเสมอ



รูปที่ 2.16 อัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุต

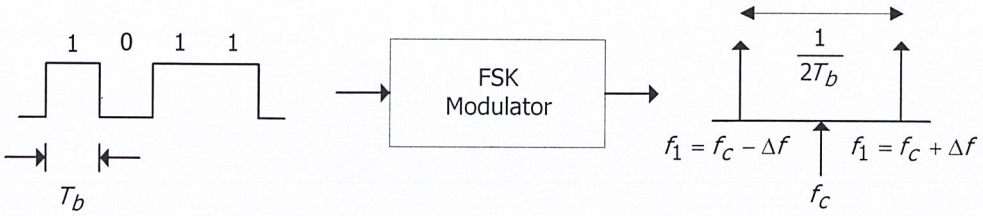
จากรูปที่ 2.16 จะเห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงที่เร็วที่สุดของสัญญาณอินพุตจะเกิดขึ้นเมื่อไบนารีมีลักษณะเป็น 1 และ 0 สลับกันซึ่งก็คือ สัญญาณสี่เหลี่ยม (Square wave) นั่นเอง ซึ่งความถี่หลัก (Fundamental Frequency) ของคลื่นสี่เหลี่ยมจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการส่งข้อมูล ดังนั้นถ้าพิจารณาเฉพาะความถี่หลักเพียงอย่างเดียวแล้ว ความถี่สูงสุดของสัญญาณดิจิตอลที่ต้องการนำมามอดูเลตแบบเอฟเอสเคจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการส่งข้อมูล คือ

$$f_{a\max} = Bit\ \ Rate / 2 \qquad (2.3)$$

เมื่อ $f_{a\max}$ คือ ความถี่สูงสุดของสัญญาณดิจิตอลที่จะนำมามอดูเลต

ความถี่กลาง (Center Frequency หรือ f_0) ของวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน(Voltage Controlled Oscillator) จะอยู่ในตำแหน่งกลางระหว่าง f_m กับ f_s ดังแสดงในรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 การเบี่ยงเบนความถี่ของเอฟเอสเค

ลอจิก 1 ด้านอินพุตจะเลื่อนความถี่ของวงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์ จาก f_0 ไปเป็น f_s จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของ ข้อมูลไบนารีด้านอินพุตจาก "1" ไป "0" หรือ "0" ไป "1" จะทำให้ความถี่เอาต์พุตของเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์เลื่อนหรือเบี่ยงเบนกลับไปมาระหว่าง f_m หรือ f_s เนื่องจากเอฟเอสเคนั้นก็คือรูปแบบหนึ่งของการมอดูเลตทางความถี่ ดังนั้นดัชนีการมอดูเลต (Modulate Index หรือ MI) ในเอฟเอสเคก็สามารถหาได้เช่นเดียวกับการมอดูเลตทางความถี่

$$MI = \Delta f / f_a \tag{2.4}$$

เมื่อ MI คือ ดัชนีการมอดูเลต

Δf คือ การเบี่ยงเบนของความถี่ใดๆ จากความถี่กลาง (Hz)

f_a คือ ความถี่ของสัญญาณที่นำมามอดูเลต (Hz)

ค่า MI ที่ยอมให้ได้สูงสุด คือ ค่า MI ที่ทำให้แบนวิดธ์กว้างที่สุดซึ่งจะเกิดขึ้นการเบี่ยงเบนของความถี่ถูกมอดูเลตแล้ว และความถี่ของสัญญาณที่นำมามอดูเลตมีค่าสูงสุดในเอฟเอสเค ค่า Δf เป็นการเบี่ยงเบนของความถี่สูงสุด (Peak frequency deviation) ของสัญญาณที่ถูกมอดูเลตซึ่งมีค่าเท่ากับความแตกต่างระหว่าง f_m กับ f_0 หรือ f_0 กับ f_s ซึ่งก็คือ ครึ่งหนึ่งของความแตกต่างระหว่าง f_m กับ f_s นั่นคือ

$$\Delta f = (f_m - f_s)/2 \tag{2.5}$$

การเบี่ยงเบนของความถี่สูงสุดจะขึ้นอยู่กับขนาดหรือแอมปลิจูดของสัญญาณที่นำมามอดูเลต (สัญญาณดิจิตอล) เมื่อสถานะทางลอจิกเป็น "1" จะให้แรงดันออกมาคงที่ค่าหนึ่ง (เช่น 5 โวลต์) หรือ ถ้าในลอจิก "0" แรงดันออกมาคงที่ในระดับลอจิกเช่นกัน (เช่น 0 โวลต์)

f_a เป็นความถี่ของข้อมูลไบนารีด้านอินพุต ซึ่งจะทำให้แบนวิดธ์กว้างที่สุดเมื่อ

f_a = Bit Rate/2 เท่านั้น เพราะฉะนั้นเราสามารถหาค่า MI ได้จาก

$$MI = (f_s - f_m)/f_b \tag{2.6}$$

เมื่อ $f_s - f_m$ คือ ความถี่เบี่ยงเบนสูงสุด

f_b คือ อัตราบิตของไบนารีอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป ความกว้างของแบนวิดท์จะแปรผันตรงกับค่า MI ซึ่งเช่นเดียวกับฟรีเควนซีชิฟคีย์อิ้ง ที่ค่า MI โดยทั่วๆ ไปจะต้องมีค่าต่ำกว่า 1.0 เพื่อให้มีค่าแบนวิดท์ที่แคบที่สุดเรียกว่า Minimum Nyquist Bandwidth (f_n)

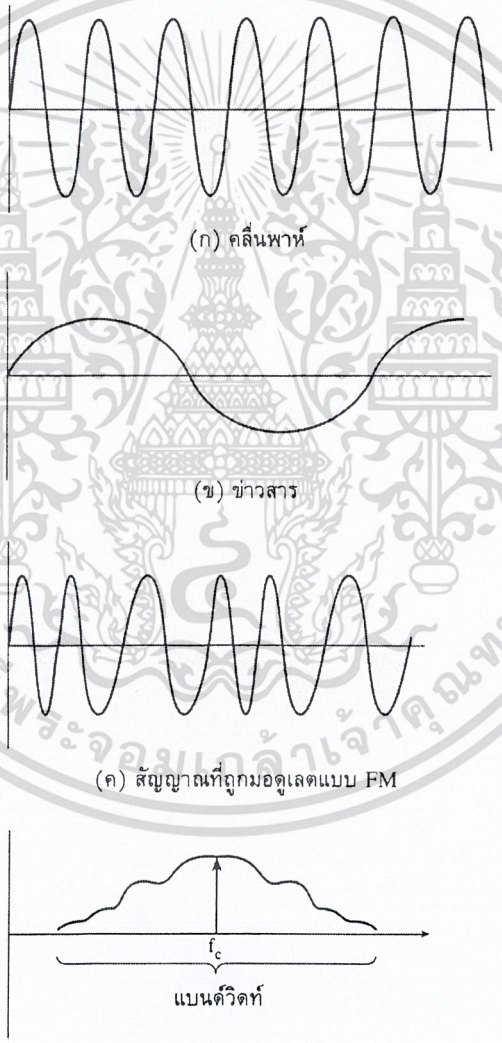
ส่วนทางด้านฟรีเควนซีชิพท์คีย์อิ้งดีมอดูเลชั่น จะเป็นตัวแยกสัญญาณไบนารีออกจากฟรีเควนซีชิพท์คีย์อิ้ง ซึ่งสามารถกระทำได้หลายแบบแต่ในที่นี้จะกล่าวถึง 3 แบบ คือ

1. ใช้วงจร Match Filter วงจรจะประกอบไปด้วยส่วนของวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน (Bandpass filter) ซึ่งจะทำหน้าที่กรองความถี่ f_1 และ f_2 ซึ่งเราจะแทนด้วยลอจิก 1 และลอจิก 0 ตามลำดับ ต่อมานำเอาต์พุตของวงจรกรองแถบความถี่ผ่านมาเข้าวงจรตรวจจับกรอบสัญญาณ (Envelope Detector) ซึ่งจะทำการจับกรอบของสัญญาณที่ออกมาจากวงจรกรองแถบความถี่ผ่าน และนำมาเข้าวงจรเปรียบเทียบ (Comparator) ซึ่งจะได้สัญญาณไบนารีออกมา
2. ใช้วงจรเฟสล็อกลูป (Phase Lock Loop:PLL) จะมีความถี่ฟรีรันนิ่งเท่ากับ Center
3. Frequency (f_0) และในขณะที่ความถี่อินพุตของวงจรเฟสสล็อคลูปเลื่อนไปมาระหว่าง f_m กับ f_s จะทำให้เกิดแรงดันคลาดเคลื่อนไฟตรง (DC Error Voltage) ซึ่งเป็นผลมาจากการเปรียบเทียบทางเฟส (Phase Comparator) ของสัญญาณอินพุต เนื่องจากความถี่อินพุตที่เข้ามายังวงจรเฟสล็อคลูปมีเพียง 2 ความถี่ คือ f_m และ f_s ดังนั้นค่าแรงดันดังกล่าวจึงมีเพียง 2 ระดับเท่านั้น ซึ่งสามารถแทนค่าลอจิก “1” และลอจิก “0” เมื่อความถี่ทางอินพุตเป็น f_m และ f_s ตามลำดับ เราจึงได้สัญญาณเอาท์พุตจากวงจรเฟสล็อคลูป กลับมาเป็นข้อมูลไบนารีเหมือนกับตอนแรกที่ส่งมาทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 การมอดูเลตทางความถี่ (Frequency Modulation: FM)

ในการมอดูเลตทางความถี่ แอมปลิจูดของคลื่นพาห์จะไม่มีผลหรือไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ความถี่ของคลื่นพาห์จะเกิดการเพิ่มขึ้นหรือลดลง ตามแอมปลิจูดของสัญญาณความถี่ที่นำมาผสม (Modulating signal) ความถี่ของคลื่นพาห์ขณะที่ยังไม่มีการผสมเรียกว่าความถี่กึ่งกลาง (center frequency) เมื่อแอมปลิจูดของสัญญาณมอดูเลตมีขนาดเพิ่มขึ้นทางบวกจะทำให้ความถี่ของคลื่นพาห์เพิ่มขึ้น และถ้าขนาดของสัญญาณมอดูเลตลดลง ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะลดลงจนกระทั่งสัญญาณมอดูเลตลดลงเป็นศูนย์ ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะเป็นความถี่กึ่งกลาง ในทำนองเดียวกันเมื่อสัญญาณที่ต้องการผสมเป็นลบ ความถี่ของสัญญาณคลื่นพาห์ก็จะลดลง และความถี่ของคลื่นพาห์จะมีค่าต่ำสุดเมื่อสัญญาณมอดูเลตมีค่าขนาดลดลงถึงจุดต่ำสุด ความถี่คลื่นพาห์จะเป็นความถี่กึ่งกลางอีกครั้งก็ต่อเมื่อสัญญาณมอดูเลตผ่านครึ่งไซเคิลลบไปถึงศูนย์



โดยที่ f_c เป็นความถี่ของคลื่นพาห์ (carrier frequency)

รูปที่ 2.18 สัญญาณเอฟเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าขนาดของคลื่นพาห์จะคงที่เสมอไม่ว่าสัญญาณเสียงจะเปลี่ยนแปลงอย่างไร ส่วนที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาห์เท่านั้น การเปลี่ยนแปลงของความถี่ตามความแรงของสัญญาณมอดูเลตนั้นเรียกว่า การเบี่ยงเบนความถี่ (Frequency deviation) ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงของความถี่พาหะมาก ค่าการเปลี่ยนแปลงความถี่จะมีค่าสูงเป็นอัตราส่วนโดยตรงต่อกัน นอกจากนี้สิ่งที่ควรจะทำความเข้าใจคือการเปลี่ยนแปลงของแอมปลิจูดไปครบ 1 รอบ สัญญาณเอฟเอ็มก็จะเปลี่ยนตามไปครบ 1 รอบด้วย ถ้าค่าอัตราการเบี่ยงเบนสูง ก็แสดงว่าความถี่ของสัญญาณมอดูเลตสูง ดังนั้นค่าอัตราการเบี่ยงเบนจึงขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณมอดูเลต สัญญาณมอดูเลต e_m จะไปเปลี่ยนแปลงความถี่ของคลื่นพาห์ สมมติให้ความถี่พาห์เปลี่ยนไป ke_m กำหนดให้ k คือค่าคงที่ เรียกว่า การเบี่ยงเบนความถี่คงที่ (Frequency Deviation Constant) ดังนั้น ความถี่พาห์ชั่วคราว (Instantaneous Deviation Constant) ดังนั้นความถี่พาห์ชั่วคราว (Instantaneous Deviation Constant) ที่เปลี่ยนไป คือ

$$f_i = f_c + ke_m \tag{2.7}$$

f_c คือ ความถี่ของคลื่นพาห์ที่ยังไม่มีการมอดูเลต ถ้า เป็นคลื่นรูปซายน์ จะได้

$$e_m = E_m \sin \omega_m t \tag{2.8}$$

แทนค่าสมการ 2.7 ในสมการ 2.8 จะได้

$$f_i = f_c + kE_m \sin \omega_m t \tag{2.9}$$

ความถี่สูงสุดที่เปลี่ยนไปตามสัญญาณเสียงคือ

$$\Delta f = kE_m \tag{2.10}$$

ดังนั้นสมการ 2.9 จะกลายเป็น

$$f_i = f_c + \Delta f \sin \omega_m t \tag{2.11}$$

ให้คลื่นพาหะที่ยังไม่ได้มอดูเลต คือ คลื่นรูปซายน์

$$e_c = \sin(\omega_c t + \phi) \tag{2.12}$$

ความถี่เชิงมุมคงที่ (Constant Angular Velocity) = $\omega = 2\pi f_c$ มีหน่วยเป็นเรเดียน/วินาที และ ϕ คือ มุมเฟสคงที่ (Constant Phase Angle) มีหน่วยเป็นเรเดียน

สมการทั่วไปของ 2.12 คือ

$$e_c = \sin\theta(t) \tag{2.13}$$

เมื่อความถี่เปลี่ยนไป เช่น ในกรณีของการมอดูเลตทางความถี่ ความถี่เชิงมุมชั่วขณะ (Instantaneous Angular Frequency)

$$\omega_i = 2\pi f_i = d\theta(t)/dt \tag{2.14}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อินทิเกรตสมการ 2.14 ตามเวลาจะได้

$$\theta(t) = \int \omega_i dt \tag{2.15}$$

ค่าของ f_i ชั่วขณะนี้จะมีความสัมพันธ์กับการมอดูเลตตามสมการ 2.11 ความถี่เชิงมุมคงที่ (ในกรณีที่ยังไม่มีการมอดูเลต)

$$\begin{aligned}\theta(t) &= \int \omega_c dt \\ &= \omega_c t + \phi\end{aligned} \tag{2.16}$$

ϕ คือ ค่าคงที่ของการอินทิเกรต จะเห็นได้ว่าสมการที่ 2.12 ได้มาจากการแทนค่าของสมการ 2.16 ในสมการ 2.13 สำหรับการมอดูเลตคลื่นซายน์ แทนค่าสมการ 2.5 ในสมการ 2.9 จะได้

$$\begin{aligned}\theta(t) &= \int 2\pi(f_c + \Delta f \sin\omega_m t)dt \\ &= \omega_c t - \{\Delta f / f_m\}\cos\omega_m t + \phi\end{aligned} \tag{2.17}$$

และ $\omega_m = 2\pi f_m$ คลื่นมอดูเลตซายน์สามารถหาได้จากการแทนค่าสมการ 2.17 ในสมการ 2.13 จะได้

$$e = \sin(\omega_c t - \{\Delta f / f_m\}\cos\omega_m t) \tag{2.18}$$

ดัชนีการมอดูเลต (Modulation Index) สำหรับการมอดูเลตทางความถี่ คือ

$$m_f = \Delta f / f_m \tag{2.19}$$

จากสมการ 2.18 จะได้

$$e = \sin(\omega_c t - m_f \cos\omega_m t) \tag{2.20}$$

สเปกตรัมจะประกอบด้วยคลื่นพาหะและฮาร์โมนิกข้างเคียงของความถี่มอดูเลต ความสูงของสเปกตรัมต่างๆ สามารถคำนวณได้จากฟังก์ชันของเบสเสล (Bessel's Function)

จาก m_f คือดัชนีการมอดูเลตตามสมการ 2.19 และ n คือจำนวนความถี่ข้างเคียง และ $J_0(m_f)$ คือความสูงของคลื่นพาหะ ดูตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัชนีการมอดูเลต	พาหะ	ไซด์แบนด์คู่ที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
0.00	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-
0.25	0.98	0.12	-	-	-	-	-	-	-
0.5	0.94	0.14	0.03	-	-	-	-	-	-
1.0	0.77	0.44	0.11	0.02	-	-	-	-	-
1.5	0.51	0.56	0.23	0.06	0.01	-	-	-	-
2.0	0.22	0.58	0.35	0.13	0.03	-	-	-	-
2.5	-0.05	0.50	0.45	0.22	0.07	0.02	-	-	-
3.0	-0.26	0.34	0.49	0.31	0.13	0.04	0.01	-	-
4.0	-0.40	-0.07	0.36	0.43	0.28	0.13	0.05	0.02	-
5.0	-0.18	-0.33	0.05	0.36	0.39	0.26	0.13	0.05	0.02
6.0	0.15	0.28	-0.24	0.11	0.36	0.36	0.25	0.13	0.06
7.0	0.30	0.00	-0.20	-0.17	0.16	0.35	0.34	0.23	0.13
8.0	0.17	0.23	-0.11	-0.29	-0.10	0.19	0.34	0.32	0.22
9.0	-0.09	0.24	0.14	-0.18	-0.27	-0.06	0.20	0.33	0.30
10.0	-0.25	0.04	0.25	0.06	-0.22	-0.23	-0.01	0.22	0.31

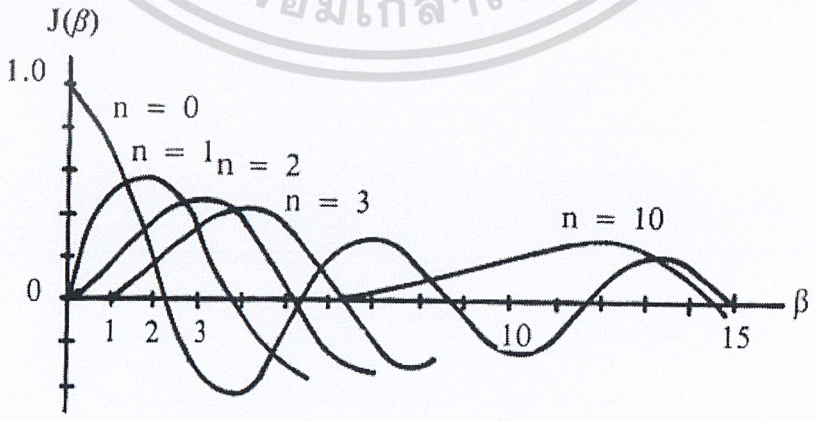
ตารางที่ 2.3 การกระจายคลื่นพาหะและไซด์แบนด์ที่ดัชนีการมอดูเลตต่างๆ

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นได้ว่า ถ้า $m_f = 0.5$ สเปกตรัมต่างๆ จะประกอบด้วย

คลื่นพาห์ (f_c) $J_0(0.5) = 0.94$

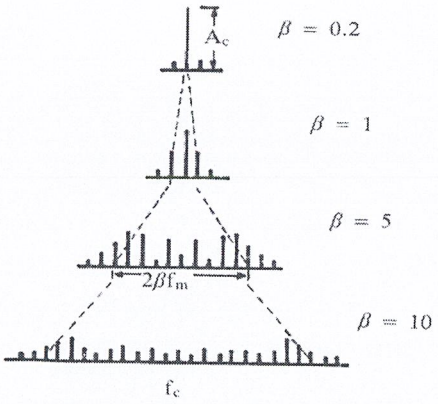
ความถี่ข้างเคียงตัวที่ 1 $(f_c \pm f_m)$ $J_0(0.5) = 0.24$

ความถี่ข้างเคียงตัวที่ 2 $(f_c \pm 2f_m)$ $J_0(0.5) = 0.03$



รูปที่ 2.19 แอมปลิจูดของคลื่นพาห์และไซด์แบนด์ของการมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 สเปกตรัมของคลื่นมอดูเลตแบบเอฟเอ็ม เมื่อ m_f = 0.5, 1, 2.5 และ 4.0

สเปกตรัมตามค่าต่างๆ ของ m_f ดังรูปที่ 2.20 ในกรณีนี้ ช่องไฟของแต่ละสเปกตรัมจะห่างเท่ากับความถี่ของสัญญาณมอดูเลต (f_m) และช่วงกว้างคลื่น (Bandwidth) จะมีค่าเท่ากับ

$$B_{FM} = 2nf_m \tag{2.21}$$

n คือ จำนวนความถี่ข้างเคียงที่ต้องการ

$$B_{FM} = 2(m_f + 1)f_m \tag{2.22}$$

แทนค่า m_f จากสมการ 2.19 จะได้

$$B_{FM} = 2(\Delta f + f_m) \tag{2.23}$$

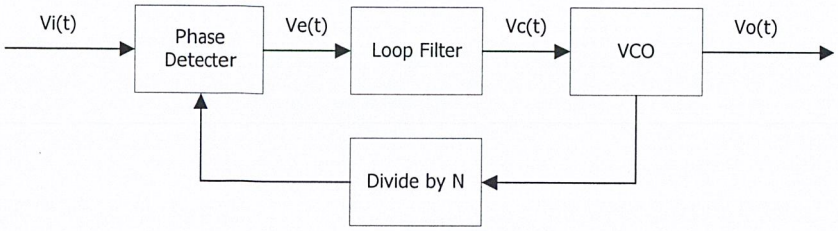
ในการหาเปอร์เซ็นต์การมอดูเลต จะให้ความสนใจทางด้านความถี่ โดยการตั้งสมมติฐานว่า ถ้าความถี่ของสัญญาณเปลี่ยนแปลงไปจนถึงค่าสูงสุดของการเบี่ยงเบนก็เรียกว่า ครบ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นสมมติว่า ค่าการเบี่ยงเบนทางความถี่สูงสุดเป็น 75 กิโลเฮิรตซ์ และเมื่อป้อนสัญญาณมอดูเลตแล้วไม่มีการเบี่ยงเบนทางความถี่เพียง 37.5 กิโลเฮิรตซ์ ก็หาค่าเปอร์เซ็นต์การมอดูเลตได้ = (37.5/75)*100 = 50%

2.7.1 ระบบสังเคราะห์ความถี่ที่ใช้เฟสล็อกลูป

วงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูป (Phase locked loop synthesizer) เป็นวงจรสังเคราะห์ความถี่ชนิดโปรแกรมได้ ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณความถี่ขนาดพอเหมาะ และให้มีความถี่ตามที่เรากำหนดโดยการประยุกต์ใช้งานของเฟสล็อกลูป ซึ่งเป็นระบบป้อนกลับที่มีการเปลี่ยนความถี่และเฟสของวงจรของออสซิลเลเตอร์ตามสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามา บล็อกไดอะแกรมเบื้องต้นของวงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูป แสดงดังรูปที่ 2.18 ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนเปรียบเทียบเฟส (Phase Detector: PD)
2. ลูปฟิลเตอร์ (Loop Filter: LF)
3. วงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมความถี่ด้วยแรงดัน (Voltage Controlled Oscillator)
4. วงจรหารความถี่ที่สามารถโปรแกรมได้ (Programmable Divider)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 บล็อกไดอะแกรมของวงจรสังเคราะห์ความถี่ที่ใช้เฟสล็อกลูป

การทำงานคร่าวๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้ ขณะที่ยังไม่มีสัญญาณเข้าไปในระบบ แรงดันควบคุม (Control Voltage) $V_c(t)$ จะเท่ากับศูนย์ VCO จะทำงานโดยตั้งความถี่ไว้ที่ f_0 กับความถี่ของ VCO ถ้าเกิดความแตกต่างของสัญญาณทั้งสอง f_0 กับเนื่องจากความถี่ไม่ตรงกันจะเกิดแรงดันคลาดเคลื่อนออกมา $V_e(t)$ แรงดันคลาดเคลื่อนนี้จะถูกกรองผ่านลูปฟิลเตอร์ ขยายแล้วป้อนให้กับ VCO ในการนี้แรงดันควบคุม $V_c(t)$ จะไปบังคับความถี่ของ VCO ให้เปลี่ยนไปในทิศทางที่จะลดความถี่ที่แตกต่างระหว่างความถี่ f_0 กับความถี่ f_R ถ้าความถี่ f_R ใกล้เคียงกับความถี่ f_0 จากการป้อนกลับของเฟสล็อกลูป ซึ่งสัญญาณที่ป้อนกลับไปยังลูปฟิลเตอร์จะเป็นความถี่เอาท์พุตของ VCO ที่ถูกหาร โดย N จะทำให้ VCO ซิงโครไนส์หรือล็อก (lock) กับสัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้ามา ขณะที่ทำการล็อกนั้นความถี่ของ VCO จะเท่ากับความถี่ของสัญญาณอินพุตพอดี

ในสภาวะล็อกความถี่จะได้ว่า

$$f_R = f_d \tag{2.24}$$

และความถี่ที่ได้จากการหาร

$$f_d = f_0 / N \tag{2.25}$$

ดังนั้นความถี่ที่เอาท์พุตจะได้เป็น

$$f_0 = Nf_d \tag{2.26}$$

แต่ในสภาวะล็อกความถี่ เฟสของสัญญาณทั้งสองจะยังคงต่างกันอยู่ ซึ่งมีความจำเป็นต่อการผลิตแรงดันคลาดเคลื่อน $V_e(t)$ ที่จะไปคอยปรับความถี่ VCO จากค่าความถี่ฟรีรันนิ่ง (free-running) ให้เท่าตัวได้เอง ทำให้เฟสล็อกลูปสามารถติดตามการล็อกกับระบบซึ่งจะขึ้นอยู่กับแรงดันคลาดเคลื่อน (capture range) จะขึ้นกับขอบแบนด์ของวงจรกรองความถี่และอัตราขยายลูปปิดของระบบทั้งหมด เฟสล็อกลูปที่มีการหารความถี่ชนิดโปรแกรมได้ภายในลูปเป็นวิธีที่เหมาะสำหรับการสังเคราะห์ความถี่ที่มีค่ามากจากความถี่อ้างอิงความถี่เดียว

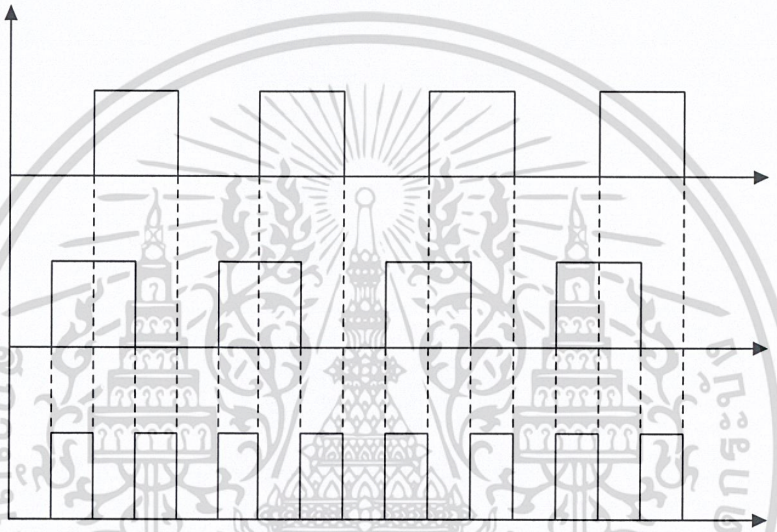
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติที่ต้องการของวงจรสังเคราะห์ความถี่ จะต้องผลิตสัญญาณความถี่ขนาดพอเหมาะและให้มีความถี่ตามที่เรากำหนด ช่วงความถี่ใช้งานของวงจรสังเคราะห์ความถี่จะจำกัดอยู่ในช่วงที่แน่นอน แล้วแต่การใช้งานและความละเอียดของความถี่ที่เปลี่ยนแปลงได้ทีละขั้น ซึ่งเรียกว่า รีโซลูชั่น (resolution)

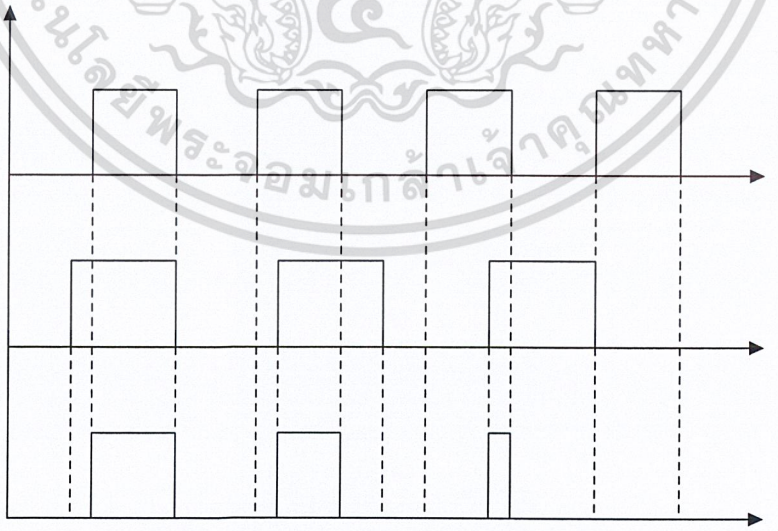
2.7.2 ระบบเฟสล็อกลูป

แต่ละส่วนจะมีผลต่อคุณสมบัติและการทำงานของระบบ ซึ่งหน้าที่ของแต่ละส่วนจะอธิบายดังนี้

1. เฟสดีเทคเตอร์ ทำหน้าที่เปรียบเทียบเฟสของอินพุตซึ่งจะมีผลของเฟสที่ต่างกันเรียกว่าความผิดพลาดเฟส (Phase Error) ความผิดพลาดเฟสนี้จะมีค่าน้อยที่สุดเป็นศูนย์ และจะมีค่ามากที่สุดเป็น $\pi / 2$ เฟสดีเทคเตอร์จะทำให้การเปลี่ยนความผิดพลาดเฟสนี้ให้กลายเป็นระดับแรงดันด้วยค่าคอเวอร์ชันเกน ลักษณะการเปรียบเทียบเฟสของอินพุตทั้งสองเฟสของเฟสดีเทคเตอร์จะแสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22ผลต่างเฟสเมื่อความถี่เท่ากัน



รูปที่ 2.23 ผลต่างเฟสเมื่อความถี่อินพุตไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฟสดีเทคเตอร์ จะมีใช้กัน 2 แบบ คือ แบบที่ 1 และแบบที่ 2

1.1 เฟสดีเทคเตอร์แบบที่ 1 จะถูกออกแบบมาเพื่อทำการตรวจจับคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave) ต่างๆ ทั้งทางอนาล็อกหรือทางดิจิตอล ซึ่งเฟสดีเทคเตอร์แบบที่ 1 จะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นสำหรับเฟสอินพุตในช่วงตั้งแต่ $0-\pi$

1.2 เฟสดีเทคเตอร์แบบที่ 2 จะทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงสถานะหรือขอบสัญญาณ โดยวงจรเฟสดีเทคเตอร์ชนิดนี้จะผลิตพัลส์บวกหรือลบขึ้นอยู่กับการนำหน้า (lead) หรือตามหลัง (lag) ของสัญญาณ วงจรวีซีโอ เมื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิง ความกว้างระหว่างขอบสัญญาณอินพุตทั้งสองของเฟสดีเทคเตอร์และจะเป็นตัวกำหนดขนาดของแรงดันที่ป้อนให้วีซีโอ ข้อดีของเฟสดีเทคเตอร์ชนิดนี้คือการมีเอาท์พุตที่ไม่ขึ้นกับดิวตีไซเคิล (duty cycle) ของสัญญาณอินพุตและการไม่มีการกระเพื่อม (Ripple) ที่เอาท์พุตเหมือนในกรณีของเฟสดีเทคเตอร์แบบที่ 1

2. ลูปฟิลเตอร์ ทำหน้าที่กรองสัญญาณความถี่สูงที่ออกมาจากเฟสดีเทคเตอร์ เนื่องจากเฟสดีเทคเตอร์ให้เอาท์พุตเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงที่มีแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับร่วมมาด้วย สัญญาณความถี่ที่ได้เกิดจากความต่างเฟส ยิ่งต่างเฟสมากความถี่ยิ่งสูง ดังนั้นลูปฟิลเตอร์จึงช่วยกรองเอาสัญญาณความถี่สูงซึ่งแสดงว่ามีความต่างเฟสมากออก ทำให้ระบบสามารถจับ (capture) สัญญาณได้ในช่วงหนึ่งและช่วยให้ระบบรักษาการล็อกไว้ได้อีกด้วย

3. วงจรขยายสัญญาณ ใช้ปรับขนาดสัญญาณไฟตรง เพื่อให้การควบคุมดีขึ้น เอาท์พุตของวงจรนี้จะป้อนให้แก่วงจรวีซีโอ

4. วงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมความถี่ด้วยแรงดันหรือวงจรวีซีโอ ทำหน้าที่ผลิตความถี่สัญญาณโดยการควบคุมระดับแรงดันเอาท์พุตด้วยคอนเวอร์ชั่นเกน ระดับของแรงดันนี้จะได้จากเอาท์พุตของลูปฟิลเตอร์ ความถี่ที่ล็อกมาจากลูปฟิลเตอร์จะมีผลทำให้เอาท์พุตของวงจรวีซีโอเปลี่ยนความถี่ด้วยเช่นกัน เนื่องจากวงจรออสซิเลเตอร์เป็นวงจรผลิตความถี่สัญญาณจึงเป็นส่วนที่จำเป็นสำหรับวงจรเฟสล็อกลูป วงจรวีซีโอไม่จำเป็นต้องมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับแรงดันไฟฟ้าที่มาควบคุมมากนักในกรณีทั่วๆ ไป แต่ถ้าไม่เป็นเชิงเส้นมากเกินไปแล้วอัตราขยายก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามความถี่ของสัญญาณด้วย ฉะนั้นจึงต้องคำนึงถึงความเสถียรภาพของลูปด้วย

การทำงานของระบบเฟสล็อกลูปสามารถอธิบายอย่างคร่าวๆ ได้ดังนี้ เฟสดีเทคเตอร์จะเปรียบเทียบเฟสของสัญญาณอินพุต $V_i(t)$ กับความถี่ของวงจรวีซีโอ และทำให้ได้ความผิดพลาดของแรงดัน $V_e(t)$ และกรองผ่านลูปฟิลเตอร์ไปควบคุมอินพุตของวงจรวีซีโอ ตามปกติเมื่อไม่มีสัญญาณอินพุตป้อนให้กับระบบเฟสล็อกลูปความผิดพลาดของแรงดันจะผ่าน ลูปฟิลเตอร์ $V_d(t)$ ในฟีดแบ็กลูปจะมีค่าเป็นศูนย์ วงจรวีซีโอจะทำงานที่ความถี่ศูนย์กลาง ซึ่งเราเรียกว่า ความถี่ฟรีรันนิ่งของวีซีโอ

ถ้ามีสัญญาณอินพุตเป็นไฟฟ้ากระแสสลับป้อนให้กับระบบเฟสล็อกลูปและสัญญาณดังกล่าวมีความถี่อินพุตใกล้เคียงกับความถี่ฟรีรันนิ่งพอเพียง การฟีดแบ็กของเฟสล็อกลูปจะทำให้ได้ความผิดพลาดของแรงดันไปขับวงจรวีซีโอให้มีความถี่ซิงโครไนส์กับความถี่อินพุต ซึ่งแสดงว่าระบบเฟสล็อกลูปมีความถี่เอาท์พุตล็อกกับความถี่ของสัญญาณอินพุต

การทำงานของระบบเฟสล็อกลูปสามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะตามคุณสมบัติของลูปดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เมื่อระบบไม่อยู่ในภาวะล็อก $(\omega_i \neq \omega_0)$

เราสมมติสัญญาณ V_i และ V_0 เป็นสัญญาณรูปคลื่นซายน์มีค่าเป็น

$$V_i t = E_i \cos(\omega_i t + \theta_i) \quad (2.27)$$

$$V_0 t = E_0 \cos(\omega_i t + \phi_0) \quad (2.28)$$

ถ้าเฟสดีเทคเตอร์มีคุณสมบัติเป็นอนาล็อกมัลติพลายเออร์ เราจะได้สัญญาณเอาท์พุตของเฟสดีเทคเตอร์เป็น

$$V_e(t) = K_d \cos[(\omega_i - \omega_0)t + \theta_i - \phi_0] + K_d \cos[(\omega_i - \omega_0)t + \theta_i + \phi_0] \quad (2.29)$$

เมื่อนำสัญญาณผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านจะได้เป็น

$$V_d(t) == K_d \cos[(\omega_i - \omega_0)t + \theta_i - \phi_0] \quad (2.30)$$

เนื่องจาก V_i และ V_0 ไม่ซิงโครนัสกัน ดังนั้นสัญญาณเอาท์พุตของเฟสดีเทคเตอร์ V_d จะเป็นสัญญาณรูปคลื่นไซน์ที่มีแอมปลิจูดสูงสุดเท่ากับ K_d และมีความถี่เชิงมุมเท่ากับความถี่เชิงมุมระหว่างสัญญาณ V_i และ V_0 คือ ω_i และ ω_0 มีค่าแตกต่างกันมาก ดังนั้นแรงดันไฟฟ้า V_d จะไม่สามารถผ่านลูปฟิลเตอร์ได้ ทำให้ได้ค่า V_c และค่าฟีดแบ็กของลูปจะไม่มีผลอะไรคือไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงใดๆ ภายในลูป แรงดันเอาท์พุตของวงจรวีซีโอจะมีค่าอยู่ที่ความถี่ฟรีรันนิ่ง ดังนั้น ω_0 และ ϕ_0 จะมีค่าเป็นอิสระอย่างสมบูรณ์ต่อ ω_i และ θ_i จะพูดได้ว่าลูปไม่อยู่ในสภาวะล็อก แต่ถ้า $\omega_i - \omega_0 \pm \omega$ มีค่าน้อยกว่าแบนด์วิดท์ของลูปซึ่งกำหนดได้โดยพารามิเตอร์ของลูปและการฟีดแบ็กจะมีผลทำให้ระบบเข้าสู่สภาวะล็อกได้

2. เมื่อระบบเข่าสู่สภาวะล็อก $(\omega_i = \omega_0)$

ในกรณีที่สัญญาณเอาท์พุตวงจรวีซีโอ มีความถี่ซิงโครนัสกับสัญญาณอินพุต V_i กับสัญญาณเอาท์พุต V_0 จะมีค่าเป็น

$$V_0 = E_0 \cos(\omega_i t - \psi_0) \quad (2.31)$$

นอกจากนั้นค่าของเฟสกับสัญญาณเอาท์พุตจะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นกับเวลา ซึ่งมีค่าเป็น

$$\phi_0 = (\omega_i - \omega_0)t + \psi_0 \quad (2.32)$$

และสัญญาณเอาท์พุตของเฟสดีเทคเตอร์หรือความผิดพลาดของสัญญาณจะกลายเป็นสัญญาณไฟกระแสตรง มีค่าเท่ากับ

$$V_d = K_d \cos(\theta_i - \psi_0) \quad (2.33)$$

ลูปฟิลเตอร์จะยอมให้สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง V_i ผ่านได้และมีค่าเท่ากับ

$$V_d = K_d \cos(\theta_i - \psi_0) \quad (2.34)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรวีซีโอจะเป็นออสซิลเลเตอร์ชนิดมอดูเลตความถี่ ความถี่เชิงมุมที่เปลี่ยนทันทีทันใดของวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมความถี่ด้วยแรงดัน (ω_{inst}) จะเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นกับสัญญาณควบคุมอินพุต V_c โดยความถี่เชิงมุมที่ศูนย์กลางเป็นดังนี้

$$\omega_{inst} = \frac{d(\omega_0 t + \phi_0)}{dt} = \omega_0 + K_0 V_d \qquad (2.35)$$

$$\frac{d(\phi_0)}{dt} = K_0 V_d$$

เมื่อ K_0 เป็นความไวในการมอดูเลตของวงจรวีซีโอทำการแทนค่าสมการ 2.34 ลงใน 2.35 จะได้

$$\omega_i - \omega_0 = K_d K_0 \cos(\theta_i - \psi_0) \qquad (2.36)$$

$$\psi_0 = \theta_i - \cos^{-1}[(\omega_i - \omega_0)/K_d K_0] \qquad (2.37)$$

ดังนั้น สัญญาณเอาท์พุตของเฟสดีเทคเตอร์ V_d สามารถเขียนได้เป็น

$$V_d = (\omega_i - \omega_0)/K_0 \qquad (2.38)$$

ส่วนประกอบไฟฟ้ากระแสสลับของเฟสดีเทคเตอร์เอาท์พุต V_d จะผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านไปเป็นแรงดันควบคุมให้กับอินพุตของวงจรวีซีโอ

จากสมการ 2.36 จะเห็นชัดเจนว่า สัญญาณไฟฟ้ากระแสตรง V_d จะไปทำให้ความถี่เชิงมุมของวงจรวีซีโอมีค่าเปลี่ยนไปจากศูนย์กลางของวงจรวีซีโอ คือ ω_0 ไปเท่ากับความถี่เชิงมุมของสัญญาณอินพุต ω_i นั่นคือ

$$\omega_{mst} = \omega_0 + K_0 V_d = \omega_0 + (\omega_i - \omega_0) = \omega_1 \qquad (2.39)$$

ถ้าความแตกต่างของความถี่เชิงมุมเริ่มต้น $\omega_i - \omega_0$ มีค่าน้อยกว่าผลคูณของ $K_d K_0$ อย่างมาก สมการ 2.32 จะมีค่าเป็น

$$\theta_i - \psi_0 \cong \cos^{-1} 0 = \pi/2 \qquad (2.40)$$

จากสมการ 2.40 หมายความว่าถ้าความถี่ออฟเซตระหว่างสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาท์พุตของวงจรวีซีโอจะมีค่าน้อยเมื่อลูปไม่อยู่ในสภาวะล็อกและสัญญาณวงจรวีซีโอจะมีเฟสต่างกับสัญญาณอินพุต $90°$ เมื่อลูปอยู่ในสภาวะล็อกหรือเฟสควอดราเจอร์จะสอดคล้องกับ $\omega_i = \omega_0$ ด้วยเหตุผลนี้จึงแทนค่า ψ_0 ด้วยค่าเฟสเอาท์พุต θ_0 ดังนั้น

$$\theta_0 = \psi_0 - \pi/2 \qquad (2.41)$$

แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุตของเฟสดีเทคเตอร์เขียนเป็น

$$\begin{aligned} V_d &= K_d \cos(\theta_i - \psi_0) \\ &= K_d \cos[(\theta_i - \theta_0) - \pi/2] \\ &= K_d \sin(\theta_i - \theta_0) \end{aligned} \qquad 2.42)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากสมการ 2.38 และ 2.40 จะได้ค่าความผิดพลาดเฟสเป็น

$$\theta_i - \theta_0 = \sin^{-1}(\omega_i - \omega_0)/K_d K_0 \tag{2.43}$$

เมื่อผลต่างของเฟส $\theta_i - \theta_0$ มีค่าน้อยเพียงพอจะได้ว่า

$$V_d = K_d(\theta_i - \theta_0) \cong K_d\theta_e \tag{2.44}$$

เมื่อ $\theta_c = \theta_i - \theta_0$ เนื่องจากคุณสมบัติของเฟสดีเทคเตอร์แบบนี้ เมื่อลูปเข้าสู่การล็อกสัญญาณของ วงจรวีซีโอ จะมีเฟสต่างไปจากสัญญาณอินพุต 90° คือ $\theta_i - (\theta + \pi/2)$ ดังนั้นเฟสดีเทคเตอร์จะให้แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุตที่เป็นสัดส่วนกับความต่างเฟสระหว่างสัญญาณอินพุต V_i กับสัญญาณเอาท์พุตของวงจรวีซีโอ คือ V_0 ในลักษณะของควอดราเจอร์ คือ

$$\begin{aligned} V_d &= K_d[(\theta_i - \theta_0) - \pi/2] \\ &= K_d(\theta - \pi/2) \end{aligned} \tag{2.45}$$

สัญญาณเฟส V_d นี้จะผ่านลูปฟิลเตอร์ไปป้อนให้กับอินพุตที่ควบคุมวงจรวีซีโอเพื่อแก้ไขให้ความถี่ของวงจรเปลี่ยนจาก ω_0 ไปเป็น ω_i และดำรงการล็อกให้คงอยู่ได้

$$\begin{aligned} V_d &= (\omega_i - \omega_0)/K_0 \\ \omega_i &= \omega_0 + K_0 V_d \end{aligned} \tag{2.46}$$

จากสมการ 2.45 และ 2.46 จะหาค่าของความผิดพลาดเฟส θ_c ได้เป็น

$$\theta_i = \pi/2 + [(\omega_i - \omega_0)]/K_d K_0 \tag{2.47}$$

จากสมการ 2.39 จะสังเกตได้ว่าเมื่อ $\omega_0 = \omega_i$ แรงดันไฟฟ้าของวงจรวีซีโอจะมีเฟสควอดราเจอร์ คือ มีเฟสต่างไปจาก 90° เมื่อ ω_i เคลื่อนไปทางสูงกว่า ω_0 มุมของเฟสจะเพิ่มขึ้นจาก 90° ไปสู่ค่าสูงสุด 180° ที่อยู่เหนือสุดของพิกัดการล็อกและถ้า ω_i เคลื่อนไปทางต่ำกว่า ω_0 มุมเฟสจะลดลงจาก 90° ไปสู่ค่า 0° ที่ล่างสุดของพิกัดการล็อก

ถ้าความถี่ของสัญญาณอินพุตเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ ระบบเฟสล็อกลูปจะสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงและอยู่ในสภาวะล็อกได้โดยจะเพิ่มค่า θ_c ให้มากขึ้นตามเวลา θ_c ที่เพิ่มขึ้นจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ความผิดพลาดของแรงดันไฟฟ้า V_d ไปทำให้ความถี่ของวงจรวีซีโอเลื่อนไปเท่ากับความถี่ของสัญญาณอินพุต โดย V_d จะมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างระหว่างความถี่สัญญาณอินพุต ω_i กับความถี่ฟรีรันนิ่ง ω_0ของวงจรวีซีโอ แต่ถ้าจะสามารถแทรกกิ้งได้นั้นจะต้องมีความผิดพลาดเฟสน้อย

สมมติว่าระบบเฟสล็อกลูปมีเฟสอินพุตเปลี่ยนแปลงเป็นสเตปเท่ากับ $\Delta\omega = \omega_i - \omega_0$ ลูปต้องการควบคุมแรงดันเพื่อทำให้วงจรวีซีโอมีความถี่เลื่อนไปเท่ากับ $\Delta\omega$ ดังนั้น V_c จะมีค่าเป็น

$$V_c = \Delta\omega / K_0 \tag{2.48}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อลูปเข้าสู่สภาวะคงที่ $V_c = V_d F(s)$ เมื่อ $F(s)$ คือ อัตราขยายต่อสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงของลูปฟิลเตอร์สัญญาณ V_c จะทำให้ลูปเข้าสู่สภาวะล็อกดังเดิม ดังนั้นความผิดพลาดเฟสจะต้องเป็น

$$\theta = \frac{\pi}{2} = V_d K_d \qquad (2.49)$$
$$= \Delta\omega / K_0 K_d F(s)$$

เมื่อความผิดพลาดเฟสมีค่าเพิ่มขึ้นลูปจะสามารถปรับตัวเองให้มีความถี่เอาท์พุตแทรกตามการเปลี่ยนแปลงของอินพุตได้ดังเดิมเมื่อระบบอยู่ในสภาวะล็อก เราสามารถจะวิเคราะห์ระบบเฟสล็อกลูปได้ในลักษณะระบบป้อนกลับที่เป็นเชิงเส้น โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ระบบป้อนกลับแบบทั่วไปด้วยลาปลาซ ทรานส์ฟอร์มและสมการดิฟเฟอเรนเชียล จะสังเกตเห็นว่าหากแบนวิดท์ของลูปฟิลเตอร์ ω ลดลงหรือค่า K เพิ่มขึ้น ค่า ξ ของลูปลดลงผลตอบสนองทางความถี่ของลูปจะเป็นพีค และผลตอบสนองต่อสเตปของลูปในช่วงเริ่มต้นชั่วขณะจะเกิดการออสซิลเลต ค่าพีคในผลตอบสนองทางความถี่จะเป็นสาเหตุให้เกิดการผิดเพี้ยนในสัญญาณเอาท์พุต และเป็นสาเหตุให้เกิดการแกว่งหรือให้ผลตอบสนองที่เลวเมื่อลูปมีการรบกวนเกิดขึ้นชั่วขณะ การออกแบบระบบเฟสล็อกลูปให้มีคุณสมบัติการทำงานให้ดีที่สุดจึงควรกำหนดให้ ξ มีค่าเท่ากับ $1/\sqrt{2}$ จะได้

$$\omega = 2K_V \qquad (2.50)$$

และความถี่ที่คัทออฟ $-3dB$ แบนวิดท์ของลูปจะได้เป็น

$$\omega_n = \sqrt{K_V \omega_1} = \sqrt{2} K_V \qquad (2.51)$$

วงจรเฟสล็อกลูปที่ใช้ในระบบสื่อสารทั่วไปจะต้องให้มีพิสัยการล็อกกว้างเพื่อที่จะได้สามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณอินพุตได้ช่วงกว้าง นอกนั้นก็ต้องการให้ระบบมีแบนวิดท์ของลูปแคบๆ เพื่อกำจัดสัญญาณที่อยู่นอกแบนด์

พิกัดความถี่ตลอดช่วงที่เฟสล็อกลูปสามารถดำรงการล็อกไว้ได้กับสัญญาณอินพุต เราเรียกว่า “พิสัยการล็อก” เราสามารถหาพิสัยการล็อกได้โดยพิจารณาจากสมการของความผิดพลาดเฟส ซึ่งเราพบว่าความผิดพลาดเฟสจะมีค่ามากที่สุดเท่ากับ π น้อยที่สุดเท่ากับศูนย์ จะได้พิสัยการล็อก $\Delta\omega = \omega_i - \omega_0$ เท่ากับ

$$\Delta\omega = (\theta_e - \pi/2) K_0 K_d F(s) \qquad (2.52)$$

แทนค่า $\theta_{emax} = \pi$ และ $\theta_{emin} = 0$

$$\Delta\omega = (\pm\pi/2) K_0 K_d F(s) \qquad (2.53)$$
$$2\Delta\omega_L = \pm\pi K_0 K_d F(s)$$

เมื่อ $\Delta\omega_l$ คือ พิสัยการล็อก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะสังเกตได้ว่า ถ้า ω_i เบี่ยงเบนไปจากความถี่ศูนย์กลาง ω_0 มาก โดยมีค่าไม่สอดคล้องกับสมการที่ 2.47 สภาวะสมดุลของการซิงโครนัสจะไม่สามารถดำรงอยู่ต่อไปได้และลูปจะหลุดออกไปจากการล็อกกับความถี่ของสัญญาณอินพุต

การวิเคราะห์ถึงพิสัยการล็อกระบบต้องมีสภาวะเดิมล็อกอยู่กับความถี่อินพุตแล้ว แต่มีอีกอย่างที่เราควรพิจารณาเมื่ออยู่ในสภาวะที่ระบบยังไม่ล็อกกับสัญญาณอินพุตเพื่อกำหนดช่วงความถี่ ซึ่งระบบเฟสล็อกลูปสามารถล็อกกับสัญญาณอินพุตในช่วงความถี่ดังกล่าว ความถี่ช่วงนี้เราเรียกว่า พิสัยแคปเจอร์ ซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าความถี่คัทออฟของลูปฟิลเตอร์ ω_i และพิสัยล็อก $\Delta\omega_L$ จะได้พิสัยแคปเจอร์เท่ากับ

ในกรณีทั่วๆ ไป $\Delta\omega_L >> \omega_i$

$$\Delta\omega_c = \pm\sqrt{\omega_i \Delta\omega_L} \tag{2.54}$$

$$2\Delta\omega_c = 2\sqrt{\omega_i \Delta\omega_L} \tag{2.55}$$

ในกรณีทั่วไป $\Delta\omega_L >> \omega_i$

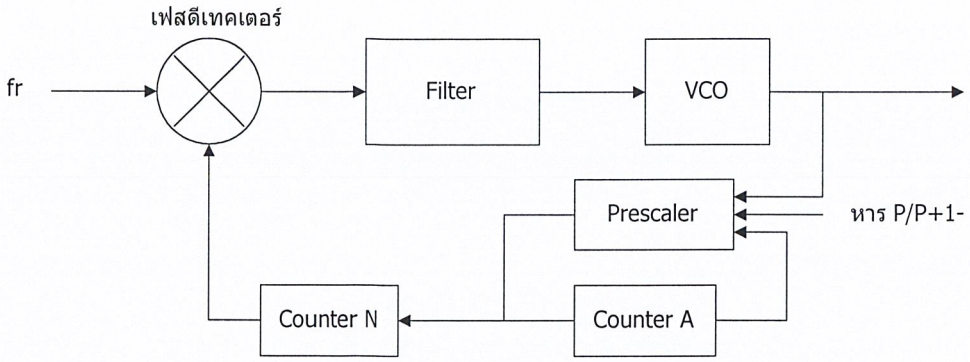
2.7.3 วงจรสังเคราะห์ความถี่เฟสล็อกลูปแบบพรีสเกลเลอร์สองโมดูลัส

วงจรสังเคราะห์ความถี่มีอยู่หลายแบบ ตัวอย่างที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้เป็นวงจรสังเคราะห์ความถี่เฟสล็อกลูปแบบพรีสเกลเลอร์สองโมดูลัส ซึ่งมีขั้นตอนการตั้งความถี่ขั้นละ f_R เท่ากับความถี่อ้างอิง วงจรเฟสล็อกลูปในรูปที่ 2.24ใช้พรีสเกลเลอร์ซึ่งเป็นวงจรนับที่ตัวหารเปลี่ยนค่าได้ระหว่าง P กับ P+1 เราเรียกพรีสเกลเลอร์แบบนี้ว่า “แบบพรีสเกลเลอร์สองโมดูลัส” วงจรนับหาร N_t ซึ่งโปรแกรมตัวหารได้นั้นทำงานที่ความถี่ต่ำ

เหตุผลที่ใช้แบบพรีสเกลเลอร์สองโมดูลัสก็เพื่อลดทอนความถี่ลง และให้ใช้กับวงจรหาร N ตระกูล TTL และ CMOS ได้ ทำให้สามารถสังเคราะห์ความถี่ไปถึงย่าน VHF ,UHF ได้

ส่วนสำคัญของวงจรคือแบบพรีสเกลเลอร์สองโมดูลัส ซึ่งเป็นไอซีตระกูล ECL มีความสามารถในการทำงานที่ความถี่สูง จะทำการหารล่วงหน้า (prescale) ก่อน และทำงานในลักษณะที่หารได้ 2 ค่าสลับกันในไอซีตัวเดียว โดยที่ตัวหารความถี่มีค่าต่างกันอยู่หนึ่ง คือ P และ P+1 เช่น หาร 64/65 เอาท์พุตของพรีสเกลเลอร์จะป้อนไปให้แก่วงจรเคาน์เตอร์ตระกูล TTL 2 ตัว ตัวหนึ่งเป็นเคาน์เตอร์หลัก (main counter) ส่วนอีกตัวเป็นเคาน์เตอร์เสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 วงจรสังเคราะห์ความถี่เฟสล็อกลูปแบบพรีสเกลเลอร์สองโมดูลัส

เคาน์เตอร์เสริมจะเป็นตัวบังคับให้พรีสเกลเลอร์หารด้วย P หรือ P+1 สมมติว่าป้อนข้อมูลพรีเซตตัวเลขให้เคาน์เตอร์เสริม และขณะนี้พรีสเกลเลอร์ให้ P+1 เป็นตัวหาร เคาน์เตอร์เสริมจะนับก่อน หลังลงไปเรื่อยๆ เคาน์เตอร์หลักจะนับถอยหลังไปพร้อมๆ กับเคาน์เตอร์เสริมเมื่อเคาน์เตอร์เสริมหยุดนับจะส่งสัญญาณบังคับให้พรีสเกลเลอร์เปลี่ยนเป็นหารด้วย P และเคาน์เตอร์หลักจะนับถอยหลังต่อไปจนเป็นศูนย์ เมื่อเคาน์เตอร์หลักและเคาน์เตอร์เสริมนับถึงศูนย์เมื่อใด ทั้งคู่จะถูกพรีเซตด้วยตัวเลขข้อมูล (ความถี่) ใหม่อีกครั้ง ดังนั้นตัวเลขที่พรีเซตให้เคาน์เตอร์เสริมจะต้องน้อยกว่าตัวเลขที่พรีเซตให้เคาน์เตอร์หลัก

สมมติตัวเลขที่พรีเซตให้เคาน์เตอร์หลักเป็น N และเคาน์เตอร์เสริมเป็น A เริ่มแรกให้พรีสเกลเลอร์อยู่ในสภาวะหาร P+1 ซึ่งจะยังคงหารด้วย P+1 ไปจนกว่าเคาน์เตอร์เสริมจะนับลงเป็นศูนย์นั้นคือเวลาที่ในการนับของเคาน์เตอร์เสริมเป็นศูนย์คิดเป็น จำนวนไซเคิลของ VCO ที่ผ่านไปเท่ากับ P+1 คูณด้วย A ไซเคิล

หลังจากนั้นพรีสเกลเลอร์จะถูกบังคับให้เปลี่ยนตัวหารเป็น P โดยสัญญาณบังคับจากเคาน์เตอร์ A ในขณะนี้เคาน์เตอร์หลักนับผ่านไปแล้ว A ยังเหลืออยู่ N-A นั้นคือต้องใช้เวลานับเคาน์เตอร์หลักคิดเป็นจำนวนไซเคิลของ VCO ที่ผ่านไปเท่ากับ P คูณด้วย N-A

ดังนั้นรวมค่าตัวหารทั้งหมดจะได้เท่ากับ

$$\begin{aligned} N_t &= (P+1)A + P(N-A) \\ &= PN + A \end{aligned} \tag{2.56}$$

ความถี่ของ VCO จะเท่ากับ PN+A เท่าของความถี่อ้างอิงหรือ

$$F_{SYNTH} = F_{REF}(PN + A) \tag{2.57}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 วงจรภาคไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์

วงจรไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์ในที่นี้ใช้ไอซีเบอร์ MC 3362 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- วงจรผสมสัญญาณ (Mixer) ซึ่งจะทำหน้าที่ย้ายความถี่ของสัญญาณไปไว้ในช่วงที่ความถี่กลาง ซึ่งทำการย้ายความถี่ 2 ต่อ (double conversion) โดยครั้งแรกย้ายความถี่ไปที่ 10.7 เมกกะเฮิร์ตซ์ ก่อนแล้วจึงย้ายความถี่ของสัญญาณอีกครั้งหนึ่งไปที่ 455 กิโลเฮิร์ตซ์

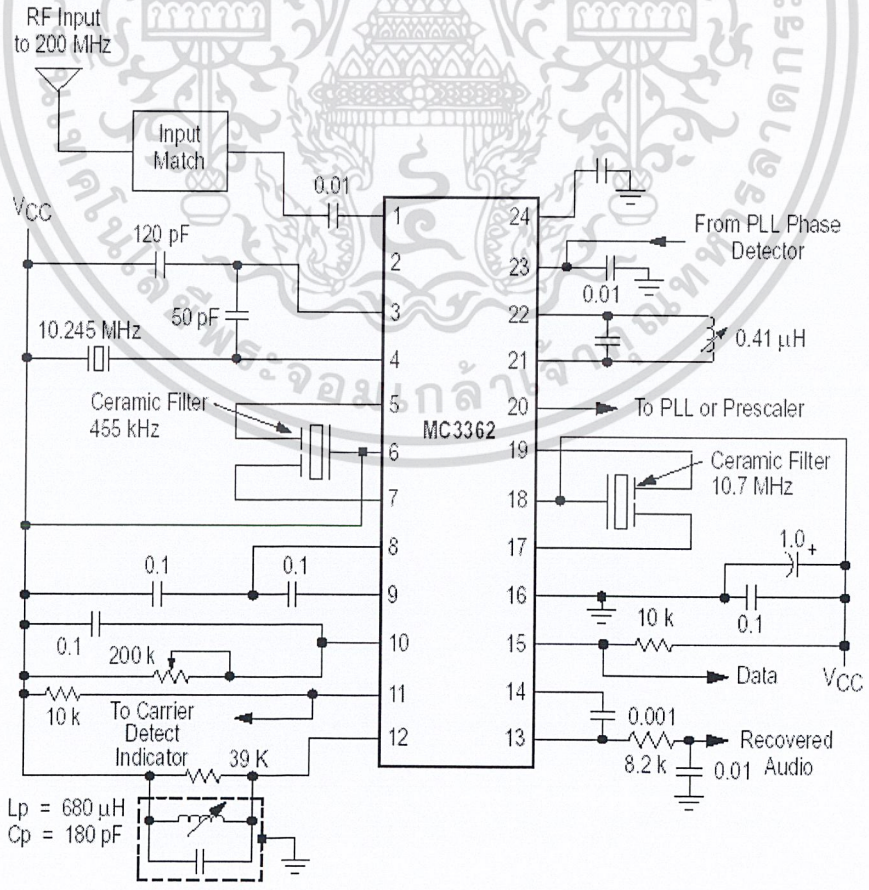
- เซรามิคฟิลเตอร์ (ceramic filter) ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองช่วงความถี่ผ่าน 10.7 เมกกะเฮิร์ตซ์ เพื่อให้ได้ความถี่กลาง 10.7 เมกกะเฮิร์ตซ์ออกมา

- เซรามิคฟิลเตอร์ 455 กิโลเฮิร์ตซ์ ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองช่วงความถี่ผ่าน 455 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อให้ได้ความถี่กลาง 455 กิโลเฮิร์ตซ์ออกมาที่จะส่งเข้าไปที่วงจรขยายลิมิตเตอร์ในไอซี MC 3362 อีกครั้ง

- วงจรขยายลิมิตเตอร์ (Limitter) เป็นวงจรขยายสัญญาณที่ได้จากเซรามิคฟิลเตอร์ให้แรงขึ้นและให้ได้ความถี่ขนาด 455 กิโลเฮิร์ตซ์ จริงๆ โดยการขลิบสัญญาณที่เกินออกเพื่อให้เอาท์พุตมีระดับสัญญาณที่สม่ำเสมอกันเพื่อลดความผิดเพี้ยนของสัญญาณก่อนส่งไปยังวงจรดีเทคเตอร์ต่อไป

- วงจรดีเทคเตอร์จะทำการดีเทคสัญญาณที่รับมาจากวงจรลิมิตเตอร์ ให้เป็นสัญญาณข่าวสารดั้งเดิมที่ทำการส่งมา

ซึ่งลักษณะวงจรที่ใช้งานจะเป็นดังรูปที่ 2.25



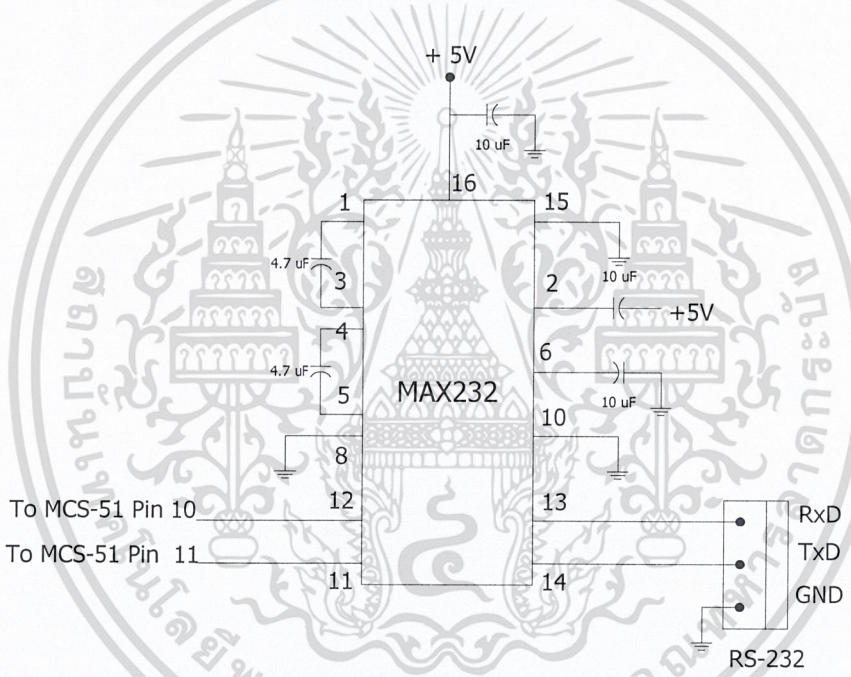
รูปที่ 2.25 แสดงแผนผังของไอซีเบอร์ MC3362

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การคำนวณและการสร้าง

3.1 วงจรเชื่อมต่อ MAX232 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ติดต่อเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมในมาตรฐาน RS-232 จะต้องอาศัยการเชื่อมต่อผ่านไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงระดับสัญญาณ ซึ่งในโครงงานนี้ได้เลือกใช้ไอซี MAX232 ซึ่งใช้ในการแปลงข้อมูลส่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จากระดับทีทีแอลไปเป็นระดับของ RS-232 และทำการแปลงข้อมูลรับจากคอมพิวเตอร์จากระดับของ RS-232 เป็นระดับทีทีแอลเพื่อให้สามารถถ่ายทอดไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างสมบูรณ์ โดยในรูปที่ 3.1 แสดงวงจรในการต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

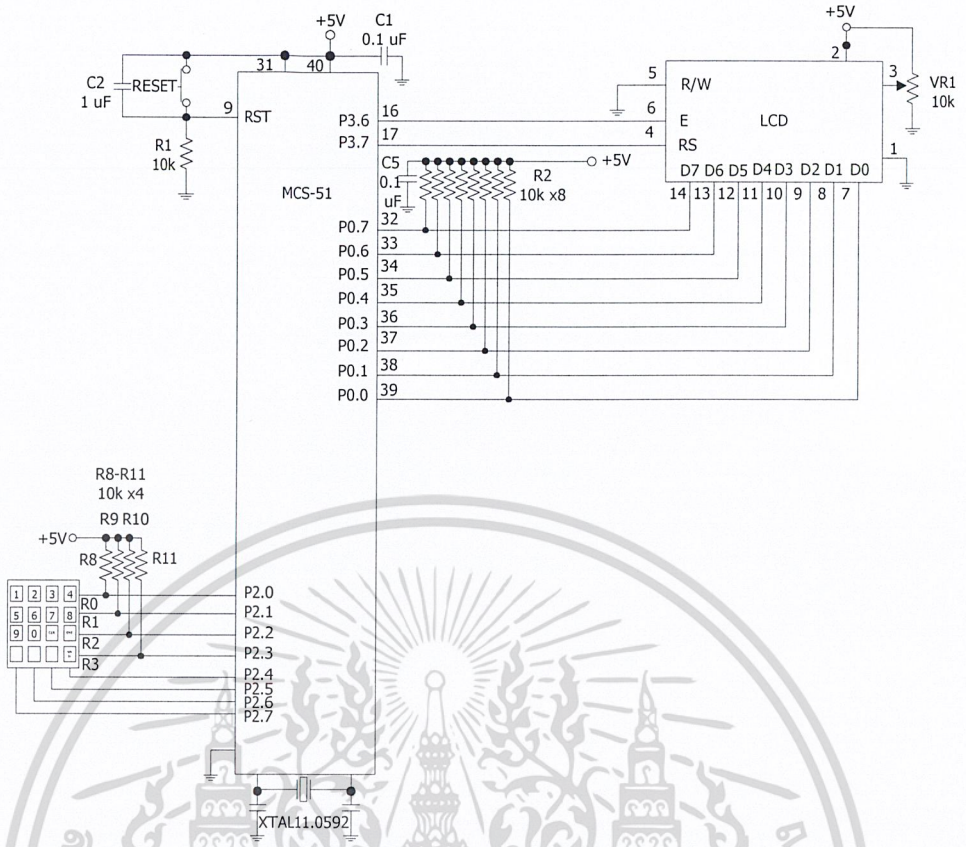


รูปที่ 3.1 วงจรเชื่อมต่อ MAX232 เข้ากับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์
และไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

3.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

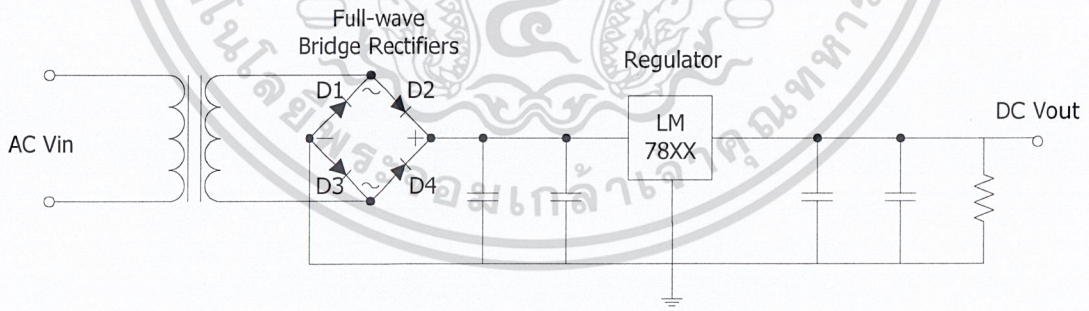
โครงงานนี้ได้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์มาทำงานในการรับค่ารายการอาหารจากผู้ใช้และแสดงผลทางจอแอลซีดี โดยทำการต่อคีย์แพดแบบเมตริกซ์ขนาด 4 x 4 มาใช้เป็นตัวรับค่า และต่อโมดูลแอลซีดีมาเป็นตัวแสดงผล ดังรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงการเชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์กับคีย์แพดและโมดูลแอลซีดี

3.3 วงจรแหล่งจ่ายกำลัง (Power Supply)

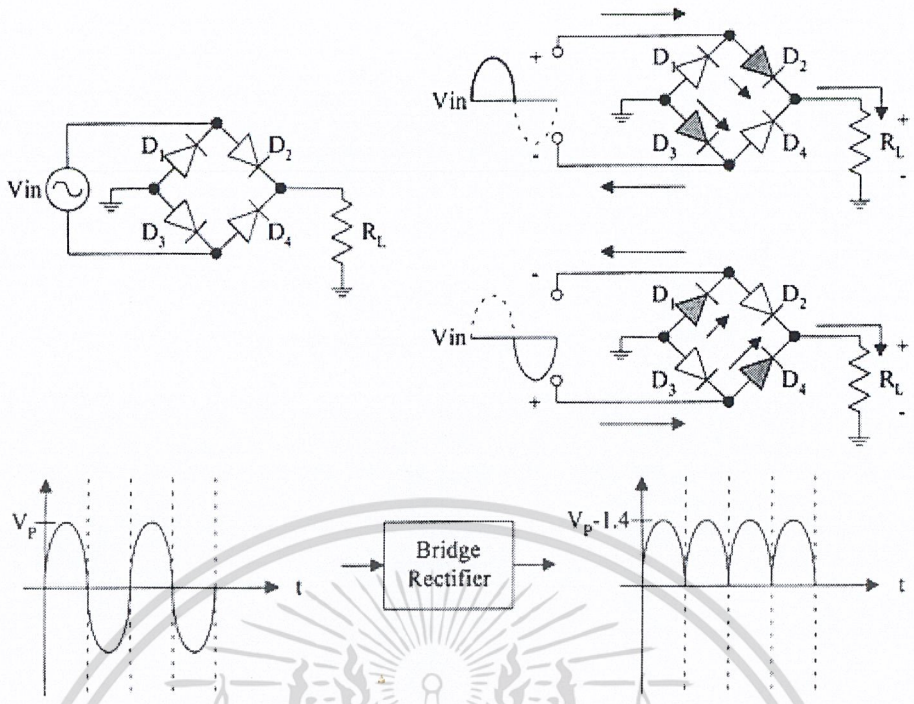


รูปที่ 3.3 วงจรแหล่งจ่ายกำลัง DC

แหล่งจ่ายกำลังเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงแรงดันแบบ AC ให้กลายเป็นแรงดันแบบ DC ประกอบด้วยอุปกรณ์พื้นฐาน คือ

1. Rectifiers เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงไฟ AC เป็นไฟ DC ซึ่งจะยังคงทำให้สัญญาณไฟ DC มีการกระเพื่อมอยู่ (AC-to-DC Converter) โดยในที่นี้เลือกใช้ Full-Wave Bridge Rectifiers เป็นวงจรแปลงกระแสแบบเรียงเต็มลูกคลื่น จะมีทั้งแบบที่ใช้ไดโอด 4 ตัวต่อกันแบบ bridge และแบบที่เป็นอุปกรณ์สำเร็จรูป 4 ขา โดย Rectifier แบบไดโอดที่ต่อกันแบบ bridge มีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 3.4

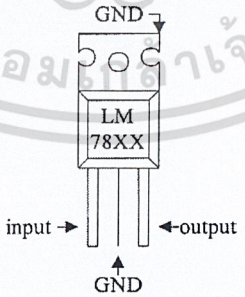
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 หลักการทำงานของ Bridge Rectifier แบบไดโอด

2. Low pass Filter ทำให้ไฟ DC ที่ได้จาก Rectifier เรียบมากขึ้น โดยใช้หลักการ charge และ discharge ของตัวเก็บประจุ ซึ่งสามารถเลือกใช้ได้หลายแบบอาจเป็นแอกทีฟฟิลเตอร์หรือพาสซีฟฟิลเตอร์ก็ได้

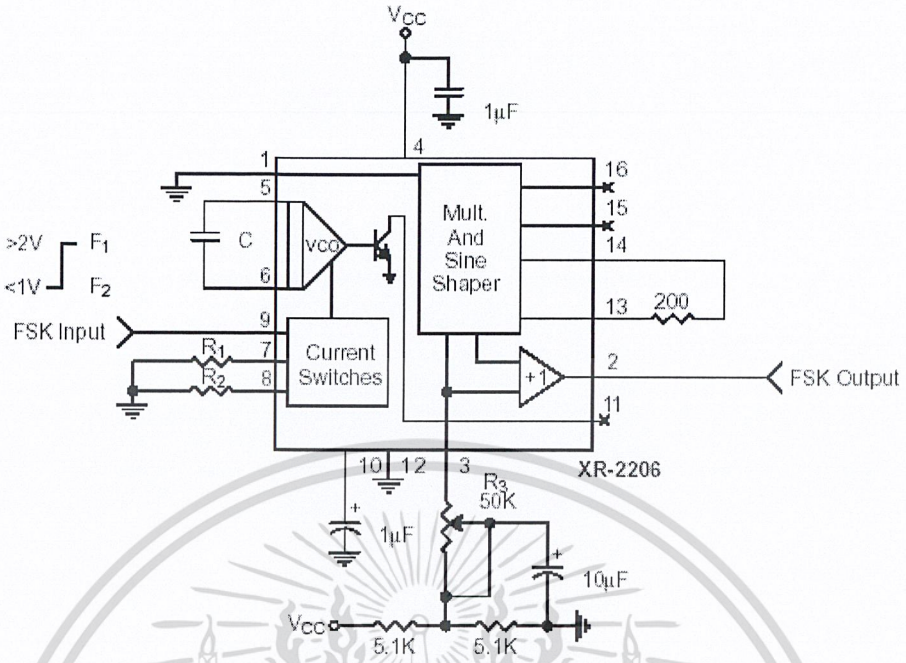
3. Regulator เป็นอุปกรณ์ที่ให้ไฟ DC ค่าต่างๆ โดยการแปลงจากแหล่งกำเนิดไฟ DC (DC-to-DC Converter) โดย Regulator เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ 3 ขา มีหน้าที่แปลงระดับแรงดัน DC ไปเป็นแรงดัน DC อีกระดับหนึ่ง มีขา 3 ขา คือ ขา input, ground และ output มีลักษณะแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างของไอซี Rectifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 วงจรฟรีเควนซีชิพท์คีย์อิ้งมอดูเลชั่น (Frequency Shift Keying Modulation)



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของไอซีเบอร์ XR2206

ในที่นี้เลือกใช้ไอซี XR2206 ซึ่งเป็นอุปกรณ์โมโนลิทิคฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ (Monolithic function generator) ใช้งานสำหรับสร้างสัญญาณซายน์ (sine), สี่เหลี่ยม (triangle), แรมพ์ (ramp), พัลส์ (pulse) ที่มีคุณภาพ เสถียรภาพและความเที่ยงตรงสูง รูปคลื่นเอาท์พุตสามารถมอดูเลตได้ทั้งทางขนาดและทางความถี่ ค่าแรงดันภายนอก โดยมีช่วงความถี่ใช้งานตั้งแต่ 0.01 เฮิรตซ์ ถึง 1 เฮิรตซ์ ไอซีเบอร์นี้เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบสื่อสารในระบบเครื่องมือวัด และระบบที่ต้องการแหล่งกำเนิดสัญญาณซายน์ เอเอ็ม เอฟเอ็ม หรือสัญญาณที่ผ่านการเข้ารหัสแบบเลื่อนความถี่ มีค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนของอุณหภูมิเป็น 20 ppm/องศาเซลเซียล ความถี่ ออสซิลเลเตอร์ สามารถกวาดเป็นเชิงเส้นได้สูงกว่า 2000 : 1 ช่วงความถี่ โดยการควบคุมของแรงดันภายนอกในขณะที่มีความเพี้ยนต่ำ

XR2206 ประกอบด้วย 4 ภาคการทำงาน ได้แก่ ส่วนแรงดันควบคุมการ (Voltage Controlled oscillator : VCO) วงจรคูณอนาลอก วงจรปรับสัญญาณสวิตช์กระแส ส่วนแรงดันควบคุมการทำงานของออสซิลเลเตอร์จะผลิตเอาท์พุตความถี่ที่เป็นสัดส่วน กระแสอินพุต ซึ่งสามารถกำหนดได้ โดยตัวต้านทานที่ต่อเข้าที่ขาที่เกี่ยวกับเวลาลงกราวด์ เนื่องจากมี 2 ขาที่เกี่ยวกับเวลา ดังนั้นจึงสามารถสร้างสัญญาณได้ 2 ความถี่ สำหรับการกำเนิดสัญญาณเอฟเอสเค โดยใช้ขาควบคุมสัญญาณเอฟเอสเค (FSK Input Control) ค่านี้จะไปควบคุมวงจรภายในส่วนสวิตช์กระแสเพื่อให้เกิดการเลือกขาที่ต่อตัวต้านทานสำหรับวงจรในส่วนแรงดันควบคุมการทำงานของออสซิลเลเตอร์

การเข้ารหัสแบบเอฟเอสเค XR2206 สามารถใช้งานโดยตัวต้านทาน (Timing resistor) 2 ตัวแยกกัน (R1, R2) ที่ขา 7 และขา 8 ของ XR2206 ดังรูปที่ 3.3 โดยตัวต้านทานแต่ละตัวจะถูกใช้นั้นขึ้นอยู่กับสัญญาณลอจิกที่เข้าที่ขา 9 ของ XR2206 หากขา 9 เปิดวงจรหรือต่ออยู่กับสัญญาณที่แรงดันสูงกว่าหรือเท่ากับ 2 โวลต์ แล้ว R1 จะเป็นตัวต้านทานกำหนดเวลา ทำนองเดียวกันหากขา 9 ต่ออยู่กับสัญญาณที่ศักดาต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าหรือเท่ากับ 1 โวลต์ แล้ว R2 จะเป็นตัวต้านทานกำหนดเวลา ดังนั้นความถี่ของสัญญาณเอาท์พุต สามารถเข้ารหัสเป็น 2 ระดับที่มีความถี่เป็น f1 และ f2 โดยที่

$$f1 = 1/(R1*C) \quad (3.1)$$

$$f2 = 1/(R2*C) \quad (3.2)$$

ระดับแรงดันไฟตรงของเอาท์พุตที่ขา 2 ประมาณเท่ากับแรงดันไฟตรงที่ไบอัสเข้าที่ขา 3 ของ ไอซี ซึ่งจากรูปที่ 3.3 ขา 3 ถูกไบอัสด้วยครึ่งหนึ่งของค่าแรงดัน V+ เทียบกับกราวด์ ดังนั้นจะได้ค่าแรงดันไฟตรงที่เอาท์พุตเท่ากับ V/2

ฮาร์โมนิกที่เกิดขึ้นของคลื่นซายน์สามารถลดลงเหลือ 0.5% โดยการเพิ่มตัวต้านทานค่าประมาณ 200 โอห์ม ที่ขา 13 และขา 14 ของไอซีโดยแท็บ (Tap) ตรงกลางของตัวต้านทานปรับค่าได้ค่าประมาณ 500 โอห์ม แล้วทำการปรับความสมมาตร (Symmetry) ที่ขา 15, 16 ก่อน จากนั้นจึงปรับความเพี้ยน (Distortion) ที่ขา 13, 14

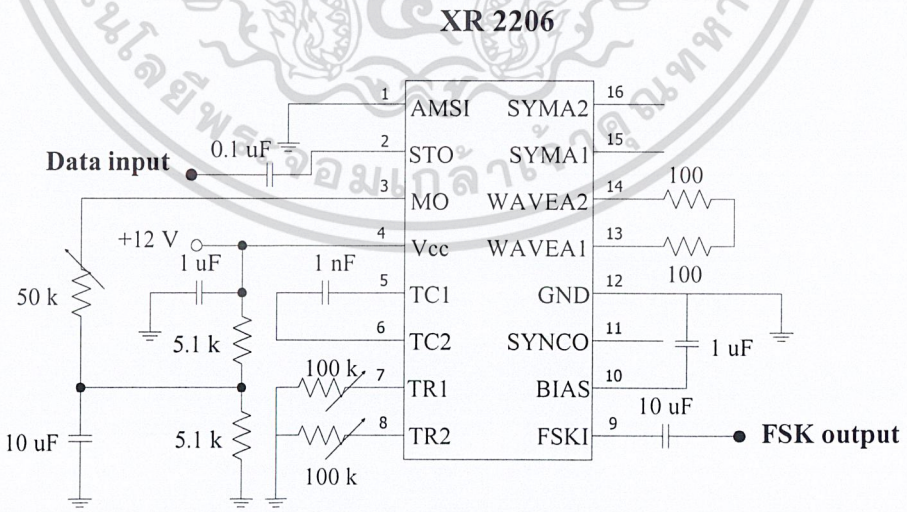
สำหรับการทดลองนี้ใช้ค่าความถี่สเปซ 4800 เฮิรตซ์ และความถี่มาร์ค 9600 เฮิรตซ์ ดังนั้นจะได้ค่าอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

$$R1 = 1/(f1*C) \quad (3.3)$$

โดย f1 = 4800 เฮิรตซ์ และเลือกใช้ C = 1 nF ดังนั้นคำนวณค่า R1 ได้เท่ากับ 208.33kΩ

$$R2 = 1/(f2*C) \quad (3.4)$$

โดย f2 = 9600 เฮิรตซ์ และเลือกใช้ C = 1 nF ดังนั้นคำนวณค่า R2 ได้เท่ากับ 104.17k Ω ดังนั้นรูปวงจรที่ได้จะเป็น

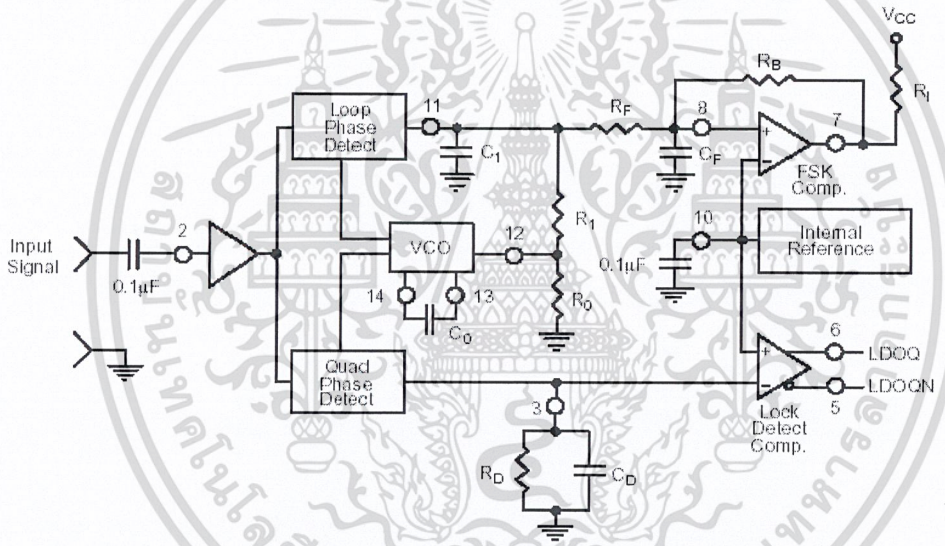


รูปที่ 3.7 วงจรของไอซีเบอร์ XR2206

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 วงจรฟรีเควนซีชิพท์คีย์อิ้งดีมอดูเลชั่น (Frequency Shift Keying Demodulation)

XR2211 เป็นวงจรเฟสล็อคลูปแบบโมโนลิธิค (Monolitic) ซึ่งออกแบบมาสำหรับการใช้งานทำงานด้านการสื่อสารข้อมูล โดยเฉพาะลักษณะพิเศษของไอซีเบอร์นี้เหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นตัวถอดรหัสแบบฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง ไอซีทำงานในช่วงกว้างของไฟเลี้ยง คือ 4.5 โวลต์ ถึง 20 โวลต์ และมีช่วงความถี่ที่กว้างโดยอยู่ในช่วง 0.01 เฮิรตซ์ ถึง 300 กิโลเฮิรตซ์ สามารถใช้สัญญาณอนาลอกได้ในช่วง 2 มิลลิโวลต์ ถึง 3 โวลต์ อีกทั้งยังสามารถอินเทอร์เฟสได้กับทั้งวงจรลอจิกตระกูลดีทีแอล (DTL), ทีทีแอล (TTL) และอีซีแอล (ECL) วงจรภายในประกอบไปด้วยวงจรเฟสล็อคลูป สำหรับติดตามสัญญาณอินพุตในช่วงแถบผ่าน, วงจรควอดเดรเจอร์เฟสดีเท็คเตอร์ (Quadrature Phase Detector) ใช้สำหรับตรวจสอบสัญญาณพาห์ และตัวเปรียบเทียบแรงดันฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้ง (FSK voltage comparator) ใช้สำหรับดีมอดูเลตสัญญาณฟรีเควนซี่ชิฟคีย์อิ้งกับอุปกรณ์ที่ต่อภายนอกกำหนดได้อย่างอิสระ แรงดันอ้างอิงภายในเป็นสัดส่วนกับไฟเลี้ยงวงจร ดังนั้นเหมาะสำหรับระบบที่มีการเปลี่ยนแปลงสมรรถภาพต่ำเมื่อไฟเลี้ยงวงจรเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 3.8 บล็อกไดอะแกรมของไอซีเบอร์ XR2211

เอาท์พุตของเฟสดีเท็คเตอร์ให้สัญญาณผลบวก และผลต่างความถี่ของสัญญาณอินพุตกับสัญญาณอินพุตกับสัญญาณจากวงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์นั้นคือ ความถี่เอาท์พุตจะเป็น f(in) + f(vco) และ f(in) - f(vco) ดังนั้นในขณะล็อคความถี่ของสัญญาณเอาท์พุตจะเป็น 2f(in) และ 0 เฮิรตซ์ โดยการต่อตัวเก็บประจุคร่อมสัญญาณเอาท์ของเฟสดีเท็คเตอร์ คือ ใส่วงจรกรองความถี่ต่ำนั้นเอง จะทำให้สัญญาณความถี่สูง (f(in) + f(vco)) ถูกลดทอนไปทำให้เหลือเพียงแรงดันกระแสตรงที่เกิดจากความต่างเฟสของความถี่ทั้งสองเกิดขึ้นเช่นนี้เรื่อยๆ ทำให้วงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์ ติดตามความถี่ของสัญญาณอินพุตได้

ส่วนที่เหลือของ XR2211 ทำงานดังนี้คือ หากวงจรแรงดันควบคุมออสซิลเลเตอร์ ถูกขับด้วยความถี่สูงกว่าหรือต่ำกว่าความถี่ศูนย์กลาง แล้ววงจรเปรียมเทียบแรงดันจะสร้างสัญญาณเอาท์พุตลอจิกสูงและสัญญาณเอาท์พุตลอจิกต่ำ เพื่อเฟสล็อกลูปอยู่ในช่วงล็อค (quadrature phase detector and lock

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

detector comparator) สัญญาณเอาท์พุตลอจิกต่ำ เมื่อเฟลล็อกลูปอยู่ในช่วงล็อค (quadrature phase detector and lock detector comparator)

การถอดรหัสสัญญาณที่เข้ารหัสแบบเลื่อนความถี่เอฟเอสเค รูปที่ 3.6 แสดงการต่อพื้นฐานของวงจรถอดรหัสแบบเอฟเอสเคโดยอ้างอิงจากรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 หน้าที่ของอุปกรณ์ภายนอกแต่ละตัวเป็นดังนี้ R_0 และ C_0 กำหนดความถี่ศูนย์กลางของเฟสล็อกลูป R_1 กำหนดแถบความถี่ของระบบ C_1 ใช้กำหนดค่าเวลาในวงจรกรองความถี่แบบวนรอบ (Loop Damping) สำหรับข้อมูลเอาท์พุตของสัญญาณเอฟเอสเค (R_B = 510 kΩ) จากขา 7 ไปขา 8 มีไว้เพื่อเป็นการป้อนกลับแบบบวกสำหรับตัวเปรียบเทียบแรงดันของสัญญาณเอฟเอสเค เพื่อให้เกิดความรวดเร็วในการเปลี่ยนสถานะลอจิก

วงจรตามรูปที่ 3.6 สามารถใช้ได้กับวงจรถอดรหัสเอฟเอสเค ทั่วๆ ไป โดยการเลือกอุปกรณ์ต่อภายนอกสำหรับการกำหนดความถี่มาร์ค และความถี่สเปซ (f1, f2) ค่าพารามิเตอร์สามารถคำนวณได้จาก คำนวณความถี่ศูนย์กลางของเฟสล็อกลูป : F_0

$$F_o = \sqrt{F_1 F_2} \qquad (3.5)$$

$$= 6788.2$$

เลือกค่าของตัวต้านทานกำหนดเวลา : R_0 ให้อยู่ในช่วง 10 กิโลโอห์ม ถึง 100 กิโลโอห์ม โดยสามารถเลือกได้ตามใจชอบสำหรับค่าอ้างอิงของ R_0 เป็น 20 กิโลโอห์ม ซึ่งต่อความต้านทานปรับค่าได้ไว้สำหรับปรับค่าละเอียด (Rx)

$$R_T = R_o + \frac{R_x}{2} \qquad (3.6)$$

$$= 30k$$

คำนวณค่าของ C_0 จากสมการ

$$C_O = \frac{1}{R_o F_O} \qquad (3.7)$$

$$= 4.91nF$$

คำนวณค่า R_1 เพื่อกำหนด ความเบี่ยงเบนของความถี่มาร์ค และความถี่สเปซ

$$R_1 = \frac{R_o F_o}{F_1 - F_2} \times 2 \qquad (3.8)$$

$$= 84.83k$$

คำนวณค่า C_1 เพื่อกำหนดการวนรอบ โดยค่าการรอบมีค่าอ้างอิงเท่ากับ 1/2 แล้ว

$$C_1 = \frac{1250 C_0}{R_1 \varsigma^2} \qquad (3.9)$$

$$= 289.33pF$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณค่า R_f

$$R_f = 5R_1 \qquad (3.10)$$
$$= 424.26\text{k}$$

คำนวณค่า R_B

$$R_B = 5R_f \qquad (3.11)$$
$$= 2.121\text{M}$$

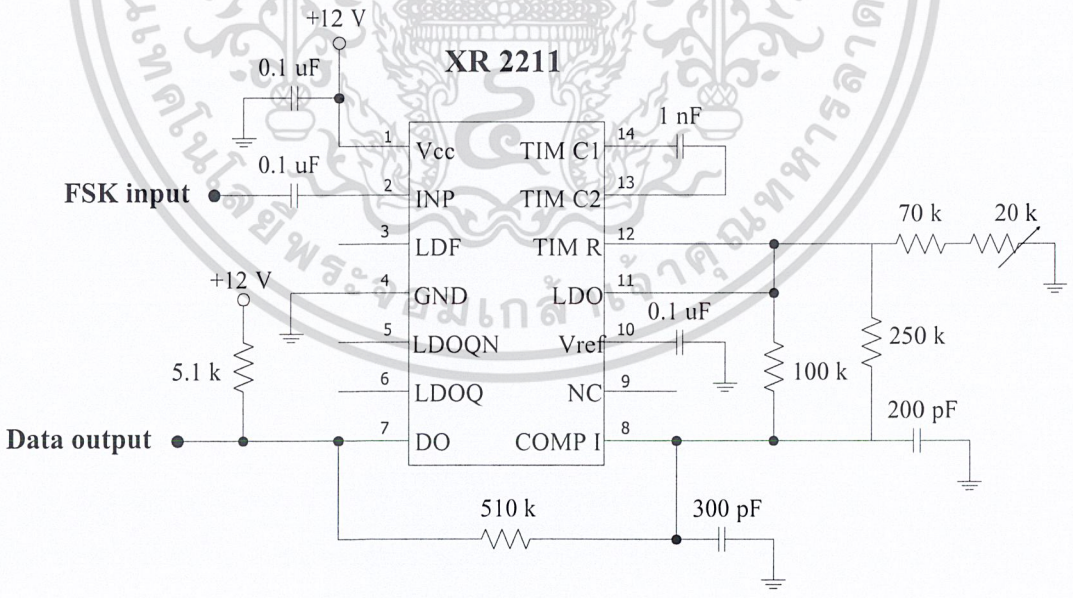
และคำนวณค่า R_{sum} ได้จาก

$$R_{SUM} = \frac{(R_f + R_1) \times R_B}{(R_f + R_1 + R_B)} \qquad (3.12)$$
$$= 410.56\text{k}$$

ดังนั้นสามารถคำนวณค่า C_f

$$C_f = \frac{0.25}{R_{sum} \times BaudRate} \qquad (3.13)$$
$$= 253.72\text{pF}$$

วงจรที่ได้จะเป็นดังรูป

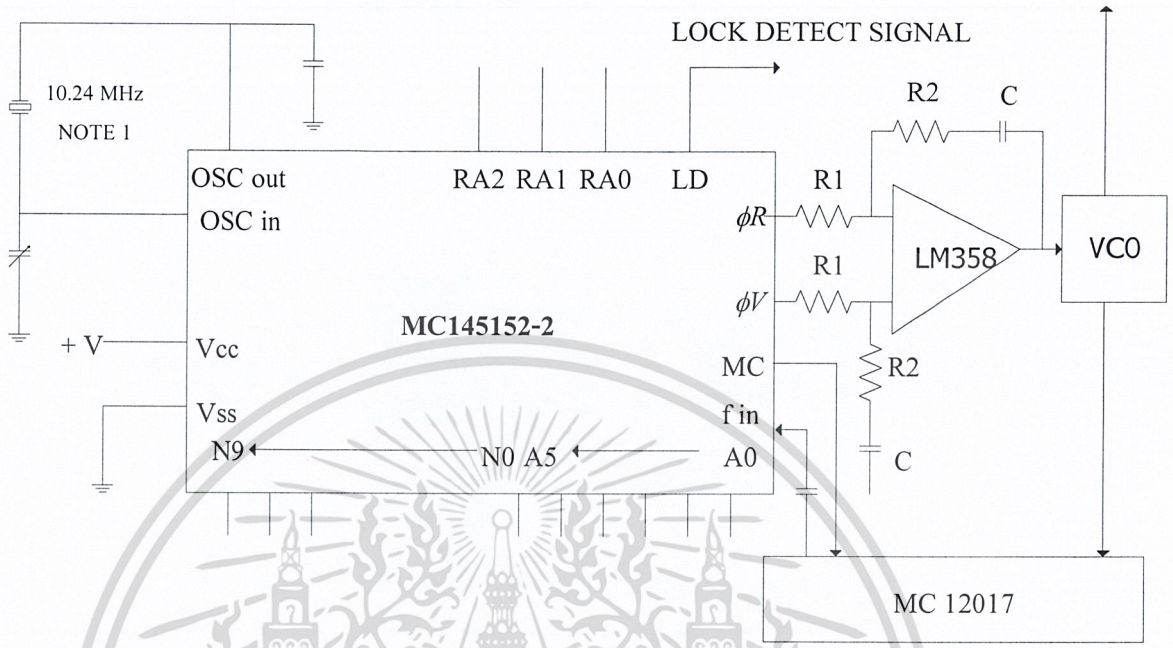


รูปที่ 3.9 วงจรของไอซีเบอร์ XR2211

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 วงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูปความถี่ 60 เมกกะเฮิรตซ์

ในส่วนของวงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูปมีทั้งหมด 3 วงจร โดยวงจรเป็นดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 วงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูป

วงจรดังที่ได้แสดงมาเป็นวงจรสังเคราะห์ความถี่ระบบเฟสล็อกลูปที่มีส่วนประกอบต่างๆดังนี้

1.ส่วนของความถี่อ้างอิงภายนอกที่ป้อนให้แก่ระบบเฟสล็อกลูปได้มาจากคริสตอลออสซิลเลเตอร์ซึ่งผลิตความถี่คงที่ 10.24 เมกกะเฮิรตซ์

2.ส่วนของเฟสดีเทกเตอร์ใช้เฟสดีเทกเตอร์ที่อยู่ภายในไอซีเบอร์ MC 145152

3.ส่วนของลูปฟิลเตอร์เป็นแบบแอคทีฟฟิลเตอร์ โดยใช้ ไอซีเบอร์ LM 358

4.วงจร VCO

5.วงจรหารความถี่มีอยู่ 2 ส่วน คือ ไอซีเบอร์ MC12017 Prescaler หาร 64/65 เป็นตัวหารความถี่ที่มาจาก VCO ก่อน และส่วนที่สองคือตัวหารที่อยู่ใน MC 145152 เป็นตัวหารอีกที

3.6.1 การกำเนิดความถี่อ้างอิง

ส่วนของความถี่อ้างอิงจะใช้คริสตอลออสซิเลเตอร์ 10.24 เมกกะเฮิรตซ์ เป็นตัวผลิตความถี่อ้างอิง และสามารถทำการหารความถี่ลงมาโดยการกำหนดค่า RA0,RA1,RA2 ซึ่งเป็นวงจรหารความถี่อีกตัวซึ่งอยู่ในไอซีเบอร์ MC 145152 การโปรแกรมค่าต่างๆในการหารดูได้จากตารางดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Reference Address Code			Total Divide Value
RA2	RA1	RA0	
0	0	0	8
0	0	1	64
0	1	0	128
0	1	1	256
1	0	0	512
1	0	1	1024
1	1	0	1160
1	1	1	2048

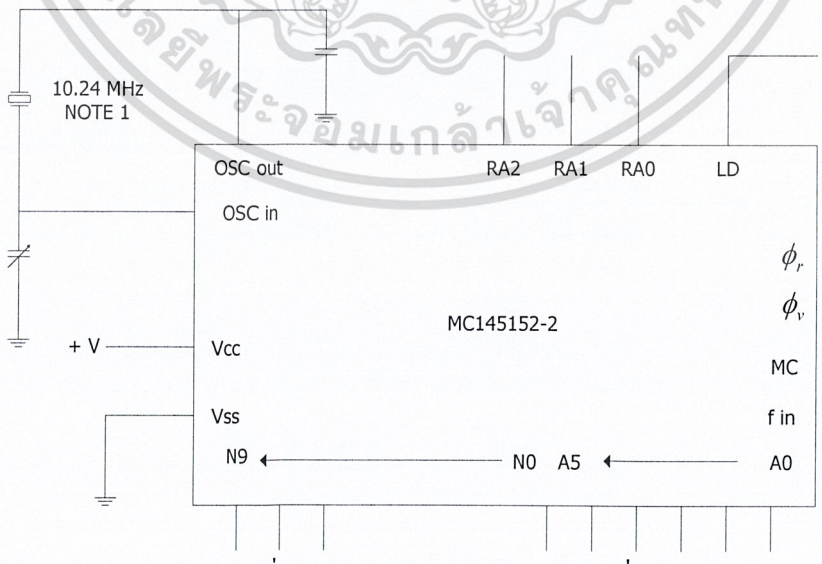
ตารางที่ 3.1 ค่าในการโปรแกรม

ในที่นี้ทำการโปรแกรมด้วยค่า " 1 0 1 " ซึ่งเท่ากับการหารด้วยค่า 1024 ดังนั้นความถี่อ้างอิงที่ป้อนแก่ ไอซีเบอร์ MC 145152 คือ

$$f_{ref} = \frac{10.24 \times 10^6}{1024} = 10kHz \qquad (3.14)$$

3.6.2 การกำหนดค่าตัวหารความถี่

ไอซีเบอร์ MC 145152 – 2 สามารถใช้โปรแกรมหารความถี่ได้ 16 บิทแบบขนาน โดยที่ 10 บิทสำหรับตัวหารโดย N เคาน์เตอร์ (10bit/N counter) และ 6 บิท สำหรับตัวหารโดย A



รูปที่ 3.11 การโปรแกรมตัวหารความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการหาค่าอัตราส่วนการหารทั้งหมด (N_t) โดยคิดจากอัตราส่วนระหว่าง ค่าความถี่ของวงจร VCO (f_{vco}) กับค่าความถี่อ้างอิง (f_{ref}) ได้เป็นดังนี้

$$N_t = \frac{f_{vco}}{f_{ref}} = \frac{60MHz}{10kHz} = 6000 \qquad (3.15)$$

N_t = NP + A

N คือตัวโปรแกรม N0 – N9 = 10 bit หารตั้งแต่ 3 – 1023

A คือตัวโปรแกรม A0 – A5 = 6 bit หารตั้งแต่ 0 – 63

P คือตัวหารของ Prescaler หาร 64 หรือ 65

N_t = 6000

P = 64

N = 93

A = 48

แปลงค่า N เป็นเลขฐานสองได้

0001011101

แปลงค่า A เป็นเลขฐานสองได้

110000

จากนั้นจึงนำค่าของ N และ A ที่เป็นเลขฐานสองไปโปรแกรมตัวหารต่อไป

3.6.3 วงจรลูปฟิลเตอร์

หลักการคำนวณ กำหนดให้ (ตามคำแนะนำของดาต้าชีตของโมโตโรล่า)

$f_0 = 60MHz\,(Local\ Oscillator\ Frequency)$

$f_s = 10kHz\ \ (Channel\ Spacing)$

$f_b = 0.01 f_s\ \ (Loop\ Bandwidth)$

$f_{re} = 20 f_b\ \ (Filter\ cutoff\ Frequency)$

$\delta = 0.8\ \ (Loop\ Damping\ Factor)$

$V_{DD} = 5V\ \ (PLL\ Supply\ Voltage)$

$C_1 = 0.1\mu F\ (Active\ Integrator\ Component)$

$K_\phi = \frac{V_{DD}}{2\pi}\ \ (Phase\ Detector\ Gain)$

$K_{vco} = \frac{2\pi\Delta f_{vco}}{\Delta V_{vco}}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\omega_n = \frac{2\pi f_b}{\sqrt{2\varepsilon^2 + 1 + \sqrt{\left[(2\varepsilon^2 + 1)^2 + 1\right]}}} \quad (\textit{Natural Frequency})$$

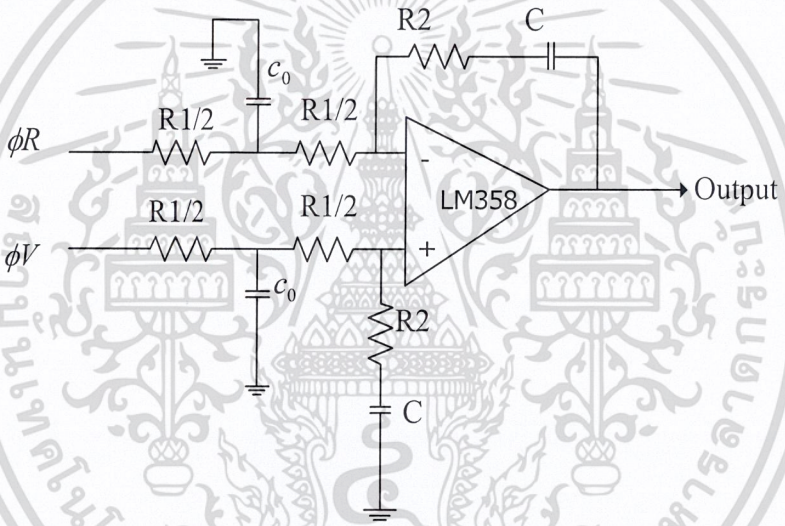
$$N_t = \frac{f_o}{f_s} \quad (\textit{Total Deviation Ratio in Feedback Loop})$$

$$R_1 = \frac{K_\phi K_{vco}}{C_1 \omega_n^2 N_t}$$

$$R_2 = \frac{2\varepsilon}{C_1 \omega_n}$$

$$C_0 = \frac{4}{2R_1 f_{rc}}$$

โดยต่อวงจรลูปฟิลเตอร์ตามรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 วงจรลูปฟิลเตอร์

สามารถคำนวณค่าต่างๆตามลูปฟิลเตอร์ได้ดังนี้

$$\Delta f_{vco} = 6.2MHz$$

$$\Delta V_{vco} = 3V.$$

$$f_0 = 60MHz$$

$$f_s = 10kHz$$

$$f_b = 0.01 f_s = 100Hz$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f_{re} = 20 f_b \quad = 2000Hz$$

$$\delta \quad = 0.8$$

$$V_{DD} = 5V$$

$$C_1 \quad = 0.1\mu F$$

$$K_\phi = \frac{V_{DD}}{2\pi} \qquad = 0.795$$

$$K_{vco} = \frac{2\pi\left(6.2\times10^6\right)}{3_{vco}} = 12.985\times10^6$$

$$\omega_n \quad = 277.418$$

$$N_t \quad = \frac{60\times10^6}{10\times10^3} \qquad = 6000$$

$$R_1 \quad = \frac{K_\phi K_{vco}}{C_1\omega_n^2 N_t} \qquad = 208.07k$$

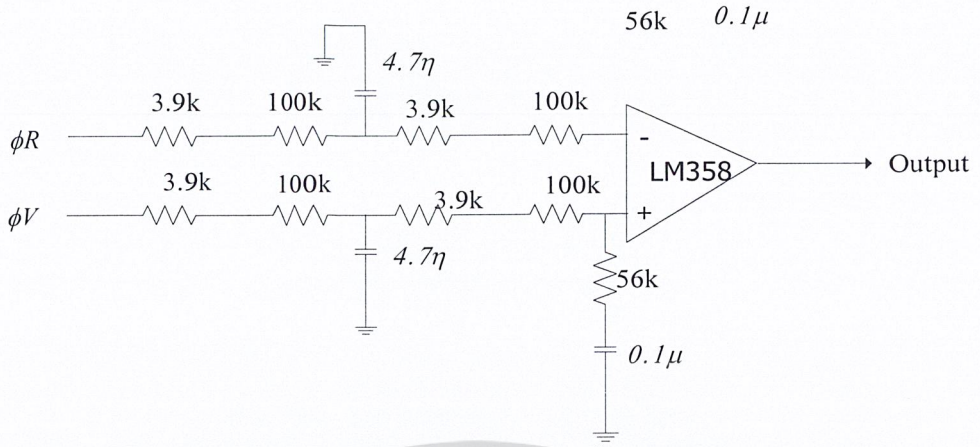
$$R_2 \quad = \frac{2\varepsilon}{C_1\omega_n} \qquad = 55.6k$$

$$C_0 \quad = \frac{4}{2R_1 f_{rc}} \qquad = 4.8\mu F$$

$$R_{1/2} = 104.035k$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

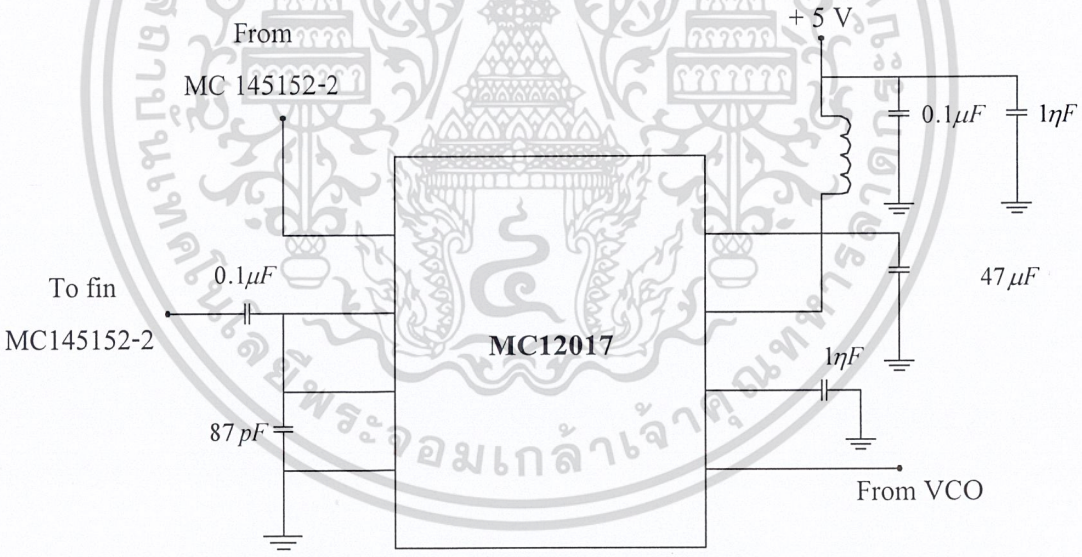
วงจรลูปฟิลเตอร์ที่ต่อตามค่าที่คำนวณแล้วแสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 วงจรลูปฟิลเตอร์ของวงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูป 60 เมกกะเฮิรตซ์

3.6.4 วงจรพรีสเกลเลอร์แบบสองโมดูลัส

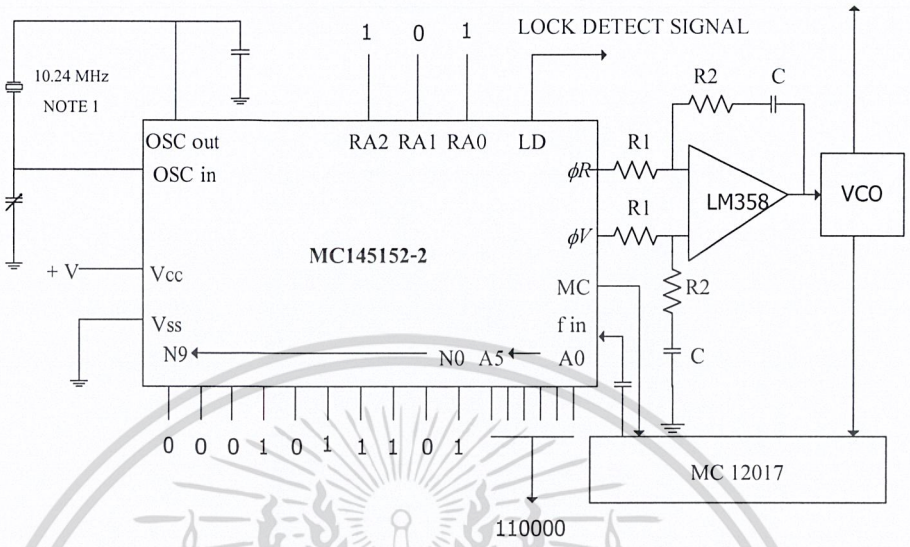
พรีสเกลเลอร์เป็นตัวหารความถี่ที่เข้ามาให้ต่ำลง เพื่อที่จะป้อนให้กับวงจรเฟสดีเทกเตอร์ได้ไอซีเบอร์ MC 12017 ซึ่งจะถูกตั้งหารเท่ากับ 64/65 โดยทำการต่อวงจรดังรูป



รูปที่ 3.14 การต่อวงจรของไอซี MC12017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำวงจรลูปฟิลเตอร์ไปต่อกับไอซี MC 145152 – 2 ซึ่งใช้ในส่วนของวงจรสังเคราะห์ความถี่ 60 เมกกะเฮิรตซ์ ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การเซตขาต่างๆของไอซีเบอร์ MC 145152 – 2 เมื่อสังเคราะห์ความถี่ 60 เมกกะเฮิรตซ์

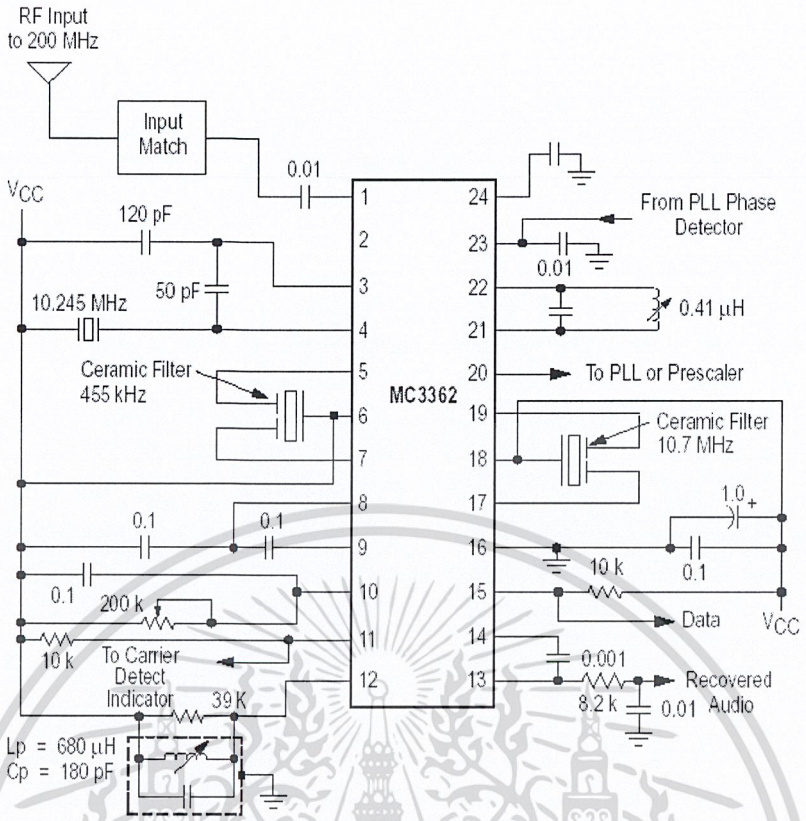
3.7 วงจรภาคไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์

วงจรภาคไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์ในที่นี้ใช้ไอซีเบอร์ MC 3362 ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

- วงจรผสมสัญญาณ (Mixer) ซึ่งจะทำหน้าที่ย้ายความถี่ของสัญญาณไปไว้ในช่วงที่ความถี่กลางซึ่งทำการย้ายความถี่ 2 ต่อ (Double Conversion) โดยครั้งแรกย้ายความถี่ไปที่ 10.7 เมกกะเฮิรตซ์ ก่อน แล้วจึงย้ายความถี่ของสัญญาณอีกครั้งหนึ่งไปที่ 455 กิโลเฮิรตซ์
- เซรามิคฟิลเตอร์(Ceramic Filter) ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองช่วงความถี่ผ่าน 10.7 เมกกะเฮิรตซ์ เพื่อให้ได้ความถี่กลาง 10.7 เมกกะเฮิรตซ์ออกมา
- เซรามิคฟิลเตอร์ 455 กิโลเฮิรตซ์ ทำหน้าที่เป็นวงจรกรองช่วงความถี่ผ่าน 455 กิโลเฮิรตซ์ เพื่อให้ได้ความถี่กลางออกมา 455 กิโลเฮิรตซ์ ออกมาที่จะส่งเข้าไปขยายที่วงจรขยายลิมิตเตอร์ในไอซี MC 3362 อีกครั้ง
- วงจรขยายลิมิตเตอร์ (Limitter) เป็นวงจรขยายสัญญาณที่ได้จากเซรามิคฟิลเตอร์ให้แรงขึ้น และให้ได้ความถี่ขนาด 455 กิโลเฮิรตซ์จริงๆ โดยการขลิบสัญญาณที่เกินออกทำให้เอาท์พุตมีระดับสัญญาณที่สม่ำเสมอกัน เพื่อลดความผิดเพี้ยนของสัญญาณ ก่อนที่ส่งไปยังวงจรดีเทคเตอร์ต่อไป
- วงจรดีเทคเตอร์ จะทำการดีเทคสัญญาณที่รับมาจากวงจรลิมิตเตอร์ ให้เป็นสัญญาณข่าวสารดั้งเดิมที่ทำการส่งมา

ซึ่งลักษณะวงจรที่ใช้งานจะเป็นดังรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 วงจรภาคไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์

การออกแบบวงจรลูปฟิลเตอร์สำหรับเครื่องรับต้องออกแบบให้ความถี่ต่างจากเครื่องส่ง 10.7 เมกกะเฮิรตซ์ โดยจะทำการออกแบบที่ 70.7 เมกกะเฮิรตซ์

สามารถคำนวณค่าต่างๆตามลูปฟิลเตอร์ได้ดังนี้

$\Delta f_{vco} = 6.1MHz$

$\Delta V_{vco} = 3V.$

$f_0 = 70.7MHz$

$f_s = 10kHz$

$f_b = 0.01 f_s = 100Hz$

$f_{re} = 20\, f_b = 2000Hz$

$\delta = 0.8$

$V_{DD} = 5V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_1 = 0.1\mu F$$

$$K_\phi = \frac{V_{DD}}{2\pi} = 0.795$$

$$K_{vco} = \frac{2\pi\left(6.1\times10^6\right)}{3_{vco}} = 12.776\times10^6$$

$$\omega_n = 277.418$$

$$N_t = \frac{70.7\times10^6}{10\times10^3} = 7070$$

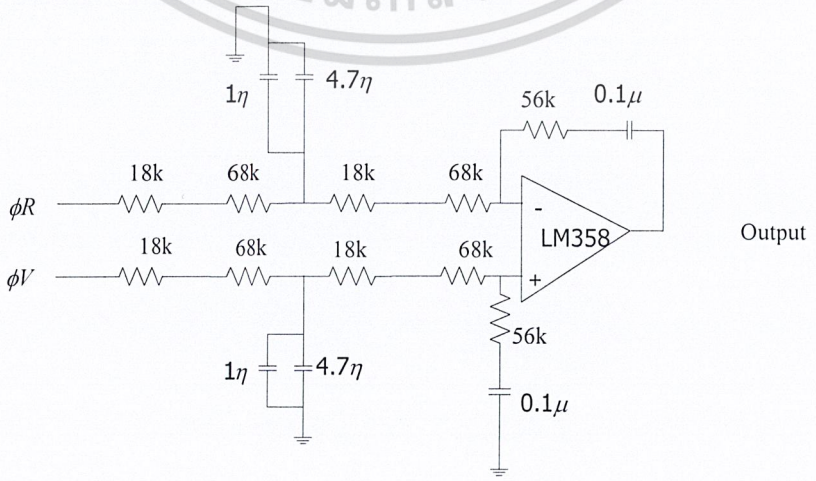
$$R_1 = \frac{K_\phi K_{vco}}{C_1\omega_n^2 N_t} = 173.734k$$

$$R_2 = \frac{2\varepsilon}{C_1\omega_n} = 55.6k$$

$$C_0 = \frac{4}{2R_1 f_{rc}} = 5.8\eta F$$

$$R_{1/2} = 86.867k$$

วงจรลูปฟิลเตอร์ที่ต่อตามค่าที่คำนวณแล้วแสดงดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 วงจรลูปฟิลเตอร์ของวงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูป 70.7 เมกกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการโปรแกรมหารความถี่ของไอซีเบอร์ MC 145152 – 2

N_t = 7070

P = 64

N = 110

A = 30

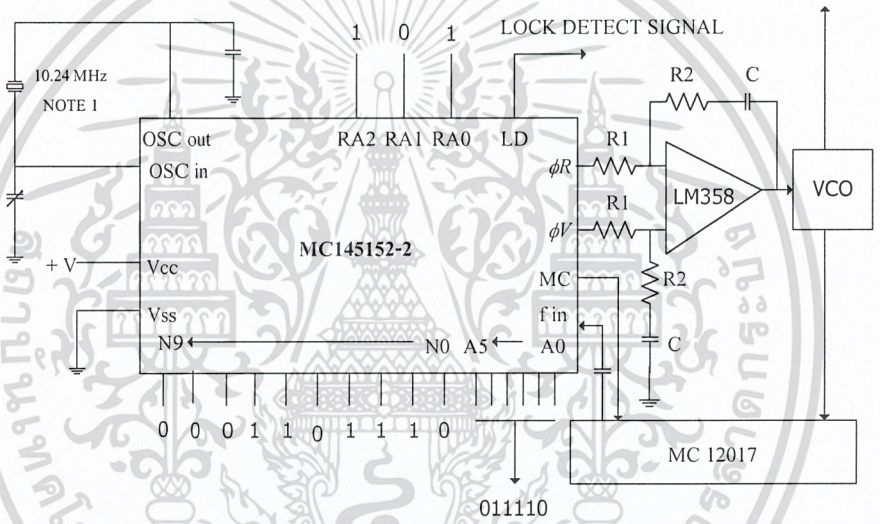
แปลงค่า N เป็นเลขฐานสองได้

0001101110

แปลงค่า A เป็นเลขฐานสองได้

011110

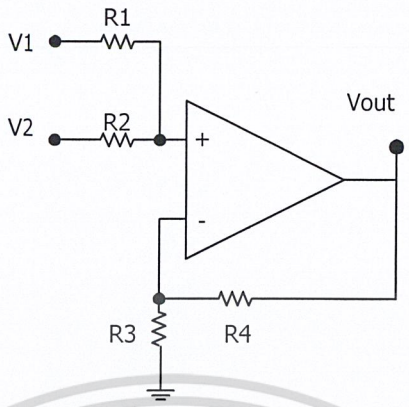
จากนั้นจึงนำค่า N และ A ซึ่งเป็นเลขฐานสองไปโปรแกรมตัวหารต่อไป



รูปที่ 3.18 การเซตขาต่างๆของไอซีเบอร์ MC 145152 – 2 เมื่อสังเคราะห์ความถี่ 70.7 เมกกะเฮิรตซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 วงจรรวมสัญญาณ (Summing)



รูปที่ 3.19 แสดงวงจรรวมสัญญาณ

เราจะสามารถพิสูจน์สมการได้ดังนี้

ที่ node1 จะได้

$$\frac{V_x - V_1}{R_1} + \frac{V_x - V_2}{R_2} = 0$$

$$V_x = \frac{R_2 V_1 + R_1 V_2}{R_1 + R_2} \qquad (3.16)$$

ที่ node2 จะได้

$$\frac{V_x - 0}{R_3} + \frac{V_x - V_{out}}{R_4} = 0$$

$$V_x = \frac{R_3 V_{out}}{R_3 + R_4} \qquad (3.17)$$

(3.16)=(3.17) จะได้

$$\frac{R_2 V_1 + R_1 V_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_3 V_{out}}{R_3 + R_4}$$

$$V_{out} = \frac{(R_2 V_1 + R_1 V_2)(R_3 + R_4)}{(R_1 + R_2) R_3}$$

เมื่อ $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ จะได้

$$V_{out} = \frac{(RV_1 + RV_2)(2R)}{2R^2}$$

$$V_{out} = V_1 + V_2$$

3.9 วงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน (VCO)

ออกแบบวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดันแบบโคลพิตต์ออสซิลเลเตอร์โดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

JFET เบอร์ J310 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสเอาต์พุต (I_D) กับแรงดันที่ใช้ควบคุมการเปลี่ยนแปลง (V_{GS}) เป็นไปตามสมการกำลังสอง

$$I_{DS} = I_{DSS}\left[1-\left(\frac{V_{GS}}{V_P}\right)\right]^2 \tag{3.18}$$

การคำนวณหาจุด Q ของวงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน จะใช้สมการกฎกำลังสองและสมการโหลดไลน์ (Load Line) ของไบอัสตัวเอง (self-bias) คือ

$$V_{GS} = -I_D R_S \tag{3.19}$$

แทนค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของ J310 จากดาต้าชีตดังนี้

$$I_{DSS} = 40mA$$
$$V_P = -4V$$
$$R_S = 100\Omega$$

ทำการแก้สมการเพื่อหาจุด Q ดังนั้นจะได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

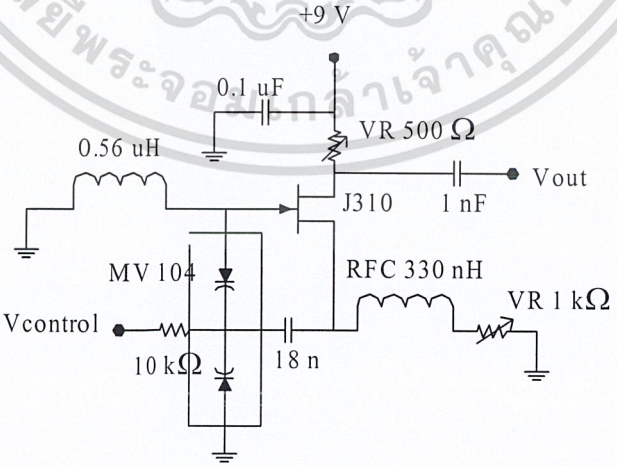
$$I_{DQ} = 15.278mA$$
$$V_{GSQ} = -1.5278V$$

และคำนวณหาค่า L, C_1 และ C_2 ได้จากสมการ

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_T}} \tag{3.20}$$

$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \tag{3.21}$$

จะได้วงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดันดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 วงจรกำเนิดสัญญาณปรับความถี่ได้ตามแรงดันควบคุม (VCO)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 การออกแบบระบบเครื่องสั่งอาหาร

ในโครงงานนี้จะใช้คอมพิวเตอร์มาทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์ โดยมีเครื่องสั่งอาหารเป็นตัวลูกข่าย ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51 มาควบคุมการทำงาน ซึ่งในการใช้งานจริงนั้นหากปล่อยให้เครื่องสั่งอาหารทุกเครื่องทำงานได้ในเวลาเดียวกัน จะเกิดการรบกวนกันและกันเนื่องจากเครื่องสั่งอาหารทุกครื่องใช้ความถี่เดียวกันในการทำงาน ดังนั้นในโครงงานนี้จึงได้ให้คอมพิวเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นเซิร์ฟเวอร์มาเป็นตัวจัดการกำหนดลำดับการทำงานของเครื่องสั่งอาหารทุกเครื่องไม่ให้ทำงานในเวลาเดียวกัน มีวิธีการตามขั้นตอนดังนี้

1. เครื่องแม่ส่งสัญญาณที่มีรหัสประจำตัวของตัวลูกออกไป
2. ตัวลูกทุกตัวได้รับข้อมูลรหัสประจำตัวลูกที่ตัวแม่ส่งออกมา โดยจะเปรียบเทียบว่าเป็นรหัสของตนหรือไม่ ถ้าไม่ใช่ก็ไม่ตอบสนองใดๆ
3. หากเป็นข้อมูลรหัสของตน จะทำการตรวจสอบว่ามีข้อมูลรายการอาหารที่ต้องการส่งหรือไม่ หากไม่มีก็จะไม่ตอบสนองใดๆ แต่ถ้าหากว่ามีข้อมีข้อมูลรายการอาหารที่ต้องการส่ง ก็จะส่งรหัสประจำตัวของตัวเองตามด้วยข้อมูลนั้นออกไปให้ตัวแม่
4. ตัวแม่รับการตอบสนองกลับมาจากตัวลูกที่ตัวแม่เลือกไว้โดยการจับเวลา หากพบว่าไม่มีข้อมูลอะไรส่งมาถือเป็นการสิ้นสุดการติดต่อกับตัวลูกตัวนั้น และให้โอกาสตัวลูกตัวต่อไปในการส่งข้อมูลบ้าง แต่หากเป็นข้อมูลรายการอาหาร ตัวแม่จะทำการเปรียบเทียบข้อมูลนั้นกับฐานข้อมูลและทำการแสดงผลออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ต่อไป จากนั้นก็จะส่งสัญญาณกลับไปที่ตัวลูกเพื่อทำการยืนยันว่าตัวแม่นั้นได้รับข้อมูลที่ตัวลูกส่งมาเรียบร้อยแล้วเป็นอันจบการติดต่อกับตัวลูกตัวนี้ และให้โอกาสตัวลูกตัวต่อไปในการส่งข้อมูล
5. หากตัวลูกได้รับสัญญาณการยืนยันจากตัวแม่ ก็จะทำการแสดงข้อความยืนยันออกทางหน้าจอแอลซีดีให้ผู้สั่งอาหารได้ทราบต่อไป

3.11 การติดต่อกับฐานข้อมูลที่เครื่องคอมพิวเตอร์

ในการแสดงผลรายการอาหารที่เครื่องคอมพิวเตอร์นั้น เราได้นำระบบฐานข้อมูลมาใช้ โดยนำรหัสรายการอาหารที่ได้รับมานั้นไปเทียบกับฐานข้อมูลด้วยภาษาเอสคิวแอล (SQL Language) ผ่านทางคอมโพเนนท์ ดาต้าคอนโทรล (Data Control Component) โดยการเลือกจากเมนูหลักของโปรแกรมวิชวลเบสิก ซึ่งโครงงานนี้ได้ใช้คำสั่งมาตรฐาน ดังตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

id	code	food	price
1	101	Cornflake	20
2	102	Sausage set	50
3	103	Bacon set	40
4	104	Ham set	40
5	105	Chicken burger	40
6	106	Cheeseburger	40
7	107	Combo Burger	50

ตารางที่ 3.2 แสดงตัวอย่างฐานข้อมูลรายการอาหาร

คำสั่งที่ใช้ในการติดต่อกับฐานข้อมูลนี้คือ

```
Data1.RecordSource = "select food from food where code = 103"
Data1.Refresh
```

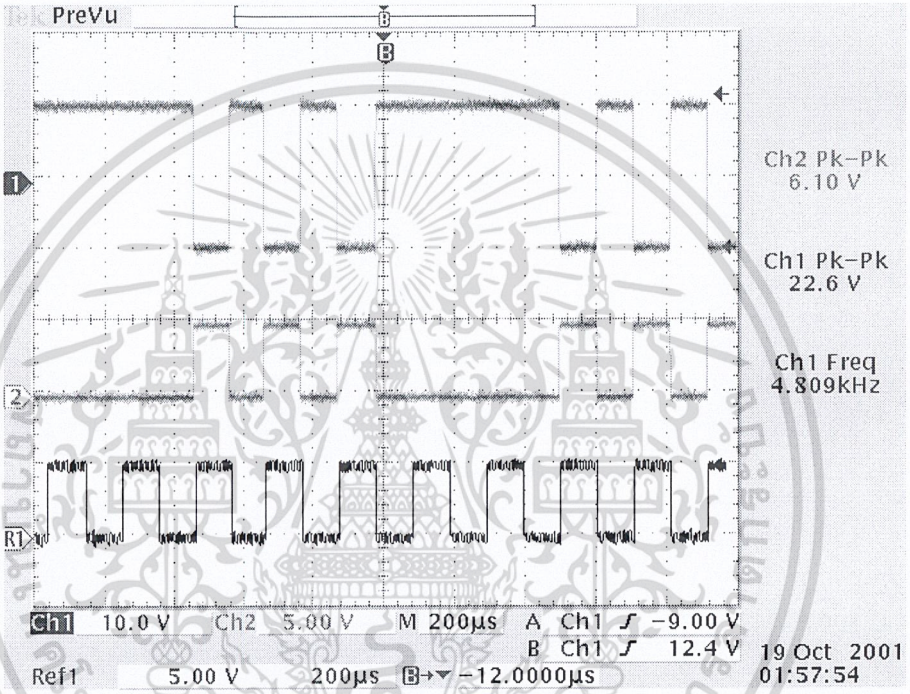
หมายความว่าเราต้องการนำข้อมูลจากตารางชื่อ food ฟิลด์ชื่อ food ที่มีค่า code เท่ากับ 103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 วงจรแปลงแปลงค่าระดับแรงดันกระแสตรง

เนื่องจากการระดับแรงดันไฟตรงอ้างอิง ที่ออกจากพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ มีค่าเท่ากับ +12 โวลต์ และ –12 โวลต์ ซึ่งจะต้องทำการแปลงให้ระดับแรงดันไฟตรงอ้างอิงที่ 0 โวลต์ และ +5โวลต์ โดยใช้ไอซี MAX232



รูปที่ 4.1 แสดงผลที่ได้จากวงจรแปลงระดับแรงดันไฟตรงอ้างอิงโดยใช้ ไอซี MAX232

จากรูป Ch1 คือ สัญญาณที่ออกจากคอมพิวเตอร์

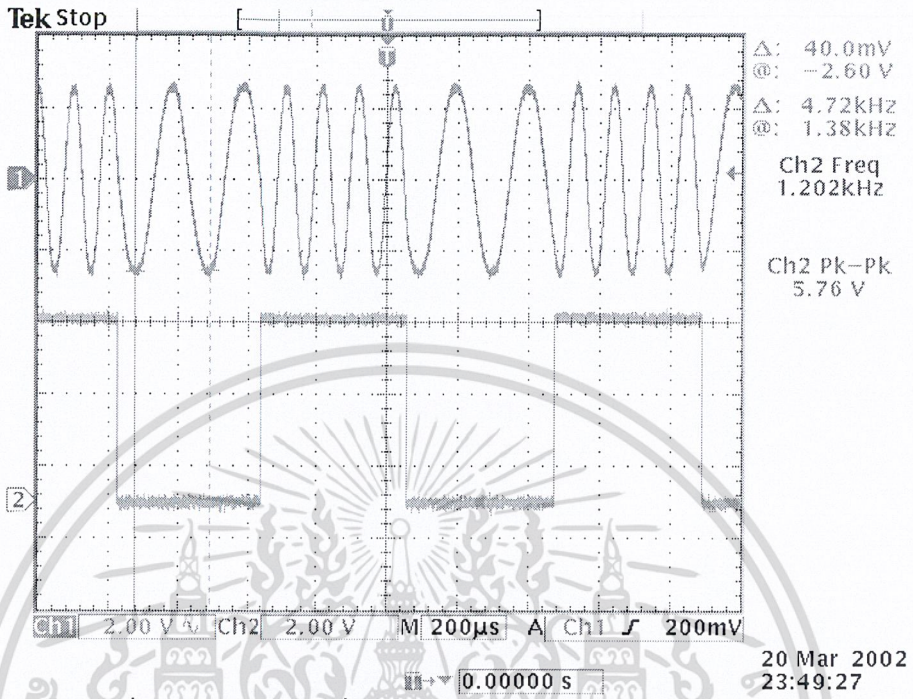
Ch2 คือ สัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงระดับแรงดันไฟตรงอ้างอิง

Ref1 คือ สัญญาณนาฬิกาความถี่ 1.2 KHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วงจรเอฟเอสเค มอดูเลเตอร์

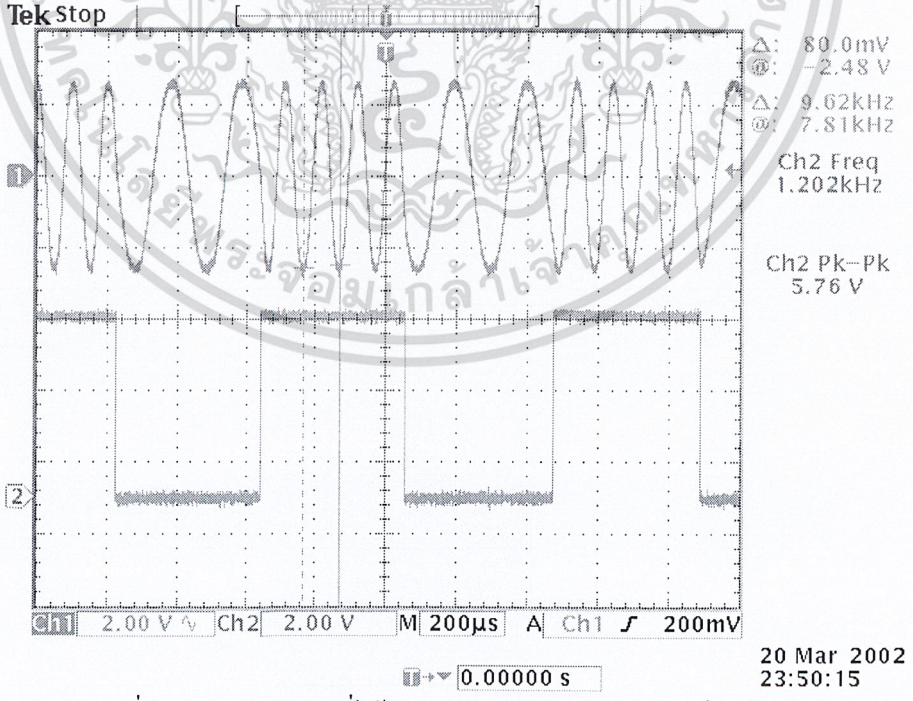
โดยกำหนดความถี่ $f_1 = 4.8$ KHz และ $f_2 = 9.6$ KHz



รูปที่ 4.2 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์

โดย Ch1 คือ สัญญาณที่ได้จากวงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์

Ch2 คือ สัญญาณเอาท์พุตจากวงจรแปลงระดับแรงดันไฟตรงอ้างอิง



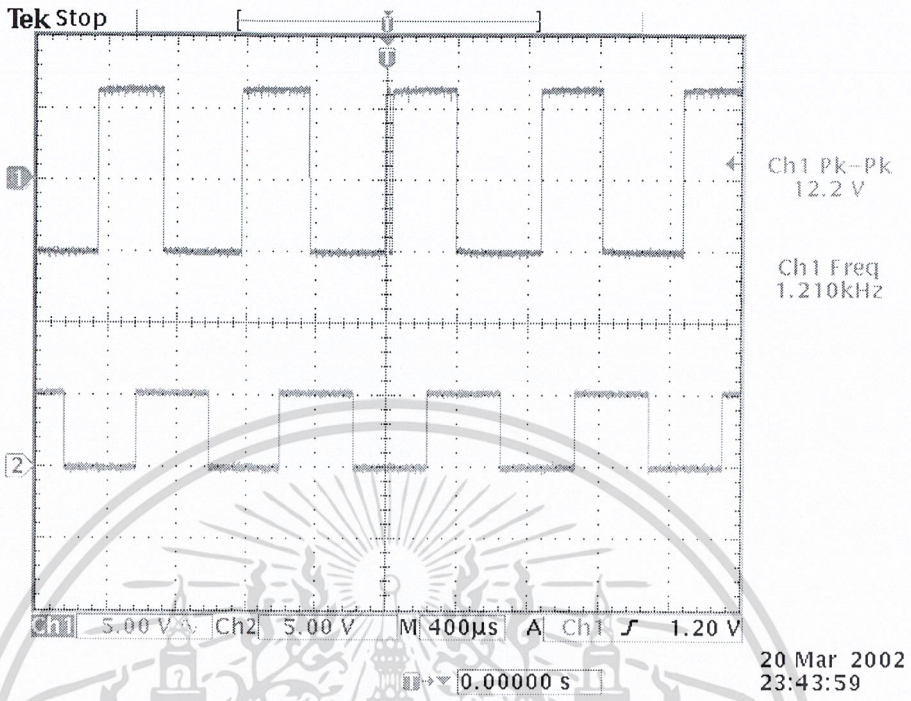
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์

โดย Ch1 คือ สัญญาณที่ได้จากวงจรเอฟเอสเคมอดูเลเตอร์

Ch2 คือ สัญญาณเอาท์พุตจากวงจรแปลงระดับแรงดันไฟตรงอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 วงจรเอฟเอสเค ดีมอดูเลเตอร์



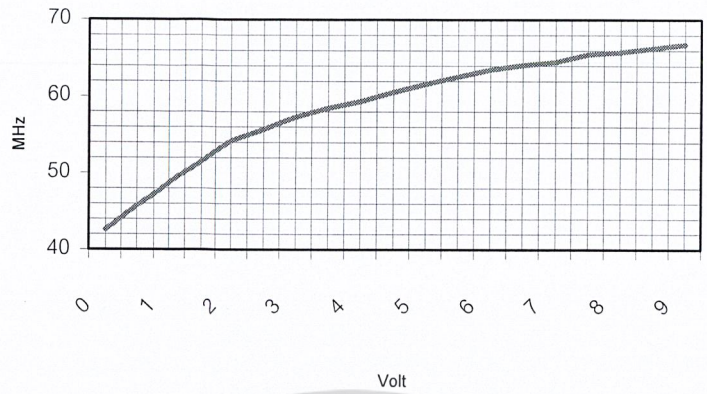
รูปที่ 4.4 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจร เอฟเอสเค ดีมอดูเลเตอร์

โดย Ch1 คือ สัญญาณที่ออกมาจาก คอมพิวเตอร์

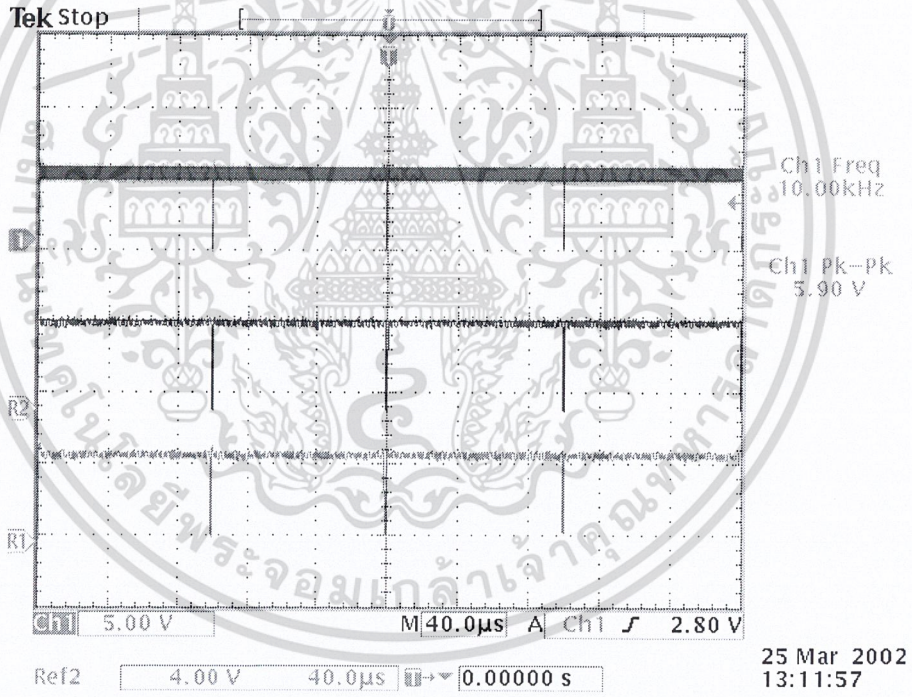
Ch2 คือ สัญญาณที่ได้จากวงจร เอฟเอสเค ดีมอดูเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 วงจรภาคส่ง

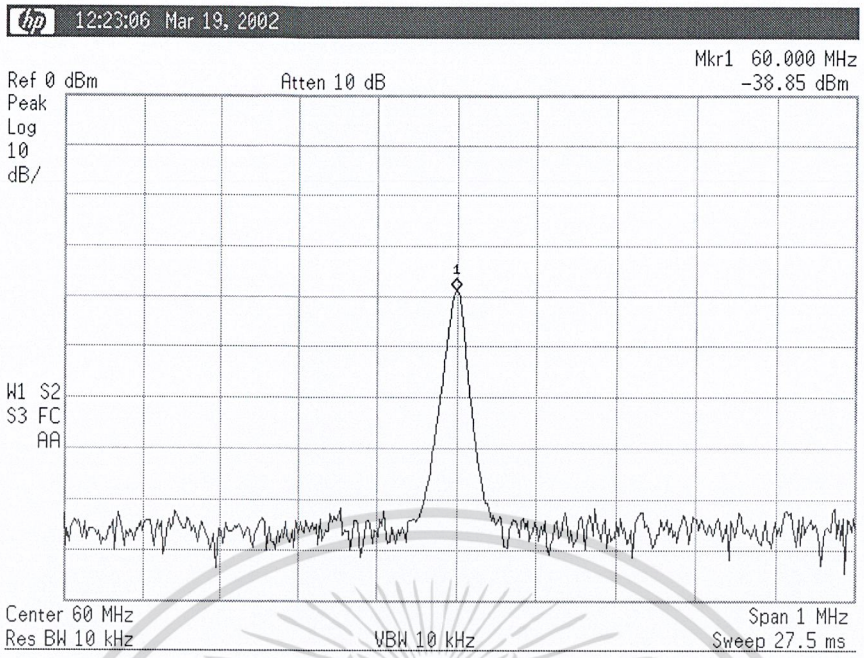


รูปที่ 4.5 แสดงคุณสมบัติของวงจรกำเนิดสัญญาณควบคุมโดยแรงดันที่ใช้ในเครื่องส่งความถี่ 60MHz เมื่อแกนนอนมีหน่วยเป็น Volt และแกนตั้งมีหน่วยเป็น MHz

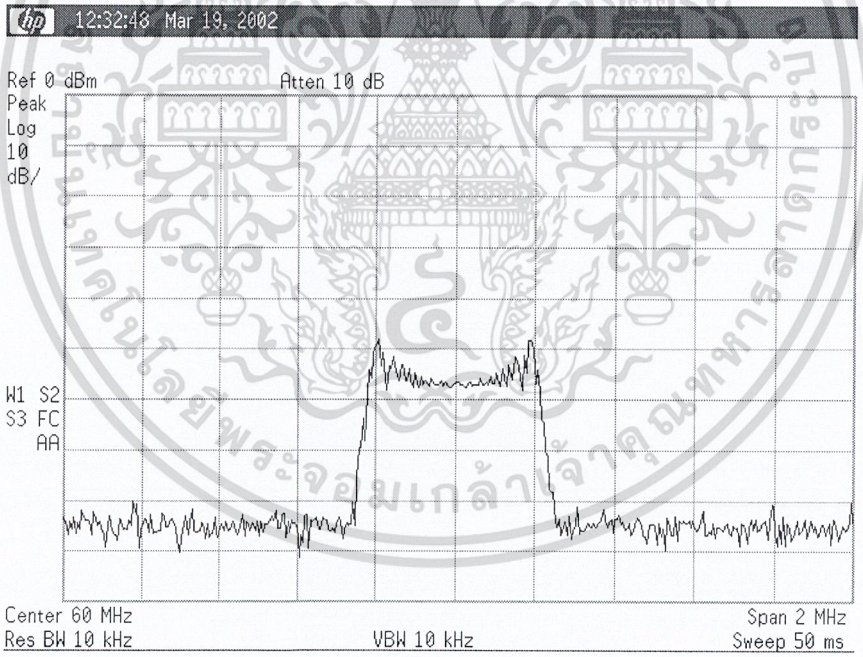


รูปที่ 4.6 แสดงสัญญาณที่ได้จาก ขาล็อคดีเทค ของ ไอซี MC145152
โดย Ch1 คือ สัญญาณที่ได้จาก ขาล็อคดีเทค ของ ไอซี MC145152
Ref1 คือ สัญญาณที่ได้จากขา ϕV ของ ไอซี MC145152
Ref2 คือ สัญญาณที่ได้จากขา ϕR ของ ไอซี MC145152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงสเปกตรัม ของสัญญาณคลื่นพาห์ของเครื่องส่งก่อนทำการมอดูเลชั่น

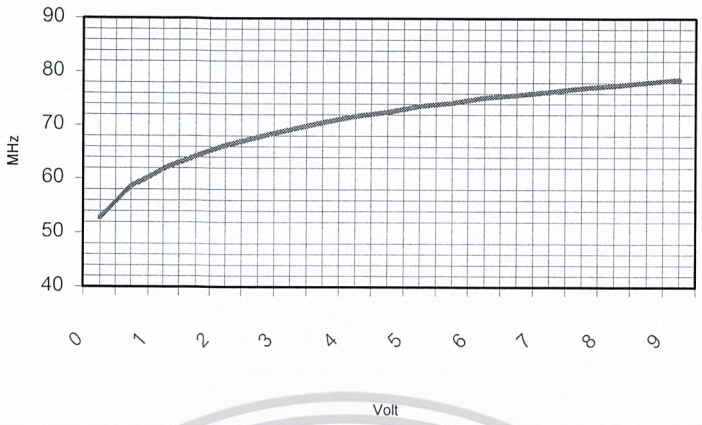


รูปที่ 4.8 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้ของเครื่องส่งเมื่อทำการมอดูเลชั่น

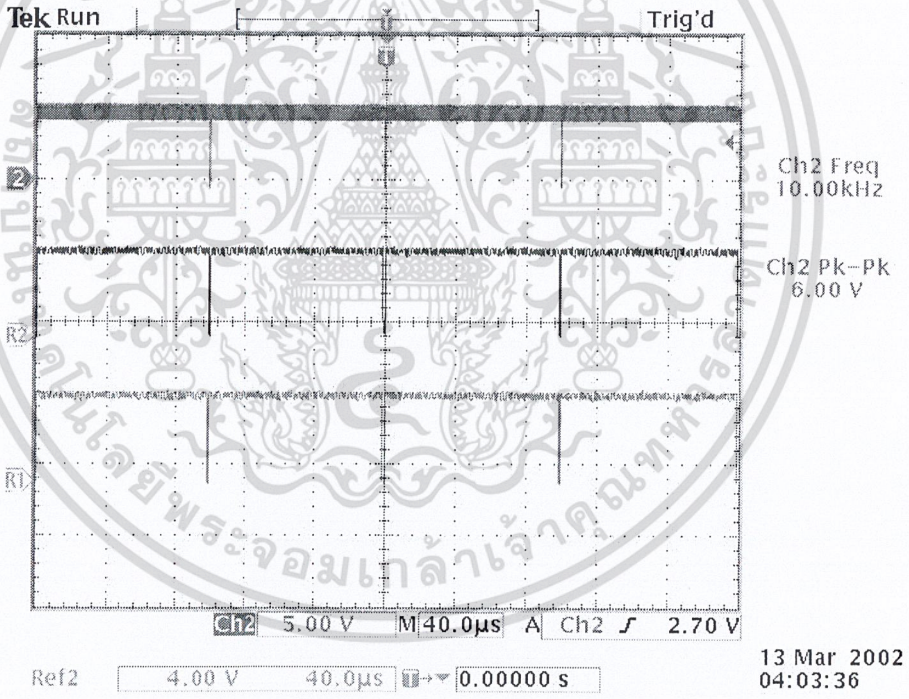
ด้วยสัญญาณไซน์ความถี่ 1 kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 วงจรภาครับ



รูปที่ 4.9 แสดงคุณสมบัติของวงจรกำเนิดสัญญาณควบคุมโดยแรงดันที่ใช้ในเครื่องรับความถี่ 70.7MHz เมื่อแกนนอนมีหน่วยเป็น Volt และแกนตั้งมีหน่วยเป็น MHz



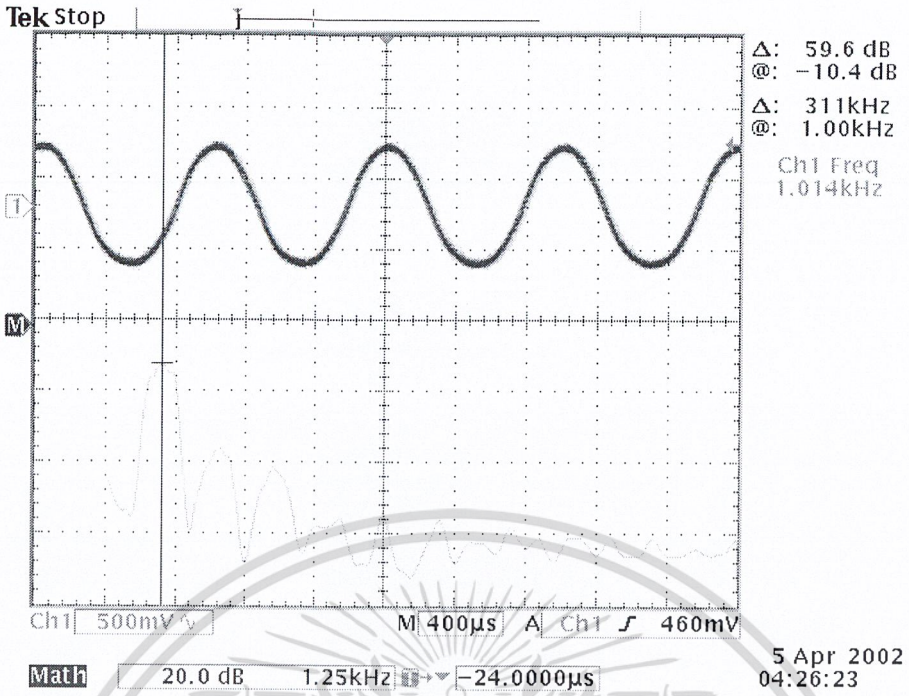
รูปที่ 4.10 แสดงสัญญาณที่ได้จาก ขาล็อคดีเทค ของ ไอซี MC145152

โดย Ch1 คือ สัญญาณที่ได้จาก ขาล็อคดีเทค ของ ไอซี MC145152

Ref1 คือ สัญญาณที่ได้จากขา ϕV ของ ไอซี MC145152

Ref2 คือ สัญญาณที่ได้จากขา ϕR ของ ไอซี MC145152

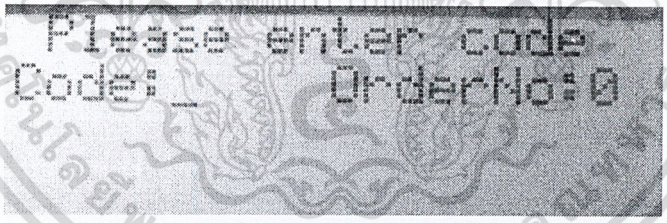
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงสัญญาณที่ดีเทคได้จาก ไอซี MC3362 เมื่อ สัญญาณมอดูเลต คือ สัญญาณไซน์ ความถี่ 1 kHZ

4.6 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

1. เมื่อลูกค้าเข้ามาถึงร้านอาหารจะมีเครื่องสั่งอาหารวางอยู่บนโต๊ะ ที่หน้าจอมีข้อความดังรูปที่ 4.11 ให้ลูกค้าทำการกดปุ่ม New Order เพื่อเป็นการเริ่มต้นการทำงานนั้นๆ

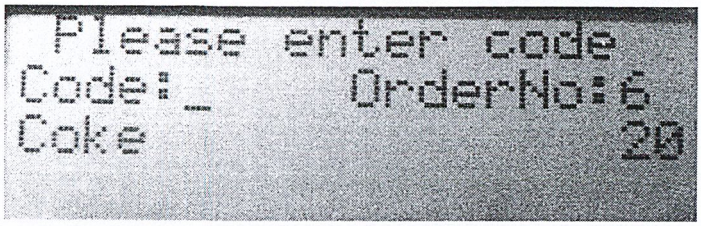


รูปที่ 4.12 แสดงขั้นตอนขั้นแรกของการทำงาน

2. จากนั้นลูกค้าจะทำการสั่งอาหารผ่านเครื่องสั่งอาหารด้วยตนเอง โดยรายการอาหารและราคาของอาหารจะอยู่บนเมนู[1]ที่วางอยู่บนโต๊ะ ดังรูปที่ 4.12 โดยการสั่งอาหารนั้น ทำได้โดใส่รหัสสามหลักของรายการอาหารจากเมนู แล้วกดปุ่ม Enter เพื่อสั่งอาหารรายการนั้น แต่ถ้าหากสั่งผิด ก็สามารถกดปุ่ม CLR เพื่อทำการยกเลิกรายการนั้นได้

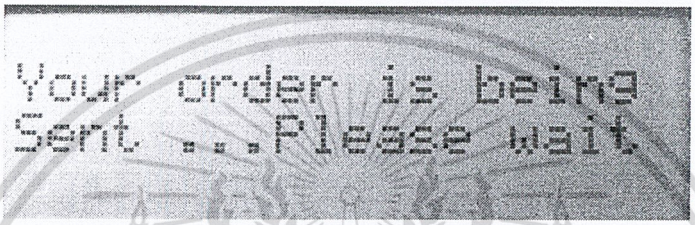
[1] เมนูรายการอาหารสามารถดูได้จากภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



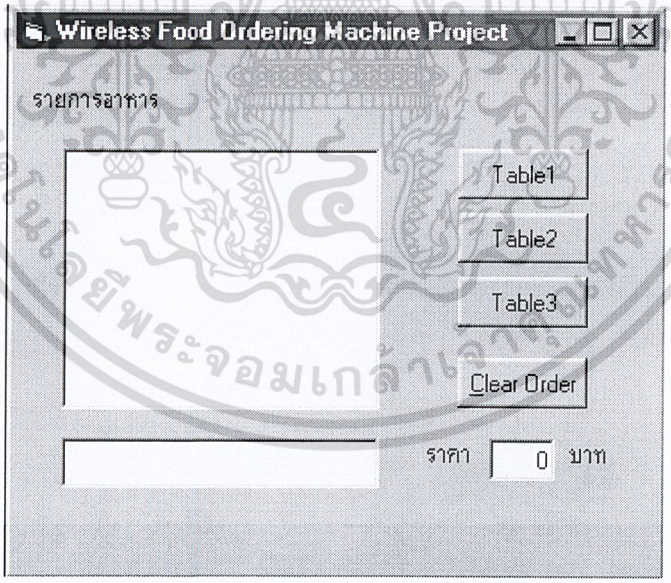
รูปที่ 4.13 แสดงหน้าจอขณะทำการสั่งอาหาร

3. เมื่อได้สั่งอาหารตามความพอใจแล้ว ลูกค้าจะทำการกดปุ่ม SEND เพื่อส่งรายการอาหารที่ได้สั่งไปแล้วไปยังเครื่องรับที่ห้องครัว และในขณะเดียวกันที่หน้าจอของเครื่องสั่งอาหารจะปรากฏข้อความแสดงการส่งข้อมูลดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.14 แสดงข้อความการสั่งอาหาร

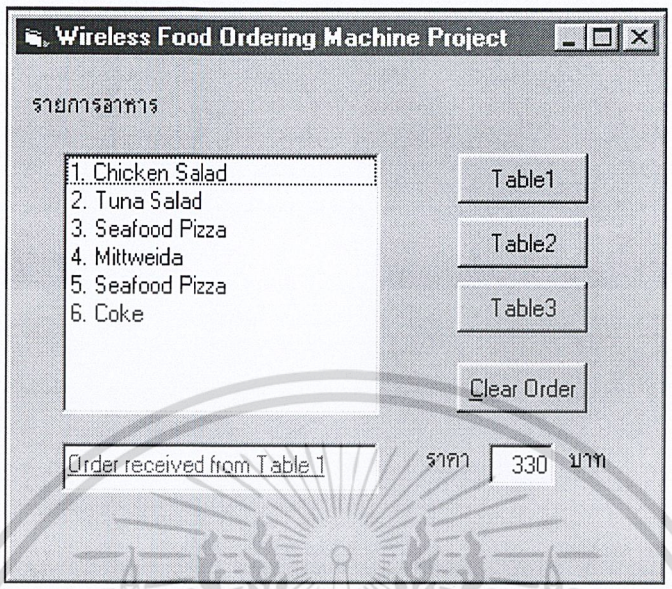
4. ในขณะเดียวกันทางด้านห้องครัวจะมีคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็นหัวใจของระบบ ด้วยการประมวณและแสดงผล ซึ่งหน้าจอจะปรากฏรูปลักษณ์รูปที่ 4.14 เมื่อทำการเริ่มต้นระบบใหม่



รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะของโปรแกรมบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ที่เครื่องเซอร์ฟเวอร์ในห้องครัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

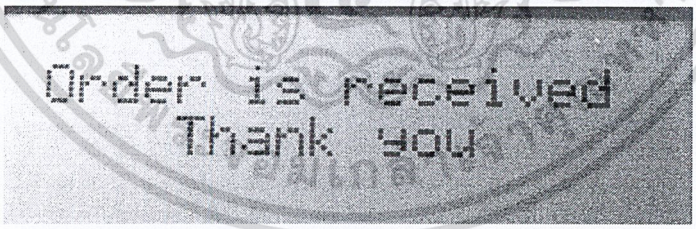
5. จากนั้นที่คอมพิวเตอร์ในห้องครัวจะทำการแสดงรายการอาหารที่ได้รับมาจากโต๊ะนั้นๆ ตามลำดับการสั่งก่อนหลัง พร้อมทั้งคำนวณราคาของรายการทั้งหมดด้วย



รูปที่ 4.16 แสดงผลที่ได้รับจากการสั่งอาหารของตัวลูก

ในขั้นตอนนี้เมื่อพ่อครัวได้รับรายการอาหารแล้วก็สามารถทำการกดปุ่ม Clear Order เพื่อลบ Order ที่ได้ส่งมา เพื่อรอรับการสั่งอาหารของลูกค้าโต๊ะเดิมชุดต่อไป

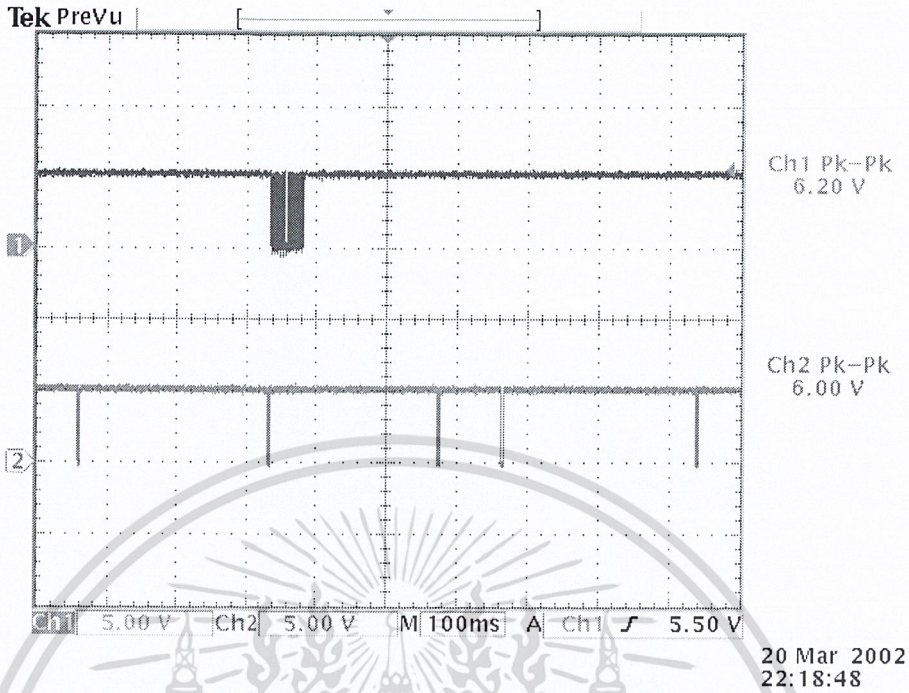
6. ขั้นตอนสุดท้าย เพื่อเป็นการยืนยันการสั่งอาหารของลูกค้า เครื่องสั่งอาหารจะรอรับสัญญาณยืนยันการรับข้อมูลการสั่งอาหารจากเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยหน้าจอของเครื่องสั่งอาหาร เมื่อได้รับสัญญาณยืนยันการสั่งแล้ว จะแสดงข้อความดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงข้อความยืนยันการสั่งอาหารจากตัวแม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

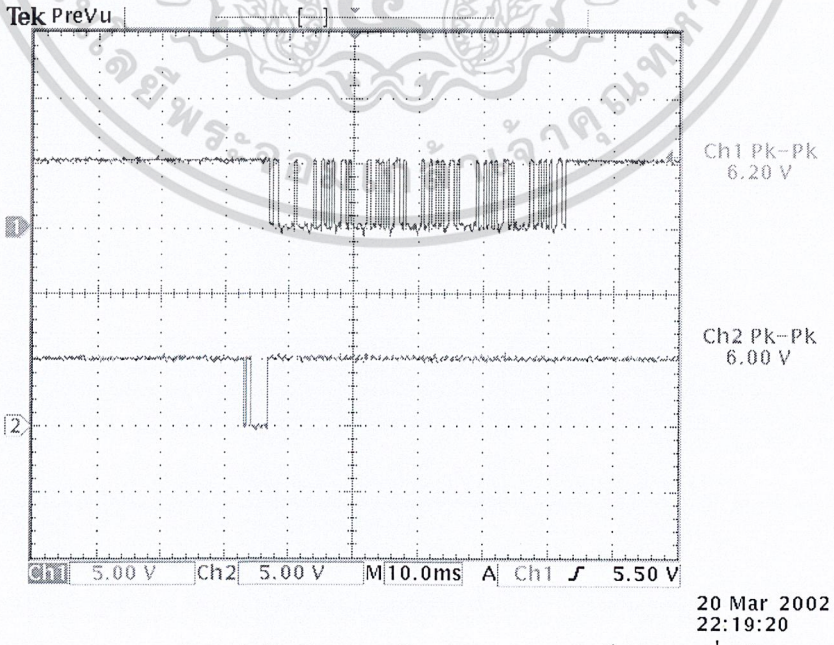
หากมาสังเกตตามเส้นของเวลา จะมีรูปกราฟดังนี้



รูปที่ 4.18 แสดงการทำงานของระบบตามเส้นของเวลา

จารูปจะสังเกตได้ว่า Ch2 คือ สัญญาณ แอดเดรสของตัวลูกที่เปลี่ยนไปเรื่อยๆ Ch1 คือสัญญาณจากตัวลูก ที่ส่งกลับมาหาตัวแม่ อธิบายได้ว่า

ตัวแม่ส่งสัญญาณแอดเดรสที่ตัวลูกตัวที่1ออกไป แต่ตัวลูกตัวที่1ไม่มีข้อมูลที่จะส่งจึงไม่มีสัญญาณใดๆ ตอบกลับมาจากตัวลูก จากนั้นตัวแม่จึงส่งสัญญาณแอดเดรสของตัวลูกตัวที่2ออกมา ในเวลาเดียวกัน ตัวลูกตัวที่สองมีข้อมูล จึงส่งแอดเดรสของตัวเองออกมาแล้วตามด้วยข้อมูล จากนั้นตัวแม่จึงส่งสัญญาณการยืนยันกลับไปที่ตัวลูก เป็นการสิ้นสุดการติดต่อ



รูปที่ 4.19 แสดงการรูปการส่งสัญญาณจากตัวแม่และตอบกลับด้วยตัวลูกที่มีข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและวิจารณ์

จากการทำโครงงานชิ้นนี้ เราสามารถทำการรับข้อมูลจากคีย์แพด และแสดงผลออกทางโมดูลแอลซีดี โดยค่าที่รับมาจะเป็นรหัสของรายการอาหารและทำการแสดงผลเป็นชื่อของอาหาร โดยทำการเทียบกับฐานข้อมูล เพื่อที่จะทำการส่งข้อมูลนั้นไปที่เครื่องควบคุมตัวแม่ในลำดับต่อไป

ปัญหาที่พบคือ ตอนแรกได้วางแผนว่าจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาทำการควบคุมทั้งตัวแม่และตัวลูก แต่ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 นั้นมีข้อจำกัดในการนำมาประยุกต์ใช้งานในอนาคต เช่น การแสดงผลที่เครื่องแม่ เนื่องจากข้อมูลที่จะแสดงอาจมีจำนวนมาก ซึ่งถ้าใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อาจจะสิ้นเปลืองโมดูลแอลซีดีที่ใช้แสดงผล เนื่องจากต้องใช้โมดูลแอลซีดีที่มีขนาดใหญ่มาก เป็นต้น ดังนั้นเราจึงจะเปลี่ยนมาใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมและแสดงผล รวมทั้งการประยุกต์ใช้งานอื่น ๆ ในอนาคต

ในส่วนของความถี่สูง ประกอบด้วย

- ส่วนของภาคส่ง ได้แก่ วงจรเอฟเอสเค ดีมอดูเลเตอร์, วงจรออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน, วงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูปความถี่ 60 เมกกะเฮิรตซ์
- ส่วนของภาครับได้แก่ วงจรภาคไอเอฟและดีมอดูเลเตอร์, ออสซิลเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน, วงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูปความถี่ 70.7 เมกกะเฮิรตซ์, วงจรเอฟเอสเค ดีมอดูเลเตอร์

ปัญหาที่พบคือ ความยุ่งยากในการต่อวงจรความถี่สูง โดยเฉพาะในการออกแบบวงจรต่าง ๆ เช่นวงจรสังเคราะห์ความถี่ด้วยเฟสล็อกลูป และปัญหาการรบกวนกันเองของความถี่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ. ดร. ปราโมทย์ วาดเขียน ที่ได้ให้คำแนะนำ ปรึกษา ดุด่า ว่ากล่าว จ้ำจี้จ้ำไช จนทำงานสำเร็จลุล่วงได้

ขอขอบพระคุณ อ. นภัทร สระเอี่ยม ที่ได้กรุณาให้ที่ทำงาน ที่หลับที่นอน ตลอดจนคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้พร่ำสอน ให้วิชาความรู้ต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ ทั้งในการทำโปรเจค และ การทำงานในอนาคต

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ พี่ ๆ น้อง ๆ เพื่อน ๆ ในห้องโปรเจค ทุกคน ที่เป็นกำลังใจ ให้คำปรึกษา รวมทั้งเป็นเพื่อนเล่นเกมส์ยามเครียด

นาย เกษียร สินธุวงษ์

นาย โฆษวัฒน์ สุขฉายา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กฤษดา ใจเย็น, ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล และ อรรถพล บุญยะโภคา. เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม. บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, 2542

กิตติ ภักดีวัฒนะกุล และ จำลอง ครูอุตสาหะ. Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์. ห้างหุ้นส่วนจำกัด ไทยเจริญการพิมพ์, 2542

ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล และ วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 Flash Microcontroller. บริษัท อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, 2542

ธาริน สิทธิธรรมชารี. คู่มือการเขียนโปรแกรม Visual Basic Version6 ฉบับเพื่อการใช้งานจริง บริษัท ซัคเซส มีเดียจำกัด, 2543

ปราโมทย์ วาดเขียน และ วิวัฒน์ กิรานนท์. พื้นฐานการสื่อสารข้อมูล. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2536

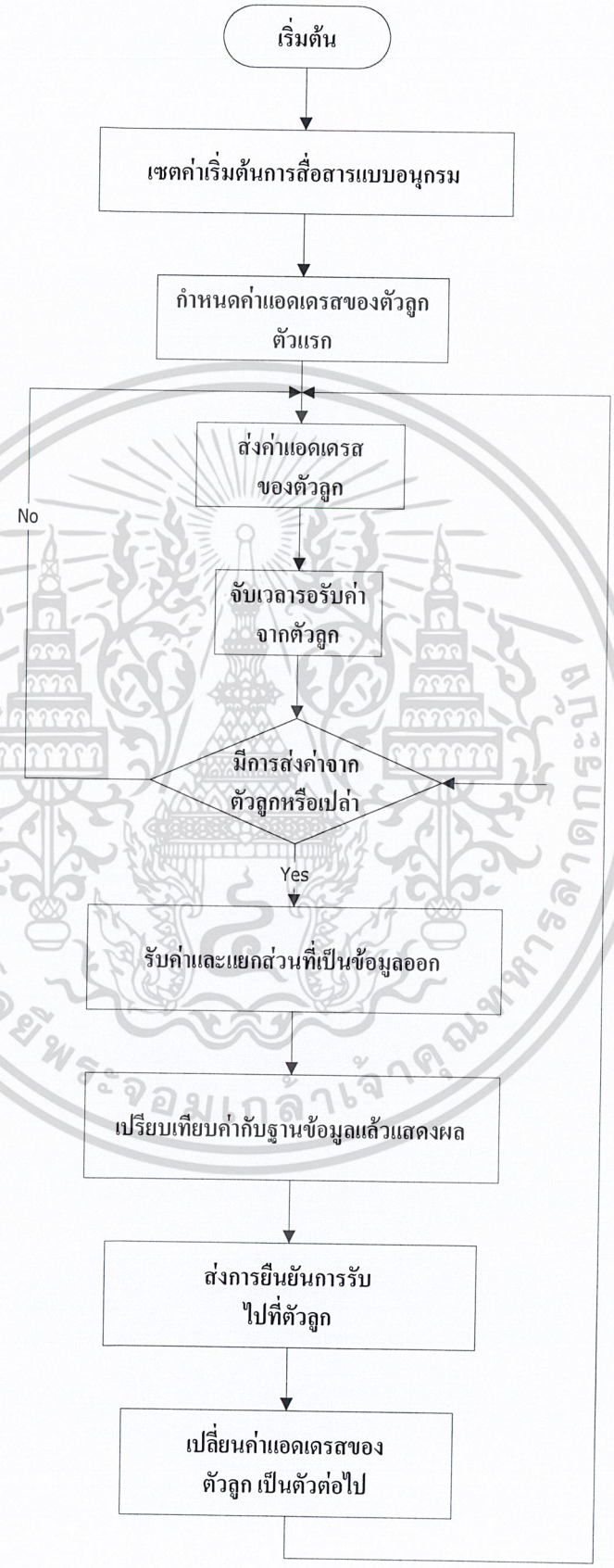
สมยศ จุณณะปิยะ. การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-- ภาคผนวก –

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โฟลวชาร์ตของโปรแกรมตัวแม่ (เครื่องคอมพิวเตอร์)

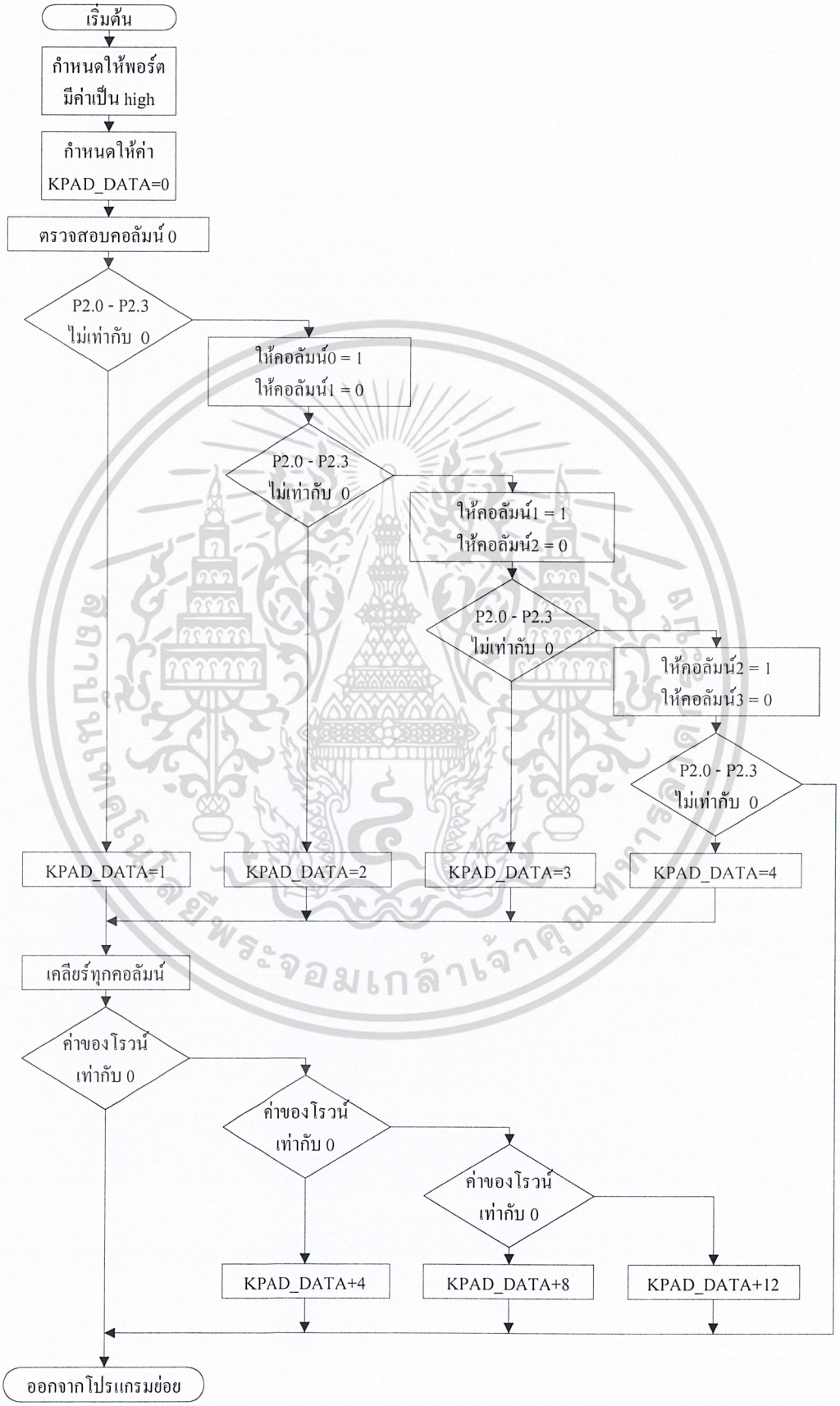


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. โพลวชาร์ตของโปรแกรมตัวลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โฟลวชาร์ตของโปรแกรมย่อยรับค่าจากคีย์แพด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมนูรายการอาหาร

id	code	food	price
1	101	Conflake	20
2	102	Sausage set	50
3	103	Bacon set	40
4	104	Ham set	40
5	105	Chicken burger	40
6	106	Cheeseburger	40
7	107	Combo Burger	50
8	108	Tuna Sandwich	50
9	109	Ham Sandwich	30
10	110	Club Sandwich	30
11	111	Beef Sandwich	40
12	112	Chicken Salad	20
13	113	Tuna Salad	20
14	114	Ham Salad	20
15	115	French fries	10
16	116	Pepper Stake	160
17	117	T-Bone Stake	200
18	118	Chicken Stake	140
19	119	Salmon Stake	200
20	120	Rib	300
21	121	Beef Stake	180
22	122	Chicken Pizza	80
23	123	Seafood Pizza	120
24	124	Coke	20
25	125	Draft Beer	40
26	126	Singha Beer	30
27	127	Mittweida	30
28	128	Leo Beer	20
29	129	Iced Coffee	20
30	130	Iced Tea	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้