สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบตรวจจับโลหะเคลื่อนที่

METAL DETECTOR CAR

T055447

โดย

นายเฉลิมเกียรติ อินต๊ะวัน

นางสาวณัฏฐิกา พรมปัญญา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 55447
วัน,เดือน,ปี 9 พ.ค. 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจจับโลหะเคลื่อนที่

METAL DETECTOR CAR

โดย

นายเฉลิมเกียรติ อินต๊ะวิน 43010079

นางสาวณัฏฐิกา พรมปัญญา 43010209

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงาน	ระบบตรวจจับโลหะเคลื่อนที่
นักศึกษา	นายเฉลิมเกียรติ อินต๊ะวิน 43010079
	นางสาวณัฏฐิกา พรมปัญญา 43010209
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ
	ปีการศึกษา 2546

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว พร้อมที่จะทำการสอบได้

ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

วันที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงาน	ระบบตรวจจับโลหะเคลื่อนที่
นักศึกษา	นายเฉลิมเกียรติ อินต๊ะวิน 43010079
	นางสาวณัฏฐิกา พรมปัญญา 43010209
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ
	ปีการศึกษา 2546

ปริญญานิพนธ์นี้ได้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ)

วันที่.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงาน ระบบตรวจจับโลหะเคลื่อนที่
นักศึกษา นายเฉลิมเกียรติ อินต๊ะวิน 43010079
นางสาวณัฏฐิกา พรมปัญญา 43010209
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ
ปีการศึกษา 2546

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอโครงงานระบบตรวจจับโลหะเคลื่อนที่โดยใช้หลักการของสนามแม่เหล็ก ซึ่งสนามแม่เหล็กนี้จะถูกสร้างจากขดลวดกำเนิด และใช้ขดลวดรับเป็นตัวตรวจจับระดับพลังงานที่อยู่รอบ ๆ ชุดตรวจจับ สัญญาณที่ถูกจับได้จะเปลี่ยนเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเปลี่ยนแปลงตามการรบกวนของสนามแม่เหล็กโดยวัตถุที่เหนี่ยวนำไฟฟ้า ซึ่งถ้าการรบกวนของสนามแม่เหล็กมีมากถึงระดับที่กำหนดไว้ จะทำให้มีแรงดันไฟฟ้าถูกขยายเพื่อนำไปแสดงผลต่อไป ประโยชน์ของเครื่องตรวจจับโลหะ โดยใช้สนามแม่เหล็กสามารถนำไปใช้ในการหาวัตถุที่เป็นโลหะ เช่น วัตถุระเบิดชนิดโลหะ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในด้านการทหารและตำรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THESIS TITLE	METAL DETECTOR CAR	
STUDENT	Mr. Chalermkeat Intawin	43010079
	Miss. Nuttika Prompunya	43010209
ADVISER	Mr. Ponlasart lerdprasert	
	Educational Year 2003	

ABSTRACT

This paper proposes the metal detector which can detect metal by electromagnetic field. An alternating electromagnetic field is established using an transmitting coil. An adjacent receiver coil is used to measure the energy level in the vicinity of the search coil. A synchronous demodulator is used to produce a direct current voltage which varies in proportion to the disturbance of the electromagnetic field by a conductive object. This voltage is amplifier and audible and visible signals are produced when the disturbance exceeds a level set by the sensitivity controls. This metal detector equipment is very useful to find the metal search the weapon so it can be apply to use for the warrior and the police.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้ด้วยความอนุเคราะห์ ซึ่งได้รับคำแนะนำ และชี้แนะแนวทางจากคณาจารย์ ในการศึกษาค้นคว้าข้อมูลรายละเอียด และขอบเขตต่าง ๆ ของโครงงานเป็นอย่างดีตลอดมา

ผู้จัดทำขอขอบคุณ อาจารย์พลศาสตร์ เลิศประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำ รวมไปถึงผู้ที่มีส่วนร่วมให้คำแนะนำ และช่วยเหลือทุก ๆ ท่าน

ขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ช่วยให้คำแนะนำ ให้ยืมเครื่องมือ และเป็นกำลังใจตลอดมาในการทำปริญญานิพนธ์

สุดท้ายผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เคารพรักยิ่ง ที่ได้สนับสนุนด้านการเงิน และให้กำลังใจแก่ผู้จัดทำตลอดมา จนปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี

ผู้จัดทำ

นายเฉลิมเกียรติ อินต๊ะวิน

นางสาวฉัฏฐิกา พรมปัญญา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
บทที่1 บทนำ	1
บทที่2 MCS 51	3
2.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	3
2.2 โครงสร้างภายในของ 8051	3
2.3 พอร์ทของ 8051	5
2.4 วงจรคล็อคของ MCS-51	9
2.5 ผังเวลาของซีพียู (CPU Timming)	10
2.6 หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory)	11
2.7 หน่วยความจำข้อมูล (Data memory)	13
2.8 รีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ (Special Function Register: SFR)	16
2.9 ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	21
2.10 กระบวนการอินเตอร์รัปต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	26
2.11 พอร์ทอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	27
2.12 กระบวนการรีเซตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	27
บทที่ 3 ทฤษฎี	31
3.1 มอร์เตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	31
3.2 ออปแอมป์ (Operation Amplifer)	34
3.3 วงจรพัลซ์วิดมอดดูเลชั่น Pulse Width Modulation (P.W.M)	36
3.4 การทำงานของรถกระป๋อง	40
3.5 ทฤษฎีส่วนตรวจจับโลหะ	41
บทที่4 ประเภทของเครื่องตรวจจับโลหะ	44
4.1 Beat Frequency Oscillator (BFO)	44
4.2 VLF Phase Angle	45
4.3 Pulse Induction (PI)	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 Off Resonance 47
4.5 Induction Balance (BI) และ Transmit/Receive (TR) 48
บทที่ 5 วงจรขับมอเตอร์ 51
5.1 วงจรขับมอเตอร์ 51
5.2 การพันขดลวดและการจัดตำแหน่งขดลวด 53
5.3 ส่วนประกอบของเครื่องตรวจจับโลหะ (Metal Detector) 54
5.4 การใช้งานและการทำงานของส่วนตรวจจับโลหะ 61
บทที่ 6 ผลการทดลอง 62
6.1 ผลการทดลองในส่วนรถ 62
6.2 ผลการทดลองในส่วนตรวจจับโลหะ 70
บทที่ 7 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง 76

เอกสารอ้างอิง 78
ภาคผนวก 79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูป 2.1 (a) 8051 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51	4
รูป 2.1 (b) ตำแหน่งของรีจีสเตอร์ต่าง ๆ และหน่วยความจำภายใน	4
รูป 2.2 การจัดวางขาของ 8051	5
รูป 2.3 แสดงโครงสร้าง พอร์ท 0 (บิต)	5
รูป 2.4 โครงสร้างของพอร์ท 1 (บิต)	6
รูป 2.5 โครงสร้างของพอร์ท 2 (บิต)	6
รูป 2.6 โครงสร้างของพอร์ท 3 (บิต)	7
รูป 2.7 การต่อขารีเซ็ทให้กับ 8051	8
รูป 2.8 วงจรสร้างคล็อคของ 8051	9
รูป 2.9 ผังเวลาการทำงานของแต่ละคำสั่ง	10
รูป 2.10 แสดงผังเวลาการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก	11
รูป 2.11 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบ แฟลช	12
รูป 2.12 การเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	14
รูป 2.13 การเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	14
รูป 2.14 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช	15
รูป 2.15 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในส่วนล่างของ ไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 แบบแฟลช	15
รูป 2.16 โครงสร้างของหน่วยความจำข้อมูลภายในส่วนบนของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	17
รูป 2.17 การจัดสรรพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ (SFR)	17
รูป 2.18 รายละเอียดของรีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรมหรือ PSW	18
รูป 2.19 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 1 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1	25
รูป 2.20 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 2 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1	25
รูป 2.21 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 3 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 2.22 ไดอะแกรมเวลาของกระบวนการรีเซตภายใน
ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 28
รูป 2.23 วงจรเพาเวอร์ออนรีเซต 29
รูป 3.1 กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง 31
รูป 3.2 แสดงการกลับทิศทางการหมุนของซีรีส์มอเตอร์
โดยการกลับทิศทางการไหล ของกระแส ในอาร์เมเจอร์ 32
รูป 3.3 แสดงการกลับทิศทางการหมุนของซีรีส์มอเตอร์
โดยการกลับทิศทางการไหล ของกระแสในซีรีส์มอเตอร์ 33
รูป 3.4 วงจรขยายกลับเฟส 35
รูป 3.5 วงจรขยายไม่กลับเฟส 35
รูป 3.6 อิมพีแดนซ์ที่ขั้วต่างๆของวงจรขยาย 36
รูป 3.7 แสดงความกว้างของพัลท์ขนาดต่างๆ และค่าดิวตี้ไซเคิล
ของช่วงพัลท์ที่มีความถี่องที่ 37
รูป 3.8 แสดงช่วงพัลท์ที่มีสถานะลอจิกสูง และช่วงพัลท์ที่มีสถานะลอจิกต่ำ 38
รูป 3.9 แสดงการกำหนดความกว้างของพัลท์โดย โปรแกรม 39
รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมของตัวส่ง สัญญาณ 40
รูป 3.11 บล็อกไดอะแกรมของตัวรับ สัญญาณ 40
รูป 4.1 Block diagram ของวงจร Beat Frequency Oscillator (BFO) 44
รูป 4.2 Block diagram ของวงจร VLF Phase Angle 45
รูป 4.3 Block diagram ของวงจร Pulse Induction (PI) 46
รูป 4.4 Block diagram ของวงจร Off Resonance 47
รูป 4.5 Block diagram ของวงจร IB detector 49
รูป 4.6 Block diagram ของวงจร T/R detector 50
รูป 5.1 แสดงวงจรขับมอเตอร์ 51
รูป 5.2 แสดงการต่อขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ 52
รูป 5.3 แสดงการพันขดลวด รูป D shape 53
รูป 5.4 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน์และภาครับ (Oscillator) 56
รูป 5.5 วงจรขยายสัญญาณ (Non – Inverting Amplifier) 57
รูป 5.6 วงจรกรองสัญญาณ (Full Wave Rectifier) 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 5.7 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) 59
รูป 5.8 สัญญาณ output ของวงจร Comparator 60
รูป 6.1 แสดงกราฟเมื่อรถเดินหน้า 62
รูป 6.2 แสดงกราฟเมื่อรถเดินหน้าและเร็วขึ้น 63
รูป 6.3 แสดงกราฟเมื่อรถเดินหน้าและเร็วขึ้น 63
รูป 6.4 แสดงกราฟเมื่อรถถอยหลัง 64
รูป 6.5 แสดงกราฟเมื่อรถถอยหลังและเร็วขึ้น 65
รูป 6.6 แสดงกราฟเมื่อรถถอยหลังและเร็วขึ้น 65
รูป 6.7 แสดงกราฟเมื่อรถเลี้ยวซ้ายโดยเป็นรูปมอเตอร์ด้านขวา 66
รูป 6.8 แสดงกราฟเมื่อรถเลี้ยวซ้ายโดยเป็นรูปมอเตอร์ด้านซ้าย 67
รูป 6.9 แสดงกราฟเมื่อรถเลี้ยวขวาโดยเป็นรูปมอเตอร์ด้านซ้าย 68
รูป 6.10 แสดงกราฟเมื่อรถเลี้ยวขวาโดยเป็รูปมอเตอร์ด้านขวา 69
รูป 6.11 สัญญาณที่ภาคส่ง (Transmit Coil) 70
รูป 6.12 สัญญาณที่ภาครับ (Receive Coil) 71
รูป 6.13 สัญญาณ Output ของวงจรขยาย 72
รูป 6.14 สัญญาณ Output ของวงจรกรองสัญญาณ 73
รูป 6.15 สัญญาณ Output ของ Comparator 74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	การเลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่างเพื่อติดต่อกับ รีจิสเตอร์แบงก์ R0-R7	18
ตารางที่ 2.2	แสดงข้อมูลของรีจิสเตอร์ TMOD เพื่อกำหนดให้ ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 ทำงาน เป็นไทเมอร์	26
ตารางที่ 2.3	แสดงค่าข้อมูลที่เกิดขึ้นของรีจิสเตอร์ใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 หลังเกิดการรีเซต	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่1
บทนำ

เครื่องตรวจจับโลหะที่สร้างขึ้นโดยทั่วไป ประกอบด้วยวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์หลาย ๆ ส่วนมารวมกัน โดยใช้หลักการต่าง ๆ ดังจะกล่าวต่อไป เครื่องตรวจจับโลหะใช้งานในหลายด้าน อาทิเช่น การค้นหาวัตถุโบราญ การหาท่อโลหะ สายไฟฟ้าที่ฝังในผนัง รวมไปถึงระบบป้องกันความปลอดภัยในสถานที่ต่าง ๆ ในโครงงานนี้จะพิจารณานิดต่าง ๆ ของเครื่องตรวจจับโลหะ ซึ่งรวมไปถึงระบบที่เป็นพื้นฐานจนถึงระบบที่ซับซ้อนที่สามารถบอกได้ว่าตรวจพบโลหะชนิดใด บอกความลึก ขนาดที่พบ ซึ่งในส่วนหลังนี้ก็จะมีความยุ่งยากของวงจรและราคาที่เพิ่มขึ้นด้วย

เครื่องตรวจจับโลหะสามารถตรวจพบโลหะได้ โดยอาศัยหลักการคือ เมื่อมีโลหะผ่านเข้ามาในบริเวณขดลวดที่มีสนามแม่เหล็กล้อมรอบ ทำให้สนามแม่เหล็กรอบ ๆ ขดลวดเกิดการเปลี่ยนแปลง ผลจากการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ สามารถทำการตรวจจับโดยใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์แต่ในบางครั้งวัตถุที่ไม่ใช่โลหะอาจจะให้ผลเช่นเดียวกันก็ได้

เครื่องตรวจจับโลหะที่ใช้ผลของการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ ได้แก่ เครื่องตรวจจับโลหะชนิด Induction Balance โดยประกอบด้วยขดลวด 2 ขด ขดแรกจะถูกขับโดยวงจรออสซิเลเตอร์ที่ความถี่คงที่ค่าหนึ่ง ส่วนขดลวดอีกขดจะต่อเข้ากับวงจรตรวจจับและวงจรขยายสัญญาณ ขดลวดทั้ง 2 ขดนี้จะถูกวางในตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการตรวจจับสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลง เมื่อไม่มีโลหะขดรับจะมีพลังงานที่เกิดจากขดส่งน้อยมาก นั่นคือสัญญาณมีขนาดเล็กที่สุด แต่เมื่อนำขดลวดเข้าใกล้โลหะ สนามแม่เหล็กจะถูกเปลี่ยนแปลง ขดรับจะสามารถรับสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กนี้ได้ และนำไปผ่านวงจรขยายสัญญาณ และวงจรตรวจจับ

ข้อดีของเครื่องตรวจจับโลหะที่ใช้หลักการ Induction Balance คือความสามารถในการระบุตำแหน่งที่แม่นยำ และการค้นหาที่อยู่ในระดับลึก และจะไม่ตอบสนองต่อโลหะที่มีขนาดเล็ก แต่ความไวจะถูกรบกวนในบริเวณพื้นดินที่มีแร่ธาตุปน เครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้จะใช้ความถี่ออสซิเลเตอร์ระหว่าง 85 KHz ถึง 150 KHz แต่ผลของความถี่สูงนี้จะให้ผลไม่ดีเท่าที่ควรในพื้นดินที่มีแร่ธาตุปนอยู่ เทคนิคที่ใช้แก้ปัญหานี้คือ การลดความถี่ออสซิเลเตอร์ให้ต่ำประมาณ 3 KHz - 5 KHz เพื่อให้ขดส่งส่งพลังงานได้มากขึ้น แต่ข้อเสียคือ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานค่อนข้างมาก และความสามารถในการระบุตำแหน่งจะลดลง

Metal detect mobile car ได้ออกแบบสร้างขึ้นมาเป็นเพียง Model หรือ แบบจำลองเท่านั้น ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานโดยการการเพิ่มระยะการตรวจจับของ Sensor โลหะให้มีระยะไกลมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นถ้าต้องการนำ Metal detect mobile car ไปใช้ในงานจริงให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จะต้องเพิ่มระยะการตรวจจับโลหะและระยะในการควบคุม Metal detector car ให้ได้ไกลมากขึ้น และติดส่วนแสดงภาพระยะไกล

วัตถุประสงค์ของโครงงาน

- เพื่อศึกษาการออกแบบและการทำงานของเครื่องตรวจจับโลหะ
- สามารถนำเครื่องตรวจจับไปใช้หาวัตถุที่เป็นโลหะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

MCS-51

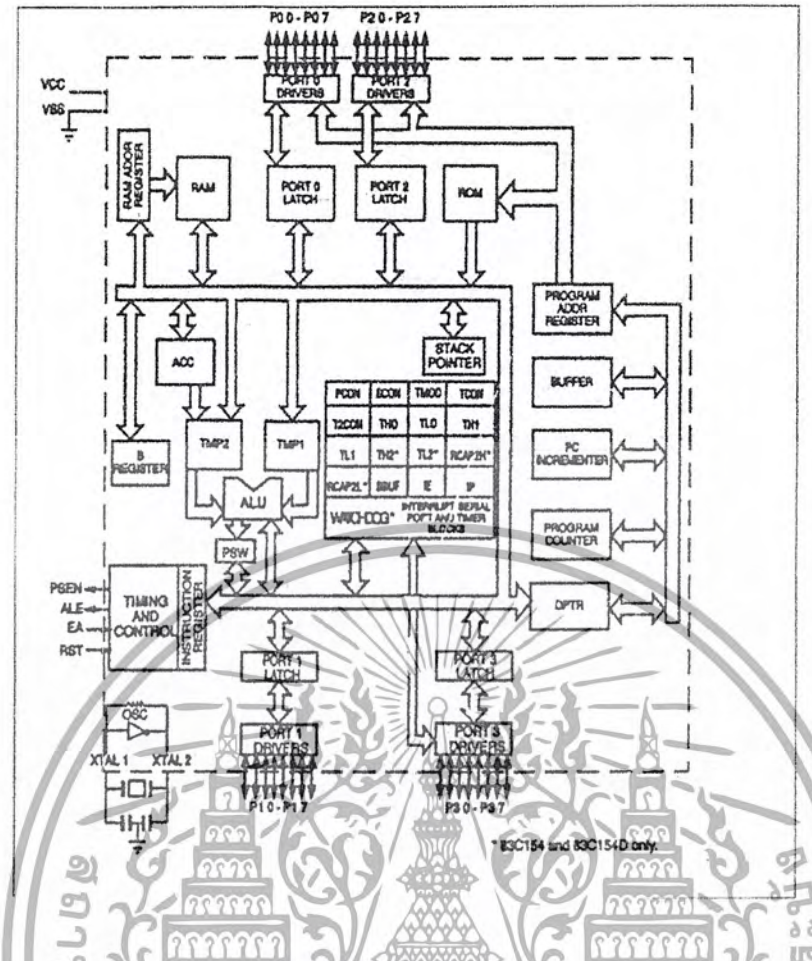
2.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ +5V ชุดเดียว
- มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์สำหรับเบอร์ 8051 และ 8031 สำหรับเบอร์ 8052 มีหน่วยความจำถึง 8 กิโลไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) ขนาด 128 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปมีถึง 256 ไบต์
- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลแยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์
- มีไทม์เมอร์ เคาน์เตอร์ ขนาด 16 บิต 2 ชุด (สำหรับ 8052 มี 3 ชุด) ทำงานได้ 4 โหมด
- รับอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวคเตอร์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปมี 8 แหล่ง 6 เวคเตอร์
- มีพอร์ทรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) 2 พอร์ทแบบ Full Duplex เลือกรูปได้ 4 โหมด
- มีคำสั่งในการทำ AND, OR หรือ Complement ได้ทั้งแบบ 8 บิตและ 1 บิต

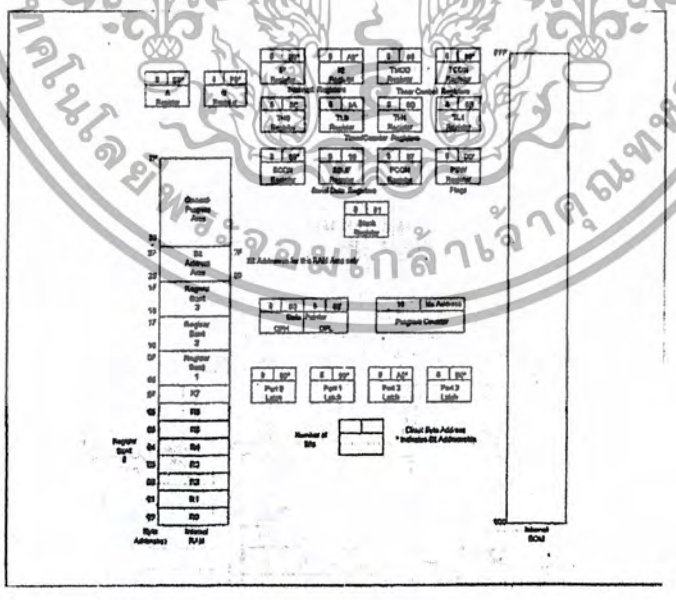
2.2 โครงสร้างภายในของ 8051

MCS-51 ใช้เทคโนโลยีในการผลิตเป็นแบบ NMOS และ CMOS เบอร์ 8032 และ 8052 จะมี ROM BASIC อยู่ภายในจึงสะดวกสำหรับโปรแกรมเมอร์ที่จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเบสิก โครงสร้างภายในสำหรับเบอร์ 8051 ดังแสดงในรูป 2.1 (a) และ 2.1 (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

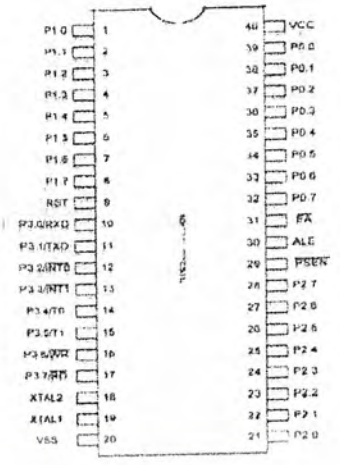


รูป 2.1 (a) 8051 บล็อกไดอะแกรมของ MCS-51



รูป 2.1 (b) ตำแหน่งของรีจีสเตอร์ต่าง ๆ และหน่วยความจำภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

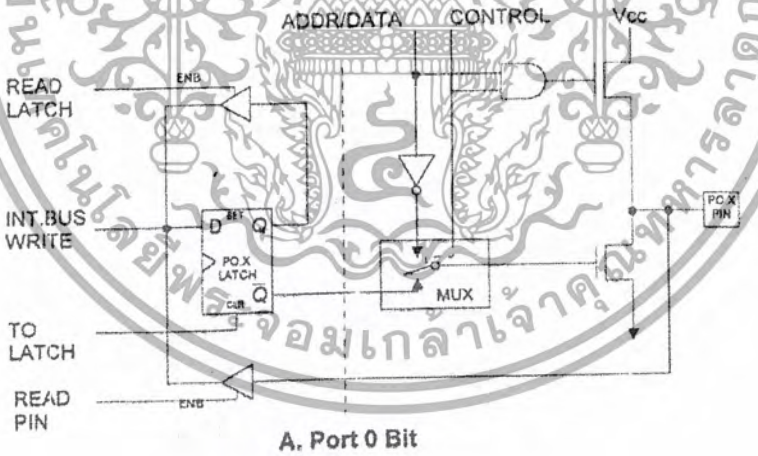


รูป 2.2 การจัดวางขาของ 8051

2.3 พอร์ทของ 8051

8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา ซึ่งมีขาต่าง ๆ ดังนี้

- Vcc(ขา 40) ต่อกับ +5V
- Vss (ขา 20) เป็นขา GND
- พอร์ท 0 (ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.7-P0.0) มีโครงสร้างแบบ Open-Drain Bi-directional ดังแสดงในรูป 2.3



A. Port 0 Bit

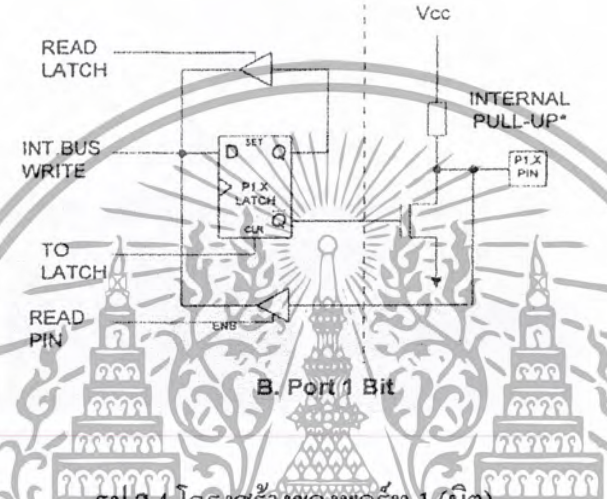
รูป 2.3 แสดงโครงสร้าง พอร์ท 0 (บิต)

- พอร์ท 0(ขา 32-39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.7-P0.0) ใช้งานได้ 2 หน้าที่ คือ แอดเดรสบัสและดาต้าบัสเมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกหรือเป็นไอโอพอร์ท ถ้าต้องการให้ทำงานเป็นอินพุทพอร์ทต้องส่งลอจิก "1" ไปยังพอร์ทนี้ จะมีผลให้ $\overline{Q}$ ของ D-FF เป็น "0" ทำให้ FET ตัวล่างมีสถานะ OFF สัญญาณที่ใช้อ่านอินพุทพอร์ทแลทช์โดยส่งสัญญาณ READLATCH ไปกระตุ้นที่ Tri-State Buffer ตัวบนและการอ่าน Port (pin) จะใช้สัญญาณ Read (pin)

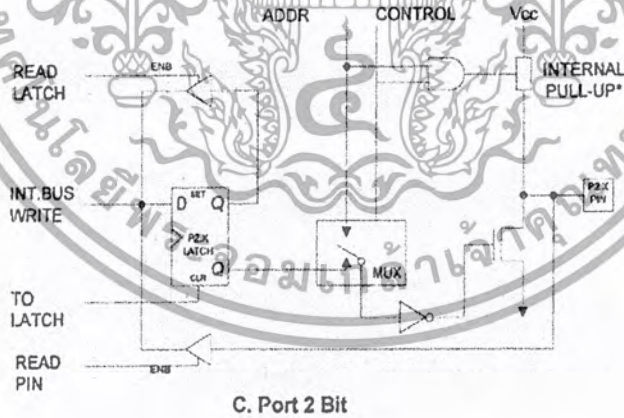
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **พอร์ท 1 (ขา 1-8)** มีทั้งหมด 8 บิตคือ (P1.0-P1.7) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ท 0 แต่จะใช้ความต้านทานภายในพูลอัพแทน Internal Pull up Register มีโครงสร้างดังรูป 2.4

- **พอร์ท 2 (ขา 21-28)** มีทั้งหมด 8 บิต คือขา (P2.7-P2.0) มีโครงสร้างคล้าย พอร์ท 0 โดยมี FET ตัวล่างตัวเดียวส่วนด้านบนใช้ความต้านทานพูลอัพแทน (Internal pull up) พอร์ทนี้ทำงาน 2 หน้าที่ คือสามารถใช้เป็นแอดเดรสบัสขนาด 8 บิต (A15-A8) และเป็นไอโอพอร์ทใช้งานทั่วไปเมื่อจะใช้งานเป็นอินพุทพอร์ทต้องส่งลอจิก "1" มาที่พอร์ทนี้ก่อนเพื่อบังคับให้ FET อยู่ในสภาวะ off ดังรูป 2.5



รูป 2.4 โครงสร้างของพอร์ท 1 (บิต)



รูป 2.5 โครงสร้างของพอร์ท 2 (บิต)

- **พอร์ท 3 (ขา 10-17)** มีทั้งหมด 8 บิต คือ ขา(P3.7-P3.0) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ท 1 ทำงานได้ 2 หน้าที่คือเป็นไอโอพอร์ทถ้าจะโปรแกรมให้เป็นอินพุทพอร์ทต้องส่งลอจิก "1" มาที่พอร์ทนี้ก่อน และอีกหน้าที่หนึ่งก็คือใช้ส่งสัญญาณควบคุมออกมาและรับสัญญาณเข้าไปสัญญาณต่าง ๆ มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

P3.0/RXD (Serial Input Port) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม (UART)

P3.1/TXD (Serial Output Port) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม (UART)

P3.2/$\overline{INT0}$ (External Interrupt 0) ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอก เบอร์ 0

P3.3/$\overline{INT1}$ (External Interrupt 1) ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอก เบอร์ 1

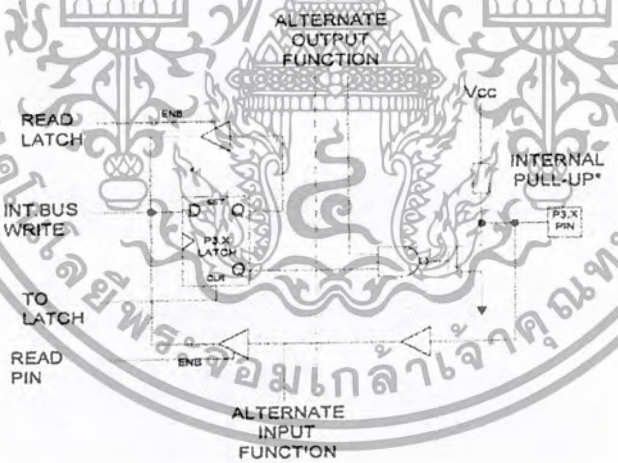
P3.4/T0 (Counter 0 External Input) ขารับสัญญาณพัลซ์อินพุทเข้าไปยังวงจร Counter 0 (เป็นอินพุทโหมดเคาน์เตอร์)

P3.5/T1 (Counter 1 External Input) ขารับสัญญาณพัลซ์อินพุทเข้าไปยังวงจร Counter 1(เป็นอินพุทโหมดเคาน์เตอร์)

P3.6/$\overline{WR}$ (External Data Memory Write Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

P3.7/$\overline{RD}$ (External Data Memory Read Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

โครงสร้างของ (พอร์ท 3) ดังแสดงในรูป 2.6



รูป 2.6 โครงสร้างของพอร์ท 3 (บิต)

- **ALE (ขา 30)** เป็นขาส่งสโตรบสำหรับใช้ในการแลตช์แอดเดรสไบต์ต่ำ (A7-A0) ที่ส่งออกมาจากพอร์ท 0 สัญญาณนี้จะเอตทีฟทุก ๆ 2 ครั้ง ใน 1 แมชชีนไซเคิล

- $\overline{PSEN}$ **(ขา 29)** เป็นขาสโตรบที่ใช้สำหรับอ่านข้อมูลจาก Program Memory ภายนอก สัญญาณนี้จะส่งออกมา 2 ครั้งในแต่ละแมชชีนไซเคิลแต่ถ้าเป็นการอ่าน Internal Program Memory จะไม่มีสัญญาณออกที่ขานี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- $\overline{EA}$ (ขา 30) ใช้เลือกหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

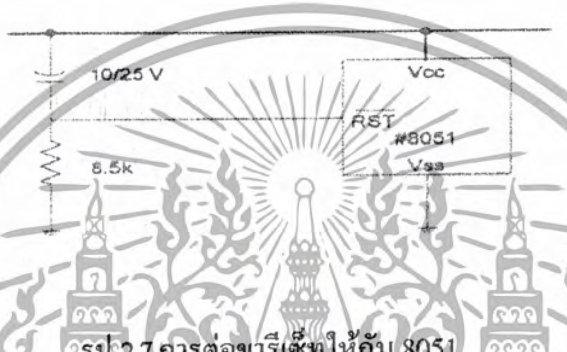
  ป้อน "0" จะอ่านโปรแกรมจากภายนอกชิพ

  ป้อน "1" จะอ่านโปรแกรมจากภายในชิพ

- RST (ขา 29) ขารีเซ็ท จะรีเซ็ทได้ก็ต่อเมื่อป้อนลอจิก "1" เข้าที่ขานี้นานอย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล

- XTAL1 (ขา 19) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นอินพุทเข้าสู่วงจรออสซิสเลเตอร์ภายใน

- XTAL2 (ขา 18) ใช้ต่อคริสตอลภายนอกโดยเป็นเอาท์พุทของวงจรออสซิสเลเตอร์ภายใน

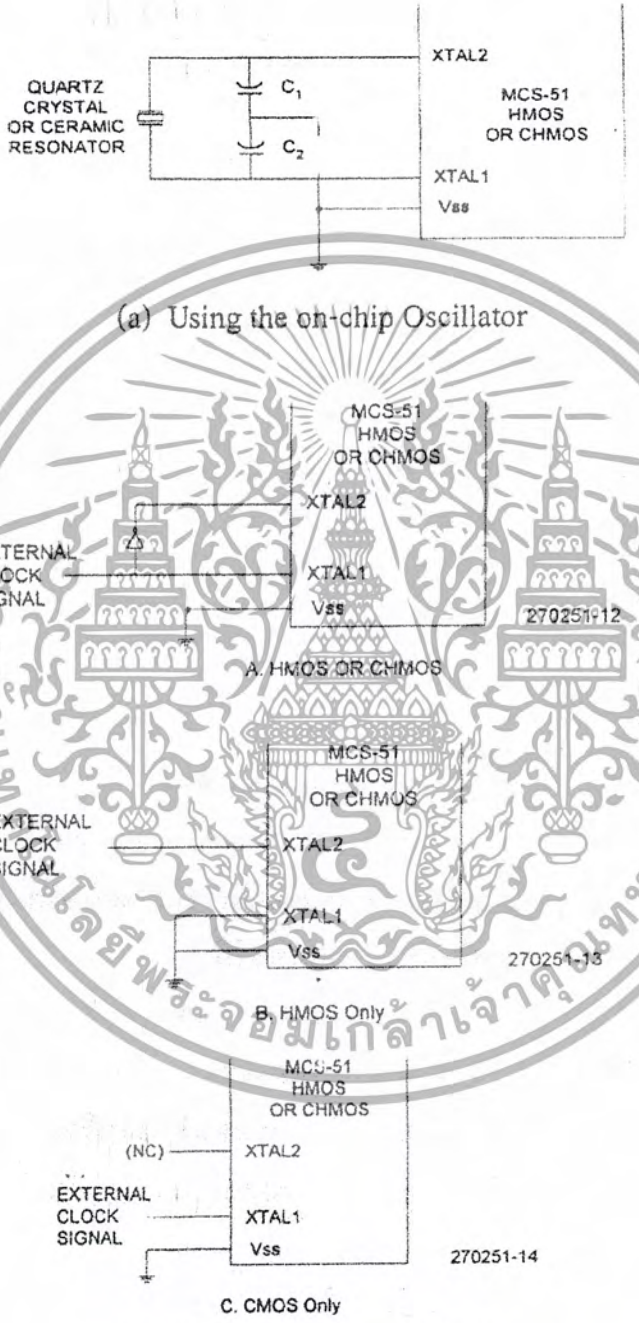


รูป 2.7 การต่อขารีเซ็ทให้กับ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 วงจรคล็อคของ MCS-51

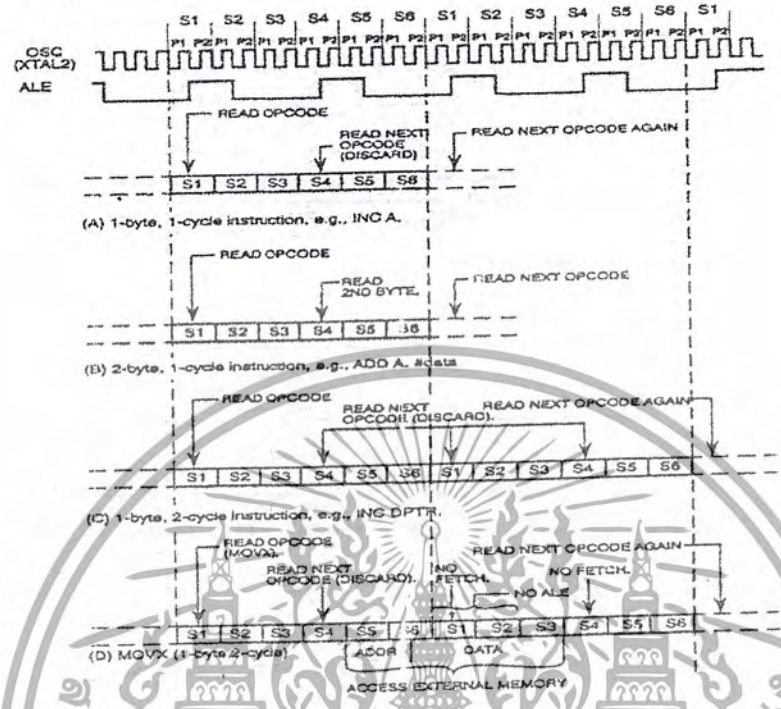
การต่อมีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบคือแบบใช้คล็อคจากภายนอกมีรูปแบบการต่อดังรูป 2.8



รูป 2.8 วงจรสร้างคล็อคของ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ผังเวลาของซีพียู (CPU Timming)



รูป 2.9 ผังเวลาการทำงานของแต่ละคำสั่ง

การทำงานใน 1 คำสั่งต่ำสุดจะกินเวลาเพียง 1μs เช่นคำสั่ง INC A ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ 1 แมชชีนไซเคิล ซึ่งจะใช้คล็อคไปเท่ากับ 12 ลูก โดยคล็อคลูกที่ 1 และ 2 จะอยู่ในช่วง S1 P1 และ S1 P2 และคล็อคลูกที่ 12 ก็จะอยู่ในช่วง S6P2 นั่นเอง (ปกติแล้ว ซีพียูจะ RUN ด้วยความเร็วเท่ากับ 12 MHz ดังนั้น คล็อค 12 ลูกจะกินเวลาเท่ากับ 1 μs)

คำว่า 1 แมชชีนไซเคิล คือช่วงการทำงานตั้งแต่ S1 จนถึง S6

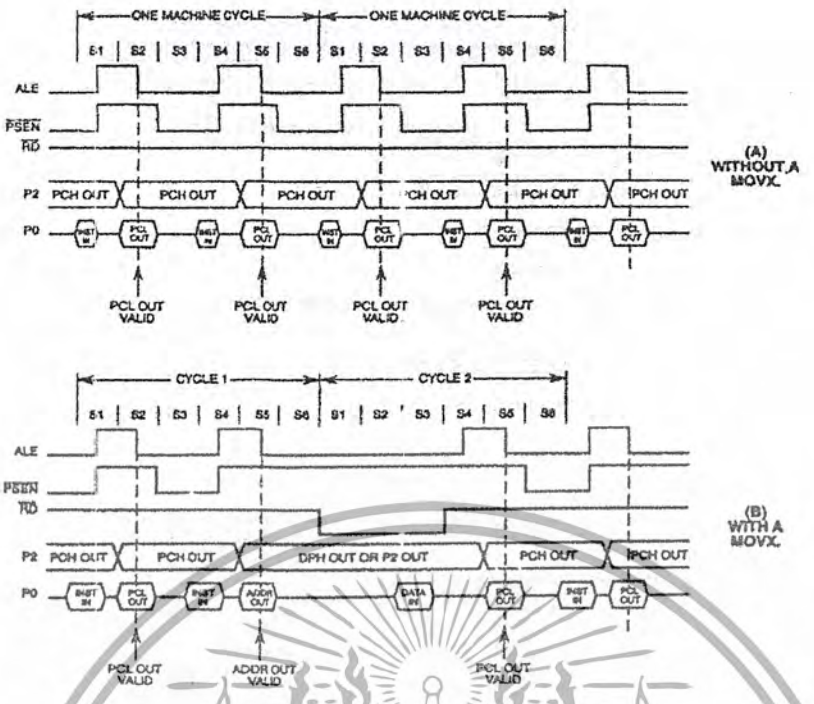
รูป 2.9 (a) การทำงานของคำสั่ง INC A ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ทำงานเสร็จภายใน 1 แมชชีนไซเคิล

รูป 2.9(b) การทำงานของคำสั่ง ADD A.#Data ซึ่งเป็นคำสั่ง 2 ไบต์ทำงานเสร็จใน 1 แมชชีนไซเคิล

รูป 2.9(c) การทำงานของคำสั่ง INC DPTR ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ แต่ทำงานเสร็จใน 2 แมชชีนไซเคิล

รูป 2.9(d) การทำงานของคำสั่ง MOVX ซึ่งเป็นคำสั่ง 1 ไบต์ แต่ทำงานเสร็จใน 2 แมชชีนไซเคิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.10 แสดงผังเวลาการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก

รูป 2.10 (a) เป็นผังเวลาของสัญญาณซึ่งเกี่ยวข้องกับเฟิทช์เมื่อส่วนของ Program Memory อยู่ภายนอก ดังนั้น สัญญาณที่จะนำไปใช้อ่านออปโค้ด จาก Program Memory ก็คือ $\overline{PSEN}$ ซึ่งจะแอคทีฟ 2 ครั้งใน 1 แมชีนไซเคิล ดังนั้น สัญญาณที่ใช้อ่านข้อมูลจาก Program Memory จะใช้สัญญาณ $\overline{PSEN}$

รูป 2.10 (b) เป็นผังเวลาของสัญญาณที่ใช้การอ่านข้อมูลจาก Data Memory สัญญาณ $\overline{PSEN}$ จะมีเพียง 1 ลูก เพราะช่วงเวลาถัดมาจะเป็นช่วงเวลาในการอ่านข้อมูลจาก Data Memory โดยใช้สัญญาณ $\overline{RD}$

(การอ่านข้อมูลจาก Program Memory จะใช้สัญญาณ $\overline{PSEN}$ และการอ่านข้อมูลจาก Data Memory จะใช้สัญญาณ $\overline{RD}$ ส่วนสัญญาณ ALE คือ สัญญาณที่ใช้ในการ Latch Address A7-A0 นั่นเอง)

2.6 หน่วยความจำโปรแกรม (Program memory)

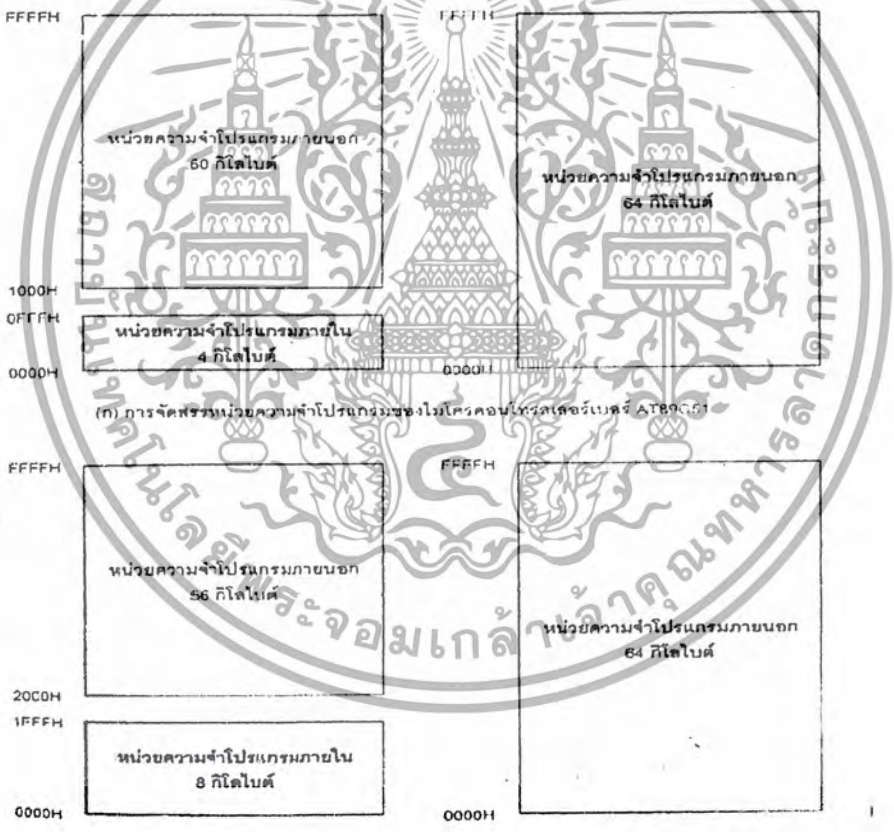
ในรูปที่ 2.11 แสดงการจัดหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในเบอร์ต่าง ๆ ที่นิยมใช้งาน อันประกอบด้วยเบอร์ AT89C51 และ AT89C52 จะเห็นได้ว่าทั้งสองเบอร์สามารถติดต่อหน่วยความจำโปรแกรมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยสามารถเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายในอย่างเดียวหรือรวมกับภายนอกหรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกอย่างเดียวก็ได้ ดังในรูปที่ 2.11 (ก) โดยภายใน AT89C51 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน 4 กิโลไบต์ ในขณะที่ AT89C52 จะมีขนาด 8 กิโลไบต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ใช้หน่วยความจำภายในและภายนอกรวมกัน หากใช้ AT89C51 ก็จะสามารถติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้ 60 กิโลไบต์ และถ้าใช้เบอร์ AT89C52 จะสามารถติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกได้ 56 กิโลไบต์

หน่วยความจำโปรแกรมใช้เก็บข้อมูลของโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์หรือที่เรียกว่า โปรแกรมมอนิเตอร์ (Monitor program) หากใช้หน่วยความจำภายนอกมักจะบรรจุอยู่ในหน่วยความจำชนิดอีพรอม (EPROM: Erasable Programmable Read-Only Memory) ซึ่งสามารถทำการอ่านได้เพียงอย่างเดียว

หน่วยความจำโปรแกรมมีแอดเดรสเริ่มต้นที่ 0000H เมื่อซีพียูได้รับการรีเซตให้เริ่มต้นการทำงาน จะต้องเริ่มที่แอดเดรส 0000H นี้เสมอ อย่างไรก็ตาม ในพื้นที่ของหน่วยความโปรแกรมไม่ว่าจะใช้งานจากภายในหรือภายนอกก็ตาม ต้องมีการสงวนพื้นที่บางตำแหน่งเอาไว้สำหรับการบริการอินเตอร์รัปต์ 6 ประเภท ประเภทละ 8 ไบต์ ประกอบด้วย



รูป 2.11 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 0 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0003H

พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 0 กำหนดไว้ที่แอดเดรส 000BH

พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ 1 จากภายนอก กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0013H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 1 กำหนดไว้ที่แอดเดรส001BH

พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์ของการสื่อสารอนุกรม กำหนดไว้ที่แอดเดรส 0023H

พื้นที่สำหรับบริการอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์ 2 กำหนดไว้ที่แอดเดรส002BH

กรณีที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชที่มีหน่วยความจำโปรแกรมภายในแต่ต้องการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกด้วย สามารถทำได้โดยต้องกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมให้ต่อจากแอดเดรสสุดท้ายของหน่วยความจำโปรแกรมภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ยกตัวอย่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์ AT89C51 มีหน่วยความจำโปรแกรมขนาด 4 กิโลไบต์ มีแอดเดรสอยู่ระหว่าง 0000H-0FFFH เมื่อต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกต้องกำหนดให้แอดเดรสอยู่ในช่วง 1000H-FFFFH

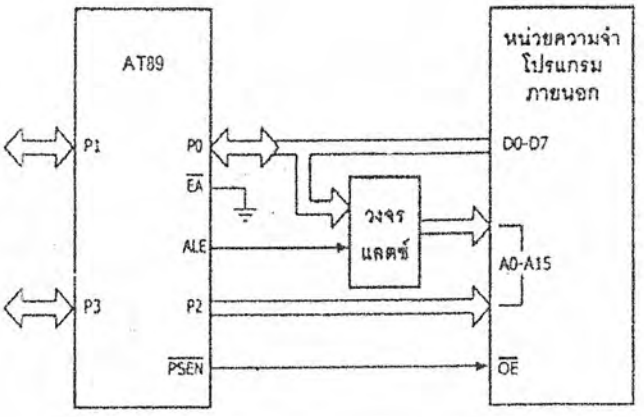
การต่อหน่วยความจำภายนอกแสดงดังในรูปที่ 2.12 ขาพอร์ตP0.0-P0.7 ใช้เป็นขาข้อมูล D0-D7 และขาแอดเดรสไบต์ต่ำ โดยผ่านวงจรแลตช์ ซึ่งปกติใช้ไอซีเบอร์ 74HC573 และใช้สัญญาณ ALE และ PS EN ในการเลือกใช้งานขา P0.0-P0.7 เพื่อเป็นขาข้อมูลหรือขาแอดเดรส ในขณะที่ขา P2.0-P2.7 ใช้ในการเชื่อมต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูง A8-A15 ดังนั้นเมื่อมีการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเหลือขาพอร์ตเพียง 16 บิต คือ ที่ขาพอร์ต P1.0-P1.7 และ P3.0-P3.7

2.7 หน่วยความจำข้อมูล (Data memory)

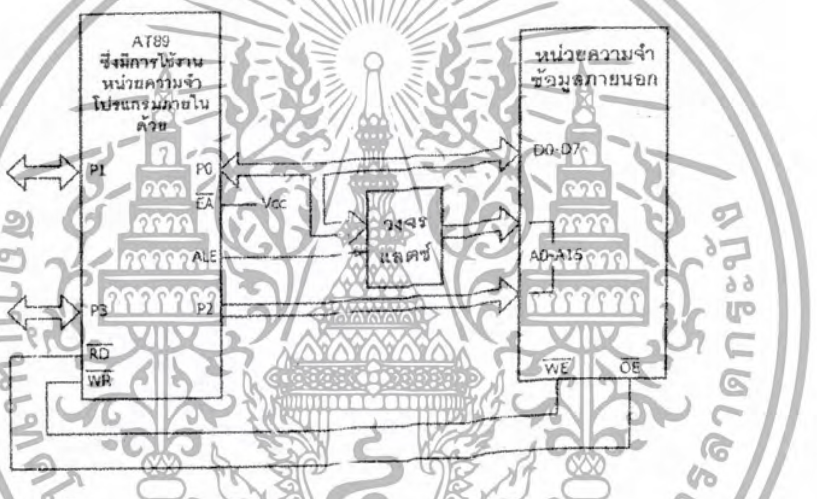
มีด้วยกัน 2 แบบ คือ หน่วยความจำข้อมูลภายนอกและภายใน โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89 สามารถติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ โดยการใช้คำสั่ง MOVX ในการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก การติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟรชแสดงดังในรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่า มีลักษณะคล้ายกับการติดต่อกับหน่วยความโปรแกรมภายนอก แตกต่างกันที่มีสัญญาณที่ใช้สำหรับการอ่านและเขียนหน่วยความจำข้อมูลภายนอก นั่นคือ ขา $\overline{RD}$ และ $\overline{WR}$

สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำข้อมูลภายในเป็นแบบแรม (RAM: Random Access Memory) โดยแต่ละเบอร์จะมีขนาดแตกต่างกันไป ในเบอร์ AT89C51 มีหน่วยความจำข้อมูลภายในขนาด 128 ไบต์ ในขณะที่เบอร์ AT89C52 มีขนาด 256 ไบต์ สำหรับการจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลภายในแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง (lower) ส่วนบน (upper) และรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ (SFR: Special Function Register) แต่ละส่วนมีขนาด 128 ไบต์ ดังแสดงการจัดสรรในรูปที่ 2.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.12 การเชื่อมต่อหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51



รูป 2.13 การเชื่อมต่อหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

จะเห็นได้ว่า หน่วยความจำข้อมูลส่วนบนและรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษมีตำแหน่งทับซ้อนกัน แต่จะใช้การติดต่อที่แตกต่างกัน และในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 บางเบอร์จะไม่มีหน่วยความจำข้อมูลส่วนบน

ขนาดของหน่วยความจำข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชโดยแท้จริงแล้วมีเพียง 256 ไบต์ แต่ด้วยการจัดการเข้าถึงที่แตกต่างกัน จึงดูเสมือนว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีหน่วยความจำข้อมูลภายในสูงถึง 384 ไบต์ โดยในหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างขนาด 128 ไบต์ มีแอดเดรสอยู่ที่ 00H-7FH สามารถเข้าถึงได้โดยตรงและโดยอ้อม สำหรับหน่วยความจำข้อมูลส่วนบนมีขนาด 128 ไบต์เช่นกัน มีแอดเดรสอยู่ที่ 80H-FF สามารถเข้าถึงแบบโดยอ้อมเท่านั้น ในขณะที่รีจิสเตอร์ SFR มีแอดเดรสอยู่ที่ 80H-FFH เช่นเดียวกับหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

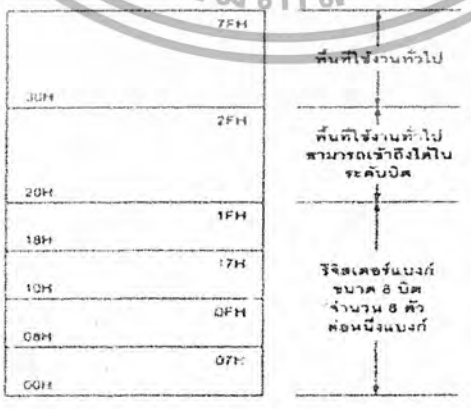
ข้อมูลส่วนบน แต่สำหรับรีจิสเตอร์ SFR ใช้การเข้าถึงแบบโดยตรง ดังนั้นเพื่อความสะดวกและง่ายตลอดจนป้องกันความสับสนในการเขียนโปรแกรมสำหรับผู้เริ่มต้นจึงควรใช้หน่วยความจำข้อมูลภายในเพียง 128 ไบต์จากหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่างร่วมกับรีจิสเตอร์ SFR

ในรูปที่ 2.15 แสดงการจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง หน่วยความจำ 32 ไบต์ต่ำสุดที่แอดเดรส 00H-1FH แบ่งเป็น 4 กลุ่ม เรียกว่า 4 แบงก์ (bank) แต่ละแบงก์มีรีจิสเตอร์ 8 ตัวคือ R0-R7 การติดต่อกับหน่วยความจำในแบงก์ใดให้กำหนดที่รีจิสเตอร์ (Program Status Word register)

หน่วยความจำข้อมูล 16 ไบต์ถัดมาที่แอดเดรส 20H-2FH เป็นพื้นที่สำหรับใช้งานทั่วไป สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต (Bit addressable) และหน่วยความจำข้อมูลที่เหลือ 80 ไบต์ จะต้องแบ่งส่วนหนึ่งสำรองไว้เป็นพื้นที่ของสแต็ก (stack: ที่พักข้อมูลชั่วคราวในกรณี ที่ซีพียูมีการกระโดดไปทำงานในโปรแกรมย่อย) การเข้าถึงหน่วยความจำในส่วนนี้ต้องใช้การเข้าถึงในระดับไบต์

ในรูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างของหน่วยความจำข้อมูลส่วนบน ซึ่งจะมีลักษณะที่คล้ายกับหน่วยความจำข้อมูลส่วนล่าง หากแต่ใน 80 ไบต์บนไม่จำเป็นต้องสำรองไว้สำหรับสแต็ก และต้องใช้การเข้าถึงในลักษณะโดยอ้อมเท่านั้น

รูป 2.14 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช



รูป 2.15 การจัดสรรพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลภายในส่วนล่างของไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 แบบแฟลช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 รีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ (Special Function Register: SFR)

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีด้วยกัน 22 ตัว สำหรับเบอร์ AT89C51 และ 28 ตัวในเบอร์ AT89C52 และ อนุกรม AT89Sxx ทั้งนี้เนื่องจากใน AT89C52 และ AT89Sxx มีจำนวนไทเมอร์เคาน์เตอร์มากกว่าAT89C51

รีจิสเตอร์ SFR มีแอดเดรสอยู่ระหว่าง 80H-FFH ในพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลส่วนบน สามารถเข้าถึงได้โดยตรง (direct addressing) ในรูปที่ 2.17 แสดงการจัดสรรพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR แต่ละตัวในหน่วยความจำข้อมูลส่วนบน สำหรับรายละเอียดเบื้องต้นของรีจิสเตอร์ SFR มีดังนี้

2.8.1 รีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรม (Program Status Word: PSW)

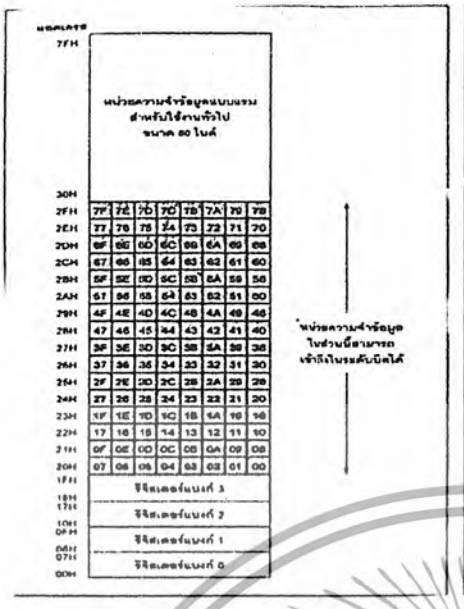
เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต จึงสามารถกำหนดค่าในแต่ละบิตของรีจิสเตอร์ตัวนี้ได้อย่างอิสระ มีแอดเดรสอยู่ที่D0H ทำหน้าที่เก็บสถานะของการทำงานของโปรแกรมในขณะนั้นจะเรียกสถานะต่าง ๆ ของโปรแกรมว่า แฟลก (flag) เมื่อซีพียูกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแล้วเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะขึ้น ผลของการเปลี่ยนแปลงนั้นจะมาปรากฏที่บิตต่าง ๆ ของรีจิสเตอร์ PSW รายละเอียดของแต่ละบิตในรีจิสเตอร์ PSW แสดงในรูปที่ 2.18

จะเห็นได้ว่า นอกจากรีจิสเตอร์ PSW ถูกใช้ในการเก็บสถานะของโปรแกรมแล้ว ที่บิต RS0 และ RS1 ยังใช้ในการเลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่าง ซึ่งเป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ R0-R7 ด้วย ดังมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.1 โดยปกติแล้วในการใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 มักนิยมใช้แบงก์ 0 เป็นลำดับแรก หากไม่เพียงพอจึงเลือกในแบงก์อื่น ๆ มาใช้ แต่ต้องระมัดระวังในการกำหนดค่าและลำดับการติดต่อให้ดี มิเช่นนั้น อาจทำให้การเขียนโปรแกรมเกิดความสับสน ดังนั้น สำหรับผู้เริ่มต้นใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จึงควรเลือกใช้รีจิสเตอร์ R0-R7 ในแบงก์ 0 เพียงแบงก์เดียวให้ชำนาญเสียก่อน

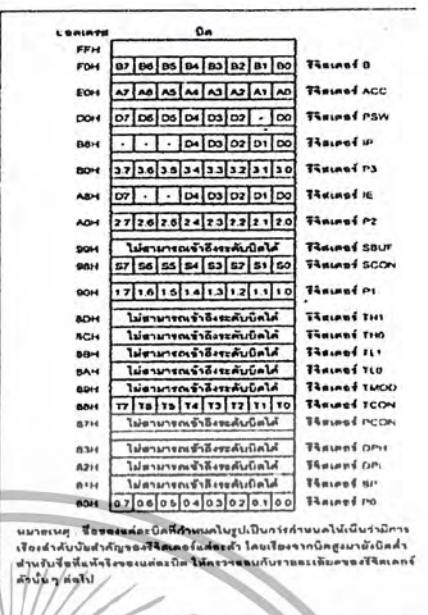
การกำหนดค่าของรีจิสเตอร์ PSW เพื่อเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 ควรกำหนดไว้ที่ตอนต้นของโปรแกรมเสมอ เพื่อจะได้เขียนโปรแกรมติดต่อกับรีจิสเตอร์ R0-R7 ได้อย่างสะดวกและไม่เกิดความผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูป 2.16 โครงสร้างของหน่วยความจำข้อมูลภายในส่วนบนของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51



รูป 2.17 การจัดสรรพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ (SFR)

2.8.2 แอกคิวมูเลเตอร์ (Accumulator: ACC)

มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง E0H เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้จากการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก ก่อนที่จะส่งข้อมูลหรือผลลัพธ์ที่ได้ให้แก่ซีพียูเพื่อทำการประมวลผลต่อไป อาจเรียกสั้น ๆ ว่า รีจิสเตอร์ A หรือ ACC รีจิสเตอร์นี้สามารถเข้าถึงระดับบิตได้

2.8.3 รีจิสเตอร์ B

มีขนาด 8 บิตมีแอดเดรสอยู่ที่ F0H มีหน้าที่พิเศษคือ หากต้องการคูณหรือหารทางคณิตศาสตร์ ต้องนำข้อมูลที่ต้องการหารหรือคูณมาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ B แล้วจึงกระทำสั่งการคูณหรือหารกับค่าในรีจิสเตอร์ A ต่อไป

ในกรณีที่ไม่ได้มีความต้องการคูณหรือหารข้อมูล สามารถใช้รีจิสเตอร์ B นี้ในการเก็บข้อมูลทั่วไปได้เหมือนกับรีจิสเตอร์ปกติ และสามารถเข้าถึงในระดับบิตได้เช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ A

2.8.4 โปรแกรมเคาน์เตอร์ (Program Counter: PC)

มีขนาด 16 บิต มีหน้าที่แจ้งแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมในตำแหน่งถัดไปที่ซีพียูจะต้องไปทำงาน รีจิสเตอร์ตัวเดียวที่ไม่ได้จัดสรรไว้รวมกับรีจิสเตอร์ SFR ตัวอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
55447

การเปลี่ยนแปลงค่าของรีจิสเตอร์ PC จะขึ้นอยู่กับผลของการกระทำคำสั่งภายในหน่วยความจำโปรแกรมที่ผู้เขียนโปรแกรมกำหนด

รีจิสเตอร์ PC มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมว่า ดำเนินไปตามลำดับขั้นตอนตามที่กำหนดไว้หรือไม่

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	-	P

CY : แฟลกทด (Carry flag) เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิก แล้วค่าของแอกคิวมูลเลเตอร์เกิน 255 (ฐานสิบ) หรือ FFH

AC : แฟลกทดเสริม (Auxiliary Carry flag) เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์แล้วทำให้เกิดการทดข้ามจากบิต 3 มายังบิต 4

F0 : แฟลกใช้งานทั่วไป เมื่อผู้เขียนโปรแกรมกำหนดค่าที่บิตนี้แล้ว ไม่ว่าจะกระทำคำสั่งใดๆ ที่บิตนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

RS1 : บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ (Register Select1) ใช้งานร่วมกับบิต RS0 เพื่อเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ R0-R7

RS0 : บิตเลือกรีจิสเตอร์แบงก์ (Register Select0) ใช้งานร่วมกับบิต RS1 เพื่อเลือกแบงก์ของรีจิสเตอร์ R0-R7

OV : บิตเกิน (Overflow) เป็น "1" เมื่อมีการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิกแล้ว ทำให้เกิดการทดข้ามจากบิต 6 มายังบิต 7 ของแอกคิวมูเลเตอร์ หรือแอกคิวมูเลเตอร์มีค่าเกิน 127 (ฐานสิบ) นอกจากนั้นยังใช้เป็นการแสดงค่าลบด้วย

\- : บิตนี้ผู้ใช้งานสามารถกำหนดใช้งานได้อย่างอิสระ

P : บิตพาริตี้ (Parity) ใช้ในการตรวจสอบจำนวนค่า "1" ภายในแอกคิวมูเลเตอร์ ถ้าหากในแอกคิวมูเลเตอร์มีจำนวนบิตที่เป็น "1" รวมกันเป็นเลขคู่ บิตนี้จะเป็น "0" ถ้ารวมกันเป็นเลขคี่ บิตนี้จะเป็น "1"

รูป 2.18 รายละเอียดของรีจิสเตอร์แสดงสถานะของโปรแกรมหรือ PSW

RS1	RS0	แบงก์ของรีจิสเตอร์	ช่วงแอดเดรส
0	0	แบงก์ 0	00H-07H
0	1	แบงก์ 1	08H-0FH
1	0	แบงก์ 2	10H-17H
1	1	แบงก์ 3	18H-1FH

ตารางที่ 2.1 การเลือกแบงก์ของหน่วยความจำส่วนล่างเพื่อติดต่อกับริจิสเตอร์แบงก์ R0-R7

2.8.5 สแต็กพอยน์เตอร์ (Stack Pointer: SP)

หรือรีจิสเตอร์ตัวชี้สแต็ก มีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 81H ใช้นากรเก็บค่าตำแหน่งของตัวชี้สแต็ก ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อซีพียูมีการกระโดดไปทำงานที่โปรแกรมย่อย หรือกระโดดโปรแกรมย่อยกลับมายังโปรแกรมหลักเมื่อมีการรีเซตเกิดขึ้น (รีเซต: การกระทำที่ส่งผลซีพียูต้องเริ่มต้นการทำงานใหม่ตั้งแต่ต้น) ค่าของรีจิสเตอร์ SP จะเท่ากับ 07H ดังนั้นแอดเดรสแรกของพื้นที่ที่สำรองไว้ทำหน้าที่เป็นสแต็กจะเท่ากับ 08H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.6 รีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลหรือด้าต้าพอยน์เตอร์ (Data Pointer: DPTR)

มีขนาด 16 บิต โดยแบ่งเป็นรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลไบต์สูง (DPH) และรีจิสเตอร์ชี้ข้อมูลไบต์ต่ำ (DPL) แต่ละตัวมีขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 82H สำหรับ DPL และ 83H สำหรับ DPH รีจิสเตอร์ DPTR นี้ใช้ในการเก็บค่าแอดเดรสของหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ภายนอกที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการติดต่อด้วย

2.8.7 รีจิสเตอร์พอร์ท (Port register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตที่ใช้เก็บข้อมูลของแต่ละพอร์ทของไมโครคอน-โทรลเลอร์พอร์ท 1 หรือP1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 90H รีจิสเตอร์พอร์ท 2 หรือP2 มีแอดเดรสอยู่ที่ A0H และรีจิสเตอร์พอร์ท 3 หรือ P3 มีแอดเดรสอยู่ที่ B0H รีจิสเตอร์ทุกตัวสามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต เมื่อต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลออกไปยังพอร์ทของไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์ทุกครั้ง

2.8.8 รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ข้อมูลอนุกรม (Serial Data Buffer: SBUF)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H ใช้ในการเก็บข้อมูลที่ส่งออกหรือรับเข้าของวงจรสื่อสารอนุกรมที่มีอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช โดยภายในรีจิสเตอร์ SBUF นี้จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (transmit buffer register) และรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูล (receive buffer register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SUBF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลเพื่อส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TxD หรือขา P3.1 ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SUBF ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป สำหรับการรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านมาทางขา RxD หรือ P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

สำหรับรายละเอียดของรีจิสเตอร์ SUBF และวงจรสื่อสารอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชจะกล่าวถึงในบทที่ว่าด้วยเรื่องการสื่อสารผ่านพอร์ทอนุกรม

2.8.9 รีจิสเตอร์ไทเมอร์ (Timer register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต แบ่งเป็นไบต์ต่ำเช่นเดียวกับรีจิสเตอร์ DPTR รีจิสเตอร์ไทเมอร์ใช้ในการเก็บค่าของตัวนับหรือเคาน์เตอร์ (counter) ภายในไมโครคอน-โทรลเลอร์ เพื่อใช้ในการสร้างฐานเวลาจับเวลา หรือนับจำนวนพัลส์สัญญาณนาฬิกาภายใน บางทีเรียกรีจิสเตอร์ตัวนี้ว่า รีจิสเตอร์ไทเมอร์/เคาน์เตอร์

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ เบอร์ AT89C51 มีรีจิสเตอร์ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ตัว แบ่งเป็น T0 หรือ Timer0 และ T1 หรือ Timer1 ในรีจิสเตอร์ยังแบ่งเป็นรีจิสเตอร์ไทเมอร์ไบต์ต่ำ (TL) และรีจิสเตอร์ไทเมอร์ไบต์สูง (TH) เหมือนกัน โดยรีจิสเตอร์ TL0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8AHรีจิสเตอร์8BH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่ TL1 และ TH1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8CH และ 8DH สำหรับในเบอร์ AT89C52 และอนุกรม AT89Sxx จะมีรีจิสเตอร์ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ถึง 3 ตัว โดยมีรีจิสเตอร์ TL2 และ TH2 ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่ 0CCH และ 0CDH เพิ่มเติมเข้ามา

2.8.10 รีจิสเตอร์แคปเจอร์ (Capture register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิต มีเฉพาะในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช เบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx เท่านั้น เนื่องจากต้องใช้ร่วมกับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 โดยรีจิสเตอร์แคปเจอร์นี้มีชื่อเรียกว่าอย่างย่อว่า รีจิสเตอร์ RCAP2 ซึ่งแบ่งออกเป็นไบต์ต่ำคือ RCAP2L มีแอดเดรสอยู่ที่ 0CAH และไบต์สูงคือ RCAP2H มีแอดเดรสอยู่ที่ 0CBH

รีจิสเตอร์แคปเจอร์จะถูกใช้งานเมื่อกำหนดให้ไทเมอร์ 2 ทำงานในโหมดแคปเจอร์ ซึ่งเป็นโหมดที่กำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงสถานะทางลอจิกที่ขา T2EX ทั้งนี้เพื่อใช้ประโยชน์ในการวัดคาบเวลา ความถี่ และการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณพัลส์ที่ขา T2EX

2.8.11 รีจิสเตอร์ควบคุม (Control register)

รีจิสเตอร์ PCON เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดอัตราการรับส่งข้อมูลของวงจรสื่อสารอนุกรมและกำหนดการทำงานในโหมดประหยัดพลังงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

รีจิสเตอร์ SCON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรสื่อสารอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

รีจิสเตอร์ TCON และ T2CON เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช โดย T2CON ใช้สำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx

รีจิสเตอร์ TMOD และ T2MOD เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้กำหนดโหมดหรือลักษณะในการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช โดย T2MOD ใช้สำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx

รีจิสเตอร์ IE และ IP เป็นรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ (interrupt: การขัดจังหวะการทำงานปกติของซีพียู) โดย IE เป็นรีจิสเตอร์สำหรับเอ็นเอเบิลหรือใช้ในการกำหนดลักษณะของการตอบสนองอินเตอร์รัปต์ ในขณะที่ IP เป็นรีจิสเตอร์สำหรับกำหนดลำดับความสำคัญของการตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ว่า จะให้ซีพียูตอบสนองการเกิดอินเตอร์รัปต์ในลักษณะใดก่อนหรือหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ (Timer/Counter) เป็นอีกหนึ่งส่วนประกอบที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องมีการเก็บและตรวจสอบค่าของเวลาและจำนวนของสัญญาณนาฬิกาอยู่ตลอดเวลา ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการสร้างสัญญาณพัลส์เปรียบเทียบค่าเวลาหรือเปรียบเทียบค่าของการนับ รวมไปถึงการกำหนดอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลของพอร์ทอนุกรมด้วย

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C51 มีวงจรไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิต 2 ตัว โดยค่าของวงจรไทเมอร์/เคาน์เตอร์นี้จะเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตที่ชื่อ ไทเมอร์ 0 (Timer 0) และไทเมอร์ 1 (Timer 1) เรียกสั้น ๆ ว่า T0 และ T1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52/55 และอนุกรม AT89Sxx จะมีไทเมอร์/เคาน์เตอร์ถึง 3 ตัวคือมีไทเมอร์ 2 (Timer 2: T2) เพิ่มเติม โดยรีจิสเตอร์ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ทั้งสามตัวสามารถกำหนดให้ทำงานเป็นตัวตั้งเวลาหรือไทเมอร์และตัวนับหรือเคาน์เตอร์ได้อย่างอิสระต่อกัน

2.9.1 การทำงานเป็นไทเมอร์

เมื่อกำหนดให้ทำงานเป็นตัวตั้งเวลาหรือไทเมอร์ ค่าของรีจิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นในทุก ๆ แมชีนไซเคิล ดังนั้นเมื่อทำงานเป็นไทเมอร์ รีจิสเตอร์จะทำการนับค่าของแมชีนไซเคิลนั่นเอง และเนื่องจากแมชีนไซเคิลประกอบด้วยคาบเวลาของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา 12 คาบเวลา ดังนั้นอัตราในการนับของรีจิสเตอร์จึงเท่ากับ 1/12 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา

2.9.2 การทำงานเป็นเคาน์เตอร์

เมื่อทำงานเป็นตัวนับหรือเคาน์เตอร์ ค่าของรีจิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นก็ต่อเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของระดับลอจิกจาก "1" เป็น "0" เกิดขึ้นที่ขาอินพุตทางฮาร์ดแวร์ของวงจรไทเมอร์/เคาน์เตอร์ ซึ่งก็คือขา T0 (P3.4) และขา T1 (P3.5) สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C51 รวมทั้งขา T2 (P1.0) ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C52 และอนุกรม AT89Sxx โดยจะมีการสุ่มรับสัญญาณจากขาอินพุตในทุก ๆ คาบเวลาที่ 2 ของสเตตที่ 5 (S5P2) ในแต่ละแมชีนไซเคิล

เมื่อสัญญาณอินพุตเปลี่ยนแปลงจาก "1" เป็น "0" เป็นเวลาหนึ่งไซเคิล ในไซเคิลต่อมาค่าของการนับจะเพิ่มขึ้นหนึ่งค่า และจะไปปรากฏในรีจิสเตอร์ภายในคาบเวลาที่ 1 ของสเตตที่ 3 (S3P1) ของแมชีนไซเคิลต่อไปหลังจากที่ตรวจนับพบการเปลี่ยนแปลงที่ขาไทเมอร์อินพุตแล้ว เมื่อเป็นเช่นนี้ในกระบวนการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุตที่ขาไทเมอร์จะต้องใช้ 2 แมชีนไซเคิล อัตราการนับของเคาน์เตอร์จึงเท่ากับ 1/24 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา ดังนั้น ความถี่สูงสุดของสัญญาณอินพุตที่ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถตรวจจับได้จึงเท่ากับความถี่ของสัญญาณนาฬิกาหารด้วย 24 ยกตัวอย่าง ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ AT89C51 สามารถใช้สัญญาณนาฬิการได้สูงสุด 24MHz ดังนั้นความถี่สูงสุดของสัญญาณอินพุตที่ไทเมอร์/เคาน์เตอร์สามารถตรวจจับได้คือ 1MHz

2.9.3 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 1

ในการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช มีริสเตอร์ที่ต้องเกี่ยวข้องเป็นพื้นฐานอยู่ 6 ตัว ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.9.4 รีจิสเตอร์ไทเมอร์

มีด้วยกัน 4 ตัวคือ TL0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8AH, TH0 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8BH และ TH1 มีแอดเดรสอยู่ที่ 8DH รีจิสเตอร์ทั้ง 4 ตัวจะอยู่ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษหรือ SFR รีจิสเตอร์แต่ละตัวมีขนาด 8 บิต แต่ในการใช้งานโดยทั่วไปมักใช้ร่วมกันโดยจัดเป็นคู่คือ TL0 กับ TH0 รวมกันเป็นรีจิสเตอร์ Timer 0 ขนาด 16 บิตและ TL1 กับ TH1 รวมกันเป็นรีจิสเตอร์ Timer 1 ขนาด 16 บิต โดยใน TL0 และ TL1 เก็บข้อมูล 8 บิตส่วนล่าง TH0 และ TH1 เก็บข้อมูล 8 บิตบนรีจิสเตอร์ไทเมอร์ทั้ง 2 คู่เมื่อนำมาใช้ร่วมกันจะสามารถเก็บค่าของการนับได้สูงสุด 65,536 หรือ FFFFH เมื่อนับถึงค่านี้แล้วจะวนไปเริ่มนับ 0000H ใหม่ และเมื่อเกิดการนับรอบใหม่ บิต TF0 หรือ TF1 ในรีจิสเตอร์ TCON ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไทเมอร์จะเกิดการเซต เพื่อแจ้งให้ทราบว่า นับเกินค่าสูงสุดแล้ว การเซตบิต TF0 หรือ TF1 ขึ้นอยู่กับว่าเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ไทเมอร์ตัวใด

2.9.5 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์หรือ TCON (Timer/Counter Control Register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 88H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิตมีรายละเอียดการทำงานดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
TF1	TR1	TF0	TR0	IE1	IT1	IE0	IT0

TF1 (Timer 1 overflow flag): เซตด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อค่าของรีจิสเตอร์ Timer 1 เกิดการนับเกินหรือเกิดโอเวอร์โฟลว การเคลียร์บิตนี้ทำได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์เช่นกัน โดยบิตนี้จะเคลียร์เมื่อมีการอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้น

TR1 (Timer 1 run control bit): ใช้ในการเปิดปิดการทำงานของไทเมอร์ 1(เอ็นเอเบิลหรือดิสเอเบิล) ทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้ไทเมอร์ 1 ทำงานด้วยเซตบิตนี้ให้เป็น "1"

TF0 (Timer 0 overflow flag): เซตด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อค่าของรีจิสเตอร์ Timer 0 เกิดการนับเกินหรือเกิดโอเวอร์โฟลว การเคลียร์บิตนี้ทำได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์เช่นกัน โดยบิตนี้จะเคลียร์เมื่อมีการอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TR0 (Timer 0 run control bit): ใช้ในการเปิดปิดการทำงานไทเมอร์ 0 (เอ็นเอเบิลหรือดิสเอเบิล) ทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้ไทเมอร์ 0 ทำงานต้องเซตบิตนี้ให้เป็น "1"

IE1 (External Interrupt 1 edge flag): บิตนี้จะใช้ในกระบวนการอินเตอร์รัปต์ สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อสามารถตรวจนับขอบขาของสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ขาอินพุตอินเตอร์รัปต์ 1 (INT1) ได้ และจะทำการเคลียร์เมื่อมีการบริการอินเตอร์รัปต์เกิดขึ้น

IT1 (Interrupt 1 type control bit): บิตนี้ใช้ในกระบวนการอินเตอร์รัปต์โดยใช้ในการเลือกลักษณะของสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ต้องการให้ทำการตอบสนองสำหรับขาอินพุตอินเตอร์รัปต์ 1 (INT1) การเซตและเคลียร์ทำได้ด้วยกระบวนการซอฟร์แวร์

"0" เลือกขอบขาลงของสัญญาณ (falling edge)

"1" เลือกระดับลอจิกต่ำ (low level triggered)

2.9.6 รีจิสเตอร์เลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ TMOD (Timer/Counter Mode Control Register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 89H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR ไม่สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต แบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วนคือ 4 บิตล่างใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์ 0 และ 4 บิตบนใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์ 1 ดังนั้นในการอธิบายการทำงานขออธิบายเพียงส่วนเดียวดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
GATE	$C/\overline{T}$	M1	M0	GATE	$C/\overline{T}$	M1	M0
ไทเมอร์ 1				ไทเมอร์ 0			

GATE: ใช้เลือกลักษณะการควบคุมการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์

"0" ไทเมอร์/เคาน์เตอร์จะทำงานเมื่อบิต TRx ในรีจิสเตอร์ TCON เป็น "1" เรียกการควบคุมแบบนี้ว่าการควบคุมทางซอฟต์แวร์

"1" ไทเมอร์/เคาน์เตอร์จะทำงานเมื่อบิต TRx ในรีจิสเตอร์ TCON เป็น "1" และสถานะลอจิกที่ขาอินพุตอินเตอร์รัปต์ INTO และ INT1 เป็น "1" เรียกการควบคุมแบบนี้ว่า การควบคุมทางฮาร์ดแวร์

C/T (Timer or Counter selector): ใช้เลือกลักษณะการทำงายของไทเมอร์/เคาน์เตอร์

"0" เลือกให้ทำงานเป็นไทเมอร์ โดยใช้สัญญาณอินพุตจากสัญญาณนาฬิกาภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

"1" เลือกให้ทำงานเป็นเคาน์เตอร์ โดยรับสัญญาณอินพุตทางขา T0 หรือ T1

M1, M0 (Mode selector bit): ใช้เลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์

"00" เลือกให้ทำงานในโหมดไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 13 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

"01" เลือกให้ทำงานในโหมดไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต

"10" เลือกให้ทำงานในโหมดไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 8 บิตแบบตั้งอัตโนมัติ

"11" สำหรับไทเมอร์ 0 เลือกให้ทำงานในโหมดไทเมอร์/เคาน์เตอร์แยกส่วน โดยแยกออกเป็นไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 8 บิต 2 ตัว รีจิสเตอร์ TL0 จะได้รับการควบคุมการเปิดปิดจากบิต TR0 รีจิสเตอร์ TCON และรีจิสเตอร์ TH0 ซึ่งเป็นไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 8 บิตอีกตัวหนึ่ง จะได้รับการควบคุมจากบิต TR1 ในรีจิสเตอร์ TCON ในกรณีของไทเมอร์ 1 เป็นการสั่งให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1 หยุดทำงาน (ดิสเอเบิล)

2.9.7 โหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 1

ไทเมอร์ 0 และ 1 สามารถเลือกโหมดการทำงานได้ 4 โหมดคือ โหมด 0: ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 13 บิต (13 bit timer/counter), โหมด 1: ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต (16 bit timer/counter), โหมด 2: ตั้งค่าอัตโนมัติขนาด 8 บิต (8 bit auto-reload timer/counter) และโหมด 3: ไทเมอร์/เคาน์เตอร์แยกส่วน (split timer/counter) หรืออาจเรียกว่าโหมดไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 8 บิตก็ได้ ในขณะที่ไทเมอร์ 2 มีโหมดการทำงาน 3 โหมดคือ โหมดแคปเจอร์ หรือตรวจจับสัญญาณ (capture), โหมดตั้งค่าอัตโนมัติ (auto-reload) และโหมดกำเนิดอัตราเร็วในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมหรืออัตราบอด (baud rate generator)

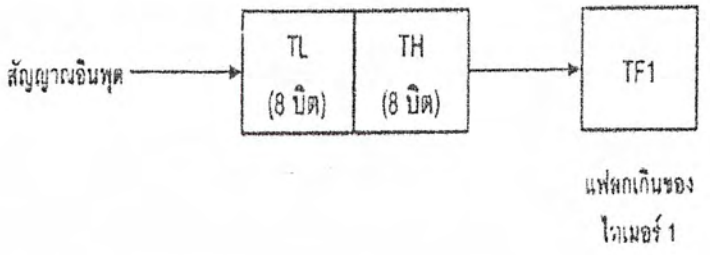
การเลือกโหมดการทำงานไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 1 สามารถทำได้ที่รีจิสเตอร์ TCON และ TMOD ร่วมกัน โดย TCON ใช้ในการเอ็นเอเบิลหรือดิสเอเบิลไทเมอร์/เคาน์เตอร์ ส่น TMOD ใช้ในการเลือกโหมดและลักษณะการทำงาน ในขณะที่การทำงานของไทเมอร์ 2 จะอธิบายแยกต่างหาก

2.9.8 ข้อมูลที่ใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 1

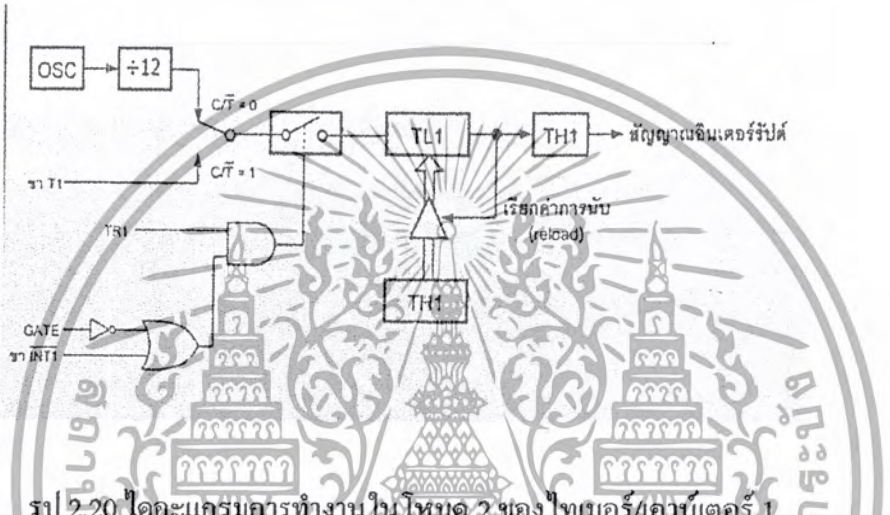
เนื่องจากมีตัวแปรอยู่หลายตัวที่ใช้ในการควบคุมและเลือกโหมดการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 1 เพื่อให้เกิดความสะดวกในการใช้งานจึงได้ทำการสรุปข้อมูลที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบการทำงานของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 และ 1 ไว้ในตารางที่2.2 ถึง 2.5

อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่นำมายกเป็นตัวอย่างขั้นต้นนี้ สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความต้องการของผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องยึดค่าเหล่านี้ไว้เสมอไป แต่สำหรับผู้เริ่มต้นใช้งานควรใช้ค่าตัวอย่างที่ให้ไว้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมก่อน จนกว่ามีความชำนาญจึงค่อยปรับเปลี่ยนต่อไป

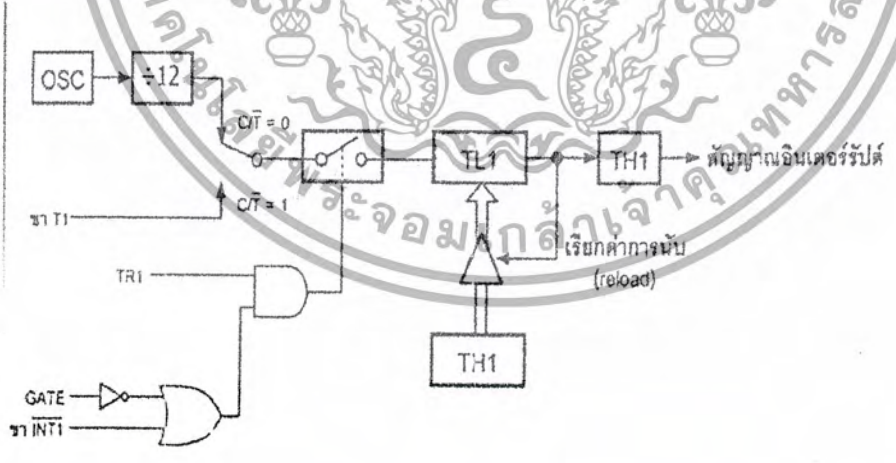
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.19 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 1 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1



รูป 2.20 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 2 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1



รูป 2.21 ไดอะแกรมการทำงานในโหมด 3 ของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด	ฟังชั่นของไทเมอร์ 0	TMOD	
		การควบคุมจากภายใน	การควบคุมจากภายนอก
0	ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 13 บิต	00H	08H
1	ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 16 บิต	01H	09H
2	8 บิตตั้งค่าอัตโนมัติ	02H	0AH
3	ไทเมอร์/เคาน์เตอร์แยกส่วน	03H	0BH

หมายเหตุ

การควบคุมจากภายใน: ควบคุมให้ไทเมอร์เปิดปิดด้วยการเซตและเคลียร์บิต TRO โดยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

การควบคุมจากภายนอก: ควบคุมให้ไทเมอร์เปิดปิดด้วยการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงจาก "1" เป็น "0" ที่ขา $\overline{INT0}$ (P3.2) เมื่อ TRO = "1"

ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลของรีจิสเตอร์ TMOD เพื่อกำหนดให้ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 0 ทำงานเป็นไทเมอร์

2.10 กระบวนการอินเตอร์รัปต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

การอินเตอร์รัปต์ (interrupt) เป็นชื่อเรียกกระบวนการที่เข้ามาขัดจังหวะการทำงานโดยปกติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ที่เกิดขึ้นได้จาก 5 แหล่งกำเนิดสำหรับเบอร์ AT89C51 ประกอบด้วย การรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกผ่านทางขา INT0 และ INT1, สัญญาณอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์/เคาน์เตอร์ T0 และ T1 และสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากพอร์ทอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ในขณะที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx สามารถตอบสนองการอินเตอร์รัปต์ได้จาก 6 แหล่งกำเนิด โดยเพิ่มการรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 อีกหนึ่งแหล่งกำเนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 พอร์ทอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ 1 ชุด (วงจรสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ หมายถึง วงจรสื่อสารสามารถทำการรับและส่งข้อมูลในลักษณะ 2 ทิศทางได้ในเวลาเดียวกัน) โดยใช้ขาสัญญาณของพอร์ท 3 คือ ขา P3.0 เป็นขารับข้อมูลเข้าหรือ RxD และขา P3.1 เป็นขาส่งข้อมูลออกหรือ TxD โดยวงจรสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบบแฟลชเป็นแบบอะซิงโครนัสปกติแล้วพอร์ทอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการติดต่อสื่อสารกับพอร์ทอนุกรมของคอมพิวเตอร์ โดยใช้มาตรฐาน RS-232 แต่ในปัจจุบันสามารถติดต่อกันในมาตรฐาน RS-422 หรือ RS-485 ได้แล้วโดยใช้ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณการสื่อสารดังกล่าว

2.12 กระบวนการรีเซตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

การรีเซต (Reset) เป็นกระบวนการที่ทำให้ซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์กลับไปเริ่มต้นทำงานใหม่แอดเดรส 0000H ในหน่วยความจำโปรแกรม พร้อมกันนั้นยังส่งผลให้เกิดการเคลียร์ค่าของข้อมูลในรีจิสเตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ และทำให้รีจิสเตอร์ทุกตัวกลับไปสู่สภาวะเริ่มต้นทำงานใหม่

ดังนั้นจึงอาจพิจารณาการรีเซตเสมือนเป็นการอินเตอร์รัปต์แบบหนึ่งก็ได้ และค่าแอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์คือ 0000H ที่แตกต่างกันคือ ในกระบวนการอินเตอร์รัปต์ค่าของรีจิสเตอร์ต่าง ๆ ก่อนหน้าการอินเตอร์รัปต์จะยังคงอยู่ไม่เปลี่ยนแปลงจนกว่าจะมีการกระทำคำสั่งในโปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัปต์ แต่ในการรีเซตค่าของรีจิสเตอร์ส่วนใหญ่จะกลายเป็น 00H เว้นแต่รีจิสเตอร์พอร์ทที่จะกลายเป็น 0FFH

2.12.1 การรีเซตเกิดขึ้นได้อย่างไร

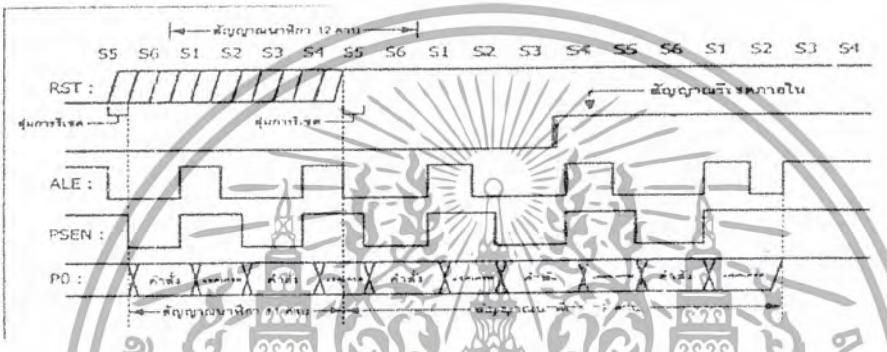
การเกิดรีเซตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เกิดขึ้นได้เพียงกรณีเดียวคือ ที่ขา RST (ขา9) ได้รับลอจิก "1"อย่างน้อยเป็นเวลา 2 แมชชีนไซเคิล หรือ 24 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณยังคงทำงานอยู่ เมื่อเกิดการรีเซตขึ้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสร้างสัญญาณรีเซตภายในขึ้นเพื่อตอบสนองการรีเซตจากภายนอก ดังแสดงไดอะแกรมเวลาของกระบวนการรีเซตภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรูปที่ 2.32

สัญญาณรีเซตที่เกิดขึ้นจากภายนอกจะไม่มีความสอดคล้องกับสัญญาณนาฬิกาภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์แต่อย่างใด เนื่องจากการรีเซตแจเกิดขึ้นเมื่อใดก็ได้ โดยจะมีการสุ่มตรวจสอบสถานะลอจิกที่ขา RST ในสเตต 5 เฟส 2 ของทุกแมชชีนไซเคิล เมื่อสามารถตรวจจับลอจิก "1" ที่ขา RST ได้ และเมื่อเกิดสัญญาณรีเซตภายในขึ้น กระบวนการรีเซตของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเริ่มต้นขึ้นอย่างเป็นทางการ ขาพอร์ททั้งหมดยังคงรักษาข้อมูลปัจจุบันไว้ได้อีก 19 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาหลังจากที่ขา RST ได้รับลอจิก "1" จากนั้นก็จะเปลี่ยนแปลงค่ากลายเป็น 0FFH ทั้งหมด

สัญญาณ ALE และ $\overline{PSEN}$ จะกลายเป็นลอจิกสูง เมื่อการรีเซตเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ และเมื่อขา RST ถูกทำให้กลายเป็นลอจิกต่ำ อันเป็นการแจ้งให้ทราบว่า สามารถเริ่มต้นกระบวนการทำงานปกติได้แล้ว สัญญาณ ALE และ $\overline{PSEN}$ จะเกิดขึ้นใหม่อีกครั้งหลังจากที่ขา RST เป็นลอจิกต่ำ 1-2 แมชชีนไซเคิล ทั้งนี้เพื่อรอให้อุปกรณ์ที่ต่อร่วมอยู่กับไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ในสภาวะพร้อมทำงาน และสามารถทำงานในจังหวะที่สอดคล้องกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ได้อย่างเหมาะสม



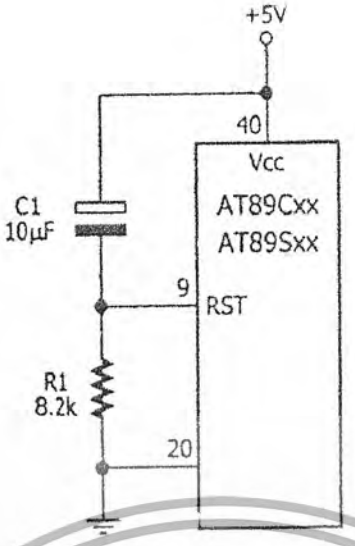
รูป 2.22 ไดอะแกรมเวลาของกระบวนการรีเซตภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

2.12.2 ผลของการรีเซตที่มีต่อรีจิสเตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

เมื่อเกิดการรีเซตขึ้นและไมโครคอนโทรลเลอร์ตอบสนองการรีเซตจากภายนอกด้วยการสร้างสัญญาณรีเซตภายในให้เกิดขึ้น สิ่งที่เกิดขึ้นตามมาคือ มีการเขียนข้อมูล 0 ให้แก่รีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษทั้งหมด ยกเว้นรีจิสเตอร์พอร์ททั้ง 3 ตัว, รีจิสเตอร์ SP และ SBUF โดยค่าของรีจิสเตอร์พอร์ท P1-P3 จะกลายเป็น FFH ในขณะที่รีจิสเตอร์ SP มีค่าเท่ากับ 07H ส่วนค่าของรีจิสเตอร์ SBUF จะไม่แน่นอนและไม่สามารถกำหนดได้ (in determine) ในตารางที่ 1.7 แสดงค่าของรีจิสเตอร์หลังจากเกิดการรีเซตอย่างสมบูรณ์

กลไกที่สำคัญคืออีกประการหนึ่งของกระบวนการรีเซตคือ ค่าของหน่วยความจำข้อมูลแรมภายในจะไม่ได้รับผลกระทบจากการรีเซตแต่อย่างใด ดังนั้น ในการเขียนโปรแกรมควบคุม ที่ส่วนต้นของโปรแกรมจึงควรมีการเคลียร์ค่าของหน่วยความจำข้อมูลแรมภายในที่ต้องใช้งานเสมอ เพื่อป้องกันการใช้ข้อมูลที่เกิดขึ้นก่อนการรีเซตมาประมวลผล เนื่องจากโอกาสในการรับรู้ว่าข้อมูลของหน่วยความจำก่อนการรีเซตมีค่าเท่าใดมีน้อยมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 วงจรเพาเวอร์ออนรีเซต

2.12.3 เพาเวอร์ออนรีเซต (Power-ON Reset)

เป็นการรีเซตที่เกิดขึ้นหลังจากมีการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทร-เลอร์ MCS-51 โดยมีวงจรพื้นฐานเพื่อทำให้เกิดการรีเซตแบบนี้ในรูปที่ 2.33

การทำงานของการรีเซตแบบนี้ยังคงอยู่บนพื้นฐานที่ว่า ทำให้ขา RST มีสถานะลอจิกเป็น "1" อย่างน้อย 2 แมชชีนไซเคิล เมื่อเริ่มต้นจ่ายไฟ ตัวเก็บประจุยังไม่เกิดการประจุไฟฟ้า ทำให้มีกระแสไหลผ่านตัวต้านทาน เกิดแรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน ส่งผลให้ขา RST ได้รับแรงดันประมาณ +5V ซึ่งก็คือระดับแรงดันลอจิก "1" โดยคงจนกระทั่งเวลาผ่านไป ตัวเก็บประจุสามารถประจุแรงดันได้เพิ่มขึ้น ทำให้แรงดันตกคร่อมตัวต้านทานลดลง และกลายเป็นศูนย์เมื่อตัวเก็บประจุสามารถประจุแรงดันได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นการกำหนดค่าของตัวเก็บประจุและตัวต้านทานในวงจรนี้มีความสำคัญต่อการรีเซตของไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างมาก เพราะต้องกำหนดให้ค่าเวลาของการประจุแรงดันของตัวเก็บประจุยาวนานมากพอที่จะทำให้ขา RST ได้รับลอจิก "1"อย่างน้อยเป็นเวลา 2 แมชชีนไซเคิล

เมื่อเกิดการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรกำหนดสัญญาณนาฬิกาภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะเริ่มต้นทำงาน โดยเวลาที่ใช้ในการเริ่มต้นทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะขึ้นอยู่กับค่าของคริสตอลที่ใช้ในการกำหนดความถี่ของสัญญาณนาฬิกา ถ้าใช้คริสตอล 10 MHz เวลาที่ใช้ในการเริ่มต้นทำงานของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจะเท่ากับ 1 มิลลิวินาที และถ้าใช้คริสตอล 1 MHz เวลาดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเป็น 10 มิลลิวินาที

สำหรับในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชที่สร้างขึ้นจากเทคโนโลยี CMOS ตัวต้านทานที่ต่อยู่ภายนอกอาจไม่ต้องต่อเนื่องจากที่ขา RST มีวงจรพูลดาวน์ต่อยู่ภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้ว (พลูดาวน์: การทำให้สถานะลอจิกที่จุดนั้นเป็น “0” โดยไม่ต่อลงกราวด์โดยตรง) และตัวเก็บประจุสามารถลดค่าลงได้เป็น 1μF

ชื่อรีจิสเตอร์ฟังก์ชั่นพิเศษ	ค่าที่เกิดขึ้นหลังการรีเซต
PC	0000H
ACC	00H
B	00H
ASW	00H
SP	07H
DPTR	0000H
P0-P3	XXX00000B
IP (AT89C51)	XX000000B
IP (AT89C52, AT89Sxx)	0XX00000B
IE (AT89C51)	0X000000B
IE (AT89C52, AT89Wxx)	00H
TMOD	XXXXXX00B
T2MOD (AT89C52, AT89Sxx)	00H
TCON	00H
T2XON (AT89C52, AT89Sxx)	00H
TH0	00H
TL0	00H
TH1	00H
TL1	00H
TH2 (AT89C52, AT89Sxx)	00H
TL2 (AT89C52, AT89Sxx)	00H
RCAP2H (AT89C52,AT89Sxx)	00H
RCAP2L (AT89C52,AT89Sxx)	00H
SCON	00H
SBUF	กำหนดไม่ได้
PCON	0XXX0000B

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าข้อมูลที่เกิดขึ้นของรีจิสเตอร์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 หลังเกิดการรีเซต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎี

3.1 มอร์เตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

3.1.1 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เมื่อมีลวดตัวนำหมุนตัดกับสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในขดลวดตันนำนั้นและทิศทางการไหลของกระแสในลวดตัวนำจะไหลในทิศทางที่ต้านการหมุนของขดลวดตัวนำนั้น

ถ้าทราบทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าก็จะพบความสัมพันธ์ดังนี้คือ ถ้าทราบทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็ก ทิศทางการไหลของกระแสในตัวนำ จะทำให้ทราบทิศทางการหมุนของขดลวดตัวนำได้ การค้นพบนี้เรียกว่ากฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง ความสัมพันธ์สามารถหาได้โดยการใช้กฎมือซ้ายดังรูป

รูปที่ 3.1 กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง

แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเกิดขึ้นในทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายจากภายนอกเข้าไปในลวดตัวนำหรือเมื่อพิจารณาโดยใช้กฎมือขวาสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และกฎมือซ้ายสำหรับมอเตอร์แล้ว จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นในขดลวดตัวนำจะมีทิศทางตรงกันข้ามกับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับมอเตอร์ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าต่อต้านหรือแรงดันไฟฟ้าด้านกลับ (counter e.m.f.) ใช้สัญลักษณ์ Ec ซึ่งมันจะเกิดขึ้นในลวดอาเมเจอร์เสมอ

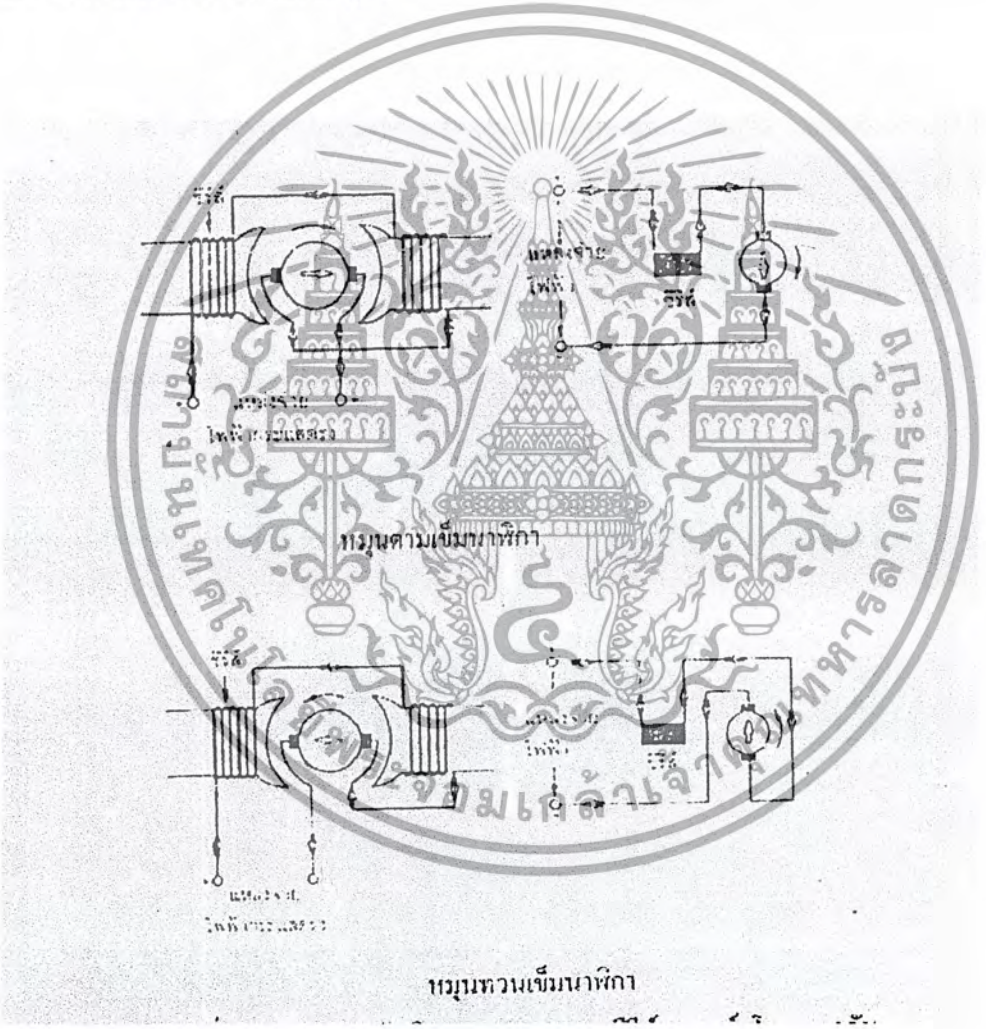
3.1.2 วิธีกลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิศทางการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงนั้นขึ้นอยู่กับทิศทางของสนามแม่เหล็กที่ขดลวดฟิลด์คอยล์และทิศทางของกระแสที่ไหลในอาร์เมเจอร์ในขณะที่มีกระแสไหลผ่านตัวนำจะทำให้เกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ตัวนำนั้น

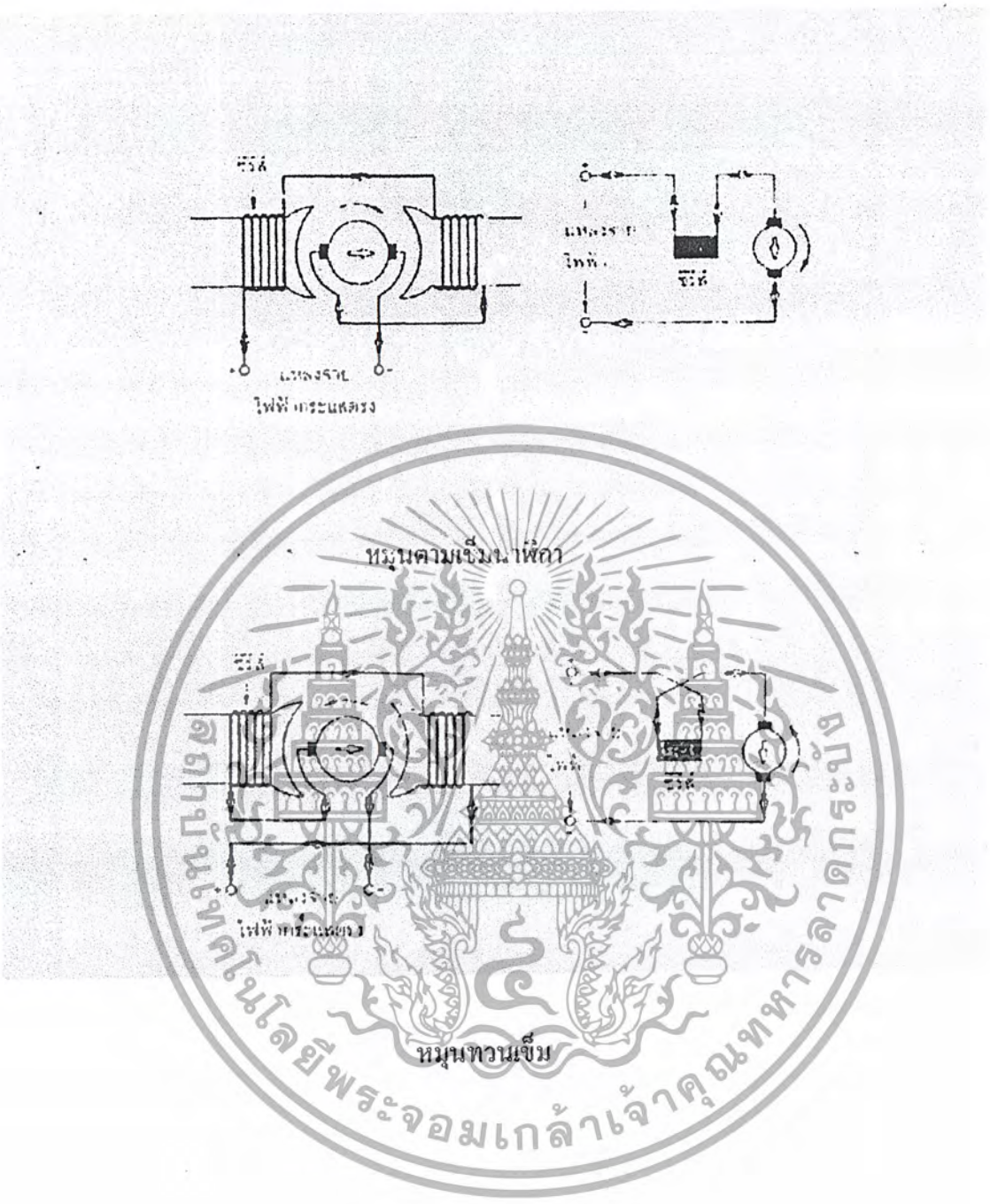
โดยปกติแล้วมอเตอร์จะต้องหมุนในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง แต่ด้วยเหตุบางประการจำเป็นต้องกลับทิศทางการหมุนบ้างเป็นครั้งคราวและสามารถทำได้ง่าย ๆ โดยการกลับขั้วต่อของอาแมเจอร์หรือขั้วของขดลวดฟิลด์คอยล์เพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง

การกลับทิศทางการหมุนของซีรีส์มอเตอร์โดยการกลับทิศทางการไหลของกระแสที่ไหลในขดลวดอาร์เมเจอร์แสดงดังรูป ส่วนการกลับทิศทางการหมุนโดยการกลับทิศทางการไหลของกระแสในขดลวดฟิลด์คอยล์แสดงดังรูป



รูปที่ 3.2 แสดงการกลับทิศทางการหมุนของซีรีส์มอเตอร์ โดยการกลับทิศทางการไหลของกระแสในอาร์เมเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แสดงการกลับทิศทางการหมุนของซีรีส์มอเตอร์ โดยการกลับทิศทางการไหลของกระแสในซีรีส์มอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ออปแอมป์ (Operation Amplifer)

วงจรขยายที่ใช้ออปแอมป์ไม่ว่าจะเป็นวงจรขยายแบบบกลับเฟสหรือวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส จำเป็นที่จะต้องมีการป้อนกลับแบบลบเสมอ ในวงจรที่ใช้ออปแอมป์จะถือว่าโนดต่อไปนี้มีอิมพีแดนซ์ (Impedance) ต่ำมาก จนถือว่าเป็นกราวด์เสมือน(Virtual ground) ได้หลักการ

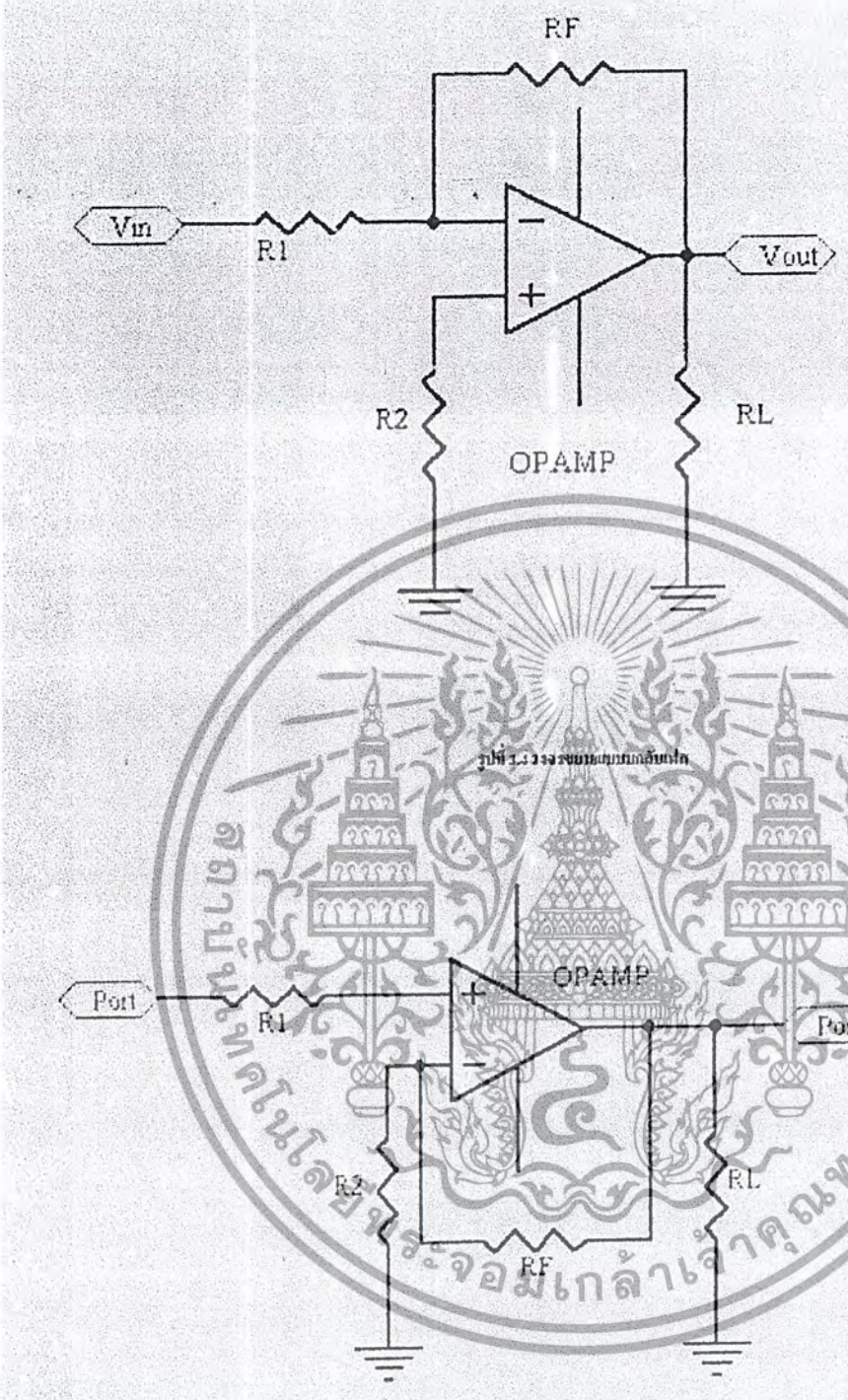
1. ที่เอาท์พุทของออปแอมป์ เนื่องจากเราถือว่า อิมพีแดนซ์ที่เอาท์พุทมีค่าเป็นศูนย์
2. ที่ขั้วทางเข้าแบบกลับเฟส(Inverting Input) โดยทฤษฎีของมิลเลอร์อิมพิแดนซ์ RF สามารถถูกแยกออกเป็น 2 ตัวคือ Rm1 , Rm2 โดยค่าของ

$$RM1 = RF / 1 - Avm$$

โดย Avm คืออัตราขยายขณะที่ไม่มี RF เป็นอัตราขยายเปิดลูปของออปแอมป์ ซึ่งจะมีค่าสูงกว่า

3. ที่ขั้วทางเข้าแบบไม่กลับเฟสเราถือว่า มีอิมพิแดนซ์สูง

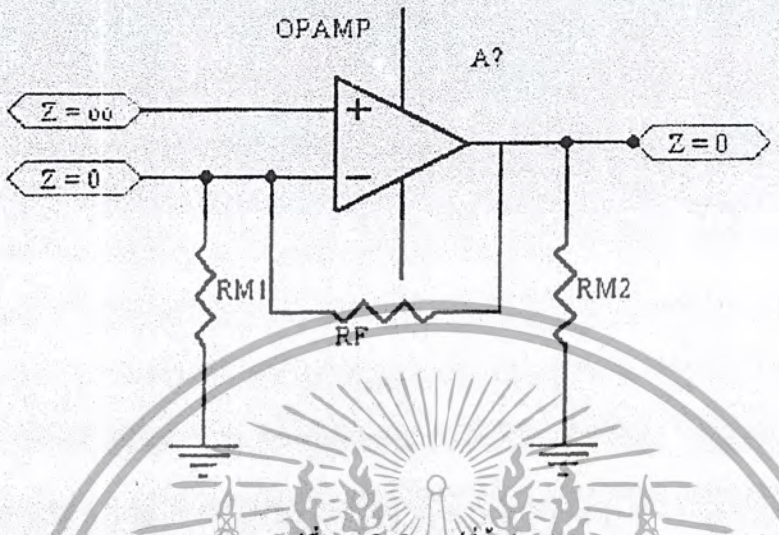
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

รูปที่ 3.5 วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 อิมพีแดนซ์ที่ขั้วต่าง ๆ

3.3 วงจรพัลซ์วิดมอดดูเลชั่น Pulse Width Modulation (P.W.M)

ในการควบคุมความเร็วมอเตอร์ดีซี นิยมใช้เทคนิคการควบคุมความกว้างของพัลส์ซึ่งเป็นการควบคุมโดยการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาที่อุปกรณ์สวิตซ์ อิเล็กทรอนิกส์ เช่นทรานซิสเตอร์ เพาเวอร์มอสเฟ็ต ไอจีบีที (IGBT)

ลักษณะของ P.W.M โดยทั่วไปมีอยู่ 3 ลักษณะคือ

1. เปลี่ยนแปลงทั้งความกว้างและความถี่พัลส์
2. เปลี่ยนแปลงความถี่โดยความกว้างของพัลซ์คงที่
3. เปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลซ์โดยความถี่คงที่

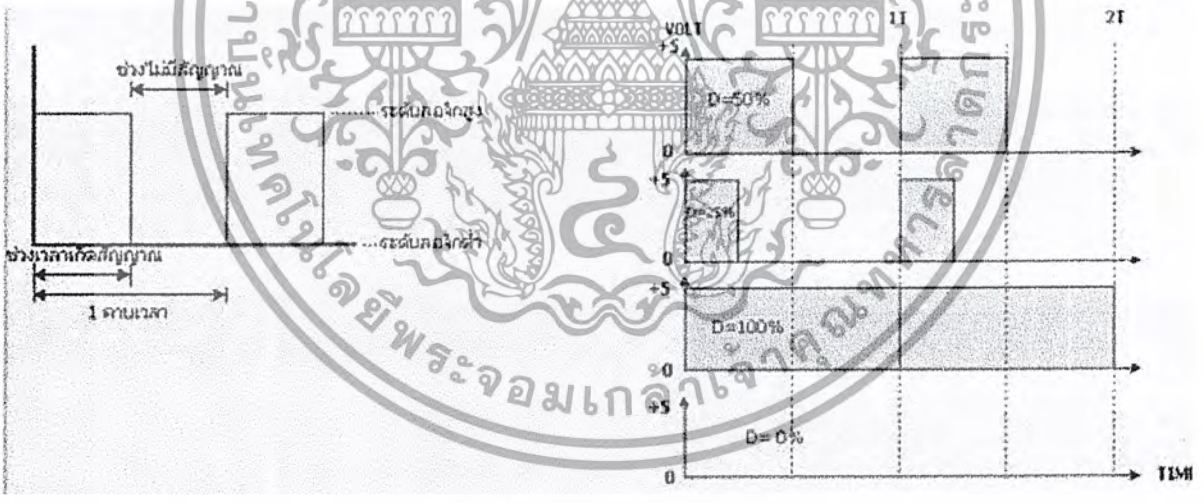
การทำงานทั้งสามลักษณะนี้มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป การทำงานในลักษณะที่ สอง และสาม จะดีกว่าแบบที่หนึ่ง เนื่องจากสามารถกำหนดความถี่หรือช่างเวลา ton ที่ทำให้สวิตซิ่ง หรืออุปกรณ์ควบคุมทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ แต่แบบที่หนึ่งนั้นความกว้างของพัลซ์กำหนดขึ้นจากวงจรจึงอาจไม่ใช่ความถี่ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการใช้งานก็ได้ ดังนั้นวงจรพัลซ์วิดมอดดูเลชั่น จึงใช้งานในลักษณะที่สองหรือที่สามเป็นส่วนใหญ่ ในรายงานนี้จะขออธิบายรายละเอียดเฉพาะแบบที่สาม ซึ่งเป็นแบบที่ใช้งานในโครงงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการมอดูเลชั่นทางความกว้างพัลซ์

วิธีการมอดูเลชั่นทางความกว้างพัลซ์ Pulse Width Modulation (P.W.M) เป็นการปรับเปลี่ยนทีละสัดส่วนและความกว้างของสัญญาณพัลซ์ที่ความถี่ของพัลซ์นั้นไม่เปลี่ยนแปลง หรือการเปลี่ยนแปลงที่ค่าดิวตี้ไซเคิล (duty cycle) ซึ่งค่าของดิวตี้ไซเคิล คือช่วงความกว้างของพัลซ์ที่มีสถานะลอจิกสูง โดยคิดสัดส่วนเป็นเปอร์เซ็นจากความกว้างของพัลส์ทั้งหมด ยกตัวอย่างเช่นถ้าหากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับเท่ากับ 50% ก็หมายถึงใน 1 รูปสัญญาณพัลส์จะมีช่วงของสัญญาณที่เป็นสถานะลอจิกสูงอยู่ครึ่งหนึ่ง และสถานะลอจิกต่ำอยู่อีกครึ่งหนึ่งดังรูปที่ 1 และในทำนองเดียวกันถ้าหากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่ามากก็แสดงว่าความกว้างของพัลส์ที่เป็นสถานะลอจิกสูงจะมีความกว้างมากขึ้น หากค่าดิวตี้ไซเคิลมีค่าเท่ากับ 100% ก็หมายความว่าจะไม่มีสถานะลอจิกต่ำเลย ซึ่งค่าดิวตี้ไซเคิลสามารถหาได้จากค่าความสัมพันธ์ดังนี้

ค่าดิวตี้ไซเคิล = (ช่วงของสัญญาณพัลส์/คาบเวลาทั้งหมดของสัญญาณ) X100%

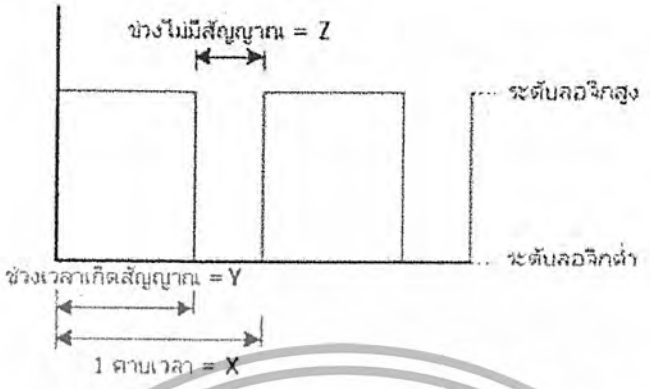


รูปที่ 3.7 แสดงความกว้างของพัลท์ขนาดต่างๆ และค่าดิวตี้ไซเคิล ของช่วงพัลท์ที่มีความถี่คงที่

ซึ่งสามารถเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ โดยการกำหนดความกว้างของพัลท์ให้กำหนดเป็นค่าคงที่ไว้ในรีจิสเตอร์ หรือในหน่วยความจำตำแหน่งหนึ่งไว้ และมีรูปแบบการหาค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

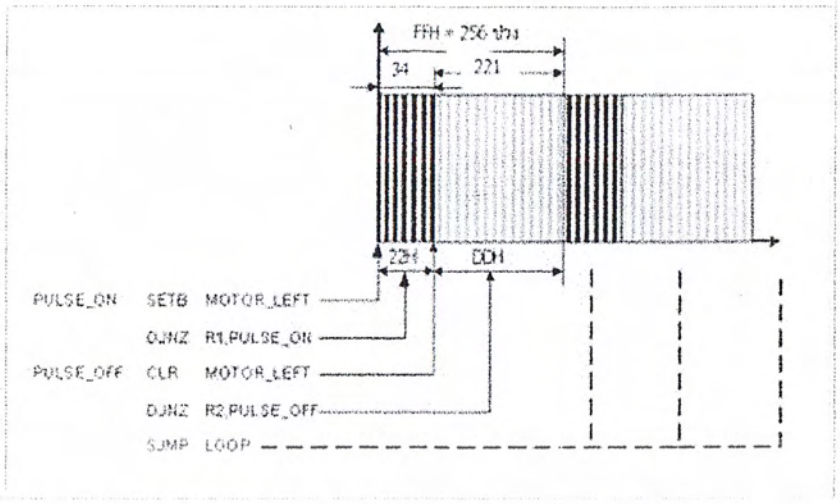
ช่วงเวลาที่เป็นช่วงพัลท์ที่มีสถานะลอจิกสูง และช่วงพัลท์ที่มีสถานะลอจิกต่ำโดยกำหนดความถี่ที่คงที่ จากวิธีการสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แสดงช่วงพัลท์ที่มีสถานะลอจิกสูง และช่วงพัลท์ที่มีสถานะลอจิกต่ำ

ช่วงของความกว้างทั้งหมดใน 1 คาบเวลา (duty cycle =100%) เรากำหนดให้เท่ากับ FFH หรือแบ่งออกเป็น 256 ส่วน เพื่อที่จะสะดวกในการกำหนดค่า ในรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต และ แทนด้วยตัวแปร Xช่วงของเวลาที่เกิดสัญญาณเป็นลอจิกสูง หรือกำหนดค่าดิวตี้ไซเคิลโดยคำหนดในรีจิสเตอร์ใดๆก่อน 1 ค่า เพื่อที่จะกำหนดค่าความกว้างของพัลท์ ให้แทนด้วยตัวแปร Yดังนั้นหากเราเอาความกว้างทั้งหมดใน 1คาบเวลา ลบออกจากค่าความกว้างที่กำหนดไว้ จะมีค่าเท่ากับ X- Y = Z ซึ่งค่าของตัวแปร Z ก็คือค่าความกว้างของพัลท์ที่ไม่มีสัญญาณหรือสถานะลอจิกต่ำนั้นเอง ดังนั้นการเขียนโปรแกรมเราจะกำหนดค่าของช่วงความกว้างทั้งหมดใน 1 คาบเวลาไว้ที่รีจิสเตอร์ A (A=0FFH) และค่าความกว้างของพัลท์ในระดับลอจิกสูงไว้ที่รีจิสเตอร์ R1(R1= จะระบุค่าได้เองที่ต้องการ 01H-FEH) และจะนำค่าในรีจิสเตอร์ A ลบออกด้วยค่าในรีจิสเตอร์ R1 ผลลัพท์ที่ได้จะเป็นค่าของความกว้างช่วงที่ไม่มีสัญญาณพัลท์หรือระดับลอจิกต่ำ แต่ก่อนที่เราจะนำค่าใน R1 ไปลบกับค่าในรีจิสเตอร์ A เราจะต้องทำการตรวจสอบข้อมูลในรีจิสเตอร์ R1 เสียก่อน หากเป็นค่าข้อมูล FFH ซึ่งจะเท่ากับค่าดิวตี้ไซเคิล 100 % ก็ให้มอเตอร์หมุนได้ความเร็วสูงสุดโดยไม่ต้องกำหนดค่าใดๆ และในทำนองเดียวกันหากข้อมูลมีค่าเป็น 00H ซึ่งเท่ากับค่าดิวตี้ไซเคิล 0 % ก็ให้มอเตอร์หยุดหมุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

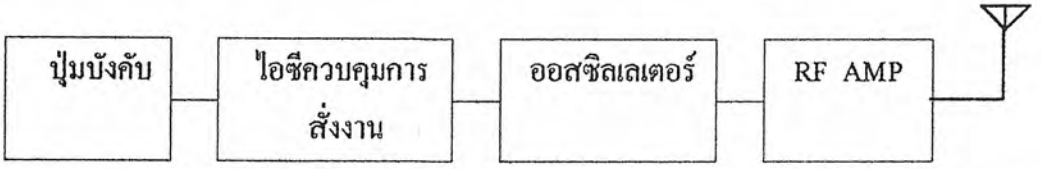


รูปที่ 3.9 แสดงการกำหนดความกว้างของพัลท์โดยโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การทำงานของรถกระป๋อง

บล็อกไดอะแกรมของตัวส่งและตัวรับสัญญาณของรถกระป๋อง



รูปที่ 3.10 บล็อกไดอะแกรมของตัวส่ง สัญญาณ

รูปที่ 3.11 บล็อกไดอะแกรมของตัวรับสัญญาณ

จะใช้ไอซีในการควบคุมการสั่งงาน

การควบคุมของรถบังคับใช้วงจรภาคส่งและภาครับของรถกระป๋องมาประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมมอเตอร์ในการบังคับทิศทางและความเร็วซึ่งวงจรภาครับและภาคส่งมีการทำงานดังบล็อกไดอะแกรมโดยจะอธิบายคร่าว ๆ ดังนี้

ตังส่งสัญญาณ

ตังส่งสัญญาณจะมีไอซีควบคุมการสั่งงานซึ่งรับคำสั่งควบคุมจากปุ่มกดทั้ง 4 ปุ่มไม่ว่าจะเป็นเดินหน้าและถอยหลัง เลี้ยวซ้ายเลี้ยวขวา สัญญาณควบคุมการทำงานที่กำเนิดจากไอซีจะถูกป้อนเข้าสู่วงจรออสซิลเลเตอร์ซึ่งเป็นวงจรกำเนิดความถี่สัญญาณควบคุมที่ผสมกับคลื่นพาหะที่ได้จากคริสตอลขนาดน้อย ๆ จะถูกส่งต่อไปยังวงจรขยายสัญญาณอาร์เอฟแอมป์ เพื่อขยายสัญญาณให้มีกำลังมากขึ้นทำให้ส่งออกอากาศได้ไกล ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวรับสัญญาณ

ทางด้านภาครับเริ่มจากคลื่นถูกเหนี่ยวนำจากสายอากาศป้อนมายังวงจรขยายสัญญาณอาร์เอฟแอมป์ เพื่อเพิ่มขนาดสัญญาณให้แรงขึ้นก่อนที่จะถูกส่งไปยังไอซีถอดรหัสควบคุมการสั่งงาน จะทำการถอดรหัสควบคุมที่ส่งมาจากตังส่งเพื่อใช้ในการควบคุมมอเตอร์ต่อไป

3.5 ทฤษฎีส่วนตรวจจับโลหะ

ส่วนตรวจจับโลหะแยกการทำงานตามลักษณะและวิธีการทำงานของแต่ละแบบ แต่ส่วนสำคัญที่สุดจะอยู่ที่ขดลวด (coil) ซึ่งเป็นตัวเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อตรวจพบโลหะและนำสัญญาณนี้ไปแสดงผล การเปลี่ยนแปลงในขดลวดเมื่อมีโลหะเข้าใกล้ จะเกิดจากสาเหตุ 2 ข้อคือการเกิด eddy current ในโลหะ และการเกิดการเปลี่ยนแปลงความซึมซาบแม่เหล็กได้ (Permeability) ของตัวกลางจากผลของ Magnetism ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.5.1 การเปลี่ยนแปลงภายในขดลวด เมื่อมีโลหะเข้าใกล้

- ผลของ eddy current

eddy current คือกระแสไหลวนที่เกิดขึ้นในตัวนำไฟฟ้า อันเนื่องมาจากเส้นแรงแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงวิ่งผ่านตัวนำนั้น เช่นหม้อแปลงไฟฟ้า จะเกิด eddy current ในแกนเหล็กจากเส้นแรงของขดลวดที่พันในหม้อแปลงนั้น ถ้าแกนเหล็กบาง eddy current จะเกิดขึ้นน้อยตามขนาดของแกน แต่ถ้าแกนเหล็กของหม้อแปลงมีขนาดใหญ่จะเกิด eddy current สูง จะมีผลโดยตรงกับขนาดของขดลวดที่ใช้พันหม้อแปลง ดังนั้นจะใช้หลักการเหล่านี้เพื่อทำเป็นหลักการของส่วนตรวจจับโลหะ โดยให้ขดส่งเป็นเสมือนลวดที่ใช้พันหม้อแปลง แต่พันด้วยแกนอากาศแทนและให้โลหะที่ตรวจจับเสมือนเป็นแกนเหล็กในหม้อแปลง

ผล eddy current ซึ่งเป็นกระแสไหลวนที่เกิดขึ้นในตัวนำไฟฟ้า เนื่องจากเส้นแรงแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงวิ่งผ่านตัวนำนั้นโดยใช้หลักการนี้มาใช้ในส่วนตรวจจับโลหะ เมื่อโลหะเข้าใกล้ขดลวดผลของ eddy current จะทำให้ค่า inductance ของขดลวดเปลี่ยนแปลงไป เมื่อจ่ายกระแสสลับให้แก่ขดลวด ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ขดลวดเมื่อมีโลหะเข้ามาใกล้ขดลวดทำให้เกิด eddy current ในโลหะ โดยเขียนแทนขดลวดและโลหะในลักษณะของ Transformer coupling

- ผลของ Magnetism และ Permeability

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากโลหะชนิด Ferrous มีค่า Permeability (μ) สูงมากเมื่อโลหะผ่านเข้ามาในสนามแม่เหล็กของขดลวด ก็จะได้รับอำนาจแรงดึงดูดจากขดลวดแต่โลหะนี้จะทำให้ค่า inductance ของขดลวดเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากค่า μ ของโลหะมีค่าสูงมาก

3.5.2 เส้นแรงแม่เหล็กที่ขดส่ง

ค่าแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า (Megetic force) มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างกระแสกับจำนวนรอบของขดลวดหรือเท่ากับผลคูณระหว่างความเข้มของสนามแม่เหล็กกับค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$mmf = NI = HL \quad \text{.....(1)}$$

เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวด แล้วจะทำให้เกิดความเข้มของสนามแม่เหล็กขึ้นมา สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้ทำให้ได้ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก และจะได้เส้นแรงของแม่เหล็กเกิดขึ้นมาจากผลของสนามแม่เหล็กนั่นเอง เส้นแรงแม่เหล็กนี้เองทำให้เกิด linkage flux ซึ่ง flux นี้เองที่เรานำไปใช้งาน

จากกฎของฟาราเดย์ (Fareday's Law) เมื่อแรงเคลื่อนที่ผ่านลูปปิดหนึ่งๆจะมีกระแสไหลผ่านเกิดขึ้น โดยมีทิศทางการไหลของกระแสสวนทางกับทิศทางของแรงเคลื่อนไฟฟ้านั่นเอง

ดั้งนั้นเมื่อมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงก็จะทำให้เกิดกระแสขึ้น ถ้ามีขดลวดพันด้วยจำนวนรอบเท่ากับ N รอบ เมื่อป้อนแรงเคลื่อนไฟฟ้าเข้าไปในขดลวดจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า กฎคือ mmf = NI นั่นเอง

จากความสัมพันธ์ความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) และความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (B) จะทำให้เกิด

$$B = \mu H \quad \text{.....(2)}$$

ซึ่งก็คือจะเกิดความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กขึ้นนั่นเอง และผลอันนี้เราก็ได้ฟลักซ์แม่เหล็ก (ϕ) หาได้จากผลคูณระหว่าง พื้นที่หน้าตัดของขดลวดกับความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก

$$\phi = BA \quad \text{.....(3)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎของเลนซ์(Lenze'Law) ถ้ามีความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กไหลผ่านลูปปิดอันหนึ่งมีพื้นที่หน้าตัดนั้นๆ จะมีฟลักซ์แม่เหล็กเกิดขึ้น ฟลักซ์แม่เหล็กตัวนี้จะทำให้เกิด linkage flux จากสมการ

$$X = N\phi \quad \text{.....(4)}$$

จากคุณสมบัติของ linkage flux ซึ่งเราต้องนำไปใช้งาน สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$mmf = N1 = HL \quad \text{.....(5)}$$

$$1 = HL/N = BL/\mu N \quad \text{.....(6)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ประเภทของเครื่องตรวจจับโลหะ (Metal detector)

ในปัจจุบันได้มีการทำเครื่องตรวจจับโลหะ (Metal detector) ออกมามากมายหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดก็มีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป แต่ที่ได้รับความนิยมและรู้จักกันอย่างแพร่หลาย ได้แก่

4.1 Beat Frequency Oscillator (BFO)

4.2 VLF Phase Angle

4.3 Pulse Induction (PI)

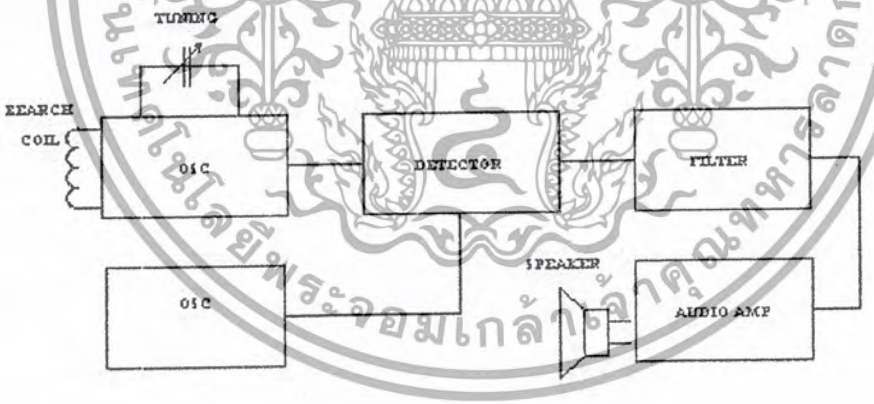
4.4 Off Resonance

4.5 Induction Balance (BI) และ Transmit/Receive (TR)

ซึ่งจะได้อธิบายลักษณะการทำงานของเครื่องตรวจจับโลหะแต่ละชนิดดังต่อไปนี้

4.1 Beat Frequency Oscillator (BFO)

เป็นชนิดที่ง่ายที่สุด โดยมีหลักการทำงานดัง Block diagram ต่อไปนี้



รูปที่ 4.1 Block diagram ของวงจร Beat Frequency Oscillator (BFO)

ในวงจรนี้จะมีวงจร Oscillator 2 วงจร ซึ่งจะสร้างความถี่ออกมาที่ใกล้เคียงกันมาก โดยวงจรหนึ่ง จะใช้สร้างความถี่เป็น Reference Frequency ส่วนอีกวงจรหนึ่งจะเปลี่ยนค่าความถี่ได้ โดยค่า Inductance ที่ Search coil ขณะที่มีโลหะเข้ามาใกล้ เมื่อวงจร Oscillator ทั้งสองมีความถี่ที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกัน แล้วนำมาผ่านวงจร detector สัญญาณ output ที่ได้จะเกิดเป็นสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

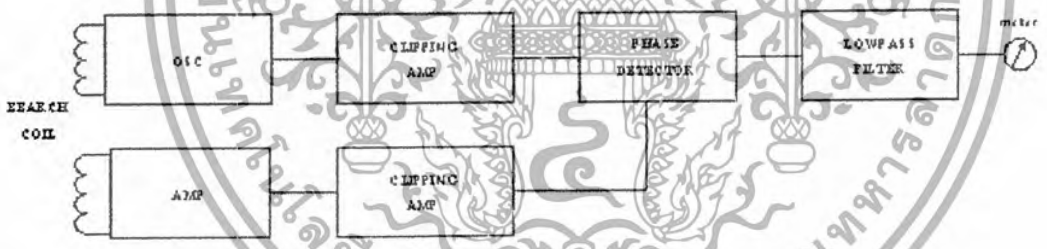
" beat " ซึ่งมีค่าเท่ากับผลต่างของค่าความถี่ทั้งสอง ซึ่งสามารถนำไปสร้างเป็นสัญญาณที่เรารับฟังได้ (Low audio) โดยผ่านวงจร Filter แล้วส่งออกทาง headphone

สัญญาณที่ออกทาง headphone จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความถี่ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ขณะที่มีโลหะเข้าใกล้ Search coil คือเมื่อ เป็นโลหะชนิด ferrous จะมีผลทำให้ค่า Inductance ที่ Search coil มีค่าเพิ่มขึ้น ความถี่ของวงจร Oscillator จะมีค่าลดลง ทำให้สัญญาณที่ทาง headphone นั้นตกลง ในทางตรงกันข้าม สำหรับโลหะที่เป็น non – ferrous จะมีผลทำให้ค่า Inductance ที่ Search coil มีค่าลดลง ความถี่ Oscillator จะเพิ่มขึ้นทำให้สัญญาณที่ headphone นั้นสูงขึ้น

สำหรับเครื่องชนิดนี้ จะใช้ความถี่สูง คือประมาณ 125 KHZ ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดจาก ground capacitance และยังมีข้อเสียอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น ต้องใช้วงจร Oscillator 2 วงจรและต้องคอยปรับความถี่ใหม่ทุกครั้งที่ใช้งานและมี sensitivity ที่ต่ำแต่มีราคาถูก

4.2 VLF Phase Angle

เครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้จะใช้ค่าความต่างเฟสมาเป็นตัวตรวจจับ ซึ่งมีการทำงานดังใน Block diagram ต่อไปนี้



รูปที่ 4.2 Block diagram ของวงจร VLF Phase Angle

สำหรับวงจรนี้จะใช้ขดลวด 2 ขด ซึ่งทำหน้าที่เป็น Search coil โดยขดหนึ่งจะต่ออยู่กับวงจร Oscillator ซึ่งจะสร้างสัญญาณที่เป็น square wave ออกมาที่ความถี่ค่าหนึ่ง ส่วนขดลวดอีกขดหนึ่งจะเป็นตัวรับสัญญาณที่ความถี่เดียวกันแล้วนำไปเข้าวงจร Amplifier เพื่อขยายสัญญาณ จากนั้นำสัญญาณ square wave ทั้งสองไปเข้าวงจร phase detector เพื่อสร้างสัญญาณที่เกิดจากความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสอง และเมื่อมีโลหะเข้าใกล้ Search coil จะทำให้ค่าความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสองมีการเปลี่ยนแปลง โดยจะมีความต่างเฟสมากขึ้น เมื่อโลหะนั้นเป็น ferrous

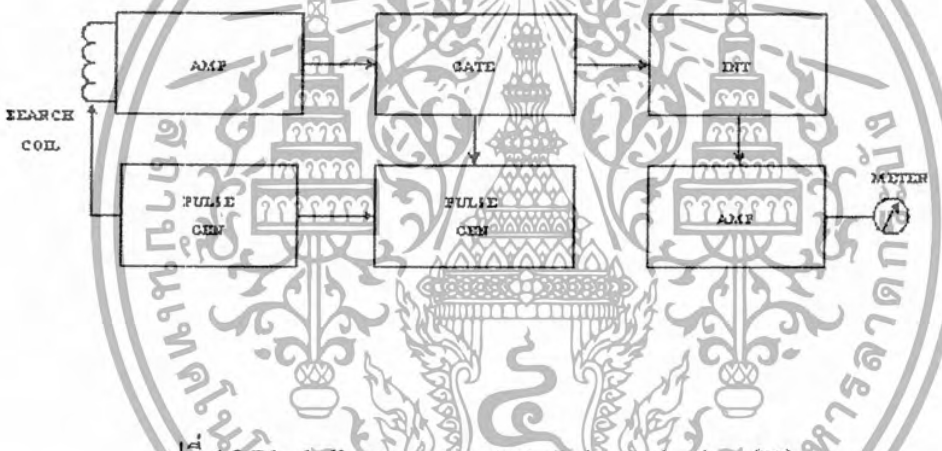
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และความต่างเฟสจะลดลงถ้าเป็นโลหะชนิด non - ferrous หลังจากนั้นสัญญาณที่ได้จากความต่างเฟสนี้จะผ่านเข้าวงจรกรองความถี่ชนิด Low pass filter และนำไปเร็คติไฟร์เป็นสัญญาณแรงดันไฟตรง (D.C) ซึ่งสามารถวัดได้จาก meter หรืออาจนำไปเข้าวงจร chopper เพื่อสร้างเป็นสัญญาณ Low audio ที่เราสามารถรับฟังได้

วิธีนี้จะใช้ที่ความถี่ต่ำ ๆ ประมาณ 3 – 6 KHZ ซึ่งมีความสามารถทะลุทะลวงผ่านพื้นผิวที่ตรวจจับได้ดี และป้องผลจาก ground capacitance ด้วย อย่างไรก็ตามวงจรจะกินกระแสมากเพื่อให้ได้ sensitivity สูง ๆ กับโลหะที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นจึงต้องใช้แบตเตอรี่ขนาดใหญ่ นอกจากนี้ความสามารถในการหาตำแหน่งที่แน่นอน (pinpoint) ก็ไม่ค่อยดี

4.3 Pulse Induction (PI)

ลักษณะโครงสร้างและการทำงานของเครื่องตรวจจับโลหะชนิด PI เป็นดังรูปที่ 3



รูปที่ 4.3 Block diagram ของวงจร Pulse Induction (PI)

เนื่องจากเราทราบว่า coil จะสร้างสนามแม่เหล็กออกไป เป็นสัดส่วนกับจำนวนของกระแสที่ผ่านเข้าไปใน coil และจำนวนรอบของ coil

จากวงจร Pulse Generator จะส่งสัญญาณที่เป็น Pulse ช่วงสั้น ๆ ไปยัง search coil ซึ่งทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ coil ที่ขอบขาลงของสัญญาณแต่ละ Pulse สนามแม่เหล็กบริเวณ coil จะลดลงจนกระทั่ง Voltage ตกลงเป็น 0 ทำให้ไม่มีกระแสไหลผ่าน coil แต่เนื่องจาก coil สะสมพลังงานไว้ภายในจึงเกิดเป็น back e.m.f. เนื่องจากสนามแม่เหล็กไหลกลับซึ่งทำให้ Voltage คร่อม coil มีทิศตรงข้าม (Reverse Voltage) แต่เนื่องจากเป็นพลังงานสะสมจึงสลายตัวลงจน back e.m.f. ตกลงเป็น 0 และเราใช้การสลายตัวนี้เป็นจุดที่ใช้ในการเปรียบเทียบในการตรวจจับโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อมีโลหะไม่ว่าจะเป็น ferrous หรือ non – ferrous เข้าใกล้ coil มันจะได้รับผลจากสนามแม่เหล็กเกิดเป็น eddy current หรือ magnetized ที่โลหะนั้นตามแต่ชนิดของโลหะและผลนี้จะเป็นชนิดใดก็ตาม จะทำให้ back e.m.f. ที่ตกไปเป็น 0 มีระยะเวลายาวกว่าเดิม

วงจร detector จะเป็นวงจรที่ตรวจจับจากพื้นที่ภายใต้สัญญาณของการ decay ของ back e.m.f. ซึ่งจะทำได้โดย นำสัญญาณจาก coil มาขยายและทำเป็น sample Voltage ซึ่งไปเข้า integrator ซึ่งจะทำให้ integrator สร้าง output เป็น Voltage ที่เป็นสัดส่วนกับ เวลาในการ decay ของ back e.m.f. แล้วนำ Voltage จาก output ของ integrator นี้ไปควบคุม Voltage control oscillator (VCO) ซึ่งไปขับลำโพงอีกทีหนึ่ง

สำหรับเครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้จะมี sensitivity มาก โดยส่วนประกอบของเครื่องนี้จะเป็นโลหะไม่ได้เพราะจะไปรบกวนและมีผลต่อเครื่องตรวจจับ แต่ไม่มีปัญหาเกี่ยวกับ ground effect สำหรับข้อเสียคือ ไม่สามารถแยกได้ว่า โลหะชนิดนั้นเป็น ferrous หรือ non – ferrous และยังต้องใช้ Power มากด้วย

4.4 Off Resonance

เครื่องตรวจจับโลหะชนิดนี้ จะมีหลักการทำงานคล้ายกับวิธี Beat Frequency Oscillator (BFO) แต่อาศัยหลักการ balance ของสนามแม่เหล็กด้วยดังต่อไปนี้

รูปที่ 4.4 Block diagram ของวงจร Off Resonance

Signal generator จะส่งสัญญาณไปยัง Buffer Amplifier และวงจร Detector โดยผ่านวงจร LC Tuning ซึ่งทำหน้าที่เป็น search coil และสัญญาณโดยตรงจาก search coil จะนำไปเข้าส่วน Control balance ต่อไปยัง Buffer Amplifier และวงจร Detector อีกชุดหนึ่งดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ output จากวงจร Detector ทั้งสองจะนำไปเข้าวงจร Differtial Amplifier ซึ่งจะเป็นตัวจับความแตกต่างของสัญญาณจาก Detector ทั้งสอง ในขณะปกติเราจะปรับ balance ให้ output เป็น Zero จากส่วน Control balance และเมื่อมีโลหะเข้าใกล้ search coil จะทำให้เกิด Shift Resonance Frequency ที่วงจร Tuning เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่า inductance ทำให้เกิด Imbalance ขึ้นที่ Diff Amp ซึ่งสามารถตรวจจับได้โดยใช้ Meter หรืออาจจะนำสัญญาณจาก Diff Amp มาสร้างเป็นสัญญาณที่เรารับฟังได้

สำหรับเครื่องตรวจจับชนิดนี้ไม่เป็นที่นิยมเท่าไหร่ เนื่องจากมี sensitivity ที่ต่ำและวงจรมีความยุ่งยาก

4.5 Induction Balance (BI) และ Transmit/Receive (TR)

เครื่องตรวจจับชนิดนี้จะใช้หลักการของ Induction Balance ซึ่งได้อธิบายหลักการโดยละเอียดดังต่อไปนี้

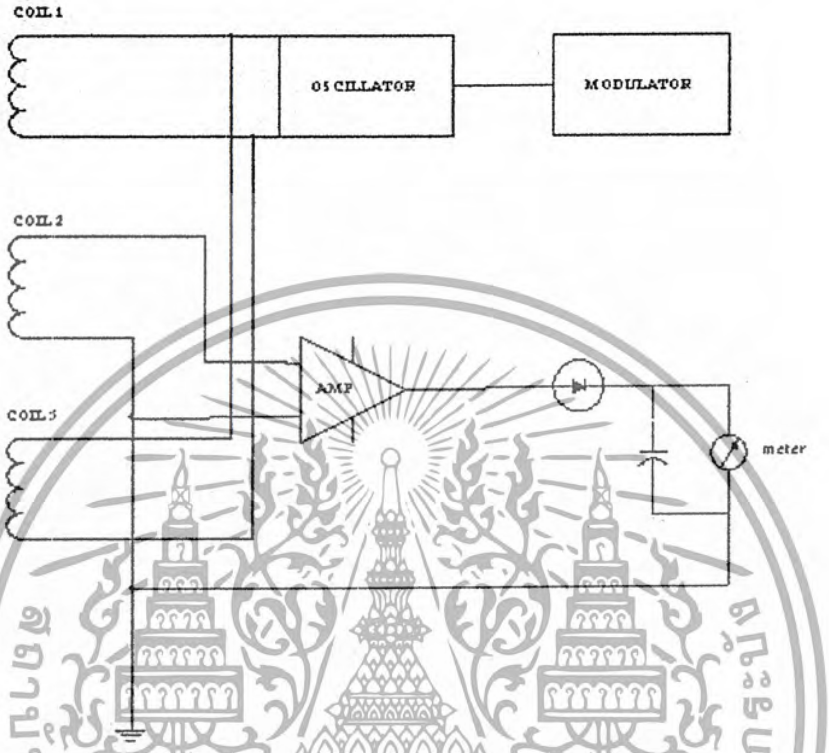
หลักการทำงาน

วงจรออสซิเลเตอร์จะส่งสัญญาณไปยังขดลวดส่ง (Transmit coil) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบ ๆ ขดลวด ขดลวดรับ (Receive coil) ซึ่งวางเหลื่อม (Overlapping) กันกับขดลวดส่งจะรับสนามแม่เหล็กที่มีลักษณะสมดุล (Balance) ทำให้เกิดสัญญาณที่เอาท์พุทเพียงเล็กน้อยหรือไม่เกิดขึ้นเลยเมื่อโลหะผ่านเข้ามาในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดการไม่สมดุล (ImBalance) ของสนามแม่เหล็ก เนื่องจากสนามแม่เหล็กที่ขดรับเกิดการเปลี่ยนแปลง ผลของการเปลี่ยนแปลงนี้สามารถนำไปผ่านวงจรขยาย (Amplifier) วงจรเรียงกระแส (Rectifier) และวงจรกรอง (Filter) จะได้สัญญาณเอาท์พุทจากระบบเป็นสัญญาณไฟตรง ดี.ซี. นำสัญญาณนี้ไปใช้แสดงผลโดยต่อเข้ากับมิเตอร์ , วงจรกำเนิดเสียงหรืออุปกรณ์ที่สามารถแสดงผลอื่น ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องมือตรวจจับโลหะที่ใช้หลักการ Induction Balance (BI) จะแบ่งเป็น 2 ชนิดดังนี้

4.5.1 IB detector (Induction Balance) ประกอบด้วยขดลวดตรวจจับ 3 ชุดดังรูป

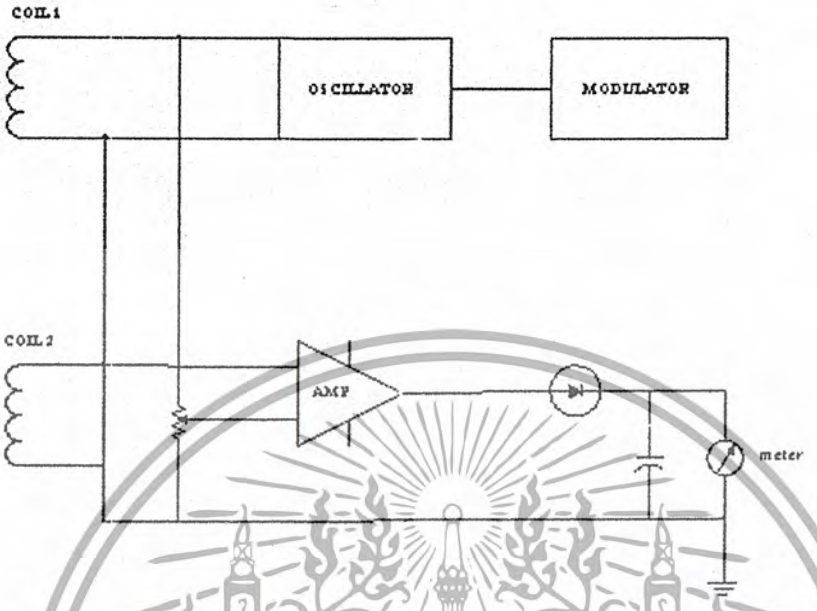


รูปที่ 4.5 Block diagram ของวงจร IB detector

วงจรออสซิเลเตอร์จะผลิตความถี่ป้อนเข้าขดลวด 2 ขด โดยเรียงขดลวดทั้งสามดังนี้วาง ขดลวดทั้งสามซ้อนกัน โดยเว้นระยะห่างจากขดลวดขดกลาง ขดลวดที่อยู่ด้านบนและด้านล่างจะต่อกับวงจรออสซิเลเตอร์ ขดลวดด้านล่างจะพันทิศทางตรงกันข้ามกับขดลวดด้านบน ดังนั้น ขดลวดทั้งสองจะให้สนามแม่เหล็กที่มีเฟสต่างกัน สมดุลของสนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นกับขดลวดขดกลาง ทำให้ไม่มีสัญญาณเกิดขึ้น เมื่อนำโลหะเข้ามาใกล้กับ ขดลวดจะเกิดการไม่สมดุลของสนามแม่เหล็กขึ้น ขดลวดที่อยู่ตรงกลางจะรับสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงที่ไม่เท่ากันของสนามแม่เหล็กขึ้น สัญญาณนี้สามารถนำไปทำการขยายโดยวงจรขยายและทำการเรียงกระแสโดยวงจรเร็คติไฟเออร์ และทำการแสดงผลที่มิเตอร์หรือส่วนแสดงผลอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 T/R detector (Transmit/Receive) ประกอบด้วยขดลวดตรวจจับ 2 ชุดดังรูป



รูปที่ 4.6 Block diagram ของวงจร T/R detector

ขดลวดที่ต่อกับวงจรออสซิเลเตอร์มีเพียงขดเดียว ส่วนอีกขดจะต่อกับวงจรขยายแบบ Non – inverting โดยที่อินพุท inverting จะต่อกับสัญญาณที่เป็นแรงดันอ้างอิง (ใช้ตัวต้านทานแบบปรับค่าได้) เมื่อส่วนตรวจจับไม่พบโลหะจะต้องทำการปรับสัญญาณอ้างอิงเพื่อไม่ให้มีสัญญาณเอาท์พุทปรากฏขึ้นเมื่อมีโลหะเข้าใกล้ขดลวดตรวจจับ จะเกิดสัญญาณที่ขดรับ สัญญาณที่ไม่สมดุลนี้จะถูกส่งไปแสดงผลต่อไป

เครื่องตรวจโลหะทั้งสองชนิดนี้ สัญญาณที่ได้รับจากการตรวจจับของขดรับเมื่อตรวจพบโลหะชนิด ferrous จะเพิ่มขึ้นและสัญญาณนี้จะลดลงเมื่อเป็นโลหะชนิด non – ferrous

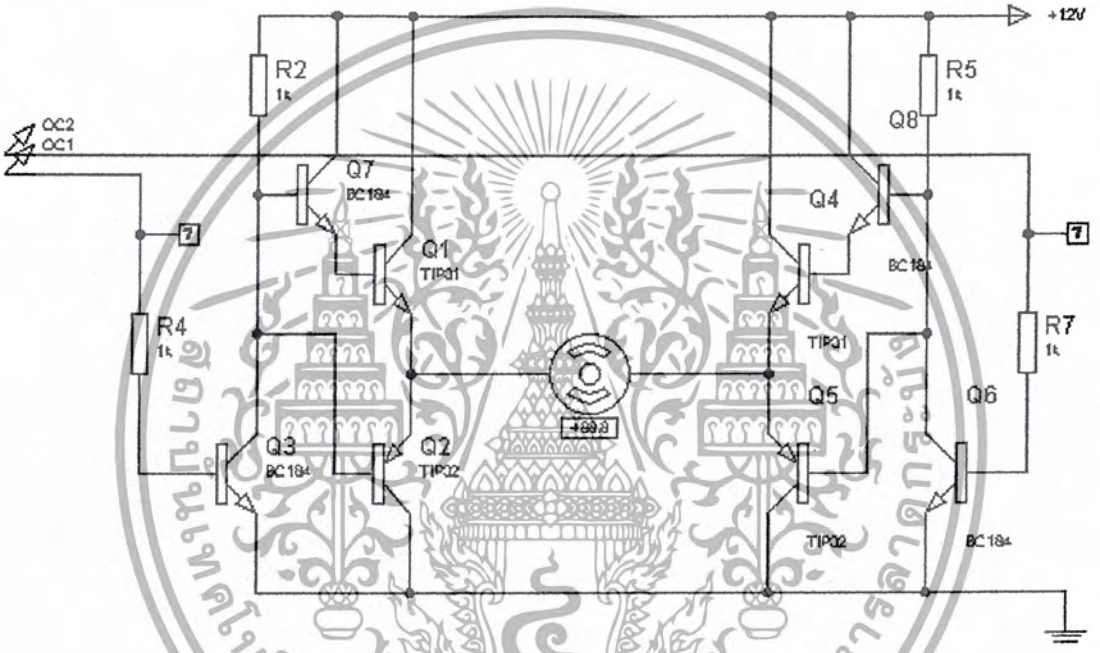
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5

การทำงานของวงจรและการออกแบบวงจร

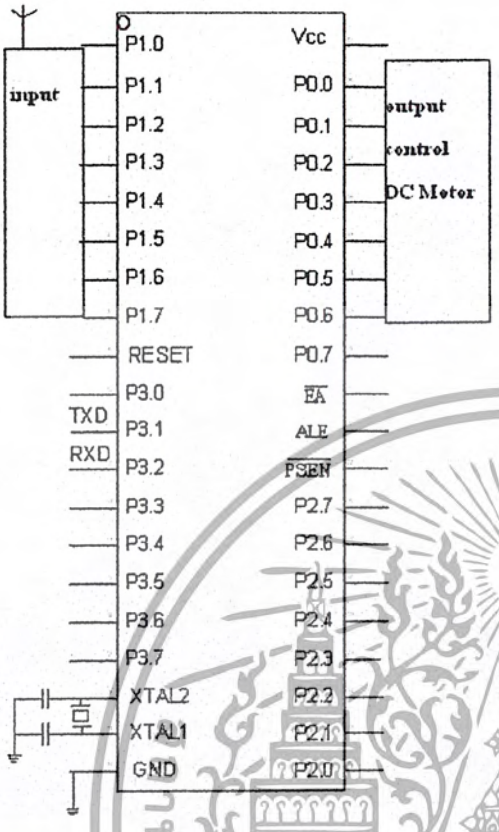
5.1 วงจรขับมอเตอร์

วงจรขับมอเตอร์แสดงดังรูป



รูปที่ 5.1 แสดงวงจรขับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงการต่อขาของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 การพันขดลวดและการจัดตำแหน่งขดลวด

การพันขดลวด จะพันให้เป็นรูป D shape ซึ่งแสดงดังรูปที่ 7 วิธีการพันคือจะพันไปในทิศเดียวกันตลอดและจะ tab ตรงกลางออกมาส่วนหนึ่งแล้วพันต่อไปในทิศทางเดิม โดยจำนวนรอบเท่ากับในตอนแรก เสร็จแล้วจะพบว่ามีปลายขดลวด 2 เส้นและส่วนที่ tab อีกหนึ่งเส้นซึ่งจะใช้เป็นขั้วไว้ต่อใช้งานต่อไป จากนั้นก็ยึดขดลวดเข้าด้วยกัน แล้วจัดรูปให้เป็นรูปตัว D ดังในรูป 7 (a) แล้วพันขดลวดอีกอันหนึ่งในลักษณะเดิม ให้เหมือนอันเดิมทุกประการ แล้วนำมาวางซ้อนกันให้เหลื่อมกันเล็กน้อย ดังรูปที่ 7(b) แล้วนำไปทดลองกับวงจร (ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป) ตรวจหาตำแหน่งของขดลวดที่ทำให้ได้สัญญาณที่ดีที่สุด เมื่อได้ตำแหน่งที่แน่นอนแล้วก็ยึดขดลวดให้อยู่ในตำแหน่งนั้นคงที่อย่าให้เคลื่อนเพราะจะทำให้สัญญาณที่ได้เปลี่ยนไปและไม่แน่นอน

รูปที่ 5.3 แสดงการพันขดลวด รูป D shape

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการเลือกขนาดขดลวด จำนวนรอบการพัน และรัศมีการพันขดลวดนั้น ได้ทำการเลือกขดลวดเบอร์ 26 พันจำนวน 80 รอบ และtap 40 มีรัศมี 7 ซม.

โดยเกณฑ์ในการพิจารณาขดลวดคือ ควรเลือกขดลวดที่มีขนาดใหญ่และจำนวนรอบมาก ๆ เพราะจะทำให้ค่า inductance มาก มีผลให้เกิดสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มสูง แต่ก็ไม่ควรให้มากเกินไปเพราะจะต้องจ่ายกระแสที่มากตามไปด้วยซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน ซึ่งผลอันนี้จะได้จากการทดลองเช่นกัน

5.3 ส่วนประกอบของเครื่องตรวจจับโลหะ (Metal Detector) สามารถแบ่งเป็นส่วนใหญ่ ๆ ได้ 4 ส่วนดังนี้

5.3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน์และภาครับ (Oscillator)

5.3.2วงจรขยายสัญญาณ (Non – Inverting Amplifier)

5.3.3 วงจรกรองสัญญาณ (Full Wave Rectifier)

5.3.4 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator)

สำหรับรายละเอียดในแต่ละวงจรมีดังนี้

5.3.1 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน์และภาครับ (Oscillator) มีวงจรดังรูปที่ 5.4 จากวงจรเราใช้ L_1 และ C_3 เป็นตัวสร้างสัญญาณออสซิลเลต (sine wave) แล้วส่งออกไปรอบ ๆ ขดลวดส่ง (Transmit Coil) ในรูปของสนามแม่เหล็ก ด้วยความถี่ค่าหนึ่งที่คำนวณได้จากสมการ

$$f = 1/2\pi\sqrt{LC}$$

ซึ่งจากการทดลอง เราได้คำนวณสัญญาณ sine ที่มีความถี่ประมาณ 6 KHZ จากนั้นขดลวดรับ (Receive coil) ที่อยู่ใกล้ ๆ กันจะรับสัญญาณเข้ามาซึ่งมีความถี่และเฟสเหมือนเดิม แต่จะมีขนาดแอมปลิจูดลดลงไปบ้างเนื่องจากสูญเสียไปในอากาศ ในวงจรจะมี C_4 เป็นตัวกรองสัญญาณ noise ออกและมี D_1 กับ D_2 เป็นตัวรักษาระดับแรงดันให้คงที่และยังมี C_5 เป็นตัวป้อนกลับสัญญาณ เมื่อมีโลหะเข้ามาใกล้ขดลวด จะทำให้ขนาดแอมปลิจูดของสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลง เนื่องจากเนื้อโลหะจะมีการดูดซับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าไว้ ซึ่งเราจะนำเอาสัญญาณที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงของขนาดแอมปลิจูดนี้ ไปตรวจจับเพื่อที่จะบอกได้ว่ามีโลหะอยู่ใกล้ขดลวดหรือเครื่องตรวจจับของเรา

5.3.2 วงจรขยายสัญญาณ (Non – Inverting Amplifier) มีวงจรดังรูปที่ 5.5

สำหรับวงจรส่วนนี้ จะทำการขยายสัญญาณที่รับมาจากในวงจรแรก เพื่อให้สัญญาณมีกำลังแรงขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ (เมื่อมีโลหะเข้าใกล้ขดลวด) ได้ง่ายขึ้น โดยใช้วงจรขยายแบบง่าย ๆ คือ (Non – Inverting Amplifier) ซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับ

$$A_v = R_7 / R_6$$

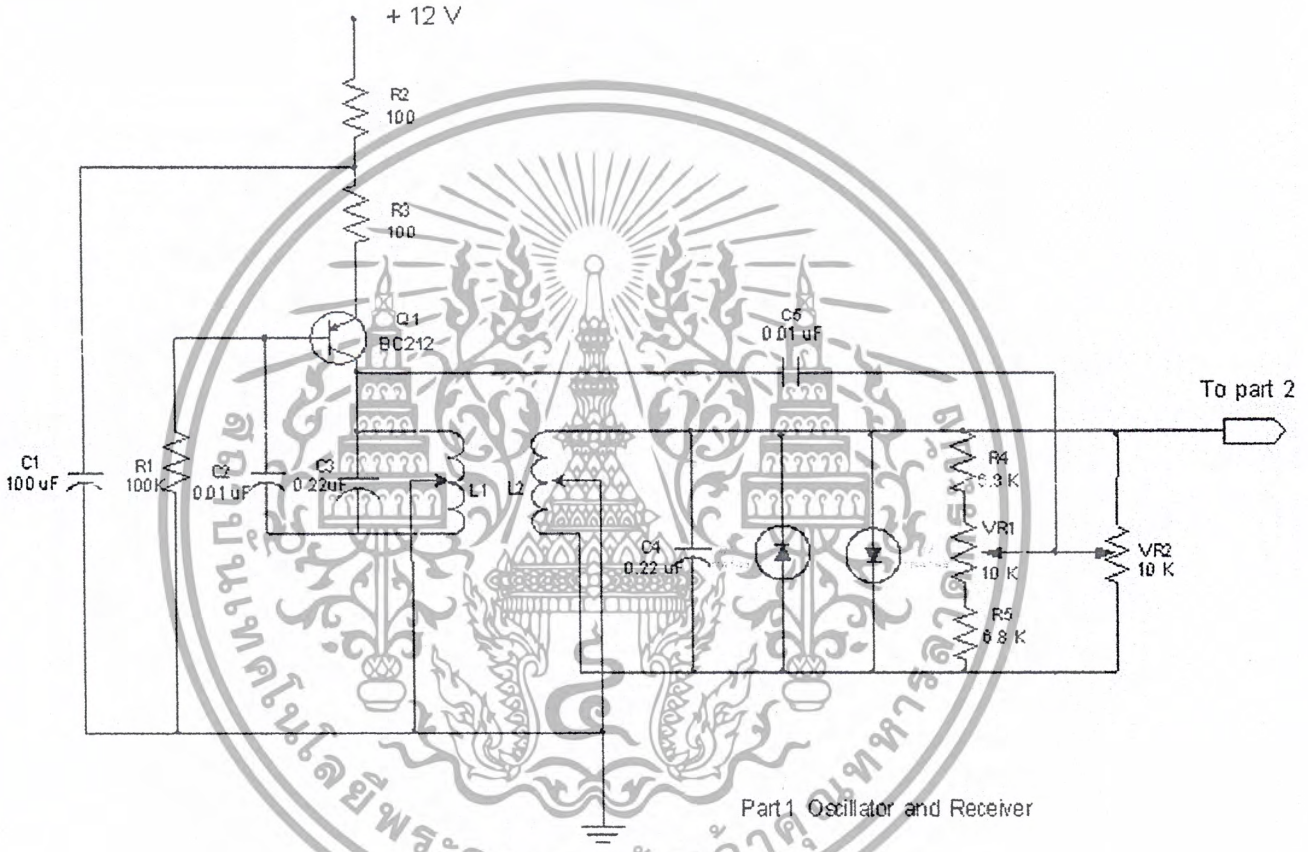
$$= 100\ K / 5\ K = 20 \text{ เท่า}$$

นั้นคือ เมื่อสัญญาณผ่านวงจรขยายแล้ว จะได้สัญญาณที่ไม่กลับ และมีขนาดใหญ่ขึ้น 20 เท่า จากนั้นนำสัญญาณไปเข้าวงจรในส่วนที่ 3 ต่อไป

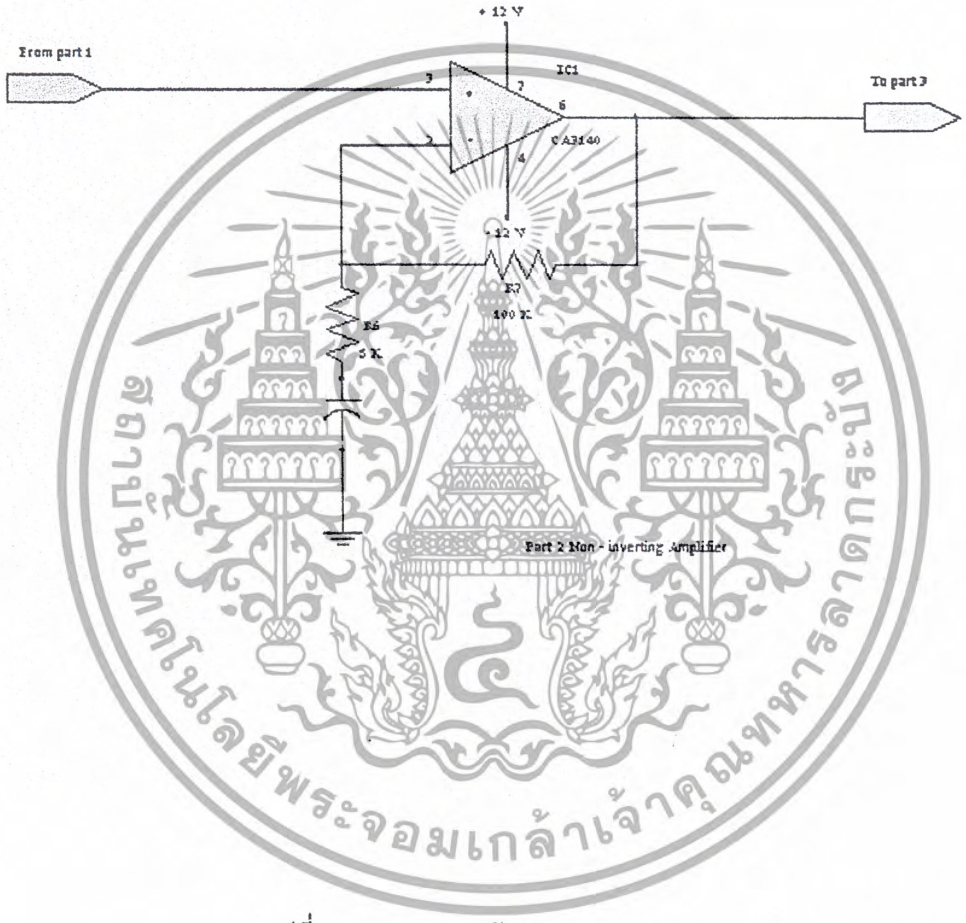
5.3.3 วงจรกรองสัญญาณ (Full Wave Rectifier) มีวงจรดังรูปที่ 5.6

หลังจากทำการขยายสัญญาณแล้ว ก็นำมาเข้าวงจรกรองสัญญาณ เพื่อเปลี่ยนสัญญาณ sine ให้เป็นสัญญาณไฟตรง (DC) โดยใช้วงจร Full Wave Rectifier ซึ่งจะใช้ OP AMP 2 ตัว คือ IC_4 และ IC_5 โดย IC แต่ละตัวจะทำงานคนละซีกของสัญญาณที่เข้ามาเมื่อได้สัญญาณเป็น Full Wave แล้วก็ใช้ C_7 กรองสัญญาณให้เรียบ และในวงจรนี้ยังมีการขยายสัญญาณขึ้นอีก 4/3 เท่า หลังจากนั้นเมื่อได้สัญญาณไฟตรง (DC) แล้วก็จะนำไปเข้าวงจรเปรียบเทียบแรงดันต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 วงจรกำเนิดสัญญาณชายน์และภาครับ (Oscillator)

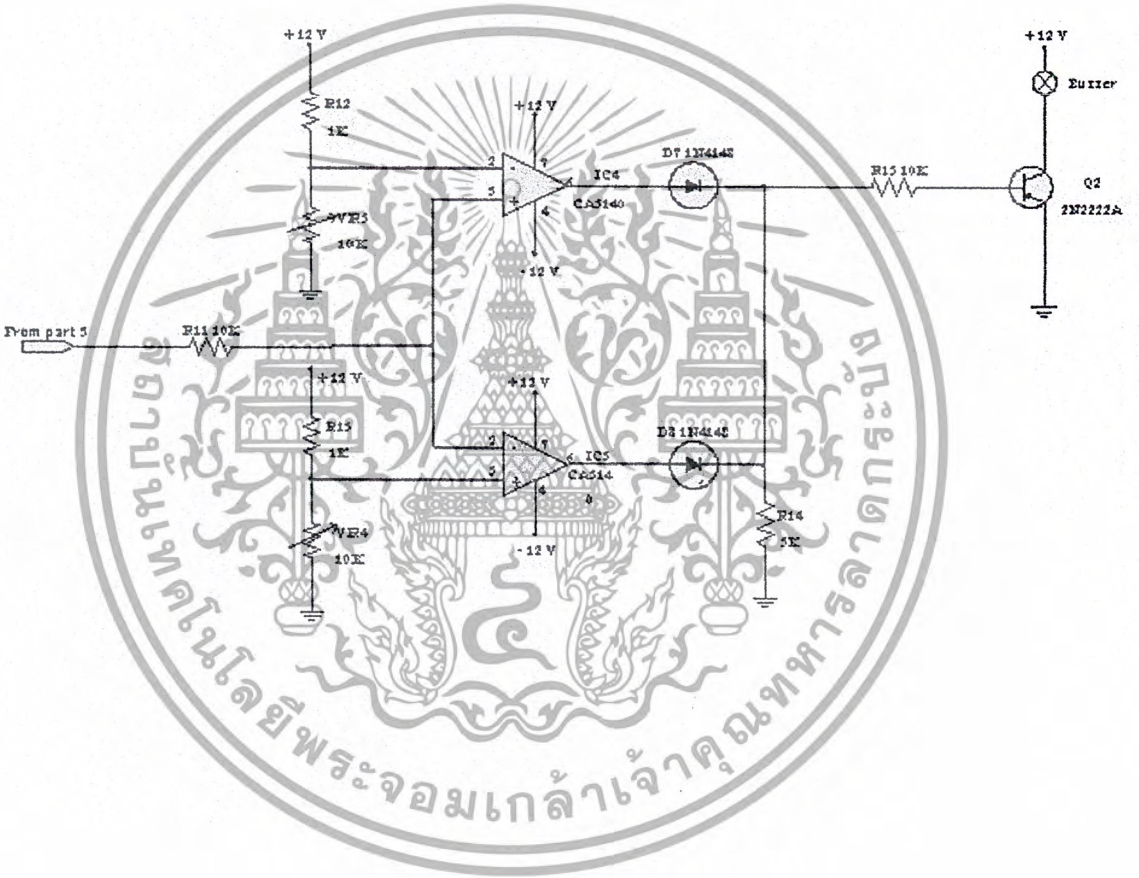


รูปที่ 5.5 วงจรขยายสัญญาณ (Non – Inverting Amplifier)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รูปที่ 5.6 วงจรกรองสัญญาณ (Full Wave Rectifier)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



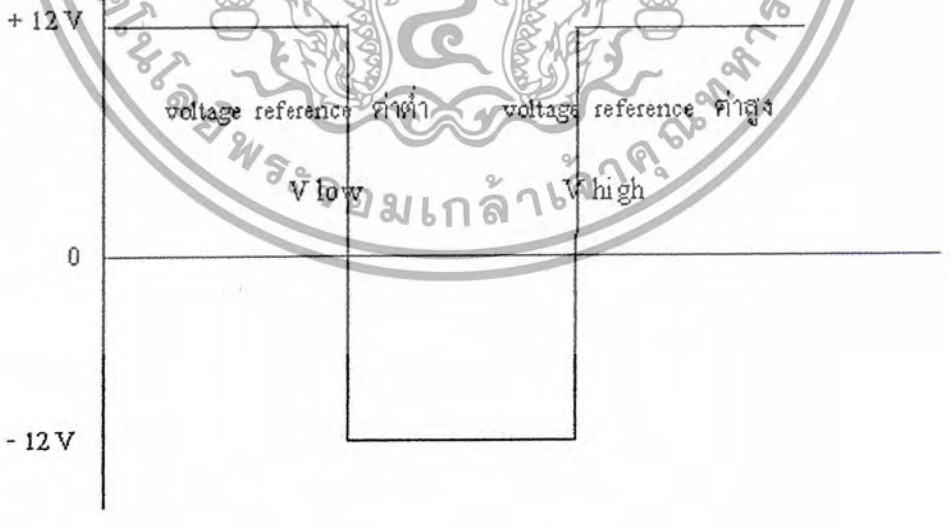
รูปที่ 5.7 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator)

5.3.4 วงจรเปรียบเทียบแรงดัน (Comparator) และแสดงผล มีวงจรดังรูปที่ 5.7

เมื่อเปลี่ยนสัญญาณ sine เป็นสัญญาณไฟตรง (DC) แล้ว ก็นำมาเข้าวงจรเปรียบเทียบแรงดัน โดยใช้ Comparator ซึ่งวงจรมีการทำงานดังนี้

ในส่วนของ voltage reference ค่าสูง (V_{high}) และ voltage reference ค่าต่ำ (V_{low}) จะเป็นแรงดันอ้างอิงคงที่ ซึ่งปรับได้จาก VR_3 และ VR_4 ตามลำดับ (โดย voltage reference ค่าสูง V_{high} ต้องมีค่ามากกว่า voltage reference ค่าต่ำ V_{low}) เมื่อมีสัญญาณ input เข้ามา มีแรงดันน้อยกว่า V_{low} จะทำให้ได้ output ของ IC_4 เป็น low (- 12 V) และ output ของ IC_5 เป็น high (+ 12 V) และ output จะรวมเป็น high

เมื่อสัญญาณ input มีค่าแรงดันมากกว่า voltage reference ค่าต่ำ V_{low} แต่น้อยกว่า voltage reference ค่าสูง V_{high} จะทำให้ได้ output ของ IC_4 เป็น low และ output ของ IC_5 เป็น low และ output รวมเป็น low แต่เมื่อสัญญาณ input มีค่าแรงดันมากกว่า voltage reference ค่าสูง V_{high} จะทำให้ได้ output ของ IC_4 เป็น high และ output ของ IC_5 เป็น low และ output รวมเป็น high ซึ่งสามารถแสดงสัญญาณ output ของวงจรในส่วนนี้ได้ดังรูป



รูปที่ 5.8 สัญญาณ output ของวงจร Comparator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้สัญญาณ output ดังในรูปแล้ว ก็นำไปป้อนให้กับตัว Buzzer เพื่อให้แสดงผลโดยใช้ทรานซิสเตอร์เป็นตัวสวิทช์ ซึ่งมีการทำงานดังนี้

เมื่อมีสัญญาณ output รวมเป็น high (+ 12V) จะทำให้มีกระแส bias ทรานซิสเตอร์ให้ทำงาน (ON) ขาคอลเลคเตอร์ของจะมี voltage เท่ากับขาอิมิตเตอร์ คือเท่ากับ 0 V ทำให้ voltage คร่อม Buzzer เท่ากับ 12 V Buzzer จะทำงานโดยมีเสียงออกมาแต่เมื่อสัญญาณ output เป็น low (- 12 V) ก็จะไม่มีกระแส bias ให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน (off) ขาคอลเลคเตอร์เสมือนปล่อยลอย Buzzer จึงไม่ทำงาน ก็จะไม่มีเสียงออกม!

การใช้งานและการทำงานของส่วนตรวจจับโลหะ

ขั้นแรก เราต้องปรับให้ค่า voltage reference ค่าสูง V_{high} และ voltage reference ค่าต่ำ V_{low} อยู่ระหว่างค่าของสัญญาณไฟตรง (DC) ที่ได้จากวงจร Full Wave Rectifier โดยปรับให้แคบที่สุด ซึ่งขณะนี้จะได้สัญญาณ output ของวงจร Comparator เป็น low ทำให้ Buzzer ยังไม่ทำงาน

จากนั้น เมื่อมีโลหะเข้าใกล้ขดลวด (search coil) จะทำให้สัญญาณที่รับได้เกิดการเปลี่ยนแปลง มีผลทำให้ระดับของสัญญาณไฟตรง (DC) เปลี่ยนแปลงด้วยจนเลยหรือออกนอกขอบเขตของ voltage reference ค่าสูง V_{high} หรือ voltage reference ค่าต่ำ V_{low} จะทำให้ได้สัญญาณ output ของวงจร Comparator เป็น high ซึ่งจะไปขับให้ Buzzer ทำงานส่งเสียงร้องบอก เราก็จะทราบทันทีว่ามี โลหะอยู่ใกล้รัศมีของขดลวด(search coil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

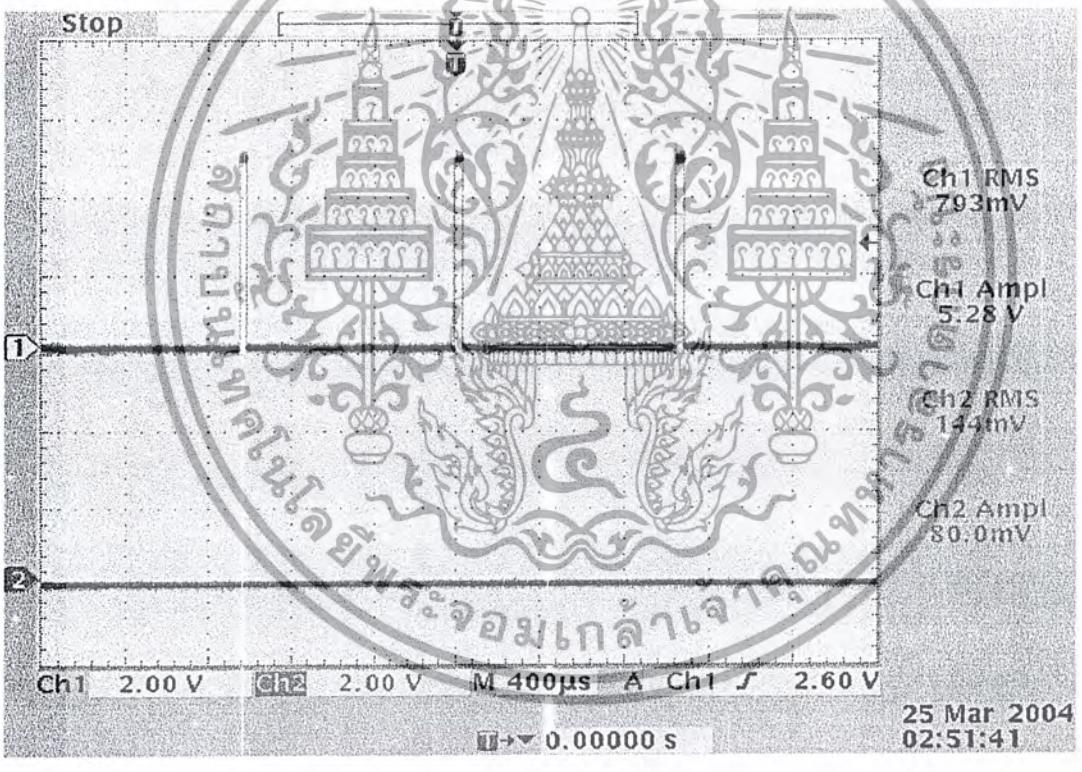
บทที่6

6.1 ผลการทดลองในส่วนรถ

ในการทดลองควบคุมการเคลื่อนที่ของรถโดยการควบคุมการป้อนค่าพัลซ์ให้กับมอเตอร์ดีซีซึ่งสามารถควบคุมทิศทางและความเร็วได้โดยอาศัยความแตกต่างของค่าพัลส์ซึ่งสามารถแสดงกราฟของการควบคุมทิศทางและความเร็วได้ดังนี้

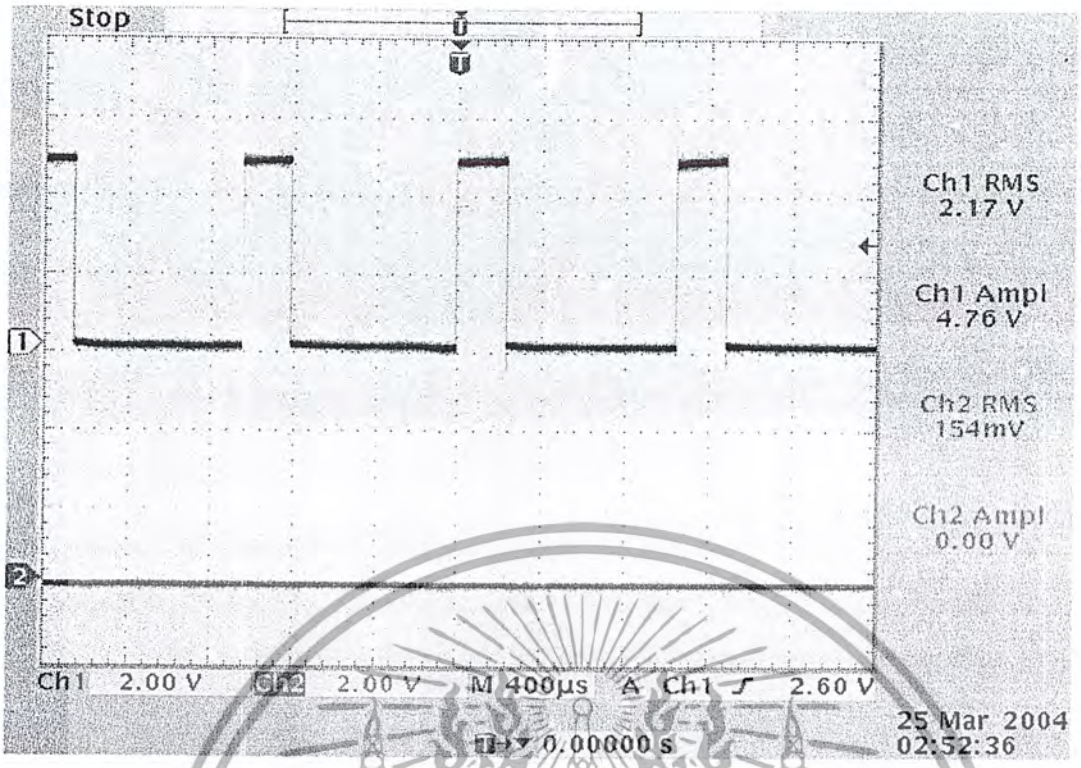
เดินหน้า

เมื่อรถเดินหน้าและเพิ่มความเร็วไปเรื่อย ๆ

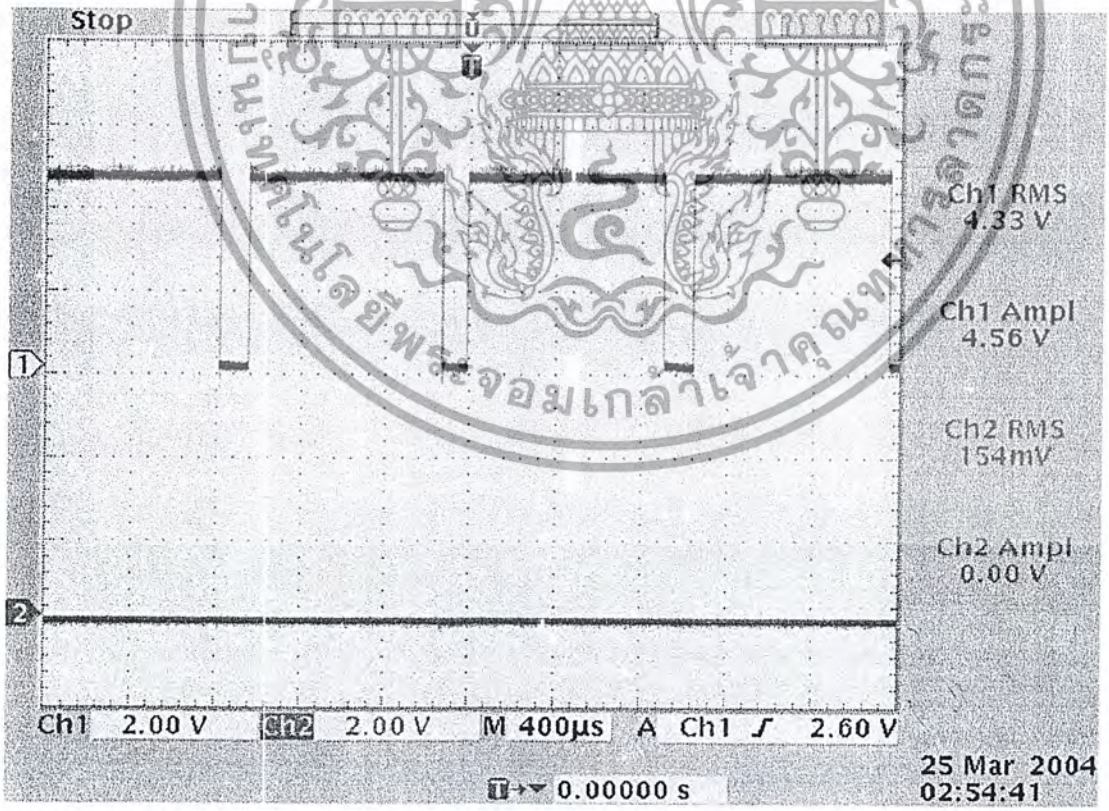


รูปที่ 6.1 แสดงกราฟเมื่อรถเดินหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 แสดงกราฟเมื่อรถเดินหน้าและเร็วขึ้น

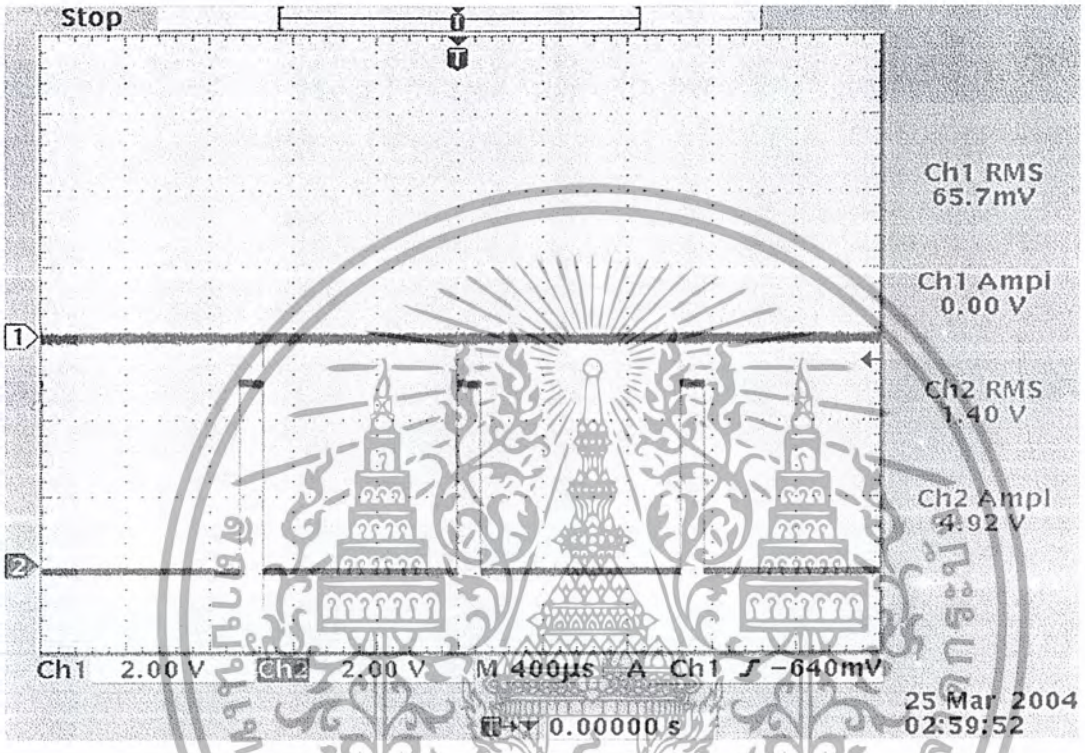


รูปที่ 6.3 แสดงกราฟเมื่อรถเดินหน้าและเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

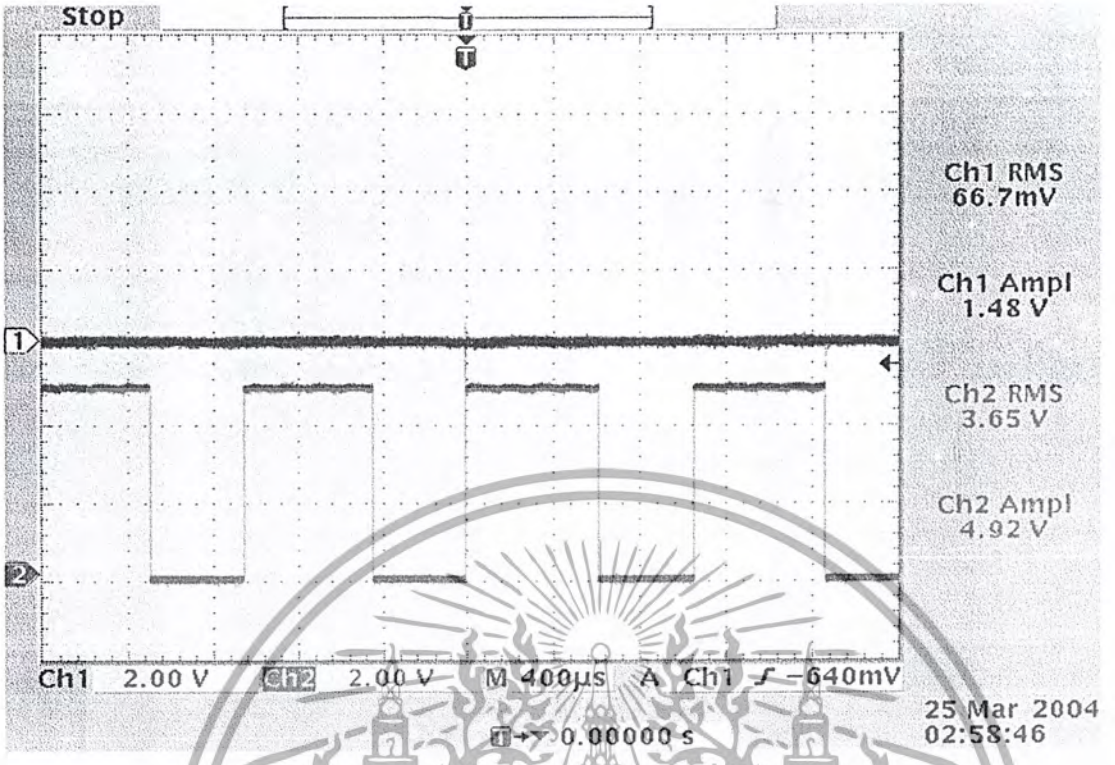
ถอยหลัง

เมื่อรถถอยหลังและเพิ่มความเร็วไปเรื่อย ๆ

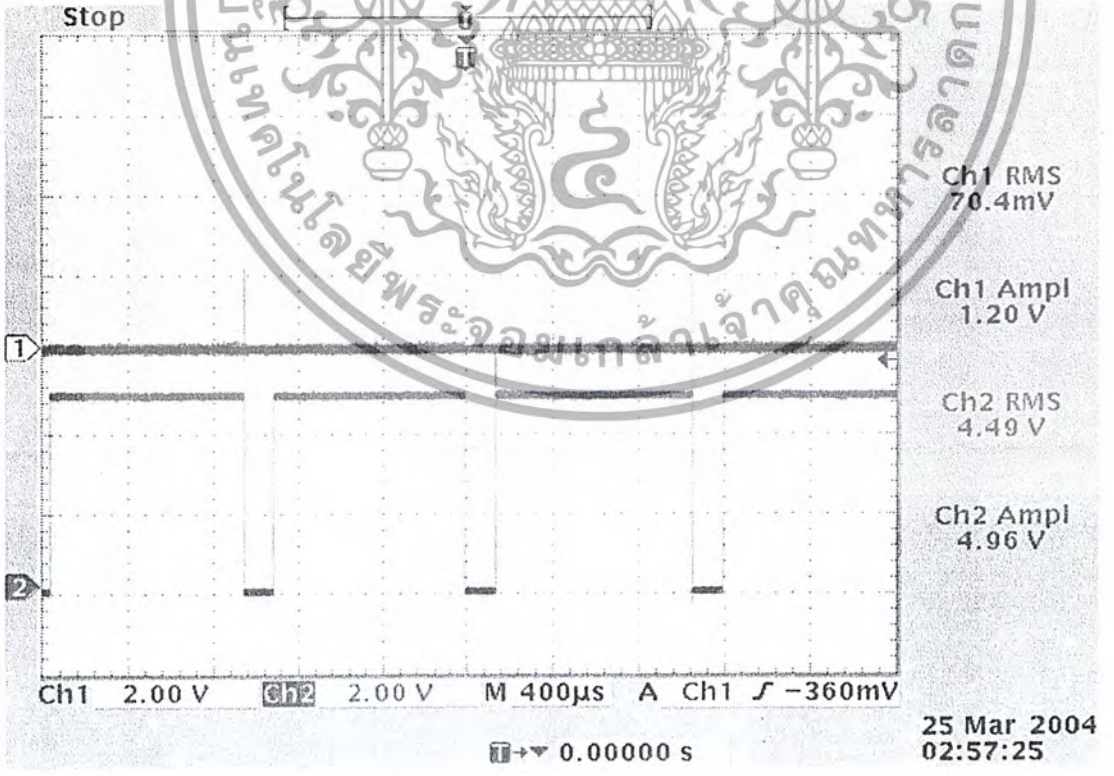


รูปที่ 6.4 แสดงกราฟเมื่อรถถอยหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



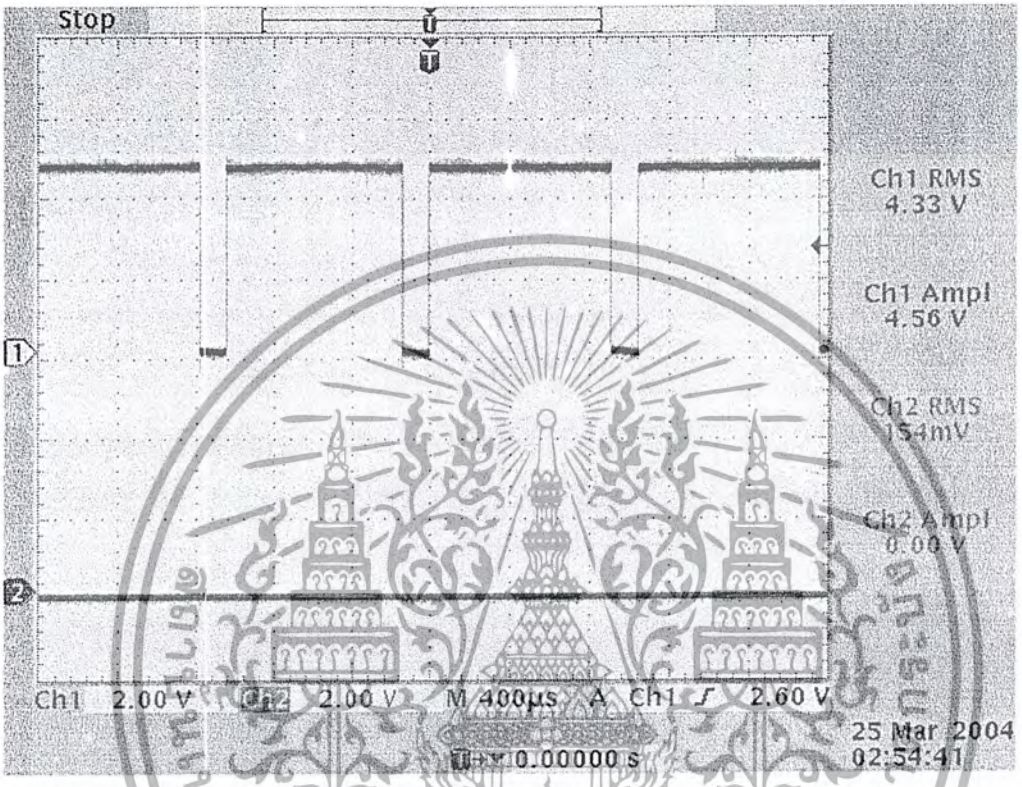
รูปที่ 6.5 แสดงกราฟเมื่อรถถอยหลังและเร็วขึ้น



รูปที่ 6.6 แสดงกราฟเมื่อรถถอยหลังและเร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

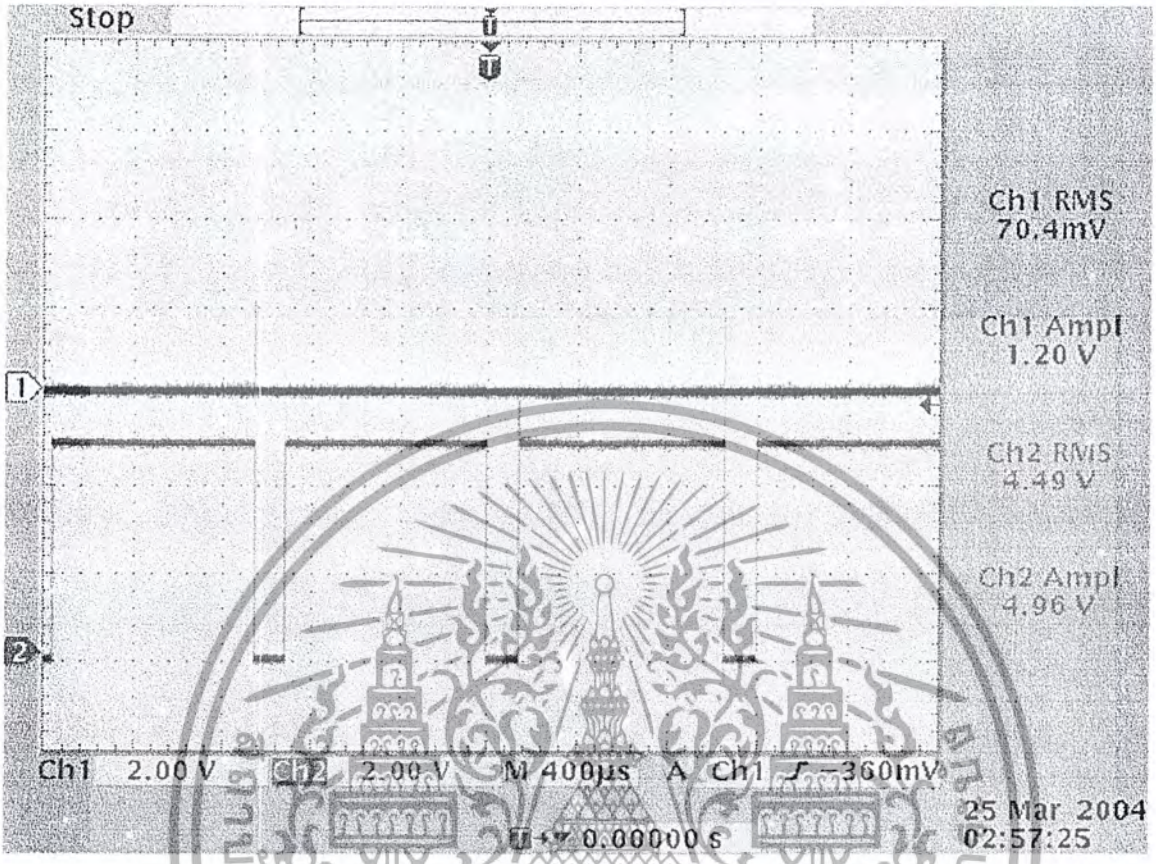
เลี้ยวซ้าย
เมื่อรถเลี้ยวซ้าย
มอเตอร์ด้านขวา



รูปที่ 6.7 แสดงกราฟเมื่อรถเลี้ยวซ้ายโดยเป็นรูปมอเตอร์ด้านขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ด้านซ้าย



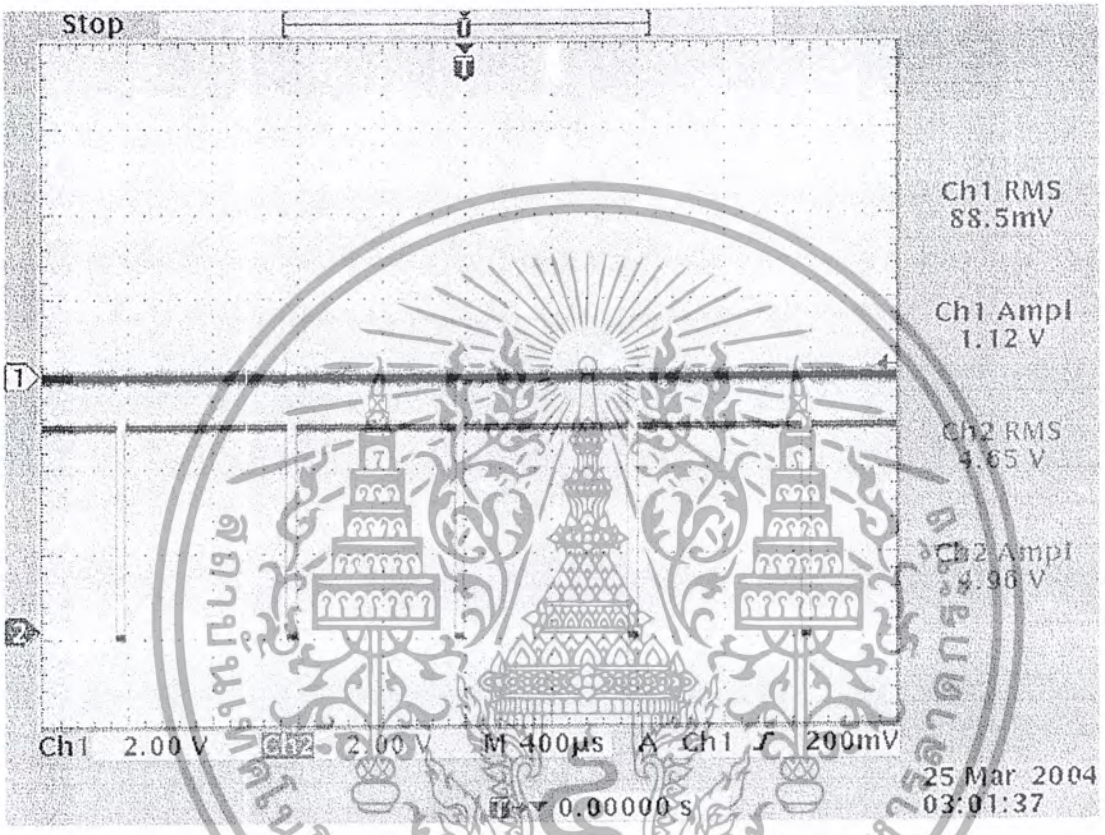
รูปที่ 6.8 แสดงกราฟเมื่อรถเลี้ยวซ้ายโดยเป็นรูปมอเตอร์ด้านซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลี้ยวขวา

เมื่อรถเลี้ยวขวา

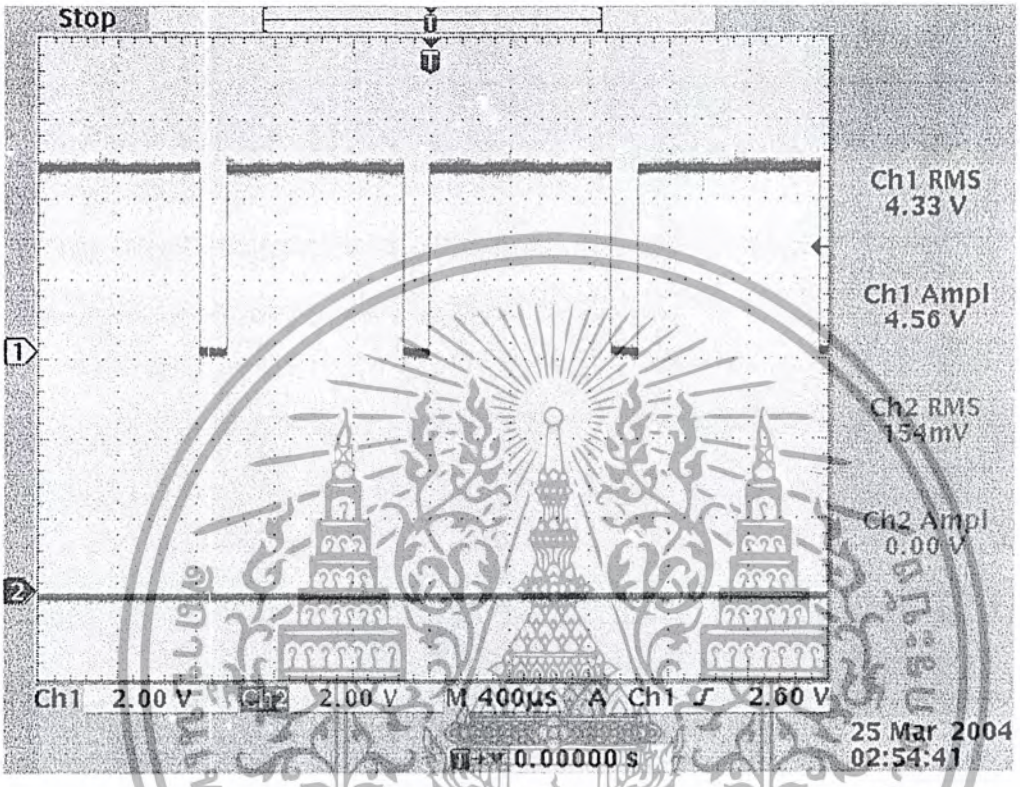
มอเตอร์ด้านซ้าย



รูปที่ 6.9 แสดงกราฟเมื่อรถเลี้ยวขวาโดยเป็นรูปมอเตอร์ด้านซ้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มอเตอร์ด้านขวา



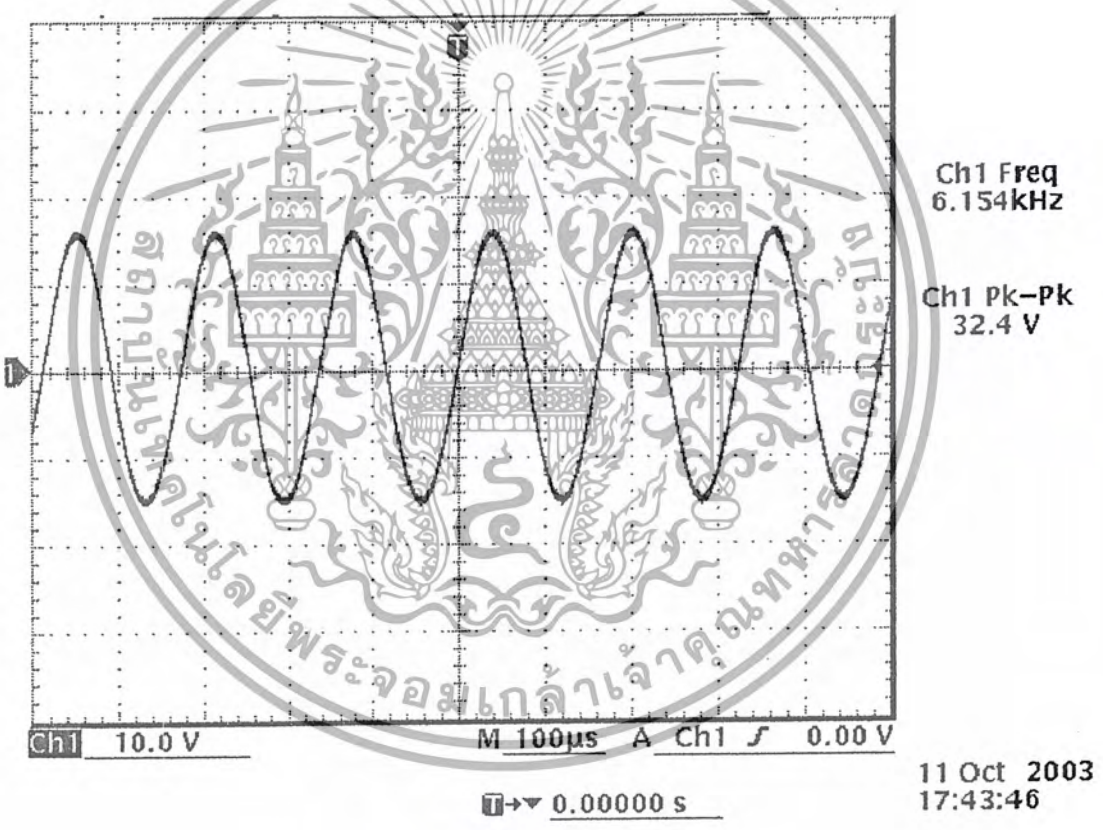
รูปที่ 6.10 แสดงกราฟเมื่อรถเลี้ยวขวาโดยเปรียบมอเตอร์ด้านขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 ผลการทดลองในส่วนตรวจจับโลหะ

เมื่อทดลองต่อวงจรแล้วทำการวัดสัญญาณ ณ. จุดต่างๆ ในวงจรสามารถแสดงสัญญาณที่ตำแหน่งต่างๆ ได้ดังนี้

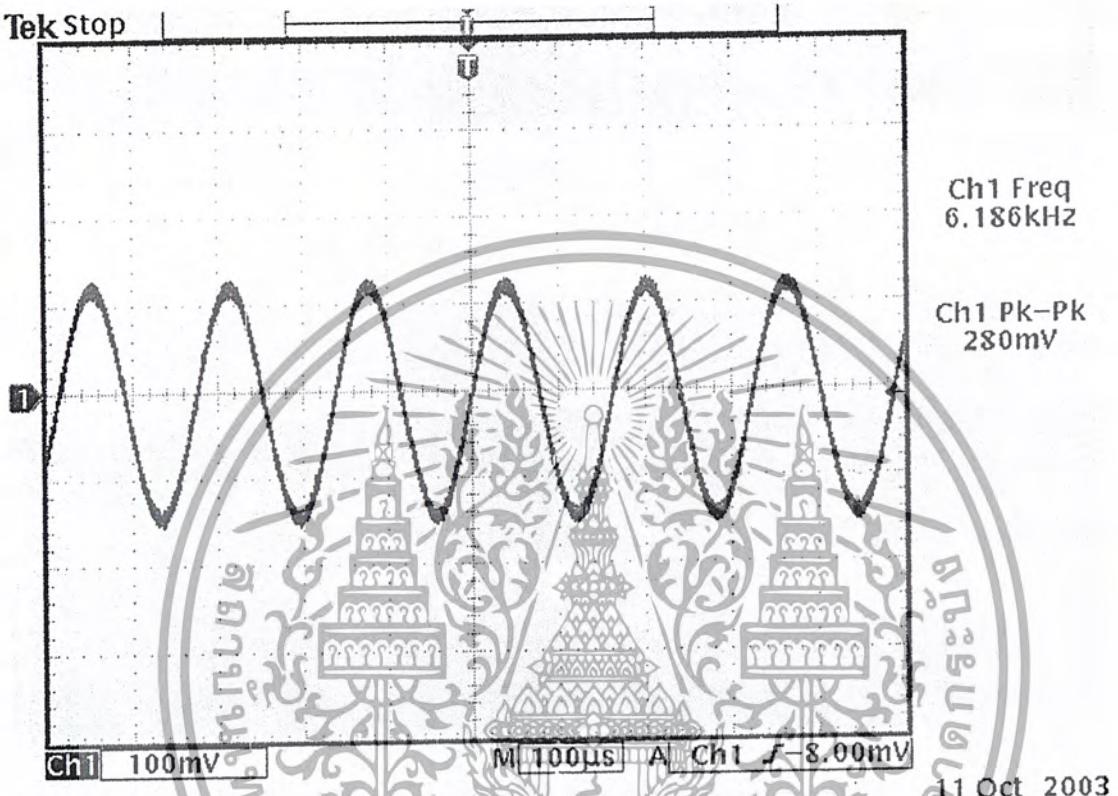
1. สัญญาณที่ภาคส่ง (Transmit Coil) จะเป็นสัญญาณ sine wave มีความถี่ประมาณ 6 KHz ซึ่งความถี่นี้จะขึ้นอยู่กับ จำนวนรอบของขดลวดและขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของขดลวด ดังรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 สัญญาณที่ภาคส่ง (Transmit Coil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

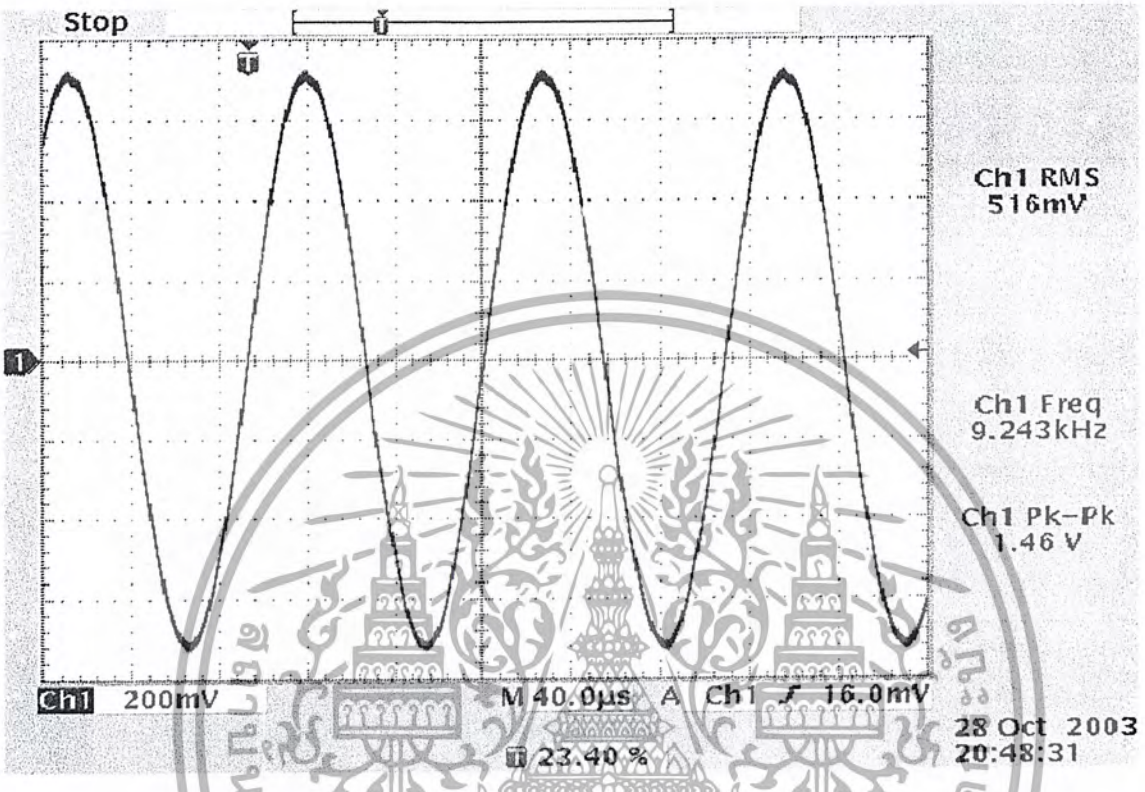
2. สัญญาณที่ภาครับ (Receive Coil) จะมีสัญญาณเหมือนที่ภาคส่ง แต่มีขนาดแอมปลิจูดลดลงไปบ้าง เนื่องจากการสูญเสียในอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 6.12



รูปที่ 6.12 สัญญาณที่ภาครับ (Receive Coil)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

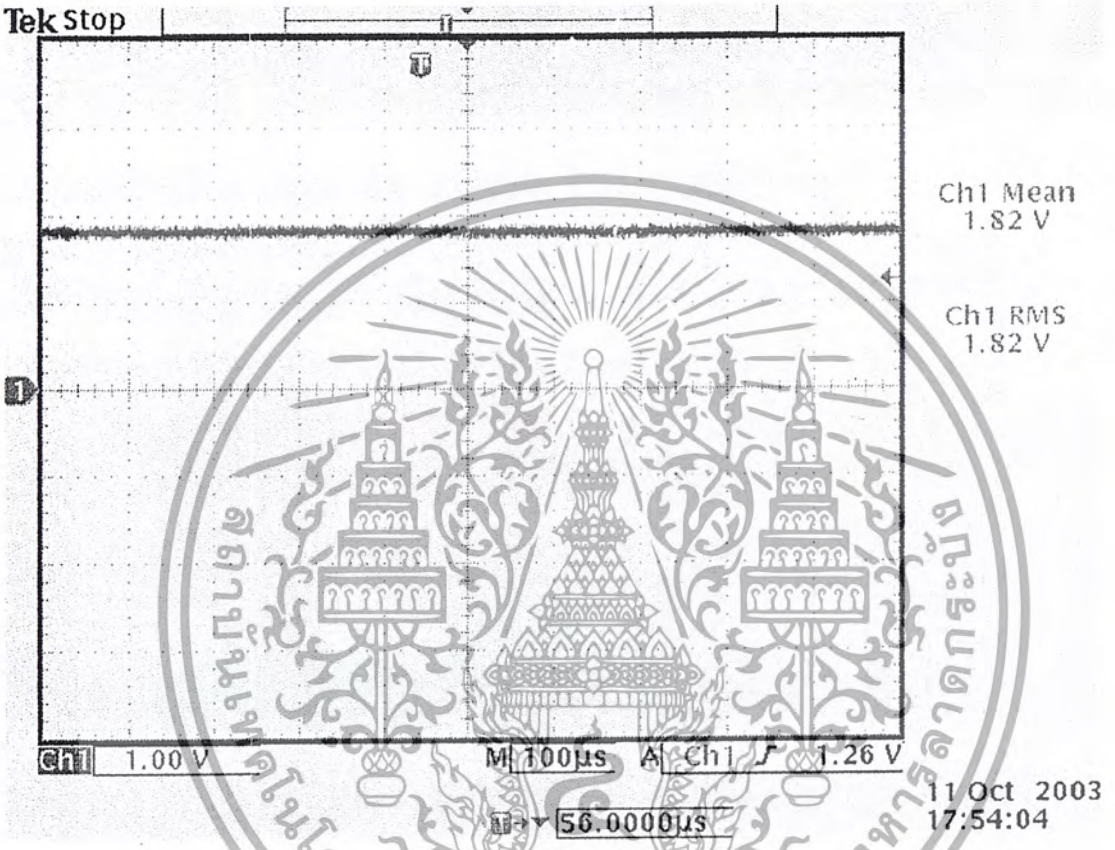
3. สัญญาณ Output ของวงจรขยาย จะมีเฟสและความถี่เหมือนกับสัญญาณ input แต่จะมีขนาดแอมปลิจูดเพิ่มขึ้น 20 เท่า ดังรูปที่ 6.13



รูปที่ 6.13 สัญญาณ Output ของวงจรขยาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

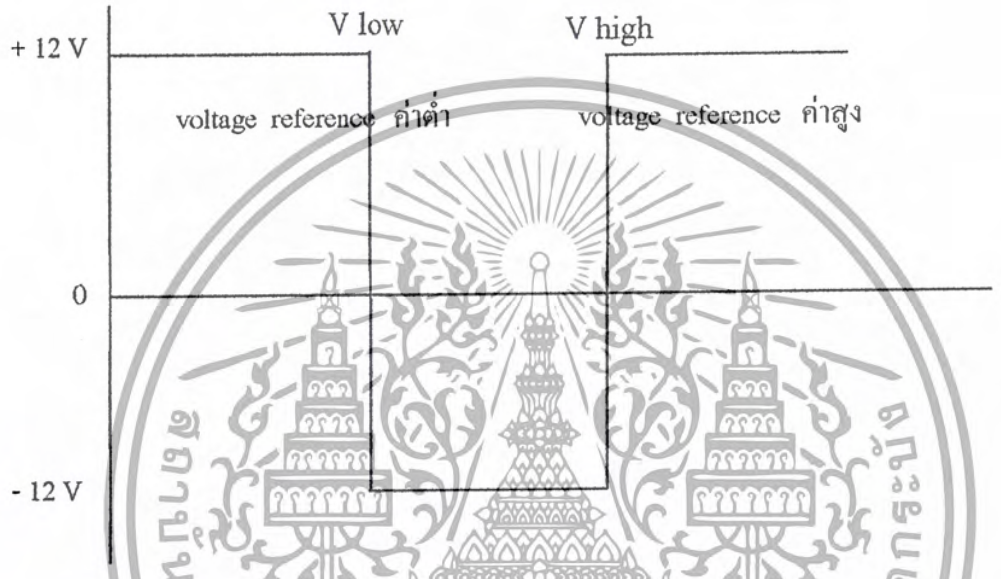
4 . สัญญาณ Output ของวงจรกรองสัญญาณจะได้เป็นสัญญาณไฟตรง (DC) จะมีขนาดประมาณ 8 ดังรูปที่ 6.14



รูปที่ 6.14 สัญญาณ Output ของวงจรกรองสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. สัญญาณ Output ของ Comparator ถ้าสัญญาณไฟตรง (DC)อยู่ในช่วง voltage reference ค่าสูงV_{high} และ voltage reference ค่าต่ำV_{low} แล้วจะได้ Output เป็น -12V แต่ถ้าสัญญาณไฟตรง (DC) มีค่ามากกว่า voltage reference ค่าสูง V_{high} หรือน้อยกว่า voltage reference ค่าต่ำ V_{low} แล้วจะได้ เป็น +12V ดังรูปที่ 6.15



รูปที่ 6.15 สัญญาณ Output ของ Comparator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำส่วนตรวจจับโลหะนี้ ไปทดลองกับโลหะต่างๆ แล้ววัดระยะที่สามารถตรวจจับโลหะนั้นได้ จะได้ผลดังตารางข้างล่างนี้

ระยะทางที่เครื่องสามารถตรวจจับได้เมื่อทดลองกับโลหะต่าง ๆ ได้ผลดังนี้

ชนิดโลหะ	ระยะ (ซม.)
เหรียญ 1 บาท	5
เหรียญ 5 บาท	8
เหรียญ 10 บาท	10
แผ่นเหล็กขนาด 6 x 5 ซม.	15
เหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ซม.	20
แผ่นอลูมิเนียมขนาด 5 x 1.5 ซม.	5
น๊อตเกลียวยาว 1.5 นิ้ว	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่7

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. รถสามารถควบคุมได้ตามต้องการและได้ระยะไกลประมาณ 15 เมตร
2. จากการทดลองพบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของส่วนตรวจจับโลหะ คือ
   - ความเข้มของสนามแม่เหล็กบริเวณขดลวด ถ้าสนามแม่เหล็กมีความเข้มมากเกินไป และกระจายไปได้บริเวณกว้างจะทำให้ความไวในการตรวจจับดีขึ้น การเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนรอบของขดลวด กระแสที่จ่ายให้ขดลวด แต่การทำเช่นนี้ จะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ไปในขดลวด ทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง ฉะนั้นการกำหนดจำนวนรอบ และกระแสที่จ่ายให้กับขดลวดนั้น ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบว่า ต้องการให้เครื่องตรวจจับนี้มีประสิทธิภาพในการตรวจจับมากน้อยเพียงใด
   - ขนาดของเส้นลวดที่ใช้พัน ควรมีขนาดใหญ่ และต้องพันขดลวดให้มีจำนวนรอบที่มากพอ เพื่อให้ได้ความเข้มของสนามแม่เหล็กมากๆ และการพันให้ขดลวดให้มีรัศมีกว้าง ทำให้ตรวจจับได้ในบริเวณกว้าง แต่การเลือกใช้ขดลวดที่มีขนาดใหญ่เกินไป ทำให้มีน้ำหนักมากและต้องจ่ายกระแสมากขึ้นตามไปด้วยเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน
   - ตำแหน่งที่วางขดลวดรับและส่ง การจัดวางตำแหน่งของขดลวดทั้งสองมีผลต่อประสิทธิภาพในการตรวจจับอย่างมาก โดยจะต้องจัดวางขดลวดในตำแหน่งที่ทำให้สัญญาณที่ขดรับมีแอมปลิจูดน้อยที่สุดในขณะที่ไม่มี โลหะ และต้องทำการยึดขดลวดที่ได้จัดตำแหน่งเรียบร้อย เพื่อป้องกันไม่ให้การเคลื่อนที่ของขดรับ ซึ่งมีผลอย่างมากต่อสัญญาณที่ขดรับ ทำให้ประสิทธิภาพลดน้อยลง
   - ความถี่ของออสซิเลตของขดส่ง ตามปกติแล้วจะอยู่ระหว่าง 85 KHz ถึง 150 KHz ความถี่ในย่านนี้ จะทำให้ไวในการตรวจจับสูง แต่มีข้อเสียคือ ถ้าในบริเวณที่ใช้ตรวจจับเป็นดินที่มีแร่ธาตุผสมอยู่มาก จะทำให้เครื่องให้สัญญาณที่ผิดพลาดได้ สามารถแก้ไขได้โดยทำการลดความถี่ในการออสซิเลตของขดส่ง ที่ความถี่ระหว่าง 3 – 6 KHz ซึ่งทำให้ความไวในการตรวจจับลดลงไปด้วย
   - ขนาดของวัตถุที่ตรวจจับ มีผลต่อระยะห่างที่สามารถตรวจจับได้ นั่นคือ ถ้าวัตถุนั้นมีขนาดใหญ่ ระยะที่สามารถตรวจจับได้ก็จะเพิ่มขึ้น
   - การปรับแต่งระหว่างการใช้งานมีผลต่อความไวในการตรวจจับในครั้งนี้ การปรับ Vhigh และ Vlow ให้ใกล้กับระดับสัญญาณไฟตรงมากเท่าไหร่ ก็จะเพิ่มความไวในการตรวจจับ ดังนั้นขณะใช้งานจึงต้องทำการปรับ Vhigh และ Vlow ตลอดเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาของการทำโครงงาน

1. ชุดตรวจจับโลหะเกิดการเปลี่ยนแปลงค่าได้ตลอดเวลาทำให้ไม่คอยเสถียร
2. เกิดปัญหาทางแมคคานิคเนื่องจากไม่ทราบหลักการการออกแบบที่ถูกต้อง
3. กำลังของมอเตอร์ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

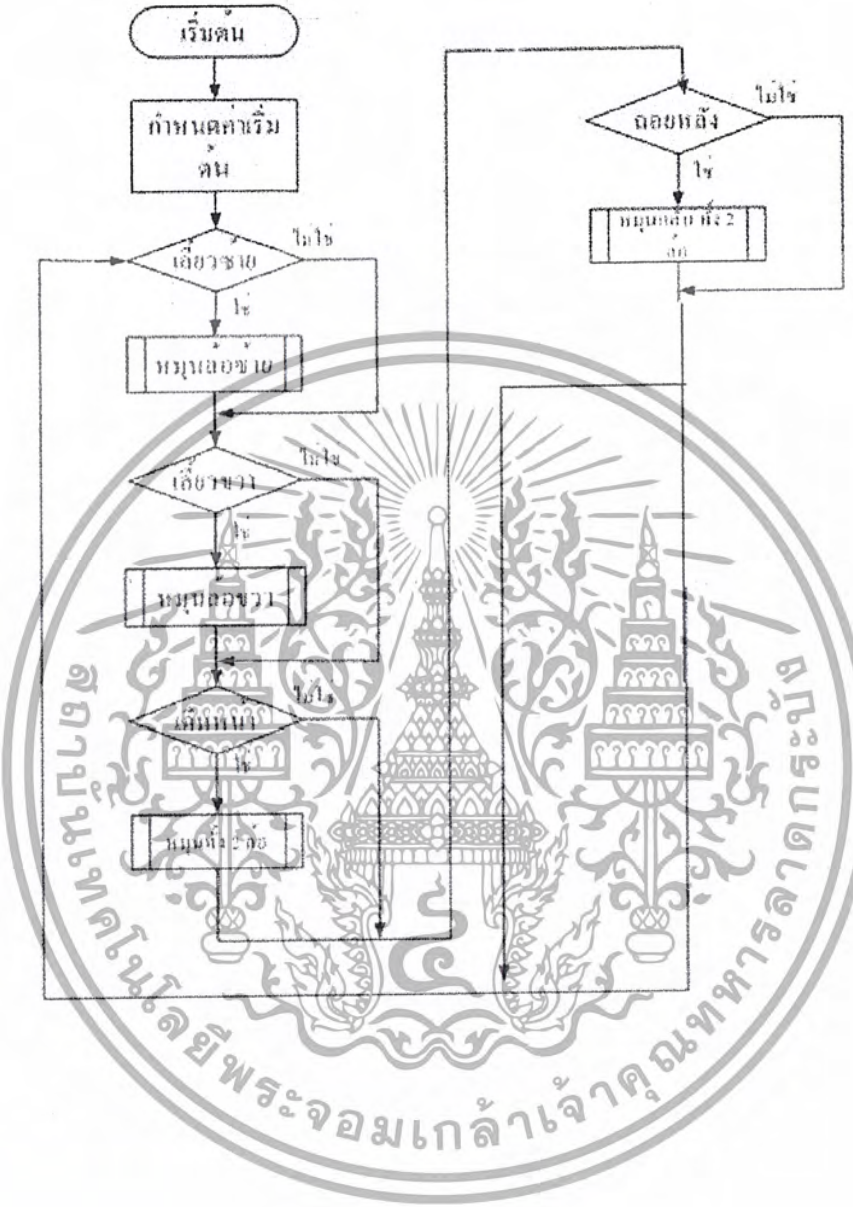
1. Andy Flind . "E.E.Buccaneer Induction Balance Metal Detector" . Everday Electronics.July,1987.page 352-355.
2. The Prof ."METAL DETECTOR" .Practical Electronics Australia. November,1979.page 54-60
3. "ศัพท์เทคนิควิศวกรรมอิเล็กโทรนิคส์"มกราคม 2531 โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOW CHART อธิบายโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมที่ใช้ควบคุม

```
SPEED EQU 40H
STEP    EQU 25D

        ORG   000H
              MOV   P1,#0FFH
              MOV   P0,#00H
              MOV  SPEED,#150D
MAIN:         ;--CHECK KEY SPEED
              JB    P1.4,NEXT1
              JNB   P1.4,$
              MOV   A,SPEED
              CJNE  A,#0FAH,LOOP1
              SJMP  NEXT2
LOOP1:        CJNE  A,#0C8H,EXIT_1
              MOV   SPEED,#250D
              SJMP  NEXT2
EXIT_1:       MOV   A,SPEED
              ADD   A,#STEP
              MOV   SPEED,A
NEXT1:        JB    P1.5,NEXT2
              JNB   P1.5,$
              MOV   A,SPEED
              CJNE  A,#019H,LOOP2
              SJMP  NEXT2
LOOP2:        CJNE  A,#00H,EXIT_2
              MOV   SPEED,#00H
              SJMP  NEXT2
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
EXIT_2:     MOV   A,SPEED
            CLR   C
            SUBB  A,#STEP
            MOV   SPEED,A
NEXT2:      MOV   P3,SPEED
            MOV   A,P1
            ANL   A,#0FH
            CJNE  A,#07H,CHE1
            SJMP  GO
CHE1:       CJNE  A,#05H,CHE2
            SJMP  LEFT
CHE2:       CJNE  A,#03H,CHE3
            SJMP  RIGHT
CHE3:       CJNE  A,#0EH,CHE8
            SJMP  BACK
CHE8:       CJNE  A,#0DH,CHE9
            LJMP  TOP
CHE9:       CJNE  A,#0BH,CER
            LJMP  DOWN
CER:        MOV   P0,#00H
            MOV   P2,#00H
            LJMP  MAIN
ADD_A:      MOV   R1,#01H
            RET
;*********************************************************************
CAL:        MOV   P0,#00H
            MOV   R1,SPEED
            MOV   A,#0FFH
            CLR   C
            SUBB  A,R1
            MOV   R2,A
            MOV   A,R1
```

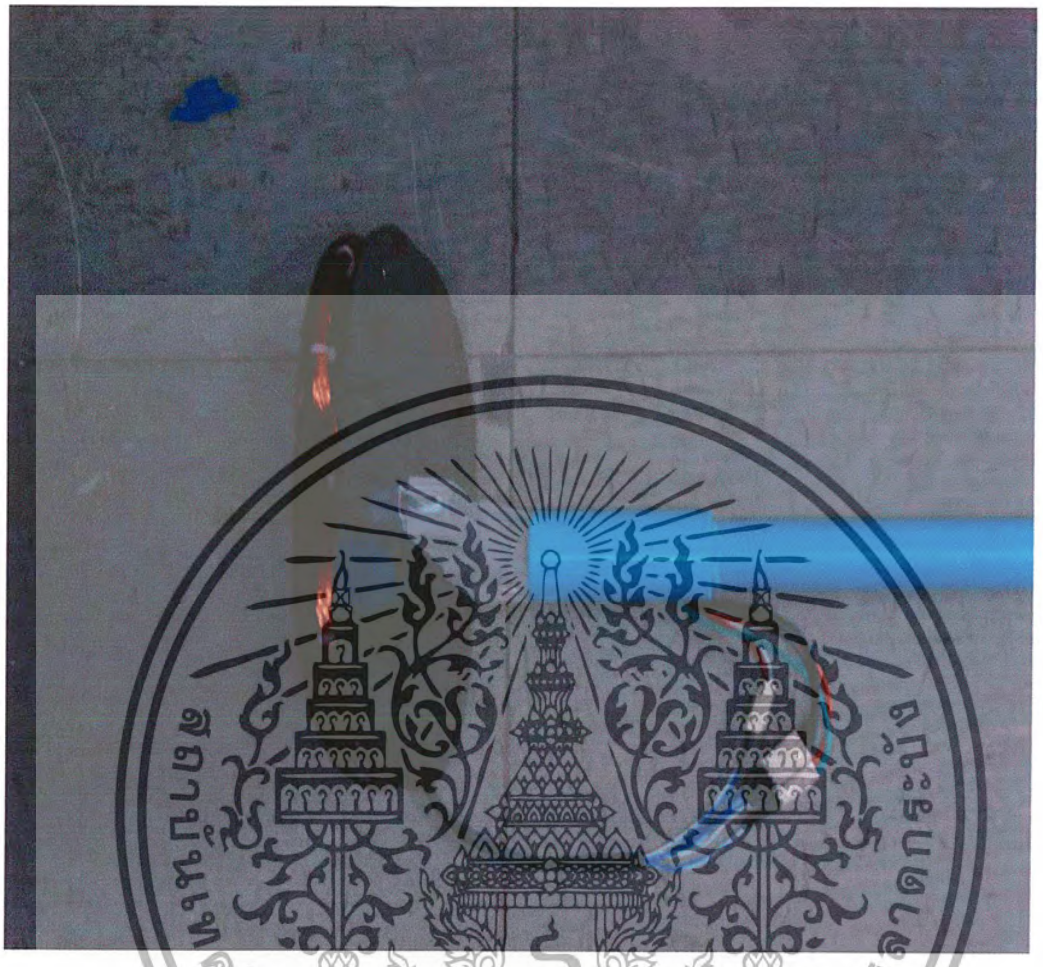
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
                JZ          ADD_A
                RET
GO:             ACALL       CAL
PULSE_ON1:      MOV         P0,#05H
                DJNZ        R1,PULSE_ON1
PULSE_OFF1:     MOV         P0,#00H
                DJNZ        R2,PULSE_OFF1
                LJMP        MAIN
        ;-----------------------------------;
BACK:           ACALL       CAL
PULSE_ON2:      MOV         P0,#0AH
                DJNZ        R1,PULSE_ON2
PULSE_OFF2:     MOV         P0,#00H
                DJNZ        R2,PULSE_OFF2
                LJMP        MAIN
                ;-----------------------------------;
LEFT:           ACALL       CAL
PULSE_ON3:      MOV         P0,#09H
                DJNZ        R1,PULSE_ON3
PULSE_OFF3:     MOV         P0,#00H
                DJNZ        R2,PULSE_OFF3
                LJMP        MAIN
                ;-----------------------------------;

RIGHT:          ACALL       CAL
PULSE_ON4:      MOV         P0,#06H
                DJNZ        R1,PULSE_ON4
PULSE_OFF4:     MOV         P0,#00H
                DJNZ        R2,PULSE_OFF4
                LJMP        MAIN
                ;-----------------------------------;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

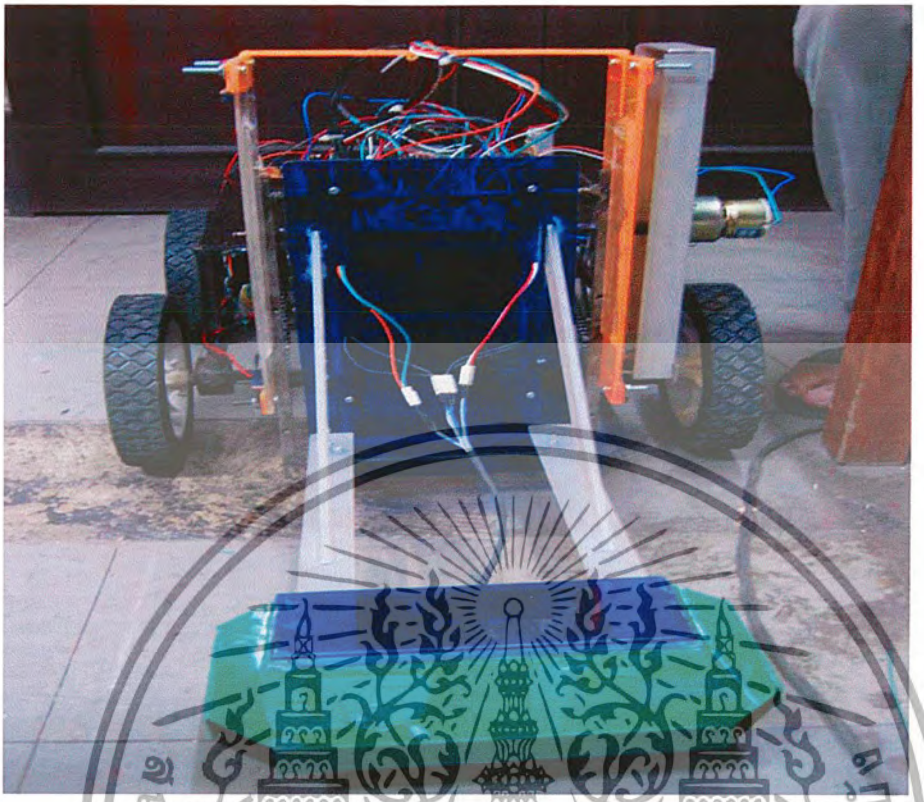
```
SW:     MOV     P0,#00H
        LJMP    MAIN
TOP:    JNB     P1.6,SW
        SETB    P0.4

        JNB     P1.1,TOP
        LJMP    MAIN
DOWN:   JNB     P1.7,SW
        MOV     P0,#20H

        JNB     P1.2,DOWN
        LJMP    MAIN
        END
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



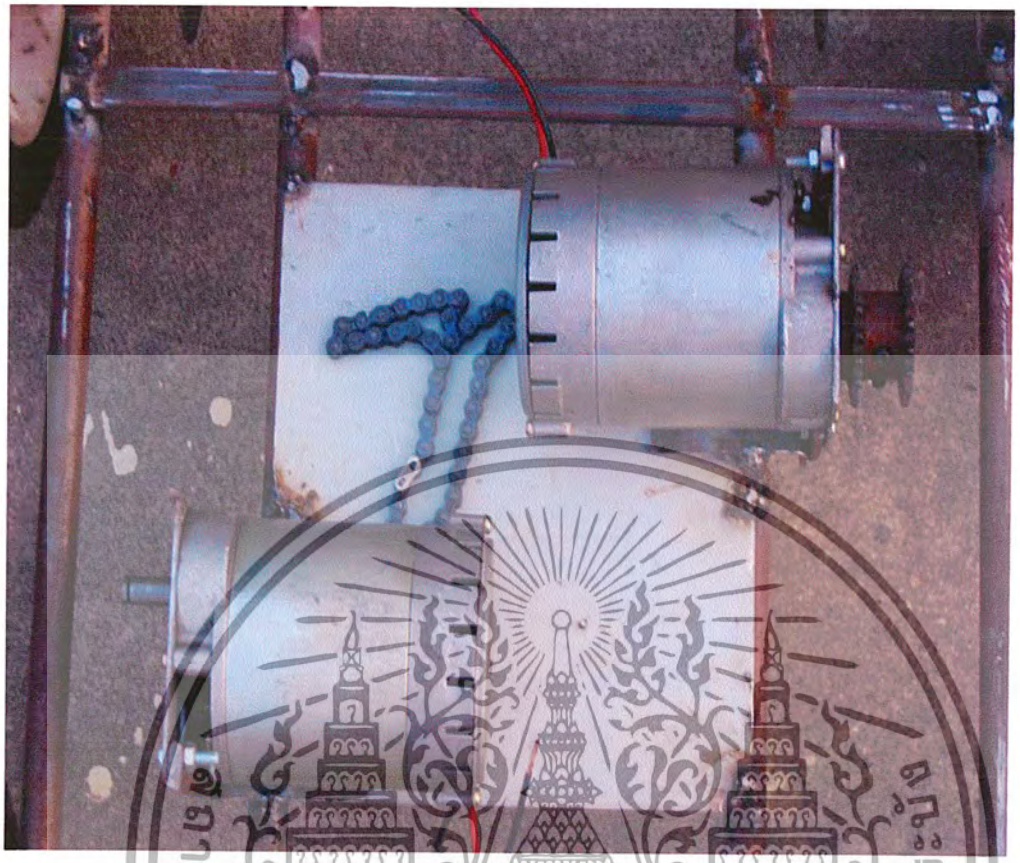
รูปแสดงส่วนขดลวดทองแดงตรวจจับโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงส่วนตรวจจับโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงส่วนมอเตอร์ขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแสดงรถตรวจจับโลหะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DATA SHEET

2N2222; 2N2222A
NPN switching transistors

Product specification

1997 May 29

Supersedes data of September 1994

File under Discrete Semiconductors, SC04

Philips Semiconductors

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN switching transistors | 2N2222; 2N2222A

FEATURES

- High current (max. 800 mA)
- Low voltage (max. 40 V).

APPLICATIONS

- Linear amplification and switching.

DESCRIPTION

NPN switching transistor in a TO-18 metal package.
PNP complement: 2N2907A.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	base
3	collector, connected to case

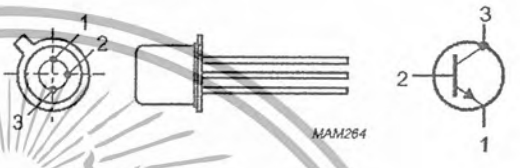


Fig.1 Simplified outline (TO-18) and symbol.

QUICK REFERENCE DATA

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter			
	2N2222		–	60	V
	2N2222A		–	75	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base			
	2N2222		–	30	V
	2N2222A		–	40	V
I_C	collector current (DC)		–	800	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25$ °C	–	500	mW
h_{FE}	DC current gain	I_C = 10 mA; V_{CE} = 10 V	75	–	
f_T	transition frequency	I_C = 20 mA; V_{CE} = 20 V; f = 100 MHz			
	2N2222		250	–	MHz
	2N2222A		300	–	MHz
t_{off}	turn-off time	I_{Con} = 150 mA; I_{Bon} = 15 mA; I_{Boff} = −15 mA	–	250	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter			
	2N2222		–	60	V
	2N2222A		–	75	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base			
	2N2222		–	30	V
	2N2222A		–	40	V
V_{EBO}	emitter-base voltage	open collector			
	2N2222		–	5	V
	2N2222A		–	6	V
I_C	collector current (DC)		–	800	mA
I_{CM}	peak collector current		–	800	mA
I_{BM}	peak base current		–	200	mA
P_{tot}	total power dissipation	$T_{amb} \leq 25$ °C	–	500	mW
		$T_{case} \leq 25$ °C	–	1.2	W
T_{stg}	storage temperature		−65	+150	°C
T_j	junction temperature		–	200	°C
T_{amb}	operating ambient temperature		−65	+150	°C

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j\text{-}a}$	thermal resistance from junction to ambient	in free air	350	K/W
$R_{th\ j\text{-}c}$	thermal resistance from junction to case		146	K/W

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR TM

TIP31 Series(TIP31/31A/31B/31C)

Medium Power Linear Switching Applications

- Complementary to TIP32/32A/32B/32C

1 TO-220

1.Base 2.Collector 3.Emitter

NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : TIP31	40	V
	: TIP31A	60	V
	: TIP31B	80	V
	: TIP31C	100	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : TIP31	40	V
	: TIP31A	60	V
	: TIP31B	80	V
	: TIP31C	100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	3	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	5	A
I_B	Base Current	1	A
P_C	Collector Dissipation (T_C=25°C)	40	W
P_C	Collector Dissipation (T_a=25°C)	2	W
T_J	Junction Temperature	150	°C
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	°C

Electrical Characteristics T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
V_{CEO}(sus)	* Collector-Emitter Sustaining Voltage				
	: TIP31	I_C = 30mA, I_B = 0	40		V
	: TIP31A		60		V
	: TIP31B		80		V
	: TIP31C		100		V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current				
	: TIP31/31A	V_{CE} = 30V, I_B = 0		0.3	mA
	: TIP31B/31C	V_{CE} = 60V, I_B = 0		0.3	mA
I_{CES}	Collector Cut-off Current				
	: TIP31	V_{CE} = 40V, V_{EB} = 0		200	µA
	: TIP31A	V_{CE} = 60V, V_{EB} = 0		200	µA
	: TIP31B	V_{CE} = 80V, V_{EB} = 0		200	µA
	: TIP31C	V_{CE} = 100V, V_{EB} = 0		200	µA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	V_{EB} = 5V, I_C = 0		1	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	V_{CE} = 4V, I_C = 1A	25		
		V_{CE} = 4V, I_C = 3A	10	50	
V_{CE}(sat)	* Collector-Emitter Saturation Voltage	I_C = 3A, I_B = 375mA		1.2	V
V_{BE}(sat)	* Base-Emitter Saturation Voltage	V_{CE} = 4V, I_C = 3A		1.8	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	V_{CE} = 10V, I_C = 500mA	3.0		MHz

* Pulse Test: PW≤300µs, Duty Cycle≤2%

©2000 Fairchild Semiconductor International

Rev. A, February 2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR TM

TIP32 Series(TIP32/32A/32B/32C)

Medium Power Linear Switching Applications

- Complement to TIP31/31A/31B/31C

1 TO-220

1.Base 2.Collector 3.Emitter

PNP Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CBO}	Collector-Base Voltage : TIP32	- 40	V
	: TIP32A	- 60	V
	: TIP32B	- 80	V
	: TIP32C	- 100	V
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage : TIP32	- 40	V
	: TIP32A	- 60	V
	: TIP32B	- 80	V
	: TIP32C	- 100	V
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	- 5	V
I_C	Collector Current (DC)	- 3	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	- 5	A
I_B	Base Current	- 3	A
P_C	Collector Dissipation (T_C=25°C)	40	W
P_C	Collector Dissipation (T_a=25°C)	2	W
T_J	Junction Temperature	150	°C
T_{STG}	Storage Temperature	- 65 ~ 150	°C

Electrical Characteristics T_C=25°C unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Max.	Units
V_{CEO}(sus)	* Collector-Emitter Sustaining Voltage				
	: TIP32	I_C = - 30mA, I_B = 0	-40		V
	: TIP32A		-60		V
	: TIP32B		-80		V
	: TIP32C		-100		V
I_{CEO}	Collector Cut-off Current				
	: TIP32/32A	V_{CE} = - 30V, I_B = 0		- 0.3	mA
	: TIP32B/32C	V_{CE} = - 60V, I_B = 0		- 0.3	mA
I_{CES}	Collector Cut-off Current				
	: TIP32	V_{CE} = - 40V, V_{EB} = 0		- 200	µA
	: TIP32A	V_{CE} = - 60V, V_{EB} = 0		- 200	µA
	: TIP32B	V_{CE} = - 80V, V_{EB} = 0		- 200	µA
	: TIP32C	V_{CE} = - 100V, V_{CE} = 0		- 200	µA
I_{EBO}	Emitter Cut-off Current	V_{EB} = - 5V, I_C = 0		- 1	mA
h_{FE}	* DC Current Gain	V_{CE} = - 4V, I_C = - 1A	25		
		V_{CE} = - 4V, I_C = - 3A	10	50	
V_{CE}(sat)	* Collector-Emitter Saturation Voltage	I_C = - 3A, I_B = - 375mA		- 1.2	V
V_{BE}(sat)	* Base-Emitter Saturation Voltage	V_{CE} = - 4V, I_C = - 3A		- 1.8	V
f_T	Current Gain Bandwidth Product	V_{CE} = - 10V, I_C = - 500mA	3.0		MHz

* Pulse Test: PW≤300µs, Duty Cycle≤2%

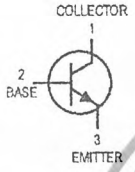
©2000 Fairchild Semiconductor International

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Order this document
by BC182/D

Amplifier Transistors
NPN Silicon

BC182,A,B
BC183
BC184



CASE 29–04, STYLE 17
TO–92 (TO–226AA)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC 182	BC 183	BC 184	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	50	30	30	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CBO}	60	45	45	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EBO}	6.0			Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	100			mAdc
Total Device Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	350 2.8			mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T_C = 25°C Derate above 25°C	P_D	1.0 8.0			Watts mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	−55 to +150			°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	357	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	125	°C/W

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS						
Collector–Emitter Breakdown Voltage (I_C = 2.0 mA, I_B = 0)	BC182	$V_{(BR)CEO}$	50	—	—	V
	BC183		30	—	—	
	BC184		30	—	—	
Collector–Base Breakdown Voltage (I_C = 10 µA, I_E = 0)	BC182	$V_{(BR)CBO}$	60	—	—	V
	BC183		45	—	—	
	BC184		45	—	—	
Emitter–Base Breakdown Voltage (I_E = 100 µA, I_C = 0)		$V_{(BR)EBO}$	6.0	—	—	V
Collector Cutoff Current (V_{CB} = 50 V, V_{BE} = 0)	BC182	I_{CBO}	—	0.2	15	nA
(V_{CB} = 30 V, V_{BE} = 0)	BC183		—	0.2	15	
	BC184		—	0.2	15	
Emitter–Base Leakage Current (V_{EB} = 4.0 V, I_C = 0)		I_{EBO}	—	—	15	nA

© Motorola, Inc. 1996

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_A = 25°C unless otherwise noted) (Continued)

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ON CHARACTERISTICS						
DC Current Gain (I_C = 10 µA, V_{CE} = 5.0 V)	BC182	h_{FE}	40	—	—	—
	BC183		40	—	—	
	BC184		100	—	—	
(I_C = 2.0 mA, V_{CE} = 5.0 V)	BC182		120	—	500	
	BC183		120	—	800	
	BC184		250	—	800	
(I_C = 100 mA, V_{CE} = 5.0 V)	BC182		80	—	—	
	BC183		80	—	—	
	BC184		130	—	—	
Collector–Emitter On Voltage (I_C = 10 mA, I_B = 0.5 mA)		$V_{CE(sat)}$	—	0.07	0.25	V
(I_C = 100 mA, I_B = 5.0 mA)(1)			—	0.2	0.6	
Base–Emitter Saturation Voltage (I_C = 100 mA, I_B = 5.0 mA)(1)		$V_{BE(sat)}$	—	—	1.2	V
Base–Emitter On Voltage (I_C = 100 µA, V_{CE} = 5.0 V)		$V_{BE(on)}$	—	0.5	—	V
(I_C = 2.0 mA, V_{CE} = 5.0 V)			0.55	0.62	0.7	
(I_C = 100 mA, V_{CE} = 5.0 V)(1)			—	0.83	—	
DYNAMIC CHARACTERISTICS						
Current–Gain — Bandwidth Product (I_C = 0.5 mA, V_{CE} = 3.0 V, f = 100 MHz)	BC182	f_T	—	100	—	MHz
	BC183		—	120	—	
	BC184		—	140	—	
(I_C = 10 mA, V_{CE} = 5.0 V, f = 100 MHz)	BC182		150	200	—	
	BC183		150	240	—	
	BC184		150	280	—	
Common Base Output Capacitance (V_{CB} = 10 V, I_C = 0, f = 1.0 MHz)		C_{ob}	—	—	5.0	pF
Common Base Input Capacitance (V_{EB} = 0.5 V, I_C = 0, f = 1.0 MHz)		C_{ib}	—	8.0	—	pF
Small–Signal Current Gain (I_C = 2.0 mA, V_{CE} = 5.0 V, f = 1.0 kHz)	BC182	h_{fe}	125	—	500	—
	BC183		125	—	900	
	BC184		240	—	900	
	BC182A		125	—	260	
	BC182B		240	—	500	
Noise Figure (I_C = 0.2 mA, V_{CE} = 5.0 V, R_S = 2.0 kΩ, f = 1.0 kHz)		NF				dB
(I_C = 0.2 mA, V_{CE} = 5.0 V, R_S = 2.0 kΩ, f = 1.0 kHz, f = 200 Hz)	BC184		—	2.0	4.0	
	BC182		—	2.0	10	
	BC183		—	2.0	10	
	BC184		—	2.0	4.0	

1. Pulse Test: Tp 300 s, Duty Cycle 2.0%.