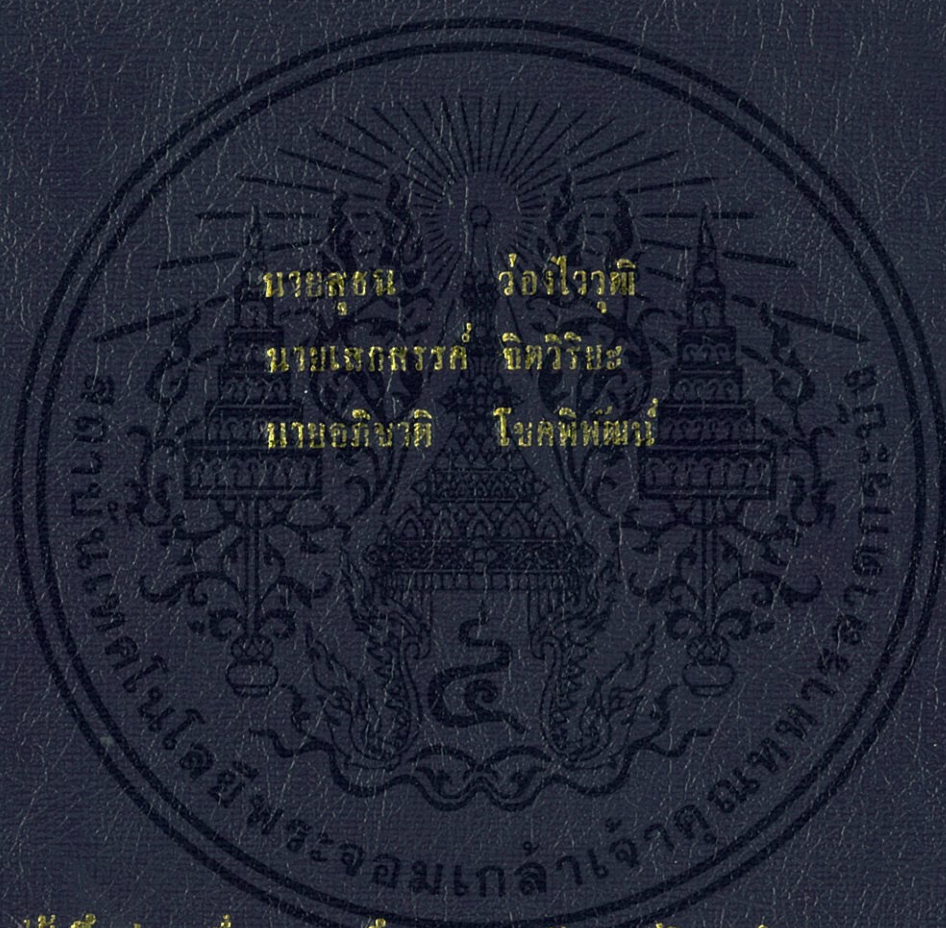


การประยุกต์รถยกอัตโนมัติ
APPLICATION AUTOMATIC FORKLIFT



ปฏิญญานี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

การประยุกต์รถยนต์อัตโนมัติ

Application Automatic Forklift

นาย สุธน ว่องไววุฒิ

Mr. Suton Wongwaiwut

นาย เสกสรรค์ จิตวิริยะ

Mr. Sekson Jitviriya

นาย อภิชาติ โชคพิพัฒน์

Mr. Apichat Chokpipat



ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

นพ.

ท ๗๘๔๓

๕๕๕๕

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา ๒๕๔๔

เลขที่.....
เลขทะเบียน..... 45794
วัน, เดือน, ปี 18 ก.พ. 2546

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

๒๕๓๐๒๕๖

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์รถยกอัตโนมัติ	
	Application Automatic Forklift	
นักศึกษา	นายสุรณ	ว่องไววุฒิ
รหัสประจำตัว	41014784	
นักศึกษา	นายเสกสรรค์	จิตวิริยะ
รหัสประจำตัว	41014792	
นักศึกษา	นายอภิชาติ	โชคพิพัฒน์
รหัสประจำตัว	41014803	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2544	
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์		



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประยุกต์รดยกอัตโนมัติ	
นักศึกษา	นายสุรณ	ว่องไววุฒิ
	นายเสกสรรค์	จิตวิริยะ
	นายอภิชาติ	โชคพิพัฒน์
ระดับการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม	
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	
ปีการศึกษา	2544	
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	อ. พลชัย	โชคิปรายกุล
	อ. อุคม	จันทร์จรัสสุข

บทคัดย่อ

ในส่วนของโครงการนี้ จะทำการศึกษา ออกแบบ และสร้างรดยกเพื่อการขนถ่ายอัตโนมัติ และรูปแบบการทำงานในการขนถ่ายวัสดุ โดยระบบจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนของชุดขับเคลื่อน และ ส่วนของชุดยก โดยโครงการนี้เป็นการจำลองการทำงานของรดยก ในระบบอุตสาหกรรม และ ใช้เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในการทำงาน ในลักษณะอื่นๆ ต่อไป

Thesis Title	Application Automatic Forklift		
Student	Mr. Suton	Wongwaiwut	
	Mr. Sekson	Jitviriya	
	Mr. Apichat	Chokpipat	
Degree	Bachelor of Engineering in Industrial Engineering King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang		
Academic Year	2001		
Advisor	Mr. Pholchai	Chotiprayanakul	
	Mr. Udom	Janjarussuk	

ABSTRACT

In this work will study the design and construct for automatic transportation and the form of work in material transfer. The system consist of two parts. First is the diving part and another is lifting part. This project is the simulator for transportation lifting in industry and can be apply for another application.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ก็เพราะได้รับความเอาใจใส่และให้คำปรึกษาเป็นอย่างดีจาก อาจารย์เอกพจน์ ตันตราภินันท์ , อาจารย์ อุดม จันทร์จรุสสุข , อาจารย์ พลชัย โชคิปรายนกุล กับพวกกระผม ตลอดจนการทำงานตั้งแต่ต้นจนจบ

ขอขอบคุณอาจารย์ พรศักดิ์ อรรถวานิช และ ดร.สรรพสิทธิ์ ลิ้มบรรรัตน์ ที่คอยให้คำแนะนำตักเตือนและเป็นกำลังใจ

ขอขอบคุณ พ่อ แม่ ที่สนับสนุนเรื่องเงินลงทุนและเลี้ยงดูเราเสมอมา

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ ร่วมภาค ที่คอยกอดคั่น เพื่อให้เราตื่นตัวในการทำ project

สุดท้ายนี้ ขอขอบคุณ ความตั้งใจและความเพียรพยายามของตัวเอง จนประสบผลสำเร็จ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อฉบับภาษาไทย	I
บทคัดย่อฉบับภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญภาพ	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาของโครงการ (Statement)	1
1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา (Goal and Objective)	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา (Scope of the Study)	1
บทที่ 2 ทฤษฎี และ หลักการที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ระบบเคลื่อนที่อัตโนมัติ (Automatic Guide Vehicle System ; AGVs)	2
2.2 ทฤษฎีโครงสร้าง	3
2.3 ทฤษฎีว่าด้วยการขับเคลื่อน	15
2.4 ทฤษฎีว่าด้วยการควบคุม	21
บทที่ 3 การดำเนินงาน	
3.1 แผนการดำเนินงาน	39
3.2 การดำเนินงานทางด้านฮาร์ดแวร์	40
3.3 การออกแบบวงจรไฟฟ้า	44
3.4 เส้นทางการทำงาน	47
3.5 การออกแบบด้านโปรแกรม	47
3.6 แผนการทดลอง	48
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	
4.1 ผลการดำเนินงานทางด้านฮาร์ดแวร์	49
4.2 ผลการดำเนินงานทางด้านไฟฟ้า	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.3 ผลการทดลอง	51
4.4 ผลการดำเนินงาน	52
บทที่ 5 สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน	
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน	53
5.2 วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน	53
5.3 แนวทางการพัฒนาและปรับปรุงในอนาคต	53

บรรณานุกรม

ภาคผนวก	โปรแกรมภาษาไมโครซี ควมคุมรถยกเคลื่อนที่อัตโนมัติ	ผ.1
---------	--	-----



สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แรงชนิดต่างๆ	3
รูปที่ 2.2 ท่อนกลมผนังบางผ่าตลอดความยาว	5
รูปที่ 2.3 ความและแกนสะเทิน	5
รูปที่ 2.4 เพลาอยู่ภายใต้แรงต่างๆ	11
รูปที่ 2.5 โซโรลเลอร์	13
รูปที่ 2.6 หลักของมอเตอร์	15
รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร	16
รูปที่ 2.8 มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม	17
รูปที่ 2.9 มอเตอร์กระแสตรงแบบซันท์	18
รูปที่ 2.10 การควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์กระแสตรง	20
รูปที่ 2.11 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครโปรเซสเซอร์	22
รูปที่ 2.12 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์	22
รูปที่ 2.13 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Cxx	25
รูปที่ 2.14 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Sxx	26
รูปที่ 2.15 รายละเอียดโครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชของ Atmel	28
รูปที่ 2.16 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89C5x	28
รูปที่ 2.17 วงจรภายในของพอร์ตทุกพอร์ต	30
รูปที่ 2.18 วงจรพูลอัพภายในของพอร์ตไมโครคอนโทรลเลอร์	30
รูปที่ 2.19 eletromechanical relay ; EMR	32
รูปที่ 2.20 การใช้รีเลย์ควบคุมสวิทช์	33
รูปที่ 2.21 การใช้รีเลย์ควบคุมวงจรโหลดกระแสสูง ด้วยวงจรควบคุมกระแสต่ำ	34
รูปที่ 2.22 ตัวอย่างภาพถ่ายของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์	35
รูปที่ 2.23 โครงสร้างพื้นฐานของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์	36
รูปที่ 2.24 ลักษณะแถบพลังงานของไบโพลาร์โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์รอยต่อเฮเทอโร	36
รูปที่ 2.25 กระแสไฟฟ้าชนิดต่างๆ ที่ไหลในโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์	37
รูปที่ 2.26 โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ชนิดต่างๆ	38
รูปที่ 3.1 โครงสร้างฐาน	40
รูปที่ 3.2 โครงสร้างเสาและชุดยก	41

	หน้า	
รูปที่ 3.3	เหล็กยึดโครงเสา	42
รูปที่ 3.4	วงจรถนเซออร์	44
รูปที่ 3.5	วงจรถนเกอเดออร์	45
รูปที่ 3.6	โครงสร้างจำเป็นสำหรับการใช้งาน MCS-51	45
รูปที่ 3.7	โครงสร้างแสดงพอร์ตที่ใช้งาน	46
รูปที่ 3.8	โครงสร้างวงจรถนบอเดออร์	46
รูปที่ 3.9	พื้นที่ปฏิบัติงานและเส้นทางเคลื่อนที่ของรถ	47
รูปที่ 3.10	ระบบการทำงานของรถยก	48
รูปที่ 4.1	โครงสร้างรถยกโดยรวม	49
รูปที่ 4.2	ชุดยกวัสดุ	49
รูปที่ 4.3	ชุดขับเคลื่อน	50
รูปที่ 4.4	ชุดเพลา	50
รูปที่ 4.5	แบตเตอรี่	50
รูปที่ 4.6	วงจรถนควบคุมควบคุมการทำงาน	51
รูปที่ 4.7	ประมวลผลภาพผลการทดสอบ	52



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ขนาดระบุของเพลตามาตรฐาน ISO/R775-1969	10
ตารางที่ 2.2 คำตัวประกอบความถี่	12
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ ไมโครคอนโทรลเลอร์กับ ไมโครโปรเซสเซอร์	23
ตารางที่ 2.4 หน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ใน ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช ของ Atmel	29
ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของ โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์	35



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในปัจจุบัน โลกได้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่องและในทางด้านอุตสาหกรรม และได้มีการคิดค้นสิ่งประดิษฐ์ เพื่อช่วยให้การทำงานของมนุษย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้น รถยก เพื่อใช้ในการขนถ่ายวัสดุ โดยไม่จำเป็นต้องใช้คนในการควบคุม และสามารถทำงานได้ในพื้นที่อันตรายซึ่งคนไม่สามารถทำงานได้ เช่น พื้นที่ที่มีแก๊สพิษหรือสารเคมีที่มีอันตรายต่อมนุษย์ และลดการทำงานที่ผิดพลาดเนื่องจากมนุษย์ โดยสามารถทำงานที่ซ้ำๆกันได้โดยไม่เกิดความผิดพลาด และไม่ก่อให้เกิดความเสียหายในการทำงาน ซึ่งเป็นการปรับปรุงหรือเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้ดียิ่งขึ้นอีกด้วย

1.2 จุดมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์
2. ศึกษาการทำงานของระบบรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ
3. ออกแบบ โครงสร้าง รถยกอัตโนมัติและระบบการทำงาน
4. สร้างรถยกอัตโนมัติ ที่สามารถใช้งานในด้านการขนถ่ายรูปแบบอื่นๆได้

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ออกแบบและสร้างรถยกที่มีการขนถ่ายวัสดุได้
2. ออกแบบและทำงานตามรูปแบบที่กำหนดไว้

บทที่ 2

ทฤษฎี และ หลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ (Automatic Guide Vehicle System ; AGVs) [6:P7]

ระบบรถเคลื่อนที่อัตโนมัติ หรือที่เรียกว่า “AGVs” เป็นระบบจัดการพัสดุ แบบใช้ยานพาหนะที่สามารถขับเคลื่อนด้วยตัวเองอย่างอิสระไปตามพื้นที่ที่กำหนด โดยได้รับพลังงานจากแบตเตอรี่ (12 โวลต์) ที่อยู่ภายในของตัวมันเอง

2.1.1 ชนิดของ AGVs แบ่งตามลักษณะการทำงานได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ

- 1) ไดรฟ์เวอร์เลส เทรน (Driverless Trains : AGVs) ชนิดนี้เปรียบเสมือนหัวรถจักร ที่สามารถลากจูงรถพ่วงได้หลายคัน มีหน้าที่นำรถพ่วงที่ขนส่งภาระไปยังพื้นที่ที่กำหนด
- 2) พาร์เลต ทรัคส์ (AGVs Pallet Trucks : AGVs) ชนิดนี้เปรียบเสมือนตู้โดยสารของรถไฟ โดย Pallet Trucks จะต่อพ่วงอยู่ที่ด้านหลังของ Driverless Train และมีหน้าที่ขนส่งของซึ่ง Pallet Trucks 1 คัน สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า 6000 ปอนด์
- 3) ยูนิต โหลด แครีเอจ (AGVs Unit Load Carries) เป็นเครื่องจักรที่ทำหน้าที่รับสัมภาระจากพนักงานแล้วส่งขึ้นไปยัง Pallet Trucks โดยอัตโนมัติ เช่น โดยรางลูกกลิ้ง และสายพาน ซึ่งจะทำหน้าที่ขนถ่ายสิ่งของออกจากห้องเก็บของไปสู่ Automatic Lift ที่จะคอยยกสิ่งของออกจากสายพานไปไว้บน Pallet Trucks เพื่อนำไปส่งยังจุดที่กำหนด
- 4) AGVs Technology เป็นเทคโนโลยีหุ่นยนต์ที่ผลิตขึ้นเพื่อใช้ช่วยมนุษย์ ซึ่งยังต้องการการพัฒนาไปอีกไกล และการสร้างหุ่นยนต์ชนิดนี้ก็ยังต้องอาศัยสถานที่ที่สะอาดมาก เช่นในโรงงานผลิตสารกึ่งตัวนำ เป็นต้น

2.1.2 การเคลื่อนที่ของ AGVs วิธีการที่จะสั่งให้ AGVs เคลื่อนที่ไปตามทิศทางที่เรากำหนดโดย

- 1) การใช้สายไฟ (Wire) เป็นการใช้สายไฟขนาดเล็กฝังไว้ใต้พื้น โรงงาน เมื่อจ่ายไฟให้สายไฟนี้จะเกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆ สายไฟ สนามแม่เหล็กนี้จะเสมือนตัวจับบอกให้ AGVs วิ่งตามแม่เหล็กนี้ไป AGVs แบบ Driverless Train จะมีขดลวดเซนเซอร์อยู่ ทำหน้าที่รับสนามแม่เหล็กจากสายไฟ และตรวจสอบว่าขดลวดเซนเซอร์ (Sensor Coil) ทั้ง 2 ข้าง ได้รับสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มเท่ากันหรือไม่ หากมีการเหลื่อมล้ำของสนามแม่เหล็ก AGVs ก็จะปรับรัศมีการเลี้ยวให้เลี้ยวไปในทิศทางและองศาที่เหมาะสม เพื่อรักษาสถานะที่ขดลวดเซนเซอร์ โดยจะได้รับสนามแม่เหล็กที่มีความเข้มขึ้นเท่ากันทั้งสองข้างตลอดเวลา
- 2) การใช้แถบสี (Paint) เป็นการใช้แถบฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) ที่มีการสะท้อนแสงโดยที่ AGVs จะใช้อุปกรณ์เซนเซอร์แสง (Optical Sensor) เป็นตัวจับภาพแถบสีที่ติดอยู่บนพื้น แล้วนำมาประมวลผลเพื่อออกคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ โดยสั่งให้ AGVs รักษาเส้นทางไว้ และให้เซนเซอร์แสงจับภาพแถบสีไม่ให้หลุดออกนอกรัศมีทำงาน

การทำงานด้วยการใช้แถบสตีลนี้ เหมาะสำหรับใช้พื้นที่ที่มีการรบกวนทางสัญญาณสูง (Electrical Noise) ซึ่งการใช้สายไฟจะทำงานได้ดีไม่เท่า แต่การใช้แถบสตีลนี้จะต้องทำการบำรุงรักษาอย่างดี ต้องสะอาด และไม่มีรอยขีดข่วนบนแถบสตีลเลย

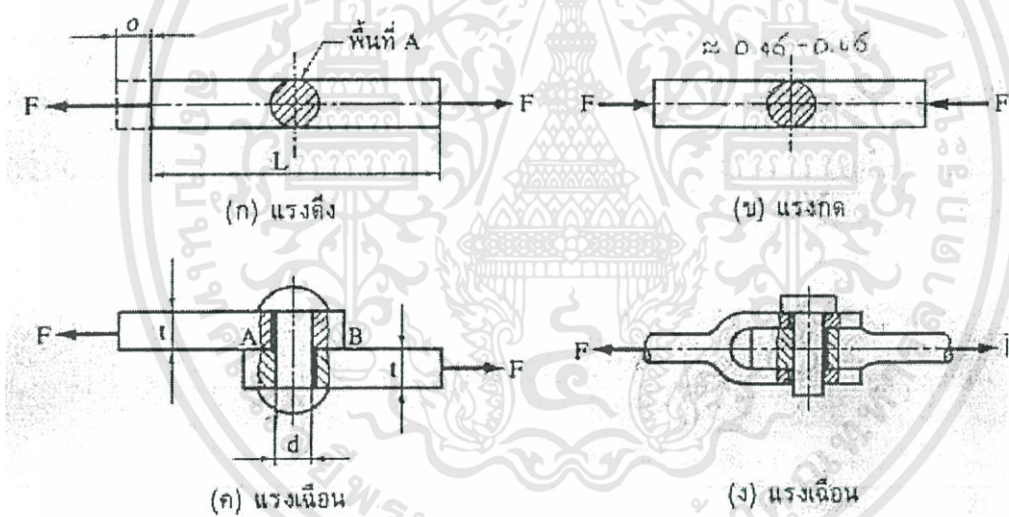
2.2 ทฤษฎีโครงสร้าง

2.2.1 การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลย่อย [4:P55]

การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลอย่างง่าย จำเป็นจะต้องอาศัยความรู้ทางด้านกลศาสตร์วัสดุพลศาสตร์ วัสดุศาสตร์ และอื่นๆ มาประกอบเข้าด้วยกัน สิ่งที่สำคัญก่อนที่จะออกแบบชิ้นงาน ได้ก็คือ ความเข้าใจทางด้านพลศาสตร์ และกลศาสตร์วัสดุอย่างถ่องแท้

2.2.1.1 ความเค้นอย่างง่าย

นิยาม คือ แรงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดที่รับแรง ความเค้นอย่างง่ายมีอยู่ 3 ชนิดคือ ความเค้นดึง ความเค้นกด และความเค้นเฉือน



รูปที่ 2.1 แรงชนิดต่าง ๆ [4:P55]

พิจารณารูปที่ 2.1(ก) และ (ข) ซึ่งเป็นท่อน โลห่ากลมอยู่ภายใต้แรงดึง และแรงกด F ตามลำดับ ความเค้นดึง และความเค้นกดคือ

$$\sigma_t = F/A \tag{2.1}$$

ในกรณีที่แผ่น โลหะยึดติดกันด้วยหมุดย้ำ ดังรูปที่ 2.1(ค) ตัวหมุดย้ำอาจจะขาดต่อเนื่องจากแรงเฉือนกระทำที่หน้าตัด AB ถ้าพื้นที่หน้าตัดของหมุดย้ำเท่ากับ A ความเค้นเฉือนในหน้าตัดของหมุดย้ำคือ

$$\tau = F/A \tag{2.2}$$

ถ้าหน้าตัดของชิ้นงานที่รับแรงเฉือนมีมากกว่าหนึ่งแห่ง ดังเช่นในรูปที่ 2.1(ง) ซึ่งมีสองแห่งพื้นที่หน้าตัดที่รับแรงคือ 2A ในกรณีเช่นนี้เรียกว่า หมุดย้ำรับแรงเฉือนคู่ (double shear) เพราะฉะนั้นความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในหน้าตัดของหมุดย้ำนี้จะเท่ากับ

$$t = F/2A$$

พิจารณาหมุดย้ำในรูปที่ 2.1(ค) จะเกิดการอัดกันระหว่างด้านข้างของตัวหมุดย้ำกับแผ่น โลหะด้วยความเค้นที่ผิวโลห่าที่สัมผัสกันนี้ไม่สม่ำเสมอ ในทางปฏิบัติจึงหาความเค้นกดนี้โดยใช้พื้นที่ที่ฉาย (projected area) ของส่วนที่อัดกันอยู่ แทนการใช้พื้นที่จริงรอบหมุดย้ำ และมีชื่อเรียกว่าความเค้นอัด (bearing stress) ถ้าหมุดย้ำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง d ความเค้นอัดนี้ คือ

$$\sigma_c = F/A \quad (2.3)$$

2.2.1.2 ความเครียด

ความเครียด (strain) หมายถึง อัตราส่วนระหว่างส่วนที่ยืดหรือหดของชิ้นงานกับความยาวเดิม จากรูปที่ 2.1(ก) เพราะฉะนั้นความเครียดนี้จะเท่ากับ

$$\epsilon = \Delta L/L \quad (2.4)$$

จากกฎของฮุก

$$\sigma = E\epsilon \quad (2.5)$$

เมื่อแทนค่า จากสมการที่ (2.4) ลงในสมการที่(2.5) จะได้ว่า

$$\sigma = FL/AE \quad (2.6)$$

จากกลศาสตร์วัสดุยังทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างยังส์ โมดูลัสและ โมดูลัสเฉือนอีกคือ

$$G = E/2(1+\nu) \quad (2.7)$$

2.2.1.3 การบิด

ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่มีพื้นที่หน้าตัดวงกลมอยู่ภายใต้ โมเมนต์บิด (torque) จะบิด ไปเป็นมุมเท่ากับ

$$\theta = TL/GJ \quad (2.8)$$

- โดยที่ T คือ โมเมนต์บิด
- L คือ ความยาว
- J คือ โมเมนต์ความเฉื่อยเชิงขั้วของพื้นที่
- d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก
- d_i คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน

ความเค้นเฉือนที่เกิดจากการบิดจะมีค่าสูงสุดที่ผิวนอกของท่อนกลมนี้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$t = Tr/J \quad (2.9)$$

โดยที่ r คือ รัศมีนอกของท่อนกลม

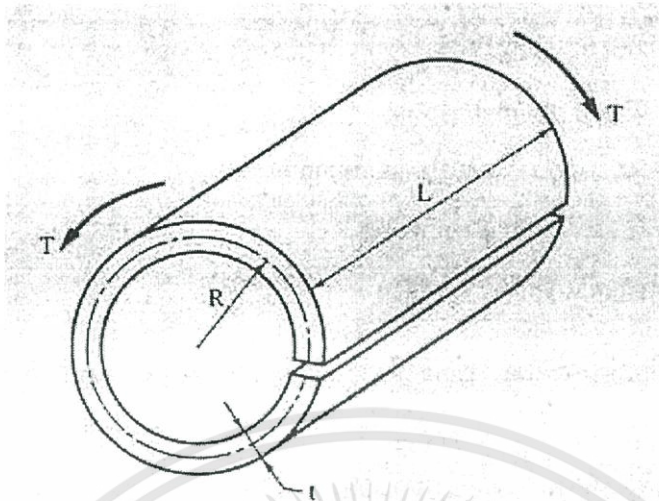
ในการที่จะใช้สมการที่ (2.9) มักจะจำเป็นที่จะต้องหาค่าโมเมนต์บิดให้ได้เสียก่อน สำหรับเครื่องจักรกลที่ส่งกำลังมาตามเพล่า จะคำนวณหาค่าโมเมนต์บิดได้จาก

$$W_p = Tw = 2\pi nr \quad (2.10)$$

สำหรับในระบบหน่วยอังกฤษซึ่งยังมีใช้กันอยู่จะบอกกำลังงานเป็นแรงม้า และคำนวณ โมเมนต์บิดได้จาก

$$hp = Tn/63000 \quad (2.11)$$

ในกรณีของท่อนกลมผนังบาง (thin-walled tube) ซึ่งมีรัศมีเฉลี่ย R และผ่าตลอกความยาวดังในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ท่อนกลมผนังบาง ผ่าตลอกความยาว [4:P58]

มุมบิดและค่าความเค้นเฉือนโดยประมาณคือ

$$\theta = 3TL/2\pi R^3G \quad (2.12)$$

$$\tau = 3T/2\pi R^2 \quad (2.13)$$

2.2.1.4 คาน

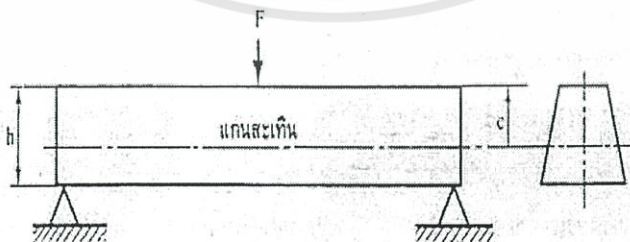
ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจำนวนมากรับแรงในแนวตั้งลักษณะเช่นเดียวกับคานทั่วไป ฉะนั้นจึงใช้ความเค้นดัด (bending stress) และการยุบตัว (deflection) เป็นข้อจำกัดในการออกแบบ ความเค้นดัดสูงสุดเกิดที่ผิวนอกสุดของคาน ณ ตำแหน่งที่โมเมนต์ดัด (bending moment) มีค่าสูงสุด ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\sigma_b = Mc/I \quad (2.14)$$

โดยที่ M คือ โมเมนต์ดัด

C คือ ระยะจากแกนสะเทิน (neutral axis) ไปยังผิวนอกสุด ดังรูปที่ 2.3

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของพื้นที่



รูปที่ 2.3 คานและแกนสะเทิน [4:P59]

ถึงแม้ว่าจะมีตารางทั้งสองนี้ช่วยในการคำนวณ แต่ผู้อ่านก็ต้องเข้าใจถึงวิธีการหาค่าโมเมนต์คดสูงสุดการยุบตัวของคานจากกลศาสตร์วัสดุเป็นอย่างดี ทั้งนี้เพราะลักษณะของแรงและชนิดของคานอาจจะไม่ตรงกับในตารางซึ่งแสดงไว้อย่างจำกัดก็ได้

โดยทั่วไปแล้วความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในคานจะมีค่าน้อยมาก จนกระทั่งไม่ต้องนำมาคิดในการออกแบบได้ แต่ถ้าคานสั้นและมีหน้าตัดสูงมาก ความเค้นเฉือนก็อาจจะมีค่ามากได้ สำหรับคานที่มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ความเค้นเฉือนสูงสุดจะเกิดที่แกนสะเทิน และมีค่า 1.5 เท่าของความเค้นเฉือนเฉลี่ยหรือเท่ากับ

$$t = 3V/2A \quad (2.15 ก)$$

$$t = 4V/3A \quad (2.15 ข)$$

2.2.2 ความเค้นผสมและทฤษฎีความเสียหาย [4:P84]

กล่าวถึงการออกแบบชิ้นงานโดยพิจารณาถึงความเค้นดึง ความเค้นกด หรือความเค้นเฉือน อย่างไรก็ตามหนึ่งโดยเฉพาะ แต่กว่ายังมีชิ้นงานอีกเป็นจำนวนมากที่เมื่อรับแรงแล้วทำให้เกิดความเค้นมากกว่าหนึ่งชนิดพร้อมกันในชิ้นส่วนเดียว เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องสามารถรวบรวมความเค้นเหล่านี้เข้าด้วยกัน เรียกว่า ความเค้นผสม (combined stress) เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาขนาดของชิ้นงาน การที่สามารถหาความเค้นผสมได้อย่างเดียวอาจจะไม่มีรากฐานเพียงพอที่จะนำไปใช้อธิบายถึงเหตุที่ชิ้นงานแตกหักหรือเกิดความเสียหายขึ้น ทั้งนี้เพราะความเค้นที่เกิดขึ้นมีหลายชนิดพร้อม ๆ กัน ด้วยเหตุนี้เองจึงมีผู้พยายามตั้งทฤษฎีขึ้นมาใช้อธิบายถึงความเสียหายของชิ้นงาน โดยพยายามเชื่อมโยงเข้ากับสิ่งที่สามารถทดสอบได้ เช่น ความต้านแรงดึง ความต้านแรงดึงคราก หรือความเครียดที่ได้จากการทดสอบได้ เช่น ความต้านแรงดึง ความต้านแรงดึงคราก หรือความเครียดที่ได้จากการทดสอบแรงดึงวัสดุอย่างธรรมดา ทฤษฎีเหล่านี้มีอยู่หลายทฤษฎีด้วยกัน ซึ่งเรียกว่า ทฤษฎีความเสียหาย

2.2.2.1 ความเค้นผสมในระบบความเค้นสองมิติ

ชิ้นงานโดยทั่วไปมี 3 มิติ และความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานก็เป็นแบบ 3 มิติด้วย เนื่องจากรูปร่างของชิ้นงานจะมีความยาวด้านหนึ่งน้อยกว่าอีกสองด้านมาก และความเค้นที่เกิดขึ้นในทิศทางหนึ่งก็มักจะมีขนาดน้อยกว่าในอีกสองทิศทางด้วย ฉะนั้นจึงสามารถสมมติให้ปัญญาทางวิศวกรรมส่วนใหญ่เป็นระบบความเค้นแบบ 2 มิติได้

พิจารณาระบบความเค้นสองมิติบนวัสดุชิ้นเล็ก ๆ รูปสี่เหลี่ยม ถ้าตัดวัสดุชิ้นเล็ก ๆ นี้ด้วยระนาบเอียงทำมุม θ กับแกน y จะมีความเค้น ดึง σ_n ตั้งฉากกับหน้าตัดและความเค้นเฉือน τ_n ขนานกับหน้าตัด ถ้าให้วัสดุชิ้นเล็ก ๆ นี้มีความหนาแน่นหนึ่งหน่วย รวมแรงในทิศทางของ σ_n และ τ_n ตามหลักกลศาสตร์ จะได้ว่า

$$\sigma_n = \sigma_x \cos^2 \theta + \sigma_y \sin^2 \theta + \tau_{xy} \sin \theta \cos \theta \quad (2.16)$$

$$\tau_n = (\sigma_y - \sigma_x) \sin \theta \cos \theta + \tau_{xy} (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad (2.17)$$

จากกลศาสตร์วัสดุพบว่า เมื่อดิฟเฟอเรนเชียล (differentiate) σ_n เทียบกับ θ แล้วให้ผลที่ได้เท่ากับศูนย์ เมื่อแก้สมการหาค่ามุม θ จะได้มุมซึ่งเป็นทิศทางของความเค้นหลัก (Principal stress) มุม θ ที่ได้นี้จะมี 2 ค่า เรียกว่า ทิศทางหลัก (Principal direction) สมการความเค้นหลักที่ได้จากการกระทำดังกล่าวแล้วคือ

$$\sigma_{1,2}, \sigma = ((\sigma_x + \sigma_y)/2) \pm (((\sigma_x + \sigma_y)/2)^2 + \tau_{xy}^2)^{1/2} \quad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
6
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีนี้ความเค้นหลักค่าที่สามคือ σ_3 มีค่าเท่ากับศูนย์ สมการที่ (2.16) และสมการที่ (2.17) สามารถจะเขียนให้อยู่ในรูปของมุมคือ 2θ ได้ ซึ่งทำให้สร้างรูปหาค่าความเค้นที่มุม θ ต่าง ๆ กันได้ เรียกว่า วงกลมของมอร์ (Mohr's circle) ซึ่งมีวิธีสร้างดังนี้คือ

1. เขียนแกนความเค้นปกติ (ดึงหรือกด) และความเค้นเฉือน
2. กำหนดจุด (σ_x, τ_{xy}) และ $(\sigma_y, -\tau_{xy})$ บนระนาบของ σ_n, τ_n
3. ลากเส้นระหว่างจุดในข้อที่ 2 ตัดแกน σ_n แล้วใช้แล้วใช้จุดศูนย์กลางสำหรับเขียนวงกลม
4. มุม 2θ บนวงกลมของมอร์ วัดตามทิศทางในรูปที่ 2.2 (ก) เทียบกับแกน σ_n ตรงกับมุม θ ที่วัดบนวัสดุชิ้นเล็ก ๆ และจุดบนวงกลมนี้แทนค่าความเค้นในระนาบ xy

ความเค้นหลักคือ จุดที่วงกลมตัดแกน σ_n ในที่นี้มี σ_1 และ σ_3 มีค่าเท่ากับศูนย์รูปวงกลมของมอร์ที่สมบูรณ์ ค่าความเค้นเฉือนสูงสุด τ_{max} ก็คือรัศมีของวงกลมวงใหญ่ที่สุด หรือ

$$\tau_{max} = (\sigma_{max} - \sigma_{min})/2 \quad (2.19)$$

ในกรณีสมการที่ (2.18) ความเค้น σ_1 หรือ σ_2 อาจจะมีเครื่องหมายต่างกันได้ (เป็นความเค้นดึงและความเค้นกด) ถ้า σ_1 เป็นบวก และ σ_2 เป็นลบดังนั้น

$$\tau_{max} = (\sigma_1 - \sigma_2)/2 \quad (2.20)$$

ถ้า σ_1 เป็นบวก และ σ_2 เป็นบวก และ σ_1 มากกว่า σ_2

$$\tau_{max} = (\sigma_1 - \sigma_2)/2 = \sigma_1/2 \quad (2.21)$$

อีกกรณีหนึ่งที่อาจพบมากในการออกแบบเครื่องจักรกล ซึ่งเป็นความเค้นกรณีพิเศษ ซึ่งจะลดรูปสมการที่ (2.18) เหลือเพียง

$$\sigma_1, \sigma_2 = (\sigma/2) \pm ((\sigma/2)^2 + \tau^2)^{1/2} \quad (2.22)$$

จากสมการที่ (2.22) จะเห็นได้ว่า σ_1 และ σ_2 จะมีเครื่องหมายต่างกันอยู่เสมอ ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ ความเค้นเฉือนสูงสุดคือ

$$\tau_{max} = (\sigma_1 - \sigma_2)/2 = ((\sigma/2)^2 + \tau^2)^{1/2} \quad (2.23)$$

ความเค้นที่ได้กล่าวมาแล้วนี้เกิดจากการรวมความเค้นมากกว่าหนึ่งชนิดเข้าด้วยกัน ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นหลักในการคำนวณออกแบบ ความเค้นชนิดนี้จึงมีชื่อเรียกว่า ความเค้นผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.2 ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุด

ทฤษฎีความเค้นหลักสูงสุดเหมาะสำหรับวัสดุที่เปราะ แต่สามารถรับแรงเฉือนได้ดี เช่น เหล็กหล่อ วัสดุดังกล่าวจะไม่มีจุดคราก ฉะนั้นจึงใช้ความต้านแรงดึงครากเพื่อที่จะเปรียบเทียบกับทฤษฎีอื่นๆ ได้ ทฤษฎีนี้กล่าวว่า วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นหลักสูงสุดในวัสดุมีค่าเท่ากับความต้านแรงดึงครากของวัสดุนั้น ความเค้นหลักสูงสุดในที่นี้หมายถึงค่าสัมบูรณ์สูงสุด (maximun absolute value) ถ้าพิจารณาเฉพาะระบบความเค้นสองมิติ ($\sigma_3 = 0$) และให้ N เป็นค่าความปลอดภัย สมการที่แสดงถึงทฤษฎีนี้คือ

$$\sigma_1 = +(\sigma_y/N) \text{ ถ้า } |\sigma_1| > |\sigma_2| \quad (2.24)$$

$$\sigma_2 = +(\sigma_y/N) \text{ ถ้า } |\sigma_2| > |\sigma_1| \quad (2.25)$$

ซึ่งสมการนี้สามารถสร้างรูปแสดงขอบเขตของเค้นผสมที่มีได้ในวัสดุสำหรับชิ้นงานที่ออกแบบเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส

2.2.2.3 ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด

ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุดเหมาะสำหรับวัสดุเหนียว มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเกณฑ์ของเทรสกา (Tresca's criterion) เป็นทฤษฎีที่นิยมใช้กันมาก เพราะใช้ได้ง่ายและปลอดภัย ทฤษฎีนี้กล่าวว่า

วัสดุจะเกิดความเสียหายเมื่อความเค้นเฉือนสูงสุดในวัสดุมีค่าเท่ากับความต้านแรงเฉือนสูงสุดของวัสดุชนิดเดียวกัน ที่ได้จากการทดสอบแรงดึงเมื่อถึงจุดคราก

จากรกกลศาสตร์วัสดุพบว่า ความต้านแรงเฉือนสูงสุดเมื่อวัสดุได้รับแรงดึงจนถึงจุดครากมีค่าเท่ากับ $\sigma_y / 2$ และเกิดบนระนาบเอียงทำมุม 45 กับแนวแรงดึงขึ้นทดสอบ ซึ่งตามทฤษฎีนี้จะเริ่มเกิดความเสียหายเมื่อ τ_{max} ในสมการ (2.19) เท่ากับ $\sigma_y / 2$ เพราะฉะนั้นสมการที่ต้องนำมาคิดในการออกแบบคือ

$$\sigma_1 - \sigma_2 = +(\sigma_y/N) \quad (2.25 ก)$$

$$\sigma_1 = +(\sigma_y/N) \quad (2.25 ข)$$

$$\sigma_2 = +(\sigma_y/N) \quad (2.25 ค)$$

$$X - Y = +1 \quad (2.26)$$

$$X = +1, Y = +1$$

โดยที่ x และ y มีความหมายเช่นเดียวกับในหัวข้อที่ 2.2.2.2

สมการ (2.26) สามารถสร้างรูปแสดงขอบเขตของความเค้นที่ยอมให้มีได้ในวัสดุสำหรับชิ้นงานที่ออกแบบ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ชิ้นส่วนเครื่องจักรกลจำนวนมากจะมีสถานะของความเค้น ในกรณีนี้ถ้ายอมให้มีความเค้นเฉือนสูงสุด

$$\tau_{max} = \tau_y / N \quad (2.27)$$

แล้วแทนค่า τ_{max} ลงในสมการที่ 2.24 แล้วจัดรูปใหม่จะได้

$$(1/N) = [(\tau/\tau_y)^2 + (\sigma/\sigma_y)^2]^{1/2} \quad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ $\tau_y = \sigma_y / 2$ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

2.2.3 การออกแบบเพลา [4:P228]

เนื่องจากเพลาเป็นชิ้นส่วนที่มีอยู่ในเครื่องจักรกลเกือบทุกชนิด ดังนั้นจึงสมควรที่จะได้พิจารณาถึงการออกแบบเพลาโดยเฉพาะ เพลาอาจจะมีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งานดังต่อไปนี้คือ

เพลา(Shaft) เป็นชิ้นส่วนที่หมุนและใช้ในการส่งกำลัง

แกน(Axis) เป็นชิ้นส่วนลักษณะเดียวกันกับเพลาแต่ไม่หมุน ส่วนมากเป็นตัวรองรับชิ้นส่วนที่หมุน

เช่น ล้อ ล้อสายพาน เป็นต้น อย่างไรก็ตามทั้งเพลาและแกนก็นิยมเรียกรวมกันว่า เพลาไม่ว่าชิ้นส่วนนั้นจะหมุนหรืออยู่นิ่งก็ตาม

สปินเดิล(Spindle) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ไม่หมุน เช่น เพลาที่หัวแทนกลึง

สตับชาฟต์(Stub Shaft) หรือบางครั้งเฮดชาฟต์ (Head Shaft) เป็นเพลาที่ติดเป็นชิ้นส่วนต่อเนื่องกับเครื่องยนต์มอเตอร์ หรือเครื่องต้นกำลังอื่นๆ มีขนาด รูปร่าง และส่วนยื่นออกมาสำหรับใช้ต่อกับเพลาอื่นๆ

เพลาแนว(Line Shaft) หรือเพลาส่งกำลัง (Power Transmission Shaft) หรือเพลาเมน(Main Shaft) เป็นเพลาซึ่งต่อตรงจากเครื่องต้นกำลัง และใช้ในการส่งกำลัง ไปยังเครื่องจักรกลอื่นๆ

แจ็กชาฟต์(Jack Shaft) หรือเคาน์เตอร์ชาฟต์ (Counter Shaft) เป็นเพลาขนาดสั้นที่ต่อระหว่างเครื่องต้นกำลังกับเพลาเมนหรือเครื่องจักรกล

เพลาอ่อน(Flexible Shaft) เป็นเพลาที่สามารถอ่อนตัวหรืองอโค้งได้ เพลาประเภทนี้ทำด้วยสายลวดใหญ่ (Cable) ลวดสปริงหรือลวดเกลียว (Wire rope) ใช้ในการส่งกำลังในลักษณะที่กันหมุนทำมุมกันได้ แต่ส่งกำลังได้น้อย

เพลาอาจจะรับแรงดึง แรงกด แรงบิด หรือแรงดัด หรือแรงหลายอย่างรวมกันก็ได้ ดังนั้นการคำนวณจึงต้องใช้ความเค้นผสมเข้าช่วย แรงเหล่านี้ยังอาจจะมีผลเปลี่ยนแปลงขนาดตลอดเวลาทำให้เพลาเสียหายเพราะความล้าได้ ฉะนั้นจึงต้องออกแบบเพลาให้มีความแข็งแรงเพียงพอสำหรับการใช้งานในลักษณะนี้ นอกจากนั้นเพลาจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอเพื่อลดความบิดภายในเพลาให้อยู่ในขีดจำกัดที่พอเหมาะ ระยะ โกงของเพลาเป็นสิ่งสำคัญในการกำหนดขนาดเพลาเช่นเดียวกัน เพราะถ้าเพลา มีระยะ โกงมากก็จะเกิดการแกว่งขณะหมุน ทำให้ความเร็ววิกฤตของเพลาลดลง ซึ่งอาจทำให้เพลาเกิดการสั่นอย่างรุนแรงในขณะที่ความเร็วของเพลาเข้าใกล้ความเร็ววิกฤตนี้ได้ ระยะ โกงนี้ยังมีผลต่อการเลือกชนิดของที่รองรับเพลา เช่น บอลเบริง ก็ต้องมีกรเยื้องแนว ในการใช้งานที่พอเหมาะกับเพลาด้วย

2.2.3.1 วัสดุเพลา

วัสดุที่ใช้สำหรับทำเพลาทั่วไปคือเหล็กกล้าผสม แต่ถ้าต้องการให้มีความเหนียวและความทนทานต่อแรงกระตุกเป็นพิเศษแล้วมักจะใช้เหล็กกล้าผสม โลหะอื่นทำเพลา เช่น AISI 1347 3140 4150 4340 เป็นต้น เพลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 90 mm มักจะกลึงมาจากเหล็กกล้าคาร์บอนซึ่งผ่านการรีดร้อน อย่างไรก็ตามเพื่อให้เปลาราคาถูกที่สุด ผู้ออกแบบควรพยายามเลือกใช้เหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา ก่อนที่จะเลือกใช้เหล็กชนิดอื่น

2.2.3.2 ขนาดของเพลา

เพื่อให้เพลา มีมาตรฐานเหมือนกัน องค์กรมาตรฐานระหว่างประเทศจึงได้กำหนดขนาดมาตรฐานของเพลาซึ่งเป็นขนาดระบุใน ISO/R 775-1969 เอาไว้สำหรับให้ผู้ออกแบบเลือกใช้ทั้งนี้เพื่อให้สามารถหาซื้อได้ทั่วไป นอกจากนี้ยังเป็นขนาดที่สอดคล้องกับขนาดของเบริงที่รองรับเพลาด้วยขนาดระบุของเพลาที่ได้จากตาราง

ตารางที่ 2.1 ขนาดระบุของเพลตามาตรฐาน ISO/R775-1969 [4:P230]

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น mm				
6	25	70	130	240
7	30	75	140	260
8	35	80	150	280
9	40	85	160	300
10	45	90	170	320
12	50	95	180	340
14	55	100	190	360
18	60	110	200	380
20	65	120	220	

2.2.3.3 การพิจารณาในการออกแบบ

การคำนวณหาขนาดของเพลที่พอเหมาะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน ในบางครั้งการหาขนาดเพลเพื่อให้เพลทนต่อแรงที่มากระทำอย่างเดียวนั้นไม่เป็นการเพียงพอ เช่น ในกรณีของเพลลูกเบี้ยว ในเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ต้องการให้มีตำแหน่งเที่ยงตรง ดังนั้นมุมบิดของเพลที่เกิดขึ้นในขณะที่ใช้งานจะต้องมีค่าไม่มากเกินไปที่กำหนดไว้เป็นต้น นั่นคือเพลจะต้องมีความแข็งแรงอยู่ภายในพิกัดที่ต้องการ ถ้ามุมบิดมากเกินไปนอกจากจะเสียความเที่ยงตรงทางด้านตำแหน่งแล้วยังอาจจะก่อให้เกิดความสั่นสะเทือนซึ่งมีผลทำให้เฟืองและแบร้งที่รองรับเพลอยู่เกิดความเสียหายได้ง่ายขึ้น

ในทางปฏิบัติแล้วมักจะให้มุมบิดของเพลในเครื่องจักรกลทั่วไปไม่เกิน 0.3 องศา ต่อความยาวเพล 1 เมตร สำหรับเพลส่งกำลังทั่วไปอาจจะให้มุมบิดได้ถึง 1 องศา ต่อความยาวเพล 20 เท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพล ในกรณีของเพลลูกเบี้ยวสำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในแล้วจะให้มุมบิดได้ไม่เกิน 0.5 องศาตลอดความยาวของเพล

ความแข็งแรงที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งคือ ความแข็งแรงทางด้านระยะ โกง เพราะจะต้องใช้ระยะ โกงของเพลที่อยู่ภายใต้แรงภายนอกเป็นตัวสำคัญในการกำหนดระยะเบียด ระหว่างล้อสายพาน เฟือง โครงของเครื่องจักร ตลอดจนการเลือกชนิดของแบร้งสำหรับรองรับเพลให้เหมาะสม ถ้าเพลมีระยะ โกงมากเกินไปจะทำให้ความยาวของฟันเฟืองส่วนที่สัมผัสหรือขบกันลดลงเป็นผลทำให้อัตราส่วนการขบ (Contact ratio) ของเฟืองลดลงด้วย ทำให้การส่งกำลังของเฟืองไม่ราบเรียบเท่าที่ควรการเลือกแบร้งรองรับเพลก็เช่นกันจำเป็นต้องเลือกแบร้งชนิดที่อนุญาตให้มีการเอียงแนวสำหรับการใช้งาน ได้พอเหมาะกับระยะ โกงของเพลที่จะเกิดขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นแบร้งแบบธรรมดาหรือแบร้งแบบปรับแนวได้เอง ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าระยะ โกงเป็นสำคัญ

ระยะ โกงดังกล่าวมานี้ไม่มีมาตรฐานกำหนดเป็นแนวทางไว้ โดยทั่วไปแล้วผู้ออกแบบอาจจะถือค่าต่อไปนี้เป็นแนวทางในการกำหนดความแข็งแรงทางด้านระยะ โกงได้ดังนี้คือ

สำหรับเพลเครื่องจักรกลทั่วไป ค่าระยะ โกงระหว่างจุดที่รองรับด้วยแบร้งควรจะไม่เกิน 0.08 mm./m.

สำหรับเพลามีมีเฟืองตรง คุณภาพคืออยู่ด้วย ระยะ โกง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.125 mm. และ ความลาดเอียงของเพล ณ ตำแหน่งนี้ควรจะน้อยกว่า 0.0286 องศา

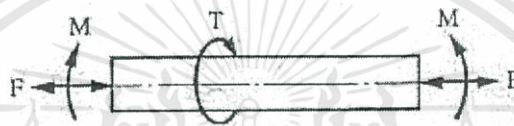
สำหรับเพลามีมีเฟืองคอกจอก คุณภาพคืออยู่ด้วย ระยะ โกง ณ ตำแหน่งที่มีเฟืองขบกันไม่ควรเกิน 0.075 mm.

เห็นว่าขนาดของเพลอาจจะหามาได้โดยใช้ความแข็งแรงที่ต้องการแทนที่จะเป็นความแข็งแรงในการรับแรง ภายนอกได้ การหาระยะ โกงของเพลที่ขนาดเท่ากันตลอดองทำได้โดยใช้วิธีที่ได้เรียนรู้ทาแล้วในวิชากลศาสตร์วัสดุ เช่น วิธีการอินทิเกรตสองครั้ง วิธีพื้นที่ของโมเมนต์คัต เป็นต้น

2.2.3.4 การออกแบบเพลตามโค้ดของ AMSE

ก่อนปี พ.ศ. 2497 ได้มีการยอมรับวิธีการคำนวณหาขนาดของเพลส่งกำลังซึ่งกำหนดเป็นโค้ด โดย สมาคมวิศวกรเครื่องกลแห่งสหรัฐอเมริกา (ASME) ก็ยังมีความสะดวกและง่ายต่อการใช้งาน

ใช้ทฤษฎีความเค้นเฉือนสูงสุด และไม่พิจารณาถึงความล้าหรือความเค้นหนาแน่นที่เกิดขึ้นบนเพล ความเค้น ต่างๆที่เกิดขึ้นบนเพลมีดังต่อไปนี้ คือ



รูป 2.4 เพลอยู่ภายใต้แรงต่างๆ [4:P232]

ความเค้นดึงหรือกด $\sigma_a = 4F/\pi (d^2 - d_i^2)$ (2.29)

ความเค้นคัต $\tau_o = 32Md/\pi (d^4 - d_i^4)$ (2.30)

$$\tau_o = 16Md/\pi (d^4 - d_i^4)$$
 (2.31)

$$\sigma_a = 4\tau_o/\pi (d^2 - d_i^2)$$
 (2.32)

เพลส่วนมากจะอยู่ภายใต้ความเค้นที่เป็นวัฏจักร ทั้งนี้เพราะเพลหมุนอยู่ตลอดเวลา นอกจากนั้นแรงที่กระทำ ยังอาจจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาก็ได้ ดังนั้นเพลจึงเกิดความเสียหายเนื่องมาจากความล้าเป็นส่วนใหญ่ สำหรับวิธีการคำนวณของ ASME ใช้วิธีการแบบสถิติศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องมีตัวประกอบความล้ามาเกี่ยวข้องด้วย 2.33

ถ้าให้ C_m = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการคัต

C_t = ตัวประกอบความล้าเนื่องจากการบิด

ดังนั้นสมการที่ (2.30) (2.31) จึงกลายเป็น

$$\tau_o = 32C_m M d / \pi (d^4 - d_i^4)$$
 (2.33)

$$\tau_{xy} = 16C_t T d / \pi (d^4 - d_i^4)$$
 (2.34)

ความเค้นกดหรือความเค้นดึงรวมคือ

$$\sigma_o = \sigma_a + \tau_o$$
 (2.35)

แทนค่า (2.32) , (2.33) , (2.34) และ (2.35) ลงในสมการข้างบนนี้แล้วจัดรูปใหม่จะได้ว่า

$$d^3 = 16/\pi (1-K^4) [(C_t T)^2 + [\alpha F d (1+K^2)/8 + C_m M]^2]^{1/2}$$
 (2.36)

โดยที่ $K = d_i/d$

ในกรณีที่ไม่มีความแรง F กระทำอยู่ด้วยสมการที่ (2.36) จะลดรูปเหลือเพียง

$$d^3 = 16/\pi (1-K^4) [(C_t T)^2 + (C_m M)^2]^{1/2}$$
 (2.37)

หรือในกรณีของเพลาค้น $K = di/d = 0$ เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (2.37) ก็จะได้สมการที่มีรูปคล้ายกับในหนังสือกลศาสตร์วัสดุทั่วไปคือ

$$d^3 = 16\sqrt{10}[(CtT)^2 + (CmM)^2]^2 \quad (2.38)$$

ค่าตัวประกอบความล้าสามารถเลือกใช้ตามลักษณะของแรงที่มากกระทำ ซึ่งหาได้จากตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่าตัวประกอบความล้า [4:P234]

ชนิดของแรง	C_m	C_t
เพลายูนิ่ง :		
แรงลมาเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.0	1.0
แรงกระตุก	1.5-2.0	1.5-2.0
เพลามุม :		
แรงลมาเสมอหรือเพิ่มขึ้นช้า ๆ	1.5	1.0
แรงกระตุกอย่างเบา	1.5-2.0	1.0-1.5
แรงกระตุกอย่างแรง	2.0-3.0	1.5-3.0

สำหรับตัวประกอบของการโก่งงอ ASME ได้แนะนำให้ใช้ค่าดังนี้

$$\alpha = 1 \text{ เมื่อ } F \text{ เป็นแรงดึง} \quad (2.39)$$

$$\alpha = 1/[1-0.004(L/K)] \text{ เมื่อ } L/K \leq 115 \quad (2.40)$$

$$\alpha = \sigma_y(L/K)^2/\sigma^2 n E \quad (2.41)$$

โดยที่ $n = 1.00$ เมื่อปลายเป็นแบบ SS
 $n = 2.25$ เมื่อปลายเป็นแบบ CC
 $n = 1.60$ เมื่อปลายเพลาลูกขึ้นเป็นบางส่วน
 $L =$ ความยาวจริงของเพล

จะเห็นได้ว่าสมการที่ (2.40) เป็นสมการของสูตรเส้นตรง และ สมการที่ (2.41) เป็นสมการของออยเลอร์ ซึ่งแก้ไขค่าคงที่ใหม่

2.2.3.5 ความแข็งแรงทางการบิด

สำหรับเพลามีขนาดสม่ำเสมอ มุมบิดเป็น rad จะหาค่าได้จากสมการ (9.15)

$$\theta = TL/GJ \quad (2.42)$$

สำหรับเพลากลมตัน $J = \pi d^4/32$ ดังนั้นจึงหาค่ามุมบิดเป็นองศาได้สมการ

$$\theta = 584TL/G d^4 \quad (2.43)$$

ถ้าเป็นเพลากลมกลวง

$$\theta = 584TL/(1-K^4)G d^4 \quad (2.44)$$

ฉะนั้นถ้าต้องการให้เพลามีความแข็งแรงตามลักษณะการใช้งานแล้ว ก็ควรที่จะใช้สมการที่ (2.44) นี้ตรวจสอบมุมบิดให้อยู่ในค่าที่ต้องการ

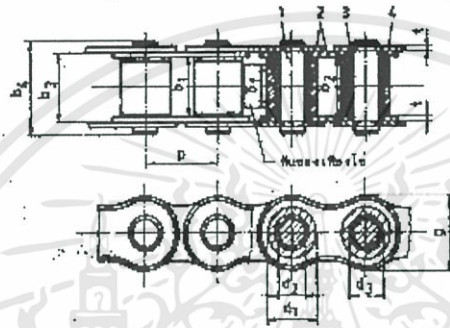
2.2.4 โข่ [5:P308]

เหตุผลที่เลือกใช้โข่ในการส่งกำลังเพราะว่า

- ในการติดตั้งไม่ต้องเที่ยงตรงนัก
- ไม่จำเป็นต้องมีแรงดึงขั้นต้นในโข่ด้านตึงเหมือนสายพาน
- ได้อัตราทดที่แน่นอน ไม่มีการสลิป
- ติดตั้งง่าย
- ใช้งานได้ในที่อุณหภูมิสูง มีฝุ่นละออง และชื้น

ชนิดโข่ที่เลือก คือ โข่โรลเลอร์ มีลักษณะดังนี้

ประกอบด้วยแผ่นต่อ (links) ด้านในและด้านนอกยึดติดกับ
สลัก และบุช (Bushes) โรลเลอร์กลวงสวมอยู่กับบุช.



รูป 31.3 โข่โซ่ชนิด 5 : 1 โซ่ 2 แผ่นต่อกันขณะคำนวณ 3 ชุดยึดกับกับแผ่นต่อ
ด้านใน 4 โข่แต่ละชุดได้ระยะห่าง 3

รูปที่ 2.5 โข่โรลเลอร์ [5:P310]

ในการส่งกำลังต้องคำนึงถึง

- 1) แรงตามแนวยาวของโซ่ (F_t) เป็นแรงที่ทำให้โซ่ยืด ถ้ามีค่าน้อย
โซ่ก็จะยืดน้อยลง มุมที่ข้อต่อโซ่หมุนไปในขณะขับ โดยเฟืองโซ่มีค่าเท่ากับ 180 องศา
ด้วยจำนวนฟัน Z ของเฟืองโซ่ ดังนั้นถ้าเฟืองโซ่มีจำนวนฟันน้อย มุมหมุนของข้อต่อโซ่
จะมีมาก ทำให้เกิดการสึกหรอที่บุชและสลักมากขึ้น และถ้าเฟืองโซ่มีระยะพิชท์เท่ากันเอง
โซ่ที่โตกว่าจะส่งกำลังได้น้อยกว่าเฟืองโซ่เล็ก ดังนั้น

$$\text{การส่งกำลังความเร็วต่ำ} \quad Z_{\min} = 17$$

$$\text{การส่งกำลังความเร็วต่ำมาก} \quad Z_{\min} = 12$$

Note : โดยปกติจำนวนฟันของเฟืองโซ่เป็นเลขคี่ และจำนวนข้อต่อโซ่เป็นเลขคู่ เพื่อช่วย
ให้ความถี่ในการสัมผัสระหว่างฟันของเฟืองโซ่กับข้อต่อโซ่น้อยลง ช่วยให้โซ่มีการสึก
หรอสม่ำเสมอ.

- 2) แรงในแนวสัมผัส (F_t)

ในการส่งกำลัง ถ้าโซ่รับแรงสม่ำเสมอและเฟืองโซ่หมุนด้วยความเร็วคงที่ โซ่จะเคลื่อนที่
ด้วยความเร็วคงที่ V และมีแรงในแนวสัมผัส F_t ซึ่งหาได้จาก

$$V = \pi \cdot d \cdot n = p \cdot z \cdot n \quad (2.45)$$

$$F_t = \frac{W_p}{V} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot t}{V} = \frac{2 \cdot T}{d} \quad (2.46)$$

โดย $T = \text{Torque}$
 $W_p = \text{กำลังงาน}$
 $Z = \text{จำนวนฟันเฟืองโซ่}$
 $N = \text{ความเร็วรอบของเฟืองโซ่}$

3) แรงดึงขึ้นต้น

แรงดึงขึ้นต้นในโซ่ด้านหย่อนที่เหมาะสมควรมีค่าเท่ากับแรงที่เหลืออยู่ในโซ่ด้านหย่อน ซึ่งในทางปฏิบัติมีค่าน้อยมาก ตัดทิ้งได้

4) แรงหนีศูนย์กลาง

ในขณะที่ส่งกำลังที่ข้อต่อของโซ่จะมีแรงหนีศูนย์กลางในแนวรัศมีของเฟืองโซ่ โดย

$$F_c = w \cdot V^2 \cdot \sin(\alpha) \quad (2.47)$$

$$F_{ct} = F_c / 2 \sin \alpha = w V^2 / g \quad (2.48)$$

$$V_{\max} = \text{ความเร็วรอบ} \cdot d / 2$$

$$= \text{ความเร็วรอบ} \cdot p / 2 \sin \alpha$$

$$V_{\min} = \text{ความเร็วรอบ} \cdot d \cdot \cos \alpha / 2$$

$$= \text{ความเร็วรอบ} \cdot p / 2 \tan \alpha$$

5) แรงกระแทกความเค้น

ในโซ่โรลเลอร์แบบต่างๆ

เลือกใช้โซ่โรลเลอร์ตามมาตรฐาน ISO/R 606-1976 (E)

เบอร์ ISO 10B แบบ 1 ชั้น

1) ความเค้นอัดบนสลัก

$$\sigma_c = (F_t + F_{ct}) / d \cdot 2b^3 \quad (2.49)$$

2) ความเค้นดัดในสลัก

$$\sigma_b = F \cdot l / (\pi \cdot (d/2)^3) / 32 \quad (2.50)$$

3) ความเค้นเฉือนในสลัก

$$\text{Torque} = F / (\pi \cdot (d/2)^2) / 2 \quad (2.51)$$

4) ความเค้นดึงสูงสุดที่แผ่นต่อโซ่

$$\sigma_t = F / 2t(h_2 - d_1) \quad (2.52)$$

5) ความเค้นอัดระหว่างโรลเลอร์หรือบูชกับฟันเฟืองโซ่

$$\sigma_c = F_i / d_1 \cdot 0.9b_1 \quad (2.53)$$

แต่ในทางปฏิบัติแล้วการเลือกขนาดโซ่มักดูจากตารางซึ่งค่าจะใกล้เคียงกับการคำนวณเลย เป็นการประหยัดเวลาด้วย.

2.3 ทฤษฎีว่าด้วยการขับเคลื่อน

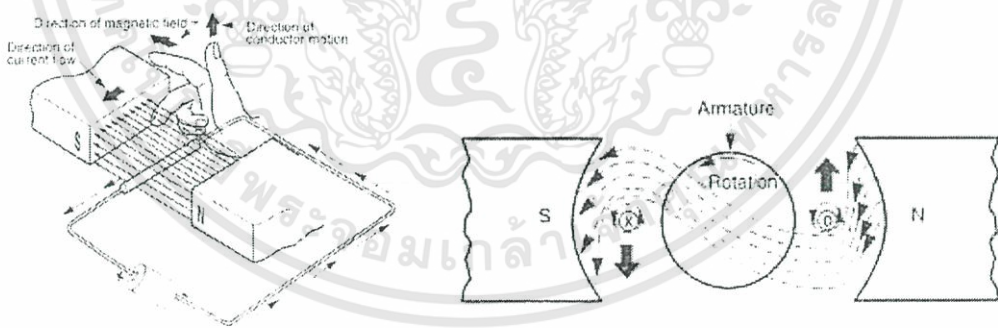
2.3.1 มอเตอร์กระแสตรง [3:P223]

กว่า 50 เปอร์เซ็นต์ใช้ไฟฟ้าเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์กำลังและมอเตอร์จะขับเคลื่อนวงล้อในอุตสาหกรรมมอเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานแม่เหล็กเพื่อผลิตพลังงานเชิงกล หลักการทำงานของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับอันตรกิริยากับสนามแม่เหล็กสองสนาม หลักการที่ง่ายสามารถสรุปได้ว่ามอเตอร์กำลังไฟฟ้าทำงานด้วยหลักการที่ว่าสนามแม่เหล็กสองสนามจะมีอันตรกิริยาเพื่อทำให้เกิดความเคลื่อนที่ จุดประสงค์หลักการใช้มอเตอร์ คือการผลิตแรงของการหมุน (ค่าทอร์ก)

ในปกติมักจะไม่นิยมใช้มอเตอร์กระแสตรงในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะอุปกรณ์ทั้งหลายออกแบบไว้สำหรับการใช้มอเตอร์กระแสสลับ นอกจากบางกรณีเท่านั้น ซึ่งจะแหล่งกระแสสลับมาเป็นกระแสตรงเพื่อใช้สำหรับมอเตอร์กระแสตรง ใช้มอเตอร์กระแสตรงเมื่อต้องการค่าทอร์กและการควบคุมอัตราเร็ว เพื่อให้สอดคล้องกับการประยุกต์ใช้งาน

ตัวนำที่มีกระแสไหลจะวางในตำแหน่งตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กและมีแนวโน้มนำเคลื่อนที่ในทิศตั้งฉากกับสนาม ขนาดของแรงแม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับความแรงของสนาม ปริมาณกระแสในตัวนำและความยาวของลวดตัวนำ

เพื่อจะหาทิศทางเคลื่อนที่ของตัวนำที่มีกระแสในสนามแม่เหล็กเราจะใช้กฎมือขวา ดังแสดงในรูป 2.6 (a) กำหนดให้หัวแม่มือและนิ้วชี้และนิ้วกลางจัดให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน โดยนิ้วชี้ชี้ตามทิศของสนามแม่เหล็ก นิ้วกลางชี้ทิศทางการไหลของกระแส (-หรือ+) ในตัวนำนิ้วหัวแม่มือชี้ทิศการเคลื่อนที่ของการเคลื่อนที่ของลวดตัวนำในรูป 2.6 (b) แสดงการเกิดค่าทอร์กที่เกิดจากขดลวดที่มีกระแสเคลื่อนที่ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็กอันตรกิริยาระหว่างสนามแม่เหล็ก 2 สนาม ทำให้เส้นแรงโค้ง เมื่อเส้นแรงนี้จะพยายามกลับมาเป็นเส้นตรงจะทำให้เกิดการหมุน ทางด้านซ้ายของตัวนำจะมีแรงชี้ลง และทางด้านขวามือของตัวนำจะมีแรงชี้ขึ้นทำให้อาร์มาเจอร์หมุนทวนเข็มนาฬิกา



รูป 2.6 หลักของมอเตอร์ [3:P224]

มอเตอร์กระแสตรงและเจนเนอเรเตอร์มีหลักการสร้างอย่างเดียวกัน ฉะนั้นเครื่องจักรกระแสตรง จำทำงานเป็นมอเตอร์และเจนเนอเรเตอร์มอเตอร์กระแสตรงแม่เหล็กถาวรเป็นมอเตอร์ที่ใช้สนามหลักจากแม่เหล็กถาวรใช้แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสนามทุติยภูมิ หรือฟลักซ์อาร์มาเจอร์ รูป 2.7 แสดงการทำงานของมอเตอร์แม่เหล็กถาวรกระแสไหลจากขดลวดอาร์มาเจอร์จากแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรง จะทำให้อาร์มาเจอร์เป็นแม่เหล็ก ขั้วแม่เหล็กของอาร์มา

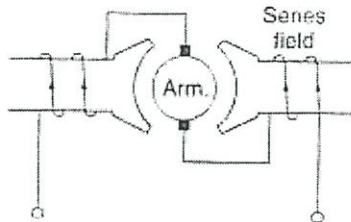
เจอร์จะมีขั้วตรงข้ามกับขั้วของสนามหลัก ทำให้อาร์มาเจอร์มีการหมุนในรูป 2.7 (a) อาร์มาเจอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา เมื่อขั้วอาร์มาเจอร์อยู่ในแนวเดียวกับแนวสนามหลัก ขนแปรงจะอยู่ในช่องว่างของคอมมิวเตเตอร์ จะไม่มีกระแสไหลผ่านในขดลวดอาร์มาเจอร์ ดังนั้นแรงแม่เหล็กจะเป็นแรงผลักดัน ดังแสดงในรูป 2.7 (b) ความเฉื่อยจะทำให้อาร์มาเจอร์ผ่านนิวทรัลพอยท์ คอมมิวเตเตอร์จะกลับทิศกระแสในอาร์มาเจอร์ เมื่อขั้วแม่เหล็กตรงกันข้ามตรงกัน จึงทำให้ขั้วแม่เหล็กของอาร์มาเจอร์จะกลับขั้วเมื่อขั้วเหมือนกันของอาร์มาเจอร์และสนามหลักอยู่ตรงกันจะทำให้เกิดการผลักกัน จึงทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์หมุนได้อย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูป 2.7 (c)



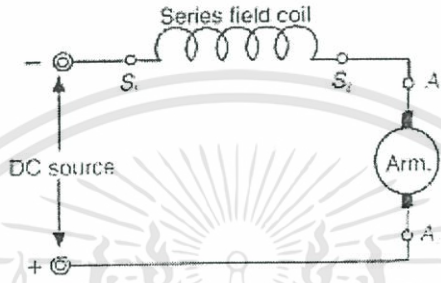
รูปที่ 2.7 หลักการทำงานมอเตอร์กระแสตรงแบบแม่เหล็กถาวร [3:P225]

ทิศทางการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงแม่เหล็กถาวร หาได้จากการไหลของกระแสผ่านอาร์มาเจอร์การกลับทิศของอาร์มาเจอร์จะทำให้การหมุนกลับทิศ ลักษณะสำคัญของมอเตอร์กระแสตรงคือ สามารถควบคุมอัตราเร็วได้ อัตราเร็วของมอเตอร์แม่เหล็กถาวรจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าแรงดันที่ให้กับอาร์มาเจอร์ ฉะนั้นถ้าแรงดันอาร์มาเจอร์สูงจะทำให้ได้อัตราเร็วของมอเตอร์สูงไปด้วย

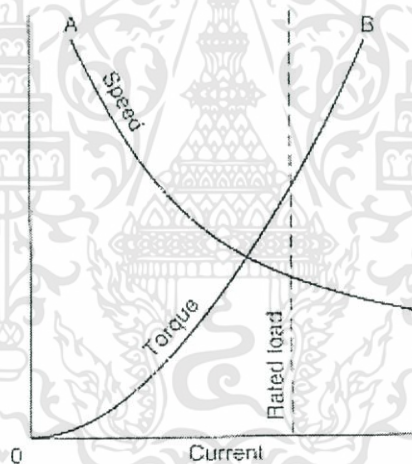
โซลเวอร์แม่เหล็กถาวรกระแสตรง (DC permanent-magnet servomotor) ซึ่งใช้กับเครื่องจักรกลที่ต้องการตำแหน่งที่แน่นอนของวัตถุโดยมีการขับเคลื่อนเริ่มต้นสูงและทอร์กในการขับ การขับเคลื่อนสูง การประยุกต์โซลเวอร์แม่เหล็กถาวร กระแสตรง ได้แก่ การควบคุมวาล์วความดันควบคุมตำแหน่งที่แม่นยำของแอมป์เปอร์ (damper) หรือควบคุมการทำงานของระบบควบคุมอื่นๆ



(a) Wiring diagram



(b) Schematic diagram



(c) Speed and torque characteristics

รูปที่ 2.8 มอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม [3:P226]

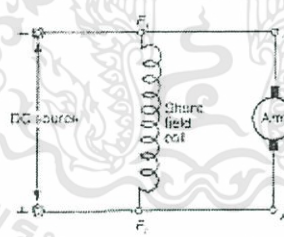
รูป 2.8 แสดงมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรม ซึ่งประกอบด้วยขดลวดสนามอนุกรม S_1 และ S_2 ซึ่งใช้เส้นลวดตัวนำขนาดใหญ่เพียงสองสามรอบต่ออนุกรมเข้ากับอาร์มาเจอร์ที่ระบุเป็น A_1 และ A_2 มอเตอร์กระแสตรงชนิดนี้จะมีค่าทอร์กเริ่มต้นสูงและมีอัตราเร็วที่ไม่คงที่ ซึ่งหมายความว่า จะมีค่าทอร์กเริ่มต้นสูงและมีอัตราเร็วเพิ่มขึ้น เมื่อค่าโหลดลดลง ที่มอเตอร์ชนิดนี้มีค่าทอร์กเริ่มต้นสูงเนื่องจากใช้กระแสค่าเดียวกับกระแสที่ไหลผ่านอาร์มาเจอร์และไหลผ่านขดลวดสนามด้วยทำให้ขนาดของสนามสูงขึ้น ดังนั้นถ้าโหลดต่ำมอเตอร์จะมีอัตราเร็วสูง และถ้าโหลดมีค่ามาก มอเตอร์จะมีอัตราเร็วต่ำลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

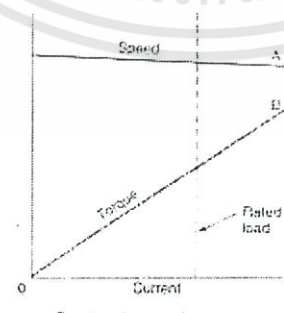
ลักษณะเด่นของมอเตอร์กระแสตรงแบบอนุกรมนี้คือสามารถหมุนด้วยค่าทอร์คที่สูง ยังสามารถขับเคลื่อนโหลดมาก ๆ ได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงสามารถใช้มอเตอร์นี้กับเครน กว้านจุดและลิฟต์ได้ การกลับทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงแบบนี้ ทำได้ด้วยการกลับทิศของการไหลของกระแสในขดลวดสนามและในอาร์มาเจอร์จึงเรียกชื่อมอเตอร์ชนิดนี้ว่า มอเตอร์ยูนิเวอร์แซล (universal motor) ทั้งนี้เป็นเพราะมอเตอร์ชนิดนี้สามารถทำงานได้ด้วยทั้งกระแสตรงหรือกระแสสลับ เหตุผลที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่ามอเตอร์กระแสตรงนี้ยังคงหมุนในทิศเดิมได้ แม้ว่ากระแสไหลผ่านขดลวดอาร์มาเจอร์และขดลวดสนามไหลกลับทิศในเวลาเดียวกัน

ในการใช้มอเตอร์กระแสตรงนี้จะไม่มีการใช้สายพาน เราจะต่อมอเตอร์ตรงเข้าโหลดเลย ทั้งนี้มอเตอร์กระแสตรงจะทำงานได้ดีต้องมีโหลด ในกรณีที่ไม่มีโหลดจะมีสนามแม่เหล็กที่ฉุนเฉียวแบบอ่อนๆ เท่านั้น การทำงานของมอเตอร์เมื่อไม่มีโหลดจะทำให้โรเตอร์มีอัตราเร็วสูงสุดที่ทำให้เกิดแรงเข้าสู่ศูนย์กลางทำให้ขดลวดเป็นอิสระ ความเสียดทานที่ขนแปรงความเสียดทานที่ล้นลูกปืน และการสูญเสียกำลังที่ขดลวดสนามจะทำให้เกิดโหลดพ้อที่จะลดอัตราเร็วของมอเตอร์ให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยได้ เมื่อใช้มอเตอร์กับเครื่องมือที่จำเป็นต้องใช้กำลัง ระบบเฟืองทดในระบบจะทำให้เกิดโหลดที่พ้อสำหรับการขับเคลื่อน

ในรูป 2.9 แสดงมอเตอร์กระแสตรงแบบขั้วที่ ขดลวดสนามขั้วที่ (shunt field coil) ดังระบุเป็น F_1 และ F_2 เป็นขดลวดขนาดเล็กมีจำนวนรอบมาก ๆ ดังนั้นจึงมีความต้านทานสูง มอเตอร์แบบขั้วนี้มีอาร์มาเจอร์ต่อขนานกับขดลวดสนามดังนั้นจึงทำให้ความแรงของสนาม และอัตราเร็วของมอเตอร์คงที่ เราประยุกต์ใช้มอเตอร์กับการเรกูเลตอัตราเร็วตามที่ต้องการเพื่อขับเคลื่อนเครื่องจักรกล ถ้าต่อรีโอสตัทเข้ากับขดลวดสนามขั้วที่ เราสามารถควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์ได้ อัตราเร็วของมอเตอร์จะเป็นปฏิภาคผกผันกับสนามซึ่งมีหมายความว่ามอเตอร์จะหมุนเร็วขึ้นเมื่อสนามมีขนาดต่ำและจะหมุนช้าลงเมื่อสนามมีขนาดเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้มอเตอร์แบบขั้วที่มีอัตราเร็วสูงจนเป็นอันตรายได้ถ้ากระแสในขดลวดเป็นศูนย์ การกลับทิศการหมุนของมอเตอร์กระแสตรงขั้วที่ ทำได้โดยการกลับทิศการไหลของกระแสในขดลวดและอาร์มาเจอร์



(a) Shunt motor connection



รูป 2.9 มอเตอร์กระแสตรงแบบขั้วที่ [3:P227]

มอเตอร์กระแสตรงแบบผสม ซึ่งมีขดลวดต่อทั้งแบบอนุกรม และแบบขนานกับมอเตอร์ ดังนั้นจึงทำให้ได้สนามสะสมทวีมากขึ้นขดลวดที่ต่อแบบอนุกรมและแบบขนานจะกระตุ้นมอเตอร์พร้อมกัน มอเตอร์ กระแสตรงแบบผสมนี้จะมีค่าเทอร์กเริ่มต้นสูง แต่น้อยกว่ากรณีแบบอนุกรม การมีลักษณะผสมผสานเช่นนี้จึงช่วยให้สามารถประยุกต์ใช้มอเตอร์แบบผสมนี้ได้อย่างมาก

โดยปกติมักจะประยุกต์ใช้งานมอเตอร์ในลักษณะเฉพาะที่มีการหมุนในทิศเดียวแต่ในบางครั้งอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงทิศการหมุนได้ ทิศการหมุนของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับทิศของกระแสในขดลวดและในอาร์มาเจอร์ ถ้ากลับทิศการไหลของกระแสในขดลวดและในอาร์มาเจอร์พร้อมกัน ทิศการหมุนของมอเตอร์จะเปลี่ยนไป ถ้าตัวแปรทั้งสองตัวเปลี่ยนแปลงพร้อมกันมอเตอร์จะยังคงหมุนในทิศเดิม ในกรณีที่ต้องการเปลี่ยนทิศการหมุนของมอเตอร์เราสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนทิศการไหลของกระแสในขดลวดสนามหรือในอาร์มาเจอร์อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยปกติมักนิยมเปลี่ยนทิศการไหลของกระแสในอาร์มาเจอร์

มอเตอร์กระแสตรงมีความเหมือนกับเจนเนอเรเตอร์กระแสตรง ตรงที่อาร์มาเจอร์รีแอกชั่น ทั้งนี้เนื่องจากขดลวดอาร์มาเจอร์มีกระแสไหลผ่าน จึงทำให้มีสนามแม่เหล็กเกิดขึ้นรอบๆ ขดลวดอาร์มาเจอร์เนื่องจากกระแสที่ไหลสนามแม่เหล็กในขดลวดอาร์มาเจอร์ ทำให้เกิดการเพี้ยนในสนามหลักของมอเตอร์เป็นเหตุให้นิวทรัลเพลนเลื่อนไปจากตำแหน่งเดิม ทิศการเพี้ยนของสนามแม่เหล็กในมอเตอร์จะมีทิศตรงกันข้ามกับกรณีที่เกิดขึ้นในเจนเนอเรเตอร์ ในกรณีของมอเตอร์อาร์มาเจอร์รีแอกชั่นจะเลื่อนนิวทรัลเพลนในทิศที่ตรงข้ามกับการหมุน ในบางครั้งมักนิยมใช้อินเตอร์โพลเพื่อป้องกันการเกิดประกายไฟที่ขั้วแปรง

ขณะที่ขดลวดอาร์มาเจอร์ในมอเตอร์หมุน ขดลวดอาร์มาเจอร์จะเคลื่อนที่ตัดกับสนามแม่เหล็กจะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำหรือ emf ในขดลวดกรณีเช่นนี้ เราอาจกล่าวได้ว่าเกิดเจนเนอเรเตอร์ในมอเตอร์กระแสตรงแรงดันเหนี่ยวนำนี้จะมีทิศตรงข้ามกับแรงดันที่เทอร์มินัล กรณีดังกล่าวนี้ เรียกว่า เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าในทิศตรงข้าม (counter electromotive force : $cemf$) จึงทำให้เกิดแรงดันสัมฤทธิ์ (effective voltage) ในขดลวดอาร์มาเจอร์ของมอเตอร์มีค่าเท่ากับผลต่างระหว่างแรงดันเทอร์มินัล ลบด้วย $cemf$ จากกฎของ โอห์มสามารถ หากระแสในขดลวดอาร์มาเจอร์ได้ดังนี้

$$I_A = \frac{V_{MT} - E}{R_A}$$

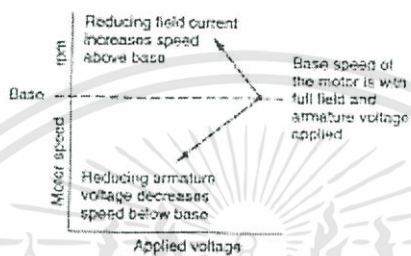
- เมื่อ I_A คือกระแสอาร์มาเจอร์
- V_{MT} คือแรงดันเทอร์มินัลของมอเตอร์
- E คือ $cemf$
- R_A คือ ความต้านทานของขดลวดอาร์มาเจอร์

ขนาดของ $cemf$ ในมอเตอร์หาได้จาก ความแรงของสนาม จำนวนขดลวดตัวนำอาร์มาเจอร์ที่ต่อขนานระหว่างขั้วแปรง และอัตราเร็วของมอเตอร์ ในขณะที่มอเตอร์เริ่มหมุน ขดลวดอาร์มาเจอร์จะไม่หมุนทันที ดังนั้นจึงไม่มี $cemf$ เมื่อป้อนแรงดันเข้าให้เข้ากับมอเตอร์ มอเตอร์จะดึงกระแสออกมาจากขดลวดอาร์มาเจอร์ตามกฎของโอห์มดังกล่าวย่างฉับ ตัวแปรที่จำกัดขนาดของกระแสคือความต้านทานของขดลวดในมอเตอร์ ขณะที่ขดลวดอาร์มาเจอร์หมุนเร็วขึ้นขดลวดนี้จะผลิต $cemf$ ออกมา เหตุที่เกิต้นี้จะทำให้เกิดการจำกัดขนาดกระแสที่ไหลในมอเตอร์ ฉะนั้นขณะที่อัตราเร็วของมอเตอร์สูงขึ้น ค่า $cemf$ จะเพิ่มขึ้น และกระแสที่ถูกดึงออกจากมอเตอร์ลดลง

เมื่ออัตราเร็วของมอเตอร์ถึงระดับที่มีอัตราเร็วขณะที่ไม่มีโหลด จะพบว่าค่า $cemf$ มีค่าเกือบเท่ากับแรงดันเทอร์มินัล ชะเวลาดังกล่าวจะมีกระแสไหลเพียงพอกที่คงให้มอเตอร์จะลดลง อันเป็นผลให้ค่า $cemf$ จะลดลง ฉะนั้นกระแสจะ

ถูกดึงมาขับเคลื่อน โหลด ดังนั้นจะกล่าวได้ว่าโหลดที่ต่อเข้ากับมอเตอร์จะปรับค่าอัตราเร็วของมอเตอร์และมีผลกระทบโดยตรงกับ cemf และกระแส

อัตราเร็วของมอเตอร์กระแสตรง ขึ้นอยู่กับความแรงของสนามแม่เหล็ก และแรงดันที่ป้อนให้กับอาร์มาเจอร์ และขนาดของโหลด ดังนั้นอัตราเร็วของมอเตอร์จะควบคุมได้ด้วยกระแสหรือขึ้นอยู่กับแรงดันที่ป้อนให้กับขดลวดอาร์มาเจอร์ เมื่อโหลดมีค่าเพิ่มขึ้น อัตราเร็วและ cemf จะลดลงเมื่อกระแสเพิ่มขึ้น ในทำนองเดียวกันเมื่อขณะที่โหลดมีค่าลดลง อัตราเร็วและ cemf จะเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสลดลง โดยปกติการออกแบบมอเตอร์จะออกแบบไว้ให้มีกำลังเป็นกำลังม้า เมื่อมีโหลดเต็มที่ อัตราเร็วปกติเมื่อมีโหลดเต็มที่จะมีชื่อเรียกเป็น อัตราเร็วฐาน (base current) ของมอเตอร์ อัตราเร็วฐานนี้จะหาได้จากอัตราแรงคัมของอาร์มาเจอร์กับกระแสสนามที่สูงสุด ดังแสดงในรูป 2.10



รูป 2.10 การควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์กระแสตรง [3:P229]

อัตราเร็วของมอเตอร์กระแสตรงจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับ cemf เมื่อสนามหลักมีความแรงน้อยลงจะทำให้ cemf มีค่าน้อยลง ค่า cemf ที่น้อยลงนี้จะทำให้กระแสไหลในขดลวดอาร์มาเจอร์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้สนามแม่เหล็กในขดลวดอาร์มาเจอร์แรงขึ้นและยังผลให้อัตราเร็วของมอเตอร์เพิ่มสูงขึ้น อัตราเร็วของมอเตอร์จะสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่ง cemf จะจำกัดให้มีกระแสค่าใหม่เกิดขึ้น กระแสดังกล่าวนี้หาได้จากความแรงของสนามหลักที่เวลาดังกล่าวนี้ มอเตอร์จะขับเคลื่อนโหลดด้วยอัตราเร็วที่คงที่ ในกรณีของมอเตอร์แบบซันท์ การควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์จะทำได้ด้วยการต่อรีโอสตัทแบบอนุกรมเข้ากับขดลวดสนามซันท์ ค่าความต้านทานที่เพิ่มขึ้นในขดลวดจะลดขนาดของกระแส ดังนั้นจึงทำให้ความแรงของสนามแม่เหล็กลดลง การที่ความแรงของสนามลดลงนั้นจะทำให้มอเตอร์หมุนเร็วขึ้น การควบคุมอัตราเร็วเช่นนี้เป็นที่นิยมใช้กันมากเพราะง่ายและค่าใช้จ่ายไม่มากนัก อัตราเร็วของมอเตอร์จะมากกว่าอัตราเร็วฐานจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีค่าทอร์กลดลง หรือกล่าวสั้นๆได้ว่า การที่สนามอ่อนแรงลงจะทำให้ค่าทอร์กของมอเตอร์ลดลง

ถ้ารักษาให้สนามหลักมีค่าคงที่เท่ากับความแรงของสนามสูงสุดค่าหนึ่ง แรงคัมอาร์มาเจอร์จะเป็นตัวแปรควบคุมอัตราเร็ว ฉะนั้นการเพิ่มหรือลดแรงดันที่ป้อนให้กับอาร์มาเจอร์ อัตราเร็วของมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างเป็นปฏิภาคโดยตรง อัตราเร็วของอาร์มาเจอร์จะถูกควบคุมด้วยรีโอสตัท รีโอสตัทจะลดอัตราเร็วที่ระบุไว้ กรณีมอเตอร์ขนาดเล็กให้ใช้รีโอสตัทควบคุมอัตราเร็ว ในกรณีอื่นๆ การใช้รีโอสตัทควบคุมอัตราเร็วของมอเตอร์ มักจะไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอเพราะว่าอาร์มาเจอร์ เป็นวงจรที่มีกระแสสูง ดังนั้นจะมีกำลังและความร้อนสูญเสียที่รีโอสตัท ฉะนั้นการควบคุมอัตราเร็ว จึงทำได้ค่อนข้างยาก

การควบคุมอัตราเร็วของอาร์มาเจอร์แบบระบบ Ward-Leonard อาร์มาเจอร์ของมอเตอร์ (M) ถูกต่อแบบแยกส่วนกับเจนเนอเรเตอร์กระแสตรงที่ได้รับการกระตุ้น (G) แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าตั้งแต่ศูนย์ถึงค่าสูงสุด ดังนั้นอัตราเร็วของมอเตอร์จึงมีค่าจากศูนย์จนถึงค่าสูงสุดเช่นเดียวกัน

แสดงให้เห็นว่าสามารถใช้การควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้ SCR การนำไฟฟ้าของ SCR ถูกควบคุมได้ด้วยการกำหนดอัตราเร็วอ้างอิงด้วยโพเทนชิโอมอเตอร์ ซึ่งจะเปิดวงจรของ SCR ในแต่ละครึ่งไซเคิลที่เป็นบวกและด้วยการแปรค่าแรงดันที่ป้อนให้กับอาร์มาเจอร์

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการควบคุม

2.4.1 ความหมายของไมโครคอนโทรลเลอร์ [2:P3]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (microcontroller) เป็นชื่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบหนึ่งที่มีรวมเอาหน่วยประมวลผล หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก วงจรรับสัญญาณอินพุต วงจรขับสัญญาณเอาต์พุต หน่วยความจำวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาไว้ด้วยกัน ทำให้สามารถนำไปใช้งานแทนวงจรรีเลย์อิเล็กทรอนิกส์ที่ซับซ้อนได้เป็นอย่างดี ช่วยลดจำนวนอุปกรณ์และขนาดของระบบ ในขณะที่มีขีดความสามารถสูงขึ้น ภายใต้งบประมาณที่เหมาะสม

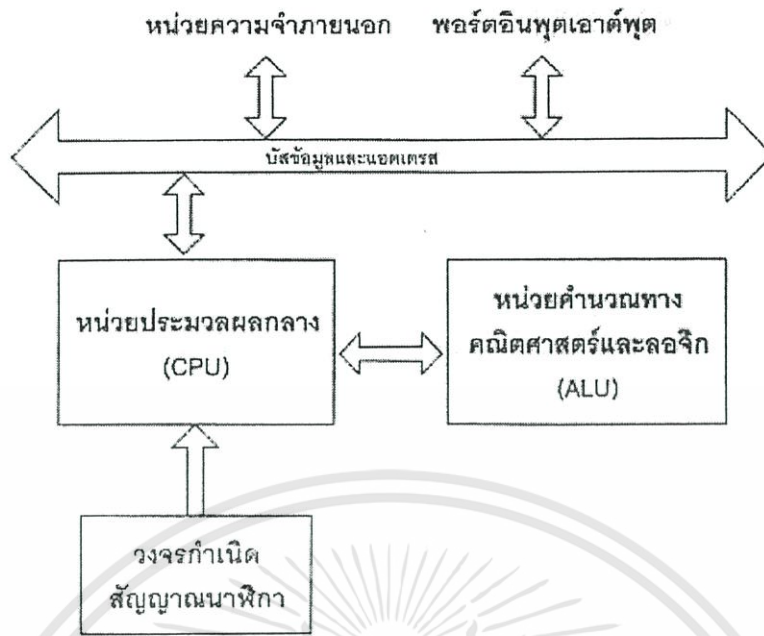
ไมโครคอนโทรลเลอร์มาจากคำ 2 คำรวมกันคือ “ไมโคร” (micro) ซึ่งหมายถึงไมโครคโปรเซสเซอร์ (microprocessor) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ประมวลผลข้อมูลขนาดเล็ก ภายในประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลางหรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit) หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก (ALU : Arithmetic Logic Unit) วงจรเชื่อมต่อหน่วยความจำ และวงจรสัญญาณนาฬิกา อีกคำหนึ่งคือคำว่า “คอนโทรลเลอร์” (controller) หมายถึง อุปกรณ์ควบคุม ดังนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุม โดยที่สามารถเขียนโปรแกรมเพื่อกำหนดรูปแบบการควบคุมได้อย่างอิสระ

2.4.2 ความแตกต่างของไมโครคอนโทรลเลอร์กับไมโครโปรเซสเซอร์ [2:P3]

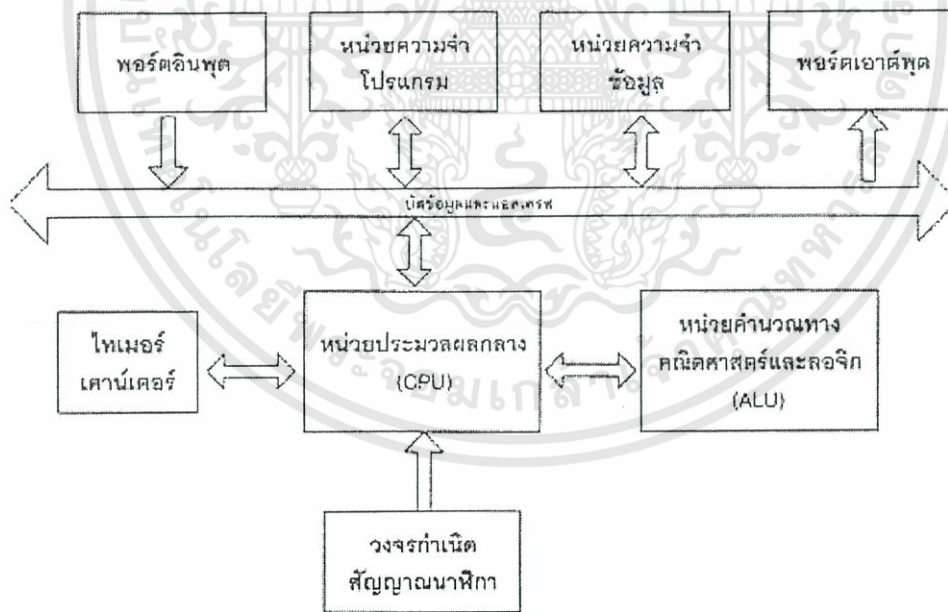
ในรูปที่ 2.11 แสดงโครงสร้างของไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งประกอบด้วย หน่วยประมวลผลกลาง, หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก บัสข้อมูลและแอดเดรสสำหรับติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก และวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา นั่นหมายความว่า การใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์จะต้องเชื่อมต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก และถ้าหากต้องการเชื่อมต่ออุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุต ต้องอาศัยอุปกรณ์ที่เรียกว่า ไอซีขยายพอร์ต (port expander) ทำให้การสร้างระบบควบคุมจึงต้องการอุปกรณ์จำนวนมาก ส่งผลให้ขนาดของระบบใหญ่พอสมควร

ในรูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์มีอุปกรณ์พื้นฐานเหมือนกับไมโครโปรเซสเซอร์ หากแต่จะบรรจุหน่วยความจำโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูล และพอร์ตอินพุตเอาต์พุต ไว้ภายในพร้อมสรรพ ผู้ใช้งานเพียงแค่เขียนโปรแกรมควบคุมลงบนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้วต่ออุปกรณ์ที่ใช้ในสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา อาทิ คริสตอล ตัวเก็บประจุ เป็นต้น สุดท้ายเชื่อมต่ออุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตเข้ากับขาพอร์ต เพียงเท่านี้ก็สามารถใช้งานได้แล้ว

อย่างไรก็ตาม ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็สามารถเชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้เช่นกัน โดยพิจารณาให้หน่วยความจำภายนอกนั้นเป็นอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตตัวหนึ่ง แล้วใช้ขาพอร์ตที่มีอยู่ทำการติดต่อ ในตารางที่ 2.3 เป็นตารางสรุปความแตกต่างที่สำคัญระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 2.11 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครโปรเซสเซอร์ [2:P4]



รูปที่ 2.12 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ [2:P4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์กับไมโครโปรเซสเซอร์ [2:P5]

คุณสมบัติ	ไมโครโปรเซสเซอร์	ไมโครคอนโทรลเลอร์
ขนาดของหน่วยประมวลผลกลาง	ไม่น้อยกว่า 8 บิต	ส่วนใหญ่จะมีขนาด 8 บิต
หน่วยคำนวณทางคณิตศาสตร์และลอจิก	มีอยู่ภายใน	มีอยู่ภายใน
วงจรถ่ายทอดสัญญาณนาฬิกา	มีอยู่ภายใน	มีอยู่ภายใน
การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำโปรแกรม	เชื่อมต่อกับภายนอกเท่านั้น	ใช้ได้ทั้งภายในและภายนอก
การเชื่อมต่อกับหน่วยความจำข้อมูล	เชื่อมต่อกับภายนอกเท่านั้น	ใช้ได้ทั้งภายในและภายนอก
การเชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตเอาต์พุต	เชื่อมต่อกับภายนอกเท่านั้น	มีอยู่ภายใน และสามารถขยายได้
ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์	ไม่มีในชิปที่ขนาดเล็ก	มีค่าน้อยถึง 1 ตัว ขนาด 8-16 บิต
วอตช์ดอกโวมเมอร์	ไม่มีในชิปที่ขนาดเล็ก	มีอย่างน้อย 1 ตัว
จำนวนขาต่อใช้งาน	ไม่น้อยกว่า 40 ขา	มีตั้งแต่ 8 ขาขึ้นไป

2.4.3 การเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ [2:P5]

ถ้าเป็นการสร้างระบบควบคุมขนาด 8 บิต มีความต้องการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกไม่มากนัก (น้อยกว่า 10 แบบ) ควรเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และถ้าหากต้องมีการประมวลผลข้อมูลจำนวนมาก ต้องใช้หน่วยความจำโปรแกรมสูงถึง 8 กิโลไบต์ ทั้งยังมีความต้องการเก็บรักษาข้อมูลลงในหน่วยความจำข้อมูลมากเป็นกิโลไบต์ควรออกแบบให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในระบบควบคุมนี้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

ถ้าหากต้องใช้งานกับข้อมูลมากกว่า 8 บิตตลอดเวลา และต้องการความเร็วในการทำงานสูงๆ สามารถติดต่อหน่วยความจำได้เป็นจำนวนมากๆ ติดต่อกับอุปกรณ์อินพุตเอาต์พุตได้จำนวนมากภายในเวลาเดียวกัน ควรเลือกใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ดังจะเห็นได้จากในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เป็นหัวใจหลักในการทำงาน ทำให้สามารถเชื่อมต่อกับหน่วยความจำได้มากเป็นหน่วยกิกะไบต์ ขนาดของข้อมูลสูงถึง 64 บิต ความเร็วสูงเป็นหลายร้อยเมกะเฮิร์ตซ์เป็นต้น

ดังนั้นจึงพอสรุปได้ว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์เหมาะสำหรับการสร้างระบบควบคุม ในขณะที่ไมโครโปรเซสเซอร์เหมาะสำหรับการสร้างระบบประมวลผลข้อมูลความเร็วสูงและระบบควบคุมขนาดใหญ่ต่างๆ

2.4.4 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช [2:P7]

จุดมุ่งหมาย

- รู้จักกับโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ที่สำคัญไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
- ทราบถึงความแตกต่างระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นดั้งเดิมกับแบบแฟลชไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ที่ใช้เรียนรู้ในหนังสือเล่มนี้จะอ้างอิงถึงไมโคร

คอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบแฟลช (flash memory) ของ Atmel Corporation มีเบอร์ขึ้นต้นด้วย AT89 เหตุผลที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบนี้ในการเรียนรู้เพื่อใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายประการดังนี้

1. หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปแบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก ส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ
2. ต้นทุนและเวลาในการพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ลดลงอย่างมาก เนื่องจากไม่ต้องใช้เครื่องมือพัฒนาจำนวนอิมูเลเตอร์และเครื่องโปรแกรมอีพรอม
3. บริษัทผู้ผลิตได้ทำการผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ออกมาหลายเบอร์ และมีความสามารถแตกต่างกันไป ทำให้มีทางเลือกในการใช้งานสูง
4. ด้วยการใช้หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ทำให้สามารถป้องกันการคัดลอกข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมได้เป็นอย่างดี
5. ในบางเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผลิตโดย Atmel สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมได้โดยไม่ต้องถอดตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ออกมาทำการโปรแกรมใหม่ หรือเรียกว่าการโปรแกรมในวงจรหรือในระบบ (In-system programming) ทำให้การพัฒนาหรือการซ่อมบำรุงตลอดจนการปรับปรุงหรืออัปเดตข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมทำได้สะดวก ภายใต้งบประมาณที่ไม่สูงมากนัก
6. ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมพื้นฐานเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ของผู้ผลิตอื่น ไม่ว่าจะเป็นอินเทล, ซิเมนส์ หรือ คัลลัส

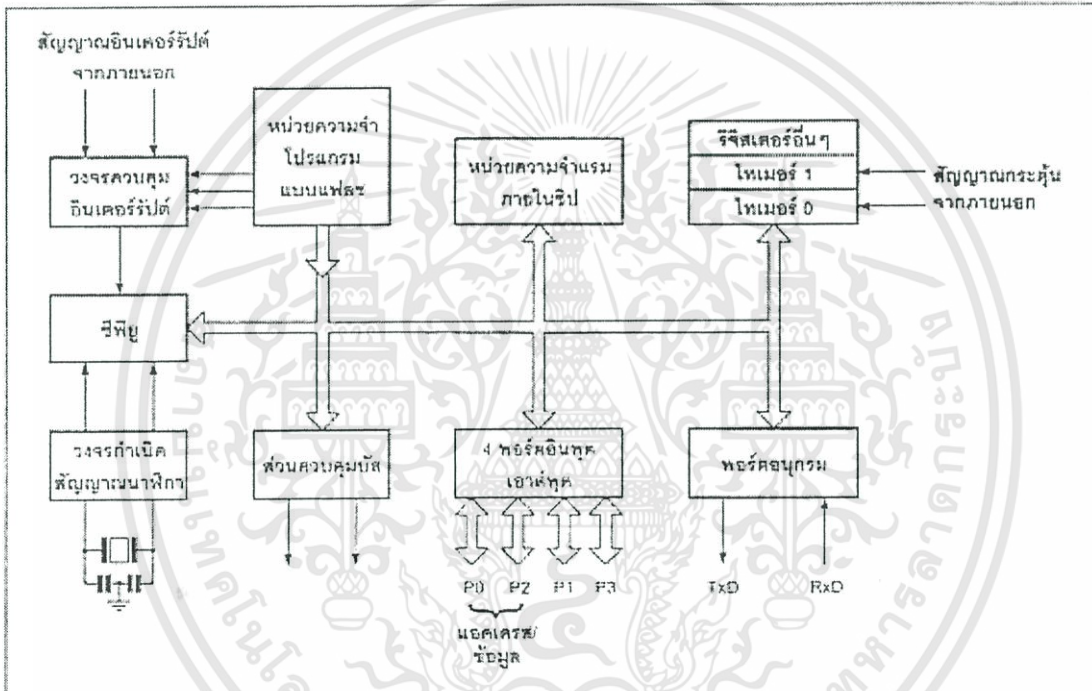
2.4.5 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 อนุกรม AT89xx [2:P7]

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม ในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบอีอีพรอมเพิ่มเติม
- ขอพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท
- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณพิกที่อยู่ภายในชิป
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ SPI สำหรับในอนุกรม AT89Sxx

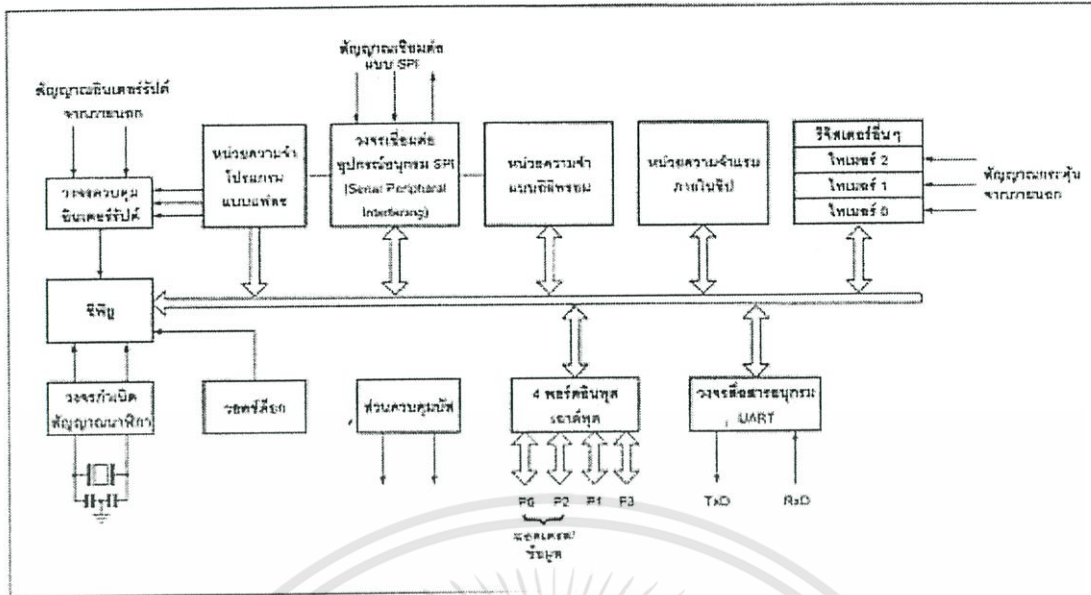
- มีวอตซ์ค็อกไทเมอร์ในตัว สำหรับในอนุกรม A689Sxx

ในรูปที่ 2.13 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89Cxx จะเห็นได้ว่า โครงสร้างของ AT89Cxx จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 พื้นฐาน หากแต่แตกต่างกันเฉพาะหน่วย ความจำโปรแกรมแบบแฟลชที่เพิ่มเติมเข้ามา หากเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรม 87xx หน่วยความจำโปรแกรม ภายในจะเป็นแบบอีพรอม และบางเบอร์สามารถโปรแกรมได้เพียงครั้งเดียว

สำหรับในรูปที่ 2.14 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของอนุกรม AT89Sxx จะเห็นได้ว่า มีส่วนประกอบที่เพิ่มเติมแตกต่างจาก AT89Cxx อยู่หลายส่วน อาทิ วงจรเชื่อมต่ออนุกรมแบบ SPI ซึ่งในไมโครคอนโทรลเลอร์อนุกรมนี้ใช้ในการ เขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรมโดยไม่ต้องถอดตัวชิปออกไปจากระบบหรือเรียกว่าการโปรแกรมในวงจร ไทเมอร์/คานต์เคอร์ขนาด 16 บิตที่เพิ่มเติมเข้ามาอีกตัวหนึ่งตัวเป็นไทเมอร์ 2 และวงจรวอตซ์ค็อกไทที่ใช้ในการตรวจสอบการทำงานผิดพลาดของซีพียู



รูปที่ 2.13 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Cxx [2:P9]



รูป 2.14 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชในอนุกรม AT89Sxx [2:P7]

2.4.6 การจัดหาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 [2:P8]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.15 และ 2.16 โดยมีรายละเอียดขึ้นต้น ดังนี้

ขา Vcc ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5V

ขา GND เป็นขาราวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ

ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วยเพื่อสลับการทำงานเป็นได้ทั้งขาติดต่อกับแอดเดรสและขาข้อมูล

ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย นอกจากนี้ในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทม์เมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทม์เมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการโปรแกรมข้อมูลในระบบ

ขาพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วยส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15)

ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มี 8 ขาแต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วยส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดขั้นต้นต่อไปนี้

P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD

P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรมหรือขา TxD

P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา $\overline{\text{INT0}}$

P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา $\overline{\text{INT1}}$

P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา T0

P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา T1

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ $\overline{\text{WR}}$ ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

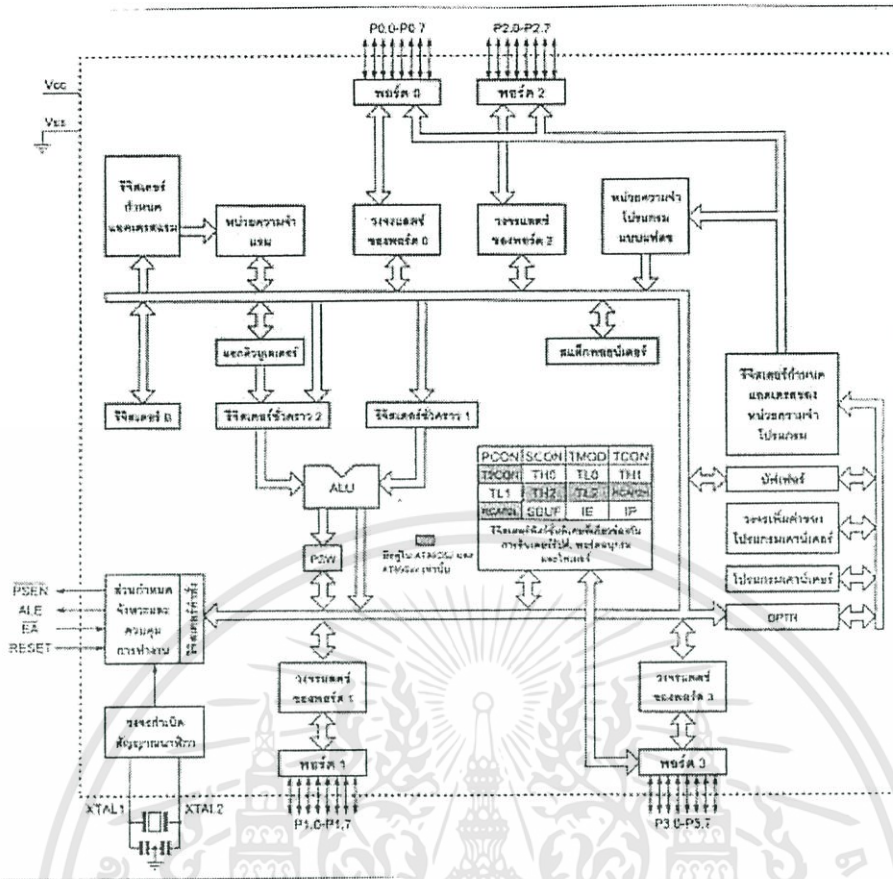
ขา รีเซ็ต (Reset) ใช้ในการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซ็ตสถานะที่ขาที่นี้อยู่ในระดับรีเซ็ตอย่างน้อย 2 แมกซ์ไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างเป็นปกติ

ขา $\overline{\text{ALE/PROG}}$ (Address Latch Enable/Program pulse input) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนี้ขาขายังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบอีพรอม

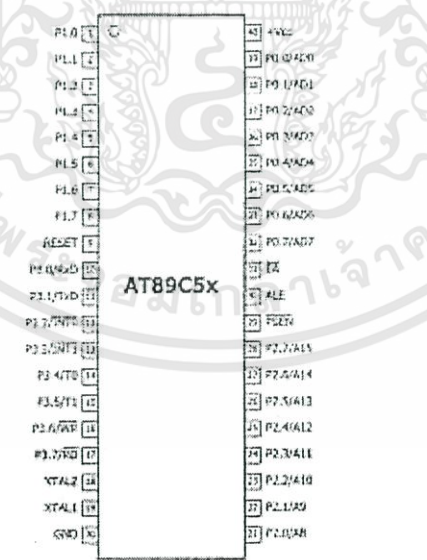
ขา $\overline{\text{PSEN}}$ (Program Store Enable) ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้ง ในแต่ละแมกซ์ไซเคิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะไม่มีการส่งสัญญาณใดๆ ออกมา

ขา EA/Vpp (External Access enable/Programming voltage input) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น “0” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขานี้เป็น “1” เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ ขานี้ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูงสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม +12V

ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับต่อคริสตัลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูป 2.15 รายละเอียดโครงสร้างหลักของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบเฟลชของ Atmel [2:P11]



รูป 2.16 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในอนุกรม AT89C5x [2:P11]

2.4.7 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต [2:P12]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีพอร์ตให้ใช้งานทั้งสิ้น 4 พอร์ต คือ พอร์ต 0 ถึงพอร์ต 3 แต่ละพอร์ตมีขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบ 2 ทิศทาง กล่าวคือสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตสำหรับรับสัญญาณข้อมูลเข้าและเอาต์พุต สำหรับส่งสัญญาณข้อมูลออก ทุกพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีวงแลตซ์และวงจรถับคลอจกนบัพเฟอร์อินพุต ดังแสดงให้เห็นในสถาปัตยกรรมรูปที่ 2.15

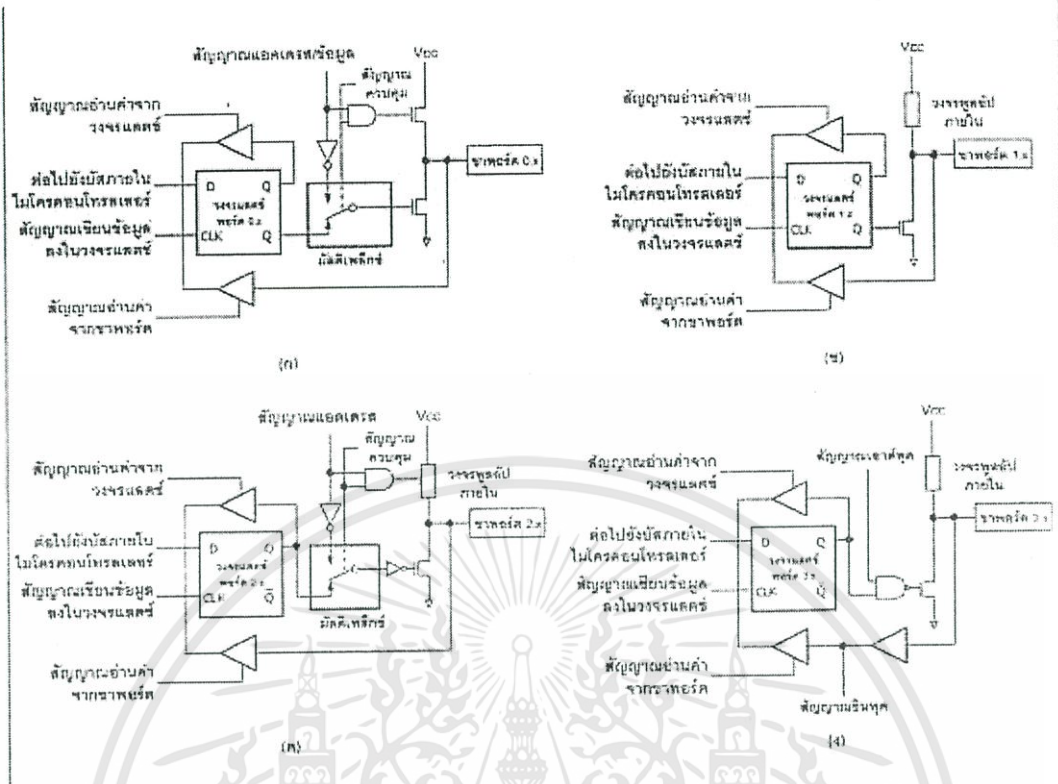
ที่พอร์ต 0 และพอร์ต 2 จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตสำหรับงานทั่วไป และใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก สำหรับพอร์ต 3 ทั้งพอร์ตและพอร์ต 1 บางงานนอกจากจะใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตตามปกติแล้วยังสามารถใช้งานในหน้าที่พิเศษได้อีก ขึ้นอยู่กับว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ใด ดังสรุปได้ในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 หน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชของ Atmel [2:P13]

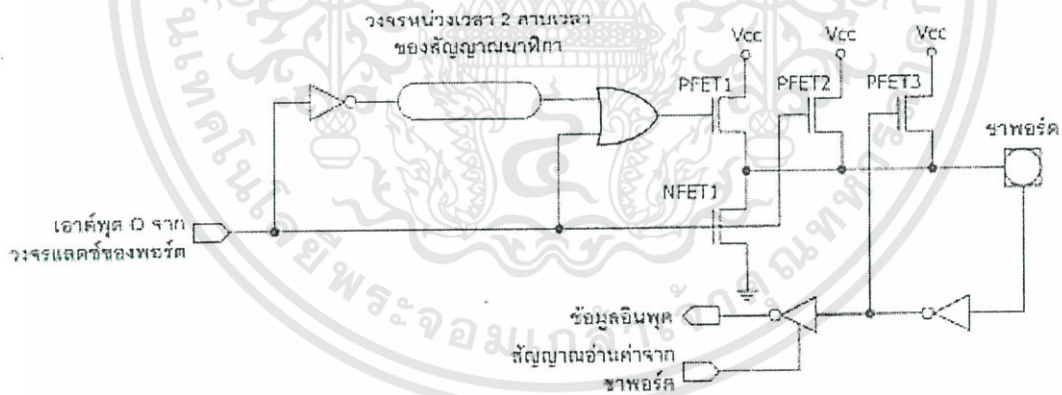
ขา	เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	หน้าที่พิเศษ
P1.0	AT89C52/AT89Sxx	ขา T2 เป็นขาอินพุตนับค่าของไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 และเป็นขา
P1.1	AT89C52/AT89Sxx	และควบคุมทิศทางของสัญญาณ
P1.4	AT89Sxx	ขา SS (Slave Select) เป็นขาเลือกการติดต่อในกรณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์สเลฟในระบบการติดต่อแบบ SPI
P1.5	AT89Sxx	ขา MOSI (Master data output, Slave data input) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.6	AT89Sxx	ขา MISO (Master data input, Slave data output) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.7	AT89Sxx	ขา SCK (Master clock output) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการติดต่อกับพอร์ต SPI

ในรูปที่ 2.17 แสดงวงจรรภายในของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช โดยในรูปที่ 2.17 (ก) เป็นวงจรถาพอร์ต 0 วงจรแลตซ์ของแต่ละบิตในแต่ละพอร์ตก็คือวงจรถิฟลิปฟล็อปนั่นเอง การอ่านค่าสถานะของพอร์ตและสถานะของวงจรถาแลตซ์สามารถกระทำได้อย่างอิสระด้วยสัญญาณที่แยกจากกัน นั่นคือสัญญาณอ่านข้อมูลจากขาพอร์ต และสัญญาณอ่านข้อมูลจากวงจรถาแลตซ์ ส่วนการเขียนข้อมูลมายังพอร์ตต้องส่งสัญญาณมายังขา CLK ของชิฟลิปฟล็อป ในขณะที่ข้อมูลจะผ่านมาจากขาบัสข้อมูลภายในเข้าสู่ขา D ของชิฟลิปฟล็อป

ที่พอร์ตนี้มีวงจรมัลติเพล็กซ์สำหรับกำหนดลักษณะการทำงานของพอร์ตว่า ต้องการใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติหรือใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์



รูป 2.17 วงจรภายในของพอร์ตทุกพอร์ตในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช [2:P14]



วงจรทูลอัปประกอบด้วยเฟตชนิดพีเอ็น 3 ตัวคือ PFET1-PFET3 โดย NFET1 จะทำงานเมื่อได้รับลอจิก "1" จากขา D และหยุดทำงานเมื่อได้รับลอจิก "0" วงจรทูลอัปจะเริ่มต้นทำงานเมื่อ NFET1 ได้รับลอจิก "1" PFET1 จะทำงานนานประมาณ 2 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาภายใน หลังจากที่เกิดการเปลี่ยนแปลงจากลอจิก "0" เป็นลอจิก "1" ในขณะที่ PFET1 ทำงาน จะทำให้ PFET3 ทำงานตามไปด้วย ทำให้เกิดการทูลอัปขาพอร์ต

รูป 2.18 วงจรทูลอัปภายในพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช [2:P15]

เนื่องจากขาพอร์ต 0 ไม่มีวงจรถูกอับภายใน หากมีการนำพอร์ต 0 ไปใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตจะต้องต่อตัวต้านทานที่ถูกอับภายในที่ขาพอร์ต 0 ทุกขาด้วย

ในรูปที่ 2.17 (ข) เป็นวงจรถูกอับของพอร์ต 1 ซึ่งมีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกับพอร์ต 0 หากแต่ไม่มีวงจรมัลติเพล็กซ์ เนื่องจากพอร์ตนี้จะไม่ใช่ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก แต่จะมีวงจรถูกอับภายในที่แต่ละบิตของพอร์ตนี้แทนสำหรับรายละเอียดของวงจรถูกอับแสดงในรูปที่ 2.18

ในรูปที่ 2.17 (ค) เป็นวงจรถูกอับภายในของพอร์ต 2 จะคล้ายกับพอร์ต 0 มาก ต่างกันเพียงมีวงจรถูกอับเพิ่มเติมเข้ามา ส่วนในรูปที่ 2.17 (ง) เป็นวงจรถูกอับภายในของพอร์ต 3 จะเห็นได้ว่าคล้ายกับพอร์ต 1 มีการเพิ่มเติมนวงจรมัลติเพล็กซ์และวงจรถูกอับเอาต์พุตเมื่อทำงานในฟังก์ชันพิเศษเข้ามา เนื่องจากพอร์ต 3 สามารถนำไปใช้งานในหน้าที่พิเศษได้ทุกขา

2.4.8 การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต [2:P13]

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องทำความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล “1” มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของเฟตที่ใช้ในการขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้นๆ ทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อเข้ากับวงจรถูกอับภายในโดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น “1” สามารถรับสัญญาณลอจิก “0” จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาแล้วเก็บไว้ในวงจรมัลติเพล็กซ์ภายในพอร์ต แล้วรอให้ซีพียูมาอ่านค่าเข้าไป เมื่อเป็นเช่นนี้ อุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชควรกำหนดให้ทำงานในสภาวะลอจิก “0” จะดีและสะดวกที่สุด (ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์อินพุตที่เชื่อมต่อไมโครคอนโทรลเลอร์แทบทั้งหมดทำงานที่ลอจิก “0” แล้ว)

2.4.9 การใช้งานเอาต์พุต [2:P14]

โดยปกติแล้ว ขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้ว ดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลออกไปได้อย่างง่ายดายและตรงไปตรงมา กล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูล “0” ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล “0” ไปยังวงจรถูกอับ ซึ่งก็จะส่งต่อไปขับเฟตทำให้เฟตทำงาน ที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็จะเกิดลอจิก “0” ขึ้น ในทางตรงข้ามหากต้องการส่งข้อมูล “1” ออกไป ก็ให้เขียนข้อมูล “1” ไปยังวงจรถูกอับ วงจรถูกอับก็จะหยุดทำงาน ทำให้ที่ขาพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรถูกอับภายในเกิดเป็นลอจิก “1” ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งจะคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมาก เพียงแต่แตกต่างกันที่กระบวนการในการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์ แต่ถ้าเป็นเอาต์พุตจะไม่มีมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่อย่างใด เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาต์พุต

เมื่อใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต แต่ละขา (หรือแต่ละบิต) ของแต่ละพอร์ตมีความสามารถในการจ่ายกระแสหรือที่เรียกว่า กระแสซอร์ส (source current) ได้สูงสุด 10 mA และทุกขา รวมกันในแต่ละพอร์ต (ทั้ง 8 บิต) สูงสุด 26 mA สำหรับพอร์ต 0 และ 15 Ma สำหรับพอร์ต 1-3 ในกรณีที่ใช้งานทุกพอร์ตเอาต์พุตจะสามารถจ่ายกระแสได้รวมกันสูงสุด 71 mA ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุตเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการจ่ายกระแสจึงควรต่อวงจรมัลติเพล็กซ์ทางเอาต์พุตเพื่อช่วยในการขับกระแสอีกทางหนึ่ง

2.4.10 การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ต [2:P15]

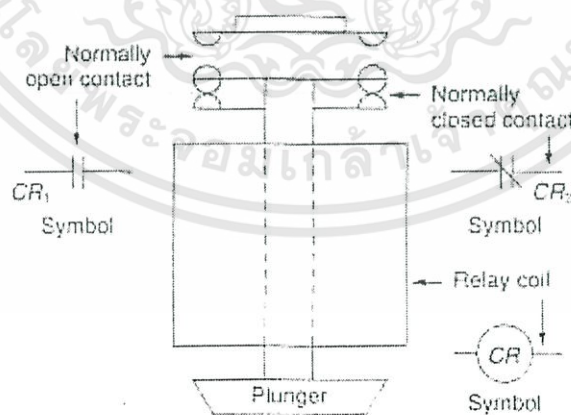
ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตได้ 2 ลักษณะคือ อ่านจากขาพอร์ตโดยตรง และอ่านจากวงจรแลตช์ของแต่ละพอร์ต

ในกรณีที่พอร์ตต่อกับขาเบสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวนั้นต่อลงกราวด์ หากมีการส่งข้อมูล “1” ไปยังทรานซิสเตอร์ จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานสถานะลอจิกที่ขาพอร์ตจะเป็น “0” เนื่องจากเมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน จะเสมือนว่าขาพอร์ตนั้นถูกต่อลงกราวด์ ทำให้หากอ่านค่าลอจิกที่ขาพอร์ตจะได้ผลตรงข้ามกับที่ส่งออกมา แต่ถ้าหากทำงานอ่านค่าลอจิกที่วงจรแลตช์ จะได้ค่าที่ตรงกับค่าที่ต้องการส่งจริง ดังนั้นในการอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตจึงต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่นำมาต่อด้วย

2.4.11 รีเลย์ควบคุมแบบไฟฟ้าเชิงกล [3:P251]

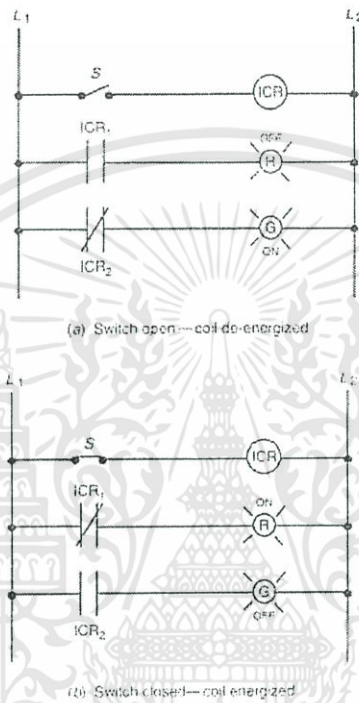
รีเลย์ไฟฟ้าเชิงกล (electromechanical relay : EMR) เป็นสวิตช์แม่เหล็ก ที่ทำหน้าที่เปิดและปิดวงจรของโหลด ด้วยการกระตุ้นด้วยแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดการคอนแทกหรือไม่คอนแทกของวงจรรีเลย์ EMR มีทั้งในวงจรไฟฟ้า และวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ตัวอย่างเช่น การใช้ควบคุมวาล์วการไหลและใช้ควบคุมเครื่องจักรกลหลายประเภท เช่น เครื่องขุดเจาะ เครื่องขุดบ่อ และเครื่องบด

โดยปกติรีเลย์จะมีขดลวดเพียงขดเดียว แต่สามารถมีหลายคอนแทกได้ ลักษณะ EMR แสดงในรูป 2.19 รีเลย์ไฟฟ้าเชิงกลประกอบด้วยคอนแทกที่อยู่กับที่และเคลื่อนที่ได้ คอนแทกที่เคลื่อนที่ได้จะติดอยู่กับพลังเจอร์ (plunger) คอนแทกมีทั้งแบบเปิดปกติและปิดปกติเมื่อกระตุ้นขดลวด ขดลวดจะผลิตสนามแม่เหล็กไฟฟ้า จะทำให้พลังเจอร์เคลื่อนที่ผ่านขดลวดทำให้ปิดการเปิดปกติและเปิดการปิดปกติ ระยะทางที่พลังเจอร์เคลื่อนที่จะไม่เกิน $\frac{1}{4}$ นิ้ว คอนแทกแบบเปิดปกติจะเปิดเมื่อไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวด และจะปิดทันทีเมื่อมีกระแสไหล คอนแทกแบบปิดปกติจะปิด เมื่อขดลวดไม่ถูกกระตุ้นและจะเปิดเมื่อถูกกระตุ้นคอนแทก แต่ละคอนแทกจะถูกดึงออกเมื่อไม่มีการกระตุ้นขดลวดรีเลย์ควบคุมเครื่องจักรกล สามารถเปลี่ยนสลับระหว่างคอนแทกแบบเปิดปกติและปิดปกติได้



รูปที่ 2.19 electromechanical relay ; EMR [3:P252]

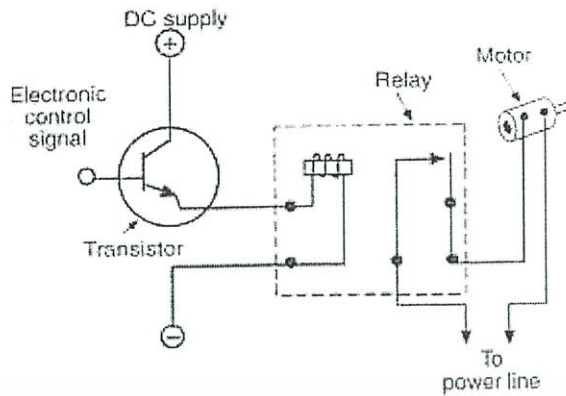
EMRs หลายแบบประกอบด้วยชุดคอนแทกในขดลวดเดียวกัน รีเลย์นี้ใช้ควบคุมการทำงานของสวิตช์เดี่ยวหรือหลายสวิตช์แยกกันได้ การควบคุมด้วยรีเลย์ ได้แก่ ใช้ในการควบคุมหลอดไฟสองหลอด ดังแสดงในรูป 2.20 เมื่อสวิตช์เปิด ขดลวด ICR จะไม่ถูกกระตุ้นวงจรหลอดไฟสีเขียวจะครบวงจรผ่านปิดปกติ ICR₂ ดังนั้นหลอดจะสว่าง ในขณะที่เดียวกัน วงจรหลอดไฟสีแดงจะเปิดผ่านการเปิดปกติ ICR₁ ดังนั้นหลอดจะไม่สว่าง ในกรณีที่ปิดวงจร ขดลวดจะได้รับการกระตุ้น คอนแทกเปิดปกติ ICR₁ จะปิดสวิตช์หลอดไฟสีแดงจะสว่าง ในเวลาเดียวกันคอนแทกปิดปกติ ICR₂ จะเปิดทำให้หลอดไฟสีเขียวไม่สว่าง



รูปที่ 2.20 การใช้รีเลย์ควบคุมสวิตช์ [3:P252]

โดยปกติแล้ว การควบคุมด้วยรีเลย์จะเป็นชุดควบคุมช่วยเหลือ การควบคุมวงจรและโหลดได้แก่มอเตอร์ขนาดเล็ก ขดลวดลีนอยด์และหลอดไฟฟลูออโร เราอาจจะใช้ EMR เพื่อควบคุมวงจรโหลดแรงดันสูงด้วยวงจรควบคุมแรงดันต่ำ ที่เป็นเช่นนี้ได้ก็เพราะว่า ขดลวดและคอนแทกของรีเลย์เป็นฉนวนซึ่งกันและกัน ในมุมมองที่ปลอดภัย วงจรควบคุมนี้จะช่วยป้องกันผู้ใช้งาน

การประยุกต์รีเลย์อีกประการหนึ่งคือ การควบคุมโหลดกระแสสูงด้วยวงจรควบคุมกระแสต่ำ ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าคอนแทกทนกระแสได้สูงกว่ากระแสที่กระตุ้นขดลวด ขดลวดรีเลย์ยังสามารถควบคุมได้ด้วยสัญญาณกระแสต่ำ จากวงจร IC และทรานซิสเตอร์ ดังแสดงในรูป 2.21 ในวงจรดังกล่าวนี้ สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ควบคุมสัญญาณให้เปิดหรือปิดทรานซิสเตอร์ได้ จึงทำให้ขดลวดได้รับการกระตุ้นหรือไม่ได้รับการกระตุ้นกระแสในวงจรควบคุม ซึ่งประกอบด้วยทรานซิสเตอร์และขดลวดรีเลย์มีขนาดเล็กมาก กระแสของวงจรกำลังซึ่งประกอบด้วยคอนแทกและมอเตอร์ขนาดเล็กจะมีค่ามากกว่ามาก



รูปที่ 2.21 การใช้รีเลย์ควบคุมวงจรโหลดกระแสสูง ด้วยวงจรควบคุมกระแสต่ำ [3:P253]

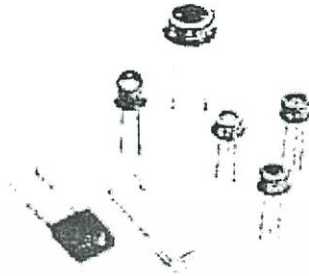
ระดับแรงดันที่กระตุ้นรีเลย์ เป็นผลให้เกิดคอนแทกสวิทช์ซึ่ง มีชื่อเรียกว่าแรงดันพิก-อัพ (pick-up voltage) หลังจากรีเลย์ได้รับการกระตุ้น ระดับแรงดันของขดลวดรีเลย์ที่คอนแทกจะย่อกลับไปที่เดิม เราเรียกแรงดันนี้ว่าแรงดันครี-อป-เอาท์ (drop-out voltage) โดยปกติจะออกแบบรีเลย์ไม่ครี-อป-เอาท์ จนกว่าแรงดันจะลดลงมีค่าน้อยที่สุดประมาณ 85% ของอัตราแรงดัน และในขณะที่เดียวกันขดลวดรีเลย์จะไม่พิก-อัพ จนกว่าแรงดันเพิ่มเป็น 85% ของอัตราแรงดัน โดยปกติขดลวดจะทำงานอย่างต่อเนื่องถึง 110% ของอัตราแรงดันโดยที่ขดลวดไม่เสียหายได้ ในปัจจุบันเราผลิตรีเลย์เป็นโครงสร้างโมดูล ทำให้สามารถป้องกันความชื้นและแรงรบกวนเชิงกล ได้ มีความแตกต่างของกระแสในขดลวดรีเลย์จากเวลาที่ขดลวดถูกกระตุ้นครั้งแรก กับเมื่อคอนแทกทำงานอย่างสมบูรณ์ เมื่อขดลวดได้รับการกระตุ้น พลังเจอร์จะเคลื่อนที่ออกมา เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเส้นทางแม่เหล็ก จึงทำให้กระแสเริ่มต้นในขดลวดมีค่าสูง กระแสในขณะเวลาดังกล่าวนี้มีชื่อเรียกว่า อิน-รัช เคอร์เรนท์ (in-rush current) ขณะที่พลังเจอร์เคลื่อนที่กลับเข้าไปในขดลวด จะทำให้ช่องว่างลดลง ระดับของกระแสจะลดลงมีค่าต่ำลง ซึ่งมีชื่อเรียกว่า ซีลด์-เคอร์เรนท์ (sealed-current) อิน-รัช เคอร์เรนท์ จะมีค่าประมาณ 8 เท่าของซีลด์-เคอร์เรนท์ เราจำแนกชนิดของรีเลย์ออกเป็นสองประเภทตามลักษณะการใช้งาน คือ รีเลย์กระแสตรงและรีเลย์กระแสสลับ การใช้แรงงานในแรงดัน กระแส ความต้านทาน และกำลัง ขดลวดรีเลย์ที่มีความไวสูงอาจจะมีอัตรากระแสเป็น mA ซึ่งใช้กันมากในทรานซิสเตอร์หรือ IC

2.4.12 เซนเซอร์ (Sensor) [6:P19]

ส่วนตรวจรู้เส้นทางเดิน (Photodiode Transistor Sensor)

โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์เซนเซอร์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่สามารถตรวจรับแสงได้ โดยมีโครงสร้างเป็นทั้ง “โฟโตไดโอด” (Photodiode) และ “ทรานซิสเตอร์” (Transistor) ในตัวเดียวกัน โดยทั่วไปแล้วจะมีโครงสร้างคล้ายทรานซิสเตอร์ กล่าวคือ มีลักษณะรอยต่อของสารกึ่งตัวนำแบบรอยต่อ pnp หรือ npn หรืออาจออกแบบให้มีโครงสร้างแบบคาร์ลิงตันทรานซิสเตอร์ (Darlington Transistor) ก็ได้ การใช้งานโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์มีมานานกว่า 20 ปีแล้ว มักใช้สำหรับการตรวจวัดแสงว่ามีหรือไม่มี แต่เนื่องจากขนาดสัญญาณเอาต์พุตของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์แปรเปลี่ยนกับความเข้มของแสงในลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้นที่ตื้นัก จึงไม่นิยมใช้เป็นตัววัดความเข้มของแสง แต่จะนิยมใช้วัดว่ามีแสงอินพุตเข้ามาหรือไม่เท่านั้น เช่น ใช้เป็นอุปกรณ์รับสัญญาณแสงจาก LED, ใช้เป็นอุปกรณ์รับแสงในโฟโตคัปเปิลเลอร์ (Photo Coupler), ใช้ตรวจเช็คการวิ่งตัดแสงของวัตถุ ใช้ในโฟโตอินเตอร์รัปเปอร์ (Photo Interrupter) ดังตัวอย่าง

ภาพถ่ายของ Photodiode Transistor ในรูปที่ 2.22 ซึ่งมีทั้งแบบหุ้มฉนวนด้วยดีพอกซี (Depoxy) และแบบบรรจุในภาชนะ
 ครอบป้องกัน และตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 2.5



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างภาพถ่ายของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ [6:P20]

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ [6:P19]

ชนิดของงาน	ผลิตภัณฑ์	หน้าที่ของโฟโตทรานซิสเตอร์
เคหะภัณฑ์	1) เครื่องเล่นแผ่นเสียง 2) เทปวีดิโอ 3) จักรเย็บผ้า 4) เครื่องซักผ้า	- เช็คนตำแหน่งของเข็มแผ่นเสียง - วัด (Counter) ตำแหน่งม้วนเทป - ตรวจสอบผ้าขาด - ตรวจสอบความเข้มของน้ำซักผ้า
เครื่องใช้สำนักงาน	1) คู่มือหน่วยอัตโนมัติ 2) Taper reader 3) Card reader 4) เครื่องโทรสาร	- ตรวจสอบคีย์ของเหรียญเงินตรา - อ่าน Code รหัส - อ่าน Code รหัส - อ่านตัวอักษรภาพ
รถยนต์, ระบบควบคุม, การวัด และคอมพิวเตอร์	1) ประจูด 2) สวิตช์แสง 3) Thermometer 4) Rotary Encoder	- ตรวจสอบความปลอดภัยการเปิดไฟ ประตูลมพิษ - ตัวรับแสง - อ่านค่าอุณหภูมิ - ตรวจสอบวัดการหมุน
โรงงานอุตสาหกรรม	1) สายพานส่งของ 2) เครื่องมือผลิตอัตโนมัติ 3) หุ่นยนต์	- นับจำนวน วัตถุใรร่างขนาดสินค้า - ตรวจสอบอ่านค่าตำแหน่งสินค้า - ตรวจสอบวัตถุ
อื่น ๆ	1) เครื่องทำแสงกระพริบ 2) เครื่องปรับแสงอัตโนมัติ 3) กล้องถ่ายรูป	- ตรวจสอบวัดแสง - ตรวจสอบวัดแสง - วัดแสงอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

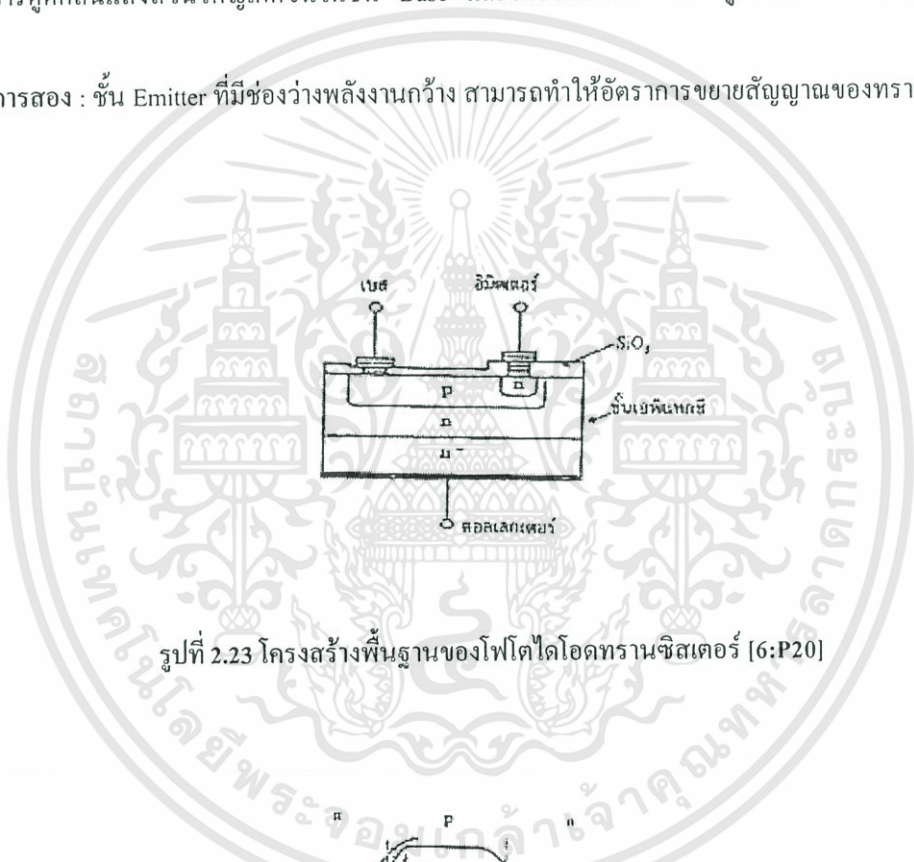
2.4.13 โครงสร้างและหลักการทำงานของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ [6:P20]

โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ มีโครงสร้างพื้นฐานดังแสดงในรูปที่ 2.23 ได้แก่โครงสร้างของรอยต่อแบบ pnp หรือแบบ npn ของสารกึ่งตัวนำที่คล้ายกับทรานซิสเตอร์ แต่จะออกแบบพิเศษให้ชั้นเบส (Base) ถูกเปิดหน้าออกเพื่อให้ชั้น Base รับแสงอินพุตได้โดยตรง และพยายามให้พื้นผิวรับแสงของชั้น Base มีพื้นที่ขนาดใหญ่ เพื่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าโฟโตมากกว่า ซึ่งในรูปที่ 2.24 จะแสดงให้เห็นว่าชั้นอิมิตเตอร์ (Emitter) มีช่องว่างพลังงานกว้างกว่าชั้น Base กล่าวคือ เป็นรอยต่อชนิดเฮเทอโร (Hetero)

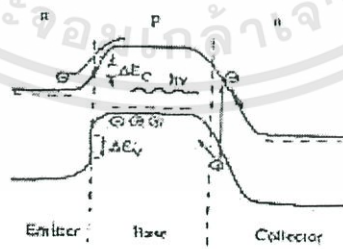
บทบาทที่สำคัญของชั้น Emitter ที่มีช่องว่างพลังงานกว้างมี 2 ข้อ คือ

ประการแรก : ชั้น Emitter จำทำหน้าที่เป็นชั้นหน้ากว้างที่ยอมให้สัญญาณแสงเดินทางเข้าสู่ชั้น Base ได้ดีที่สุด จึงทำให้การดูดกลืนแสงส่วนใหญ่เกิดขึ้นในชั้น Base และในชั้นปลดพาหะที่อยู่ระหว่างชั้น Base และ ชั้น Collector

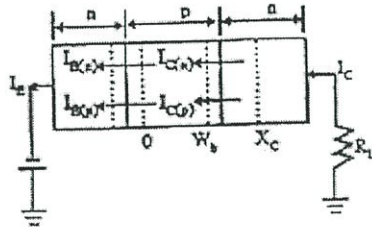
ประการสอง : ชั้น Emitter ที่มีช่องว่างพลังงานกว้าง สามารถทำให้อัตราการขยายสัญญาณของทรานซิสเตอร์มีค่าสูง



รูปที่ 2.23 โครงสร้างพื้นฐานของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ [6:P20]



รูปที่ 2.24 ลักษณะแถบพลังงานของไบโพลาร์โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์รอยต่อเฮเทอโรชนิดกรวยแอสสมิมาตร [6:P20]



รูปที่ 2.25 กระแสไฟฟ้าชนิดต่างๆ ที่ไหลในโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ [6:P21]

จากรูปที่ 2.25 กระแสไฟฟ้าที่ไหลในโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ โดยทั่วไปจะไม่มีการต่อสายไฟฟ้าเข้าสู่ชั้น Base โดยชั้น Base และชั้น Collector ทำหน้าที่เปรียบเสมือน โฟโตไดโอด ซึ่งกำลังถูกไบแอสแบบย้อน (Reverse Bias) ส่วนชั้น Emitter และชั้น Base จะถูกไบแอสแบบตาม (Forward Bias) เมื่อมีแสงอินฟราเรดเข้ามาโฟโตอิเล็กตรอน (Photoelectron) ที่เกิดขึ้นในชั้น Base จะแพร่ซึมจากชั้น Base ไปสู่ชั้น Collector และชั้น Emitter ส่วนโฮล (Hole) จะยังคงค้างอยู่ในชั้น Base ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดการไบแอสด้วยตนเองแบบบวกขึ้นในชั้น Base ดังนั้นจึงทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านรอยต่อ Emitter ซึ่งกำลังถูกไบแอส และจะเกิดการขยายสัญญาณกระแสไฟฟ้ากลายเป็นกระแสไฟฟ้า Collector ซึ่งไหลออกไปทางขั้วของ Collector

2.4.14 ชนิดของโฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ [6:P21]

โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ ชนิดธรรมดา จะมีขาต่อเอาต์พุต 2 ขา แต่บางชนิดก็มี 3 ขา ซึ่งจะกล่าวถึงข้อดีข้อเสียของชนิดต่างๆ ได้ดังนี้

- 1) โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ ชนิด 2 ขา เป็นชนิดที่ใช้งานกันทั่วไป โดยแสดงวงจรสมมูลในรูปที่ 2.26 (ก) แต่คุณสมบัติเชิงเส้นของชนิดนี้จะไม่ดี
- 2) โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ ชนิด 3 ขา เรียกว่า Photodiode Transistor ชนิดมีขา Base ดังแสดงในรูปที่ 2.26 (ข) ซึ่งมีจุดเด่นตรงที่กระแสไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าชนิด 2 ขา และการใช้งานก็สามารถกำหนดจุดการทำงานได้
- 3) โฟโตไดโอดทรานซิสเตอร์ ชนิดคาร์ลิงตัน (Darlington) มีลักษณะโครงสร้างที่มีทรานซิสเตอร์ต่อพ่วงภายในอีก 1 ตัวภายใน ดังแสดงในรูปที่ 2.26 (ค)

บทที่ 3 การดำเนินงาน

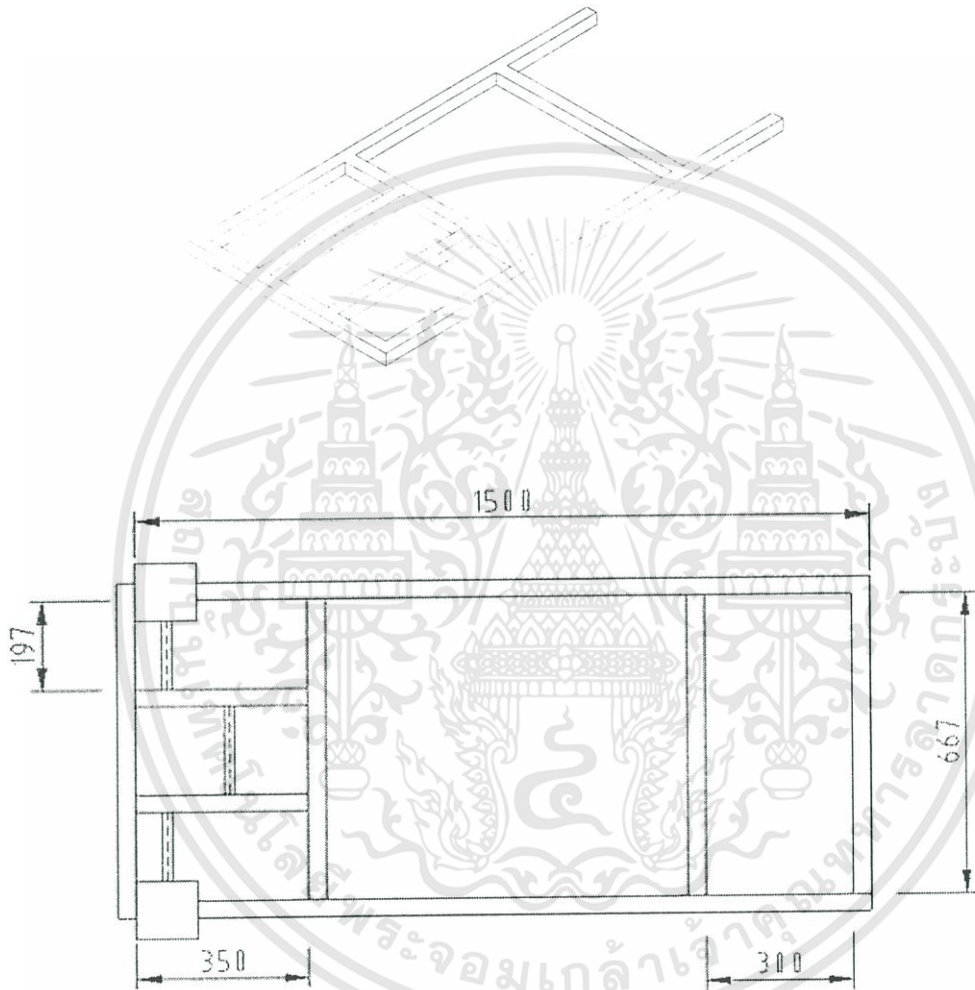
3.1 แผนการดำเนินงาน

	มี.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
ศึกษาการทำงานของรถยนต์ทั่วไป										
ศึกษาทฤษฎีด้านโครงสร้าง										
ศึกษาทฤษฎีด้านระบบขับเคลื่อน										
ออกแบบโครงสร้างและระบบขับเคลื่อน										
สร้างตัวรถยนต์										
ศึกษาด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์										
สร้างวงจรอิเล็กทรอนิกส์										
ศึกษาด้านโปรแกรม										
เขียนโปรแกรม										
ทดลองการทำงาน										
ปรับปรุงแก้ไข										
เสร็จสมบูรณ์										

3.2 การดำเนินงานทางด้านฮาร์ดแวร์

3.2.1 ด้านโครงสร้าง

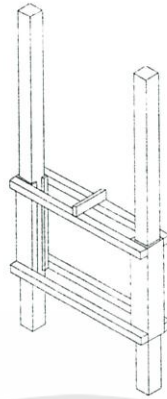
3.2.1.1 ฐานโครงสร้างรถ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และ 40 องศา อังอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.2 เสา



รูป 3.2 โครงสร้างเสาและชุดยก

การคำนวณเรื่องเสา

จากตารางคุณสมบัติของเหล็กกล้าคาร์บอนธรรมดา พบข้อมูลดังนี้

- Yield Strength 45 ksi

- Safety factor 2

ทำให้สามารถคำนวณได้ คือ

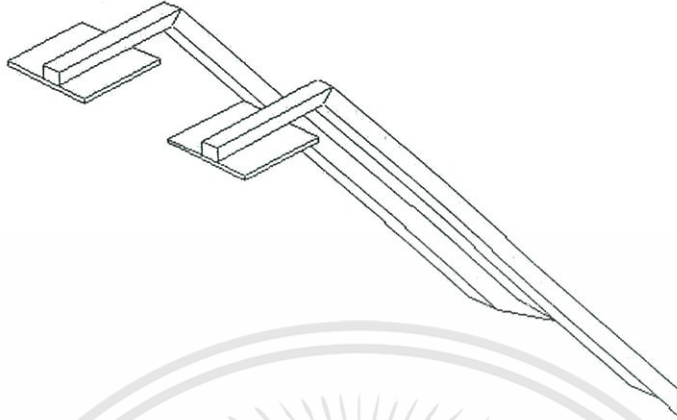
$$\begin{aligned}
 \sigma &= MC/I \\
 &= FRC/I \\
 &= F(400)(37.5) / [(b_1h_1^3 / 12) - (b_2h_2^3 / 12)] \\
 &= F(400)(37.5) / [(75 \cdot 75^3 / 12) - (72 \cdot 72^3 / 12)] \\
 &= F(400)(37.5) / 397230 \\
 45 \cdot 6.855 / 2 &= F(400)(37.5) / 397230 \\
 F &= 4085 \text{ N} \\
 &= 408 \text{ Kgs}
 \end{aligned}$$

สรุปเสาสามารถรับน้ำหนักได้ 408 Kgs

เพราะฉะนั้น จึงใช้เหล็กขนาด 3"x3"x 3mm ยาว 1700 mm

3.2.1.3 เหล็กยึดโครงเสา

ใช้เหล็กขนาด 1 ½" x 1 ½" x 3 mm



รูปที่ 3.3 เหล็กยึดโครงเสา

3.2.1.4 งา

เนื่องจากส่วนของงานั้นจุดที่อ่อนแอสุดก็คือ บริเวณรอยเชื่อมที่รับทั้ง โมเมนต์คดและความเค้นเฉือน จึงกำหนดให้ค่าความเค้นสูงสุดของรอยเชื่อมมีค่าเพียง 30 ksi. ทำให้สามารถหาค่าน้ำหนักสูงสุดที่รับได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\sigma &= MC/I \\ &= FRC/I \\ 6.855 \cdot 30 &= \frac{F(300)(19)}{[(70 \cdot 40^3)/12] - [(69 \cdot 37^3)/12]} \\ F &= 3923.4142 \text{ N.} \\ &= 392.3 \text{ kgs.}\end{aligned}$$

ดังนั้นสรุปได้ว่าสามารถรับน้ำหนักได้ 392 kg.

เพราะฉะนั้น ใช้เหล็กขนาด 75x40x 3 mm

3.2.1.5. เพลลา

การคำนวณเพลลา(บน)

จุดรองรับน้ำหนักของโหลดที่จะยก 2000 นิวตัน ได้ตามคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned}\sigma &= MC/I \\ 80 \times 6.895 &= \frac{2000(400)(d/2)}{(bd^3/64)} \\ d^3 &= 14780 \\ d &= 24.5 \text{ mm}\end{aligned}$$

เพราะฉะนั้นเราจึงใช้เพลลาขนาด 25 mm

การคำนวณเพลาล่าง)

จุดรองรับน้ำหนักของโหลดที่จะยก 2000 นิวตัน ได้ตามคำนวณดังนี้

$$\begin{aligned}\sigma &= MC/I \\ 80 \times 6.895 &= 1750(300)(d/2)/(\pi d^4/64) \\ d^3 &= 9699 \\ d &= 21 \text{ mm}\end{aligned}$$

3.2.2 ด้านการขับเคลื่อน

3.2.2.1 มอเตอร์เคลื่อนที่ หน้า-หลัง

$$\begin{aligned}\text{มี Power} &= 45 \text{ WATT (N.M. รอบ/sec)} \\ \text{ความเร็วรอบ} &= 120 \text{ rpm} = 2 \text{ รอบ / วินาที} \\ \text{โดยมีค่า Torque} &= P/\text{ความเร็วรอบ} = 45/2 \\ &= 22.5 \text{ N.M.}\end{aligned}$$

แต่ที่เพลาล่างของมอเตอร์นั้นจะมีเฟืองโซ่ขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.04 m (40 mm)

แรงที่ออกจากมอเตอร์เฟืองโซ่มีค่าเท่ากับ

$$F = \text{Torque} / r = 22.5 / 0.02 = 1125 \text{ N}$$

โดยแรงนี้จะไปตามโซ่ และไปขับเฟืองโซ่อีกตัวที่ติดกับเพลาสื่อที่ใช้ในการขับเคลื่อน LOADS 3500 N.

โดยสมมติว่า ณ ขณะนั้นเราใช้อัตรา 1 : 4 ดังนั้น เฟืองโซ่ ของส่วนนี้จะมี $r = 0.08 \text{ m}$ (8 ซม.)

$$\begin{aligned}\text{เนื่องจากเป็นการทด 1 : 4 จึงทำให้ค่า Torque ที่มอเตอร์ไปขับเพลาล่าง} &= F(r) \\ &= 1125 (0.08) \\ &= 90 \text{ N.M.}\end{aligned}$$

เป็นค่า TORQUE ที่มอเตอร์สให้แก่ระบบ

พิจารณาว่าระบบต้องใช้ TORQUE เท่าไหร่จึงจะเกิดฐานในการเคลื่อนที่ LOADS 3500 N. ที่กระทำบนล้อ 2 ล้อ (1750 N. / ล้อ 1 ล้อ)

โดยดูจาก Power หรือ TORQUE ก็ได้ จะพบว่า

$$\begin{aligned}P &= F(r) (w) \\ &= (UN) (r) (w) \\ &= (0.5 \times 1750) \times 0.1016 (0.5) \\ &= 44.45 \text{ watts}\end{aligned}$$

สรุปว่า Power ที่ต้องใช้จริงนั้นมีค่าน้อยกว่า Power ที่มอเตอร์จ่ายให้ ดังนั้นมอเตอร์นี้สามารถใช้งานได้ ความเร็วของการเคลื่อนที่ของรถ คำนวณได้จาก

$$\begin{aligned}\text{ความเร็วรถ} &= 2\pi r * w \\ &= 2 * \pi * 10.16 * 0.5 \\ &= 31.9 \text{ cms/sec}\end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นรถสามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 31.9 cm/sec

3.2.2.2 มอเตอร์ชุดยก

$$P_i \times \text{eff.} = P_o$$

$$IV \times \text{eff} = \tau \omega$$

$$7 \times 24 \times \text{eff} = F \times 0.04 \times 6.28/15$$

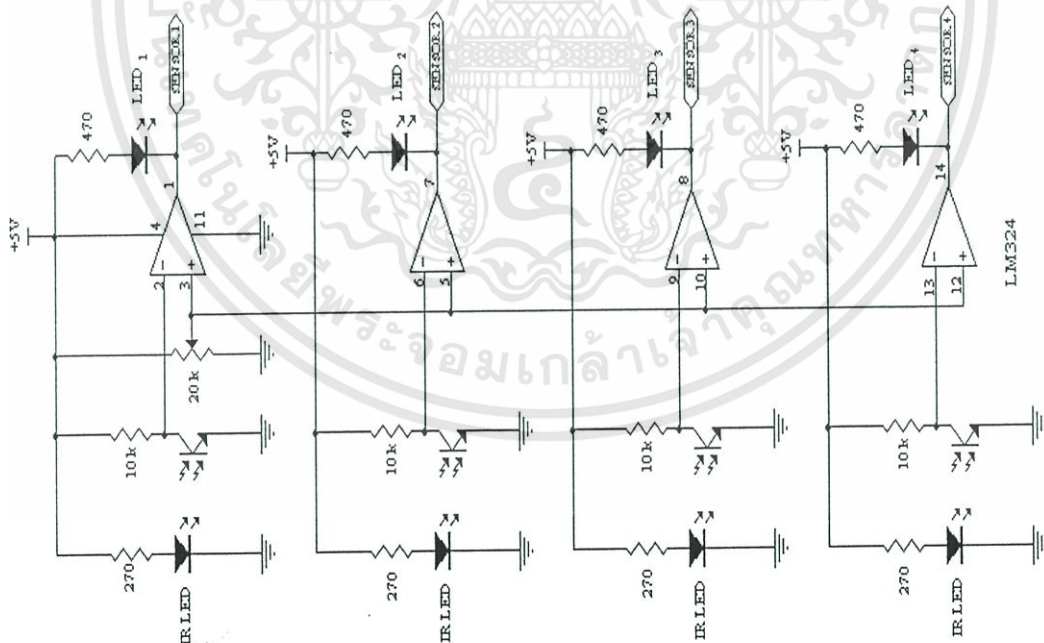
ถ้า $F = 1000 \text{ N}$ แล้วค่า $\text{eff} = 10 \%$

3.3 การออกแบบวงจรไฟฟ้า

3.3.1 วงจร Sensor

วงจรตรวจจับความเข้มแสง (Sensors)

เป็นวงจรที่ใช้เป็นอุปกรณ์ส่งสัญญาณอินพุทเข้าสู่วงจรควบคุมที่ขาอินพุทบนไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 (AT89C51) ที่พอร์ต 1. โดย Sensor ที่ใช้ในการตรวจจับเส้นทางโดยตรวจจับจากการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงของพื้นกับสีของเส้นที่ทำเป็นเส้นทาง โดยจะต้องเป็นสีที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน. เมื่อวงจรนี้ได้รับการกระตุ้นจากความเข้มแสง ตัวไอซี LM324 จะส่งสัญญาณไปยังวงจรควบคุม เพื่อตรวจสอบเงื่อนไขที่เราได้โปรแกรมเข้าไปในไมโครคอนโทรลเลอร์ แล้ววงจรควบคุมจะส่งสัญญาณไปตั้งให้มอเตอร์ทำงาน ทั้งเดี่ยว เดินตรงหรือยก ขนถ่ายสินค้า โครงสร้างวงจรแสดงไว้ดังรูป 3.4

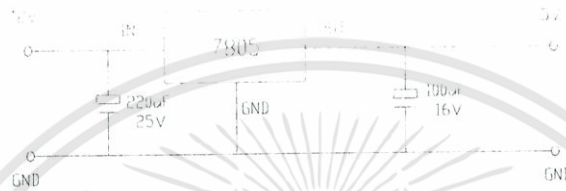


รูปที่ 3.4 วงจร Sensor

3.3.2 วงจร Regulator

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันกระแสให้ได้ตามที่วงจรต้องการใช้จริงเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในวงจร เพื่อใช้เป็นไฟเลี้ยงแก่วงจร Sensors , วงจร Microcontroller (MCS8051) โดยมีโครงสร้างทางวงจรดังรูปข้างล่างนี้

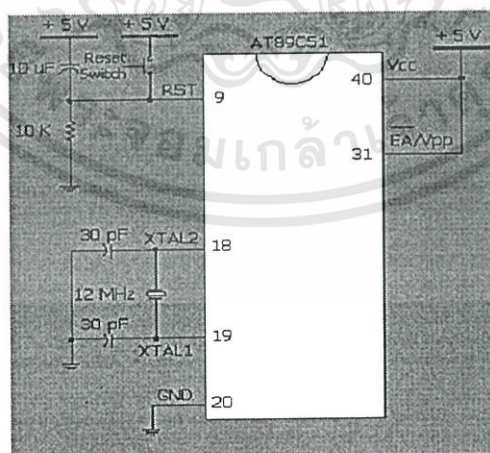
โครงสร้างวงจรที่ใช้แปลงไฟ 12 Volts เป็น 5 Volts



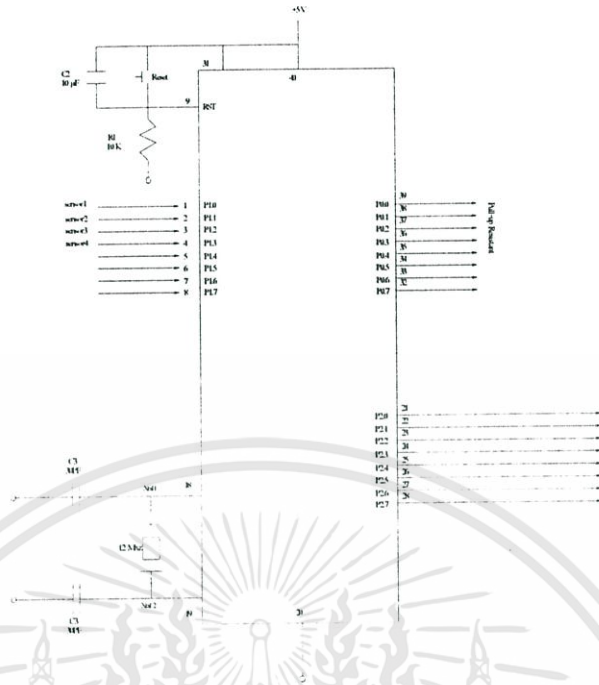
รูปที่ 3.5 วงจร Regulator

3.3.3 วงจร Microcontroller

เป็นวงจรที่รับสัญญาณอินพุตมาจากวงจรอื่นๆ เช่น วงจรตรวจจับเส้นดั่งที่ได้กล่าวมาแล้ว. โดยวงจรควบคุมนี้จะประกอบไปด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวประมวลผลจากสัญญาณอินพุตที่เข้ามา และยังมีอุปกรณ์อีกมากที่จำเป็นสำหรับการทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน ดังรูป. ไมโครคอนโทรลเลอร์จะคอยประมวลผลตามเงื่อนไขที่เราได้กำหนดไว้โดยการโปรแกรมเข้าไปในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ และจะส่งสัญญาณเอาต์พุตเพื่อนำสัญญาณดังกล่าวไปใช้งานอื่นต่อไป



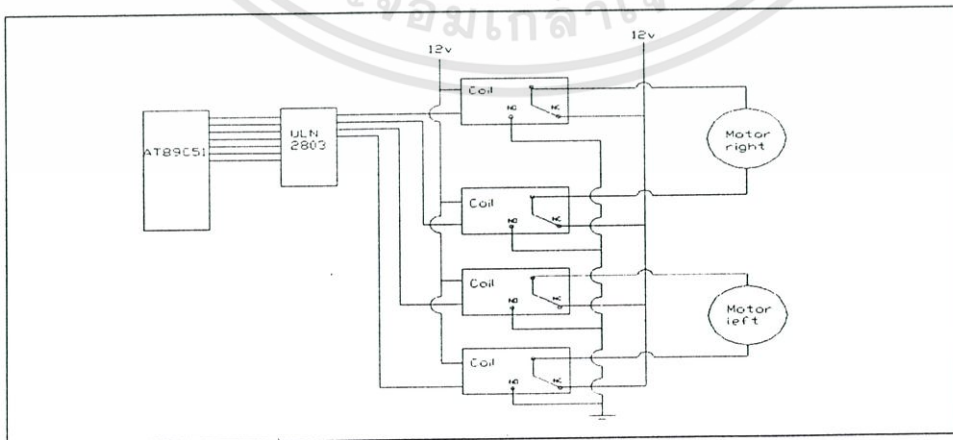
รูปที่ 3.6 โครงสร้างจำเป็นสำหรับการใช้งาน MCS-51



รูปที่ 3.7 โครงสร้างแสดงพอร์ตที่ใช้งาน

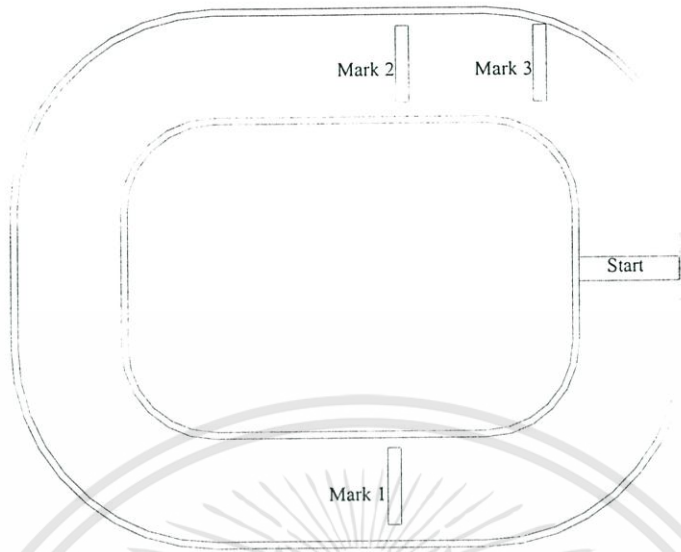
3.3.4 วงจรขับมอเตอร์ (Drive Motor)

เป็นวงจรที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากพอร์ตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์เข้ามาที่ตัวบัฟเฟอร์ (ULN 2803) เพื่อทำการแปลงกระแสจากไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น 12 โวลต์เพื่อจะได้นำไปส่งงานรีเลย์ได้ โดยการไปกระตุ้นขดลวดของรีเลย์ เมื่อขดลวดโคจรกระตุ้นหน้าสัมผัสของรีเลย์จะทำงานซึ่งรีเลย์นั้นจะเปรียบเสมือนสวิตช์ตัวหนึ่งที่ไว้คอยจ่ายไฟ-ตัดไฟ อันจะทำให้มีกระแสไฟไปส่งงานให้มอเตอร์ทำงานเดินหน้า-ถอยหลัง ก็แล้วแต่การออกแบบวงจรการต่อรีเลย์นั่นเอง
โครงสร้างของวงจรจะประกอบไปด้วย



รูปที่ 3.8 โครงสร้างแสดงวงจร Drive Motor

3.4 เส้นทางการทำงาน



รูปที่ 3.9 พื้นที่ปฏิบัติงานและเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถ

- โดยมีพื้นที่ปฏิบัติงานเส้นทางคู่ขนานเป็นรูปวงรี
- เส้นสีขาว หนา 2 นิ้ว 2 แถบขนานกัน
- ระยะห่างระหว่างเส้น 86 ซม.
- รัศมีความโค้ง (วงนอก) 1.50 ม.
- รัศมีความโค้ง (วงใน) 0.81 ม.

3.5 การออกแบบด้านโปรแกรม

โปรแกรมเป็นส่วนที่จะสั่งงานรถว่าจะมีการทำงานอย่างไร การเขียนโปรแกรมที่ดีจะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทำงานให้น้อยลงได้และสามารถทำให้รถสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

โปรแกรมที่ใช้กันส่วนใหญ่มีอยู่ด้วยกัน 3 ชนิด ได้แก่

1. ภาษาปาสคาล (Pascal)
2. ภาษาแอสเซมบลี (Assembly)
3. โปรแกรม ไมโครซี (Micro C)

โดยในโครงการนี้ได้นำเอาโปรแกรม mc มาใช้ควบคุมการทำงานของรถ Forklift โดยทำการเขียนโปรแกรมแล้วแปลงเป็น Assembly เพื่อนำไปใช้งานกับ Microcontroller ได้ โดยมีเหตุผลในการเลือกใช้นี้

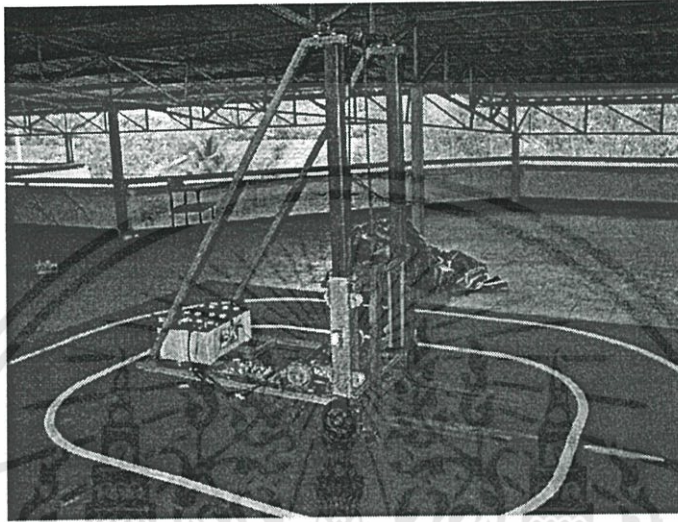
- เป็นภาษาระดับกลาง เข้าใจได้ง่าย
- มีการทำงานแบบเรียงบรรทัดของโปรแกรม ทำให้ตรวจสอบได้ง่าย
- สามารถทำการแปลงโปรแกรม ไมโครซี (Micro C) ไปเป็นภาษาที่ใช้โปรแกรมให้ Microcontroller ได้ง่าย

บทที่ 4

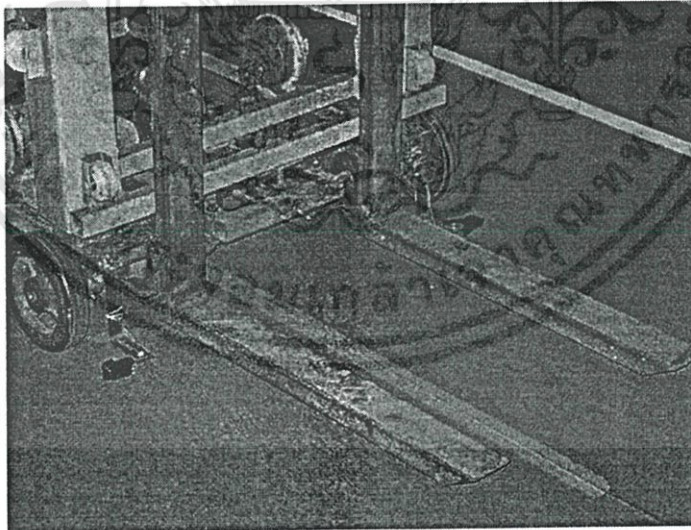
ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการดำเนินงานด้านฮาร์ดแวร์

ได้ทำการดำเนินงานดังรูปภาพต่อไปนี้

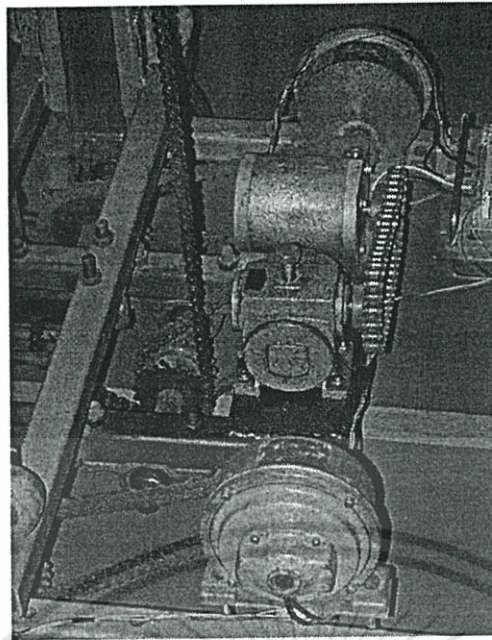


รูปที่ 4.1 โครงสร้างรถยกโดยรวม

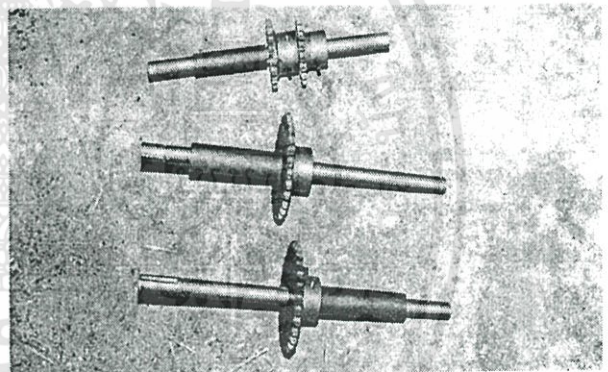
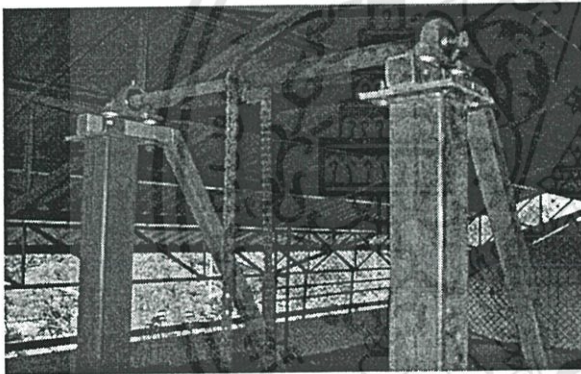


รูปที่ 4.2 ชุดยกวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 ชุดขับเคลื่อน



รูปที่ 4.4 ชุดเพลลา

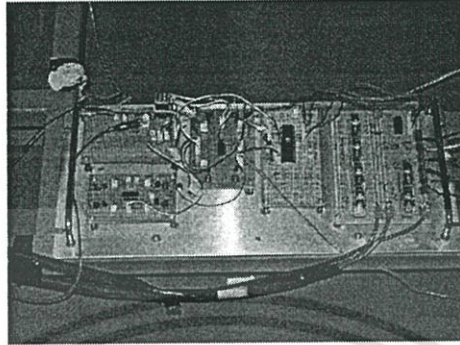


รูปที่ 4.5 แบตเตอรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการดำเนินงานทางด้านวงจรไฟฟ้า

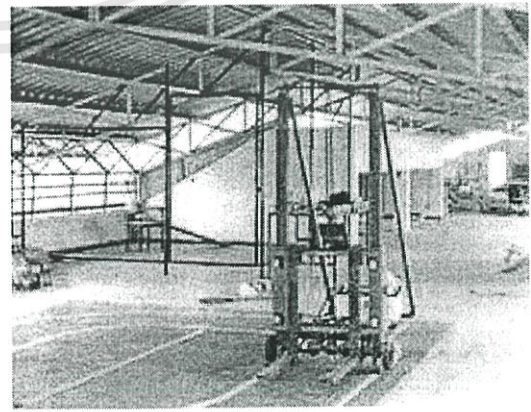
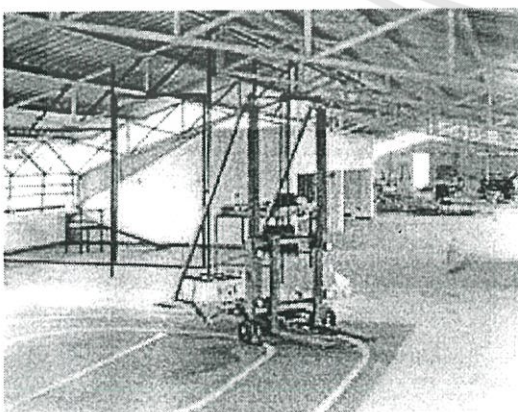
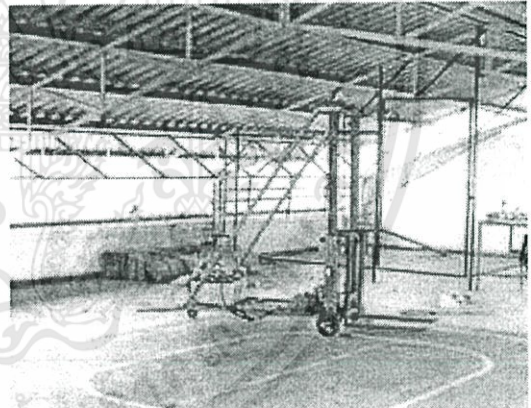
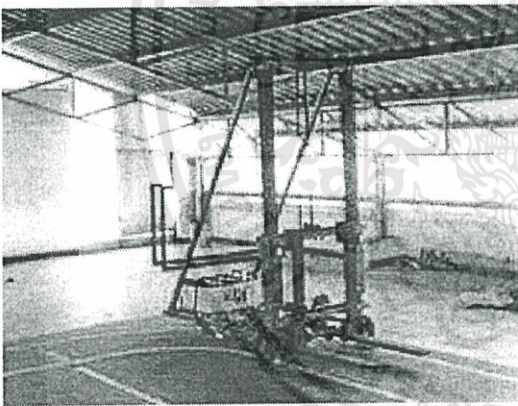
จากการออกแบบวงจรในหัวข้อ 3.4 ได้นำเอาวงจรเซนเซอร์ (Sensor) วงจรเรกกูเลเตอร์ (Regulator) วงจรขับมอเตอร์ (Drive Motor) และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมดังรูป 4.6



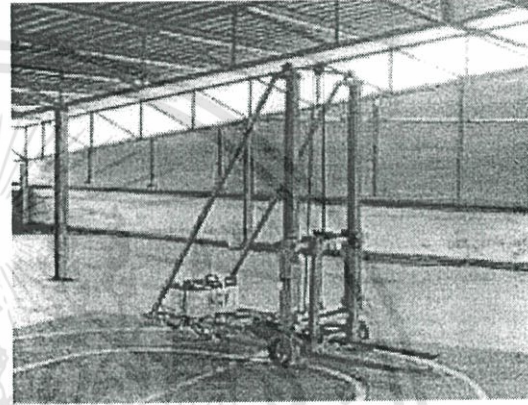
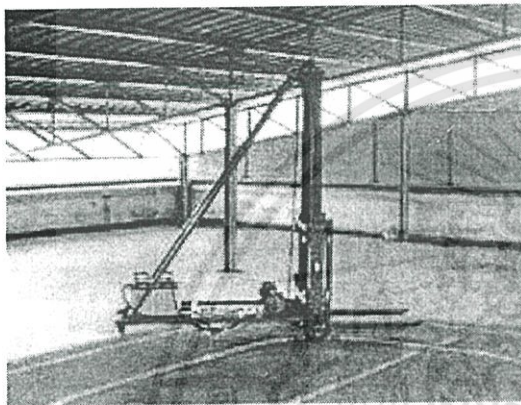
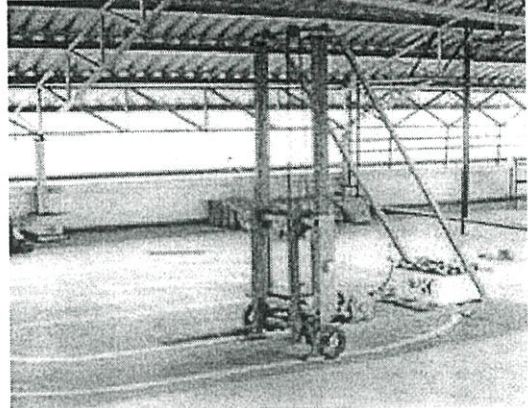
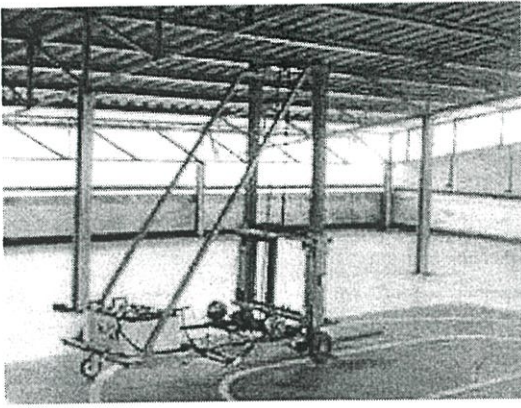
รูปที่ 4.6 วงจรควบคุมการทำงาน

4.3 ผลการทดลอง

จากการทดลองการทำงานของรถยกอัตโนมัติ สามารถประมวลภาพผลการทดลองได้ ดังแสดงในรูป 4.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ประมวลภาพผลการทดลอง

4.4 ผลการดำเนินงาน

จากการทดลองเดินระบบอย่างต่อเนื่อง เพื่อทำการเก็บข้อมูลความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการเดินระบบ รวมทั้งสามารถแสดงให้เห็นถึงผลของปัจจัยบางตัวที่อาจเกิดขึ้นในระบบ จากข้อมูลที่บันทึกไว้แสดงให้เห็นว่า

- การผิดพลาดเนื่องจากพารามิเตอร์ย่อยทำให้การควบคุมผิดพลาด
- การผิดพลาดเนื่องจากไดโอด ใน ULN2803 ชำรุดเนื่องจากเกิดการกระชากของกระแสและทนกระแสไม่ไหว เกิดความร้อน จน ULN 2803 ใหม่
- การผิดพลาดเนื่องจากเสื่อน้ำมันย่นขณะรถวิ่ง
- การผิดพลาดเนื่องจากปัญหาเซนเซอร์ตอบสนองได้ไม่ทันท่วงที
- การผิดพลาดเนื่องจากตัวรถมีน้ำหนักมาก ทำให้ค่าความเฉื่อยของรถมาก
- การผิดพลาดเนื่องจากสภาพพื้นสนามมีสภาพไม่เรียบ
- การผิดพลาดเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

การประยุกต์การทำงานของรถ Forklift ตามเส้นการเดินและ ตำแหน่งที่กำหนด ยกของสามารถทำงานได้ต่อไปนี้

1. รถจะเดินตามเส้นที่กำหนดไว้
2. รถจะสามารถยกของและวางของได้ตามตำแหน่งที่ต้องการ
3. รถยกสามารถเคลื่อนที่และทำงาน ได้จุดที่กำหนดไว้โดยมี microcontroller เป็นตัวควบคุมการทำงาน

ดังนั้น ผลที่ได้ของโครงการรถอัตโนมัติที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับงานด้านอุตสาหกรรมหรือขนส่ง

5.2 วิเคราะห์ผลการดำเนินงาน

จากการดำเนินงานพบว่า เกิดข้อผิดพลาดทั้งทางด้าน Hard ware , Soft ware และด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดย

1. ใช้ Sensors ที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพในการทำงานมากกว่านี้
2. พื้นที่การทำงานควรมีสภาพเรียบ
3. ควรติดตั้งไดโอดที่ รีเลย์
4. ควรมีการควบคุมพารามิเตอร์อื่นที่มีผลต่อการทำงาน
5. ควรใช้วงจร Drive motor ที่มีประสิทธิภาพกว่านี้ในการควบคุมมอเตอร์

5.3 แนวทางพัฒนาและปรับปรุงในอนาคต

ชิ้นงานที่สำเร็จอยู่ในปัจจุบันเป็นงานที่สำเร็จในระดับหนึ่ง แต่ทางทีมงานก็ได้มีแนวคิดที่จำทำการพัฒนาเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์แบบมากขึ้น โดยแนวคิดที่ได้มีการคิดไว้ได้แก่

- สามารถพัฒนาได้โดย การเปลี่ยนมอเตอร์ขับเคลื่อน ที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานลักษณะนี้ และมีกำลังเพียงพอ
- เปลี่ยนโปรแกรมควบคุมเพื่อให้ใช้งานในรูปแบบอื่นได้
- สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานอุตสาหกรรมได้
- ควรให้มีการทำงานในสภาพพื้นที่การทำงานที่มีลักษณะเรียบ
- ควรใช้ microprocessor มาควบคุมการทำงานแทน microcontroller
- ควรติดตั้งเบรกมอเตอร์เพื่อลดความถี่ของตัวรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 533 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. Joseph Edward Shigley , Charles R.Mischke. “MECHANICAL ENGINEERING DESIGN “. McGRAW- HILL INTERNATION EDITION.
2. วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล ,ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. “ เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 Flash Microcontroller : Atmel AT89C5x “. Innovative Experiment Co.,Ltd.
3. รองศาสตราจารย์ สุรพล รักวิชัย. “ อิเล็กทรอนิกส์สำหรับอุตสาหกรรม “. McGRAW-HILL (Petruzella)
4. ดร. วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ ,ชาญ ถนัดงาน. “ การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1 “. บริษัท ซีอีคยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
5. ดร. วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ ,ชาญ ถนัดงาน. “ การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 2 “. บริษัท ซีอีคยูเคชั่น จำกัด (มหาชน)
6. กรกช สิงห์สัตย์,ณัฐนันท์ โกอุคมวิทย์,พงษ์สิทธิ์ เศษกำลังกุล ,ภนิษฐา วิริยะธีรกิจ. “ Application Robot and AGVs for Service “. ปริญญาโท ปีการศึกษา 2543 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปรแกรมภาษา mc ควบคุมการทำงานของรอยกอัตโนมัติ

```
#include "c:\mc\8051io.h"
```

```
#include "c:\mc\8051reg.h"
```

```
register unsigned char a,b,c,check,check2,flag;
```

```
main()
```

```
{
```

```
check =0;
```

```
check2=0;
```

```
P1=0x04;
```

```
while(1)
```

```
{
```

```
  a = P1;
```

```
  b = a & 0x03;
```

```
  switch(b){
```

```
    case(0x00):  if(check==1){Left();};
```

```
                  else if(check==2){Right();}; break;
```

```
    case(0x01):  Right();check=1;
```

```
                                          break;
```

```
    case(0x02):  Left();check=2;
```

```
  break;
```

```
    case(0x03):  Front();
```

```
  break;
```

```
  }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

c = a & 0x04;
if (c==0x00)
{
    if ((check2&=0x01)==0)
    {
        flag = P0;
        P0 = 0x10;
        delay(9000);
        P0 = flag;
        delay(1000);
    }
    if ((check2&=0x01)==1)
    {
        flag = P0;
        Front();
        delay(1000);
        c=0x04;
        while (c==0x04)
        {
            c = P1 & 0x04;
            delay(100);
        }
        P0 = 0x20;
        delay(3900);
        Back();
        delay(100);
        c=0x04;
        while (c==0x04)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ฅ.3
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    c = P1 & 0x04;

        delay(100);
    }

    P0 = flag;

        delay(1000);
    }

check2=check2+1;

c=0x04;

delay(500);
}

}

check2=0;
}

Right()
{
    P0=0x01;
}

Left()
{
    P0=0x04;
}

Front()
{
    P0=0x05;
}
}

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Back()

{

P0=0x0a;

}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้