สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบจัดเก็บค่าโดยสารรถประจำทางแบบพิเศษ

EXTRA BUS FOR COLLECTING SYSTEM

โดย

นาย ภาสกร วีระกิจพานิช

นาย รุจิ มีทรัพย์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 62056

วัน,เดือน,ปี 27 ก.ค. 2549

.b.....

.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXTRA BUS FOR COLLECTING SYSTEM

BY

MR. PASSAKORN WEERAKIJPANICH

MR. RUJI MEESUP

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR IN ENGINEERING OF INFORMATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2004

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ : **ระบบจัดเก็บค่าโดยสารรถประจำทางแบบพิเศษ**
EXTRA BUS FOR COLLECTING SYSTEM

นักศึกษาผู้จัดทำ : นาย ภาสกร วีระกิจพานิช รหัสประจำตัว 45015809
นาย รุจิ มีทรัพย์ รหัสประจำตัว 45015813

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร. กนก เจนจิระพงศ์เวช
ผศ. นภพินทุ์ อนันตรศิริชัย

ระดับการศึกษา : ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ

ภาควิชา : วิศวกรรมสารสนเทศ

ปีการศึกษา : 2547

บทคัดย่อ

ปัจจุบันรถโดยสารประจำทางปรับอากาศส่วนใหญ่จะต้องมีพนักงานขับรถ และพนักงานเก็บค่าโดยสาร หรืออาจมีเพียงพนักงานขับรถ ในกรณีเช่นนี้ผู้โดยสารจะต้องจ่ายค่าโดยสารแบบหมาจ่ายเท่ากันทุกคน ไม่ว่าจะเดินทางระยะใกล้หรือไกล ทำให้เกิดความเสียเปรียบต่อผู้ที่จะเดินทางในระยะทางสั้น ๆ ดังนั้นในปริญญานิพนธ์นี้จึงเป็นการจัดทำโครงงานระบบจัดเก็บค่าโดยสารรถประจำทางแบบพิเศษที่ไม่ต้องมีพนักงานเก็บค่าโดยสาร อัตราค่าโดยสารจะขึ้นอยู่กับระยะทาง โดยมีการแบ่งเป็นโซนเพื่อสะดวกต่อการคิดค่าโดยสารที่แสดงเป็นตัวเลขอยู่ภายในรถ ซึ่งผู้โดยสารจะต้องชำระเงินด้วยตัวเอง นอกจากนี้จะมีการแสดงตัวเลขที่นั่งที่เหลืออยู่ภายในรถ เพื่อให้ผู้โดยสารได้ทราบก่อนที่จะตัดสินใจใช้บริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title :	**EXTRA BUS FOR COLLECTING SYSTEM**
Student :	Mr. Passakorn Weerakijpanich ID. 45015809
	Mr. Ruji Meesup ID. 45015813
Advisor :	Assoc. Prof. Dr. Kanok Janchitrapongvej
	Asst. Prof. Noppin Anantrasirichai
Graduate Level :	Bachelor Degree of Information Engineering
Department :	Information Engineering
Academic Year :	2004

ABSTRACT

Nowadays, the most management in air bus has been assigned to driver and ticket collector, other has only driver that have same ticket-fare independent distance. This thesis is the project of Extra Bus for Collecting System which none ticket collector, and the ticket-fare depend on distance separate in zone, there are digital segments to show the ticket-fare. In addition to, remain seats in bus will be show for the passenger to decision before get on.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร. กนก เจนจิระพงศ์เวช และผศ. นภพินทุ์ อนันตรศิริชัย ที่ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำแก่ผู้จัดทำตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ และพี่ห้อง FDTD LAB ที่ให้ความช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และอุปกรณ์ในการทำวิจัยจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

ขอขอบพระคุณ บริษัทไมโครบัส ที่เอื้อเฟื้อตู้เก็บค่าโดยสาร ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างมาก

และที่สำคัญที่สุด ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดา อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและให้กำลังใจผู้จัดทำในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นาย ภาสกร วีระกิจพานิช
นาย รุจิ มีทรัพย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อไทย	ก
บทคัดย่ออังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์	1
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.3 ลักษณะโครงงาน	2
บทที่ 2 ทฤษฎี PIC	4
2.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	4
2.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F87x/87xA	6
2.3 ข้อมูลหลักสำหรับกำหนดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC	8
2.4 โหมดสัญญาณนาฬิกา	11
2.5 กระบวนการรีเซตใน PIC16F87x	12
2.5.1 เพาเวอร์ออนรีเซต (Power-on reset : POR)	14
2.5.2 เพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT)	15
2.5.3 ออสซิลเลเตอร์สตาร์ตอัปไทเมอร์ (OST)	16
2.5.4 จังหวะการเกิดเพาเวอร์ออนรีเซต	16
2.5.6 การรีเซตที่ขา $\overline{\text{MCLR}}$	17
2.5.7 การรีเซตเนื่องจากวอตช์ด็อกไทเมอร์	18
2.5.8 บราวเอาต์รีเซต	19
2.6 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม	21
2.6.1 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลแรมและรีจิสเตอร์ไฟล์	23
2.7 รีจิสเตอร์หลักของ PIC16F87x	26
2.7.1 รีจิสเตอร์ STATUS	26
2.7.2 รีจิสเตอร์ OPTION_REG	27
2.7.3 รีจิสเตอร์ PCON	29
2.7.4 รีจิสเตอร์ W	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.8 โปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)	30
2.9 สแต็ก(Stack)	32
2.10 การอินเตอร์รัปต์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	33
2.10.1รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการอินเตอร์รัปต์	34
2.10.2 อินเตอร์รัปต์ลอจิก (Interrupt logic)	35
2.10.3 การเตรียมการเพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์	35
2.10.4 การบริการอินเตอร์รัปต์	36
2.10.5 การเก็บข้อมูลเมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์	37
2.10.6 การทำงานของแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์	38
2.10.7 แหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์จากภายนอก (External Interrupt)	38
2.10.8 อินเตอร์รัปต์จากการเปลี่ยนแปลงลอจิกที่ขา RB4-RB7 ของพอร์ต B	39
2.11 การเขียนโปรแกรมภาษาเบสิก	40
2.12 ซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนาโปรแกรมภาษาเบสิก	40
บทที่ 3 โครงสร้างของระบบจัดเก็บค่าโดยสารรถประจำทางแบบพิเศษ	42
3.1 ส่วนควบคุมโซนจากคนขับ	43
3.2 ส่วนแสดงอัตราค่าโดยสาร โดยแบ่งตามโซน	44
3.3 ส่วนแสดงที่นั่งที่เหลืออยู่	47
3.4 ส่วนเครื่องอ่านบัตรและแสดงราคาค่าโดยสาร	49
3.5 กล่องรับเงินค่าโดยสารและคืนบัตร	52
3.6 ส่วนเครื่องจ่ายบัตร	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ส่วนควบคุมโซนจากคนขับ	56
4.2 ส่วนแสดงอัตราค่าโดยสารโดยแบ่งตามโซน	57
4.3 ส่วนแสดงที่นั่งที่เหลืออยู่	58
4.4 ส่วนเครื่องอ่านบัตรและแสดงราคาค่าโดยสาร	60
4.5 กล่องรับเงินค่าโดยสารและคืนบัตร	62
4.6 ส่วนเครื่องจ่ายบัตร	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	64
บรรณานุกรม	65
ภาคผนวก	66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ไดอะแกรมแสดงรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด	4
2.2	โครงสร้างการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x รุ่น 40 ขาเบอร์ PIC16F874(A)/877(A)	5
2.3	การต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเพื่อกำหนดความถี่สัญญาณนาฬิกาเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x ทำงานในโหมด RC	11
2.4	แสดงกลไกของการเกิดรีเซตในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	13
2.5	ไดอะแกรมเวลาแสดงจังหวะการเกิดเพาเวอร์ออนรีเซตในเงื่อนไขที่แตกต่างกัน	17
2.6	วงจรเพาเวอร์ออนรีเซตสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	18
2.7	ไดอะแกรมเวลาแสดงการเกิดบราวเอาต์รีเซตในลักษณะต่าง ๆ	20
2.8	ตัวอย่างการต่อวงจรบราวเอาต์ดีเท็กเข้าที่ขา $\overline{MCLR}$ ในกรณีที่ไม่เลือกใช้ความสามารถของวงจรบราวเอาต์ดีเท็กต์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์	20
2.9	การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876(A)/877(A)	22
2.10	การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876(A)/877(A)	25
2.11	แสดงกลไกการทำงานของโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)	31
2.12	แสดงกลไกการทำงานของสแต็กอย่างง่าย	32
2.13	ไอออะแกรมลอจิกของการเกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์	34
2.14	แสดงผังงานของการพัฒนาโปรแกรมภาษาเบสิกสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876(A)/877(A)	41
3.1	แสดงการทำงานทั้งหมดของระบบอย่างคร่าว ๆ	42
3.2	แสดงการทำงานของส่วนควบคุมโซนจากคนขับ	43
3.3	แสดงการทำงานของส่วนแสดงอัตราค่าโดยสารโดยแบ่งตามโซน	44
3.4	วงจรของส่วนแสดงอัตราค่าโดยสารโดยแบ่งตามโซน	46
3.5	แสดงการทำงานของส่วนแสดงที่นั่งที่เหลืออยู่	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.6	วงจรของส่วนแสดงที่นั่งที่เหลืออยู่	48
3.7	แสดงการทำงานของส่วนเครื่องอ่านบัตรและแสดงราคาค่าโดยสาร	49
3.8	บัตรโดยสาร	50
3.9	วงจรของส่วนเครื่องอ่านบัตรและแสดงราคาบัตร	51
3.10	กล่องรับเงินค่าโดยสารและคืนบัตร	52
3.11	การทำงานของเครื่องจ่ายบัตร	53
3.12	วงจรส่วนเครื่องจ่ายบัตร	54
3.13	กลไกการทำงานของเครื่องจ่ายบัตร	55
4.1	ส่วนควบคุมโซนจากคนขับ	56
4.2	ส่วนแสดงอัตราค่าโดยสารแบ่งตามโซน	57
4.3	อัตราค่าโดยสารในโซนที่ 1	57
4.4	อัตราค่าโดยสารตั้งแต่โซนที่ 1- 5	58
4.5	วงจรจริงของส่วนแสดงที่นั่งที่เหลืออยู่บนรถ	58
4.6	จำนวนที่นั่งว่างบนรถ 30 ที่นั่ง	59
4.7	จำนวนที่นั่งว่างบนรถ 20 ที่นั่ง	59
4.8	ไม่มีที่นั่งว่างบนรถ	60
4.9	วงจรเครื่องอ่านบัตรและแสดงค่าโดยสาร	60
4.10	แท่นใส่อินฟาเรทเซ็นเซอร์ในการเช็คบัตร	61
4.11	จอแสดงราคาค่าโดยสารติดอยู่ด้านคนขับ	61
4.12	กล่องรับเงินค่าโดยสารและคืนบัตร	62
4.13	ส่วนเครื่องจ่ายบัตร	63
4.14	วงจรเครื่องจ่ายบัตร	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x ในแต่ละเบอร์	8
2.2	ตารางสรุปการทำงานของขาพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	9
2.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างบิตแสดงสถานะกับลักษณะการเกิดรีเซตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x	13
2.4	แสดงค่าของรีจิสเตอร์ใน PIC16F87x(A) หลังจากเกิดการรีเซตในลักษณะต่าง ๆ	15
2.5	อัตราส่วนของปรีสเกลเลอร์เมื่อทำงานร่วมกับ TMR0 และ WDT	29
3.1	แสดงอัตราค่าโดยสารโดยแบ่งตามโซน	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันระบบขนส่งมวลชนในประเทศขาดประสิทธิภาพ การโดยสารรถประจำทางมีความยุ่งยากในการเก็บค่าโดยสาร ผู้โดยสารสับสนกับอัตราค่าโดยสาร การสิ้นเปลืองบุคคลากรในการจัดเก็บค่าโดยสาร จึงเกิดแนวคิดที่จะจัดทำระบบจัดเก็บค่าโดยสาร เพื่อลดความยุ่งยากและความสับสนในการเก็บค่าโดยสาร และยังสามารถลดจำนวนบุคลากรในตัวรถโดยสาร ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของรถโดยสารประจำทาง

1.1 วัตถุประสงค์ของการจัดทำโครงงานนี้

1. เพื่อศึกษาและเรียนรู้การเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์
2. เพื่อศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
3. เพื่อศึกษาการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประยุกต์ใช้งาน
4. เพื่อศึกษาระบบกลไกต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกบัตร

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้ความเข้าใจในการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์
2. ได้รับความรู้ความเข้าใจในระบบกลไกของเครื่องออกบัตร
3. ได้รับความรู้ความเข้าใจในการใช้ภาษาเบสิกควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์
4. ได้รับความรู้ความเข้าใจในการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมการทำงานของเซกเมนต์

การจัดทำโครงงานระบบจัดเก็บค่าโดยสารรถประจำทางแบบพิเศษนี้ ประกอบด้วยส่วนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์และระบบกลไกทางแมคคานิคที่ถูกควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งแบ่งลักษณะของโครงงานได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกคือส่วนของกลไกทางแมคคานิค โดยใช้โซลินอยด์เป็นส่วนสำคัญในการออกบัตรให้ผู้โดยสาร และมีเซกเมนต์ใช้ในการแสดงค่าโดยสารและจำนวนที่นั่งว่าง ส่วนที่สองคือส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุด โดยมีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของส่วนแรกทุกส่วน รวมทั้งคำนวณค่าโดยสารทั้งหมด ซึ่งใช้ภาษาเบสิกในการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ลักษณะของโครงงาน

โครงงานระบบจัดเก็บค่าโดยสารรถประจำทางแบบพิเศษนี้ ประกอบด้วย. 2 ส่วนสำคัญ ดังนี้

1.3.1 ส่วนของฮาร์ดแวร์ (HARDWARE)

1.3.1.1 ชุดควบคุมจากคนขับ ในส่วนนี้เป็นแผงควบคุมระบบทั้งหมดของชิ้นงาน โดยคนขับสามารถกดปุ่มควบคุมส่วนต่าง ๆ ในระบบได้จากส่วนนี้

1.3.1.2 ชุดควบคุมจอแสดงอัตราค่าโดยสาร ในส่วนนี้เป็นระบบที่ใช้บอกอัตราค่าโดยสารล่วงหน้าให้กับผู้โดยสาร ประกอบไปด้วยส่วนแสดงผลที่จะแสดงอัตราค่าโดยสารในโซนต่าง ๆ ซึ่งใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม

1.3.1.3 ชุดควบคุมจอแสดงจำนวนที่นั่งที่เหลืออยู่ ในส่วนนี้เป็นระบบที่ใช้บอกจำนวนที่นั่งที่เหลืออยู่ ให้กับผู้โดยสารก่อนจะตัดสินใจใช้บริการ ประกอบไปด้วยส่วนแสดงผลที่จะแสดงจำนวนที่นั่งที่เหลืออยู่ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

1.3.1.4 ชุดควบคุมชุดอ่านบัตรโดยสาร ในส่วนนี้เป็นการสร้างระบบที่ใช้ตรวจสอบบัตรโดยสาร เพื่อผู้โดยสารสามารถทราบค่าโดยสารของตนเอง โดยมีส่วนสำคัญ คือ เซนเซอร์อินฟาเรท ที่ใช้ตรวจสอบบัตรโดยสาร และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของเซนเซอร์

1.3.1.5 ชุดควบคุมชุดจ่ายบัตรโดยสาร ในส่วนนี้เป็นการสร้างระบบกลไก ระบบควบคุม และระบบแมคคานิค ในการจ่ายตั๋ว เพื่อที่ผู้โดยสารจะได้รับบัตรโดยสารตามโซนที่ขึ้น ในส่วนนี้จะมีส่วนสำคัญอยู่ที่โซลินอยด์ และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3.2 ส่วนของซอฟท์แวร์ (SOFTWARE)

ประกอบด้วยโปรแกรมคำสั่งต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการควบคุมชุดออกบัตร คำนวณค่าโดยสาร และตรวจสอบจำนวนที่นั่งว่างภายในรถโดยสาร

ในการดำเนินการตามโครงงานนี้ ต้องศึกษาการเขียนโปรแกรมภาษาเบสิกเพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์และนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องใช้ในโครงงานนี้ ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เลือกใช้คือไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ซึ่งเป็นตระกูลที่กำลังได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เพราะมีจำนวนคำสั่งในการเขียนโปรแกรมน้อยกว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS – 51 แต่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน ทำให้ในการเขียนโปรแกรมควบคุมง่ายและรวดเร็ว

ระบบจัดเก็บค่าโดยสารบนรถประจำทางแบบพิเศษนี้ คนขับรถจะต้อง

- กดปุ่มเปลี่ยนโซนเมื่อถึงป้ายเปลี่ยนโซน
- กดปุ่มออกบัตรเมื่อมีผู้โดยสารใช้บริการ หนึ่งบัตรต่อหนึ่งคน
- ตรวจสอบค่าโดยสารและบัตรโดยสารในช่องพักค่าโดยสารและช่องพักบัตร
- กดคันโยนเพื่อเก็บค่าโดยสารและบัตรโดยสารลงกล่องเก็บค่าโดยสาร และกล่องเก็บบัตรโดยสาร

ระบบจัดเก็บค่าโดยสารบนรถประจำทางแบบพิเศษนี้ ผู้ใช้บริการจะต้อง

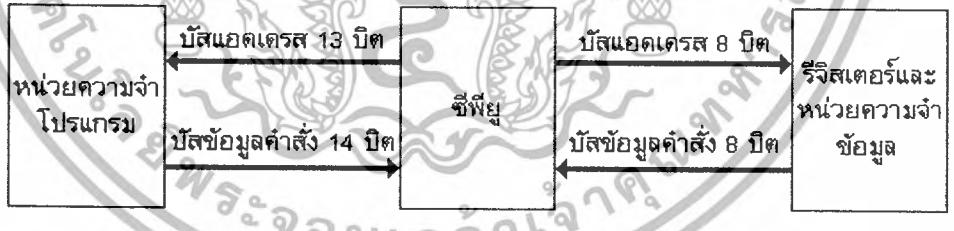
- ก่อนขึ้นรถโดยสาร ให้สังเกตว่ามีที่นั่งเหลืออยู่บนรถโดยสารหรือไม่โดยดูได้จากจอแสดงผลด้านบนของประตูทางขึ้น
- เมื่อขึ้นรถโดยสาร ต้องรับตั๋วจากเครื่องออกบัตร และเข้าไปนั่งด้านใน
- ผู้โดยสารสามารถทราบอัตราค่าโดยสารของตนเองได้โดย สังเกตจากจอแสดงผลด้านหน้าภายในรถโดยสาร ซึ่งบอกอัตราค่าโดยสารโดยแบ่งเป็นโซน
- สอดบัตรเข้าในเครื่องตรวจสอบราคาเพื่อชำระค่าโดยสาร และชำระค่าโดยสารพร้อมคืนบัตรที่ช่องรับค่าโดยสารและช่องรับบัตรตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี PIC

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC มีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด (Harvard architecture) กล่าวคือ มีการแยกหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน โดยมีบัสสำหรับติดต่อแยกกันด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าซีพียูภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมด้วยบัสแอดเดรส 13 บิต และบัสข้อมูลหน่วยความจำโปรแกรม 14 บิต ในขณะที่บัสสำหรับติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลและรีจิสเตอร์ภายในเป็นแบบ 8 บิตทั้งบัสแอดเดรสและบัสข้อมูล

นอกจากการจัดสถาปัตยกรรมแบบนี้แล้ว การกระทำคำสั่งของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ยังใช้กระบวนการที่เรียกว่า ไปป์ไลน์ (pipeline) ทำให้สามารถเฟตช์คำสั่งถัดไป ในขณะที่กำลังเอ็กซิคิวต์คำสั่งในปัจจุบัน ส่งผลให้ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์เพิ่มมากขึ้น จึงเป็นที่มาของความสามารถในการกระทำคำสั่ง 1 คำสั่งภายในสัญญาณนาฬิกา 1 ลูก (เฟสช์ : fetch เป็นกระบวนการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วแปลเป็นเลขฐานหก เพื่อให้ซีพียูเข้าใจ ส่วนกระบวนการเอ็กซิคิวต์ (execute) เป็นการกระทำคำสั่งให้เกิดผลลัพธ์ตามที่คำสั่งนั้น ๆ กำหนด)



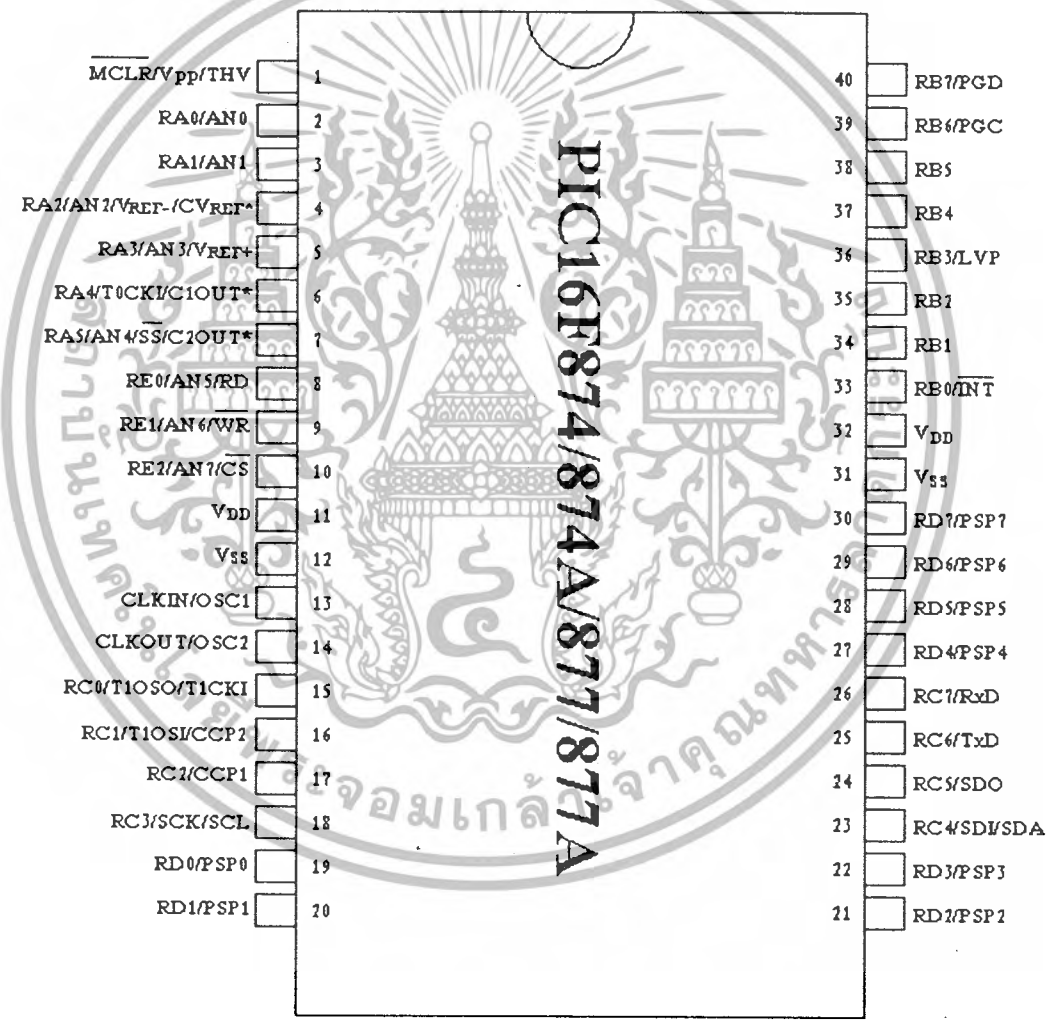
รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมแสดงรูปแบบสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบฮาร์วาร์ด

2.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

แสดงดังในรูปที่ 2.2 ส่วนประกอบหลักก็จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 แต่จะมีส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามามากพอสมควร ได้แก่ วงจรบราวเอาต์รีเซต(brown-out reset) ส่วนแก้ไขข้อมูลในวงจรหรือดีบักเกอร์(In-circuit debugger) วงจรโปรแกรมข้อมูลด้วยแรงดันต่ำ(low-voltage programming) ไทเมอร์ที่มีมากถึง 3 ตัว วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรม(SPI : Serial Peripheral Interfacing) วงจรเชื่อมต่อระบบบัส I^2C วงจรสื่อสารอนุกรม(USART : Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) และโมดูลเปรียบเทียบสัญญาณ-ตรวจจับสัญญาณ-วงจรมอดูเลชั่น ทางความกว้างของพัลส์หรือPWM (CCP : Compare Capture Pulse-width modulation) นอกจากนั้นในอนุกรม PIC16F87xA จะมีวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอก และโมดูลสร้างแรงดันอ้างอิงเพิ่มเติมเข้ามา



รูปที่ 2.2 โครงสร้างการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x รุ่น 40 ขา เบอร์ PIC16F874(A)/877(A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F87x/87xA

คุณสมบัติหลัก

- ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction-Set Computer) มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง
- สามารถกระทำคำสั่งโดยใช้สัญญาณเพียง 1 ลูก ยกเว้นการกระโดด
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ไฟตรงถึง 20 MHz
- หน่วยความจำโปรแกรม
  - 2 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC16F870/871/872
  - 4 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC16F873(A)/874(A)
  - 8 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC16F876/876A/877/877A
- หน่วยความจำข้อมูลหรือรีจิสเตอร์
  - 128 ไบต์ สำหรับ PIC16F870/871/872
  - 192 ไบต์ สำหรับ PIC16F873(A)874(A)
  - 368 ไบต์ สำหรับ PIC16F876(A)/877(A)
- ขนาดหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม
  - 64 ไบต์ สำหรับ PIC16F870/871/872
  - 128 ไบต์ สำหรับ PIC16F873(A)874(A)
  - 256 ไบต์ สำหรับ PIC16F876(A)/877(A)
- ตอบสนองแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์สูงสุดถึง 15 แหล่ง ขึ้นกับเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์
- มีสแต็ก 8 ระดับ
- มีวงจรพาเวอร์ออนรีเซต (POR)
- มีเพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT) และออสซิลเลเตอร์สตาร์ตอัปไทเมอร์ (OST)
- มีวงจรวอตช์ด็อกไทเมอร์ (WDT) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
- เลือกป้องกันทั้งในหน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูลสามารถเลือกระดับการป้องกันได้
- มีโหมดประหยัดพลังงาน
- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5V ได้
- แก้ไขข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมด้วยกระบวนการ ICD (In-circuit Debugger) ผ่านพอร์ตเพียง 2 ขา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
- ไฟเลี้ยง +2 V ถึง +5.5 V
- กระแสซิงก์และซอร์สของพอร์ต 25 mA

  น้อยกว่า 2 mA ที่ไฟเลี้ยง +5 V และสัญญาณนาฬิกา 4 MHz

  20 uA ที่ไฟเลี้ยง +3 V และสัญญาณนาฬิกา 32 kHz

  น้อยกว่า 1 uA ในโหมดประหยัดพลังงานหรือสแตนด์บาย

คุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม

- ไทเมอร์ 3 ตัว คือ ไทเมอร์ 0 ขนาด 8 บิต มีปรีสเกลเลอร์ขนาด 8 บิตในตัว ไทเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต พร้อมปรีสเกลเลอร์ และไทเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต มีปรีสเกลเลอร์ โพสต์สเกลเลอร์ และรีจิสเตอร์คาบเวลา (period register) ขนาด 8 บิตในตัว
- มีโมดูล CCP 2 ชุด โดย

  ส่วนตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ (Capture) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 12.5 นาโนวินาที

  ส่วนเปรียบเทียบสัญญาณ (Compare) มีขนาด 16 บิตความละเอียดสูงสุด 200 นาโนวินาที

  วงจร PWM มีความละเอียดสูงสุด 10 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาอะนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต (5 ช่องสำหรับ PIC16F879(A)/876(A) และ 8 ช่องสำหรับ PIC16F874(A)/877(A))
- วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้ง SPI และบัส I^2C
- วงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) พร้อมการตรวจจับแอดเดรส 9 บิต
- มีวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (บราวเอาต์ดีเท็กชั่น : Brown-out detection) เพื่อการรีเซตซีพียู หรือ เรียกว่า บราวเอาต์รีเซต (Brown-out reset : BOR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x ในแต่ละเบอร์

[illegible]	PIC16F870	PIC16F871	PIC16F872	PIC16F873/873A	PIC16F874/874A	PIC16F876/876A	PIC16F877/877A
ความถี่สัญญาณนาฬิกา	ไฟตรง-20MHz	ไฟตรง-20MHz	ไฟตรง-20MHz	ไฟตรง-20MHz	ไฟตรง-20MHz	ไฟตรง-20MHz	ไฟตรง-20MHz
ส่วนรีเซต (และหน่วงเวลา)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
หน่วยความจำโปรแกรม	2K x 14 บิต	2K x 14 บิต	2K x 14 บิต	4K x 14 บิต	4K x 14 บิต	8K x 14 บิต	8K x 14 บิต
หน่วยความจำข้อมูลแรม	128 ไบต์	128 ไบต์	128 ไบต์	192 ไบต์	192 ไบต์	368 ไบต์	368 ไบต์
หน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม	64 ไบต์	64 ไบต์	64 ไบต์	128 ไบต์	128 ไบต์	256 ไบต์	256 ไบต์
จำนวนแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์	10	11	10	13	14	13	14
จำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุต	พอร์ต A, B, C 22 บิต	พอร์ต A-E 33 บิต	พอร์ต A, B, C 22 บิต	พอร์ต A, B, C 22บิต	พอร์ต A-E 33 บิต	พอร์ต A, B, C 22 บิต	พอร์ต A-E 33 บิต
จำนวนไทเมอร์/เคาน์เตอร์	3	3	3	3	3	3	3
โมดูลคอมพาเรเตอร์/เปรียบเทียบ/พีดับบลิวเอ็ม	2	2	2	2	2	2	2
ส่วนสื่อสารข้อมูลอนุกรม	USART	USART	SPI, I²C	SPI, I²C, USART	SPI, I²C, USART	SPI, I²C, USART	SPI, I²C, USART
ส่วนสื่อสารข้อมูลขนาน	-	PSP	-	-	PSP	-	PSP
วงจร ADC 10 บิต	5 ช่อง	8 ช่อง	5 ช่อง	5 ช่อง	8 ช่อง	5 ช่อง	8 ช่อง
วงจรเปรียบเทียบแรงดันและนาฬิกา	-	-	-	2 ชุด (PIC16F873A)	2 ชุด (PIC16F874A)	2 ชุด (PIC16F876A)	2 ชุด (PIC16F877A)
โมดูลสร้างแรงดันอ้างอิง	-	-	-	1 ชุด (PIC16F873A)	1 ชุด (PIC16F874A)	1 ชุด (PIC16F876A)	1 ชุด (PIC16F877A)
จำนวนขาสั่ง	28	28	28	28	40	28	40

นอกจากนั้น ขนาดของหน่วยความจำทั้งส่วนโปรแกรม ข้อมูล รีจิสเตอร์ และหน่วยความจำอีอีพรอมในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x แสดงในรูปที่ 2.3 ในตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x ทั้ง 7 เบอร์ ทั้งนี้เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเลือกใช้

ตารางที่ 2.2 เป็นรายละเอียดของการทำงานในแต่ละขาสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x โดยเน้นไปที่ PIC16F873/876 และ PIC16F874/877 ตัวเลขในวงเล็บคือตำแหน่งขาของ PIC16F874/877

2.3 ข้อมูลหลักสำหรับกำหนดการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

PIC16F87x มีรีจิสเตอร์พิเศษตัวหนึ่งที่บรรจุข้อมูลสำหรับกำหนดการทำงานทั้งหมดเอาไว้ นั่นคือ **Configuration word** โดยภายใน Configuration word จะบรรจุข้อมูลของการเลือกป้องกันการอ่านข้อมูล เลือกความสามารถการรีเซตอัตโนมัติเมื่อไฟเลี้ยงลดต่ำถึงค่าที่กำหนด ควบคุมการทำงานของวอตช์ด็อกไทเมอร์ หรือกระทั่งการเลือกชนิดของวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์ การกำหนดข้อมูลสำหรับรีจิสเตอร์ตัวนี้สามารถกระทำได้ 2 ทางคือ ด้วยคำสั่ง __CONFIG ในส่วนต้นของโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี แล้วแอสเซมเบลอร์ด้วย MPASM ซึ่งบรรจุอยู่ในชุดของโปรแกรม MPLAB อันเป็นซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ของ Microchip ผู้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC นั่นเอง ทางที่สองคือ กำหนดที่ซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการโปรแกรมหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ การกำหนดสามารถกระทำในทางใดทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งหรือทั้งสองทางก็ได้ แต่ถ้าการกำหนดทั้งสองทางแตกต่างกัน การกำหนดที่ซอฟต์แวร์ของเครื่องโปรแกรมจะมีนัยสำคัญสูงกว่า

รีจิสเตอร์ Configuration มีขนาด 14 บิต เท่ากับขนาดของเวิร์ดในหน่วยความจำโปรแกรม ตำแหน่งของ Configuration word อยู่ที่แอดเดรส 0x2007 ดังมีรายละเอียดของการกำหนดข้อมูลแต่ละบิตสรุปไว้ในกรอบแยกที่ 2.1 และ 2.2 โดยในกรอบแยกที่ 2.1 จะเป็นรายละเอียดของ PIC16F87x ส่วนกรอบแยกที่ 2.2 เป็นรายละเอียดของ PIC16F87xA

ตารางที่ 2.2 ตารางสรุปการทำงานของขาพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรบัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
OSC1/CLKIN	9 (13)	อินพุต	ชมิตต์ทริกเกอร์/ซีมอส (3X4)	ขาต่อคริสตอล/รับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
OSC2/CLKOUT	10 (14)	เอาต์พุต		ขาต่อคริสตอล/ในโหมด RC เป็นขาเอาต์พุต สัญญาณนาฬิกาความถี่ 1/4 ของสัญญาณที่ขา OSC1
MCLR/Vpp	1	อินพุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขารับสัญญาณรีเซตหลัก (Master Clear Input) ทำงานที่ลอจิก "0" - ขารับแรงดันโปรแกรม (programming voltage)
ขาพอร์ต A เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง				
RA0/AN0	2	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาลอก	- ขาพอร์ต RA0 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 0
RA1/AN1	3	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาลอก	- ขาพอร์ต RA1 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 1
RA2/AN2/VREF-/CVREF*	4	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาลอก	- ขาพอร์ต RA2 อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 2 - อินพุตแรงดันอ้างอิงลบของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล - เอาต์พุตแรงดันอ้างอิงของโมดูลแรงดันอ้างอิง (PIC16F87xA)
RA3/AN3/VREF+	5	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาลอก	- ขาพอร์ต RA3 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 3 - อินพุตแรงดันอ้างอิงบวกของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล
RA4/T0CKI/C1OUT*	6	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RA4 กรณีใช้พอร์ตเอาต์พุตมีโครงสร้างแบบเดรนเปิด - อินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์ 0 - เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอกของ 1 (PIC16F87xA)
RA5/AN4/SS/C2OUT*	7	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/อะนาลอก	- ขาพอร์ต RA5 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 4 - ขาสัญญาณ Slave Select ใช้งานการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัส - เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอกช่อง 2 (PIC16F87xA)
ขาพอร์ต B เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง สามารถกำหนดให้ต่อตัวต้านทานพูลอัปภายในเมื่อทำงานเป็นอินพุตได้ทางซอฟต์แวร์				
RB0/INT	21 (33)	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/ชมิตต์ทริกเกอร์ (1)	- ขาพอร์ต RB0 - อินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก
RB1	22 (34)	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RB1
RB2	23 (35)	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RB2
RB3/LVP	24 (36)	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RB3 - อินพุตรับแรงดันโปรแกรมต่ำ (+5V) ถ้าเอ็นเอเบิลไว้
RB4	25 (37)	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RB4 และสามารถเกิดอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขานี้ หากเอ็นเอเบิลไว้
RB5	26 (38)	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล	- ขาพอร์ต RB5 และสามารถเกิดอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขานี้ หากเอ็นเอเบิลไว้
RB6/PGC	27 (39)	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/ชมิตต์ทริกเกอร์ (2)	- ขาพอร์ต RB6 - เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการดีบักในวงจร (ICD) - สามารถเกิดอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขานี้ หากเอ็นเอเบิลไว้
RB7/PGD	28 (40)	อินพุต/เอาต์พุต	ทีทีแอล/ชมิตต์ทริกเกอร์ (2)	- ขาพอร์ต RB7 - เป็นขาสัญญาณข้อมูลของการดีบักในวงจร (ICD) - สามารถเกิดอินเตอร์รัปต์เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกขึ้นที่ขานี้ หากเอ็นเอเบิลไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตารางสรุปการทำงานของขาพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x (ต่อ)

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรบัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
ขาพอร์ต C เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง				
RC0/T1OSO/ T1CKI	11 (15)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RC0 - เอาต์พุตวงจรออสซิลเลเตอร์ของไทเมอร์ 1 - อินพุตสัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์ 1
RC1/T1OSI/ CCP2	12 (16)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RC1 - อินพุตวงจรออสซิลเลเตอร์ของไทเมอร์ 1 - อินพุตวงจรแคปเจอร์/เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบ/ เอาต์พุต PWM สำหรับโมดูล CCP2
RC2/CCP1	13 (17)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RC2 - อินพุตวงจรแคปเจอร์/เอาต์พุตวงจรเปรียบเทียบ/ เอาต์พุต PWM สำหรับโมดูล CCP1
RC3/SCK/SCL	14 (18)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RC3 - ขาสัญญาณนาฬิกาของวงจร SPI และระบบบัส I^2C
RC4/SDI/SDA	15 (23)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RC4 - ขาข้อมูลอินพุตวงจร SPI - ขาข้อมูลของระบบบัส I^2C
RC5/SDO	16 (24)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RC5 - ขาข้อมูลเอาต์พุตของวงจร SPI
RC6/TxD	17 (25)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RC6 - ขาเอาต์พุตวงจร USART สำหรับเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม
RC7/RxD	18 (26)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์	- ขาพอร์ต RC7 - ขาอินพุตวงจร USART สำหรับเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรม
ขาพอร์ต D เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง สามารถใช้เป็นส่วนขยายพอร์ตแบบขนานเพื่อติดต่อกับระบบบัสอื่น ไม่มีใน PIC16F873(A)/876(A)				
RD0/PSP0	(19)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์ / ทีทีแอล[3]	- ขาพอร์ต RD0 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 0
RD1/PSP1	(20)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์ / ทีทีแอล[3]	- ขาพอร์ต RD1 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 1
RD2/PSP2	(21)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์ / ทีทีแอล[3]	- ขาพอร์ต RD2 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 2
RD3/PSP3	(22)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์ / ทีทีแอล[3]	- ขาพอร์ต RD3 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 3
RD4/PSP4	(27)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์ / ทีทีแอล[3]	- ขาพอร์ต RD4 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 4
RD5/PSP5	(28)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์ / ทีทีแอล[3]	- ขาพอร์ต RD5 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 5
RD6/PSP6	(29)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์ / ทีทีแอล[3]	- ขาพอร์ต RD6 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 6
RD7/PSP7	(30)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์ / ทีทีแอล[3]	- ขาพอร์ต RD7 - ขาขยายพอร์ตแบบขนานบิต 7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 ตารางสรุปการทำงานของขาพอร์ตทั้งหมด

ชื่อขา	ตำแหน่งขา	ชนิดของขา	ชนิดของวงจรบัฟเฟอร์	รายละเอียดการทำงาน
ขาพอร์ต E เป็นขาพอร์ต 2 ทิศทาง ไม่มีใน PIC16F873(A)/876(A)				
RE0/AN5/$\overline{RD}$	(8)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์ / ทีทีแอล(3)	- ขาพอร์ต RE0 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 5 - ขาสัญญาณ $\overline{RD}$ สำหรับส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน
RE1/AN6/$\overline{WR}$	(9)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์ / ทีทีแอล(3)	- ขาพอร์ต RE1 - อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 6 - ขาสัญญาณ $\overline{WR}$ สำหรับส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน
RE2/AN7/$\overline{CS}$	(10)	อินพุต/เอาต์พุต	ชมิตต์ทริกเกอร์ / ทีทีแอล(3)	- ขาพอร์ต RE2 อินพุตวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล ช่อง 7 - ขาสัญญาณ $\overline{CS}$ สำหรับส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน
ขาต่อไฟเลี้ยง				
V_{DD}	20 (11, 32)	อินพุต	-	- ขาต่อไฟเลี้ยง ใช้ได้ตั้งแต่ 2 ถึง 5.5V
V_{SS}	8, 19 (12, 31)	อินพุต	-	- ขาต่อกราวด์

หมายเหตุ

(1) อินพุตของวงจรบัฟเฟอร์จะเป็นแบบชมิตต์ทริกเกอร์ เมื่อใช้งานเป็นขาอินพุตสัญญาณดิจิตอลจากภายนอก

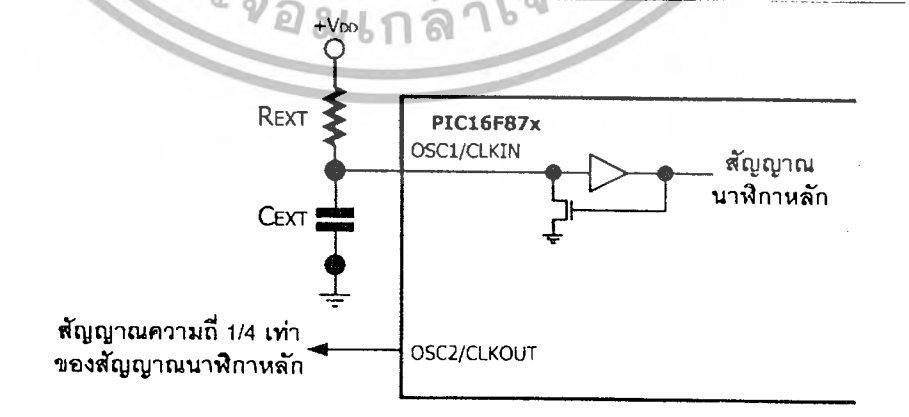
(2) อินพุตของวงจรบัฟเฟอร์จะเป็นแบบชมิตต์ทริกเกอร์ เมื่อทำงานในโหมดโปรแกรมขนานอนุกรม (Serial programming mode)

(3) อินพุตของวงจรบัฟเฟอร์จะเป็นแบบชมิตต์ทริกเกอร์ เมื่อกำหนดให้ทำงานเป็นขาพอร์ตทั่วไป และเป็นแบบทีทีแอลเมื่อกำหนดให้ทำงานเป็นส่วนขยายพอร์ตแบบขนาน (PSP) สำหรับเชื่อมต่อกับระบบบัสไมโครโปรเซสเซอร์อื่น

(4) สำหรับ PIC16F874/877 อินพุตของวงจรบัฟเฟอร์จะเป็นแบบชมิตต์ทริกเกอร์ เมื่อกำหนดให้ทำงานในโหมด RC และเป็นทีทีแอลเมื่อทำงานในโหมดอื่น

2.4 โหมดสัญญาณนาฬิกา

PIC16F87x สามารถเลือกโหมดของสัญญาณนาฬิกาเพื่อกำหนดจังหวะการทำงานได้มากถึง 4 โหมด โดยการกำหนดที่บิต FOSC0 และ FOSC1 ในรีจิสเตอร์ Configuration Word ซึ่งในการทำงานจะต้องเลือกโหมดใดโหมดหนึ่ง ดังมีรายละเอียดต่อไปนี้



รูปที่ 2.3 การต่อตัวต้านทานและตัวเก็บประจุเพื่อกำหนดความถี่สัญญาณนาฬิกาเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x ทำงานในโหมด RC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โหมด LP ใช้กับคริสตรอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์พลังงานต่ำความถี่ 32 kHz-200 kHz
2. โหมด XT ใช้กับคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์มาตรฐานความถี่ 200kHz-4MHz
3. โหมด HS ใช้กบคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์ความถี่สูง 4MHz-20MHz
4. โหมด RC (External Resistor/Capacitor) สามารถกำหนดค่าความถี่ได้จากค่าของตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อภายนอกเข้ากับขา OSC1/CLKIN ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ความถี่สูงสุดคือ 4 MHz อย่างไรก็ตามความถี่ของสัญญาณนาฬิกาในโหมดนี้ไม่อาจกำหนดลงไปได้อย่างชัดเจน เนื่องจากต้องพิจารณาถึงองค์ประกอบที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในขอบเขตที่กว้าง ไม่ว่าจะเป็นค่าของแรงดันไฟเลี้ยง ค่าของความต้านทานและตัวเก็บประจุ ซึ่งต้องรวมไปถึงค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์ทั้งสองด้วย อย่างไรก็ตามค่าของตัวต้านทานที่เหมาะสมอยู่ในย่าน 3 kΩ - 100 kΩ ส่วนค่าของตัวเก็บประจุควรมากกว่า 20 pF นอกจากนั้นที่ขา OSC2/CLKOUT จะมีสัญญาณนาฬิกาความถี่ ¼ เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกาหลักส่งออกมา

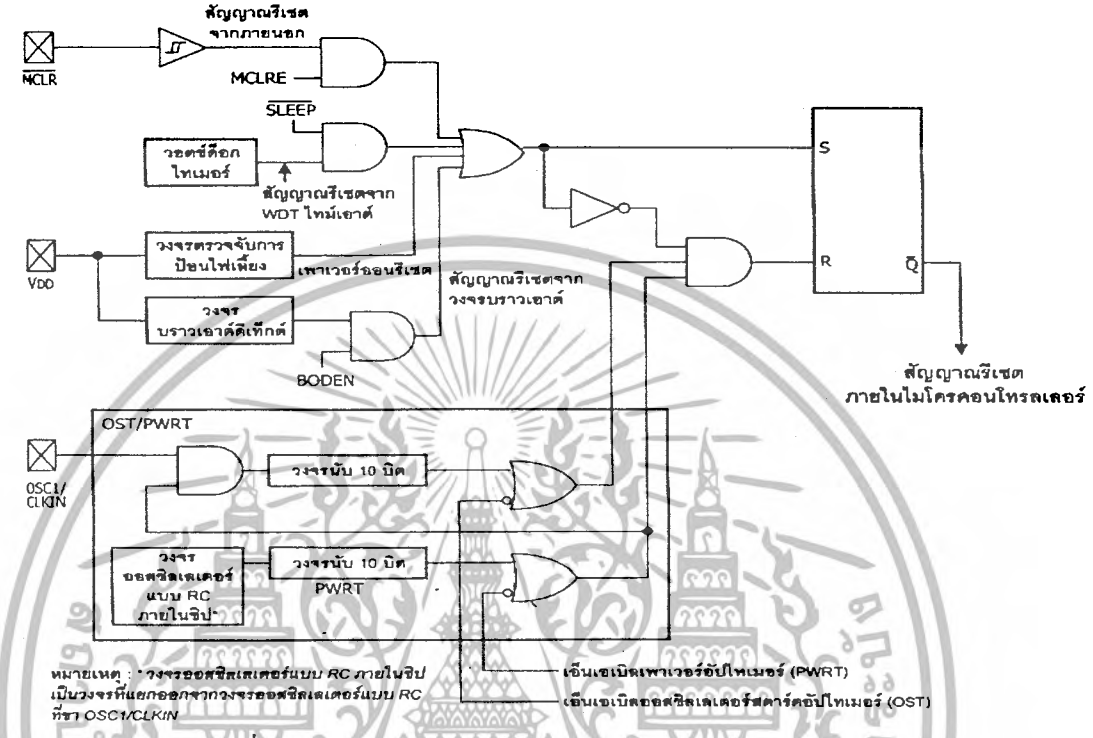
2.5 กระบวนการรีเซตใน PIC16F87x

การรีเซต (reset) เป็นกระบวนการที่สำคัญมากในระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นการกำหนดให้ซีพียูภายใจไมโครคอนโทรลเลอร์เริ่มต้นทำงานใหม่ ทั้งนี้เพื่อประโยชน์ในการแก้ไขความผิดปกติหรือการทำงานที่ผิดพลาดของไมโครคอนโทรลเลอร์ อันทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานค้างอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่งหรือหยุดทำงาน เมื่อทำการรีเซต ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะกลับมาเริ่มต้นการทำงานใหม่ ทำให้ระบบโดยรวมยังกลับมาทำงานได้ต่อไป การรีเซตในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x มีด้วยกัน 6 ประเภท ดังนี้

1. เพาเวอร์ออนรีเซต (power-on reset) เป็นการรีเซตที่เกิดขึ้นหลังจากเริ่มต้นจ่ายไฟเลี้ยงใหม่ให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์
2. การรีเซตที่ขา $\overline{\text{MCLR}}$ ในระหว่างการทำงานปกติ
3. การรีเซตที่ขา $\overline{\text{MCLR}}$ ขณะทำงานในโหมดสลีป
4. การรีเซตจากวอตช์ด็อกไทเมอร์ ในขณะทำงานปกติ
5. วอตช์ด็อกไทเมอร์เวกอัปขณะทำงานในโหมดสลีป
6. การรีเซตเนื่องจากไฟเลี้ยงลดต่ำลงจากที่กำหนด โดยวงจรบราวเอกต์ดีเท็ก (BOD : Brown-Out Detect) เรียกว่า บราวเอาต์รีเซต (brown-out reset)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.4 แสดงไดอะแกรมของการเกิดสัญญาณรีเซตในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x



รูปที่ 2.4 กลไกของการเกิดรีเซตในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างบิตแสดงสถานะกับลักษณะการเกิดรีเซตขึ้นของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

POR	BOR	TO	PD	สิ่งที่เกิดขึ้นในระบบ
0	x	1	1	เพาเวอร์ออนรีเซต
0	x	0	x	ผิดพลาด เพราะบิต TO ต้องเซตในภาวะเพาเวอร์ออนรีเซต
0	x	x	0	ผิดพลาด เพราะบิต PD ต้องเซตในภาวะเพาเวอร์ออนรีเซต
1	0	1	1	วงจรบราวเอาต์ดีเท็กทำงาน เกิดรีเซต
1	1	0	1	เกิดการรีเซตเนื่องจาก WDT ไทม์เอาต์ในโหมดปกติ
1	1	0	0	เวกอัปเนื่องจาก WDT ไทม์เอาต์ในโหมดสลีป
1	1	U	U	เกิดการรีเซตที่ MCLR ในโหมดปกติ
1	1	1	0	เกิดการรีเซตที่ MCLR ในโหมดสลีป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรีเซตในแต่ละประเภทจะส่งผลกระทบต่อรีจิสเตอร์ที่แตกต่างกัน รีจิสเตอร์ส่วนใหญ่จะเข้าสู่สภาวะรีเซต (reset state) เมื่อเกิดเพาเวอร์ออนรีเซต การรีเซตที่ขา $\overline{\text{MCLR}}$ การรีเซตเนื่องจากวอชด็อกไทเมอร์ และการรีเซตเนื่องจากเบราวเอาต์ดีเท็ก และจะไม่ได้รับผลกระทบในกรณีที่วอชด็อกไทเมอร์เวกอัป ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบสาเหตุของการรีเซตได้จากบิตแสดงสถานะ 4 บิตคือ บิต $\overline{\text{TO}}$ กับ $\overline{\text{PD}}$ ในรีจิสเตอร์ STATUS และบิต $\overline{\text{POR}}$ กับ $\overline{\text{BOR}}$ ในรีจิสเตอร์ PCON ดังสรุปไว้แล้วในตารางที่ 2.3 ส่วนในตารางที่ 2.4 แสดงค่าของรีจิสเตอร์ทั้งหมดของ PIC16F87x หลังจากที่มีการรีเซตในลักษณะต่าง ๆ เกิดขึ้น

2.5.1 เพาเวอร์ออนรีเซต (Power-on reset : POR)

เป็นการรีเซตที่มีนัยสำคัญสูงสุดของไมโครคอนโทรลเลอร์ เกิดขึ้นเมื่อหลังจากมีการจ่ายไฟเลี้ยงใหม่ให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงเป็นการรีเซตที่เกิดขึ้นแรกสุด โดยวงจร POR ในไมโครคอนโทรลเลอร์ จะควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ในสภาวะรีเซตจนกว่าไฟเลี้ยงจะเพิ่มขึ้นถึงจุดที่สูงเพียงพอให้ส่วนประกอบทั้งหมดในไมโครคอนโทรลเลอร์พร้อมทำงานได้ โดยปกติจะใช้เวลาประมาณ 0.05 V ต่อมิลลิวินาที ถ้าไฟเลี้ยง 5 V ก็จะใช้เวลาสูงสุดประมาณ 100 มิลลิวินาที

หลังจากที่เกิดเพาเวอร์ออนรีเซตจะมีไทเมอร์อีก 2 ตัวที่ทำงานเพื่อเตรียมความพร้อมให้แก่ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้แก่เพาเวอร์อัปไทเมอร์ (Power-up timer : PWRT) และออสซิลเลเตอร์ สตาร์ตอัปไทเมอร์ (Oscillator start-up timer) มีรายละเอียดดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าของรีจิสเตอร์ใน PIC16F87x(A) หลังจากเกิดการรีเซตในลักษณะต่าง ๆ ขึ้น

Register	ค่าที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดเพาเวอร์ออนรีเซต	ค่าที่เกิดขึ้นจากการรีเซต MCLR, WDT และบราวเอาต์รีเซต ในขณะที่ทำงานอยู่	ค่าที่เกิดขึ้นจากการรีเซตเนื่องจากการเรียกใช้ RETURN, RETFIE, CALL, GOTO, การอินเตอร์รัปต์ และ WDT เกิดไทม์เอาต์
W	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
INDF	---- ----	---- ----	---- ----
TMR0	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
PCL	0000 0000	0000 0000	PC+1(2)
STATUS	0001 1xxx	000q quuu	uuuq quuu
FSR	xxxx xxxx	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
PORTA	xx0x 0000	--0u 0000	ไม่เปลี่ยนแปลง
PORTB	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
PORTC	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
PORTD	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
PORTE	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
PCLATH	---0 0000	---0 0000	---u uuuu
INTCON	0000 000x	0000 000u	uuuu uuuu(1)
PIR1	0000 0000	0000 0000	uuuu uuuu (1)
PIR2	-r-0 0--0	-r-0 0--0	-r-u u--u (1)
TMR1L	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
TMR1H	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
T1CON	--00 0000	--uu uuuu	--uu uuuu
TMR2	0000 0000	0000 0000	ไม่เปลี่ยนแปลง
T2CON	-000 0000	-000 0000	-uuu uuuu
SSPBUF	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
SSPCON	0000 0000	0000 0000	ไม่เปลี่ยนแปลง
CCPR1L	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
CCPR1H	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
CCP1CON	--00 0000	--00 0000	--uu uuuu
RCSTA	0000 000x	0000 000x	ไม่เปลี่ยนแปลง
TXREG	0000 0000	0000 0000	ไม่เปลี่ยนแปลง
RCREG	0000 0000	0000 0000	ไม่เปลี่ยนแปลง
CCPR2L	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง

Register	ค่าที่เกิดขึ้นหลังจากเกิดเพาเวอร์ออนรีเซต	ค่าที่เกิดขึ้นจากการรีเซต MCLR, WDT และบราวเอาต์รีเซต ในขณะที่ทำงานอยู่	ค่าที่เกิดขึ้นจากการรีเซตเนื่องจากการเรียกใช้ RETURN, RETFIE, CALL, GOTO, การอินเตอร์รัปต์ และ WDT เกิดไทม์เอาต์
CCPR2H	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
CCP2CON	0000 0000	0000 0000	ไม่เปลี่ยนแปลง
ADRESH	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
ADCON0	0000 00-0	0000 00-0	ไม่เปลี่ยนแปลง
OPTION_REG	1111 1111	1111 1111	ไม่เปลี่ยนแปลง
TRISA	--11 1111	--11 1111	--uu uuuu
TRISB	1111 1111	1111 1111	ไม่เปลี่ยนแปลง
TRISC	1111 1111	1111 1111	ไม่เปลี่ยนแปลง
TRISD	1111 1111	1111 1111	ไม่เปลี่ยนแปลง
TRISE	0000 -111	0000 -111	uuuu -uuu
PIE1	0000 0000	0000 0000	ไม่เปลี่ยนแปลง
PIE2	-0-0 0--0	-0-0 0--0	-0-u u--u
PCON	---- --qq	---- --uu	---- --uu
SSPCON2	0000 0000	0000 0000	ไม่เปลี่ยนแปลง
PR2	1111 1111	1111 1111	1111 1111
SSPADD	0000 0000	0000 0000	ไม่เปลี่ยนแปลง
SSPSTAT	--00 0000	--00 0000	--uu uuuu
TXSTA	0000 -010	0000 -010	uuuu -uuu
SPBRG	0000 0000	0000 0000	ไม่เปลี่ยนแปลง
CMCON	0000 0111	0000 0111	ไม่เปลี่ยนแปลง
CVRCON	000- 0000	000- 0000	ไม่เปลี่ยนแปลง
ADRESL	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
ADCON1	0--- 0000	0--- 0000	u--- uuuu
EEDATA	0--- 0000	0--- 0000	u--- uuuu
EEADR	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
EEDATH	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
EEADRH	ไม่ทราบค่า	ไม่เปลี่ยนแปลง	ไม่เปลี่ยนแปลง
EECON1	x--- x000	u--- u000	u--- uuuu
EECON2	---- ----	---- ----	---- ----

2.5.2 เพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT)

ไทเมอร์ตัวนี้โดยปกติจะมีคาบเวลาที่ 72 มิลลิวินาที จะทำงานหลังจากที่เกิดเพาเวอร์ออนรีเซตหรือ บราวเอาต์รีเซต โดยจะเป็นตัวกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ในสภาวะรีเซตจนกว่าไฟเลี้ยงจะเพิ่มถึงจุดที่ทำงานได้ อย่างไรก็ตามสามารถที่จะดิสเอเบิลไทเมอร์ตัวนี้ได้โดยการเซตบิต PWRTE ใน Configuration แต่ถ้าหากมีการเอ็นเอเบิลบราวเอาต์รีเซต ไว้ต้องเอ็นเอเบิลไทเมอร์ตัวนี้เสมอ อย่างไรก็ตามค่าเวลาของเพาเวอร์อัปไทเมอร์ อาจไม่เท่ากันในไมโครคอนโทรลเลอร์แต่ละตัว และจะเปลี่ยนแปลงตามค่าของไฟเลี้ยงและอุณหภูมิด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 ออสซิลเลเตอร์สตาร์ตอัปไทเมอร์ (OST)

เป็นไทเมอร์ที่มีคาบเวลา 1,024 ไซเคิลของคาบเวลาสัญญาณนาฬิกาหลัก (TOSC) ที่ขาอินพุตสัญญาณนาฬิกา OSCI ไทเมอร์ตัวนี้จะทำงานต่อจากเพาเวอร์อัปไทเมอร์ หน้าที่ของมันคือหน่วงเวลา เพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์ที่ใช้ในการกำเนิดสัญญาณนาฬิกาได้เริ่มต้นทำงานและสร้างสัญญาณนาฬิกาที่มีเสถียรภาพเพียงพอแล้ว ไทเมอร์ OST จะทำงานก็ต่อเมื่อเลือกโหมดสัญญาณนาฬิกาเป็น LP, XT หรือ HS เท่านั้น และทำงานเฉพาะเมื่อเกิดเพาเวอร์ออนรีเซตหรือเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์เวกอัปออกจากโหมดสลีป

2.5.4 จังหวะการเกิดเพาเวอร์ออนรีเซต

ในรูปที่ 2.5 แสดงไดอะแกรมเวลาของการเกิดสัญญาณรีเซตอันเนื่องมาจากการเริ่มต้นจ่ายไฟเลี้ยงใหม่ โดยจะมีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะ โดยในรูปที่ 2.5(ก) และ (ข) เป็นไดอะแกรมเวลาที่อาจเกิดขึ้นในกรณีที่ไม่ต่อขา $\overline{\text{MCLR}}$ เข้ากับไฟเลี้ยง ส่วนในรูปที่ 2.5(ค) เป็นกรณีที่ต่อขา $\overline{\text{MCLR}}$ เข้ากับไฟเลี้ยง พิจารณารูปที่ 2.5(ก) และ (ข) ไปพร้อม ๆ กัน เมื่อเริ่มต้นจ่ายไฟเลี้ยง V_{DD} แรงดันจะเพิ่มค่าขึ้น พร้อมกันนั้นสัญญาณ POR ภายในจะเกิดการแอกตีฟ ทำให้ PWRT เริ่มต้นทำงาน หลังจากนั้น OST จะทำงานรับช่วงต่อ เมื่อครบเวลาแล้ว สัญญาณรีเซตภายในจึงหยุดลง ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเริ่มต้นทำงานได้ พิจารณาที่ขา $\overline{\text{MCLR}}$ ในกรณีที่ไม่ต่อกับไฟเลี้ยง สถานะที่ขานี้จะเป็น "0" หรือ "1" อย่างไม่แน่นอน ถ้าหากเกิดเป็นลอจิก "1" ขึ้นก่อนที่ไทเมอร์ทั้งสองตัวคือ PWRT และ OST จะทำงานสิ้นสุด หลังจากที่ OST หยุดทำงาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะทำงานได้ทันทีดังในรูปที่ 2-5(ก) แต่ถ้าหากขา $\overline{\text{MCLR}}$ ยังคงเป็น "0" หลังจากที่ PWRT และ OST หยุดทำงานแล้ว ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ยังคงอยู่ในสภาวะรีเซตต่อไปอีกชั่วขณะ หรือบางทีอาจยาวนาน ทั้งนี้ไม่สามารถควบคุมหรือกำหนดได้ จนกระทั่ง $\overline{\text{MCLR}}$ เป็นลอจิก "1" สัญญาณรีเซตภายในก็จะหยุดทำงานลงดังในรูปที่ 2.5(ข)

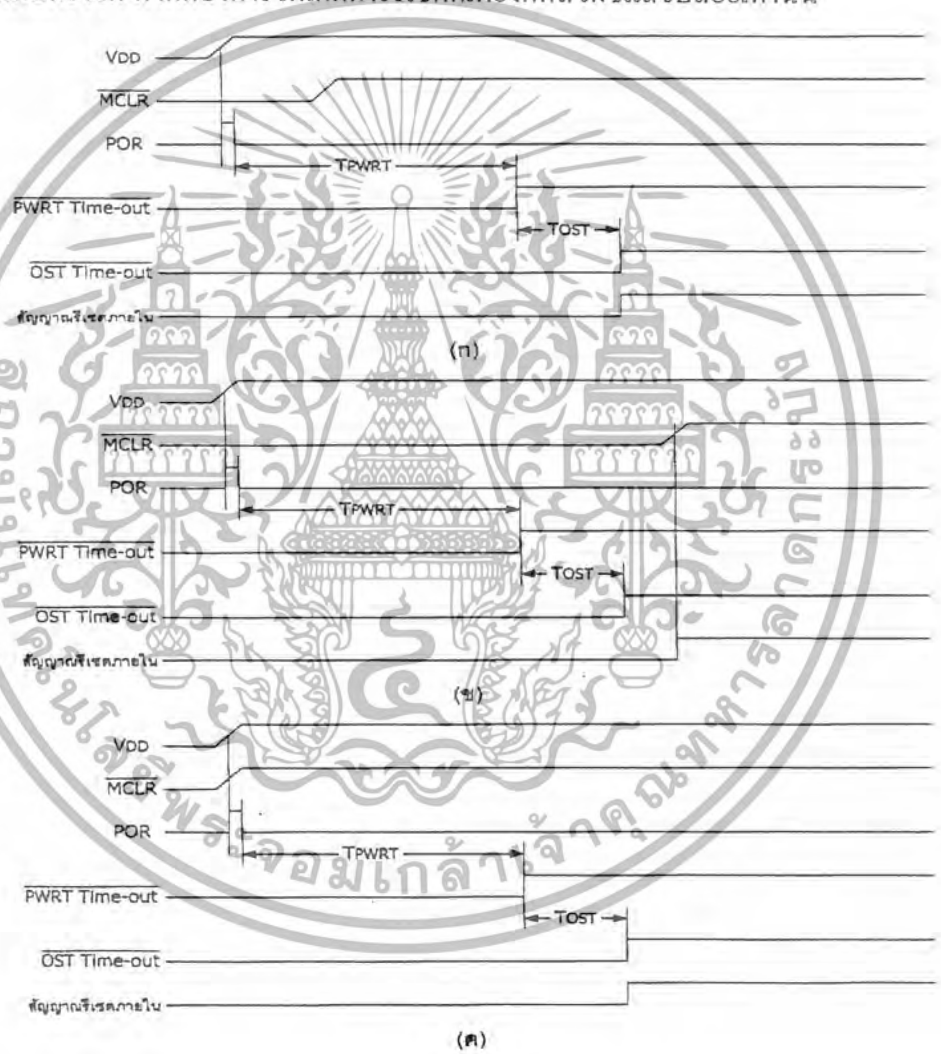
แต่ถ้าหากต่อขา $\overline{\text{MCLR}}$ เข้ากับไฟเลี้ยงโดยผ่านตัวต้านทานพูลอัป จะทำให้ขา $\overline{\text{MCLR}}$ เป็นลอจิก "1" ไปตามการจ่ายไฟเลี้ยง V_{DD} หลังจากนั้นสัญญาณรีเซตภายในก็จะเกิดขึ้น และหยุดลงหลังจาก OST หยุดทำงาน ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานได้ทันทีอย่างแน่นอน ในรูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างการต่อวงจรเพาเวอร์ออนรีเซตเข้าที่ขา $\overline{\text{MCLR}}$ เพื่อควบคุมสถานะลอจิกที่ขา $\overline{\text{MCLR}}$ นี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

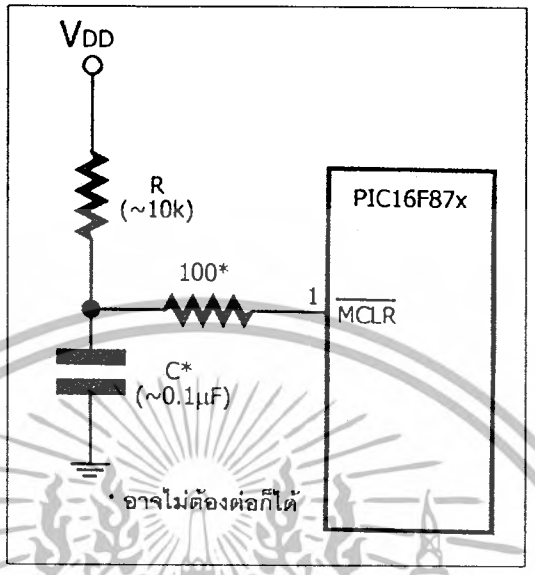
2.5.6 การรีเซตที่ขา $\overline{\text{MCLR}}$

เกิดขึ้นเมื่อขา $\overline{\text{MCLR}}$ ได้รับลอจิก "0" ในการใช้งานปกติ ขานี้จะต่อตัวต้านทานพูลอัปหรือวงจรเพาเวอร์ออนรีเซตตามรูปที่ 2.6 ซึ่งหลังจากจ่ายไฟแล้ว สถานะที่ขา $\overline{\text{MCLR}}$ จะถูกรักษาไว้ที่ระดับลอจิก "1" ในกรณีที่ต้องการให้เกิดการรีเซตสามารถต่อขา $\overline{\text{MCLR}}$ นี้ลงกราวด์ชั่วขณะ แล้วปลดออก จะทำให้เกิดการรีเซตแล้ว ดังนั้นในทางปฏิบัติ อาจต่อสวิตช์กดติดปล่อยดับเข้าระหว่างขา $\overline{\text{MCLR}}$ นี้กับกราวด์ หากต้องการให้เกิดการรีเซตก็เพียงกดสวิตช์แล้วปล่อยเท่านั้น



รูปที่ 2.5 ไดอะแกรมเวลาแสดงจังหวะการเกิดเพาเวอร์ออนรีเซตในเงื่อนไขที่แตกต่างกัน
(ก) และ (ข) เป็นกรณีที่ไม่ต่อขา $\overline{\text{MCLR}}$ เข้ากับไฟเลี้ยง
(ค) กรณีต่อขา $\overline{\text{MCLR}}$ เข้ากับไฟเลี้ยงโดยผ่านตัวต้านทาน จะเห็นว่าเกิดการรีเซตอย่างสมบูรณ์ภายใต้ขอบเขตของเวลาที่มีความแน่นอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
62056



รูปที่ 2.6 วงจรเพาเวอร์ออนรีเซตสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

กรณีแบบนี้จะทำให้ไมโครคอนโทรเลอร์กลับมาเริ่มทำงานที่แอดเดรส 0x0000 ใหม่ ค่าในรีจิสเตอร์บางตัวไม่เปลี่ยนแปลง และข้อมูลในหน่วยความจำข้อมูลแรมไม่ได้รับผลกระทบ ถ้าหากไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานในโหมดสลีป และมีการป้อนลอจิก "0" เข้าที่ขา $\overline{MCLR}$ นอกจากทำให้เกิดการรีเซตแล้ว ยังทำให้เกิดการเวกอัปออกจากโหมดสลีปด้วย

2.5.7 การรีเซตเนื่องจากวอตช์ด็อกไทเมอร์

จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเอ็นเอเบิลวอตช์ด็อกไทเมอร์ให้ทำงาน และไมโครคอนโทรลเลอร์ ไม่สามารถเคลียร์ค่าวอตช์ด็อกไทเมอร์ได้ทันภายในคาบเวลาของวอตช์ด็อกไทเมอร์ อันเนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานผิดพลาด วนอยู่กับการทำงานบางอย่างจนไม่สามารถกลับมาทำงานตามขั้นตอนปกติได้จนกระทั่งวอตช์ด็อกไทเมอร์เกิดไทม์เอาต์วอตช์ด็อกไทเมอร์ก็จะสร้างสัญญาณรีเซตภายในส่งมายังซีพียู ทำให้เกิดการรีเซตไมโครคอนโทรลเลอร์ขึ้น

แต่ถ้าหากในขณะนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานอยู่ในโหมดสลีป การที่วอตช์ด็อกไทเมอร์ ไทม์เอาต์จะเป็นการเวกอัปหรือกระตุ้นให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ออกจากโหมดสลีปกลับมาทำงานในโหมดปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.8 บราวเอาต์รีเซต

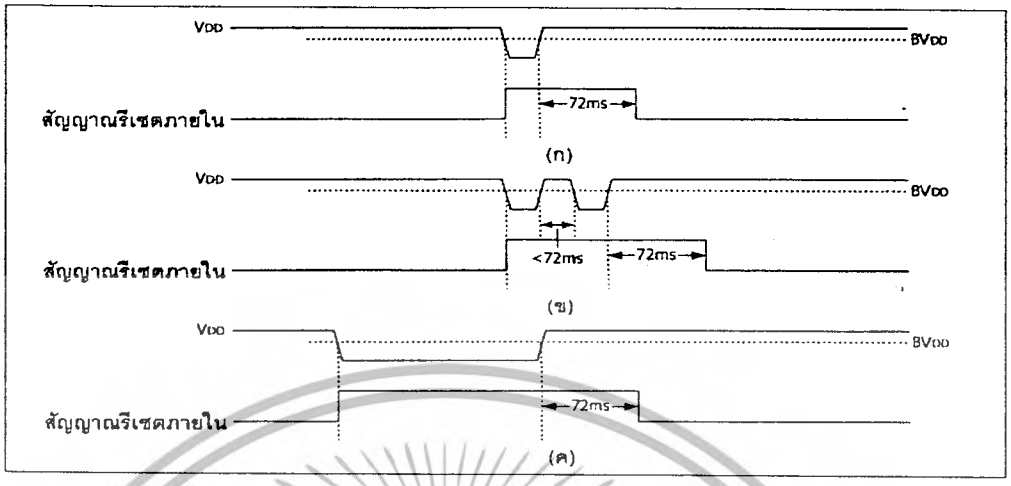
ภายใน PIC16F87x มีวงจรจับระดับแรงดันไฟเลี้ยงต่ำกว่าที่กำหนดหรือเรียกว่า บราวเอาต์เท็ก (Brown-out detect : BOD) หากพบว่าไฟเลี้ยงของไมโครคอนโทรลเลอร์ลดต่ำลงถึงจุดที่กำหนด ก็จะกำเนิดสัญญาณรีเซตภายในส่งไปยังซีพียู เพื่อเริ่มต้นการทำงานใหม่ ถ้าหากไฟเลี้ยงกลับมาอยู่ในระดับปกติ ระบบก็จะสามารถปฏิบัติงานต่อไปได้อย่างไม่ติดขัด การใช้ BOD จะช่วยแก้ปัญหาไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานผิดพลาดหรือหยุดทำงาน อันเนื่องมาจากความไม่สม่ำเสมอของไฟเลี้ยง

สำหรับใน PIC16F87x ระดับแรงดันที่ทำให้วงจร BOD ทำงานคือ 3.7-4.35 V ในการทำงานจริง เมื่อแรงดันลดลงถึง 4 V เป็นเวลามากกว่า 100 ไมโครวินาที วงจร BOD จะทำงานเพื่อสร้างสัญญาณรีเซต ในรูปที่ 2.7 แสดงไดอะแกรมเวลาการเกิดสัญญาณรีเซตเนื่องจากการทำงานของวงจร BOD จากรูปไมโครคอนโทรลเลอร์ยังคงอยู่ในสภาวะรีเซตจนกว่าระดับไฟเลี้ยงจะกลับมาอยู่ในระดับต่ำสุดที่สามารถทำงาน ซึ่งทำให้เพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT) ทำงานหน่วงเวลา 72 มิลลิวินาที ถ้าหากในช่วงเวลานั้นไฟเลี้ยงเกิดลดต่ำลงจนวงจร BOD ทำงาน ไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะกลับไปสู่สภาวะรีเซตอีกครั้ง รอคอยไฟเลี้ยงให้กลับมาอยู่ในระดับที่สามารถทำงานได้ นั่นคือเริ่มต้นกระบวนการของเพาเวอร์อัปไทเมอร์ใหม่อีกครั้ง จนกระทั่งไฟเลี้ยงคงที่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะกลับมาทำงานตามปกติ

จากรูปที่ 2.7(ก) หากไฟเลี้ยงตกลงชั่วขณะแต่นานพอที่จะทำให้วงจร BOD ตรวจจับได้ ก็จะเกิดสัญญาณรีเซตภายในขึ้น หลังจากที่ไฟเลี้ยงกลับมาอยู่ในระดับที่เพียงพอต่อการทำงาน จะมีการหน่วงเวลาไปอีก 72 มิลลิวินาที

ในรูปที่ 2.7(ข) กรณีไฟเลี้ยงเกิดการกระเพื่อม จะมีช่วงเวลาหนึ่งที่มีค่าสูงถึงระดับที่ทำงานได้ แต่ทว่ามีระยะเวลาน้อยกว่า 72 มิลลิวินาที จึงยังคงทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ในสภาวะรีเซตจะเห็นประโยชน์ของเพาเวอร์อัปไทเมอร์ในเวลานี้ เพราะมันจะช่วยให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ยังไม่ต้องทำงานจนกว่าจะแน่ใจว่ามีการจ่ายไฟเลี้ยงที่ถูกต้อง และมีระยะเวลาที่นานพอจะแน่ใจได้ว่า ไม่ใช่แรงดันกระชากที่ปะปนเข้ามาในสายไฟเลี้ยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

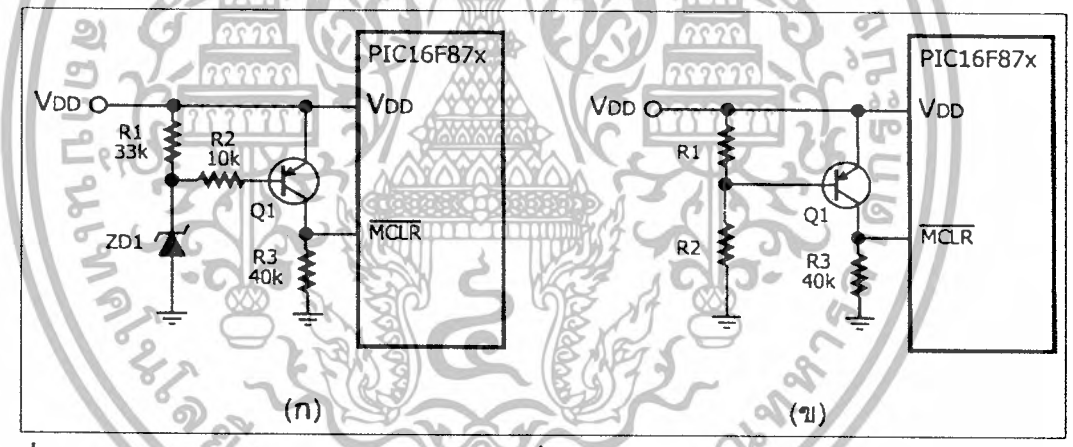


รูปที่ 2.7 ไดอะแกรมเวลาแสดงการเกิดบราวเอาต์รีเซตในลักษณะต่าง ๆ

(ก) กรณีไฟเลี้ยงตกลงชั่วขณะ

(ข) กรณีไฟเลี้ยงเกิดการกระเพื่อม

(ค) กรณีไฟเลี้ยงลดต่ำลงยาวนาน



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการต่อวงจรบราวเอาต์ดีเท็กเข้าที่ขา $\overline{MCLR}$ ในกรณีที่ไม่เลือกใช้ความสามารถของวงจรบราวเอาต์ดีเท็กต์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์

(ก) ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเกิดการรีเซตเมื่อแรงดันไฟเลี้ยงลดต่ำกว่าระดับ $V_Z+0.7$ V โดย V_Z คือแรงดันเบรกดาวน์ของซีเนอร์ไอโอด ZD1

(ข) ในวงจรนี้ที่ภาวะปกติ Q1 จะทำงานตลอดขา $\overline{MCLR}$ ได้รับไฟเลี้ยงตลอดเวลา เมื่อไฟเลี้ยงลดลงจนทำให้ Q1 หยุดทำงาน ก็จะไม่มีแรงป้อนที่ขา $\overline{MCLR}$ ทำให้เกิดการรีเซตขึ้น ระดับแรงดันที่ทำให้ Q1 หยุดทำงาน สามารถคำนวณได้จาก $V_{DD} = 0.7(R1+R2)/R1$ การกำหนดค่าของ R1 และ R2 ต้องเหมาะสมพอที่จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานได้เมื่อระดับไฟเลี้ยงเป็นปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในรูปที่ 2.7(ค) แสดงให้เห็นถึงการตกลงของไฟเลี้ยงเป็นเวลายาวนาน ไม่ใช่ชั่วขณะ ซึ่งวงจรบราวเอาต์ดีเท็กต์สามารถตรวจสอบได้ และควบคุมให้ไมโครคอนโทรล เลอร์อยู่ในสภาวะ รีเซตยาวนานต่อเนื่อง และหน่วงเวลาต่อไปอีก 72 มิลลิวินาที หลังจากที่ไฟเลี้ยงกลับมาอยู่ในระดับปกติ

อย่างไรก็ตามในกรณีที่มีความจำเป็นต้องดิสเอเบิลวงจร BOD ภายในไมโครคอนโทรล เลอร์ แต่ยังคงต้องการรีเซตแบบนี้อยู่ก็สามารถทำได้โดยการต่อวงจรภายนอกเพิ่มเติม ดังแสดงตัวอย่างวงจรในรูปที่ 2.8 ซึ่งก็คือการป้อนลอจิก "0" ให้แก่ขา $\overline{\text{MCLR}}$ เพื่อรีเซตไมโครคอนโทรลเลอร์นั่นเอง หากแต่การเกิดสัญญาณรีเซตนี้จะมีเงื่อนไขคือ เมื่อแรงดันไฟเลี้ยงลดต่ำลงกว่าที่กำหนด ทรานซิสเตอร์ Q1 จะหยุดทำงาน ทำให้แรงดันตกคร่อม R3 เป็น "0" และแรงดันตกคร่อม R3 ก็คือแรงดันที่ป้อนให้แก่ขา $\overline{\text{MCLR}}$ เมื่อแรงดันเป็น "0" จึงเกิดเป็นระดับลอจิก "0" ส่งเข้าที่ขา $\overline{\text{MCLR}}$ ไมโครคอนโทรลเลอร์จึงเกิดการรีเซตขึ้นในที่สุด

2.6 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรม

หน่วยความจำโปรแกรม (program memory) เป็นส่วนที่มีความสำคัญมากเพราะ เป็นที่เก็บข้อมูลคำสั่งทั้งหมดซึ่งใช้ในการกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน หน่วยความจำโปรแกรมของ PIC16F87x เป็นแบบแฟลช (flash memory) ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับแสนครั้ง แต่อย่างไรก็ตามโดยปกติ หน่วยความจำโปรแกรมหลังจากที่ทำการเขียนในขั้นตอนของการโปรแกรมแล้วก็จะมีไว้สำหรับอ่านออกมาได้เพียงทางเดียว

PIC16F87x มีโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) ขนาด 13 บิต เพื่อกำหนดการเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรม โดยใน PIC16F873/874 จะมีขนาดของหน่วยความจำโปรแกรม 4 K x 14 บิต (หรือ 4 กิโลเวิร์ด โดย 1 เวิร์ดมีขนาด 14 บิต) ส่วน PIC16F876/877 จะมีขนาด 8 K x 14 บิต (หรือ 8 กิโลเวิร์ด) เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ในอนุกรมนี้มีขนาดหน่วยความจำโปรแกรมที่ค่อนข้างใหญ่มาก จึงต้องมีการจัดสรรเป็นเพจ (page) หรือเป็นหน้า โดยในแต่ละเพจ จะมีขนาด 2 กิโลเวิร์ด ทั้งนี้เนื่องจากชุดคำสั่งเกี่ยวกับการกระโดดของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC สามารถอ้างถึงตำแหน่งของหน่วยความจำไว้สูงสุด 2,048 ตำแหน่ง

ถ้าหากผู้เขียนโปรแกรมคาดว่าไม่มีการใช้งานอินเตอร์รัปต์อย่างแน่นอน สามารถละเลยเรื่องอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์นี้ไปได้ จุดที่จะต้องให้ความสำคัญอย่างยิ่งคือการติดต่อกันระหว่างเพจของหน่วยความจำโปรแกรม ผู้เขียนโปรแกรมจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกำหนดให้เกิดการกระโดดอยู่ในขอบเขต 2,048 ตำแหน่ง และถ้าหากมีการข้ามเพจเกิดขึ้นจะต้องแบ่งช่วงการกระโดดระหว่างเพจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

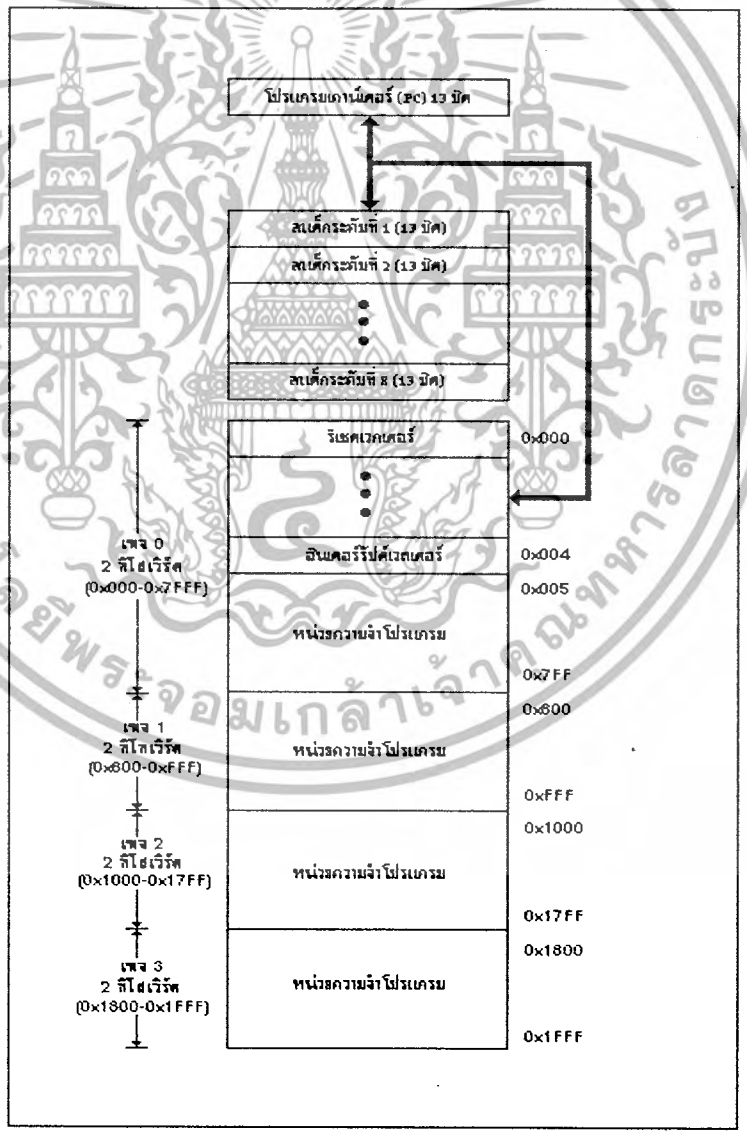
สำหรับ PIC16F876/877 ซึ่งมีขนาดหน่วยความจำโปรแกรม 8 กิโลเวิร์ด มีการจัดสรรพื้นที่ดังในรูปที่ 2.9 มีการสงวนแอดเดรส 0x0000 และ 0x0004 ไว้เช่นกัน หรืออาจกล่าวได้ว่า เป็นรูปแบบมาตราฐาน ของการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ สำหรับ PIC16F876/877 มีการแบ่งหน่วยความจำโปรแกรมออกเป็น 4 เพจ ดังนี้

เพจ 0 มีแอดเดรสในช่วง 0x0000-0x07FF (โดยควรสงวนแอดเดรส 0x0000 และ 0x0004 ไว้)

เพจ 1 มีแอดเดรสในช่วง 0x0800-0x0FFF

เพจ 2 มีแอดเดรสในช่วง 0x1000-0x17FF

เพจ 3 มีแอดเดรสในช่วง 0x1800-1x1FFF



รูปที่ 2.9 การจัดสรรหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876(A)/877(A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นใน PIC16F87x ยังมีพื้นที่หน่วยความจำพิเศษสำหรับเก็บค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ชั่วคราวขนาด 13 บิต เรียกว่า สแต็ก (stack) ซึ่งจะมีบทบาทมากในการกระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อยของ PIC16F87x โดยเมื่อกระทำคำสั่งให้กระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อย ซีพียูจะทำการเก็บค่าโปรแกรมเคาน์เตอร์หรือ PC ในขณะนั้นไว้ในสแต็ก จากนั้นจึงกระโดดไปทำงานยังโปรแกรมย่อย เมื่อทำงานเรียบร้อยแล้ว ซีพียูจะไปอ่านค่า PC จากสแต็ก กลับมา แล้วทำงานตามกระบวนการในโปรแกรมหลักต่อไป สำหรับสแต็กใน PIC16F87x มีขนาด 13 บิต สามารถเก็บค่าของ PC ได้ 8 ระดับ

2.6.1 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลแรมและรีจิสเตอร์ไฟล์

การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลของ PIC16F876/877

ใน PIC16F876/877 มีหน่วยความจำข้อมูลแรมสำหรับใช้งานทั่วไป 368 ไบต์ และมีรีจิสเตอร์ไฟล์ 8 บิต 57 ตัว หรือ 59 ตัวในเบอร์ PIC16F876A/877A ดังในรูปที่ 2.10 แต่ละแบงก์มีขนาดสูงสุด 128 ไบต์ แต่มีการใช้งานได้จริงในแต่ละแบงก์ต่างกัน โดยในแต่ละแบงก์มีการจัดสรรพื้นที่ดังนี้

แบงก์ 0 มีช่วงแอดเดรส 0x00-0x7F

- แอดเดรส 0x00-0x1F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์
- แอดเดรส 0x20-0x7F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 96 ไบต์

แบงก์ 1 มีช่วงแอดเดรส 0x80-0xFF

- แอดเดรส 0x80-0x9F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ แต่มีบางแอดเดรสไม่ใช้งาน
- แอดเดรส 0xA0-0xEF เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์
- แอดเดรส 0xF0-0xFF บรรจุข้อมูลเหมือนกับแอดเดรส 0x70-0x7F ในแบงก์ 0
- เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70-0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์

แบงก์ 2 มีช่วงแอดเดรส 0x100-0x17F

- แอดเดรส 0x100-0x10F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ แต่มีบางแอดเดรสไม่ใช้งาน
- แอดเดรส 0x110-0x11F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูล สำหรับใช้งานทั่วไป 16 ไบต์

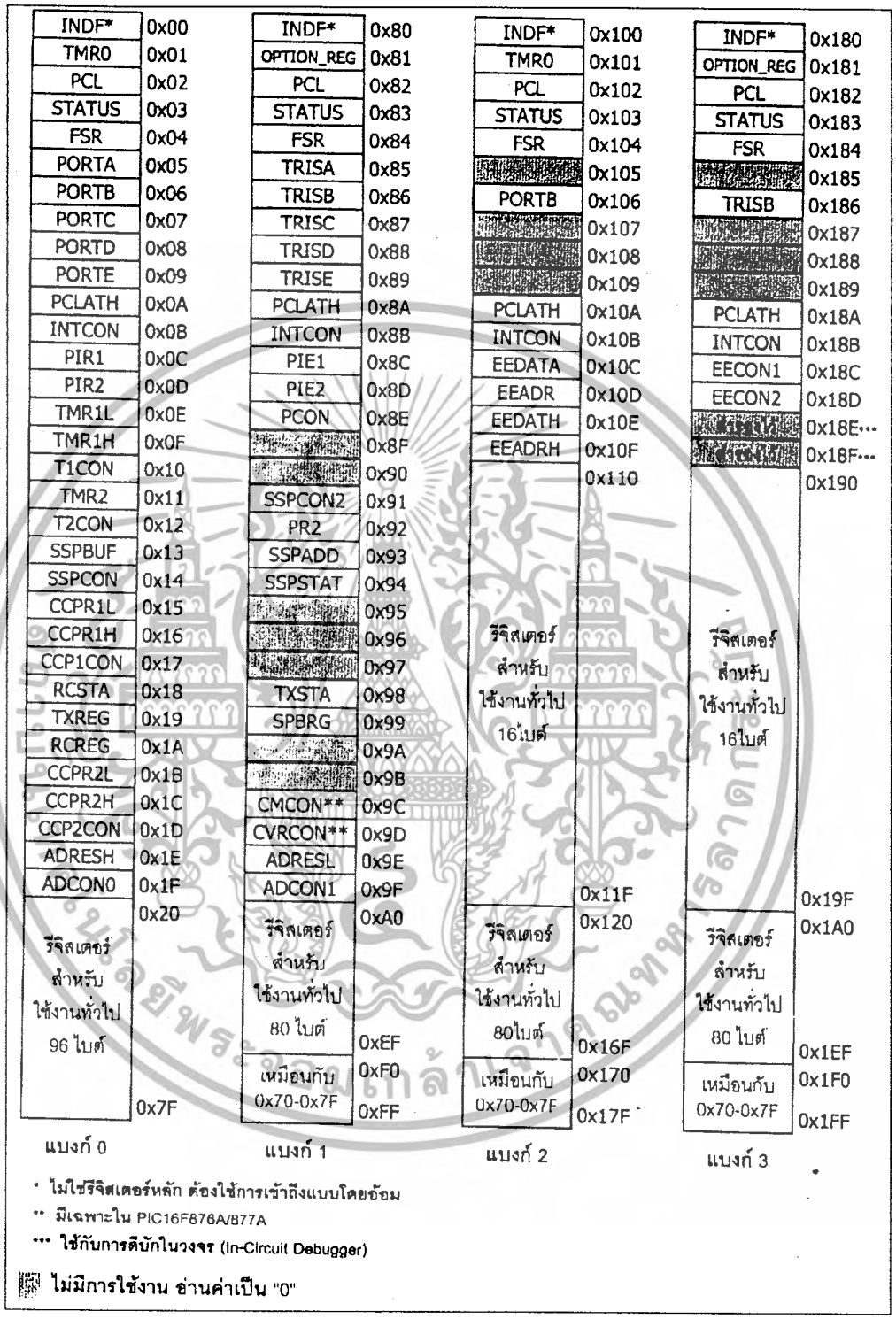
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แอดเดรส 0x120-0x16F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์
- แอดเดรส 0x170-0x17F บรรจุข้อมูลเหมือนกับในแอดเดรส 0x70-0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70-0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์

แบงก์ 3 มีช่วงแอดเดรส 0x180-0x1FF

- แอดเดรส 0x180-0x18F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ แต่มีบางแอดเดรสไม่ใช้งาน
- แอดเดรส 0x190-0x19F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 16 ไบต์
- แอดเดรส 0x1A0-0x1EF เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์
- แอดเดรส 0x1F0-0x1FF บรรจุข้อมูลเหมือนกับในแอดเดรส 0x70-0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70-0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F876(A)/877(A)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 รีจิสเตอร์หลักของ PIC16F87x

2.7.1 รีจิสเตอร์ STATUS

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลแสดงสถานะ การทำงานของ PIC16F87x ไม่ว่าจะเป็นแฟลก แสดงผลของการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์และลอจิก แสดงการทำงานของวอตช์ด็อกไทเมอร์ แสดงการทำงานในโหมดสลีป และใช้ในการเลือกแบงก์ของหน่วยความจำข้อมูลแรม มีแอดเดรสอยู่ที่ตำแหน่ง 0x03 ในแบงก์ 0, 0x83 ในแบงก์ 1, 0x109 ในแบงก์ 2 และ 0x183 ในแบงก์ 3 ดังมีรายละเอียดของแต่ละบิตภายในรีจิสเตอร์ STATUS ต่อไปนี้

	บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
STATUS	IRP	RP1	RP0	$\overline{TO}$	$\overline{PD}$	Z	DC	C
	R/W -0	R/W -0	R/W -0	R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -x	R/W -x

IRP (Indirect Register Bank Select bit) : ใช้เลือกแบงก์ของหน่วยความจำข้อมูลแรม และรีจิสเตอร์ไฟล์ เมื่อใช้การอ้างอิงแบบโดยอ้อม (indirect addressing mode)

"0" – เลือกแบงก์ 0 และ 1 (แอดเดรส 0x00-0xFF)

"1" – เลือกแบงก์ 2 และ 3 (แอดเดรส 0x100-0x1FF)

RP1-RP0 (Register Bank Select bit) : ใช้เลือกแบงก์ของหน่วยความจำข้อมูลแรม และรีจิสเตอร์ไฟล์ เมื่อใช้การอ้างอิงถึงแบบโดยตรง (direct addressing mode)

"00" – แบงก์ 0 (แอดเดรส 0x00-0x7F)

"01" – แบงก์ 1 (แอดเดรส 0x80-0xFF)

"10" – แบงก์ 2 (แอดเดรส 0x100-0x17F)

"11" – แบงก์ 3 (แอดเดรส 0x180-0x1FF)

TO (Time-out bit) : บิตแสดงขอบเขตเวลา แสดงการเกิดไทม์เอาต์เมื่อวอตช์ด็อกไทเมอร์ (WDT) ทำงานครบเวลาที่กำหนด โดยแอกตีฟเป็นลอจิก "0" บิตนี้สามารถอ่านได้เพียงอย่างเดียว การเซตบิตนี้จะเกิดขึ้นเมื่อเริ่มต้นจ่ายไฟให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ใหม่ หรือเมื่อการกระทำคำสั่ง CLRWDT หรือ SLEEP

PO (Power-down bit) : บิตแสดงการทำงานในโหมดประหยัดพลังงาน เมื่อไมโครคอนโทรล เลอร์เข้าสู่โหมดประหยัดพลังงานจากการกระทำคำสั่ง SLEEP บิตนี้จะกลายเป็นลอจิก "0" สามารถอ่านได้อย่างเดียว การเซตบิตจะเกิดขึ้นเมื่อเริ่มต้นจ่ายไฟให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ใหม่ หรือเมื่อมีการกระทำคำสั่ง CLRWDT ทำให้ออกจากโหมดประหยัดพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Z (Zero bit) : บิตศูนย์ ใช้แสดงผลการกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์

"0" – หลังจากกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์หรือลอจิกแล้ว ผลลัพธ์ไม่เป็นศูนย์

"1" – หลังจากกระทำคำสั่งทางคณิตศาสตร์หรือลอจิกแล้ว ผลลัพธ์เป็นศูนย์

DC (Digit carry/borrow bit) : บิตทดหรือยืมระหว่างหลัก เป็นบิตแสดงผลทางคณิตศาสตร์

ในกรณีที่กระทำคำสั่ง ADDWF และ ADDLW ที่บิต DC จะเกิดผลดังนี้

"0" – หากไม่เกิดการทดข้ามจากบิต 3 ไปยังบิต 4

"1" – หากเกิดการทดข้ามจากบิต 3 ไปยังบิต 4

ในกรณีที่กระทำคำสั่ง SUBWF และ SUBLW ที่บิต DC จะเกิดผลดังนี้

"0" – หากเกิดการยืมค่าจากบิต 4 มายังบิต 3

"1" – หากไม่เกิดการยืมค่าจากบิต 4 มายังบิต 3

C (Carry/borrow bit) : บิตทดหรือยืม ใช้แสดงผลการทดและยืมค่าทางคณิตศาสตร์

ในกรณีที่กระทำคำสั่ง ADDWF และ ADDLW ที่บิต C จะเกิดผลดังนี้

"0" – หากไม่เกิดการทดจากบิต MSB หรือบิต 7

"1" – หากเกิดการทดจากบิต MSB หรือบิต 7

ในกรณีที่กระทำคำสั่ง SUBWF และ SUBLW ที่บิต C จะเกิดผลดังนี้

"0" – หากเกิดการยืมค่าของบิต MSB

"1" – หากไม่เกิดการยืมค่าของบิต MSB

2.7.2 รีจิสเตอร์ OPTION_REG

เป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถอ่านและเขียนได้ทุกบิต บรรจุข้อมูลควบคุมการพูลอัปของพอร์ท B เลือกขอบขาของสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ขา RB0/INT ข้อมูลสำหรับควบคุมการทำงานของไทเมอร์ 0 และวอตช์ด็อกไทเมอร์ มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x81 ในแบงก์ 1 และ 0x181 ในแบงก์ 3 ดังมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละบิตต่อไปนี้

	บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
OPTION_REG	$\overline{\text{RBPU}}$	INTEDG	T0CS	T0SE	PSA	PS2	PS1	PS0
	R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -1	R/W -1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RBPU (Port B Pull-up enable bit) : บิตเอ็นเอเบิลการพูลอัปของพอร์ต B

"0" – เอ็นเอเบิลการพูลอัป

"1" – ดิสเอเบิลการพูลอัป

INTEDG (Interrupt edge select bit) : บิตเลือกขอบขาของสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอกที่ขา RB0/INT

"0" – เลือกขอบขาลงของสัญญาณ

"1" – เลือกขอบขาขึ้นของสัญญาณ

T0CS (TMR0 Clock source select bit) : บิตเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ของไทเมอร์ 0

"0" – รับจากสัญญาณนาฬิกา ที่ใช้กำหนดไซเคิลการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์

"1" – รับสัญญาณจากภายนอกที่ขา RA4/T0CKI

T0SE (TMR0 Source edge select bit) : บิตเลือกการเปลี่ยนแปลงของระดับสัญญาณ เพื่อทำให้ไทเมอร์ 0 เพิ่มค่าขึ้น การกำหนดข้อมูลในบิตนี้เป็นขั้นตอนที่ต่อเนื่องจากการเลือกแหล่งกำนิดสัญญาณนาฬิกาให้แก่ไทเมอร์ 0 ที่บิต T0CS หากเลือกรับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกจะต้องมาเลือกการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่บิตนี้ แต่ถ้าเลือกรับสัญญาณจากสัญญาณนาฬิกาภายใน การกำหนดข้อมูลที่บิตนี้จะไม่มีผลแต่อย่างใด

"0" – เลือกการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณจากต่ำไปสูง

"1" – เลือกการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณจากสูงไปต่ำ

PSA (Prescaler assignment bit) : บิตเลือกการทำงานของปรีสเกลเลอร์

"0" – เลือกให้ปรีสเกลเลอร์ทำงานร่วมกับไทเมอร์ 0

"1" – เลือกให้ปรีสเกลเลอร์ทำงานร่วมกับวอตช์ด็อกไทเมอร์ เมื่อปรีสเกลเลอร์ทำงานกับวอตช์ด็อกไทเมอร์จะเรียกว่า โพส์สเกลเลอร์ (postscaler)

PS2-PS0 (Prescalar rate select bit) : บิตเลือกอัตราส่วนของปรีสเกลเลอร์ ใช้ในการกำหนดอัตราส่วนในการทำงานของปรีสเกลเลอร์ เมื่อทำงานร่วมกับทั้งวอตช์ด็อกไทเมอร์ และไทเมอร์ 0 ซึ่งจะมีอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ดังมีรายละเอียดการกำหนดต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 อัตราส่วนของปรีสเกลเลอร์เมื่อทำงานร่วมกับ TMR0 และ WDT

PS2	PS2	PS2	อัตราส่วนของปรีสเกลเลอร์	
			เมื่อทำงานร่วมกับ TMR0	เมื่อทำงานร่วมกับ WDT
0	0	0	1:2	1:1
0	0	1	1:4	1:2
0	1	0	1:8	1:4
0	1	1	1:16	1:8
1	0	0	1:32	1:16
1	0	1	1:64	1:32
1	1	0	1:128	1:64
1	1	1	1:256	1:128

2.7.3 รีจิสเตอร์ PCON

เป็นรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการแจ้งสถานะของการรีเซตที่เกิดขึ้นของ PIC16F87x มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x8E มีบิตใช้งานเพียง 2 บิต ดังนี้

	บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
PCON	-	-	-	-	-	-	$\overline{POR}$	$\overline{BOR}$
							R/W -0	R/W -1

บิต 2-7 ไม่ใช้งาน อ่านค่าได้เป็น "0"

POR (Power-on reset status bit) : บิตแสดงสถานการณ์เกิดเพาเวอร์ออนรีเซต

"0" – มีเหตุการณ์เพาเวอร์ออนรีเซตเกิดขึ้น

"1" – ไม่มีเหตุการณ์เพาเวอร์ออนรีเซตเกิดขึ้น

หลังจากที่มีเหตุการณ์เพาเวอร์ออนรีเซตเกิดขึ้น จะต้องเซตบิตนี้ให้เป็น "1" ทันทีด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

BOR (Brown-out reset status bit) : บิตแสดงสถานการณ์เกิดบราวเอาต์รีเซต

"0" – มีเหตุการณ์บราวเอาต์รีเซตเกิดขึ้น

"1" – ไม่มีเหตุการณ์บราวเอาต์รีเซตเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่มีเหตุการณ์บราวเอาต์รีเซตเกิดขึ้น จะต้องเซตบิตนี้ให้เป็น "1" ทันทีด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

2.7.4 รีจิสเตอร์ W

เป็นรีจิสเตอร์ที่มีบทบาทสำคัญมากที่สุดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เพราะไม่ว่าจะเป็นการประมวลผลทางคณิตศาสตร์ ลอจิก การเพิ่มหรือลดค่าต่าง ๆ ต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์ W นี้ทั้งสิ้น หรืออาจกล่าวได้ว่า รีจิสเตอร์ W คือแอกคิวมูลเลเตอร์ (accumulator) ในการเรียกใช้งานรีจิสเตอร์ตัวนี้ สามารถกระทำได้ทันทีและตลอดเวลาโดยผ่านคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับรีจิสเตอร์ W ซึ่งสามารถสังเกตได้จากชื่อคำสั่ง หากคำสั่งใดมีตัวอักษร W เข้าไปเป็นส่วนประกอบ คำสั่งนั้น ๆ จะต้องติดต่อกับรีจิสเตอร์ W อย่างแน่นอน

2.8 โปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)

เป็นรีจิสเตอร์พิเศษที่ทำหน้าที่ระบุแอดเดรสของหน่วยความจำโปรแกรมที่ซีพียู ต้องไปอ่านข้อมูลเพื่อทำงาน โปรแกรมเคาน์เตอร์มีขนาด 13 บิต สำหรับใน PIC16F84 ซึ่งมีขนาดหน่วยความจำโปรแกรม 1 กิโลเวิร์ดจะใช้เพียง 10 บิต แต่สำหรับ PIC16F873/876 ซึ่งมีขนาดหน่วยความจำ 4 กิโลเวิร์ด จะใช้โปรแกรมเคาน์เตอร์จำนวน 12 บิต และ PIC16F874/877 ใช้ครบทั้ง 13 บิต

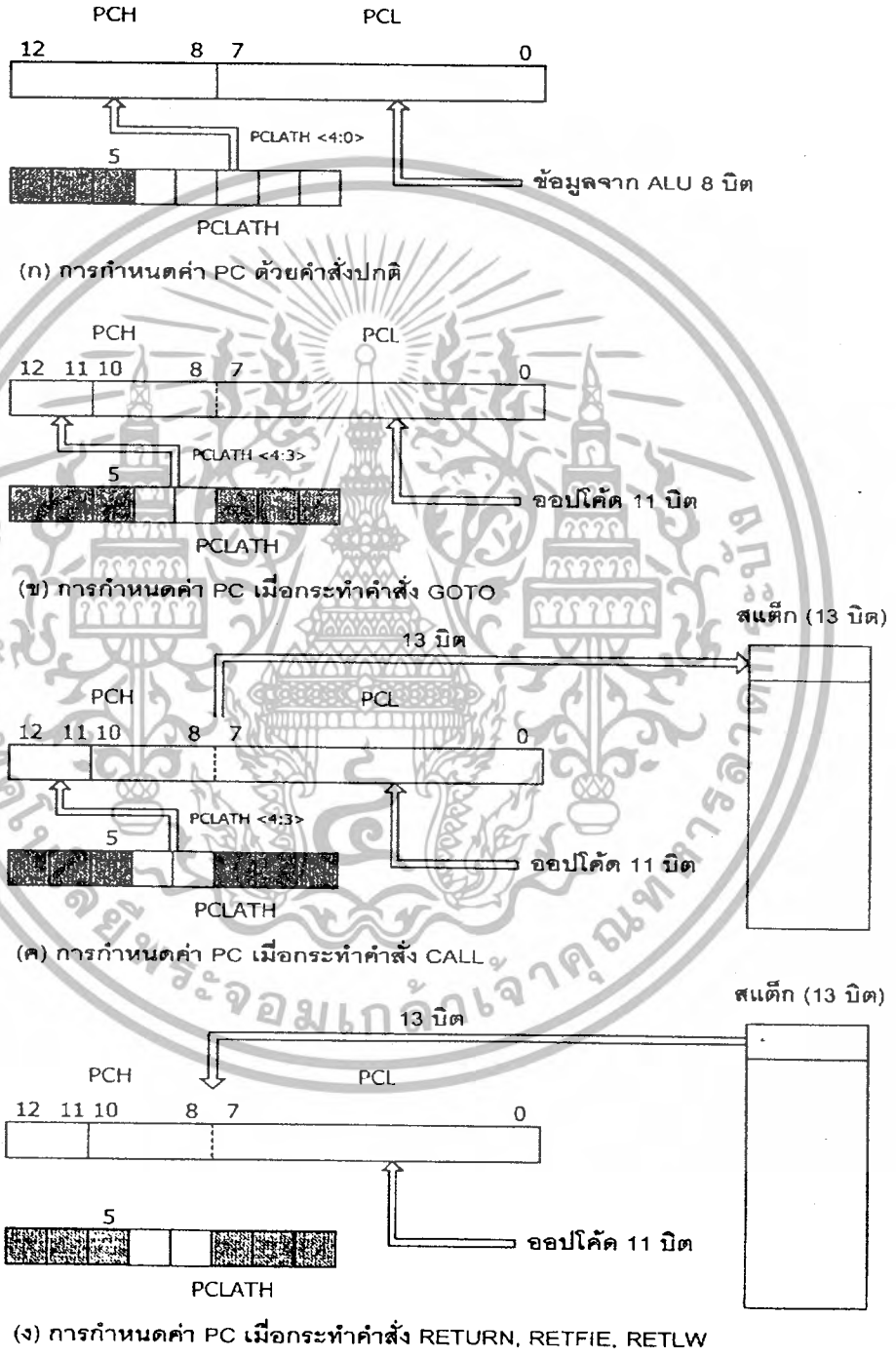
โปรแกรมเคาน์เตอร์แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกมี 8 บิต เป็นข้อมูลในไบต์ต่ำ (บิต 0-7) เรียกว่า รีจิสเตอร์ PCL มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x02 อีกส่วนหนึ่งมีขนาด 5 บิต เป็นข้อมูลในไบต์สูง (บิต 8-12) เรียกว่า รีจิสเตอร์ PCH สำหรับรีจิสเตอร์ PCH ไม่สามารถเข้าถึงได้โดยตรง การปรับปรุงข้อมูลใน PCH ต้องกระทำผ่านรีจิสเตอร์ PCLATH ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ 0x0A

ในรูปที่ 2.11 แสดงการกำหนดค่าลงในโปรแกรมเคาน์เตอร์ซึ่งอาจเกิดขึ้น 4 ลักษณะคือ จากในรูปที่ 2.11(ก) เป็นการกำหนดค่า PC หลังจากการกระทำคำสั่งทั่วไป โดยข้อมูลแอดเดรส 8 บิตใน PCL จะได้มาจากหน่วยประมวลผลทางคณิตศาสตร์ (ALU) ส่วนอีก 5 บิตจะผ่านมาทางรีจิสเตอร์ PCLTH ลักษณะที่สอง เมื่อซีพียูกระทำคำสั่ง GOTO ออบโค้ด 11 บิตแรก (บิต 0-10) ซึ่งเป็นค่าของแอดเดรสปลายทางจะเก็บไว้ใน PCL 8 บิต รวมกับอีก 3 บิตล่างของ PCH ส่วน 2 บิตบนของ PCH จะได้ข้อมูลมาจากบิต 3 และ 4 ของรีจิสเตอร์ PCLATH ดังในรูปที่ 2.11(ข)

ลักษณะที่สาม เมื่อซีพียูกระทำคำสั่ง CALL ค่าของ PC เดิมทั้ง 13 บิตจะนำไปเก็บไว้ในสแต็ก เรียกกระบวนการนี้ว่า พุช (push) จากนั้นค่าของ PC จะเปลี่ยนแปลงตามค่าของแอดเดรสที่ต้องกระโดดไปทำงาน โดยค่าของ PC ใน 2 บิตบนจะได้มาจากบิต 3 และ 4 ของ PCLATH ดังในรูปที่ 2.11(ค)

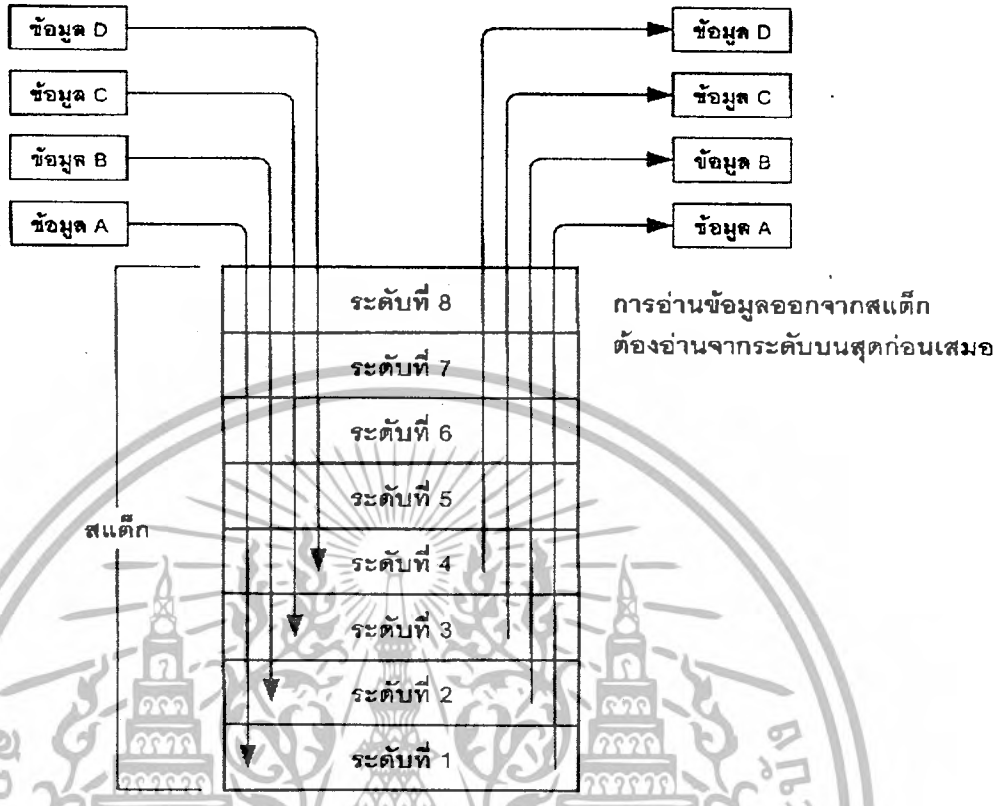
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะที่สี่ หลังจากที่ซีพียูกระทำคำสั่ง RETURN, RETFIE หรือ RETLW จะทำการโหลดค่า PC ที่เก็บไว้ในสแต็กกลับมา เรียกกระบวนการนี้ว่า ป๊อป (pop) ดังนั้นการกำหนดค่าของ PC ในลักษณะนี้ จึงไม่ต้องใช้ PCLATH ในการกำหนดค่าแต่อย่างใด ดังในรูปที่ 2.11(ง)



รูปที่ 2.11 กลไกการทำงานของโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 กลไกการทำงานของสแต็กอย่างง่าย

2.9 สแต็ก (stack)

ใน PIC16F87x มีหน่วยความจำสำรองสำหรับเก็บค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) ชั่วคราว ขนาด 13 บิต หรือเรียกว่า สแต็ก หน้าที่ของมันคือ เก็บข้อมูลที่ยังต้องการอยู่ของรีจิสเตอร์ และเมื่อข้อมูลนั้นถูกนำมาเก็บไว้ในสแต็กแล้ว ก็สามารถที่จะเปลี่ยนข้อมูลในรีจิสเตอร์ตัวนั้น ๆ ได้ทันที หลังจากที่ทำงานเรียบร้อยจึงกลับมาอ่านข้อมูลเดิมกลับจากสแต็ก ดังมีกระบวนการทำงานแสดงในรูปที่ 2.12 การเก็บข้อมูลของสแต็กจะมีลักษณะเป็นระดับหรือเป็นชั้น ข้อมูลที่เก็บเข้ามาก่อนจะต้องอ่านออกทีหลัง หรือเป็นแบบ FILO (First In Last Out) จำนวนระดับจำกัดไว้ที่ 8 ระดับ โดยพื้นที่ของสแต็กนั้นจะจัดสรรแยกไว้ต่างหากไม่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ของหน่วยความจำแต่อย่างใด

ตัวชี้ตำแหน่งของสแต็กหรือ สแต็กพอยน์เตอร์ (stack pointer) ผู้ใช้งานไม่สามารถทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลได้ โดยค่าของสแต็กพอยน์เตอร์จะเปลี่ยนแปลงอัตโนมัติจากการกระทำคำสั่ง CALL, RETURN, RETLW และ RETFIE การเก็บค่าของสแต็กจะต่อเนื่องกันเป็นวงกลม สามารถเก็บข้อมูลได้ 8 ค่า เมื่อมีการเก็บข้อมูลครั้งที่ 9 เข้ามา ข้อมูลนั้นจะไปทับในสแต็กของข้อมูลครั้งแรก วนเช่นนี้ไปตลอด ดังนั้นในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC จึงไม่มีการแจ้งเหตุการณ์สแต็กเกิน (stack overflow)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นการเก็บหรืออ่านค่าในสแต็กของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC จะเกิดขึ้นเมื่อมีการกระทำคำสั่ง CALL, RETURN, RETLW, RETFIE หรือเกิดการอินเตอร์รัปต์เท่านั้น ไม่มีคำสั่ง PUSH หรือ POP เพื่อติดต่อกับสแต็กเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์อื่น ๆ

2.10 การอินเตอร์รัปต์ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x

การอินเตอร์รัปต์ (interrupt) หรือการขัดจังหวะการทำงานของซีพียู นับเป็นคุณสมบัติที่ต้องมีในไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ และเป็นคุณสมบัติที่มีบทบาทสำคัญอย่างมาก เมื่อนำไมโคร คอนโทรลเลอร์มาสร้างระบบควบคุมอัตโนมัติ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x สามารถกำเนิดและตอบสนองการเกิดอินเตอร์รัปต์ได้ถึง 15 แหล่งดังนี้

- จากไทเมอร์ 3 แหล่งคือ การเกิดค่าเกินหรือโอเวอร์โฟลวในไทเมอร์ 0 และไทเมอร์ 1 อีกแหล่งหนึ่งจากค่าที่เท่าหรือตรงกันในไทเมอร์ 2
- จากการเขียนหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอมเสร็จสมบูรณ์ 1 แหล่ง
- จากโมดูลเปรียบเทียบ-ตรวจจับสัญญาณ และ PWM หรือ CCP 2 แหล่ง
- จากโมดูลสื่อสารอนุกรม (USART) 2 แหล่งคือ เกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อรับและส่งข้อมูลสมบูรณ์
- จากพอร์ต B 2 แหล่งคือ จากสัญญาณอินเตอร์รัปต์ภายนอกที่ขา RB0/INT และการเปลี่ยนแปลงลอจิกที่ขา RB4-RB7
- จากโมดูลเชื่อมต่ออนุกรมแบบซิงโครนัส 2 แหล่งคือ จากการทำงานของโมดูลเชื่อมต่ออนุกรมซิงโครนัส จากการชนกันของข้อมูลในส่วนเชื่อมต่อระบบบัส I^2R
- จากโมดูลแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล 1 แหล่ง
- จากการทำงานของพอร์ตขนานเสริม (PSP) 1 แหล่ง (เฉพาะใน PIC16F87x รุ่น 40 ขา)

โดยเมื่อเงื่อนไขของการเกิดอินเตอร์รัปต์เป็นจริงจะมีการเซตแฟลกของการอินเตอร์รัปต์นั้นๆ ขึ้น (ชื่อของแฟลกจะลงท้ายด้วยตัวอักษร F) จากนั้นจะตรวจสอบว่า มีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์นั้น ๆ หรือไม่ (ชื่อของการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์จะเหมือนกับชื่อแฟลกแต่ลงท้ายด้วยตัวอักษร E) เช่น หากเกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์เข้ามาที่ RB0/INT แฟลก INTF จะเซตและถ้าหากมีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้ ซึ่งตรวจสอบจากบิต INTE และมีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์รวมไว้ก็จะทำให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นหมายความว่าการจะกำหนดให้เกิดอินเตอร์รัปต์ขึ้นได้ต้องมีการเตรียมการ4ขั้นตอน คือ

1. เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์รวม โดยการเซตบิต GIE ในรีจิสเตอร์ INTCON หากบิตนี้ไม่มีการเซต จะไม่มีทางเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นได้ แม้ว่าเงื่อนไขในการเกิดอินเตอร์รัปต์ของแหล่งกำเนิดต่าง ๆ จะเป็นจริง และมีการเอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์แล้วก็ตาม

2. เอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์

3. เขียนโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ ซึ่งมีค่าแอดเดรสอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์อยู่ที่ 0x0004

4. รอคอยให้เงื่อนไขของการเกิดอินเตอร์รัปต์ในลักษณะต่าง ๆ เกิดขึ้น

2.10.1 รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการอินเตอร์รัปต์

มีทั้งหมด 5 ตัวด้วยกัน คือ

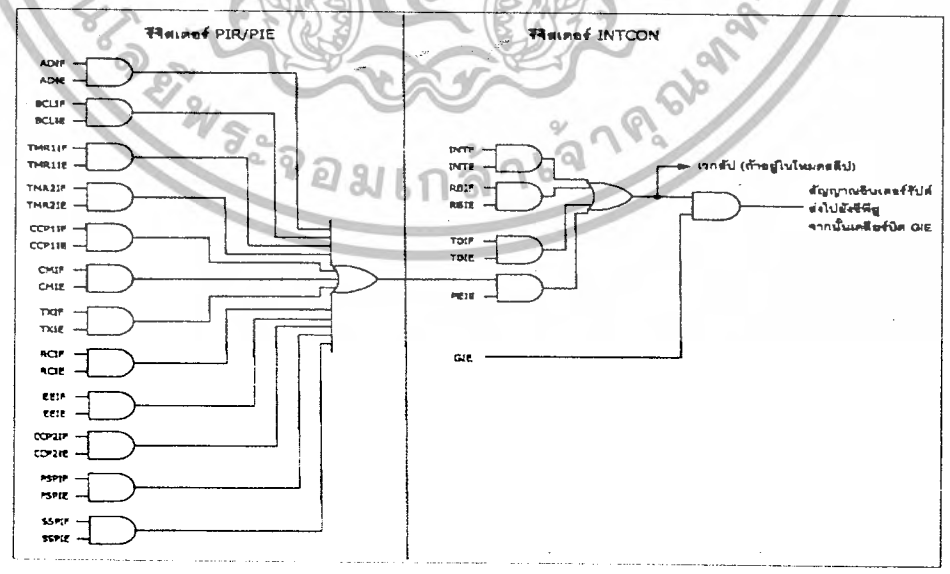
1. INTCON เป็นรีจิสเตอร์ควบคุมการอินเตอร์รัปต์หลัก

2. PIE1 เป็นรีจิสเตอร์สำหรับเอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ จากอุปกรณ์ต่อพ่วง (peripheral interrupt)

3. PIE2 เป็นรีจิสเตอร์สำหรับเอ็นเอเบิลแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์จากอุปกรณ์ต่อพ่วงตัวที่ 2 (peripheral interrupt 2)

4. PIR1 เป็นรีจิสเตอร์แสดงสถานะเงื่อนไขของแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ จากอุปกรณ์ต่อพ่วงทำงานร่วมกับ PIE1

5. PIR2 เป็นรีจิสเตอร์แสดงสถานะเงื่อนไขของแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ จากอุปกรณ์ต่อพ่วงตัวที่ 2 ทำงานร่วมกับ PIE2



รูปที่ 2.13 ไอออแกรมลอจิกของการเกิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 อินเตอร์รัปต์ลอจิก (Interrupt logic)

จากรายละเอียดของรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการอินเตอร์รัปต์ทั้งหมดของ PIC16F87x สามารถนำมาเขียนเป็นไดอะแกรมอินเตอร์รัปต์ลอจิกดังแสดงในรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่า แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ แหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากอุปกรณ์ต่อพ่วง 12 แหล่ง ส่วนที่สองคือ ส่วนควบคุมการอินเตอร์รัปต์จากอุปกรณ์ต่อพ่วง และแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์พื้นฐานอีก 3 แหล่ง และส่วนที่สามคือ ส่วนควบคุมการเกิดอินเตอร์รัปต์รวม ซึ่งควบคุมโดย บิต GIE ใน รีจิสเตอร์ INTCON

2.10.3 การเตรียมการเพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์

สามารถแสดงเป็นโปรแกรมตัวอย่างได้ดังนี้

```
PIE1_INT_DATA   equ     B'01110010'
        clrf    STATUS          ; Select bank 0 and clear all flags
        clrf    INTCON          ; Disable interrupt
        clrf    PIR1            ; Clear all flag bits
        bsf     STATUS,RP0      ; Select bank 1
        movlw   PIE_INT_DATA    ; Defind interrupt enable data
        movlf   PIE1            ; Move to PIE1 register
        bcf     STATUS,RP0      ; Select bank 0
        bsf     INTCON,GIE      ; Enable grobal interrupt
```

โดยเริ่มต้นการกำหนดข้อมูลสำหรับการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ว่า ต้องการให้มีแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ทำงานบ้าง จากโปรแกรมตัวอย่างกำหนดให้มีข้อมูลเท่ากับ 01110010_2 หรือ 0x72 มีความหมายว่า ต้องการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์อันเนื่องมาจากวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอล การรับและส่งข้อมูลของโมดูลสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส จากโมดูล CCP1 และจากไทเมอร์ 2

จากนั้นเข้าถึงรีจิสเตอร์ STATUS และ INTCON เพื่อเคลียร์ข้อมูลของบิตสถานะและดิสเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ ต่อด้วยการเคลียร์บิตสถานะในรีจิสเตอร์ ขั้นตอนต่อไปเปลี่ยนแบงก์ของหน่วยความจำข้อมูลแรมไปยังแบงก์ 1 เพื่อเตรียมการกำหนดข้อมูลลงในรีจิสเตอร์ PIE1 ซึ่งก็คือ 0x72 เมื่อเรียบร้อยแล้วให้กลับไปยังแบงก์ 0 อีกครั้งเพื่อเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์รวม โดยเซตบิต GIE ในรีจิสเตอร์ INTCON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.4 การบริการอินเตอร์รัปต์

เมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้น ซีพียูจะเก็บค่าแอดเดรสที่จะต้องกลับมาหลังจากบริการอินเตอร์รัปต์ ซึ่งก็คือ ค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์ (PC) นั่นเองลงในสแต็ก และเคลียร์บิต GIE เพื่อดิสเอเบิลการบริการอินเตอร์รัปต์ทั้งหมด เพื่อป้องกันการเกิดอินเตอร์รัปต์ซ้อนในขณะที่ยังบริการอินเตอร์รัปต์ไม่เสร็จ จากนั้นกระโดดไปยังอินเตอร์รัปต์เวกเตอร์หรือแอดเดรสเริ่มต้นของการบริการอินเตอร์รัปต์ ซึ่งกำหนดไว้ที่แอดเดรส 0x0004 ดังนั้นในการเขียนโปรแกรมที่มีการบริการอินเตอร์รัปต์จะต้องสำรองแอดเดรส 0x0004 นี้ไว้เพื่อบริการอินเตอร์รัปต์ด้วย ดังโปรแกรมตัวอย่างต่อไปนี้

```
; General main program
                ORG     0x0000
                GOTO    MAIN                    ; Jump to main program's real address
                *                               ; address 0x0001
                *                               ; address 0x0002
                *                               ; address 0x0003
                ORG     0x0004
                GOTO    INT_SERV                ; Interrupt vector address,
                                                ; jump to interrupt service routine(ISR)
MAIN            MOVLW 0x01                      ; Real main program
                *
                *
                *
INT_SERV        MOVWF W_TEMP                    ; Start interrupt service program
                *
                *
                RETFIE                          ; return from interrupt routine and
                                                ; enable interrupt
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.5 การเก็บข้อมูลเมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์

ในโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์ต้องประกอบด้วยส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนเก็บข้อมูลของรีจิสเตอร์ เนื่องจากเมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์ มีเพียงค่าของโปรแกรมเคาน์เตอร์เท่านั้นที่ได้รับการเก็บไว้ในสแต็ก แต่ค่าของรีจิสเตอร์ตัวอื่น ๆ จะติดตามไปยังโปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัปต์ด้วย ดังนั้นก่อนทำงานในโปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัปต์ จะต้องสำรองข้อมูลเดิมของรีจิสเตอร์ที่ต้องใช้งานในโปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัปต์ก่อน รวมถึงบิตสถานะในรีจิสเตอร์ STATUS ด้วย และหลังจากทำงานในโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์แล้ว ก่อนออกจากโปรแกรมต้องเรียกข้อมูลเดิมของรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องทุกตัวคืนจากหน่วยความจำชั่วคราวรวมทั้งบิตสถานะของรีจิสเตอร์ STATUS ด้วย

ตัวอย่างการเก็บและอ่านข้อมูลของรีจิสเตอร์ที่สำคัญลงในหน่วยความจำข้อมูลแรมในขณะก่อนและหลังการบริการอินเตอร์รัปต์ มีขั้นตอนดังนี้

1. เมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้น ซีพียูจะกระโดยมยังโปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัปต์ ในขั้นแรกต้องเก็บค่าของรีจิสเตอร์ W ลงในหน่วยความจำข้อมูลแรมในแบงค์ปัจจุบัน
2. เก็บข้อมูลในรีจิสเตอร์ STATUS ลงในแบงก์ 0
3. เอ็กซิคิวต์หรือกระทำคำสั่งในโปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัปต์ (ISR) ให้เรียบร้อย
4. เรียกข้อมูลของรีจิสเตอร์ STATUS ที่เก็บไว้ในแบงก์ 0 กลับมา
5. เรียกข้อมูลของรีจิสเตอร์ W ที่ฝากไว้ในหน่วยความจำแรมชั่วคราวกลับมา
6. ออกจากโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์

จากขั้นตอนดังกล่าวนำมาเขียนเป็นโปรแกรมได้ดังนี้

```
MOVWF     W_TEMP          ; Copy W to temporary register
SWAPF     STATUS,W        ; Swap STATUS nibble and place into
                          ; W register for saving previous status
                          ; before servicing interrupt
BCF       STATUS,RP0      ; Change to bank 0
MOVWF     STATUS_TMP      ; Save status data to a temporary
                          ; register in bank 0
*

(Execute interrupt service routine)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
*
SWAPF     STATUS_TEMP,W    ; Swap original STATUS register data
                           ; into W register
MOVPF     STATUS           ; Restore STATUS register data
SWAPF     W_TEMP,F         ; Swap W_TEMP nibbles and return
                           ; data to W_TEMP register
SWAPF     W_TEMP,W         ; Swap W_TEMP to W register for
                           ; restoring original data before
                           ; interrupt occur
```

2.10.6 การทำงานของแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์

เนื่องจาก PIC16F87x มีแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์มากถึง 15 แหล่ง แต่เนื่องจากส่วนใหญ่เกิดจากอุปกรณ์ต่อพ่วง ซึ่งเป็นส่วนเพิ่มเติม จะกล่าวถึงส่วนพื้นฐาน 2 ตัวคือ อินเตอร์รัปต์อันเนื่องจากสัญญาณภายนอกที่ขา RB0 และอินเตอร์รัปต์จากการเปลี่ยนแปลงลอจิกที่ RB4-RB7 ส่วนแหล่งกำเนิดที่เหลือจะอธิบายรวมอยู่ในการทำงานของอุปกรณ์ต่อพ่วงนั้น ๆ

2.10.7 แหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์จากภายนอก (External Interrupt)

เริ่มด้วยการกำหนดขอบขาของสัญญาณที่ทำให้เกิดอินเตอร์รัปต์ โดยกำหนดข้อมูลในบิต INTEDG (บิต 6 ของรีจิสเตอร์ OPION) และเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้ที่บิต INTE (บิต 4 ในรีจิสเตอร์ INTCON) เมื่อมีสัญญาณเกิดขึ้นตรงตามเงื่อนไข บิต INTF (บิต 1 ในรีจิสเตอร์ INTCON) จะเซต ซีพียูจะเก็บค่าของรีจิสเตอร์ที่กำลังดำเนินการอยู่ลงในสแต็ก แล้วมาทำงานตามที่กำหนดไว้ในโปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัปต์ พร้อมทั้งเคลียร์บิต GIE เพื่อไม่ให้เกิดการอินเตอร์รัปต์อื่น ๆ ขึ้น ในระหว่างการทำงานในโปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัปต์ บิต INTF เมื่อเซตแล้วต้องเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น โดยเคลียร์หลังจากตอบสนองโปรแกรมบริการอินเตอร์รัปต์เรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถสรุปการทำงานของ PIC16F87x เมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์แบบนี้ขึ้น ดังนี้

1. เตรียมบริการอินเตอร์รัปต์ โดยกำหนดข้อมูลลงในแอดเดรส 0x004
2. รีเซตบิต INTF
3. เอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ โดยการเซตบิต INTE และ GIE
4. รอเกิดอินเตอร์รัปต์ที่ขา RB0/$\overline{\text{INT}}$
5. เมื่อเกิดการอินเตอร์รัปต์ ซีพียูกระโดยไปทำงานที่แอดเดรส 0x004
6. หลังจากทำงานในโปรแกรมย่อยเรียบร้อยแล้ว เคลียร์บิต INTF ทุกครั้งก่อนออกจากโปรแกรมย่อยบริการอินเตอร์รัปต์ด้วยคำสั่ง RETFIE

2.10.8 อินเตอร์รัปต์จากการเปลี่ยนแปลงลอจิกที่ขา RB4-RB7 ของพอร์ต B

การอินเตอร์รัปต์แบบนี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเซตบิต RBIE (บิต 3 ของรีจิสเตอร์ INTCON) เมื่อมีการเอ็นเอเบิลการอินเตอร์รัปต์แบบนี้ ขาพอร์ต B ทั้ง 4 ขา คือ RB4-RB7 จะเริ่มตรวจสอบเปรียบเทียบระดับลอจิกที่ขาสัญญาณว่า เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ ถ้าทีการเปลี่ยนแปลงขึ้นก็จะเซตบิต RBIF (บิต 0 ของรีจิสเตอร์ INTCON) ทำให้เกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้น

สำหรับการเคลียร์อินเตอร์รัปต์แบบนี้ กระทำได้ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ได้ 2 วิธี คือ

1. เคลียร์บิต RBIE ซึ่งเป็นบิต 3 ของรีจิสเตอร์ INTCON
2. อ่านค่าของพอร์ต B หลังเกิดอินเตอร์รัปต์ และเคลียร์บิต RBIF ของรีจิสเตอร์ INTCON

การอินเตอร์รัปต์แบบนี้เหมาะสำหรับใช้งาน PIC16F87x กับสวิตช์ โดยต่อเข้าที่ RB4-RB7 แล้วเอ็นเอเบิลการพูลอัปภายใน หากไม่มีการกดสวิตช์ สถานะของลอจิกที่ขา RB4-RB7 จะไม่เปลี่ยนแปลง จนกระทั่งสวิตช์ที่ขา RB4-RB7 ตัวใดตัวหนึ่งถูกกดก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ทันที ซีพียูจะตอบสนองการอินเตอร์รัปต์จนเสร็จสิ้น แล้วเคลียร์บิต RBIF จากนั้นเข้าสู่สภาวะรอคอยการกดสวิตช์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 การเขียนโปรแกรมภาษาเบสิก

ภาษาเบสิก (BASIC) เป็นอีกหนึ่งภาษาคอมพิวเตอร์ที่ได้รับความนิยมสูงมากจากผู้เริ่มต้นและผู้ที่ทำงานในระดับมืออาชีพ เพราะนอกจากจะง่ายต่อการเริ่มต้นต่อการเรียนรู้แล้ว ยังง่ายในการพัฒนางานตามไปด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการพัฒนาระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC

PIC เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับความสนใจอย่างมากทั้งจากผู้เริ่มต้นเรียนรู้และมืออาชีพที่พัฒนาผลิตภัณฑ์ เมื่อแรกเริ่มพัฒนาโปรแกรมสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC จะใช้ภาษาแอสเซมบลีเป็นหลัก เนื่องจากเครื่องมือในการพัฒนานั้นมีการเผยแพร่โดยไม่คิดมูลค่าและค่าใช้จ่ายใด ๆ จนกระทั่งมีความต้องการที่จะพัฒนาโปรแกรมควบคุมด้วยภาษาระดับกลางหรือสูง เช่น ภาษาเบสิก ทั้งนี้เพื่อเปิดโอกาสให้ผู้สนใจที่ไม่สะดวกในการเรียนรู้และใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษาแอสเซมบลีได้เข้ามาสู่โลกแห่งการพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่ายและสะดวกมากยิ่งขึ้น

PIC BASIC PRO คอมไพเลอร์ จึงถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการทั้งหมด โดยตัวของซอฟต์แวร์นี้สามารถรองรับชุดคำสั่งอย่างมากมาย ตั้งแต่คำสั่งพื้นฐานของภาษาเบสิกทั่วไป คำสั่งจัดการฮาร์ดแวร์ที่ซับซ้อน เพื่อให้ผู้พัฒนาใช้งานได้ง่ายขึ้น รวมถึงคำสั่งติดต่ออุปกรณ์ภายนอกเฉพาะอย่างโมดูล LCD หรือไอซีฟังก์ชั่นพิเศษ PIC BASIC PRO คอมไพเลอร์ทำหน้าที่แปลภาษาเบสิกเป็นภาษาเครื่อง เมื่อได้ไฟล์งานในนามสกุล .hex ผู้พัฒนางานก็สามารถนำไฟล์นั้นไปทำการโปรแกรมลงในหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ต่อไป นับว่าเป็นเครื่องมือทางซอฟต์แวร์ที่อำนวยความสะดวกอย่างมากต่อการพัฒนาโปรแกรม

ในการพัฒนาระบบงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ด้วยโปรแกรมภาษาเบสิกโดยใช้ PIC BASIC PRO คอมไพเลอร์ ผู้พัฒนางานสามารถสร้างฮาร์ดแวร์ได้เอง จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมภาษาเบสิกแล้วคอมไพล์เป็นไฟล์ .hex เพื่อทำการโปรแกรมลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC โดยใช้เครื่องโปรแกรมหรือบอร์ดที่สามารถโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ในตัว

2.12 ซอฟต์แวร์สำหรับพัฒนาโปรแกรมภาษาเบสิก

มีด้วยกัน 3 ตัวหลัก ๆ คือ

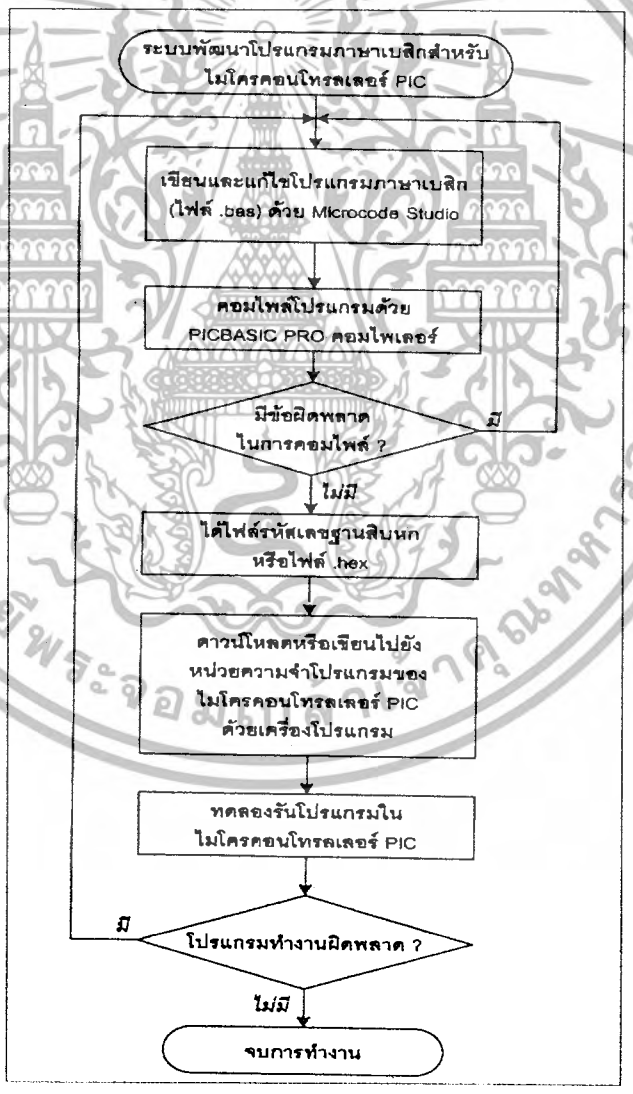
1. โปรแกรมแปลหรือคอมไพล์ภาษาเบสิก ซึ่งที่เราเลือกใช้คือ PIC BASIC PRO
2. ซอฟต์แวร์ช่วยในการเขียนโปรแกรม ไม่ว่าจะเป็นซอฟต์แวร์พื้นฐานอย่าง เท็กซ์เอดิเตอร์ จำพวก Notepad, Wordpad หรือ Microsoftword หรืออาจเป็นซอฟต์แวร์ช่วยที่มีการจัดเตรียมสภาพแวดล้อม และเครื่องมือช่วยอย่างสมบูรณ์ในรูปแบบ IDE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Integrated Development Environment) ซึ่งเราเลือกใช้แบบ IDE โดยใช้ซอฟต์แวร์ชื่อ Microcode Studio

3. ซอฟต์แวร์สำหรับโปรแกรมหรือเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำโปรแกรม ของไมโคร คอนโทรลเลอร์หรือโปรแกรมเมอร์ (programmer) ซอฟต์แวร์ส่วนนี้ จะสัมพันธ์กับเครื่องมือพัฒนาทางฮาร์ดแวร์ โดยซอฟต์แวร์โปรแกรมเมอร์นี้จะนำไฟล์รหัสเลขฐานสิบหกหรือไฟล์ .hex ที่ได้จากการคอมไพล์ไปเขียนลงในหน่วยความจำโปรแกรม

ในรูปที่ 2.14 แสดงขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมภาษาเบสิกโดยใช้ซอฟต์แวร์ทั้งสามกลุ่มร่วมกัน เพื่อสร้างโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

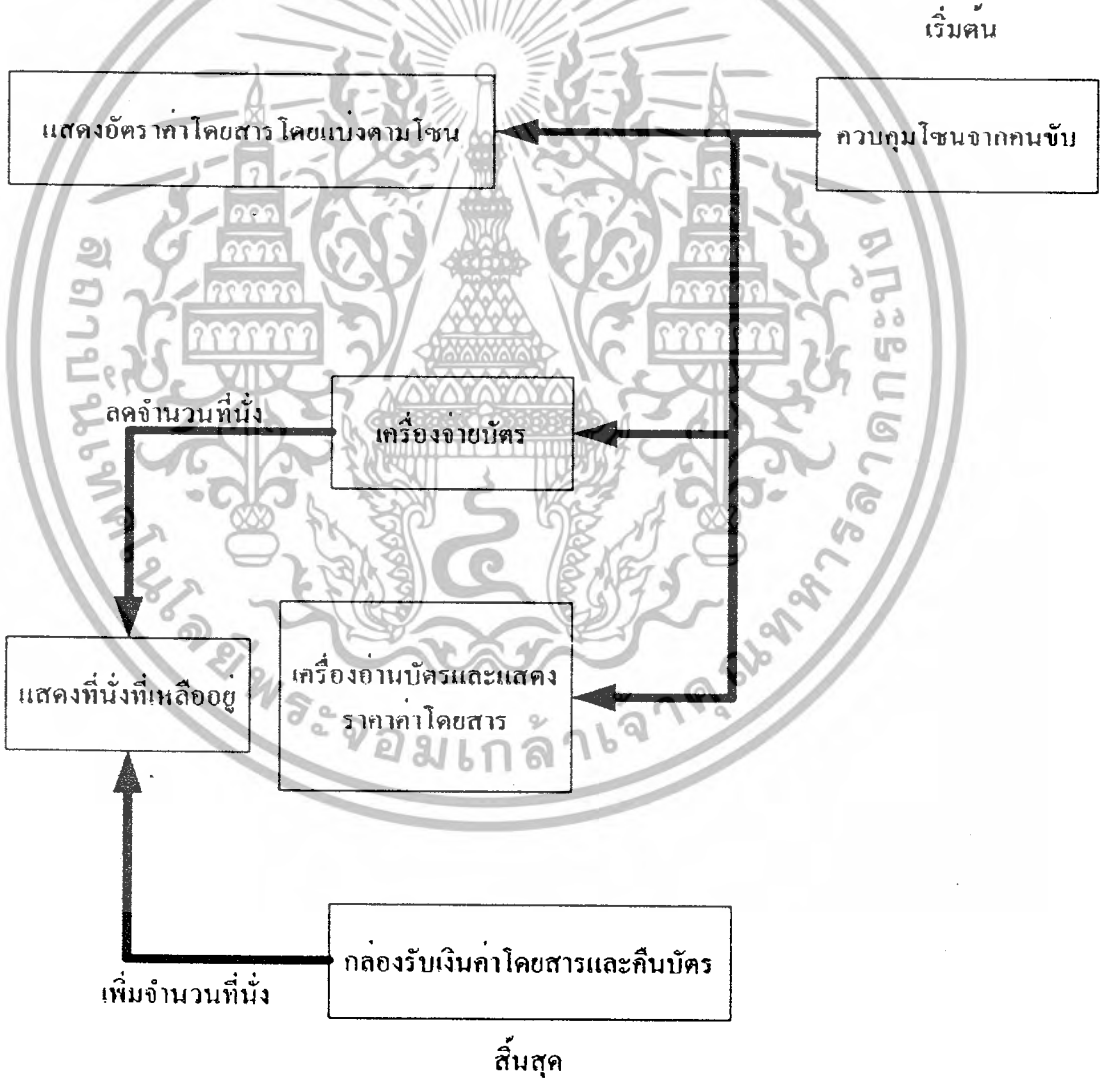


รูปที่ 2.14 ผังงานของการพัฒนาโปรแกรมภาษาเบสิกสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
โครงสร้างของระบบจัดเก็บค่าโดยสารรถประจำทางแบบพิเศษ

ในโครงงานนี้จะเริ่มคิดจากหลักการทั้งหมดของระบบว่า น่าจะมีส่วนประกอบอะไรบ้างที่น่าจะนำมาประยุกต์หรือดัดแปลง มาใช้กับระบบ โดยในโครงงานนี้ในส่วน ของภาคคอนโทรลต่าง ๆ จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877A มาควบคุมการทำงานของระบบในส่วนต่าง ๆ โดยได้ออกแบบโครงสร้างของระบบ เป็นบล็อกไดอะแกรมคร่าว ๆ ดังนี้



รูปที่ 3.1 การทำงานทั้งหมดของระบบอย่างคร่าว ๆ

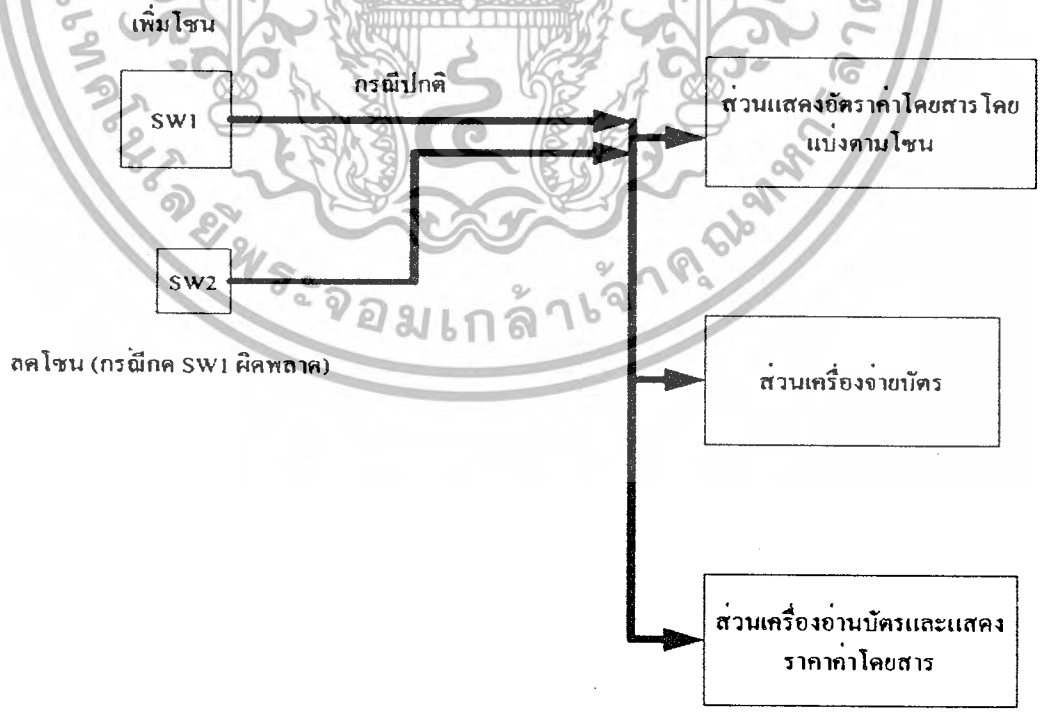
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

* หมายเหตุ - แบ่งโซน 5 โซน
- มีที่นั่งบนรถ 30 ที่นั่ง
- การจ่ายเงินค่าโดยสารต้องจ่ายให้พอดีกับจำนวนค่าโดยสาร เพราะไม่มีการทอนเงินค่าโดยสาร โดยอาจแลกเหรียญได้จากเครื่องแลกเหรียญ

จากบล็อกการทำงานทั้งหมดของระบบจะมีส่วนต่าง ๆ ที่ทำงานดังต่อไปนี้

- ส่วนควบคุมโซนจากคนขับ
- ส่วนแสดงอัตราค่าโดยสารโดยแบ่งตามโซน
- ส่วนแสดงที่นั่งที่เหลืออยู่
- ส่วนเครื่องอ่านบัตรและแสดงราคาค่าโดยสาร
- ส่วนกล่องรับเงินค่าโดยสารและคืนบัตร
- ส่วนเครื่องจ่ายบัตร

3.1 ส่วนควบคุมโซนจากคนขับ

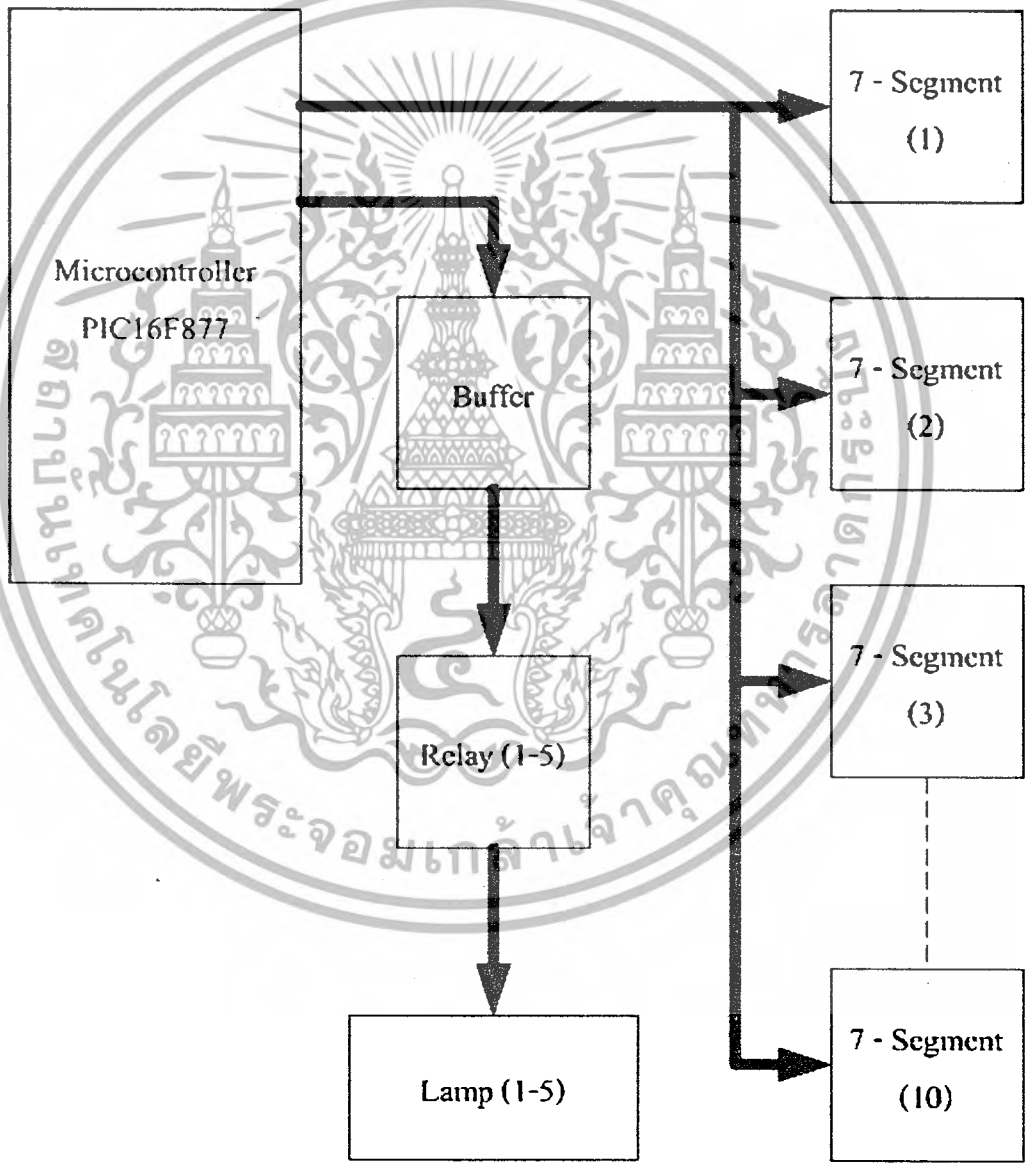


รูปที่ 3.2 การทำงานของส่วนควบคุมโซนจากคนขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างของส่วนนี้เป็นส่วนปุ่มกด ที่ใช้ควบคุมส่วนต่าง ๆ ของระบบ โดยใช้ปุ่มกดจำนวน 2 ปุ่มคือ SW1 และ SW2 ใช้ทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ในส่วนต่าง ๆ ของระบบ โดยที่ SW1 ทำหน้าที่กดเพื่อเปลี่ยนโซนที่ไปถึง และ SW2 ใช้ในกรณีที่มีการกด SW1 ผิดพลาด คืออาจกดเลขโซนเกินจำนวนที่ต้องการ การกด SW2 ก็เพื่อทำหน้าที่เปลี่ยนกลับไปยังตำแหน่งเดิมที่ต้องการ ฉะนั้น SW1 และ SW2 ทำหน้าที่คล้ายกับการบวกและลบนั่นเอง

3.2 ส่วนแสดงอัตราค่าโดยสารโดยแบ่งตามโซน



รูปที่ 3.3 การทำงานของส่วนแสดงอัตราค่าโดยสารโดยแบ่งตามโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างชุดนี้จะเป็นชุดที่รับคำสั่งจากส่วนควบคุมโซนจากคนขับ โดยได้กำหนดการแสดงผลไว้ 5 โซน ในแต่ละโซนจะมีอัตราค่าโดยสารเพิ่มทุกโซน โซนละ 10 บาท ดังแสดงในตารางตัวอย่างข้างล่างนี้

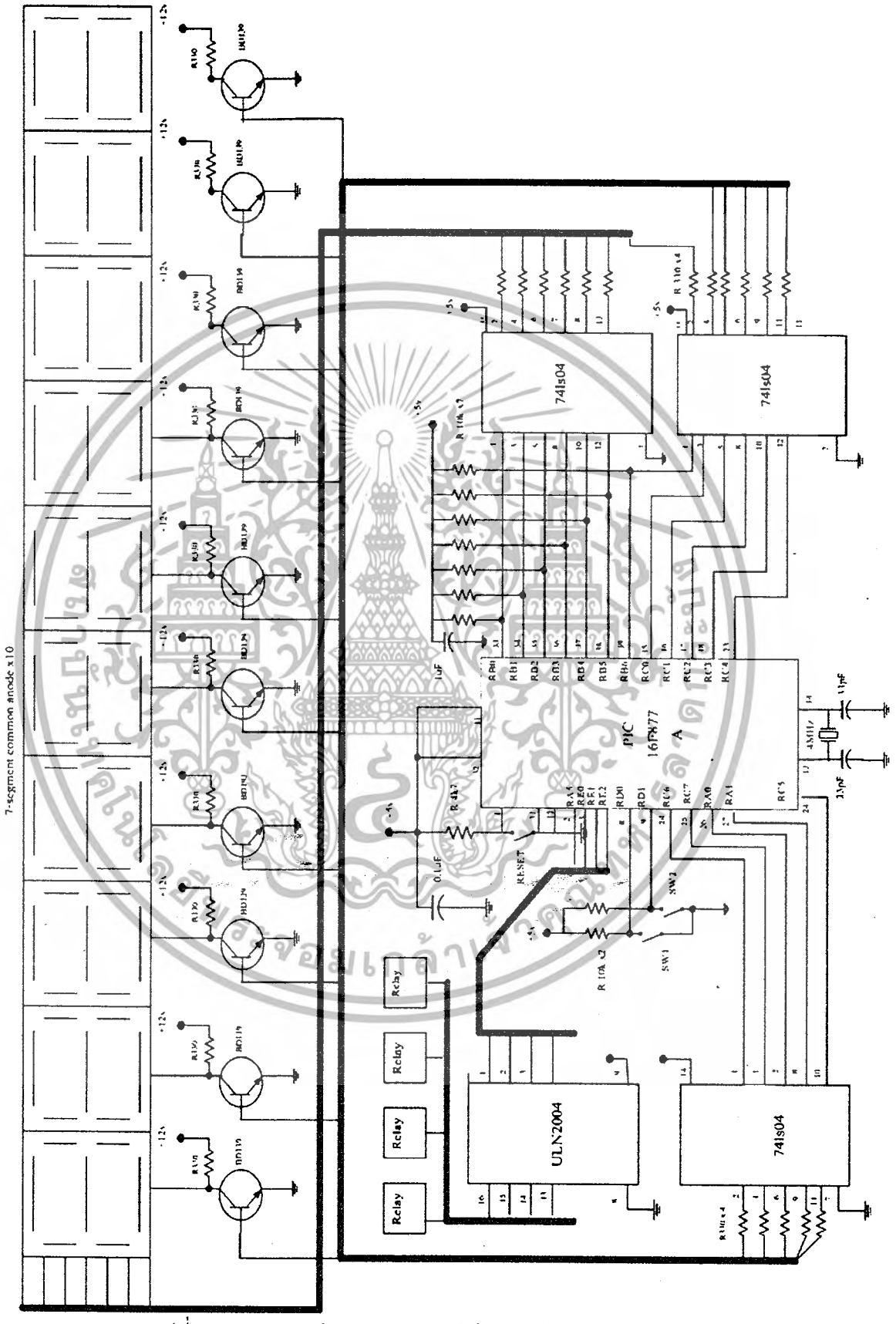
ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราค่าโดยสารโดยแบ่งตามโซน

	โซน 1	โซน 2	โซน 3	โซน 4	โซน 5
โซน 1	10	20	30	40	50
โซน 2	20	10	20	30	40
โซน 3	30	20	10	20	30
โซน 4	40	30	20	10	20
โซน 5	50	40	30	20	10

ซึ่งแบ่งการทำงานของแต่ละส่วนดังนี้

1) การแสดงตำแหน่งโซน (Lamp 1 – 5) ในส่วนนี้จะรับสัญญาณจากส่วนประมวลผลเปรียบเสมือนเอาท์พุตของโครงสร้าง โดยจะแสดงผลเป็นความสว่างของหลอดไฟตามตำแหน่งเลขโซน ซึ่งก็คือตำแหน่งของโซนที่รถอยู่นั่นเอง
2) การแสดงอัตราค่าโดยสาร [7 – Segment (1 – 10)] ในส่วนนี้จะรับสัญญาณจากส่วนประมวลผล โดยจะทำการแสดงผลเป็นตัวเลขสองหลัก (หลักสิบและหลักหน่วย) เป็นจำนวน 5 คู่ ก็คืออัตราค่าโดยสารของแต่ละโซนนั่นเอง โดยจะเปลี่ยนค่าตัวเลขไปตามโซนที่รถอยู่ด้วยการควบคุมของคนขับ

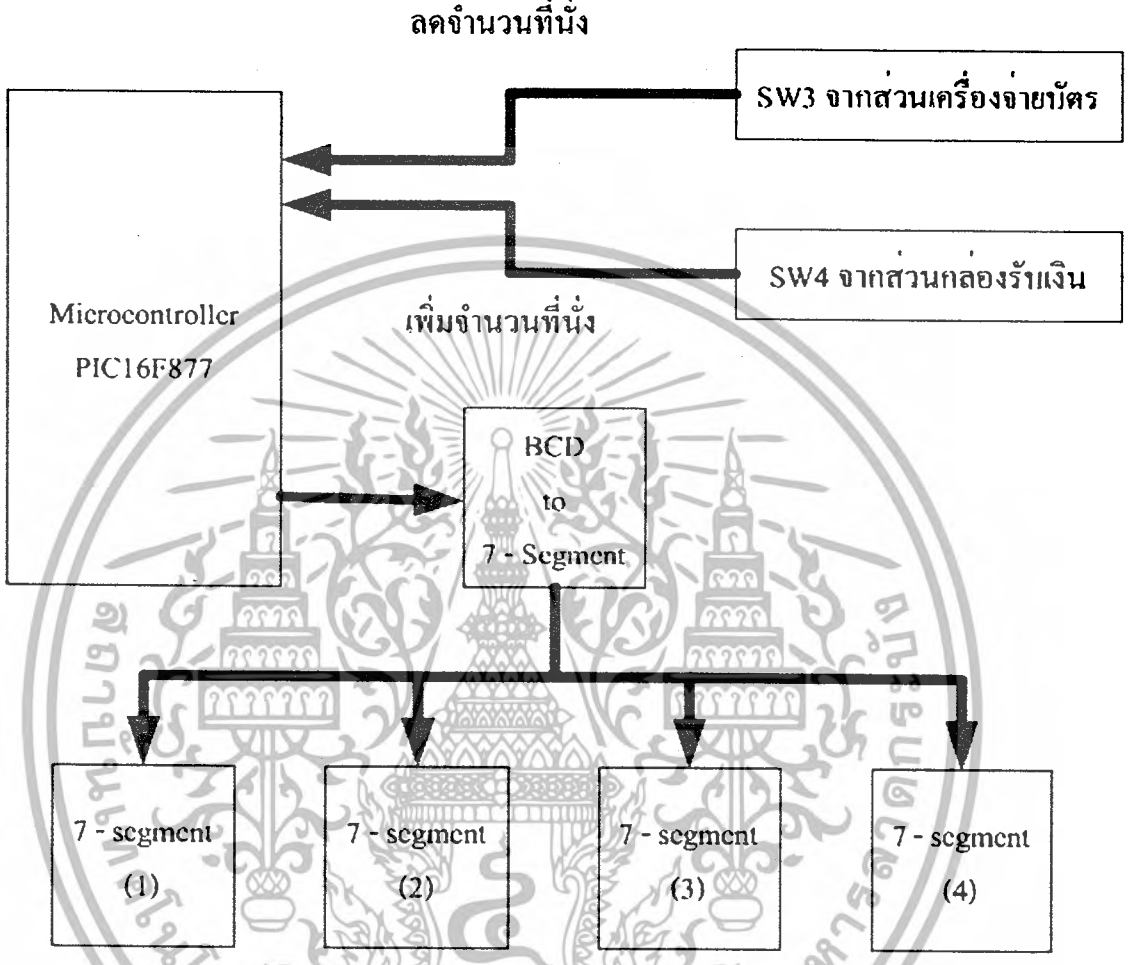
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรของส่วนแสดงอัตราค่าโดยสารโดยแบ่งตามโซน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

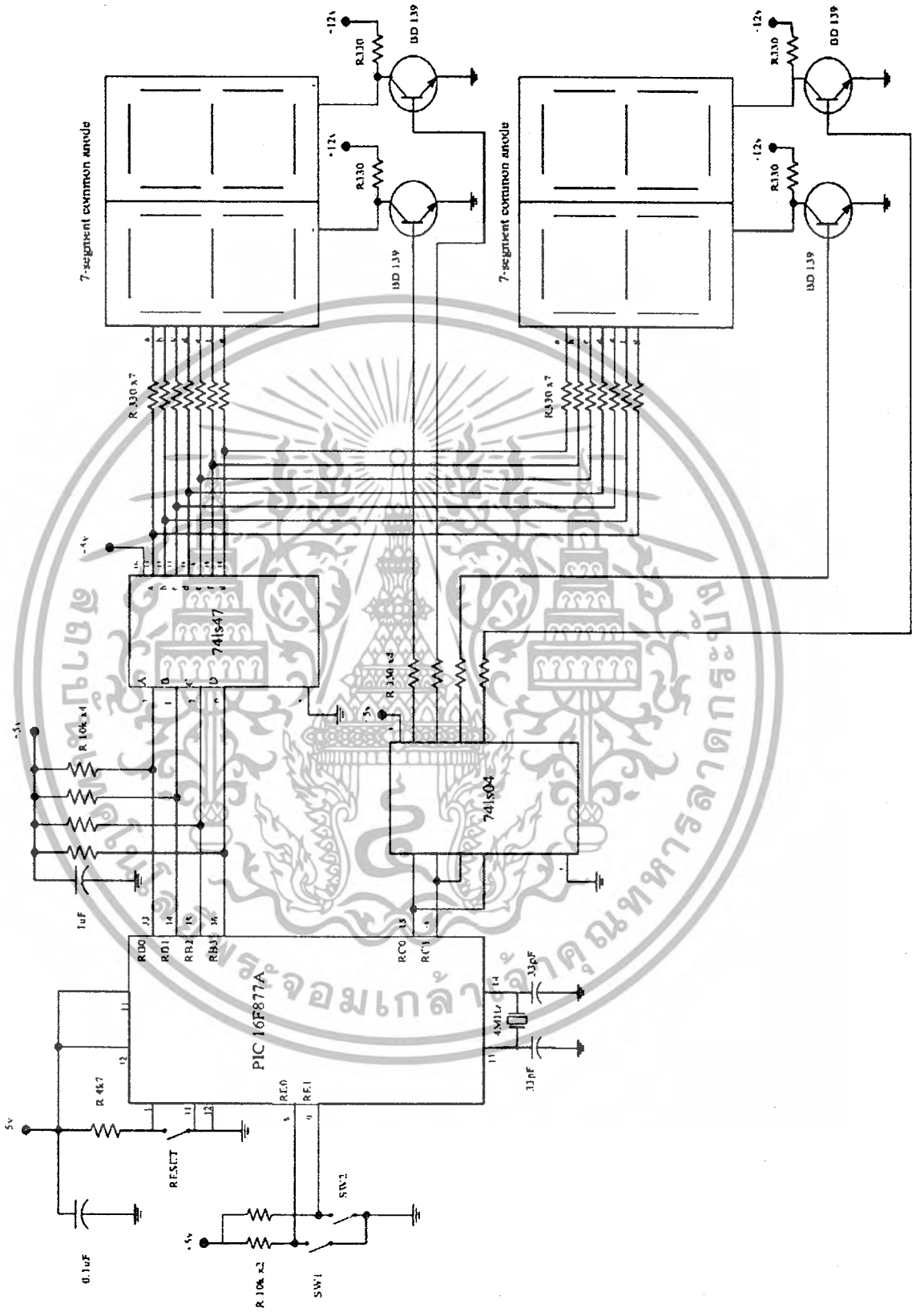
3.3 ส่วนแสดงที่นั่งที่เหลืออยู่



รูปที่ 3.5 การทำงานของส่วนแสดงที่นั่งที่เหลืออยู่

โครงสร้างของส่วนแสดงที่นั่งที่เหลืออยู่ จะเป็นส่วนของการแสดงผลออกทาง 7–segment ขนาดใหญ่ เป็นตัวเลข 2 หลักที่ติดตั้งไว้ภายนอกรถ และอีก 2 หลักอยู่ภายในรถ โดยได้รับคำสั่งเป็นสัญญาณจากส่วนประมวลผล ในที่นี้ได้กำหนดจำนวนที่นั่งไว้ 30 ที่นั่ง โดยเมื่อคนขับกดออกบัตรจากส่วนเครื่องจ่ายบัตร ด้วยการกด SW3 จะทำให้จำนวนที่นั่งลดลงตามจำนวนที่กด และจำนวนที่นั่งจะเพิ่มขึ้น เมื่อคนขับกดคันโยกเพื่อเก็บค่าโดยสารและบัตรโดยสารลงกล่องเก็บค่าโดยสารและกล่องเก็บบัตร ซึ่งมี SW4 ติดตั้งอยู่

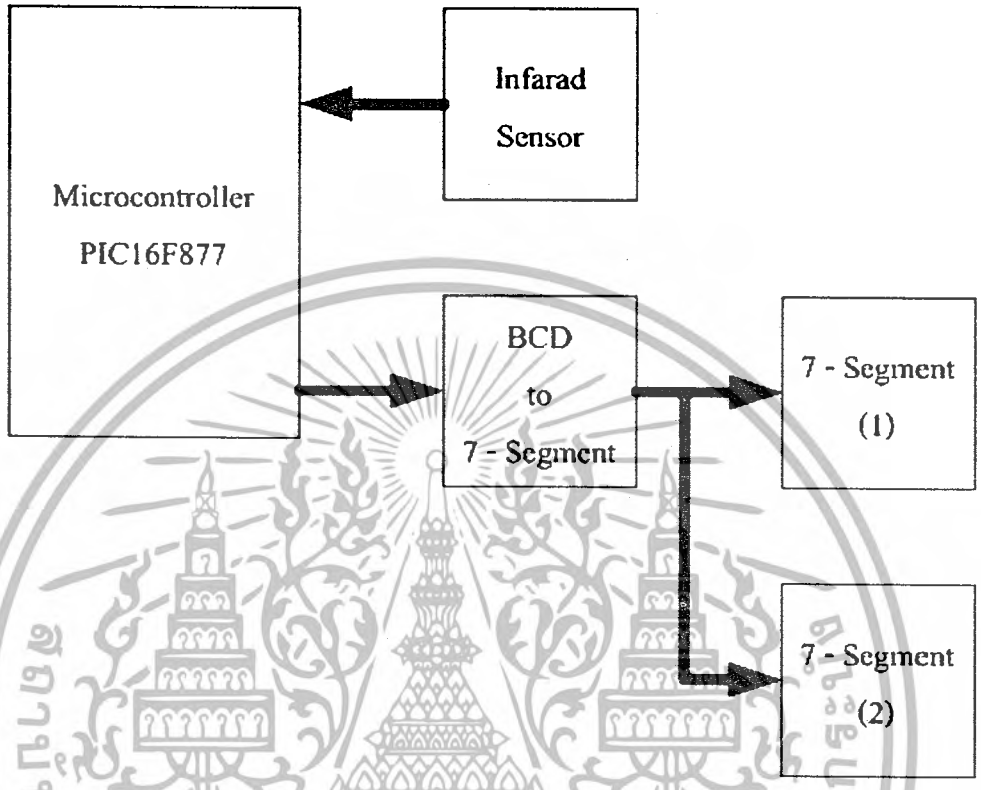
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 วงจรของส่วนแสดงที่นั่งที่เหลืออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ส่วนเครื่องอ่านบัตรและแสดงราคาค่าโดยสาร



รูปที่ 3.7 การทำงานของส่วนเครื่องอ่านบัตรและแสดงราคาค่าโดยสาร

ในโครงสร้างของเครื่องอ่านบัตรนั้นจะประกอบไปด้วยโครงสร้างดังนี้

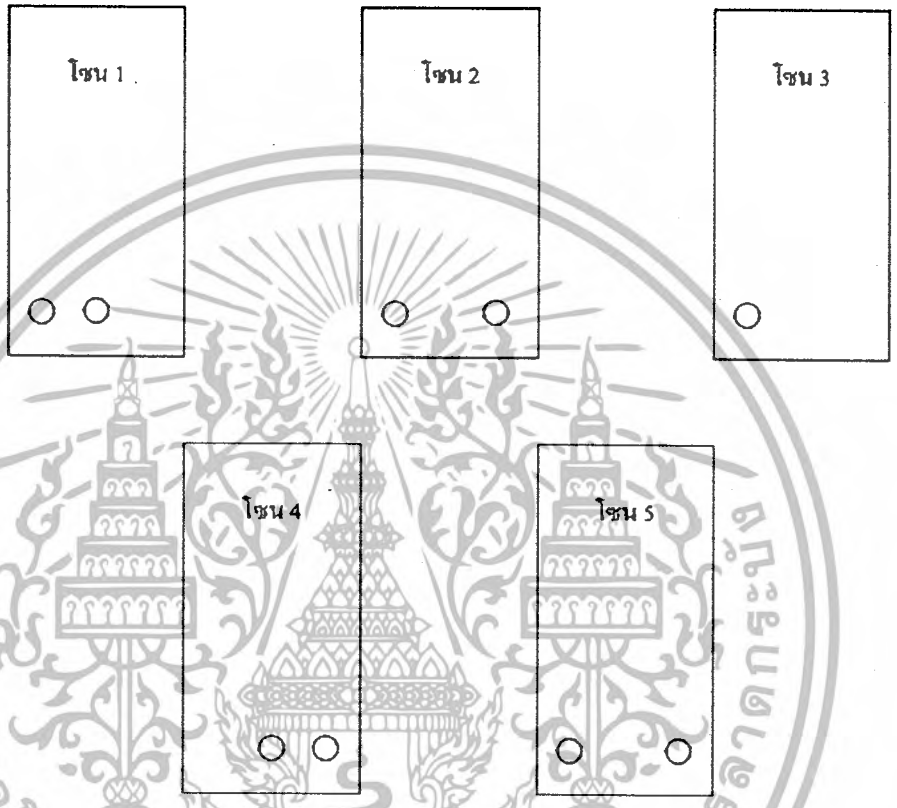
1) ส่วนของเซ็นเซอร์ตรวจสอบราคาบัตร ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย อินฟาเรทเซ็นเซอร์ จำนวน 3 ชุด ทั้งตัวรับและตัวส่ง อินฟาเรทนั้นจะทำหน้าที่เช็คราคาบัตรโดยบัตรของแต่ละโซนจะมีการเจาะรูแตกต่างกันไป โดยเมื่อมีการควบคุมจากส่วนควบคุมจากคนขับหน่วยประมวลผลจะทราบที่อยู่ปัจจุบันของตัวรถว่าอยู่โซนใด เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจสอบบัตรก็จะสามารถรู้ได้ว่าบัตรนั้นต้องจ่ายเงินราคาเท่าใด

ตัวอย่างค่าที่อินฟาเรทตรวจสอบได้เมื่อเสียบบัตร

โซน 1	001
โซน 2	010
โซน 3	011
โซน 4	100
โซน 5	101

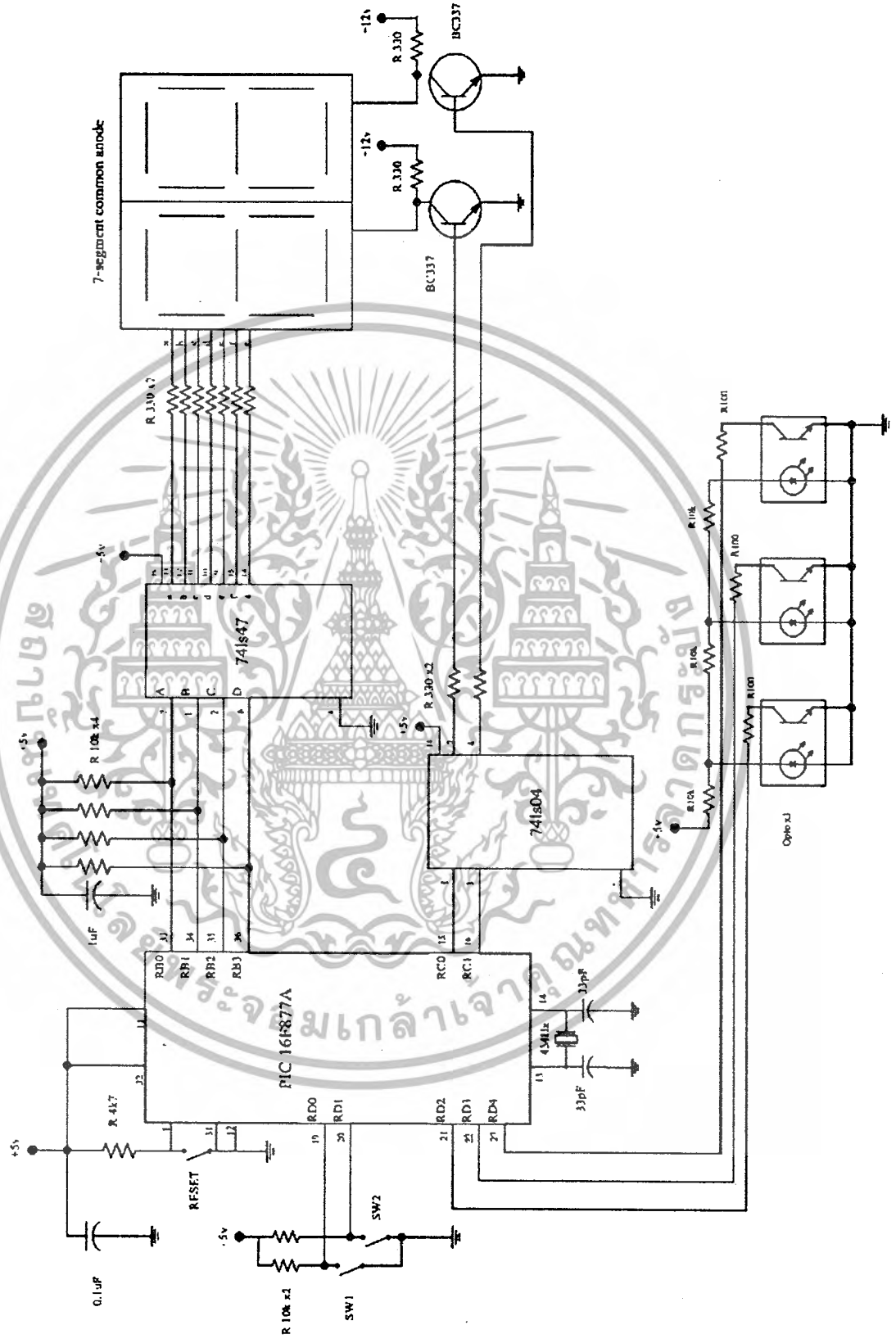
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ส่วนแสดงราคาค่าโดยสาร เมื่อตรวจสอบได้ว่าบัตรนั้นราคาเท่าไร หน่วยประมวลผลก็จะแสดงราคาของบัตรนั้นออกทางเอาท์พุท โดยออกมาผ่านไอซี BCD to 7 – segment และแสดงเป็น 7 – segment จำนวน 2 หลัก



รูปที่ 3.8 บัตรโดยสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

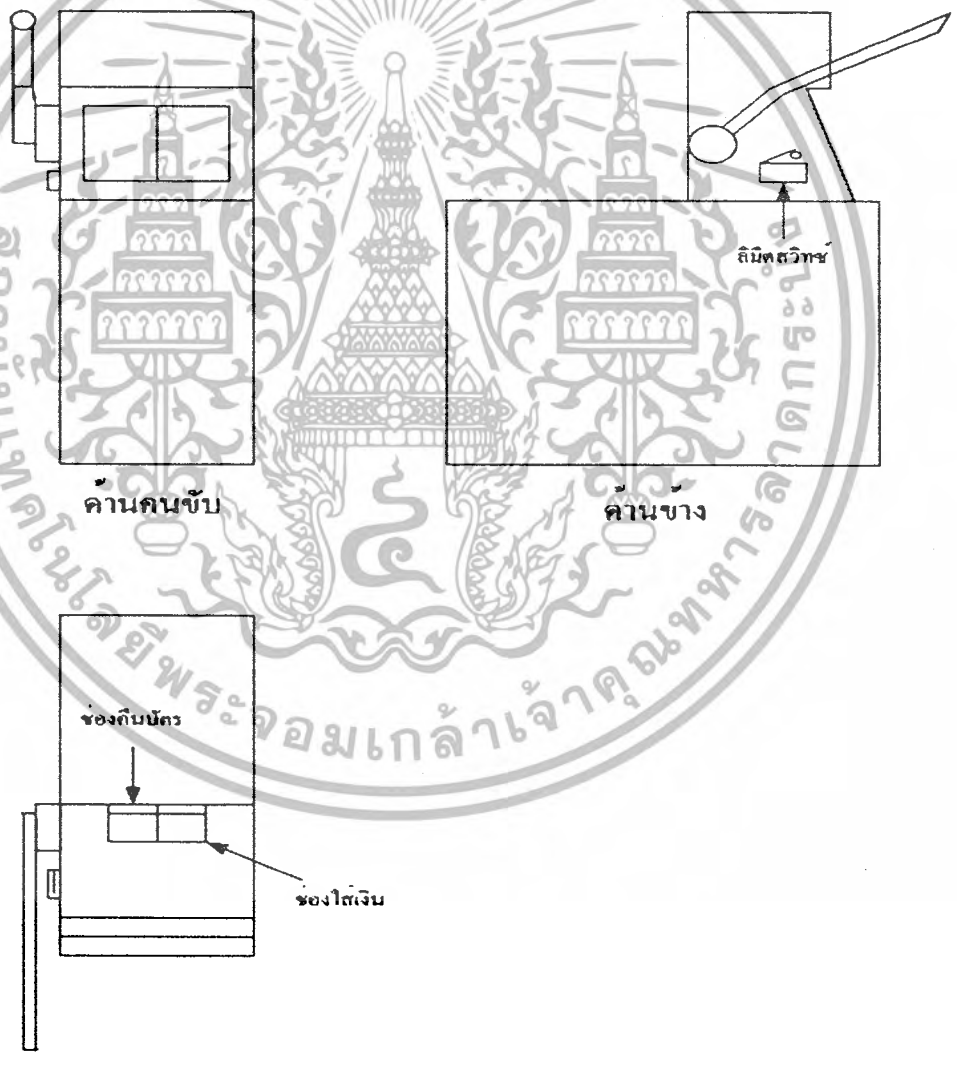


รูปที่ 3.9 วงจรของส่วนเครื่องอ่านบัตรและแสดงราคาบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 กล่องรับเงินค่าโดยสารและคืนบัตร

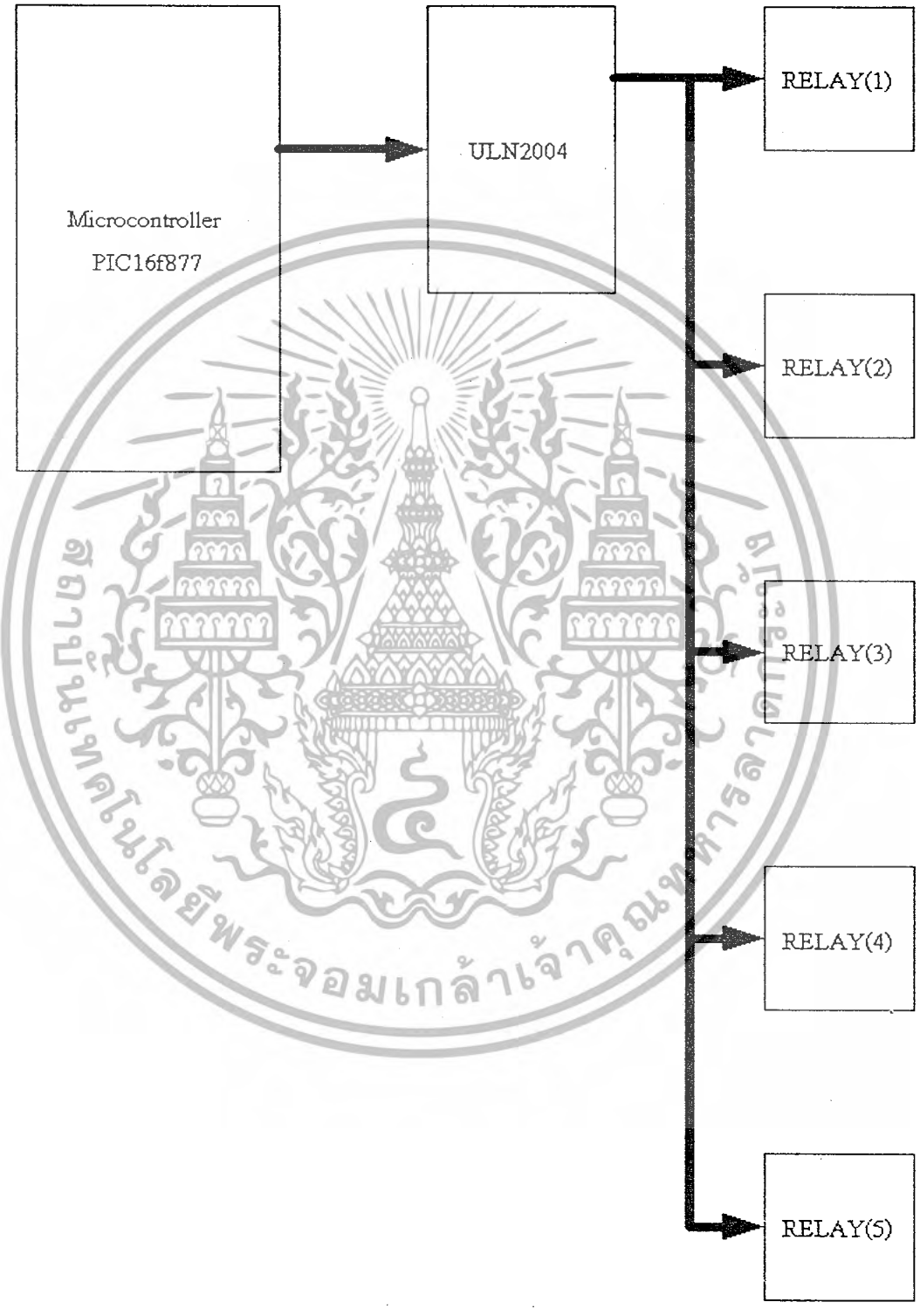
ในส่วนนี้จะเป็นกล่องรับเงินค่าโดยสารและรับบัตรโดยสารคืน กล่องจะออกแบบให้มีช่องใส่ 2 ช่อง เพื่อใส่เงิน และบัตรโดยสารแยกออกจากกัน เมื่อผู้โดยสารตรวจสอบราคาบัตรเรียบร้อยแล้ว จะนำเงินและบัตรมาใส่ยังช่องทั้งสองเมื่อใส่แล้ว คนขับรถจะเป็นผู้ตรวจสอบว่ามีการคืนบัตรหรือยัง และจ่ายเงินเท่ากับราคาของบัตรหรือไม่ โดยคนขับจะสามารถเห็นได้ทางช่องใสฝั่งคนขับ เมื่อถูกต้องคนขับจะดึงคันโยกเพื่อเก็บเงินและบัตร ในขณะที่ดึงคันโยกจะมีลิมิตสวิทซ์ก็คือ SW4 ติดอยู่กับคันโยก จะไปกดทำให้เพิ่มจำนวนที่นั่งที่เหลืออยู่ที่แสดงอยู่หน้ารถ



รูปที่ 3.10 กล่องรับเงินค่าโดยสารและคืนบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

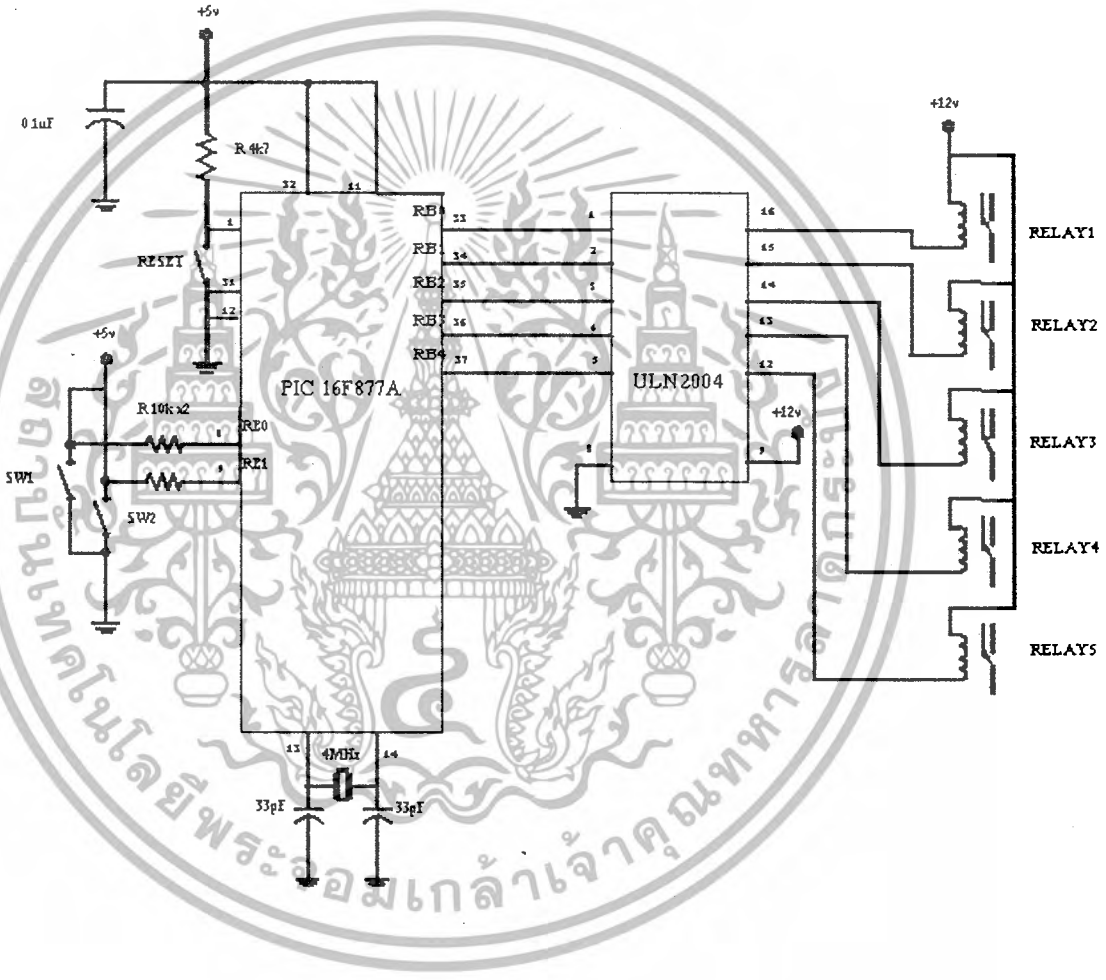
3.6 ส่วนเครื่องจ่ายบัตร



รูปที่ 3.11 การทำงานของเครื่องจ่ายบัตร

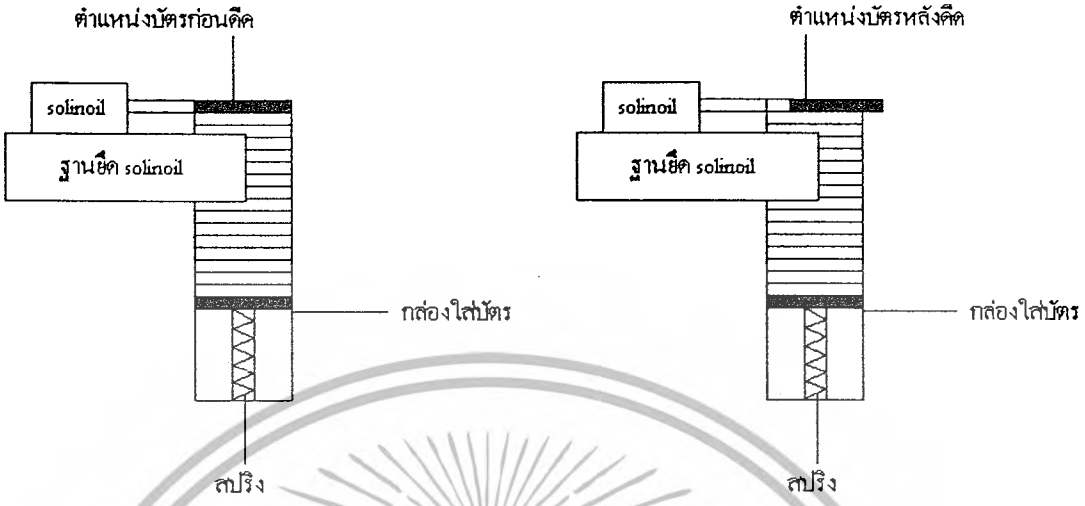
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนนี้เป็นส่วนของเครื่องจ่ายบัตร ทำหน้าที่จ่ายบัตรโดยสารให้กับผู้โดยสาร เมื่อมีผู้โดยสารขึ้นมา พนักงานขับรถจะกดปุ่มจ่ายบัตร เพื่อจ่ายบัตรให้กับผู้โดยสาร ผู้โดยสารก็จะรับบัตรที่ยื่นออกมา เพื่อเก็บบัตรโดยสารไว้ตรวจสอบและเสียค่าโดยสารขณะถึงที่หมาย การทำงานของส่วนนี้ คนขับจะกดสวิตซ์ เปลี่ยนโซน ทำให้เครื่องจ่ายบัตรรู้ว่าอยู่ในโซน และเมื่อพนักงานกดจ่ายบัตร ระบบจะทำการลดจำนวนที่นั่งไปพร้อม ๆ กัน



รูปที่ 3.12 วงจรของส่วนเครื่องจ่ายบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



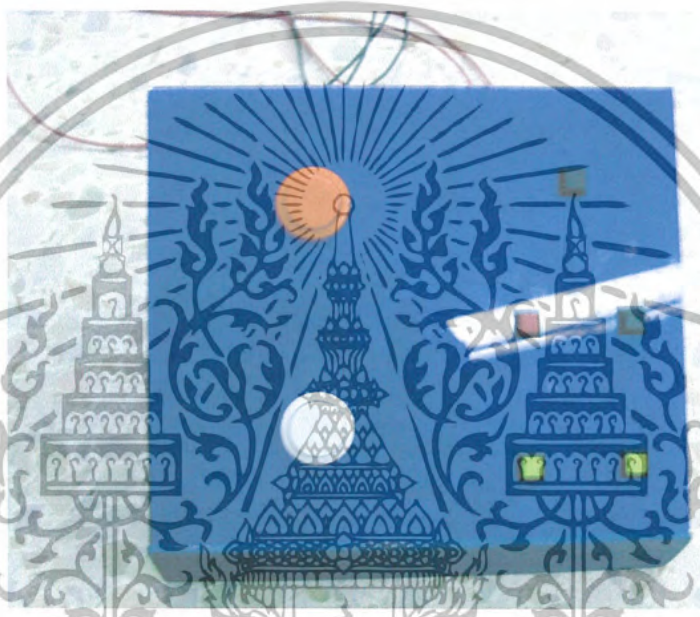
รูปที่ 3.13 กลไกการทำงานของเครื่องจ่ายบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ส่วนควบคุมโซนจากคนขับ

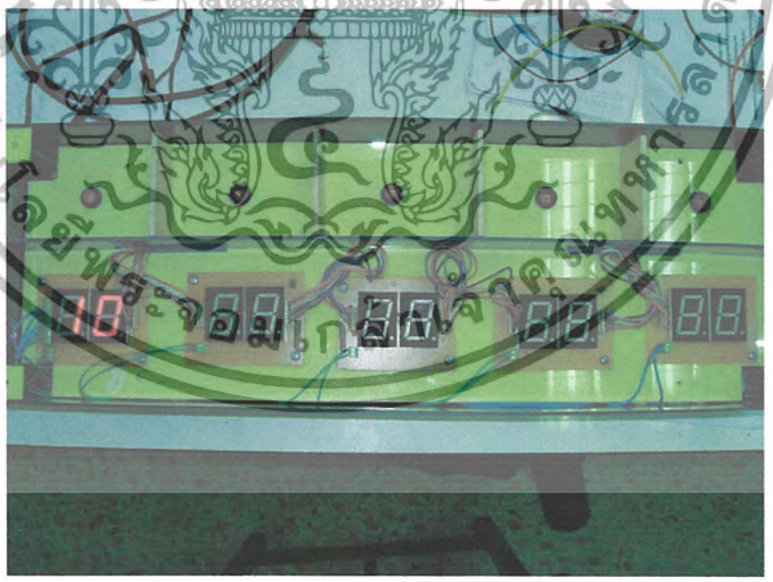


รูปที่ 4.1 ส่วนควบคุมโซนจากคนขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

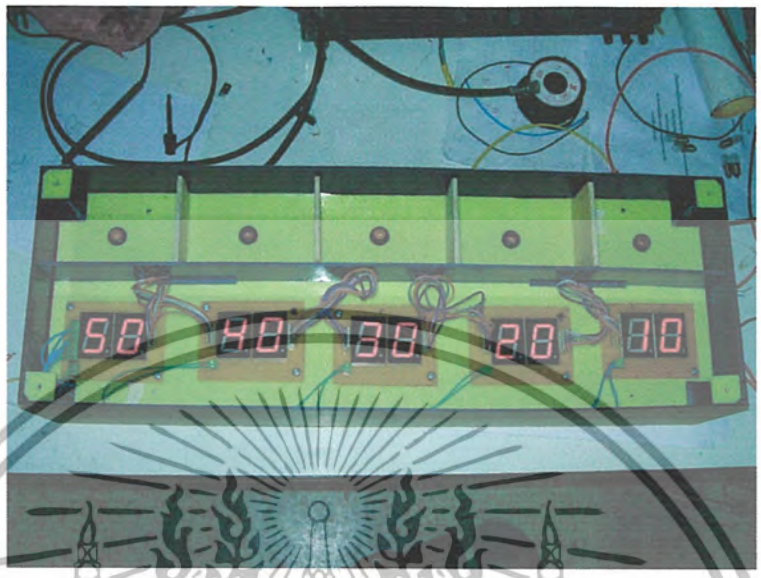
4.2 ส่วนแสดงอัตราค่าโดยสารโดยแบ่งตามโซน

รูปที่ 4.2 ส่วนแสดงอัตราค่าโดยสารแบ่งตามโซน (ภาพจริง)



รูปที่ 4.3 ค่าอัตราโดยสารในโซนที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 อัตราค่าโดยสารตั้งแต่โซนที่ 1-5

4.3 ส่วนแสดงที่นั่งที่เหลืออยู่

รูปที่ 4.5 วงจรจริงของส่วนแสดงที่นั่งที่เหลืออยู่บนรถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.6 จำนวนที่นั่งว่างบนรถ 30 ที่นั่ง

รูปที่ 4.7 จำนวนที่นั่งว่างบนรถ 20 ที่นั่ง

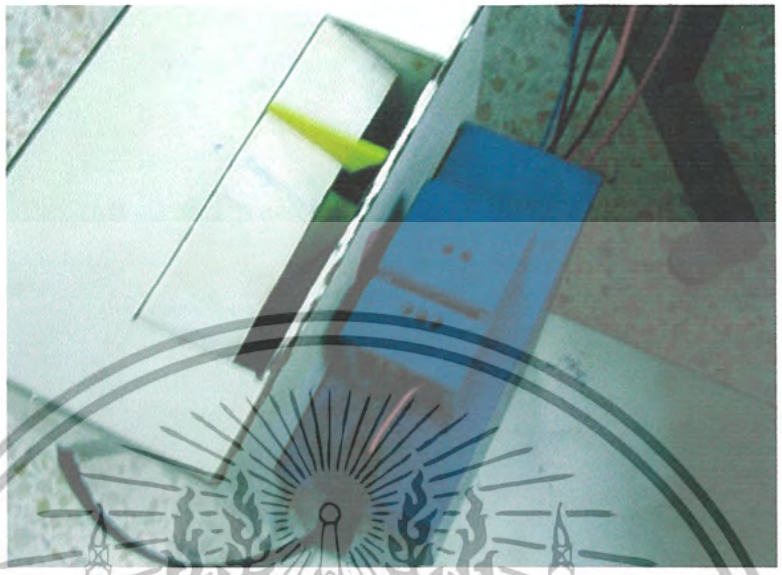
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.8 ไม่มีที่นั่งว่างบนรถ

4.4 ส่วนเครื่องอ่านบัตรและแสดงราคาค่าโดยสาร

รูปที่ 4.9 วงจรเครื่องอ่านบัตรและแสดงค่าโดยสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

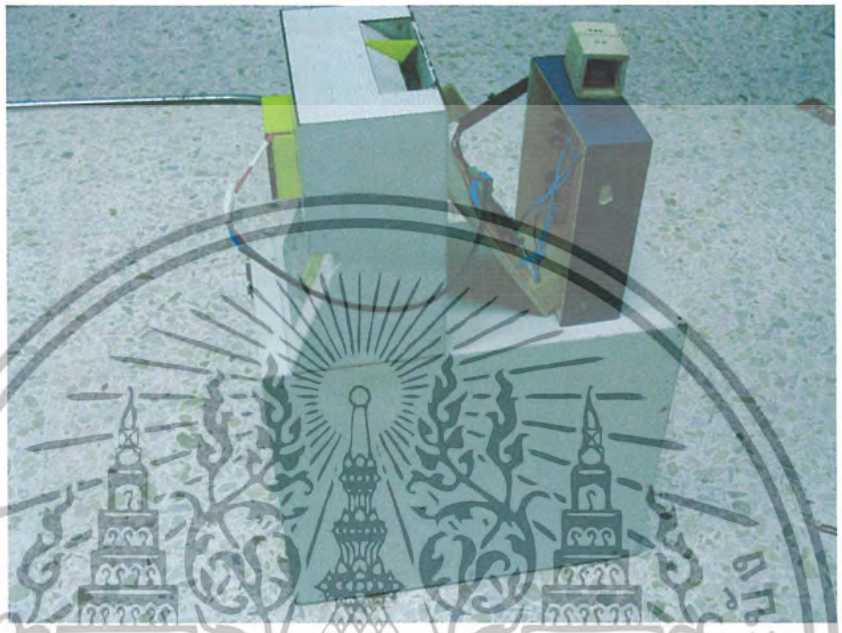


รูปที่ 4.10 แท่นใส่อินฟาเรทซ็นเซอร์ในการเช็คบัตร

รูปที่ 4.11 จอแสดงราคาบัตรติดอยู่ด้านคนขับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

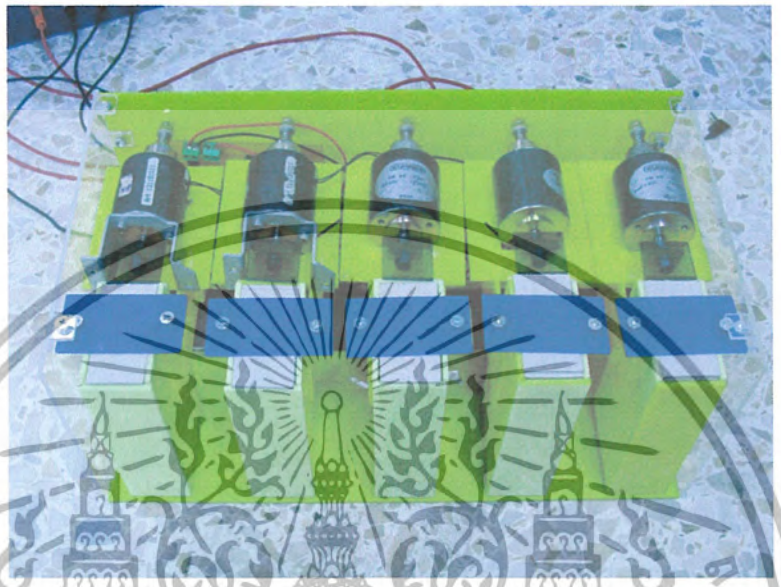
4.5 กล่องรับเงินค่าโดยสารและคืนบัตร



รูปที่ 4.12 กล่องรับเงินค่าโดยสารและคืนบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ส่วนเครื่องจ่ายบัตร



รูปที่ 4.13 ส่วนเครื่องจ่ายบัตร

รูปที่ 4.14 วงจรเครื่องจ่ายบัตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในการระหว่างการดำเนินการได้เกิดปัญหาขึ้นหลายประการดังต่อไปนี้คือ

5.1 ปัญหาทางด้านแหล่งจ่าย เนื่องจากชิ้นงานประกอบไปด้วยวงจรที่ต่อด้วยโหลดจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็น 7 – segment รีเลย์ โซลินอยด์ ทำให้ไม่สามารถจัดทำแหล่งจ่ายมารองรับวงจรทั้งหมดของชิ้นงานได้

5.2 ปัญหาของเครื่องออกบัตร เมื่อกดสวิตซ์ในการจ่ายบัตร จะไปรบกวนการทำงานของรีเลย์ จึงเกิดการทำงานที่ผิดพลาด

5.3 ปัญหาเรื่องการออกแบบระบบแมคคานิคต่าง ๆ ในระบบ เนื่องจากจัดทำด้วยตนเอง ทำให้ความแม่นยำและเที่ยงตรงทำได้ยาก

5.4 เนื่องจากการจัดทำแหล่งจ่ายเกิดปัญหา จากการทดลองทำให้วงจรส่วนของเครื่องอ่านบัตรและแสดงค่าโดยสาร เกิดความเสียหาย ไม่สามารถแก้ไขได้ทัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

1. กฤษดา ใจเย็น และคณะ. เรียนรู้และใช้งาน PIC BASIC PRO COMPLIER. พิมพ์ครั้งที่ 1: Innovative Experiment Co.,Ltd.
2. ณัฏฐพล วงศ์สุนทรชัย และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล. ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F87x. พิมพ์ครั้งที่ 1: Innovative Experiment Co.,Ltd.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MICROCHIP

PIC16F87X

28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

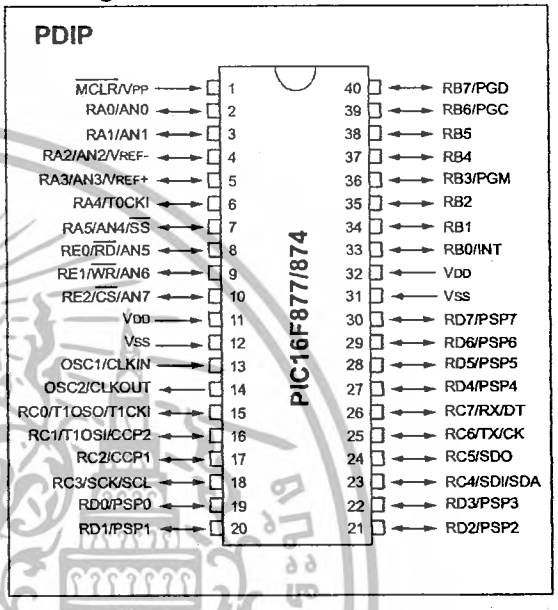
- PIC16F873
- PIC16F874
- PIC16F876
- PIC16F877

Microcontroller Core Features:

- High performance RISC CPU
- Only 35 single word instructions to learn
- All single cycle instructions except for program branches which are two cycle
- Operating speed: DC - 20 MHz clock input
  DC - 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of FLASH Program Memory,
  Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM)
  Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to the PIC16C73B/74B/76/77
- Interrupt capability (up to 14 sources)
- Eight level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT) and Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Low power, high speed CMOS FLASH/EEPROM technology
- Fully static design
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP) via two pins
- Single 5V In-Circuit Serial Programming capability
- In-Circuit Debugging via two pins
- Processor read/write access to program memory
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V
- High Sink/Source Current: 25 mA
- Commercial, Industrial and Extended temperature ranges
- Low-power consumption:
  - < 0.6 mA typical @ 3V, 4 MHz
  - 20 µA typical @ 3V, 32 kHz
  - < 1 µA typical standby current

Pin Diagram

PDIP



Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler, can be incremented during SLEEP via external crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
  - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
  - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
  - PWM max. resolution is 10-bit
- 10-bit multi-channel Analog-to-Digital converter
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™ (Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address detection
- Parallel Slave Port (PSP) 8-bits wide, with external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for Brown-out Reset (BOR)

© 2001 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Key Features PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023)	PIC16F873	PIC16F874	PIC16F876	PIC16F877
Operating Frequency	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz	DC - 20 MHz
RESETS (and Delays)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)	POR, BOR (PWRT, OST)
FLASH Program Memory (14-bit words)	4K	4K	8K	8K
Data Memory (bytes)	192	192	368	368
EEPROM Data Memory	128	128	256	256
Interrupts	13	14	13	14
I/O Ports	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E	Ports A,B,C	Ports A,B,C,D,E
Timers	3	3	3	3
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	2	2
Serial Communications	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART	MSSP, USART
Parallel Communications	—	PSP	—	PSP
10-bit Analog-to-Digital Module	5 input channels	8 input channels	5 input channels	8 input channels
Instruction Set	35 instructions	35 instructions	35 instructions	35 instructions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.0 DEVICE OVERVIEW

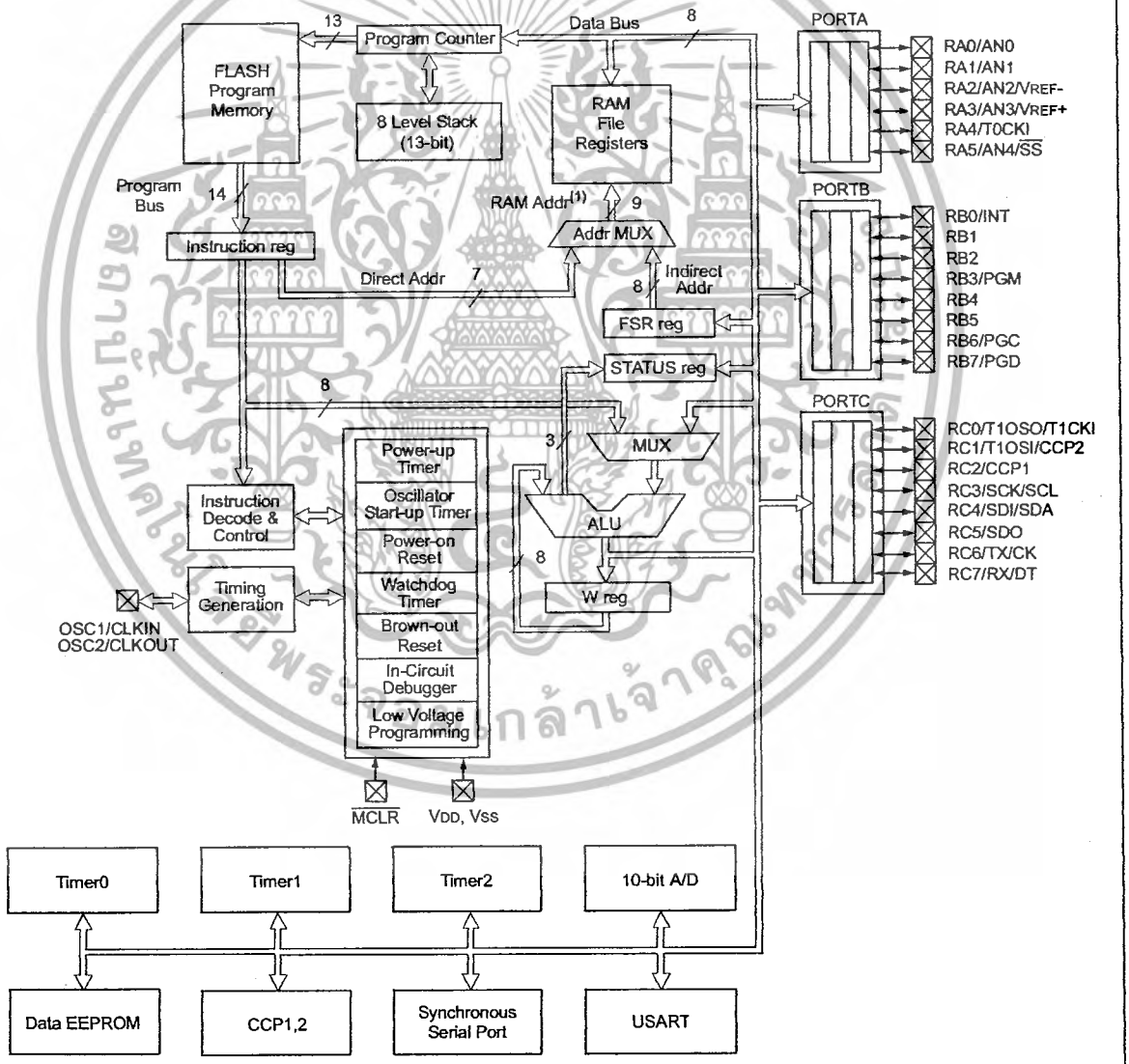
This document contains device specific information. Additional information may be found in the PICmicro™ Mid-Range Reference Manual (DS33023), which may be obtained from your local Microchip Sales Representative or downloaded from the Microchip website. The Reference Manual should be considered a complementary document to this data sheet, and is highly recommended reading for a better understanding of the device architecture and operation of the peripheral modules.

There are four devices (PIC16F873, PIC16F874, PIC16F876 and PIC16F877) covered by this data sheet. The PIC16F876/873 devices come in 28-pin packages and the PIC16F877/874 devices come in 40-pin packages. The Parallel Slave Port is not implemented on the 28-pin devices.

The following device block diagrams are sorted by pin number; 28-pin for Figure 1-1 and 40-pin for Figure 1-2. The 28-pin and 40-pin pinouts are listed in Table 1-1 and Table 1-2, respectively.

FIGURE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 BLOCK DIAGRAM

Device	Program FLASH	Data Memory	Data EEPROM
PIC16F873	4K	192 Bytes	128 Bytes
PIC16F876	8K	368 Bytes	256 Bytes

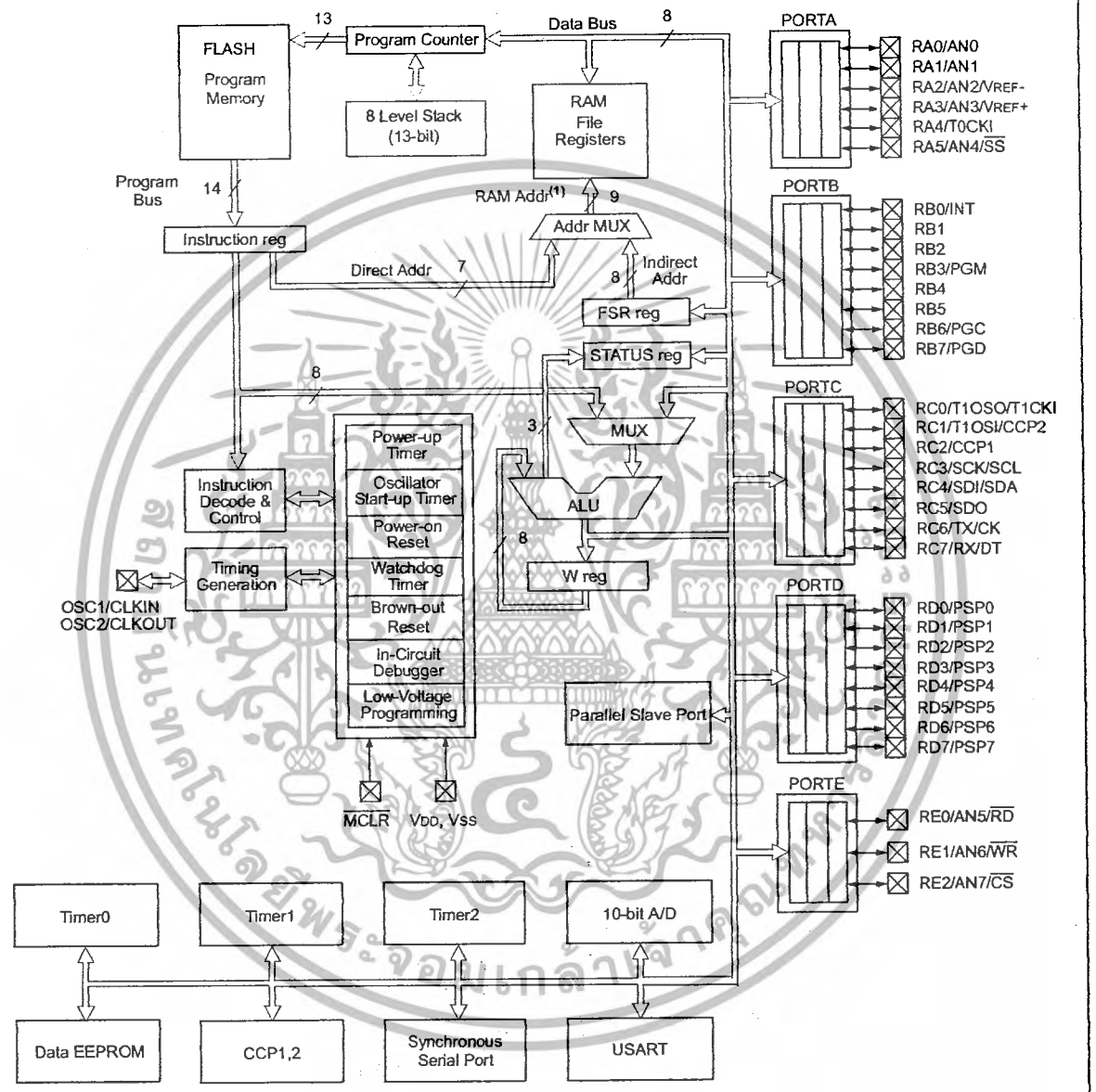


Note 1: Higher order bits are from the STATUS register.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FIGURE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 BLOCK DIAGRAM

Device	Program FLASH	Data Memory	Data EEPROM
PIC16F874	4K	192 Bytes	128 Bytes
PIC16F877	8K	368 Bytes	256 Bytes



Note 1: Higher order bits are from the STATUS register.

© 2001 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-1: PIC16F873 AND PIC16F876 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	SOIC Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	9	9	I	ST/CMOS(3)	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	10	10	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, the OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
$\overline{MCLR}$/VPP	1	1	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
					PORTA is a bi-directional I/O port.
RA0/AN0	2	2	I/O	TTL	RA0 can also be analog input0.
RA1/AN1	3	3	I/O	TTL	RA1 can also be analog input1.
RA2/AN2/VREF-	4	4	I/O	TTL	RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage.
RA3/AN3/VREF+	5	5	I/O	TTL	RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage.
RA4/T0CKI	6	6	I/O	ST	RA4 can also be the clock input to the Timer0 module. Output is open drain type.
RA5/$\overline{SS}$/AN4	7	7	I/O	TTL	RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
					PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs.
RB0/INT	21	21	I/O	TTL/ST(1)	RB0 can also be the external interrupt pin.
RB1	22	22	I/O	TTL	
RB2	23	23	I/O	TTL	
RB3/PGM	24	24	I/O	TTL	RB3 can also be the low voltage programming input.
RB4	25	25	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB5	26	26	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB6/PGC	27	27	I/O	TTL/ST(2)	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock.
RB7/PGD	28	28	I/O	TTL/ST(2)	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.
					PORTC is a bi-directional I/O port.
RC0/T1OSO/T1CKI	11	11	I/O	ST	RC0 can also be the Timer1 oscillator output or Timer1 clock input.
RC1/T1OSI/CCP2	12	12	I/O	ST	RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	13	13	I/O	ST	RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/ PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	14	14	I/O	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I^2C modes.
RC4/SDI/SDA	15	15	I/O	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I^2C mode).
RC5/SDO	16	16	I/O	ST	RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode).
RC6/TX/CK	17	17	I/O	ST	RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.
RC7/RX/DT	18	18	I/O	ST	RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
VSS	8, 19	8, 19	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	20	20	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as the external interrupt.
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

© 2001 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	13	14	30	I	ST/CMOS(4)	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	14	15	31	O	—	Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLKOUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate.
$\overline{MCLR}$/VPP	1	2	18	I/P	ST	Master Clear (Reset) input or programming voltage input. This pin is an active low RESET to the device.
						PORTA is a bi-directional I/O port.
RA0/AN0	2	3	19	I/O	TTL	RA0 can also be analog input0.
RA1/AN1	3	4	20	I/O	TTL	RA1 can also be analog input1.
RA2/AN2/VREF-	4	5	21	I/O	TTL	RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage.
RA3/AN3/VREF+	5	6	22	I/O	TTL	RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage.
RA4/T0CKI	6	7	23	I/O	ST	RA4 can also be the clock input to the Timer0 timer/ counter. Output is open drain type.
RA5/$\overline{SS}$/AN4	7	8	24	I/O	TTL	RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port.
						PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs.
RB0/INT	33	36	8	I/O	TTL/ST(1)	RB0 can also be the external interrupt pin.
RB1	34	37	9	I/O	TTL	
RB2	35	38	10	I/O	TTL	
RB3/PGM	36	39	11	I/O	TTL	RB3 can also be the low voltage programming input.
RB4	37	41	14	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB5	38	42	15	I/O	TTL	Interrupt-on-change pin.
RB6/PGC	39	43	16	I/O	TTL/ST(2)	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock.
RB7/PGD	40	44	17	I/O	TTL/ST(2)	Interrupt-on-change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

© 2001 Microchip Technology Inc.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TABLE 1-2: PIC16F874 AND PIC16F877 PINOUT DESCRIPTION (CONTINUED)

Pin Name	DIP Pin#	PLCC Pin#	QFP Pin#	I/O/P Type	Buffer Type	Description
RC0/T1OSO/T1CKI	15	16	32	I/O	ST	PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a
RC1/T1OSI/CCP2	16	18	35	I/O	ST	RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output.
RC2/CCP1	17	19	36	I/O	ST	RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output.
RC3/SCK/SCL	18	20	37	I/O	ST	RC3 can also be the synchronous serial clock input/ output for both SPI and I^2C modes.
RC4/SDI/SDA	23	25	42	I/O	ST	RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I^2C mode).
RC5/SDO	24	26	43	I/O	ST	RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode).
RC6/TX/CK	25	27	44	I/O	ST	RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock.
RC7/RX/DT	26	29	1	I/O	ST	RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data.
						PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus.
RD0/PSP0	19	21	38	I/O	ST/TTL(3)	
RD1/PSP1	20	22	39	I/O	ST/TTL(3)	
RD2/PSP2	21	23	40	I/O	ST/TTL(3)	
RD3/PSP3	22	24	41	I/O	ST/TTL(3)	
RD4/PSP4	27	30	2	I/O	ST/TTL(3)	
RD5/PSP5	28	31	3	I/O	ST/TTL(3)	
RD6/PSP6	29	32	4	I/O	ST/TTL(3)	
RD7/PSP7	30	33	5	I/O	ST/TTL(3)	
						PORTE is a bi-directional I/O port.
RE0/$\overline{RD}$/AN5	8	9	25	I/O	ST/TTL(3)	RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5.
RE1/$\overline{WR}$/AN6	9	10	26	I/O	ST/TTL(3)	RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6.
RE2/$\overline{CS}$/AN7	10	11	27	I/O	ST/TTL(3)	RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7.
VSS	12,31	13,34	6,29	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	11,32	12,35	7,28	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	1,17,28, 40	12,13, 33,34		—	These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected.

Legend: I = input O = output I/O = input/output P = power
— = Not used TTL = TTL input ST = Schmitt Trigger input

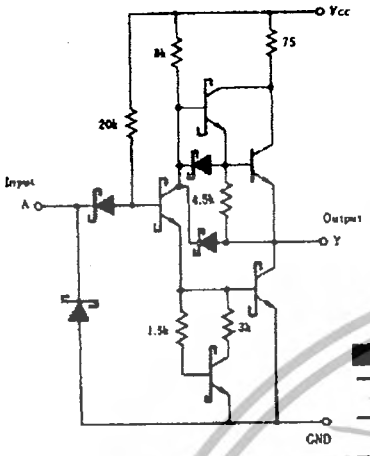
Note 1: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as an external interrupt.
2: This buffer is a Schmitt Trigger input when used in Serial Programming mode.
3: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured as general purpose I/O and a TTL input when used in the Parallel Slave Port mode (for interfacing to a microprocessor bus).
4: This buffer is a Schmitt Trigger input when configured in RC oscillator mode and a CMOS input otherwise.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

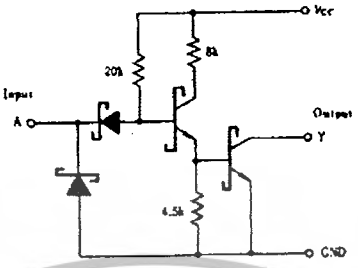
HD74LS04/HD74LS05 ●Hex Inverters ●Hex Inverters (with Open Collector Outputs)

■CIRCUIT SCHEMATIC(1/6)

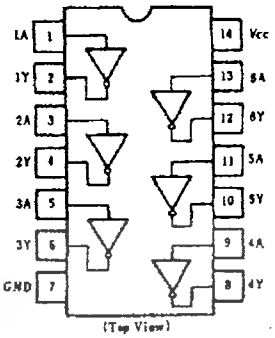
HD74LS04



HD74LS05



■PIN ARRANGEMENT



■HD74LS05 RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

Item	Symbol	min	typ	max	Unit
High level output voltage	V_{OH}	–	–	5.5	V
Low level output current	I_{OL}	–	–	8	mA

■ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Ta=−20～+75℃)

Item	Symbol	Test Conditions	HD74LS04 min	HD74LS04 typ*	HD74LS04 max	HD74LS05 min	HD74LS05 typ*	HD74LS05 max	Unit
Input voltage	V_{IH}		2.0	–	–	2.0	–	–	V
	V_{IL}		–	–	0.8	–	–	0.8	V
Output voltage	V_{OH}	V_{CC}=4.75V, V_{IL}=0.8V, I_{OH}=−400μA	2.7	–	–	–	–	–	V
	V_{OL}	V_{CC}=4.75V, V_{IH}=2V, I_{OL}=8mA	–	–	0.5	–	–	0.5	V
		V_{CC}=4.75V, V_{IH}=2V, I_{OL}=4mA	–	–	0.4	–	–	0.4	V
Output current	I_{OH}	V_{CC}=4.75V, V_{IL}=0.8V, V_{OH}=5.5V	–	–	–	–	–	100	μA
Input current	I_{IH}	V_{CC}=5.25V, V_I=2.7V	–	–	20	–	–	20	μA
	I_{IL}	V_{CC}=5.25V, V_I=0.4V	–	–	−0.4	–	–	−0.4	mA
	I_I	V_{CC}=5.25V, V_I=7V	–	–	0.1	–	–	0.1	mA
Short-circuit output current	I_{OS}	V_{CC}=5.25V	−20	–	−100	–	–	–	mA
Supply current	I_{CCH}	V_{CC}=5.25V	–	1.2	2.4	–	1.2	2.4	mA
	I_{CCL}	V_{CC}=5.25V	–	3.6	6.6	–	3.6	6.6	mA
Input clamp voltage	V_{IK}	V_{CC}=4.75V, I_{IN}=−18mA	–	–	−1.5	–	–	−1.5	V

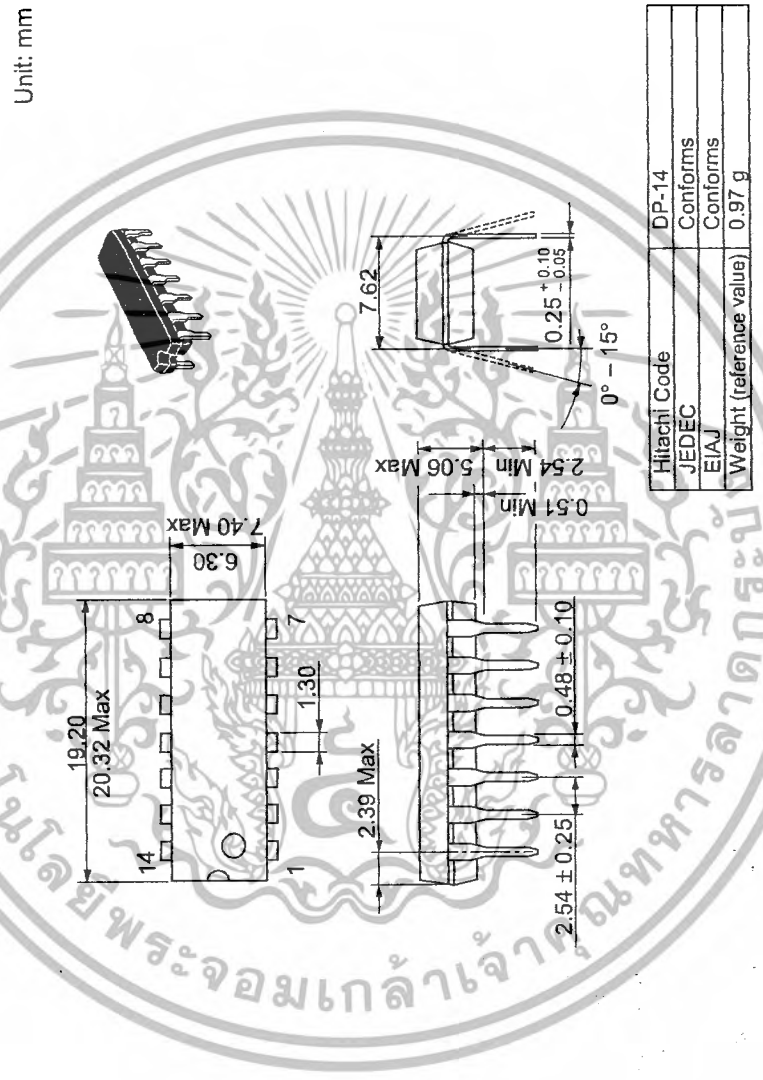
* V_{CC}=5V, Ta=25°C

■SWITCHING CHARACTERISTICS (V_{CC}=5V, Ta=25℃)

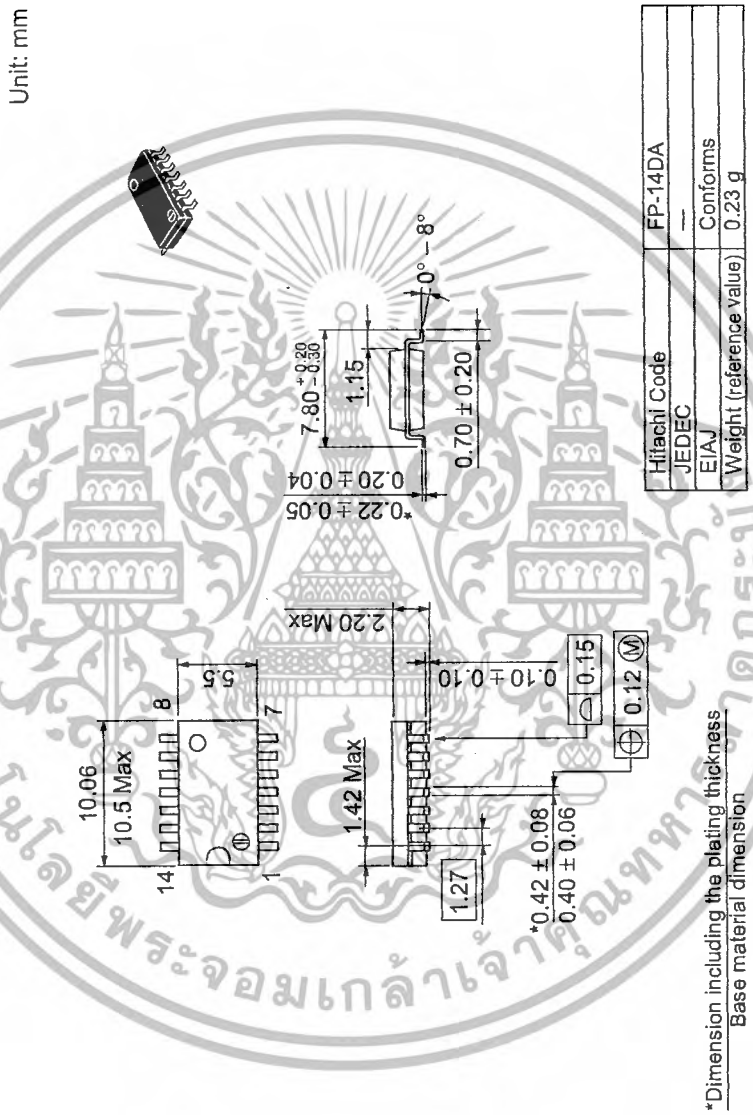
Item	Symbol	Test Conditions	HD74LS04 min	HD74LS04 typ	HD74LS04 max	HD74LS05 min	HD74LS05 typ	HD74LS05 max	Unit
Propagation delay time	t_{PLH}	C_L=15pF, R_L=2kΩ	–	9	15	–	17	32	ns
	t_{PHL}	C_L=15pF, R_L=2kΩ	–	10	15	–	15	28	ns

Note) Refer to Test Circuit and Waveform of the Common Item

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

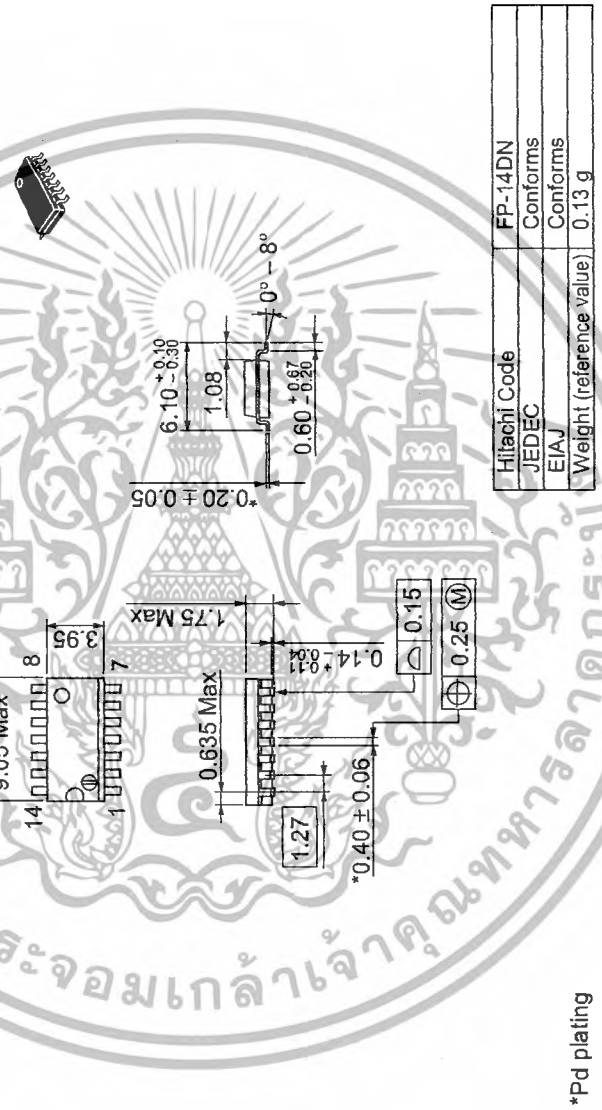


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Unit: mm



Hitachi Code	FP-14DN
JEDEC	Conforms
EIAJ	Conforms
Weight (reference value)	0.13 g

*Pd plating

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

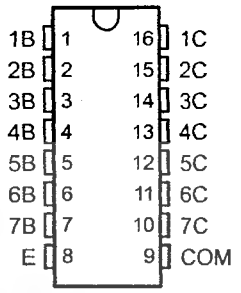
ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

The ULN2001A is obsolete and is no longer supplied.

SLRS027F – DECEMBER 1976 – REVISED FEBRUARY 2003

- **500-mA-Rated Collector Current (Single Output)**
- **High-Voltage Outputs . . . 50 V**
- **Output Clamp Diodes**
- **Inputs Compatible With Various Types of Logic**
- **Relay-Driver Applications**
- **Designed to Be Interchangeable With Sprague ULN2001A Series**

ULN2001A . . . D OR N PACKAGE
ULN2002A . . . N PACKAGE
ULN2003A, ULN2004A . . . D, N, OR NS PACKAGE
ULQ2003A, ULQ2004A . . . D OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

The ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, and ULQ2004A are high-voltage, high-current Darlington transistor arrays. Each consists of seven npn Darlington pairs that feature high-voltage outputs with common-cathode clamp diodes for switching inductive loads. The collector-current rating of a single Darlington pair is 500 mA. The Darlington pairs can be paralleled for higher current capability. Applications include relay drivers, hammer drivers, lamp drivers, display drivers (LED and gas discharge), line drivers, and logic buffers. For 100-V (otherwise interchangeable) versions of the ULN2003A and ULN2004A, see the SN75468 and SN75469, respectively.

ORDERING INFORMATION

T_A	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
–20°C to 70°C	PDIP (N)	Tube of 25	ULN2002AN	ULN2002AN
			ULN2003AN	ULN2003AN
			ULN2004AN	ULN2004AN
	SOIC (D)	Tube of 40	ULN2003AD	ULN2003A
		Reel of 2500	ULN2003ADR	
		Tube of 40	ULN2004AD	ULN2004A
		Reel of 2500	ULN2004ADR	
	SOP (NS)	Reel of 2000	ULN2003ANSR	ULN2003A
			ULN2004ANSR	ULN2004A
–40°C to 85°C	PDIP (N)	Tube of 25	ULQ2003AN	ULQ2003A
			ULQ2004AN	ULQ2004AN
	SOIC (D)	Tube of 40	ULQ2003AD	ULQ2003A
		Reel of 2500	ULQ2003ADR	ULQ2003A
		Tube of 40	ULQ2004AD	ULQ2004A
		Reel of 2500	ULQ2004ADR	ULQ2004A

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.

Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

PRODUCTION DATA information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

Copyright © 2003, Texas Instruments Incorporated

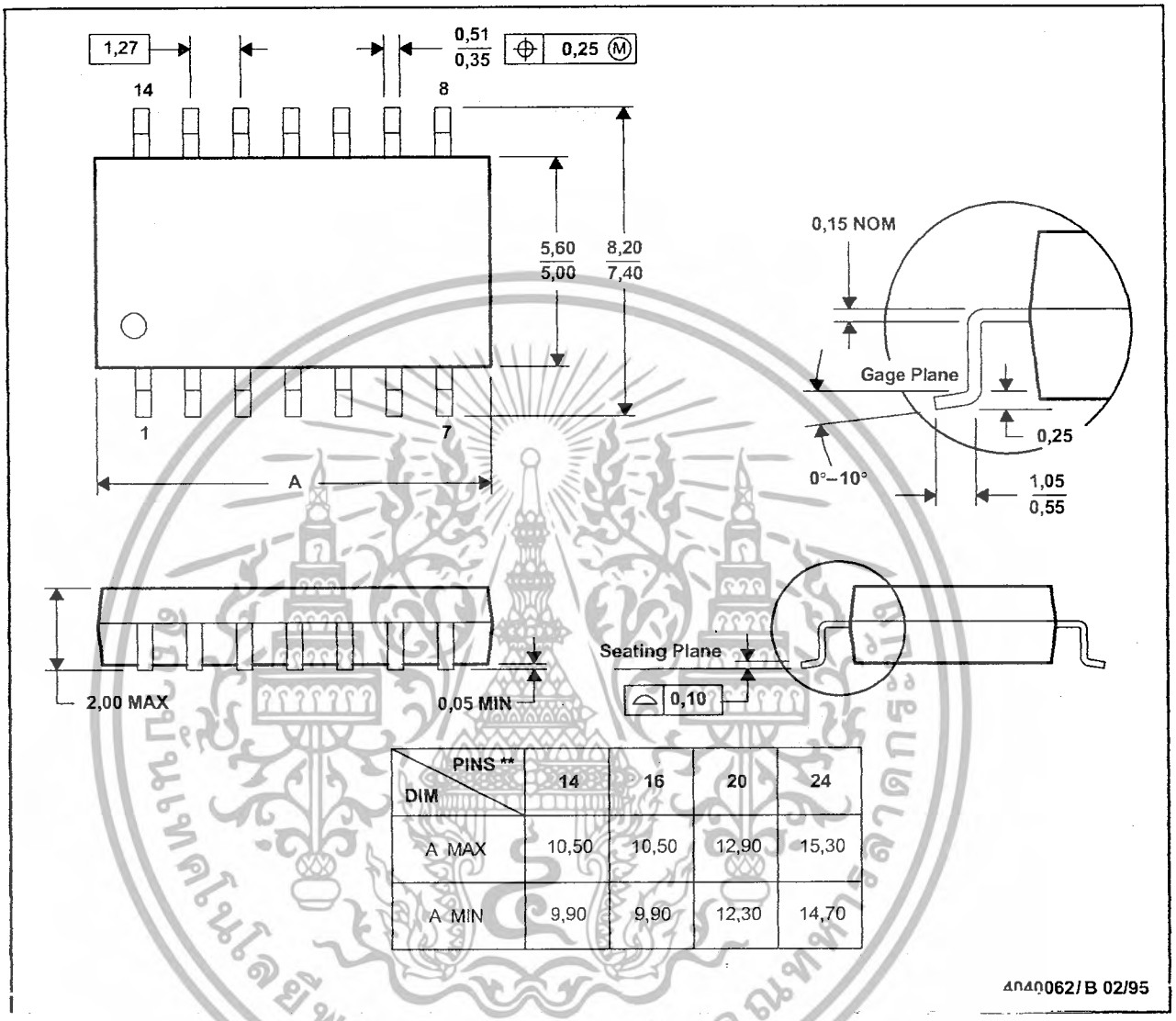
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MSOP002 – OCTOBER 1994

NS (R-PDSO-G**)

PLASTIC SMALL-OUTLINE PACKAGE

14 PINS SHOWN

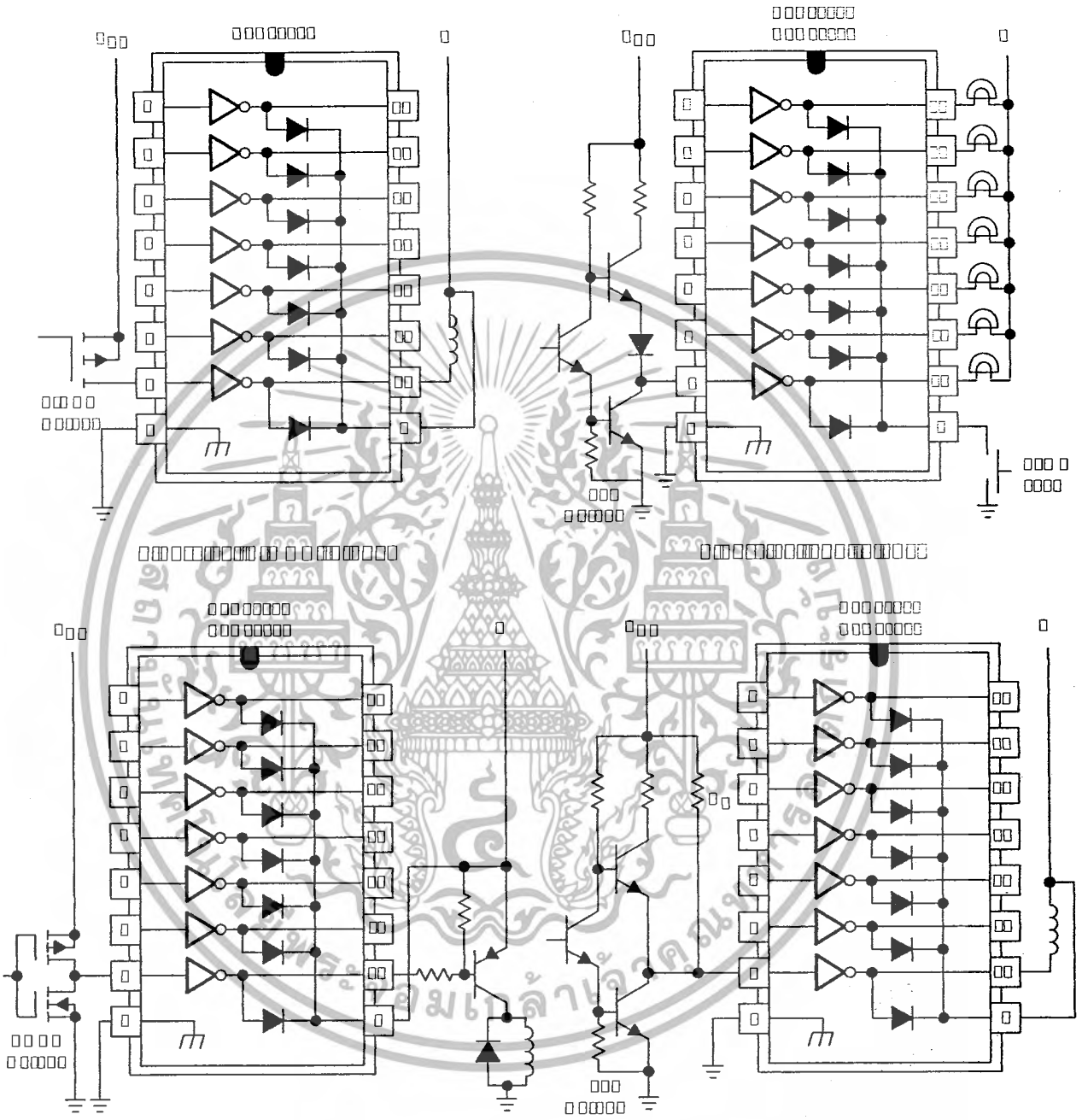


DIM \ PINS **	14	16	20	24
A MAX	10,50	10,50	12,90	15,30
A MIN	9,90	9,90	12,30	14,70

NOTES:

B. This ... may not exceed 0,15.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



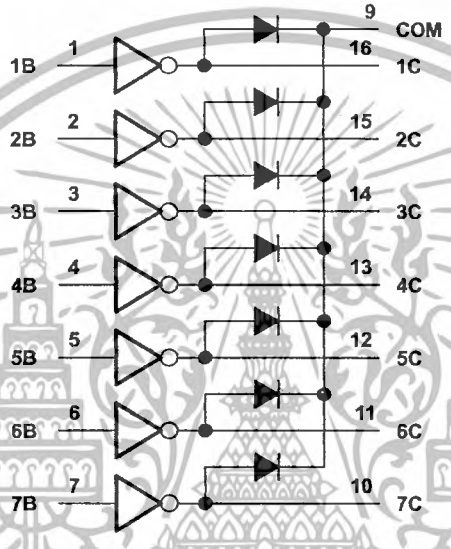
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The ULN2001A is obsolete and is no longer supplied.

description/ordering information (continued)

The ULN2001A is a general-purpose array and can be used with TTL and CMOS technologies. The ULN2002A is designed specifically for use with 14-V to 25-V PMOS devices. Each input of this device has a Zener diode and resistor in series to control the input current to a safe limit. The ULN2003A and ULQ2003A have a 2.7-kΩ series base resistor for each Darlington pair for operation directly with TTL or 5-V CMOS devices. The ULN2004A and ULQ2004A have a 10.5-kΩ series base resistor to allow operation directly from CMOS devices that use supply voltages of 6 V to 15 V. The required input current of the ULN/ULQ2004A is below that of the ULN/ULQ2003A, and the required voltage is less than that required by the ULN2002A.

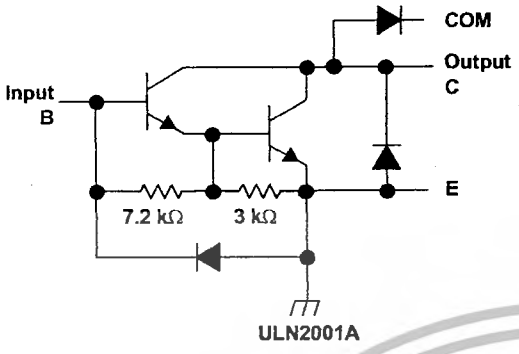
logic diagram



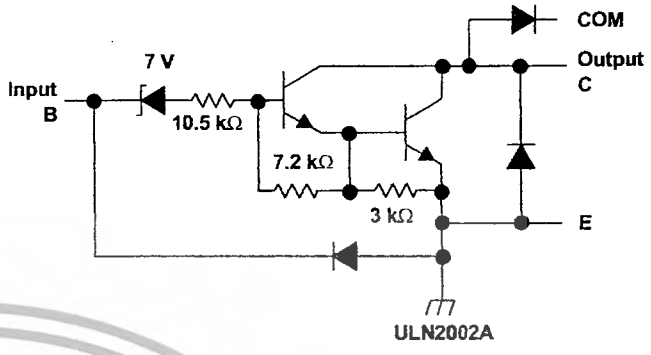
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The ULN2001A is obsolete and is no longer supplied.

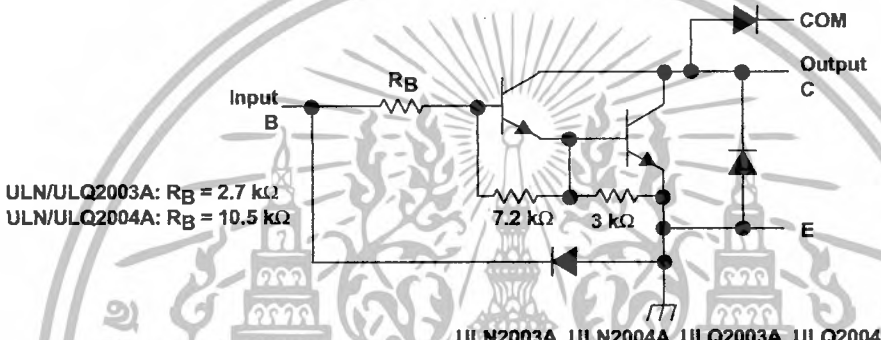
schematics (each Darlington pair)



ULN2001A



ULN2002A



ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A

All resistor values shown are nominal.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

The ULN2001A is obsolete and is no longer supplied.

SLRS027F – DECEMBER 1976 – REVISED FEBRUARY 2003

absolute maximum ratings at 25°C free-air temperature (unless otherwise noted)†

Collector-emitter voltage ..... 50 V
Clamp diode reverse voltage (see Note 1) ..... 50 V
Input voltage, V_I (see Note 1) ..... 30 V
Peak collector current (see Figures 14 and 15) ..... 500 mA
Output clamp current, I_{OK} ..... 500 mA
Total emitter-terminal current ..... –2.5 A
Operating free-air temperature range, T_A, ULN200xA ..... –20°C to 70°C
ULQ200xA ..... –40°C to 85°C
ULQ200xAT ..... –40°C to 105°C
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 2 and 3): D package ..... 73°C/W
N package ..... 67°C/W
NS package ..... 64°C/W
Package thermal impedance, θ_{JC} (see Notes 4 and 5): D package ..... 36°C/W
N package ..... 54°C/W
Operating virtual junction temperature, T_J ..... 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds ..... 260°C
Storage temperature range, T_{stg} ..... –65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES:
1. All voltage values are with respect to the emitter/substrate terminal E, unless otherwise noted.
2. Maximum power dissipation is a function of $T_J(max)$, θ_{JA}, and T_A. The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.
4. Maximum power dissipation is a function of $T_J(max)$, θ_{JC}, and T_C. The maximum allowable power dissipation at any allowable case temperature is $P_D = (T_J(max) - T_C)/\theta_{JC}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.
5. The package thermal impedance is calculated in accordance with MIL-STD-883.

electrical characteristics, T_A = 25°C (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST FIGURE	TEST CONDITIONS		ULN2001A			ULN2002A			UNIT
					MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{I(on)}$	On-state input voltage	6	V_{CE} = 2 V,	I_C = 300 mA						13	V
$V_{CE(sat)}$	Collector-emitter saturation voltage	5	I_I = 250 µA,	I_C = 100 mA		0.9	1.1		0.9	1.1	V
			I_I = 350 µA,	I_C = 200 mA		1	1.3		1	1.3	
			I_I = 500 µA,	I_C = 350 mA		1.2	1.6		1.2	1.6	
V_F	Clamp forward voltage	8	I_F = 350 mA			1.7	2		1.7	2	V
I_{CEX}	Collector cutoff current	1	V_{CE} = 50 V,	I_I = 0			50			50	µA
		2	V_{CE} = 50 V, T_A = 70°C	I_I = 0			100			100	
				V_I = 6 V						500	
$I_{I(off)}$	Off-state input current	3	V_{CE} = 50 V, T_A = 70°C	I_C = 500 µA,	50	65		50	65		µA
I_I	Input current	4	V_I = 17 V						0.82	1.25	mA
I_R	Clamp reverse current	7	V_R = 50 V,	T_A = 70°C			100			100	µA
			V_R = 50 V				50			50	
h_{FE}	Static forward-current transfer ratio	5	V_{CE} = 2 V,	I_C = 350 mA	1000						
C_i	Input capacitance		V_I = 0,	f = 1 MHz		15	25		15	25	pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The ULN2001A is obsolete and is no longer supplied.

electrical characteristics, T_A = 25°C (unless otherwise noted) (continued)

PARAMETER		TEST FIGURE	TEST CONDITIONS		ULN2003A			ULN2004A			UNIT
					MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{I(on)}$	On-state input voltage	6	V_{CE} = 2 V	I_C = 125 mA						5	V
				I_C = 200 mA			2.4			6	
				I_C = 250 mA			2.7				
				I_C = 275 mA						7	
				I_C = 300 mA			3				
				I_C = 350 mA						8	
$V_{CE(sat)}$	Collector-emitter saturation voltage	5	I_I = 250 µA,	I_C = 100 mA		0.9	1.1		0.9	1.1	V
			I_I = 350 µA,	I_C = 200 mA		1	1.3		1	1.3	
			I_I = 500 µA,	I_C = 350 mA		1.2	1.6		1.2	1.6	
I_{CEX}	Collector cutoff current	1	V_{CE} = 50 V,	I_I = 0			50			50	µA
		2	V_{CE} = 50 V, T_A = 70°C	I_I = 0			100			100	
				V_I = 1 V						500	
V_F	Clamp forward voltage	8	I_F = 350 mA			1.7	2		1.7	2	V
$I_{I(off)}$	Off-state input current	3	V_{CE} = 50 V, T_A = 70°C	I_C = 500 µA,	50	65		50	65		µA
I_I	Input current	4	V_I = 3.85 V			0.93	1.35				mA
			V_I = 5 V						0.35	0.5	
			V_I = 12 V						1	1.45	
I_R	Clamp reverse current	7	V_R = 50 V				50			50	µA
			V_R = 50 V,	T_A = 70°C			100			100	
C_i	Input capacitance		V_I = 0,	f = 1 MHz		15	25		15	25	pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A, ULQ2003A, ULQ2004A
HIGH-VOLTAGE HIGH-CURRENT DARLINGTON TRANSISTOR ARRAY

The ULN2001A is obsolete and is no longer supplied.

SLRS027F – DECEMBER 1976 – REVISED FEBRUARY 2003

electrical characteristics over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST FIGURE	TEST CONDITIONS		ULQ2003A			ULQ2004A			UNIT
					MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
$V_{I(on)}$	On-state input voltage	6	V_{CE} = 2 V	I_C = 125 mA						5	V
				I_C = 200 mA			2.7			6	
				I_C = 250 mA			2.9				
				I_C = 275 mA						7	
				I_C = 300 mA			3				
				I_C = 350 mA						8	
$V_{CE(sat)}$	Collector-emitter saturation voltage	5	I_I = 250 µA,	I_C = 100 mA		0.9	1.2		0.9	1.1	V
			I_I = 350 µA,	I_C = 200 mA		1	1.4		1	1.3	
			I_I = 500 µA,	I_C = 350 mA		1.2	1.7		1.2	1.6	
I_{CEX}	Collector cutoff current	1	V_{CE} = 50 V,	I_I = 0			100			50	µA
		2	V_{CE} = 50 V	I_I = 0						100	
				V_I = 1 V						500	
V_F	Clamp forward voltage	8	I_F = 350 mA			1.7	2.3		1.7	2	V
$I_{I(off)}$	Off-state input current	3	V_{CE} = 50 V,	I_C = 500 µA	65			50	65		µA
I_I	Input current	4	V_I = 3.85 V			0.93	1.35				mA
			V_I = 5 V						0.35	0.5	
			V_I = 12 V						1	1.45	
I_R	Clamp reverse current	7	V_R = 50 V,	T_A = 25°C			100			50	µA
			V_R = 50 V				100			100	
C_i	Input capacitance		V_I = 0,	f = 1 MHz		15	25		15	25	pF

switching characteristics, T_A = 25°C

PARAMETER		TEST CONDITIONS	ULN2001A, ULN2002A, ULN2003A, ULN2004A			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
t_{PLH}	Propagation delay time, low- to high-level output	See Figure 9		0.25	1	µs
t_{PHL}	Propagation delay time, high- to low-level output	See Figure 9		0.25	1	µs
V_{OH}	High-level output voltage after switching	V_S = 50 V, I_O ≈ 300 mA, See Figure 10	V_S–20			mV

switching characteristics over recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	ULQ2003A, ULQ2004A			UNIT
			MIN	TYP	MAX	
t_{PLH}	Propagation delay time, low- to high-level output	See Figure 9		1	10	µs
t_{PHL}	Propagation delay time, high- to low-level output	See Figure 9		1	10	µs
V_{OH}	High-level output voltage after switching	V_S = 50 V, I_O ≈ 300 mA, See Figure 10	V_S–500			mV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

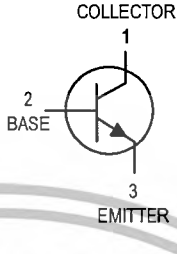
MOTOROLA
SEMICONDUCTOR TECHNICAL DATA

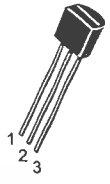
Order this document
by BC337/D

Amplifier Transistors

NPN Silicon

BC337,-16,-25,-40
BC338,-16,-25,-40





CASE 29–04, STYLE 17
TO–92 (TO–226AA)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	BC337	BC338	Unit
Collector–Emitter Voltage	V_{CEO}	45	25	Vdc
Collector–Base Voltage	V_{CBO}	50	30	Vdc
Emitter–Base Voltage	V_{EBO}	5.0		Vdc
Collector Current — Continuous	I_C	800		mAdc
Total Device Dissipation @ T_A = 25°C Derate above 25°C	P_D	625 5.0		mW mW/°C
Total Device Dissipation @ T_C = 25°C Derate above 25°C	P_D	1.5 12		Watt mW/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	−55 to +150		°C

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	200	°C/W
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	83.3	°C/W

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

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS						
Collector–Emitter Breakdown Voltage (I_C = 10 mA, I_B = 0)	BC337 BC338	$V_{(BR)CEO}$	45 25	— —	— —	Vdc
Collector–Emitter Breakdown Voltage (I_C = 100 μA, I_E = 0)	BC337 BC338	$V_{(BR)CES}$	50 30	— —	— —	Vdc
Emitter–Base Breakdown Voltage (I_E = 10 μA, I_C = 0)		$V_{(BR)EBO}$	5.0	—	—	Vdc
Collector Cutoff Current (V_{CB} = 30 V, I_E = 0) (V_{CB} = 20 V, I_E = 0)	 BC337 BC338	I_{CBO}	 — —	 — —	 100 100	nAdc
Collector Cutoff Current (V_{CE} = 45 V, V_{BE} = 0) (V_{CE} = 25 V, V_{BE} = 0)	 BC337 BC338	I_{CES}	 — —	 — —	 100 100	nAdc
Emitter Cutoff Current (V_{EB} = 4.0 V, I_C = 0)		I_{EBO}	—	—	100	nAdc

© Motorola, Inc. 1996

MOTOROLA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

Characteristic		Symbol	Min	Typ	Max	Unit
ON CHARACTERISTICS						
DC Current Gain		h_{FE}				—
(I_C = 100 mA, V_{CE} = 1.0 V)	BC337/BC338		100	—	630	
	BC337–16/BC338–16		100	—	250	
	BC337–25/BC338–25		160	—	400	
	BC337–40/BC338–40		250	—	630	
(I_C = 300 mA, V_{CE} = 1.0 V)			60	—	—	
Base–Emitter On Voltage (I_C = 300 mA, V_{CE} = 1.0 V)		$V_{BE(on)}$	—	—	1.2	Vdc
Collector–Emitter Saturation Voltage (I_C = 500 mA, I_B = 50 mA)		$V_{CE(sat)}$	—	—	0.7	Vdc
SMALL–SIGNAL CHARACTERISTICS						
Output Capacitance (V_{CB} = 10 V, I_E = 0, f = 1.0 MHz)		C_{ob}	—	15	—	pF
Current–Gain — Bandwidth Product (I_C = 10 mA, V_{CE} = 5.0 V, f = 100 MHz)		f_T	—	210	—	MHz

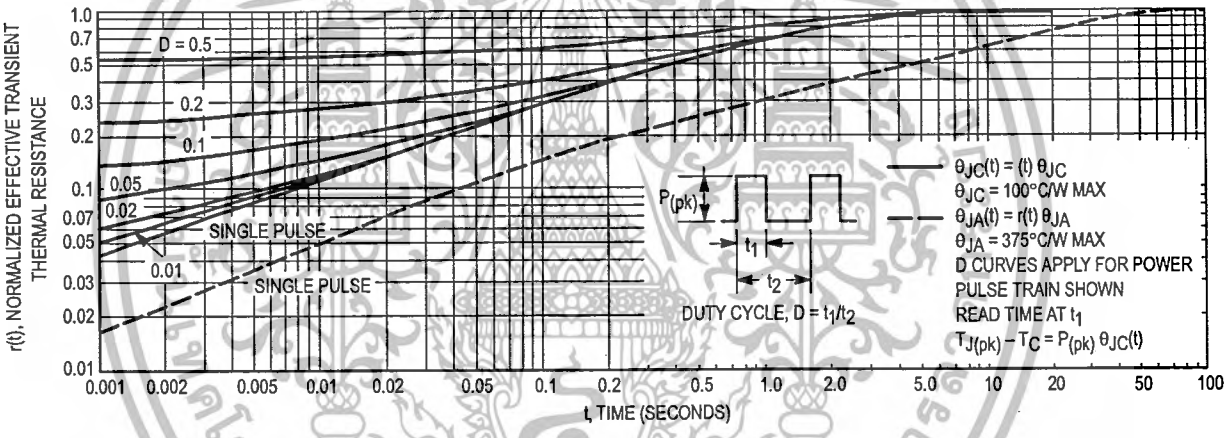


Figure 1. Thermal Response

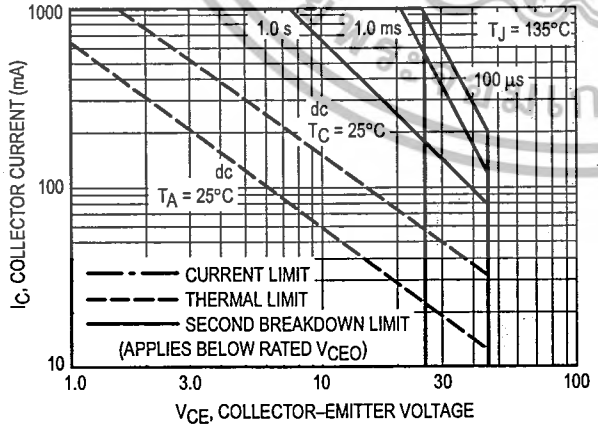


Figure 2. Active Region — Safe Operating Area

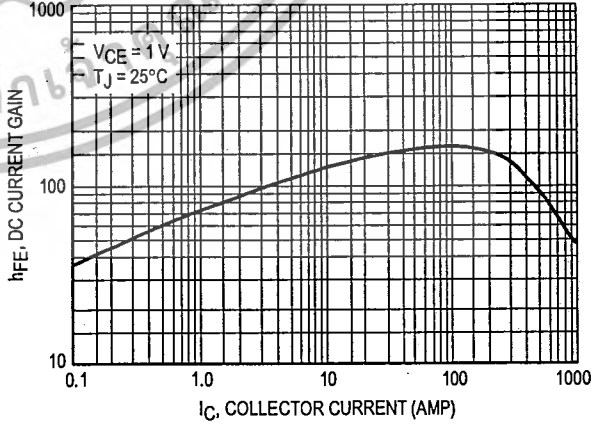


Figure 3. DC Current Gain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

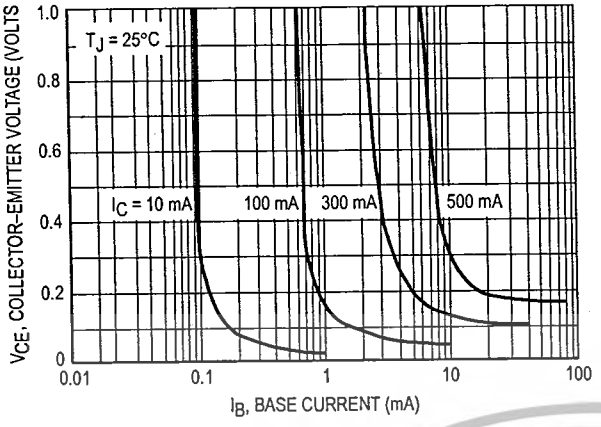


Figure 4. Saturation Region

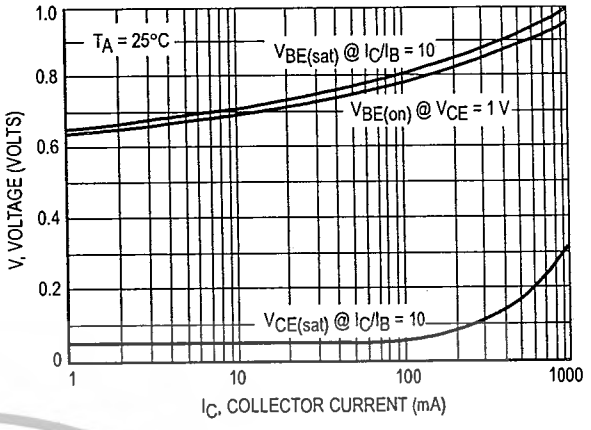


Figure 5. "On" Voltages

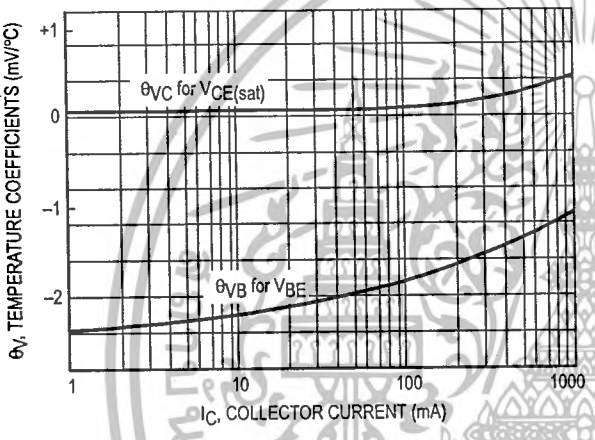


Figure 6. Temperature Coefficients

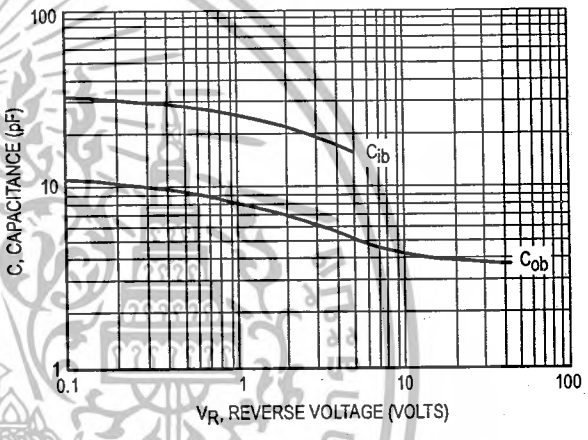
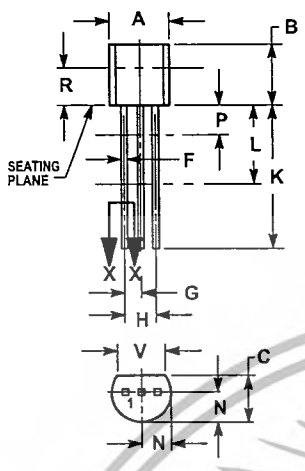


Figure 7. Capacitances

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

BC337,-16,-25,-40 BC338,-16,-25,-40

PACKAGE DIMENSIONS



NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
3. CONTOUR OF PACKAGE BEYOND DIMENSION R IS UNCONTROLLED.
4. DIMENSION F APPLIES BETWEEN P AND L. DIMENSION D AND J APPLY BETWEEN L AND K MINIMUM. LEAD DIMENSION IS UNCONTROLLED IN P AND BEYOND DIMENSION K MINIMUM.

	INCHES		MILLIMETERS	
DIM	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.175	0.205	4.45	5.20
B	0.170	0.210	4.32	5.33
C	0.125	0.165	3.18	4.19
D	0.016	0.022	0.41	0.55
F	0.016	0.019	0.41	0.48
G	0.045	0.055	1.15	1.39
H	0.095	0.105	2.42	2.66
J	0.015	0.020	0.39	0.50
K	0.500	—	12.70	—
L	0.250	—	6.35	—
N	0.080	0.105	2.04	2.66
P	—	0.100	—	2.54
R	0.115	—	2.93	—
V	0.135	—	3.43	—

STYLE 17:
PIN 1. COLLECTOR
2. BASE
3. EMITTER

CASE 029–04
(TO–226AA)
ISSUE AD

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and Ⓜ are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:
USA/EUROPE: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036. 1–800–441–2447

MFAX: RMFAX0@email.sps.mot.com – TOUCHTONE (602) 244–6609
INTERNET: http://Design–NET.com

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; Tatsumi–SPD–JLDC, Toshikatsu Otsuki,
6F Seibu–Butsuryu–Center, 3–14–2 Tatsumi Koto–Ku, Tokyo 135, Japan. 03–3521–8315

HONG KONG: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; 8B Tai Ping Industrial Park,
51 Ting Kok Road, Tai Po, N.T., Hong Kong. 852–26629298

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

NPN power transistors | BD135; BD137; BD139

FEATURES

- High current (max. 1.5 A)
- Low voltage (max. 80 V).

APPLICATIONS

- Driver stages in hi-fi amplifiers and television circuits.

DESCRIPTION

NPN power transistor in a TO-126; SOT32 plastic package. PNP complements: BD136, BD138 and BD140.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	emitter
2	collector, connected to metal part of mounting surface
3	base

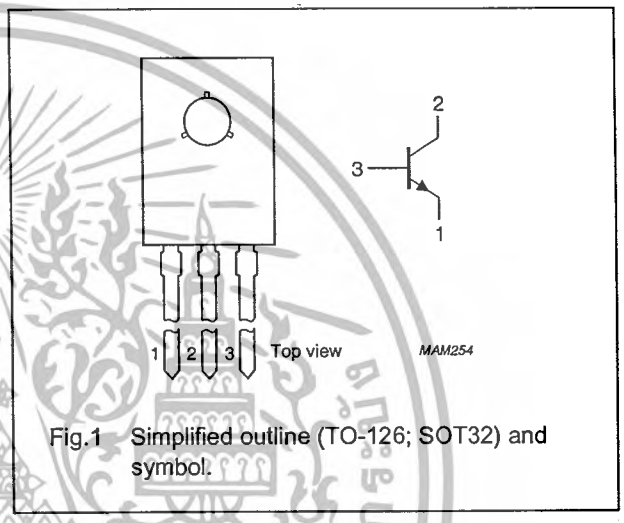


Fig.1 Simplified outline (TO-126; SOT32) and symbol.

LIMITING VALUES

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

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{CBO}	collector-base voltage	open emitter			
	BD135		–	45	V
	BD137		–	60	V
	BD139		–	100	V
V_{CEO}	collector-emitter voltage	open base			
	BD135		–	45	V
	BD137		–	60	V
	BD139		–	80	V
V_{EBO}	emitter-base voltage	open collector	–	5	V
I_C	collector current (DC)		–	1.5	A
I_{CM}	peak collector current		–	2	A
I_{BM}	peak base current		–	1	A
P_{tot}	total power dissipation	$T_{mb} \leq 70$ °C	–	8	W
T_{stg}	storage temperature		–65	+150	°C
T_j	junction temperature		–	150	°C
T_{amb}	operating ambient temperature		–65	+150	°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THERMAL CHARACTERISTICS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	VALUE	UNIT
$R_{th\ j\text{-}a}$	thermal resistance from junction to ambient	note 1	100	K/W
$R_{th\ j\text{-}mb}$	thermal resistance from junction to mounting base		10	K/W

Note

1. Refer to TO-126; SOT32 standard mounting conditions.

CHARACTERISTICS

T_j = 25 °C unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
I_{CBO}	collector cut-off current	I_E = 0; V_{CB} = 30 V	–	–	100	nA
		I_E = 0; V_{CB} = 30 V; T_j = 125 °C	–	–	10	µA
I_{EBO}	emitter cut-off current	I_C = 0; V_{EB} = 5 V	–	–	100	nA
h_{FE}	DC current gain	V_{CE} = 2 V; (see Fig.2)				
		I_C = 5 mA	40	–	–	
		I_C = 150 mA	63	–	250	
		I_C = 500 mA	25	–	–	
	DC current gain BD135-10; BD137-10; BD139-10 BD135-16; BD137-16; BD139-16	I_C = 150 mA; V_{CE} = 2 V; (see Fig.2)	63 100	– –	160 250	
V_{CEsat}	collector-emitter saturation voltage	I_C = 500 mA; I_B = 50 mA	–	–	0.5	V
V_{BE}	base-emitter voltage	I_C = 500 mA; V_{CE} = 2 V	–	–	1	V
f_T	transition frequency	I_C = 50 mA; V_{CE} = 5 V; f = 100 MHz	–	190	–	MHz
$\frac{h_{FE1}}{h_{FE2}}$	DC current gain ratio of the complementary pairs	$\lvert I_C \rvert$ = 150 mA; $\lvert V_{CE} \rvert$ = 2 V	–	1.3	1.6	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

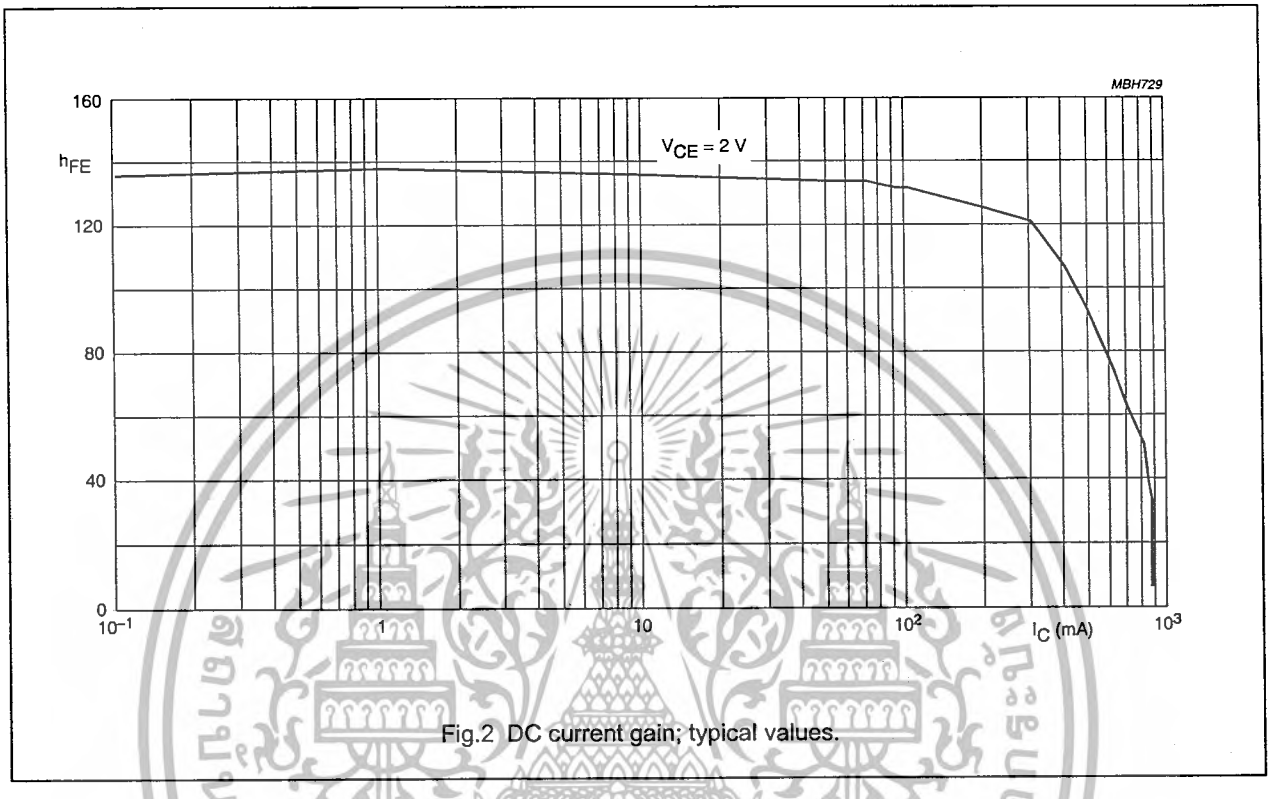
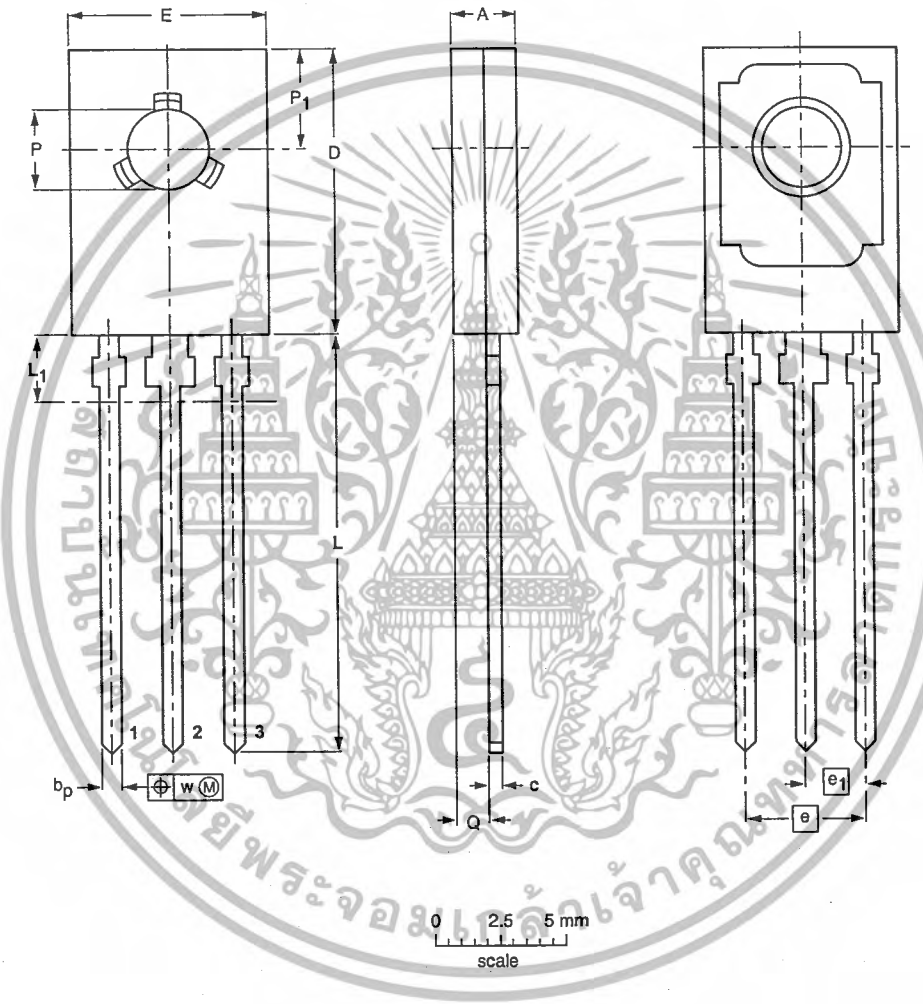


Fig.2 DC current gain; typical values.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PACKAGE OUTLINE

Plastic single-ended leaded (through hole) package; mountable to heatsink, 1 mounting hole; 3 leads SOT32



DIMENSIONS (mm are the original dimensions)

UNIT	A	b_p	c	D	E	e	e_1	L	L_1(1) max	Q	P	P_1	w
mm	2.7 2.3	0.88 0.65	0.60 0.45	11.1 10.5	7.8 7.2	4.58	2.29	16.5 15.3	2.54	1.5 0.9	3.2 3.0	3.9 3.6	0.254

Note

1. Terminal dimensions within this zone are uncontrolled to allow for flow of plastic and terminal irregularities.

OUTLINE VERSION	REFERENCES				EUROPEAN PROJECTION	ISSUE DATE
	IEC	JEDEC	EIAJ			
SOT32		TO-126				97-03-04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้