

การออกแบบและพัฒนาชุดฝึกทดลองไมโครคอมพิวเตอร์  
โดยใช้ไอพีเอ็มพีซี



นายทวีชัย เจริญเศรษฐศิลป์

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

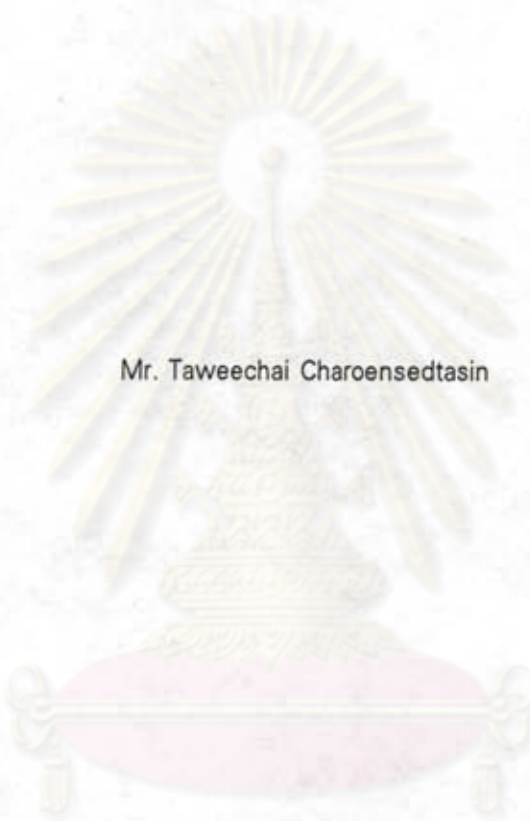
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2539

ISBN 974-634-551-6

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Design and Development of an IBM PC Based Microcomputer Training Set



Mr. Tawechai Charoensedtasin

ศูนย์วิทยทรัพยากร

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

for the Degree of Master of Engineering

Department of Electrical Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-634-551-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การออกแบบและพัฒนาชุดฝึกทดลองไมโครคอมพิวเตอร์โดยใช้  
ไอพีเอ็มพีซี

โดย

นายทวีชัย เจริญเศรษฐศิลป์

ภาควิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

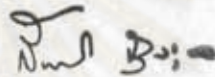
อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร. มงคล เดชนครินทร์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

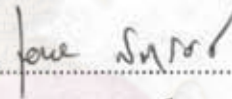
รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวกรรมานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

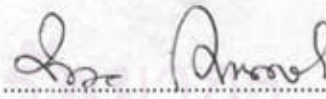


.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สันติ ดุงสุวรรณ)

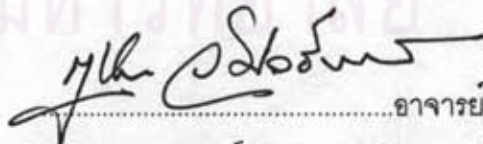
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. เอกชัย สีสารค์)



.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ศาสตราจารย์ ดร. มงคล เดชนครินทร์)



.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์ กฤษดา วิศวกรรมานนท์)



.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. โคทม อารียา)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

ทวีชัย เจริญเศรษฐศิลป์ : การออกแบบและพัฒนาชุดฝึกทดลองไมโครคอมพิวเตอร์โดยใช้  
ไอบีเอ็มพีซี (DESIGN AND DEVELOPMENT OF AN IBM PC BASED MICROCOMPUTER  
TRAINING SET) อาจารย์ที่ปรึกษา : ศ.ดร.มงคล เดชนครินทร์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม :  
รศ.กฤษดา วิศวธีรานนท์ , 320 หน้า. ISBN 974-634-551-6

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อออกแบบและสร้างชุดฝึกทดลองไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการ  
เรียนการสอนวิชาปฏิบัติการไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งผู้เรียนจะได้เรียนรู้วิธีการนำไมโครคอมพิวเตอร์ไปใช้ใน  
งานควบคุม เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้คือเครื่องไอบีเอ็มพีซีหรือเครื่องพีซีทั่วไปและใช้ภาษา C ในการควบคุม  
ชุดฝึกทดลองที่สร้างขึ้นมีลักษณะเป็นมอดูลย่อย ๆ ใช้งานโดยต่อเข้ากับพอร์ตเครื่องพิมพ์ของไอบีเอ็มพีซี จึง  
ทำให้มีแนวโน้มในการใช้งานได้ต่อไปในอนาคต การทดลองรวมทั้งหมดมี 12 การทดลอง ผู้เรียนจะได้เรียนรู้  
หลักการพื้นฐานที่ใช้ในงานควบคุมคือ การรับส่งสัญญาณดิจิทัล การแปลงสัญญาณจากแอนะล็อกเป็นดิ  
จิทัล การแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นแอนะล็อก วงจรตัวจับเวลา/ตัวนับ การอินเตอร์รัปต์ การสื่อสาร  
ข้อมูล การเขียนโปรแกรมในงานควบคุม และการประยุกต์ในโครงการต่าง ๆ

ชุดฝึกทดลองนี้ทำงานในช่วงความถี่ 30 กิโลเฮิร์ตซ์ วัดความเร็วโดยใช้เครื่องพีซี 386-40  
เมกะเฮิร์ตซ์ โดยวัดจากความเร็วในการปฏิบัติคำสั่งเขียนอ่านข้อมูล ซึ่งมีแนวโน้มที่จะพัฒนาให้สูงขึ้นไปได้  
อีก ชุดฝึกทดลองทำหน้าที่ขยายพอร์ตเครื่องพิมพ์ให้กลายเป็นพอร์ตขนาด 8 บิต จำนวน 256 พอร์ตพร้อม  
สัญญาณการอินเตอร์รัปต์ 1 ระดับ จึงสามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการออกแบบและพัฒนาระบบ  
ไมโครโปรเซสเซอร์ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมไฟฟ้า  
ปีการศึกษา ..... 2538

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

## : MAJOR  
KEY WORD:

##C515752 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING  
KEY WORD : MICROCOMPUTER/ TRAINING SET/ IBM PC/ C PROGRAMMING  
LANGUAGE/ LABORATORY

TAWEECHAI CHAROENSEDTASIN : DESIGN AND DEVELOPMENT OF  
AN IBM PC BASED MICROCOMPUTER TRAINING SET.

THESIS ADVISOR : PROF.MONGKOL DEJNAKARINTRA , PH.D.,

THESIS COADVISOR : ASSO.PROF.KRISADA VISAVATEERANON,  
320 pp. ISBN 974-634-551-6

The objective of this research is to design and construct a microcomputer training set used for teaching a microcomputer laboratory. The students can use the training set to learn how to use microcomputers for a control system. The microcomputer used with this training set can be an IBM PC or a PC-compatible computer.

The C programming language is chosen. The training set is divided into modules and is used by connecting it to the printer port of the IBM PC. This can enhance its use in the future. It is composed of twelve experiments. The students will learn the fundamental methods used in control systems, namely, digital input/output, analog to digital conversion, digital to analog conversion, timer/counter, interrupt, data communication, and programming in control system, and can apply these methods to some other projects.

The training set speed is about 30 kHz measured with a 386-40 MHz microcomputer, which determines the execution speed of data input/output instructions; the speed can be faster with further development. The training set expands the single printer port to 256 ports of 8-bit data, with an interrupt request signal, so it can be used as a development tool for a microprocessor system.

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า

ปีการศึกษา..... 2538

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. มงคล เดชนครินทร์ และรองศาสตราจารย์ กฤษดา วิเศษธีรานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อมูลที่สำคัญอย่างยิ่งที่ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช) ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณผู้พิมพ์ต้นฉบับวิทยานิพนธ์นี้ทุกท่าน และนิสิตปริญญาโทห้องปฏิบัติการออกแบบอิเล็กทรอนิกส์ (EDL) ที่ได้ทดลองทำการทดลองในเนื้อหาของงานวิจัยนี้

ท้ายนี้ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้อำลัใจและสนับสนุนข้าพเจ้าเสมอในการศึกษา

ทวีชัย เจริญเศรษฐศิลป์



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญภาพ.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความนำ.....	1
1.1.1 ระบบไมโครโปรเซสเซอร์กับงานการควบคุม.....	1
1.1.2 ชุดฝึกทดลอง.....	2
1.1.3 ความเป็นมา.....	2
1.2 ประเภทของชุดฝึกทดลอง.....	6
1.2.1 ชุดฝึกทดลองไมโครโปรเซสเซอร์บอร์ดเดี่ยว.....	6
1.2.2 ชุดฝึกทดลองไมโครคอมพิวเตอร์.....	7
1.3 วิเคราะห์ข้อดี-ข้อเสียของชุดฝึกทดลอง.....	9
1.3.1 กลุ่มของชุดฝึกทดลองไมโครโปรเซสเซอร์บอร์ดเดี่ยว.....	9
1.3.2 กลุ่มของชุดฝึกทดลองไมโครคอมพิวเตอร์.....	10
1.4 คุณสมบัติของชุดฝึกทดลองที่จะพัฒนา.....	11
1.5 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	12
1.6 ขอบเขตของงานวิจัย.....	12
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	13
1.8 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	13
1.9 การจัดบทตอนของวิทยานิพนธ์.....	14
บทที่ 2 แนวความคิดของชุดฝึกทดลอง.....	15
2.1 โครงสร้างบทเรียน.....	15
2.2 วัตถุประสงค์ของการเรียนรู้.....	17

2.3	แผนการสอน.....	17
2.4	แนวความคิดของระบบ.....	20
2.4.1	เมนบอร์ด.....	20
2.4.1.1	ไดอะแกรมการจัดจ้งเวลาของระบบบัส.....	22
2.4.1.2	ทฤษฎีพอร์ตนาน (Parallel Port Theory).....	24
2.4.1.3	บล็อกไดอะแกรมของเมนบอร์ด.....	29
2.4.1.4	แนวทางการออกแบบเมนบอร์ด.....	34
2.4.2	มอดูล.....	35
2.4.3	โปรแกรมควบคุมการทำงาน.....	37
บทที่ 3 หลักการทำงานของวงจร.....		39
3.1	เมนบอร์ด.....	39
3.1.1	หลักการทำงาน.....	39
3.1.2	การสร้างสัญญาณควบคุม.....	42
3.1.3	ไฟเลี้ยงของวงจร.....	45
3.1.4	การเขียนซอฟต์แวร์ควบคุม.....	46
3.2	มอดูลพอร์ต I/O.....	48
3.2.1	ส่วนของวงจรการถอดรหัสแอดเดรส.....	48
3.2.2	ส่วนของวงจรพอร์ตสัญญาณขาเข้า.....	48
3.2.3	ส่วนของวงจรพอร์ตสัญญาณขาออก.....	49
3.3	มอดูลสวิตช์.....	49
3.3.1	วงจรถอดรหัสแอดเดรส.....	49
3.3.2	วงจรขับ LED.....	50
3.3.3	วงจรสวิตช์.....	51
3.3.4	วงจรขับรีเลย์และทรานซิสเตอร์.....	51
3.4	มอดูล ตัวจับเวลา/ตัวนับ.....	52
3.4.1	วงจรถ่ายทอดสัญญาณนาฬิกา.....	53
3.4.2	วงจรถอดรหัสแอดเดรส.....	53
3.4.3	วงจรควบคุม.....	54



3.4.4	วงจรรอ่านสถานะสัญญาณขาออกของ 8253.....	57
3.5	มอดูล ADAC.....	58
3.5.1	วงจร A/D.....	58
3.5.2	วงจร D/A.....	64
3.5.3	วงจรถอดรหัสแอดเดรส.....	65
3.6	มอดูลการสื่อสารแบบอนุกรม.....	66
3.7	มอดูลการสื่อสารแบบขนาน.....	71
3.8	มอดูลแสดงผลแบบแอลอีดีขนาด 8x12 จุด.....	74
3.9	มอดูลสเตปปีงมอเตอร์.....	76
3.10	มอดูลการควบคุมมอเตอร์.....	77
3.10.1	ส่วนของวงจรมอเตอร์.....	77
3.10.2	ส่วนของการวัดความเร็ว.....	77
3.11	มอดูลขยายเสียง.....	78
3.12	ส่วนของโปรแกรมควบคุม.....	79
บทที่ 4	การสร้างเครื่องต้นแบบและการทดสอบการทำงาน.....	84
4.1	การสร้างเครื่องต้นแบบ.....	84
4.2	ผลการวัดคุณสมบัติของเครื่อง.....	86
4.2.1	เมนบอร์ด.....	86
4.2.2	มอดูล.....	91
4.3	การทำการทดลอง.....	92
บทที่ 5	บทสรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	93
5.1	บทสรุปงานวิจัย.....	93
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	94
5.2.1	การเพิ่มความเร็วในการทำงานของเมนบอร์ด.....	94
5.2.2	การสร้างบอร์ดอินเตอร์เฟซหรือมอดูลเพิ่มเติม.....	94
5.2.3	การใช้ภาษาอื่น ๆ ในการทดลอง.....	94
5.2.4	การเพิ่มแผ่นเอาต์ของระบบบัค.....	95

5.2.5	การปรับปรุงวิธีการจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่ชุดฝึกทดลอง.....	95
5.2.6	การพัฒนาบทเรียนทฤษฎีและใบงานการทดลอง.....	95
5.2.7	การพัฒนาหนังสือที่รวบรวมการเขียนโปรแกรมภาษา C ในงานควบคุม .....	96
รายการอ้างอิง.....		97
ภาคผนวก.....		101
ภาคผนวก ก	ใบงานการทดลอง.....	102
ภาคผนวก ข	คู่มือการเขียนโปรแกรมภาษา C .....	173
ภาคผนวก ค	คู่มือการเขียนโปรแกรมภาษา C สำหรับงานควบคุม.....	222
ภาคผนวก ง	คู่มือการใช้งานชุดฝึกทดลอง.....	270
ภาคผนวก จ	แผนภาพวงจรของชุดฝึกทดลอง.....	307
ประวัติผู้เขียน.....		320

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	โครงสร้างการทดลอง.....15
ตารางที่ 2.2	ชื่อสัญญาณของพอร์ตขนานของ IBM PC และการต่อเข้ากับคอนเนกเตอร์แบบ DB25 และ Centronix36.....27
ตารางที่ 3.1	ตรรกของสัญญาณควบคุมที่สถานะต่าง ๆ ของเมนบอร์ด.....42
ตารางที่ 3.2	สัญญาณที่ต่อออกจากพอร์ตอนุกรมของเครื่อง IBM PC.....67
ตารางที่ 4.1	ระบบบัลที่ใช้ในเครื่อง.....86
ตารางที่ 4.2	การเปรียบเทียบความเร็วในการ IN, OUT ของเครื่อง PC แต่ละรุ่น.....88
ตารางที่ 4.3	คุณสมบัติของไอซีตระกูล HCT.....90
ตารางที่ 4.4	ระดับแรงดันของบัล.....91



ศูนย์วิทยุทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 1.1	ชุดฝึกทดลอง ET-BOARD ของบริษัทอีทีที.....	3
รูปที่ 1.2	ชุดฝึกทดลอง SDA-85.....	4
รูปที่ 1.3	ชุดฝึกทดลอง Multi Interface Board ของบริษัทแอนนาดิจิต.....	4
รูปที่ 1.4	ชุดฝึกทดลอง CIC-100.....	5
รูปที่ 1.5	ชุดฝึกทดลอง ICS.....	5
รูปที่ 1.6	ผลงานสุดท้ายตามเป้า.....	13
รูปที่ 2.1	แผนภาพการจัดจ้งหะเวลาของบัสไซเคิลการอ่านข้อมูล.....	23
รูปที่ 2.2	การจัดจ้งหะเวลาสำหรับบัสไซเคิลการเขียนข้อมูล.....	24
รูปที่ 2.3	พอร์ต A ของชุดพอร์ตขนานของ IBM PC.....	25
รูปที่ 2.4	พอร์ต B ของชุดพอร์ตขนานของ IBM PC.....	25
รูปที่ 2.5	พอร์ต C ของชุดพอร์ตขนานของ IBM PC.....	26
รูปที่ 2.6	แสดงคอนเนกเตอร์แบบ DB 25 ตัวเมีย.....	27
รูปที่ 2.7	วงจรพอร์ตขนาน.....	28
รูปที่ 2.8	บล็อกไดอะแกรมของเมนบอร์ด.....	29
รูปที่ 2.9	ไดอะแกรมการจัดจ้งหะเวลาของสัญญาณควบคุม.....	33
รูปที่ 2.10	การต่อมอดูลต่าง ๆ เข้าด้วยกัน.....	37
รูปที่ 3.1	วงจรแยกข้อมูลใน Data0-Data7.....	39
รูปที่ 3.2	สัญญาณของ Data4-Data7.....	40
รูปที่ 3.3	สัญญาณของ Data0-Data3 และ Data7.....	41
รูปที่ 3.4	วงจรหน่วงเวลาสัญญาณ.....	41
รูปที่ 3.5	วงจรหน่วงเวลาสัญญาณขาขึ้น.....	41
รูปที่ 3.6	แผนภาพการจัดจ้งหะเวลาของสัญญาณควบคุม และ ชื่อสถานะ.....	43
รูปที่ 3.7	วงจรเชิงผสมที่ใช้สร้างสัญญาณควบคุม.....	45
รูปที่ 3.8	วงจรจ่ายไฟของเมนบอร์ด.....	46
รูปที่ 3.9	ขั้นตอนการรับข้อมูลเข้า.....	46
รูปที่ 3.10	ขั้นตอนการส่งข้อมูลออก.....	47
รูปที่ 3.11	ขั้นตอนการส่งแอดเดรสออก.....	47

รูปที่ 3.12	วงจรถอดรหัสแอดเดรสของมอดูลพอร์ต I/O.....	48
รูปที่ 3.13	วงจรพอร์ตสัญญาณขาเข้า.....	48
รูปที่ 3.14	วงจรพอร์ตสัญญาณขาออก.....	49
รูปที่ 3.15	วงจรถอดรหัสแอดเดรสของมอดูลสวิตช์.....	50
รูปที่ 3.16	วงจรขับ LED.....	50
รูปที่ 3.17	วงจรสวิตช์.....	51
รูปที่ 3.18	วงจรขับรีเลย์ และทรานซิสเตอร์.....	52
รูปที่ 3.19	วงจรถ่ายสัญญาณนาฬิกา.....	53
รูปที่ 3.20	วงจรถอดรหัสแอดเดรสของมอดูล T/C.....	54
รูปที่ 3.21	บิตควบคุมการป้อนสัญญาณ ให้กับขา CLK ของ 8253.....	54
รูปที่ 3.22	วงจรควบคุมการป้อนสัญญาณให้กับขา CLK ของ 8253.....	55
รูปที่ 3.23	บิตควบคุมการป้อนสัญญาณ ให้กับขา gate ของ 8253 โดยสัญญาณภายนอก .....	55
รูปที่ 3.24	บิตควบคุมการป้อนสัญญาณ ให้กับขา gate ของ 8253 โดยซอฟต์แวร์ .....	56
รูปที่ 3.25	วงจรควบคุมการป้อนสัญญาณให้กับขา gate ของ 8253.....	56
รูปที่ 3.26	บิตควบคุมการอินเทอร์รัปต์.....	56
รูปที่ 3.27	วงจรร้องขออินเทอร์รัปต์.....	57
รูปที่ 3.28	การเคลียร์สัญญาณการร้องขออินเทอร์รัปต์.....	57
รูปที่ 3.29	ส่วนอ่านสถานะสัญญาณออกของ 8253.....	58
รูปที่ 3.30	วงจรรอ่านสถานะของขา Out ของ 8253.....	58
รูปที่ 3.31	วงจรของ ADC0804.....	59
รูปที่ 3.32	วงจรพอด.....	59
รูปที่ 3.33	วงจรไมโครโฟน.....	60
รูปที่ 3.34	วงจรตัวอุณหภูมิ.....	60
รูปที่ 3.35	วงจรตัววัดแสง.....	60
รูปที่ 3.36	วงจรปรับแต่งสัญญาณภายนอก.....	61
รูปที่ 3.37	บิตควบคุมการเลือกแชนแนลของสัญญาณแอนะล็อก.....	62
รูปที่ 3.38	วงจรเลือกแชนแนลของสัญญาณแอนะล็อก.....	62

รูปที่ 3.39	ปิดควบคุม ในส่วนการเลือกวิธีเริ่มการแปลงผัน.....	63
รูปที่ 3.40	วงจรเลือกวิธีการเริ่มการแปลงผัน ของ A/D.....	63
รูปที่ 3.41	ปิดควบคุมการอินเทอร์รัปต์.....	63
รูปที่ 3.42	รีจิสเตอร์ควบคุมของ A/D.....	64
รูปที่ 3.43	ช่วงของกระแสขาออกของ DAC0808.....	64
รูปที่ 3.44	วงจรของ DAC0808.....	65
รูปที่ 3.45	แอดเดรสพอร์ตของวงจร D/A.....	65
รูปที่ 3.46	วงจรถอดรหัสแอดเดรสของมอดูล ADAC.....	65
รูปที่ 3.47	วงจรของพอร์ตอนุกรมบนเครื่อง IBM PC.....	68
รูปที่ 3.48	วงจร LED แสดงสถานะของสัญญาณ.....	69
รูปที่ 3.49	วงจรของมอดูลการสื่อสารแบบอนุกรม.....	70
รูปที่ 3.50	การใช้สายภายในของสาย LapLink.....	72
รูปที่ 3.51	วงจรมอดูลการสื่อสารแบบขนาน.....	73
รูปที่ 3.52	วงจรมอดูล 8x12 LED Display.....	75
รูปที่ 3.53	วงจรของมอดูลสเตปปีงมอเตอร์.....	76
รูปที่ 3.54	วงจรของมอดูลการควบคุมมอเตอร์.....	78
รูปที่ 3.55	วงจรมอดูลขยายเสียง.....	78
รูปที่ 4.1	ชุดฝึกทดลองต้นแบบที่สร้างขึ้น.....	85
รูปที่ 4.2	ชุดฝึกทดลองขณะใช้งาน.....	85
รูปที่ 4.3	โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบความเร็วในการอ่านข้อมูล.....	87
รูปที่ 4.4	โปรแกรมที่ใช้ในการทดสอบความเร็วในการเขียนข้อมูล.....	87
รูปที่ 4.5	แผนภาพการจัดจังหวะเวลาของระบบบัส.....	88