

การพัฒนาระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงตัวเลขชนิดส่งข้อมูลแบบไร้สาย



นาย สุทธิเกียรติ ชลลภ

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

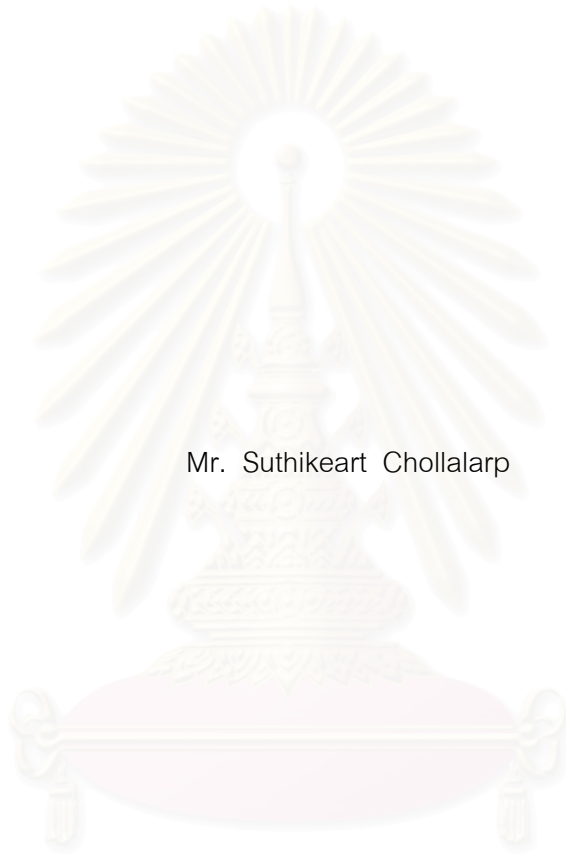
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN xxx-xxx-xxx-x

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A WIRELESS PERSONAL DIGITAL DOSIMETER SYSTEM



Mr. Suthikeart Chollalarp

สถาบันวิทยบริการ

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Nuclear Technology

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN xxx-xxx-xxx-x

สุทธิเกียรติ ชลลาก : การพัฒนาระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงตัวเลข
ชนิดส่งข้อมูลแบบไร้สาย. (DEVELOPMENT OF A WIRELESS PERSONAL DIGITAL
DOSIMETER SYSTEM) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. อรรถพร ภัทรสมันต์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ. เดโช
ทองอร่าม, 139 หน้า. ISBN 974-13-1086-2.

ระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแสดงผลเชิงตัวเลขชนิดส่งข้อมูลระยะไกลได้รับการ
พัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับงานด้านความปลอดภัยทางรังสี ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ส่วน ได้แก่ เครื่องวัด
ปริมาณรังสีประจำบุคคลที่ออกแบบให้ทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 แสดงผลเชิง
ตัวเลขในย่าน 0-999 mR สามารถส่งข้อมูลปริมาณรังสีพร้อมรหัสประจำเครื่องซึ่งแปรเปลี่ยนได้
16 ค่า ด้วยเครื่องส่งวิทยุย่านความถี่ UHF ขนาดกำลังส่ง 0.25 mW อีกส่วนหนึ่งเป็นระบบรับข้อ
มูลปริมาณรังสีส่งให้ชุดประมวลผลข้อมูลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมควบคุมการทำงาน
ออกแบบให้รับข้อมูลในแบบโพลลิง (polling) เพื่อวัดปริมาณรังสีสะสมของผู้ปฏิบัติงานได้พร้อม
กัน 16 ช่องสัญญาณ ผลการทดสอบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลพบว่าสามารถวัดปริมาณ
รังสีได้อย่างถูกต้องโดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 5\%$ และส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุในรัศมี 18
เมตร โดยไม่พบข้อผิดพลาด



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
สาขาวิชา นิวเคลียร์เทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต.....สุทธิเกียรติ ชลลาก.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4070467021 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: DOSIMETER / RADIATION SAFETY / DIGITAL DOSIMETER / WIRELESS / INTERFACE

SUTHIKEART CHOLLALARP : DEVELOPMENT OF A WIRELESS PERSONAL
DIGITAL DOSIMETER SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSIST. PROF. ATTAPORN
PATTARSUMUNT, THESIS CO-ADVISOR : DECHO TONG-ARAM, 139 pp. ISBN
974-13-1086-2.

A wireless personal digital dosimeter system was developed for radiation safety applications. The system consists of 2 parts: a microcontroller based (PIC16F84) personal digital dosimeter with 0-999 mR range, including the data encoder for 16 sets selectable identification code with a built in 0.25 mW UHF data transmitter. The other part is a data receiver in conjunction with microcomputer base data assessing. The control program was designed for polling type data seeking which 16 channel of receiving data can be assessed simultaneously. Results of operation testing shows that the personal dosimeter has a capability to measure cumulative dose with accuracy $\pm 5\%$ and to transmit data within the range of 18 meter without error.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

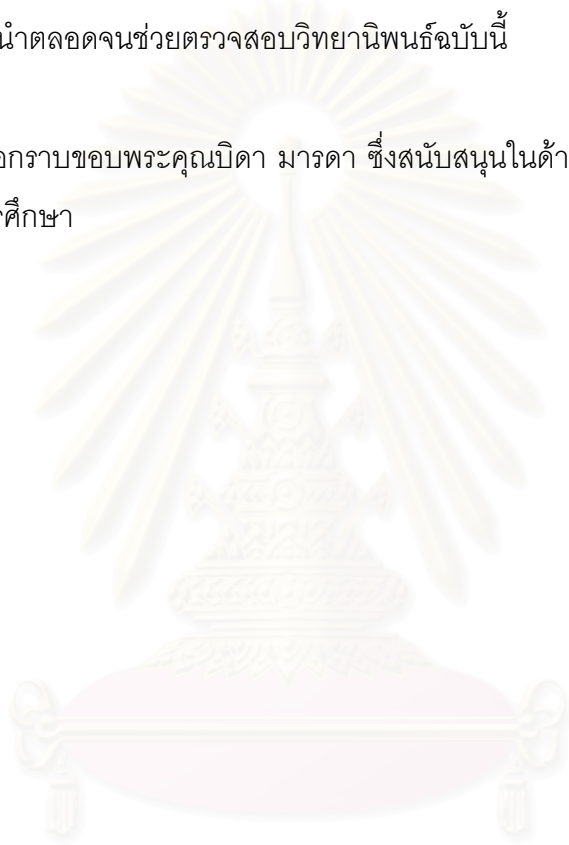
Department Nuclear Technogy
Field of syudy Nuclear Technogy
Academic year 2000

Student's signature.....SUTHIKEART.....
Advisor's signature.....Attaporn Pattant.....
Co-advisor's signature.....Decho Tong-Aram.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและสนับสนุนจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์ และอาจารย์ เดโช ทองอร่าม รวมทั้งผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ที่กรุณาให้คำแนะนำตลอดจนช่วยตรวจสอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุด ผู้วิจัยนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้เขียนจนสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากการวิจัย.....	3
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2. ระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล.....	6
2.1 หน่วยวัดและการวัดปริมาณรังสี.....	6
2.1.1 หน่วยของรังสีและกัมมันตภาพรังสี.....	9
2.1.2 การวัดปริมาณรังสี.....	9
2.1.2.1 เครื่องวัดรังสีประจำบุคคล.....	14
2.1.2.1.1 เครื่องวัดรังสี.....	15
2.2 กระบวนการวัดรังสี.....	17
2.2.1 การหลักการตรวจวัดรังสี.....	18
2.2.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง.....	21
2.2.2.1 การกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง.....	23
2.3 การประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ในเครื่องวัดรังสี.....	24
2.3.1 รายละเอียดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84.....	26
2.3.2 พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84.....	26
2.4 การสื่อสารข้อมูลระยะไกล.....	
2.4.1 การสื่อสารข้อมูลระยะไกลด้วยคลื่นวิทยุ.....	

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
2.4.2 รูปแบบของระบบสื่อสารข้อมูล.....	30
2.4.3 ประเภทของการส่งสัญญาณ.....	32
3. การพัฒนาระบบวัดปริมาณรังสีชนิดส่งข้อมูลระยะไกล.....	37
3.1 ข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล.....	37
3.1.1 การพัฒนาระบบวัดปริมาณรังสีชนิดส่งข้อมูลระยะไกล.....	37
3.1.2 โครงสร้างของระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล.....	39
3.2 การออกแบบวงจรเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลพร้อมระบบ ส่งข้อมูล.....	40
3.2.1 วงจรวัดรังสีด้วยหัววัดไกเกอร์.....	40
3.2.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง.....	41
3.2.3 วงจรแต่งรูปสัญญาณ.....	42
3.2.4 วงจรควบคุมการวัดปริมาณรังสี.....	43
3.2.4.1 วงจรนับความถี่และวงจรหน่วยความจำ.....	44
3.2.5 วงจรแสดงผลปริมาณรังสี.....	45
3.2.6 วงจรเข้ารหัสและวงจรส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF.....	46
3.2.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ.....	47
3.3 วงจรถอดรหัสและรับข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่าน UHF.....	47
3.4 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบวัดปริมาณรังสี.....	48
3.4.1 โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84....	48
3.4.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์...	50
4. การทดสอบการทำงานของระบบ.....	57
4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ.....	57
4.2 ทดสอบการทำงานของวงจรภายในเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล.....	58
4.2.1 การทดสอบสมรรถนะการทำงานของวงจรแหล่งจ่าย ไฟฟ้าแรงดันสูง.....	58
4.2.1.1 การทดสอบความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง กระแสตรง.....	58

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4.2.1.2 การทดสอบหาขีดความสามารถในการจ่ายกระแส ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า แรงดันต่ำ.....	60
4.2.2 การทดสอบรูปสัญญาณจากหัววัดรังสีไกเกอร์.....	62
4.2.3 การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ.....	63
4.2.3.1 การทดสอบอัตราการสูญเสียกำลังไฟฟ้าของเครื่อง วัดปริมาณรังสีประจำบุคคล.....	63
4.2.3.2 การทดสอบระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่.....	65
4.3 การทดสอบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล.....	67
4.3.1 การทดสอบความถูกต้องในวัดปริมาณรังสี.....	67
4.3.2 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดรังสีประจำบุคคล.....	68
4.4 การทดสอบการติดต่อสื่อสาร.....	70
4.4.1 การทดสอบการแปลงสัญญาณลอจิกเป็นสัญญาณเข้ารหัส แบบอนุกรม.....	70
4.4.2 การทดสอบวงจรถอดรหัสและรับข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่าน ความถี่ UHF.....	72
4.4.3 การทดสอบการรับสัญญาณข้อมูล.....	73
4.4.4 การทดสอบหาขีดจำกัดของระยะทางในวงจรรับ/ส่งคลื่นวิทยุ ย่านความถี่ UHF.....	74
4.5 การทดสอบโปรแกรมควบคุมและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์.....	75
5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	77
5.1 สรุปผลและวิจารณ์ผลการวิจัย.....	77
5.2 ลักษณะฟิสิกส์ของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น.....	78
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	79
รายการอ้างอิง.....	81
ภาคผนวก.....	82
ภาคผนวก ก.....	83
ภาคผนวก ข.....	85

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ภาคผนวก ค.....	101
ประวัติผู้เขียน.....	139



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงหน่วยของรังสีและกัมมันตภาพรังสี.....	6
ตารางที่ 2.2 ค่า radiation weighting factor.....	9
ตารางที่ 2.3 แสดงรายละเอียดของขาต่อใช้งานทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84.....	25
ตารางที่ 2.4 แสดงย่านความถี่คลื่นวิทยุ.....	27
ตารางที่ 2.5 แสดงสายสัญญาณทั้งหมดที่อยู่บนบอร์ดขานาน.....	35
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง.....	59
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความสัมพันธ์แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า แรงดันต่ำ.....	61
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและอัตราการสูญเสีย กำลังไฟฟ้า.....	64
ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาใช้งานของแบตเตอรี่และแหล่งจ่ายไฟฟ้า แรงดันต่ำ.....	66
ตารางที่ 4.5 ผลการสอบเทียบปริมาณรังสีสะสม.....	68
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดรังสี ประจำบุคคล.....	69
ตารางที่ 4.7 การทดสอบการรับสัญญาณข้อมูลโดยคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF.....	73
ตารางที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ในการทดสอบหาขีดจำกัดของระยะทางใน วงจรรับ/ส่งคลื่นวิทยุ.....	74

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปร่างและลักษณะของฟิล์มแบจด์.....	10
รูปที่ 2.2 แสดง Glow curve จากผลึกวัดต่าง ๆ.....	11
รูปที่ 2.3 แผนภาพเครื่องวัดปริมาณรังสีแบบ Pocket electroscope ionization chamber	12
รูปที่ 2.4 เครื่องวัดปริมาณแบบ Electronic Pocket dosimeter.....	13
รูปที่ 2.5 แผนภาพการทำงานของเครื่องวัดรังสีแบบ Electronic Pocket dosimeter.....	14
รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงกระบวนการวัดรังสีเบื้องต้น.....	15
รูปที่ 2.7 แสดงการตรวจวัดรังสีของหัววัดไกเกอร์.....	16
รูปที่ 2.8 คุณลักษณะเส้นกราฟฟลาโตของหัววัดรังสี.....	17
รูปที่ 2.9 แผนภาพดีซีบูตัสคอนเวอร์เตอร์.....	18
รูปที่ 2.10 รูปแบบวงจรพื้นฐานและการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์.....	19
รูปที่ 2.11 รูปแบบวงจรพื้นฐานและการทำงานของวงจรฟอร์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์.....	20
รูปที่ 2.12 รูปแบบวงจรพื้นฐานและการทำงานของวงจรฟูล-พูลคอนเวอร์เตอร์.....	21
รูปที่ 2.13 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84.....	22
รูปที่ 2.14 หน่วยความจำโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84.....	23
รูปที่ 2.15 หน่วยความจำข้อมูลในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84.....	24
รูปที่ 2.16 ประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 ในเครื่องมือวัดต่าง ๆ.....	25
รูปที่ 2.17 แผนภาพการสื่อสารข้อมูลในการรับส่งสัญญาณ.....	27
รูปที่ 2.18 การมอดูเลตสัญญาณแบบต่าง ๆ.....	29
รูปที่ 2.19 การมอดูเลตสัญญาณเชิงเลขด้วยเทคนิคโมเด็มในรูปแบบต่าง ๆ.....	30
รูปที่ 2.20 แผนภาพระบบการสื่อสารข้อมูล.....	30
รูปที่ 2.21 รูปแบบการสื่อสารสัญญาณ.....	31
รูปที่ 2.22 รูปแบบการส่งสัญญาณ.....	32
รูปที่ 2.23 รูปแบบการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส.....	33
รูปที่ 2.24 แสดงบัลภายในของพอร์ตขนาน.....	34
รูปที่ 3.1 แผนภาพของระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล.....	38
รูปที่ 3.2 แผนภาพของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลพร้อมระบบส่งข้อมูล.....	39
รูปที่ 3.3 แผนภาพการต่อหัววัดไกเกอร์แบบ DC. Coupling	41

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 3.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง.....	41
รูปที่ 3.5 วงจรแต่งรูปสัญญาณ.....	42
รูปที่ 3.6 แผนภาพการทำงานของไทเมอร์/คอนโทรลภายใน PIC16F84.....	43
รูปที่ 3.7 แผนภาพวงจรควบคุมการวัดปริมาณรังสี.....	44
รูปที่ 3.8 วงจรนับความถี่และวงจรหน่วยความจำ.....	45
รูปที่ 3.9 วงจรแสดงผลปริมาณรังสี.....	46
รูปที่ 3.10 วงจรเข้ารหัสและวงจรส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF.....	46
รูปที่ 3.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าคัทดาวน์.....	47
รูปที่ 3.12 วงจรถอดรหัสและรับข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่าน UHF	48
รูปที่ 3.13 โฟล์ดซาร์ตการทำงานของโปรแกรมควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์.....	49
รูปที่ 3.14 โฟล์ดซาร์ตการทำงานของโปรแกรมควบคุมและประมวลผล.....	51
รูปที่ 3.15 วงจรเครื่องวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้น.....	53
รูปที่ 3.16 วงจรถอดรหัสและรับข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่าน UHF.....	54
รูปที่ 3.17 แสดงแผ่นพิมพ์วงจรของวงจรเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล.....	55
รูปที่ 3.18 แสดงการจัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องวัดปริมาณรังสี ประจำบุคคล.....	55
รูปที่ 3.19 แสดงการจัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในอุปกรณ์รับข้อมูลและถอดรหัส.....	56
รูปที่ 3.20 แสดงการจัดระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิดส่งข้อมูลแบบไร้สาย.....	56
รูปที่ 4.1 แผนภาพการทดสอบความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง.....	58
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าแรงดันสูงกับกระแสไฟฟ้า.....	60
รูปที่ 4.3 แผนภาพการทดสอบหาขีดความสามารถในการจ่ายกระแสระหว่าง แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ.....	60
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกับแหล่งจ่าย ไฟฟ้าแรงดันต่ำ.....	62
รูปที่ 4.5 การทดสอบรูปสัญญาณจากหัววัดรังสีไกเกอร์.....	62
รูปที่ 4.6 รูปสัญญาณพัลส์เอกซ์โพเนนเชียลจากหัววัดรังสีไกเกอร์.....	63
รูปที่ 4.7 การทดสอบการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดปริมาณรังสี.....	63

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและอัตราการสูญเสียกำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล.....	65
รูปที่ 4.9 การทดสอบระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่.....	65
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่และแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ.....	67
รูปที่ 4.11 การทดสอบความถูกต้องในการวัดปริมาณรังสี.....	68
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดรังสีประจำบุคคล.....	69
รูปที่ 4.13 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบการแปลงสัญญาณข้อมูล BCD เป็นสัญญาณเข้ารหัสแบบอนุกรม.....	70
รูปที่ 4.14 แสดงผลการแปลงสัญญาณลอจิกเป็นสัญญาณเข้ารหัสแบบอนุกรม.....	71
รูปที่ 4.15 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรถอดรหัสรูปสัญญาณและรับข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF.....	72
รูปที่ 4.16 ผลการวัดเปรียบเทียบรูปสัญญาณเข้ารหัสและสัญญาณถอดรหัส.....	72
รูปที่ 4.17 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบการรับสัญญาณข้อมูล.....	73
รูปที่ 4.18 การทดสอบโปรแกรมควบคุมและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์.....	75
รูปที่ 4.19 ภาพแสดงโปรแกรมควบคุมการทำงานและประมวลผล.....	76
รูปที่ 4.20 แสดงโปรแกรมการจัดเก็บลงฐานข้อมูล.....	76

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการนำเครื่องกำเนตรังสี และสารกัมมันตรังสีมาใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง อาทิเช่น ในทางการแพทย์ มีใช้รังสีในการตรวจวินิจฉัยและการบำบัดรักษาอาการของผู้ป่วย ในทางอุตสาหกรรมมีการใช้รังสีในการวัดความหนาของวัสดุ การตรวจสอบโดยไม่ทำลาย การตรวจสอบรอยเชื่อม-รอยร้าวในโลหะหรือโครงสร้างอาคาร ในทางเกษตรกรรมมีการใช้รังสีในการถนอมอาหาร และในด้านการศึกษาวิจัยทางวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี เป็นต้น อย่างไรก็ตามถึงแม้รังสีจะมีประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ แต่รังสีก็มีอันตรายด้วยเช่นกัน โดยรังสีเหล่านี้สามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตและมนุษย์ด้วย ถ้าได้รับรังสีในปริมาณสูงมากอาจทำให้เกิดการเจ็บป่วยทางรังสี และในระยะยาวอาจมีโอกาสก่อให้เกิดมะเร็งได้ ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับรังสี จึงต้องมีการวางแผนการป้องกันอันตรายจากรังสีและมีการควบคุมเรื่องความปลอดภัยในการใช้งานรังสีอย่างรอบคอบ ในทางปฏิบัติเพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับรังสี จำเป็นต้องมีการตรวจวัดปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาเพื่อประเมินค่าปริมาณรังสีมิให้ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับรังสีนั้นได้รับรังสีเกินระดับที่กำหนดโดยกรมการระหว่างประเทศว่าด้วยการป้องกันอันตรายจากรังสี (International Commission on Radiological Protection : ICRP)

ในทางปฏิบัติได้มีการพัฒนาเครื่องวัดรังสีประจำบุคคล สำหรับใช้ในการประเมินค่าปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับรังสีได้รับขณะปฏิบัติงานในรูปแบบต่าง ๆ ตามความเหมาะสมของงาน เช่น फिल्मแบดจ์ (film badge) ซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากใช้ง่ายและมีราคาถูก แต่เครื่องวัดชนิดนี้มีข้อจำกัดหลายอย่าง ได้แก่ สามารถใช้ได้เพียงครั้งเดียวและไม่สามารถอ่านค่าปริมาณรังสีที่ได้รับได้ทันที จึงมีการพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดอ่านค่าได้ทันที (pocket dosimeter) ที่สามารถอ่านค่าปริมาณรังสีที่ได้รับเป็นตัวเลขและยังสามารถส่งสัญญาณเตือนอันตรายเมื่อเข้าใกล้บริเวณที่มีปริมาณรังสีสูงถึงระดับปริมาณรังสีที่ตั้งไว้เพื่อความสะดวกในการตรวจวัดปริมาณรังสีได้ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ภายในเครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดอ่านค่าได้ทันทีส่วนใหญ่ใช้หัววัดไกเกอร์ (Geiger-Mueller tube) ขนาดเล็ก ทำให้เครื่องวัดรังสีชนิดนี้มีน้ำหนักเบาพกพาได้สะดวก สามารถวัดได้ทั้งรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา แต่เครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดอ่านค่าได้ทันทีนี้ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องคอยอ่านค่าปริมาณรังสีที่ได้รับในระหว่างปฏิบัติงาน เพื่อระวังไม่ให้ได้ปริมาณรังสีเกินที่กำหนด (dose limits) และต้องทำการ

จุดบันทึกข้อมูลปริมาณรังสีที่ได้รับทุกครั้งภายหลังจากปฏิบัติงานเสร็จเพื่อให้ทราบถึงปริมาณรังสีสะสมที่ได้รับ ในบางครั้งผู้ปฏิบัติงานอาจไม่สะดวกในการอ่านค่าปริมาณรังสีที่ได้รับหรือลืมจดบันทึกค่าปริมาณรังสีภายหลังจากปฏิบัติงาน ทำให้ไม่ทราบข้อมูลของปริมาณรังสีที่ได้รับ จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดอ่านค่าได้ทันที ให้มีประสิทธิภาพและสมรรถนะการทำงานให้สูงขึ้น โดยเครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดอ่านค่าได้ทันทีที่พัฒนาขึ้นสามารถอ่านค่าปริมาณรังสีที่ได้รับเป็นตัวเลข และจัดส่งข้อมูลปริมาณรังสีโดยคลื่นวิทยุไปเก็บบันทึกในฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์อย่างต่อเนื่อง ตลอดเวลาในขณะที่ผู้ปฏิบัติงานทางรังสีปฏิบัติงานอยู่ ทำให้เจ้าหน้าที่หรือผู้ปฏิบัติงานด้านสุขภาพทางรังสีที่คอยดูแลและตรวจสอบ ทราบถึงข้อมูลปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับระหว่างปฏิบัติงานและข้อมูลดังกล่าวจะถูบันทึกไว้บนฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในด้านการป้องกันอันตรายจากรังสีและควบคุมเรื่องความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล ที่สามารถส่งข้อมูลการวัดปริมาณรังสีเฉพาะบุคคล โดยคลื่นวิทยุไปเก็บบันทึกในฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิดแสดงผลเชิงตัวเลข ที่สามารถส่งข้อมูลโดยคลื่นความถี่วิทยุไปเก็บบันทึกในฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์
2. พัฒนาอุปกรณ์รับและโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ เพื่อสแกนอ่านข้อมูลการวัดปริมาณรังสีของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแต่ละตัว แล้วเก็บบันทึกในฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษา ค้นคว้ารวบรวมข้อมูลและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. พัฒนาและออกแบบวงจรต่าง ๆ ของเครื่องวัดปริมาณรังสีแต่ละส่วน โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ได้แก่ แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง วงจรแต่งรูปสัญญาณ วงจรนับและแสดงผลข้อมูล วงจรแปลง/ส่งสัญญาณโดยคลื่นวิทยุ
3. พัฒนาและออกแบบระบบรับและแปลงสัญญาณข้อมูลที่ส่งจากเครื่องวัดปริมาณรังสีแต่ละตัว

4. ออกแบบวงจรแผ่นพิมพ์และประกอบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล
5. พัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ และการจัดเก็บผลการวัดบันทึกในฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์
6. ทดสอบและปรับปรุงการทำงานของระบบให้สามารถใช้งานได้สมบูรณ์
7. สรุปผลงานวิจัยและเขียนรายงานวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

ได้ระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแสดงผลเชิงตัวเลขชนิดส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ ที่สามารถส่งข้อมูลระยะไกลไปเก็บบันทึกในฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์ได้ทันที ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่องานด้านการป้องกันอันตรายจากรังสี

1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปี 2539 นาย ธนากร อรัญศิริ^[1] ได้ทำวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบเชื่อมโยงสัญญาณสำหรับเฝ้าระวังทางรังสีโดยใช้เครือข่ายวิทยุสื่อสาร (DEVELOPMENT OF AN INTERFACING SYSTEM FOR RADIATION SURVEILLANCE USING A RADIO COMMUNICATION NETWORK) การพัฒนาระบบเชื่อมโยงสัญญาณสำหรับเฝ้าระวังทางรังสี โดยใช้เครือข่ายวิทยุสื่อสารนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบรายงานข้อมูลปริมาณรังสีเป็นกิกะวัตต์ จากเครื่องวัดปริมาณรังสีของสถานีเครือข่ายทั่วภูมิภาคของประเทศ รวมทั้งส่งสัญญาณเตือนการตรวจพบปริมาณรังสีที่ผิดปกติโดยอัตโนมัติ ผ่านเครือข่ายวิทยุสื่อสารเชื่อมโยงมายังสถานีแม่ข่ายที่ศูนย์ควบคุมเครือข่ายวิทยุสื่อสารของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ได้รับการพัฒนาขึ้นเป็น 2 ส่วนหลัก ส่วนแรก สำหรับสถานีลูกข่าย สามารถจัดการส่งข้อมูลของเครื่องวัดปริมาณรังสีทั้งในระบบ RS-232, IEEE-488, BCD และสัญญาณอนาล็อก เข้าระบบวิทยุเชื่อมโยง อีกส่วนหนึ่งเป็นระบบเชื่อมโยงข้อมูลวัดรังสีที่สถานีแม่ข่ายเข้าไมโครคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรมควบคุมการประมวลผลการวัดปริมาณรังสีจากสถานีวัดรังสี 10 สถานี

2. ปี 2537 นาย อำนวย สุตสาคร^[2] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องส่งสัญญาณนิวเคลียร์ระบบไร้สาย (DEVELOPMENT OF A WIRELESS NUCLEAR SIGNAL TRANSMITTER) โดยวิทยานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาเครื่องรับส่งสัญญาณนิวเคลียร์ ด้วยการนำคลื่นวิทยุเป็นพาหะ ซึ่งจะเหมาะสำหรับการส่งข้อมูลวัดระยะไกลจากบริเวณปฏิบัติการทางรังสีที่มีระดับรังสีสูง และการตรวจวัดรังสีในภาคสนาม ระบบส่งข้อมูลประกอบด้วย วงจรแปลงสัญญาณพัลส์อนาล็อกเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขแบบ

อนุกรม วงจรผสมสัญญาณเชิงตัวเลข และวงจรผสมสัญญาณกับคลื่นวิทยุแบบฟรีควอนซีมอดูเลชันและ วงจรส่งคลื่นวิทยุที่มีความถี่ 27.125 MHz กำลังส่ง 1 วัตต์ การส่งข้อมูลถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ในส่วนของระบบรับประกอบด้วยวงจรถ่ายทอดสัญญาณ วงจรกรองความถี่สัญญาณรบกวน และวงจรถอดสัญญาณผสมเชิงตัวเลข ส่งสัญญาณแบบอนุกรมมาตรฐาน RS-232C ให้กับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลการวัดสเปกตรัมนิวเคลียร์

3. ปี 2536 นาย สุขใจ เกียรติศักดิ์วัฒนา^[3] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแสดงผลเชิงตัวเลข (DEVELOPMENT OF A PERSONAL DIGITAL DOSIMETER) โดยเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นนี้ ออกแบบให้ใช้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่หาได้ภายในประเทศเป็นหลัก มีขนาดกระทัดรัดเพื่อพกพาขณะปฏิบัติงานได้สะดวก ทั้งนี้เพื่อให้มีราคาประหยัดบำรุงรักษาและทนต่อสภาพใช้งานในสภาวะแวดล้อมของประเทศ เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลสามารถวัดปริมาณรังสีสะสมได้ในช่วง 0-9999 มิลลิ-เรินท์เกน มีระบบส่งเสียงเตือนให้ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงสภาวะปริมาณรังสีในบริเวณปฏิบัติงาน 4 รูปแบบ คือ ปริมาณรังสีสะสมเมื่อถึงพิกัดที่ตั้งไว้ ปริมาณรังสีทุก 1 มิลลิเรินท์เกน ปริมาณรังสีที่สูงเกินพิกัดของหัววัดรังสี และอัตราปริมาณรังสีที่สามารถตั้งพิกัดได้ที่ระดับ 2.5, 10 และ 25 มิลลิ-เรินท์เกนต่อชั่วโมง

4. ปี 2532 S. Izmi, H. Kitaguchi, S. Mitani and H. Kikuchi^[4] ได้ทำวิจัยเรื่อง A Computerized Personal Dosimeter with an IC Card ได้พัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลโดยใช้ Micro-Processor และ ใช้หัววัดแบบ Silicon Solid State Gamma-Ray IC Card ในเครื่องวัดปริมาณรังสีสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกับ Micro-Processor ข้อมูลของผู้ปฏิบัติงานและประวัติการปฏิบัติงานทางด้านรังสีจะถูกบันทึกไว้ใน IC Card เครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดนี้สามารถเตือนให้ทราบถึงบริเวณที่มีรังสีสูง และกำหนดการปฏิบัติงานในบริเวณที่มีรังสี และบันทึกข้อมูลการปฏิบัติงานทางรังสีในบริเวณที่มีรังสี ข้อมูลใน IC Card สามารถอ่านได้โดยเครื่องไมโคร-คอมพิวเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

รังสี (radiation) หมายถึง พลังงานรูปแบบหนึ่งที่แผ่กระจายจากต้นกำเนิดออกไปในอากาศหรือตัวกลางใด ๆ ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ รังสีความร้อน รังสีเอกซ์ (X-rays) รังสีแกมมา (Gamma rays) รังสีคอสมิก (Cosmic rays) คลื่นไมโครเวฟ และในรูปของอนุภาคที่มีความเร็วสูง ได้แก่ รังสีแอลฟา (Alpha rays) รังสีบีตา (Beta rays) รังสีนิวตรอน (Neutron) เป็นต้น อาจจำแนกประเภทรังสีออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. รังสีที่ก่อให้เกิดไอออน (ionizing radiation) คือรังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุในตัวกลางที่มีรังสีเคลื่อนที่ผ่าน ได้แก่ รังสีเอกซ์ (X) รังสีแกมมา (γ) รังสีแอลฟา (α) รังสีบีตา (β) และรังสีนิวตรอน (n) เป็นต้น

2. รังสีที่ไม่ก่อให้เกิดไอออน (non-ionizing radiation) คือรังสีที่ไม่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุในตัวกลางที่มีรังสีเคลื่อนที่ผ่าน ได้แก่ รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น ความร้อน แสง คลื่นวิทยุ อัลตราไวโอเลตและคลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น

รังสีที่ก่อให้เกิดไอออน มักมีแหล่งกำเนิดจากสารกัมมันตรังสีซึ่งประกอบด้วยอะตอมของธาตุที่มีนิวเคลียสไม่เสถียร จึงแผ่รังสีออกมาตลอดเวลาในรูปอนุภาคซึ่งมีพลังงานสูงหรือในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เพื่อปรับนิวเคลียสให้เสถียรกว่าเดิม รังสีที่แผ่ออกมาอาจจะมีเพียงชนิดเดียวหรือหลายชนิด เช่น

1. รังสีแอลฟา รังสีชนิดนี้เป็นนิวเคลียสของธาตุฮีเลียมที่แผ่ออกมาจากนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสีบางชนิดมีประจุ +2 เป็นรังสีที่มีอำนาจการทะลุทะลวงต่ำ แต่อำนาจในการทำให้อะตอมแตกตัวสูงมาก

2. รังสีบีตา รังสีบีตาเป็นอิเล็กตรอนพลังงานสูงที่แผ่ออกมาจากนิวเคลียสมีประจุ -1 มีอำนาจการทะลุทะลวงปานกลาง มีอำนาจการทำให้อะตอมแตกตัวต่ำกว่ารังสีแอลฟา แต่มีพิสัยยาวกว่ารังสีแอลฟา

3. รังสีแกมมา เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอนที่แผ่ออกมาจากนิวเคลียส มีความเร็วเท่าแสง มีอำนาจในการทะลุทะลวงสูง แต่มีอำนาจการทำให้อะตอมแตกตัวต่ำ

2.1 หน่วยวัดและการวัดปริมาณรังสี

เนื่องจากรังสีเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่ง เมื่อรังสีผ่านกระทบต่อวัสดุต่าง ๆ รวมทั้งสิ่งที่มีชีวิต จะถ่ายโอนพลังงานในตัวกลางเหล่านั้น เมื่อเซลล์ในร่างกายมนุษย์ได้รับรังสีจะเกิดไอออนในเซลล์ ทำให้อะตอม/โมเลกุลของเซลล์หรือระบบของเซลล์ถูกทำลายเปลี่ยนแปลงไปและเกิดอาการผิดปกติในร่างกาย ดังนั้นในการควบคุมเรื่องปลอดภัยทางรังสี จึงได้มีการกำหนดหน่วยของรังสีและกัมมันตภาพรังสี เพื่อเป็นมาตรฐานในการตรวจวัด

2.1.1 หน่วยของรังสีและกัมมันตภาพรังสี

หน่วยทางฟิสิกส์คือชื่อเฉพาะที่กำหนดขึ้นเพื่อใช้บอก ขนาดและปริมาณของสิ่งต่าง ๆ หน่วยของรังสีและกัมมันตภาพรังสีมี ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 แสดงหน่วยของรังสีและกัมมันตภาพรังสี

ปริมาณ	หน่วยเดิม	หน่วยใหม่ (SI unit)
กัมมันตภาพรังสี (radioactivity)	คูรี (Ci)	เบกเคอเรล (Bq)
รังสีดูดกลืน (absorbed dose)	แรด (rad)	เกรย์ (Gy)
รังสีที่ทำให้อากาศแตกตัว (exposure)	เรินท์เกน (R)	คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม (C/kg)
รังสีสมมูลย์ (equivalent dose)	เรม (rem)	ซีเวิร์ต (Sv)

หน่วยของปริมาณต่าง ๆ ดังกล่าวมาในข้างต้น มีนิยามและกำหนดค่าปริมาณพื้นฐานสำหรับเป็นบรรทัดฐานในการวัดปริมาณรังสีไว้ ดังนี้

ก. ปริมาณกัมมันตภาพรังสี (radioactivity)

การเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ในนิวเคลียสของสารกัมมันตรังสียังผลให้เกิดการแผ่รังสีหรือมีอนุภาคที่มีพลังงานเกิดขึ้นจากไอโซโทปรังสีหรือนิวไคลด์รังสี (radionuclide) จำนวนไอโซโทปรังสีในสารกัมมันตรังสีจึงเป็นเสมือนแหล่งกำเนิดรังสี การวัดจำนวนไอโซโทปรังสีหรือนิวไคลด์รังสี ไม่อาจทำได้โดยการชั่งน้ำหนัก เมื่อเวลาผ่านไปการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ก็จะทำให้เกิดธาตุใหม่ขึ้นปะปนและธาตุกัมมันตรังสีเดิมลดลงบางครั้งจึงเรียกว่า **การสลายตัว** ดังนั้นการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีในขณะหนึ่ง จึงวัดได้โดยรังสีที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของธาตุในขณะ

นั้น ซึ่งเป็นผลของการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ที่เกิดขึ้น หน่วยของปริมาณกัมมันตภาพรังสีเดิม อาศัยการอ้างอิงอัตราการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ของธาตุเรเดียมหนัก 1 กรัม ซึ่งสลายตัว 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที (disintegration per second) เท่ากับหน่วย 1 คูรี (Ci)

$$1 \text{ คูรี (Ci)} = 3.7 \times 10^{10} \text{ ครั้งต่อวินาที (s}^{-1}\text{)}$$

ต่อมาเมื่อใช้ SI Unit หน่วยของกัมมันตภาพรังสี ควรจะเป็น s^{-1} แต่ให้ใช้ชื่อเฉพาะว่า เบคเคอเรล (Bq) ดังนั้น

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$$

และ

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

ข. ปริมาณรังสีที่ทำให้อากาศแตกตัว (exposure)

เป็นปริมาณรังสีที่ไม่เกี่ยวข้องโดยตรงกับผลของรังสีเพราะเพียงแต่วัดว่ามีการแตกตัวของ อากาศมากน้อยเพียงใด เอกซ์โพเซชันเป็นที่นิยมเพราะเป็นวิธีที่มีความไวสูง และสามารถวัดค่าได้ ถูกต้องมากด้วยเทคนิคในปัจจุบัน หน่วยเดิมของเอกซ์โพเซชันคือ เรินท์เกน (R) ซึ่งเท่ากับปริมาณ รังสีที่ทำให้อากาศแห้ง 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ STP หรืออากาศมวล 1.293×10^{-3} กรัม เกิดการ แตกตัวให้ประจุ 1 e.s.u. ปัจจุบันหน่วย SI Unit ใช้เป็นคูลอมบ์ต่อกิโลกรัม (C/kg) โดยที่

$$1 \text{ เรินท์เกน (R)} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ คูลอมบ์ต่อกิโลกรัม}$$

และประจุ 1 e.s.u. มีค่าเท่ากับ 3.335×10^{-10} คูลอมบ์

ค. ปริมาณรังสีดูดกลืน (absorbed dose)

วัตถุแต่ละชนิดมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์และเคมีต่างกัน ดังนั้นเมื่อวัสดุ 2 ชนิดได้รับรังสี (exposure) เท่ากันจะดูดกลืนพลังงานของรังสีไว้ได้ไม่เท่ากัน จึงได้มีการกำหนดหน่วยวัดปริมาณ รังสี ซึ่งแสดงถึงผลของพลังงานดูดกลืนต่อหน่วยมวลของวัสดุ เรียกว่าปริมาณรังสีดูดกลืน มี หน่วยเป็น แรด (rad : radiation absorbed dose) ซึ่งเท่ากับพลังงานที่รังสีดูดกลืน 100 ergs ต่อ มวล 1 g

$$1 \text{ rad} = 100 \text{ ergs/g}$$

หน่วย SI Unit ซึ่งใช้หน่วย MKS เป็นมาตรฐาน จะใช้หน่วยปริมาณรังสีดูดกลืนเป็นจูล (Joule) ต่อมวล 1 กิโลกรัม (kg) เรียกว่า เกรย์ (Gy)

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ Jkg}^{-1} = 100 \text{ rads}$$

เนื่องจากรังสีแต่ละชนิดมีคุณสมบัติต่างกัน เมื่ออวัยวะต่าง ๆ ในร่างกายได้รับปริมาณรังสีดูดกลืนเท่ากัน ผลกระทบต่อชีววิทยาจากการถ่ายโอนพลังงานจากรังสีต่างชนิดจึงแตกต่างกัน ทำให้มีการกำหนดหน่วยสมมูลปริมาณรังสี (dose equivalent) ขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างปริมาณรังสีดูดกลืน (D) และค่าแฟกเตอร์คุณภาพของรังสี (Quality factor, Q)

$$H = DQ$$

หน่วยปริมาณรังสีสมมูลเดิมที่ใช้เป็น rem (Roentgen Equivalent Man) และต่อมาเมื่อใช้ SI Units มีการเปลี่ยนหน่วยปริมาณรังสีสมมูลเป็น ซีเวิร์ต (Sv)

$$1 \text{ ซีเวิร์ต (Sv)} = 100 \text{ เรม (rem)}$$

ง. ปริมาณรังสีสมมูล (equivalent dose)

ในปัจจุบัน ICRP ได้เปลี่ยนค่าแฟกเตอร์คุณภาพของรังสีมาใช้ค่า radiation weighting factor (W_R) แทน และใช้ equivalent dose แทน dose equivalent ดังนั้นในการหาผลรวมของ equivalent dose (H_T) ของกลุ่มเนื้อเยื่อ และอวัยวะต่าง ๆ สามารถหาได้จากสมการ

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R}$$

เมื่อ $D_{T,R}$ เท่ากับ absorbed dose เฉลี่ยทั่วบริเวณกลุ่มเนื้อเยื่อหรืออวัยวะ (T) เนื่องจากรังสี (R) ค่า W_R นี้มีความสัมพันธ์กับค่า Relative Biological Effectiveness (RBE) ซึ่งอาศัยการเปรียบเทียบความเสียหายของเนื้อเยื่อ เมื่อได้รับ Absorbed Dose จากรังสีต่างชนิดและต่างพลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ค่า radiation weighting factor (W_R)^[5]

Type and energy range	Radiation weighting factor (W_R)
Photons, all energies	1
Electrons and muons, all energies	1
Neutrons, energy < 10 keV	5
10 keV to 100 keV	10
> 100 keV to 2 MeV	20
> 2 MeV to 20 MeV	10
> 20 MeV	5
Protons, other than recoil proton, energy > 2 MeV	5
Alpha particles, fission fragments, heavy nuclei	20

2.1.2 การวัดปริมาณรังสี

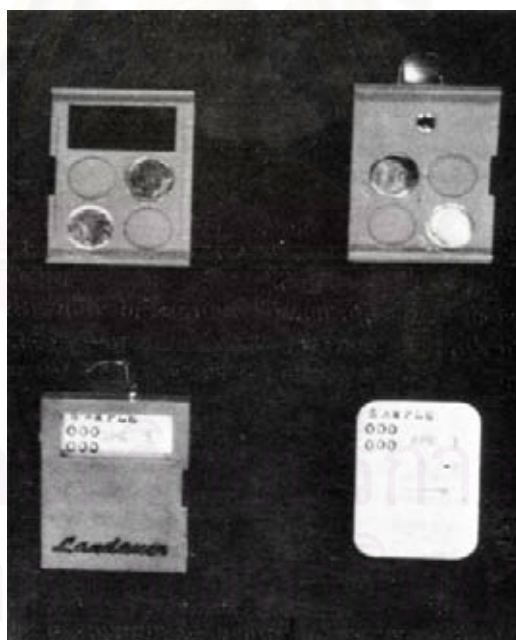
ในการปฏิบัติงานทางด้านรังสีผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับรังสีอาจได้รับรังสีจากแหล่งกำเนิดรังสีอยู่ภายนอกร่างกายอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ องค์ประกอบสำคัญที่จะต้องพิจารณาในการวางแผนป้องกันอันตรายจากรังสี คือการตรวจวัดและควบคุมการรับปริมาณรังสีเมื่อแหล่งกำเนิดรังสีอยู่ภายนอกร่างกายไม่ให้เกิดระดับอันตราย ได้แก่ การใช้เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคล และการวัดรังสีบริเวณพื้นที่ปฏิบัติงาน เครื่องวัดปริมาณรังสีจะเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการบันทึกการได้รับปริมาณของผู้ปฏิบัติงานทางรังสี แบ่งออกเป็นหลายชนิด ได้แก่

2.1.2.1 เครื่องวัดรังสีประจำตัวบุคคล

การวัดรังสีประจำตัวบุคคล หมายถึงการวัดปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับรังสีได้รับ โดยอาศัยเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล (personal monitoring dosimeter) ที่ใช้พกติดตัวผู้ปฏิบัติงานเพื่อบันทึกค่าปริมาณรังสีที่บุคคลนั้นได้รับ สำหรับใช้ในการประเมินค่าปริมาณรังสีหลังการปฏิบัติงานในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ การเลือกใช้เครื่องวัดชนิดนี้จำเป็นต้องทราบการตอบสนองของเครื่องวัดแต่ละชนิดและพลังงานของรังสี ทราบถึงพิสัยในการวัดของเครื่องวัดและทราบถึงความไวของการวัดของเครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดนั้น ๆ เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคลมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ดังนี้

ก. फिल्मแบดจ์ (film badge)

เป็นอุปกรณ์วัดรังสีประจำตัวบุคคลที่มีลักษณะเป็นถักบรรจุแผ่นฟิล์มที่มีขนาดใกล้เคียงกับฟิล์มที่ใช้ในงานทันตกรรม ด้านหน้าถักจะใส่แผ่นกรอง (filter) ชนิดต่าง ๆ เช่น อลูมิเนียม ตะกั่ว และแคดเมียม โดยแบ่งสัดส่วนพื้นที่ด้านหน้าแผ่นฟิล์ม ดังแสดงในรูปที่ 2.1 เพื่อช่วยในการประเมินค่าปริมาณรังสีชนิดและพลังงานต่าง ๆ ตามปกติแผ่นฟิล์มจะทำงานได้ดีสำหรับการวัดเอกซโพเชอร์ของรังสีแกมมาที่ปลดปล่อยจากเรเดียมในช่วงพลังงาน 10 mR ถึง 1800 mR และมีความไวต่อการวัดรังสีบีตาที่พลังงานสูงสุดปริมาณ 400 keV ในช่วงปริมาณรังสี 50 mrad ถึง 1000 rad รวมทั้งการวัดนิวตรอนพลังงานต่ำ โดยอาศัยปฏิกิริยานิวเคลียร์ระหว่างนิวตรอนกับโลหะแคดเมียม และวัดผลของรังสีแกมมา สามารถตอบสนองของการวัดได้ในช่วงปริมาณรังสี 5 mrad ถึง 500 rad หลังจากแผ่นฟิล์มผ่านการใช้งานแล้ว การอ่านค่าปริมาณรังสีทำได้โดยการนำแผ่นฟิล์มไปล้างในน้ำยา (developer) และวัดค่าความดำบนแผ่นฟิล์มด้วยหลักการดูดกลืนแสงสว่างของเครื่องเดนซิโตมิเตอร์ (densitometer) ค่าความดำของฟิล์มจะได้รับการปรับเทียบเป็นค่าปริมาณรังสี ในช่วงพลังงานต่าง ๆ ที่บริเวณพื้นที่หลังแผ่นกรองชนิดต่าง ๆ และบริเวณที่ไม่มีแผ่นกรองสำหรับการประเมินการได้รับรังสี



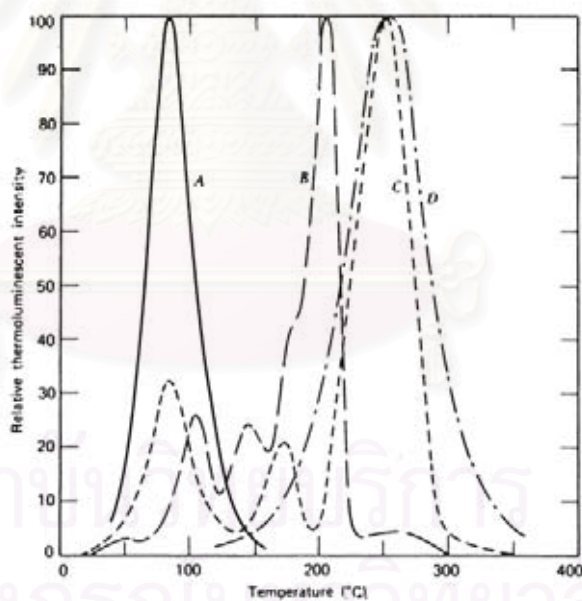
รูปที่ 2.1 รูปร่างและลักษณะของฟิล์มแบดจ์^[6]

ข้อดีของฟิล์มแบดจ์ คือ ใช้งานง่าย ราคาและค่าใช้จ่ายต่อแผ่นฟิล์มไม่แพง สามารถเก็บแผ่นฟิล์มที่ล้างแล้วไว้เป็นหลักฐานได้ มีความไวต่อการวัดปริมาณรังสีบีตาและสามารถประเมินค่ารังสีจากรังสีหลายชนิดและย่านพลังงานต่าง ๆ ได้

ข้อเสียของฟิล์มแบดจ์ คือ ฟิล์มมีอายุการใช้งานจำกัด สามารถใช้ฟิล์มได้ครั้งเดียว ไม่สามารถอ่านผลได้ทันที และผลการวัดขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการเก็บรักษาแผ่นฟิล์ม

ข. เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์โดสมิเตอร์ (Thermoluminescent Dosimeter, TLD)

เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์โดสมิเตอร์ อาศัยหลักการดูดกลืนพลังงานของรังสีในอะตอมของผลึก วัสดุเช่น LiF, CaF₂ เป็นต้น ซึ่งจะกระตุ้นให้เกิดคู่ของเอกซิตรอน (excitation) และกักอิเล็กตรอนไว้ในบริเวณใกล้แถบนำกระแส เมื่อผลึกวัสดุรังสีได้รับปริมาณรังสีมาก บริเวณของอิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นให้อยู่บริเวณกักเก็บ ก็จะมีจำนวนมาก การอ่านค่าปริมาณรังสีทำได้โดยการให้พลังงานความร้อนกระตุ้นให้เกิดการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอน (deexciting) บริเวณกักเก็บ และเกิดการเรืองแสงขึ้น จึงเรียกรวีกววัดนี้ว่า **เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์** ปริมาณแสงที่เกิดขึ้นจากการเพิ่มอุณหภูมิจะถูกอ่านค่าด้วยหลอดโฟโตมัลติไพเออร์ เพื่อนำไปประเมินการได้รับปริมาณรังสี ดังแสดงเส้นกราฟการอ่านค่าปริมาณรังสี ซึ่งเรียกว่า **Glow curve** ดังในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดง glow curve จากผลึกวัสดุต่าง ๆ

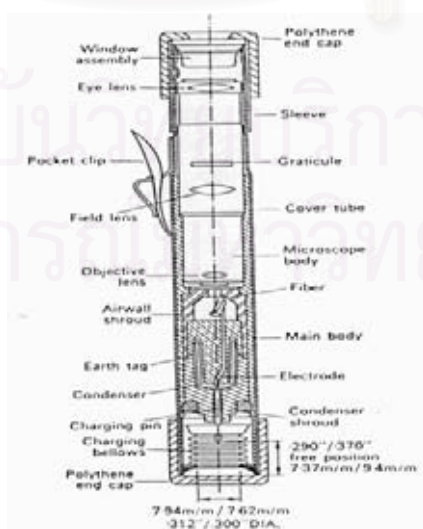
ข้อดีของเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์โดสมิเตอร์ คือ มีพิสัยในการวัดปริมาณรังสีกว้าง คือ สามารถวัดได้ตั้งแต่ประมาณ 5 mR ถึง 10⁵ R สำหรับลิเทียมฟลูออไรด์ มีคุณสมบัติไม่ขึ้นกับสภาวะแวดล้อม เช่น ความชื้นไม่มีผลต่อการวัดรังสี สามารถใช้ซ้ำได้หลังจากอ่านค่าแล้ว

ข้อเสียเทอร์โมลูมิเนสเซนส์โดสมิเตอร์ คือ ข้อมูลของปริมาณรังสีสะสมทั้งหมดถูกลบเมื่อผ่านการอ่านค่า ดังนั้นระบบการอ่านค่าสัญญาณจะต้องทำงานถูกต้องและผ่านการตรวจสอบอย่างดีก่อนทำการอ่านเครื่องวัดรังสีประจำตัวบุคคล

ค. เครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดอ่านค่าได้ทันที

เครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดอ่านค่าได้ทันทีที่ใช้เมื่อต้องการทราบปริมาณรังสีที่บุคคลได้รับในทันทีโดยเฉพาะเมื่อต้องทำงานในบริเวณที่มีรังสีสูง นอกจากใช้ฟิล์มแบดจ์หรือเทอร์โมลูมิเนสเซนส์โดสมิเตอร์แล้ว ยังจำเป็นต้องใช้เครื่องวัดประเภทนี้เพื่อเตือนให้ทราบหากปริมาณรังสีที่ได้รับในขณะใดขณะหนึ่งมีค่าใกล้เคียงกับพิกัด (limit) ที่กำหนดไว้ และจำเป็นต้องหยุดการปฏิบัติงาน

Pocket electroscope ionization chamber ทำงานโดยอาศัยหลักการของ gold-leaf electroscope ดังแสดงโครงสร้างในรูปที่ 2.3 ก่อนใช้งานจะทำการอัดประจุให้กับขั้วไฟฟ้า (200 โวลต์) ซึ่งจะทำให้เกิดแรงผลักรังสีของไฟฟ้าสถิตที่แผ่นควอทซ์ไฟเบอร์ในแชมเบอร์วัด แผ่นควอทซ์ไฟเบอร์จะเคลื่อนที่ไปที่สเกลเริ่มต้น ตำแหน่งของควอทซ์ไฟเบอร์จะถูกโฟกัสลงบนสเกล ซึ่งอ่านได้ด้วยกล้องขยายด้านปลายของเครื่องวัด เมื่ออากาศภายในแชมเบอร์วัดได้รับรังสี จะเกิดการไอออไนซ์และการคายประจุ (discharge) ของประจุบนแผ่นควอทซ์ เกิดการเคลื่อนที่ของแผ่นควอทซ์จากจุดเดิม ตามปกติจะออกแบบให้วัดปริมาณรังสีได้ 0-200 mR คลาดเคลื่อน $\pm 5\%$ และตอบสนองพลังงาน 50 keV ถึง 2 MeV เมื่อเริ่มใช้งานจะต้องอัดประจุด้วยแท่นอัดประจุก่อนเสมอ และต้องระวังการใช้งานไม่ให้ได้รับการกระทบกระเทือนรุนแรง เนื่องจากแผ่นควอทซ์ไฟเบอร์และกลไกมีความบอบบาง



รูปที่ 2.3 แผนภาพเครื่องวัดปริมาณรังสีแบบ Pocket electroscope ionization chamber

Electronic Pocket dosimeter เป็นโดสมิเตอร์แบบพกติดตัวที่ทำงานด้วยวงจรวัดรังสีอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งพัฒนามาจากเครื่องสำรวจรังสี (survey meter) ใช้หัววัดไกเกอร์ขนาดเล็กเป็นตัวตรวจวัดรังสี และปรับแก้ค่า energy dependence สามารถตั้งค่าปริมาณรังสีที่ควบคุมให้ส่งเสียงเตือนและบันทึกค่าปริมาณการวัดรังสีเชิงตัวเลขได้ มักออกแบบให้สามารถวัดปริมาณรังสีได้ในย่าน $1 \mu\text{Sv}$ ถึง 10 mSv และตอบสนองพลังงานในช่วง 30 keV ถึง 2 MeV มีโครงสร้างดังรูปที่

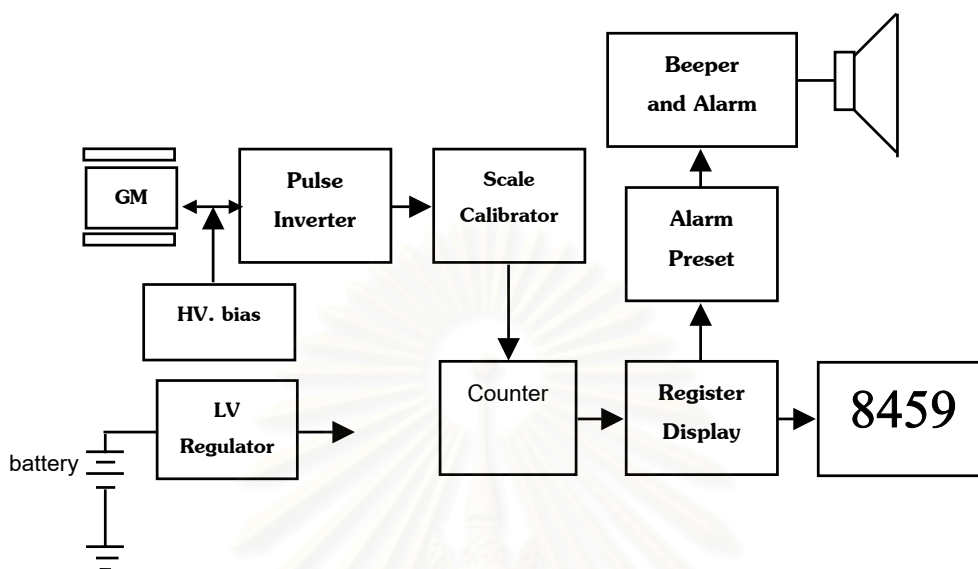


2.4

รูปที่ 2.4 เครื่องวัดปริมาณแบบ Electronic Pocket dosimeter

เครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดพกพาแบบอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่าง ๆ ดังแผนภาพรูปที่ 2.5 ปริมาณรังสีจะถูกวัดด้วยหัววัดไกเกอร์ ซึ่งได้รับการไบอัสแรงดันสูงจากวงจร dc to dc converter และจัดรูปสัญญาณพัลส์ด้วยวงจรถับพัลส์ ส่งให้วงจรนับสัญญาณพัลส์ตามอัตรานับรังสีที่ได้ จากนั้นทำการหารแบ่งอัตรานับรังสี เพื่อปรับสเกลเป็นปริมาณรังสีให้ส่วนบันทึกและแสดงผลการวัดปริมาณรังสี สัญญาณจากส่วนบันทึกค่าปริมาณรังสีอีกส่วนหนึ่งจะนำไปเปรียบเทียบค่าปริมาณรังสีที่ตั้งไว้ควบคุมระดับอันตรายของการได้รับรังสี เพื่อส่งเสียงเตือน

วงจรทั้งหมดจะออกแบบให้ทำงานด้วยการสูญเสียกำลังไฟฟ้าต่ำ ใช้แบตเตอรี่ขนาดเล็กน้ำหนักเบา ใช้งานได้นานต่อเนื่องระยะยาว

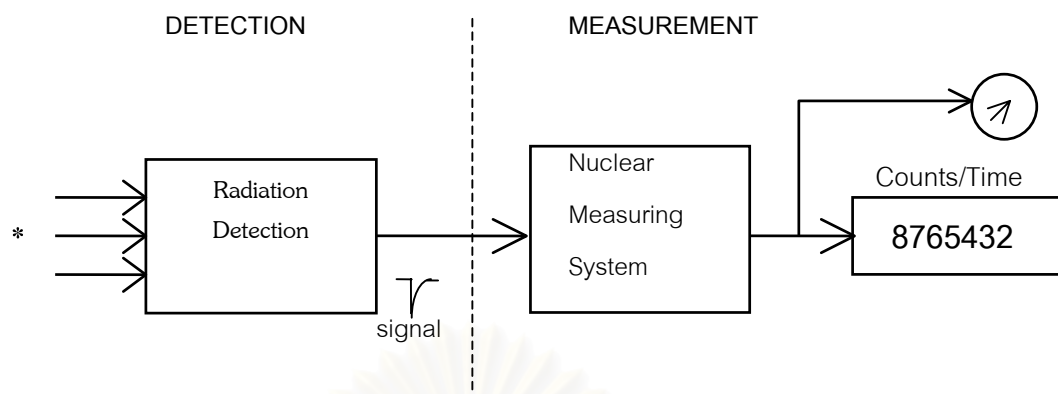


รูปที่ 2.5 แผนภาพการทำงานของเครื่องวัดรังสีแบบ Electronic Pocket dosimeter

2.2 กระบวนการวัดรังสี

ในกระบวนการวัดรังสีจะแบ่งกลุ่มรังสีออกเป็น 2 กลุ่มเพื่อสะดวกในการพิจารณาวิธีตรวจวัดรังสี ได้แก่รังสีที่เป็นอนุภาคซึ่งมีประจุในตัว (charged particulate radiation) และรังสีที่ไม่มีประจุไฟฟ้าในตัว (uncharged radiation) กล่าวคือรังสีที่มีประจุไฟฟ้าในตัวจะมีคุณสมบัติในการทำอันตรกิริยาที่บริเวณสนามคูลอมบ์ของอะตอมของตัวกลางที่รังสีเคลื่อนที่ผ่านเกิดการไอออไนซ์ (ionize) ได้ง่าย ปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดจากการไอออไนซ์สามารถนำไปเข้ากระบวนการวัดทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ทันที ดังนั้นรังสีประเภทนี้จึงสามารถตรวจวัดได้สะดวก ขณะที่รังสีประเภทไม่มีประจุไฟฟ้าในตัว การตรวจวัดจะต้องใช้วิธีพิเศษหรือเทคนิคการวัดทางอ้อม ซึ่งต้องอาศัยอันตรกิริยาหรือปฏิกิริยาทางรังสีที่เหมาะสมรองรับการวัดรังสีประเภทนี้

การที่จะทราบว่ามีการแผ่รังสีจากอะตอมของสสารในบริเวณใด มีปริมาณของรังสีมากน้อยเพียงใดนั้น จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการวัดรังสี ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนสำคัญ 2 ขั้นตอนคือ การตรวจวัดรังสี (detection) และการวัดปริมาณรังสี (measurement) ดังแสดงการทำงานเบื้องต้นในแผนภาพรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แผนภาพแสดงกระบวนการวัดรังสีเบื้องต้น^[7]

การตรวจวัดรังสีเป็นกระบวนการแปลงผันพลังงานของรังสีใด ๆ ให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า และการวัดปริมาณรังสีเป็นการจัดการสัญญาณไฟฟ้าเพื่อแสดงผลการวัดรังสี แต่เนื่องจากการวัดรังสีมีลักษณะเป็นการนับจำนวนพัลส์ของสัญญาณที่ตรวจวัดจากการปลดปล่อยรังสีต่อหน่วยเวลา บางครั้งจึงเรียกรังสีว่า **การนับรังสี (radiation counting)**

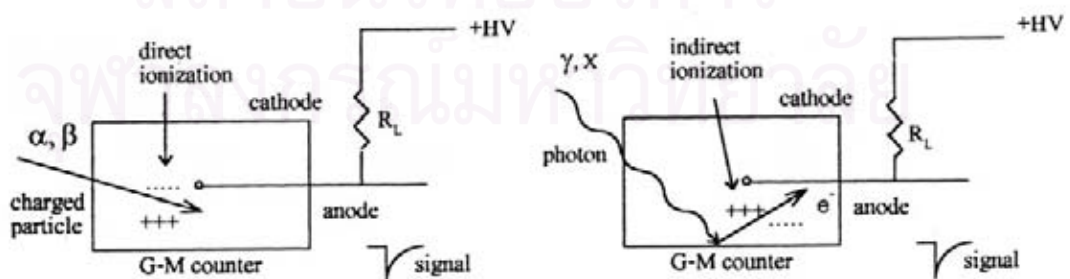
2.2.1 หลักการตรวจวัดรังสี

รังสีหรือสารกัมมันตภาพรังสีที่ปลดปล่อยจากแหล่งกำเนิดรังสีใด ๆ จะมีพลังงานจลน์เฉพาะตัว เมื่อเคลื่อนผ่านตัวกลางใด ๆ จะทำอันตรกิริยากับไอออนพลังงานในตัวกลางตามคุณสมบัติของรังสีนั้น ๆ และมักก่อให้เกิดการไอออไนซ์ สร้างปริมาณประจุไฟฟ้าจากการแยกเป็นคู่อิออนและอิเล็กตรอน (ion pair) ของอะตอมในตัวกลางโดยตรง หรืออาจเกิดอนุภาคนิวเคลียร์ตัวใหม่ก่อนแล้วจึงทำอันตรกิริยากับตัวกลางอื่นที่อยู่ร่วมกัน เกิดการไอออไนซ์สร้างปริมาณประจุไฟฟ้าทางอ้อม ปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นหลังการทำอันตรกิริยาของรังสีกับตัวกลางจะเป็นสัดส่วนกับระดับพลังงาน จากกระบวนการดังกล่าวจะเห็นว่า การตรวจวัดรังสีสามารถทำได้โดยการแปลงผันพลังงานจลน์ของรังสีให้เป็นสัญญาณจากปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในตัวกลาง ซึ่งมีขนาดและคุณสมบัติที่เหมาะสมเพื่อรองรับการถ่ายโอนพลังงานจลน์จากรังสี เมื่อตัวกลางตรวจวัดรังสีถูกบรรจุเป็นโครงสร้างที่ประกอบด้วยแผ่นขั้วไฟฟ้าซึ่งพร้อมจะรวบรวมปริมาณประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เราเรียกอุปกรณ์นี้ว่า **หัววัดรังสี (radiation detector หรือ radiation counter)**

หัววัดรังสีที่นิยมใช้ในการตรวจจับการแผ่รังสีโดยทั่วไปคือ หัววัดไกเกอร์-มุลเลอร์ (Geiger-Mueller tube) หรือเรียกอย่างย่อว่า หัววัดไกเกอร์ (Geiger counter) หัววัดชนิดนี้มีโครง

สร้างเป็นโลหะทรงกระบอกปิดทำหน้าที่เป็นแคโทด (cathode) และเส้นลวดตรงกลางทำหน้าที่เป็นแอโนด (anode) ภายในกระบอกบรรจุก๊าซเฉื่อย ขณะทำงานจะต้องจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้กับขั้วแอโนดและแคโทด ในสภาวะปกติก๊าซที่บรรจุอยู่ในหัววัดจะไม่นำกระแสไฟฟ้า แต่เมื่อมีรังสีผ่านเข้าไปในหัววัดรังสีจะทำให้อะตอมของก๊าซเกิดการแตกตัว ก๊าซจะนำกระแสชั่วขณะเกิดสัญญาณพัลส์ส่งไปยังเครื่องนับ ซึ่งได้แก่ scaler หรือ ratemeter ต่อไป หัววัดไกเกอร์แต่ละแบบจะมีความไวต่อรังสีแต่ละชนิดไม่เท่ากัน รังสีแอลฟาจะมีอำนาจการทะลุทะลวงต่ำที่สุด ดังนั้นจึงอาจถูกดูดกลืนโดยหน้าต่างของหัววัด แม้ว่าหน้าต่างนั้นจะบางมาก รังสีบีตามีอำนาจการทะลุทะลวงสูงกว่ารังสีแอลฟา จึงสามารถผ่านเข้าไปในหัววัดและถูกตรวจจับได้ง่าย ส่วนรังสีแกมมา นั้นมีอำนาจการทะลุทะลวงสูงมาก การวัดรังสีชนิดนี้จำเป็นต้องอาศัยอันตรกิริยาทางอ้อม หัววัดไกเกอร์มี 2 แบบคือ แบบหน้าต่างปลาย (end window) และแบบหน้าต่างข้าง (side window) แต่ละแบบจะมีความหนาของหน้าต่างหลายขนาด หัววัดที่มีหน้าต่างบางมาก ๆ จะสามารถตรวจจับรังสีแอลฟา และรังสีบีตาทรงงานต่ำได้ หน้าต่างของหัววัดเป็นส่วนที่บอบบางที่สุด

หัววัดไกเกอร์ชนิดที่หน้าต่างทำด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติในการลดทอนพลังงานต่ำ เช่น ไมลาร์ ไมกา หรือเบอริลเลียม สามารถวัดรังสีได้ทั้ง รังสีแอลฟา รังสีบีตา และรังสีเอกซ์ กล่าวคือในกรณีของรังสีแอลฟาและรังสีบีตา ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้าในตัว เมื่อผ่านเข้าทางหน้าต่าง หัววัดไกเกอร์จะทำอันตรกิริยากับอะตอมของก๊าซที่บรรจุในหัววัดรังสีเกิดการไอออไนซ์เป็นคู่ไอออน สร้างปริมาณประจุไฟฟ้าขึ้นภายในหัววัดรังสีโดยตรงดังในรูปที่ 2.7 ก. ส่วนในกรณีของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีอำนาจในการทะลุทะลวง (penetration) สูงเมื่อผ่านเข้าทางหน้าต่างหัววัดไกเกอร์ จะทะลุผ่านก๊าซไปทำอันตรกิริยากับผนังโลหะของหัววัดรังสี เกิดอิเล็กตรอนที่หลุดจากผลการกระเจิง (recoil electron) อิเล็กตรอนนี้จะไอออไนซ์ก๊าซสร้างปริมาณประจุไฟฟ้าภายในหัววัดรังสีขึ้นเป็นการวัดทางอ้อม (indirect) ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ข.



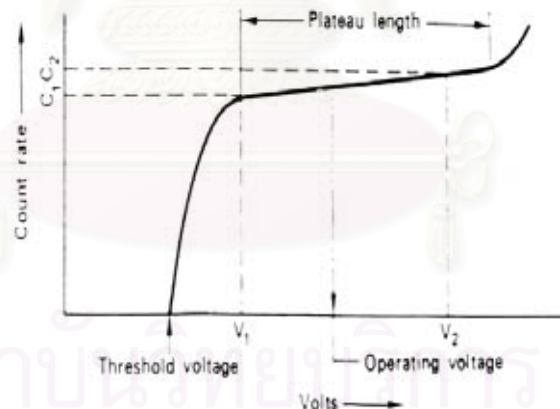
ก. การวัดด้วยอันตรกิริยาตรง

ข. การวัดด้วยอันตรกิริยาอ้อม

รูปที่ 2.7 แสดงการตรวจวัดรังสีของหัววัดไกเกอร์

2.2.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

หลอดโฟโตทิวบ์จะทำงานได้ต้องจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงระหว่างขั้วแคโทดและแอโนด การจ่ายไฟฟ้าให้หลอดรังสีทำงานนี้เรียกว่า การให้ไบอัส (bias) ถ้าไม่มีการให้ไบอัสแก่ขั้วไฟฟ้าของหลอดรังสี อะตอมก๊าซในภาวะไอออนไนซ์จะกลับคืนสู่สภาพเดิม (recombination) โดยไม่สามารถกำเนิดสัญญาณได้ ดังนั้นหลอดโฟโตทิวบ์จะทำงานได้จึงต้องมีการจัดวงจรไบอัสแรงดันไฟฟ้า ณ จุดทำงานของหลอดรังสี (operating voltage) คงที่ตลอดเวลา หลอดโฟโตทิวบ์แต่ละชนิดจะใช้แรงดันไฟฟ้าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของหลอดชนิดนั้น ๆ เมื่อทำการจัดวงจรให้หลอดรังสีโฟโตทิวบ์ทำงานซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (high voltage) เครื่องนับรังสีและอุปกรณ์ตั้งเวลาแล้วค่อย ๆ เพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้หลอดโดยเริ่มจากศูนย์ หลอดจะยังไม่สามารถตรวจวัดรังสีได้ จนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าสูงถึงค่าเริ่มนับรังสีเรียกว่า **Threshold voltage** หลังจากนั้นเพิ่มแรงดันไฟฟ้าสูงและบันทึกอัตราการนับรังสีให้ถึงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการนับรังสีมากผิดปกติ เมื่อนำความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและอัตราการนับรังสี มาเขียนกราฟจะได้เส้นกราฟแสดงคุณลักษณะของหลอดรังสีเรียกว่า **Plateau curve** ดังแสดงในรูปที่ 2.8 การเลือกไฟฟ้าแรงดันสูงใช้งาน จะเลือกในช่วง 25%-50% ของช่วงพลาโต เพื่อยืดอายุการใช้งานของหลอดโฟโตทิวบ์

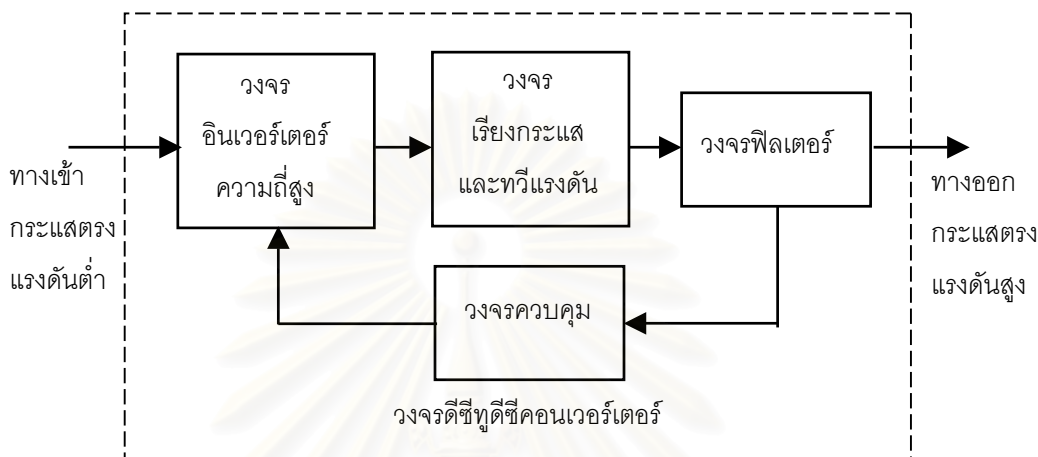


รูปที่ 2.8 คุณลักษณะเส้นกราฟพลาโตของหลอดรังสี

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสำหรับหลอดโฟโตทิวบ์ต้องการความเสถียรของแรงดันไฟฟ้าทางออกปานกลาง เนื่องจากสัญญาณมีขนาดสูงมาก ในเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และมีประสิทธิภาพสูง จำเป็นต้องแปลงไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำจากแบตเตอรี่ (battery) ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก การเรียงกระแสไฟฟ้าและการทวีแรงดันไฟฟ้าให้ได้ไฟฟ้าแรงดันสูง ณ จุดทำงานของหลอดโฟโตทิวบ์

2.2.2.1 การกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง

วงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงอาศัยการทำงานของวงจรตีชู้ทูตีชู้คอนเวอร์เตอร์ (dc to dc converter) ความถี่สูง ประกอบด้วยวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง วงจรเรียงกระแส วงจรฟิลเตอร์ ด้านไฟฟ้าทางออกและวงจรควบคุม ดังแผนภาพรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แผนภาพตีชู้ทูตีชู้คอนเวอร์เตอร์ (dc to dc converter)

วงจรอินเวอร์เตอร์ (inverter circuit) มีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงด้วยหม้อแปลงแบบสวิตซิง (switching transformer) ร่วมกับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สวิตซ์ (switching element) ซึ่งจะทำการสวิตซ์ตามความถี่ (frequency) ที่วงจรควบคุมกำหนด และหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำหน้าที่เปลี่ยนขนาดของแรงดันไฟฟ้าให้เพิ่มขึ้น (step up) หรือลดลง (step down)

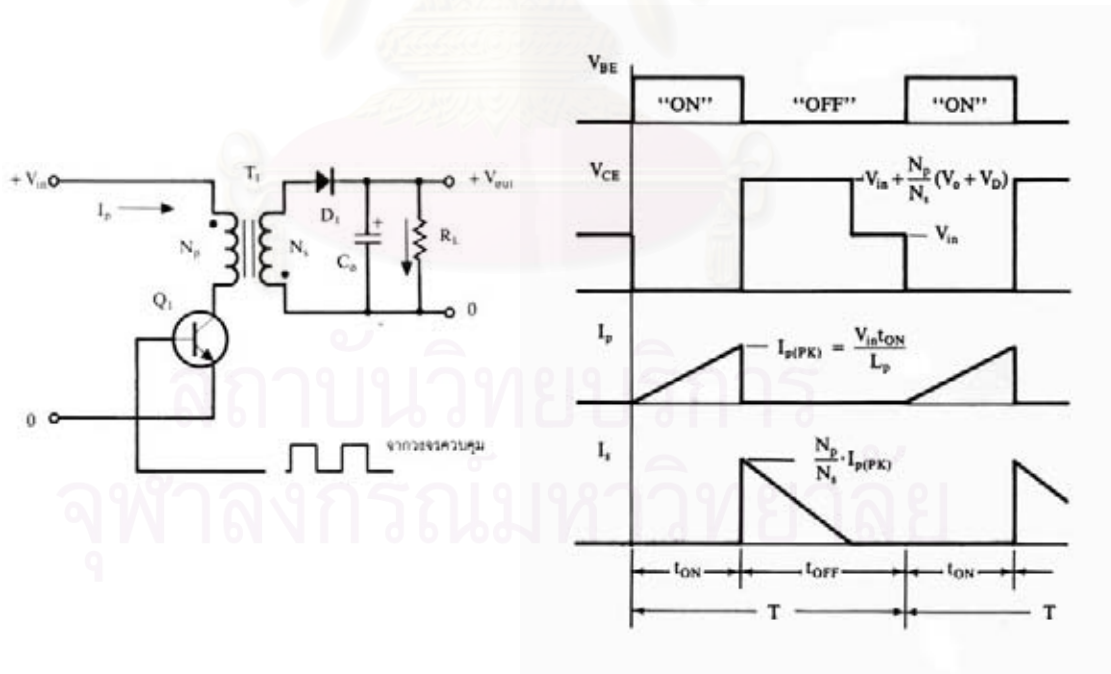
วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าและฟิลเตอร์ (rectifier and filter circuit) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อจ่ายให้กับโหลด โดยไดโอดสวิตซ์ (switching diode) จะเรียงกระแสเป็นไฟฟ้ากระแสตรงแบบพัลส์และตัวเก็บประจุจะกรองสัญญาณรบกวนพัลส์ให้เรียบ

วงจรควบคุม (control circuit) มีหน้าที่ควบคุมศักดาไฟฟ้าทางด้านขาออกให้คงที่ (regulate) ด้วยการตรวจสอบระดับศักดาไฟฟ้าด้านทางออกป้อนย้อนกลับมาควบคุมการทำงานของวงจรอินเวอร์เตอร์ (feedback control) เพื่อรักษาระดับแรงดันให้คงที่ การควบคุมระดับศักดาไฟฟ้าด้านทางออก สามารถทำได้ทั้งการเปลี่ยนแปลงความถี่ (FM) หรือความกว้างพัลส์ (PWM) ของสัญญาณที่ใช้ควบคุมอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สวิตซ์

รูปแบบของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้ในวงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงขนาดเล็กมีอยู่ด้วยกันหลายแบบขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายใน ส่วนใหญ่มีพื้นฐานมาจากวงจร 3 แบบ ดังนี้

ก. ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (flyback converter)

ฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์มีรูปแบบวงจรดังรูปที่ 2.10 ก. การทำงานของวงจรอาศัยการสวิตช์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Q_1) ให้นำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันตามความถี่ของสัญญาณทางไฟฟ้าจากวงจรควบคุม ในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Q_1) นำกระแสจะทำให้กระแส (I_p) ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ (N_p) เกิดกระแสเหนี่ยวนำในขดลวดทุติยภูมิ (N_s) จากวงจรจะเห็นว่าขดลวดปฐมภูมิ (N_p) และขดลวดทุติยภูมิ (N_s) ของหม้อแปลงมีการพันในลักษณะกลับทิศกัน เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Q_1) นำกระแส ไดโอด (D_1) จะอยู่ในลักษณะไบอัสกลับ (reverse bias) จึงไม่มีกระแสไหลผ่านโหลด (R_L) ขดลวดปฐมภูมิ (N_p) จะสะสมพลังงานไว้ เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Q_1) หยุดนำกระแส ไดโอด (D_1) จะนำกระแสเนื่องจากขดลวดปฐมภูมิ (N_p) ทำการถ่ายพลังงานที่สะสมไว้ไปยังขดลวดทุติยภูมิ (N_s) ทำให้มีกระแสไหลผ่านไปประจุบนคาปาซิเตอร์ (C_o) และสร้างแรงดันไฟฟ้าบนโหลด (R_L) ดังแสดงสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 2.10 ข.



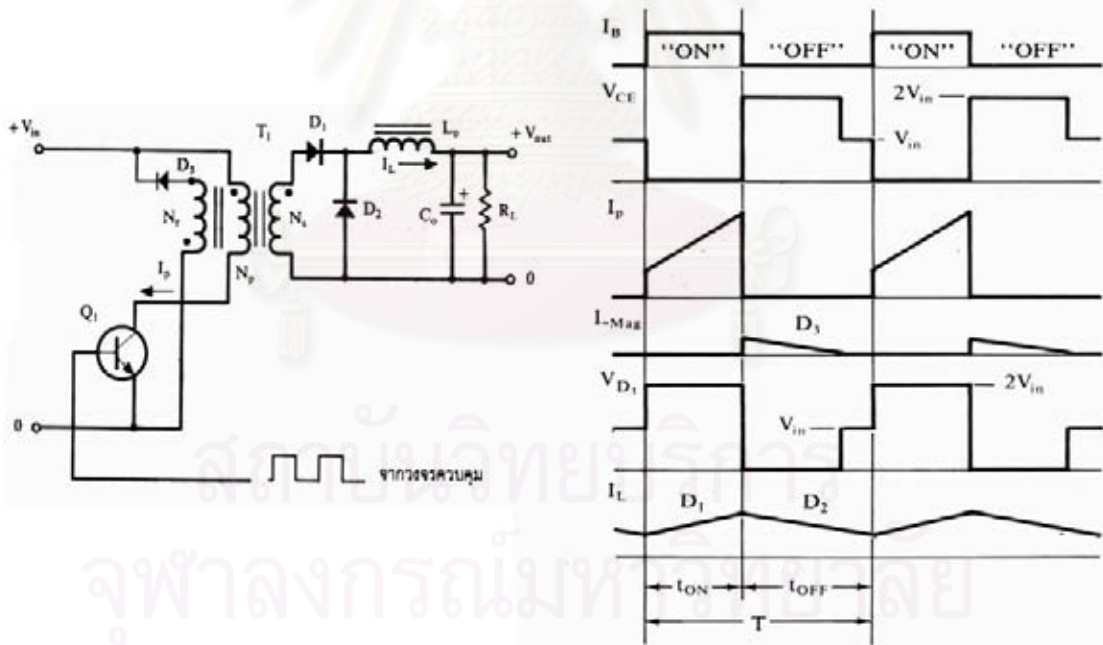
ก. รูปแบบวงจร

ข. รูปการทำงานของสัญญาณ

รูปที่ 2.10 รูปแบบวงจรพื้นฐานและการทำงานของวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์^[8]

ข. ฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์ (forward converter)

ฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์มีรูปแบบวงจรดังรูปที่ 2.11 ก. การทำงานของวงจรอาศัยการสวิตช์เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Q_1) นำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกัน ขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Q_1) นำกระแสจะทำให้กระแส (I_p) ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ (N_p) จากวงจรจะเห็นว่าขดลวดปฐมภูมิ (N_p) และขดลวดทุติยภูมิ (N_s) ของหม้อแปลงจะพันอยู่ในทิศทางเดียวกัน ไดโอด (D_1) จึงอยู่ในลักษณะไบอัสตรงเกิดกระแสไหลผ่านขดลวดตัวเหนี่ยวนำ (L_o) ผ่านไปยังโหลด (R_L) และมีการสะสมพลังงานในขดลวดตัวเหนี่ยวนำ (L_o) โดยไดโอด (D_2) จะทำงานในภาวะไบอัสกลับจึงกระแสไหลผ่าน เช่นเดียวกับไดโอด (D_3) เนื่องจากขดลวดตีแมกเนไตซิง (N_r) พันไว้ในลักษณะกลับทิศทางกับขดลวดปฐมภูมิ เมื่อเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Q_1) หยุดนำกระแส ไดโอด (D_1) จะอยู่ในลักษณะไบอัสกลับและหยุดนำกระแสไหลในขดลวดทุติยภูมิ (N_s) ในขณะเดียวกันสนามแม่เหล็กของขดลวดตัวเหนี่ยวนำ (L_o) ยุบตัวทำให้มีการกลับแรงดันที่ (L_o) เกิดการถ่ายพลังงานที่สะสมไว้ไปผ่านไดโอด (D_2) จึงทำให้มีกระแสไหลผ่านไปทำการประจุคาปาซิเตอร์ (C_o) และสร้างแรงดันที่โหลด ดังแสดงสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 2.11 ข.



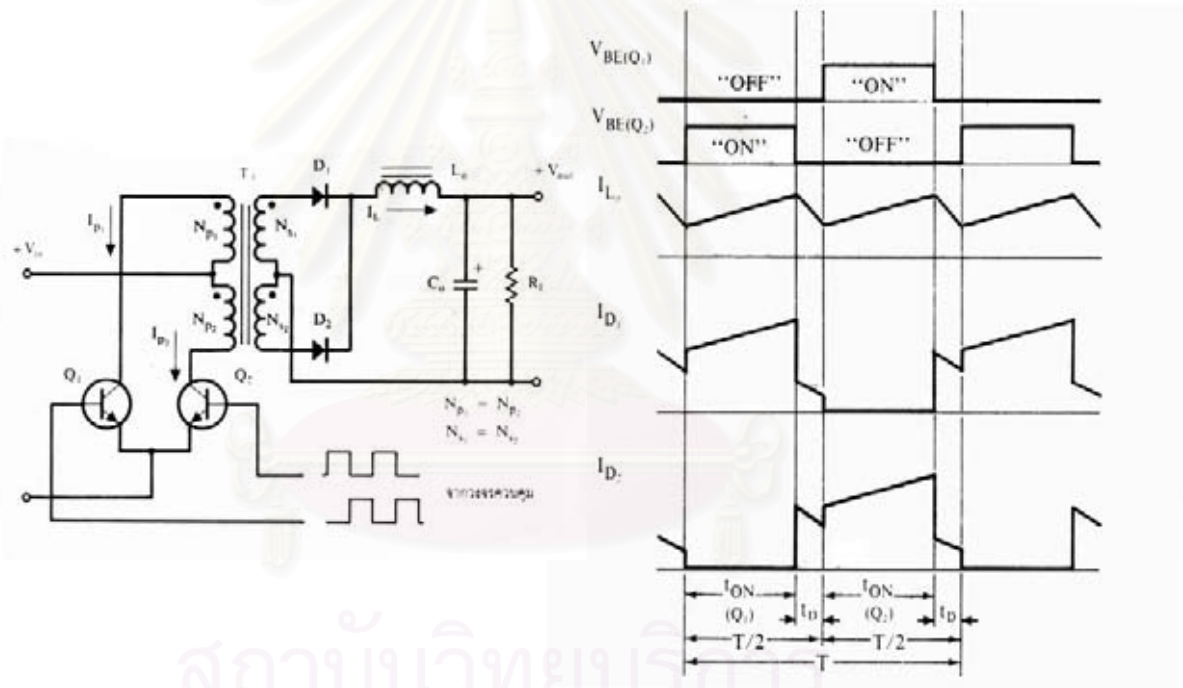
ก. รูปแบบวงจร

ข. รูปการทำงานของสัญญาณ

รูปที่ 2.11 รูปแบบวงจรพื้นฐานและการทำงานของวงจรฟอว์เวิร์ดคอนเวอร์เตอร์

ค. พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์ (push-pull converter)

พูช-พูลคอนเวอร์เตอร์มีรูปแบบวงจรดังรูปที่ 2.12 ก. ประกอบด้วยเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ 2 ตัว อาศัยการทำงานสลับกันโดยขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Q_1) ทำงานจะเกิดกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ (N_{p1}) ส่วนไดโอด (D_1) ไม่นำกระแสเนื่องจากถูกไบอัสกลับ ส่วนไดโอด (D_2) จะนำกระแสทำให้มีกระแสไหลผ่านขดลวดทุติยภูมิ (N_{s2}) ผ่านไดโอด (D_2) และขดลวดตัวเหนี่ยวนำ (L_o) ไปทำการประจุคาปาซิเตอร์ (C_o) และโหลด ซึ่งศักดาไฟฟ้าตกคร่อมเพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Q_2) จะมีค่าเป็นสองเท่าของศักดาไฟฟ้าขาเข้าและในขณะที่เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Q_2) ทำงาน เพาเวอร์ทรานซิสเตอร์ (Q_1) และไดโอด (D_2) จะไม่นำกระแส ส่วนไดโอด (D_1) จะนำกระแสทำให้มีกระแสไหลขดลวดทุติยภูมิ (N_{s2}) ผ่านขดลวดตัวเหนี่ยวนำ (L_o) ไปทำการประจุคาปาซิเตอร์ (C_o) และสร้างแรงดันไฟฟ้าที่โหลด ดังแสดงสัญญาณที่ได้ในรูปที่ 2.12 ข.



ก. รูปแบบวงจร

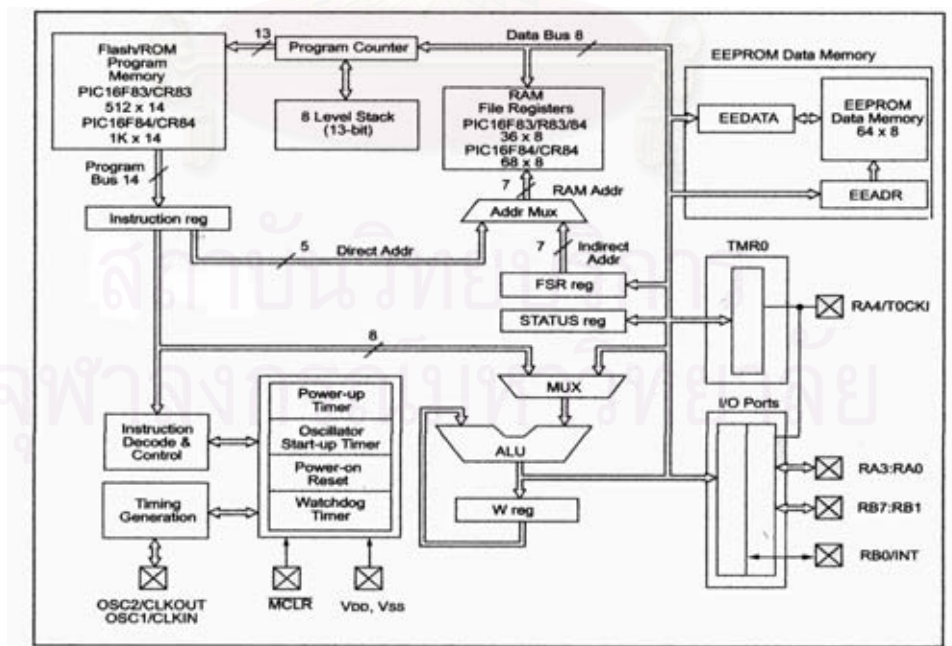
ข. รูปการทำงานของสัญญาณ

รูปที่ 2.12 รูปแบบวงจรพื้นฐานและการทำงานของวงจรพูช-พูลคอนเวอร์เตอร์

2.3 การประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ในเครื่องวัดรังสี

เทคโนโลยีทางเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์แบบพกพานั้นมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาวงจรให้ทำงานด้วยสมรรถนะสูง มีขนาดเล็กน้ำหนักเบา ลดจำนวนการใช้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อให้

เครื่องมือใช้กำลังไฟฟ้าต่ำมีความเสถียรในการทำงานสูง เทคนิคส่วนหนึ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนในส่วนและเทคโนโลยีระบบเชิงตัวเลขคือการประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยออกแบบโปรแกรมให้กำเนิดสัญญาณแทนฟังก์ชันของชิ้นส่วนต่าง ๆ โดยเฉพาะไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC (Peripheral Interface Controller) PIC16F84 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบและพัฒนาโดยผู้ผลิตไมโครชิปเทคโนโลยี (microchip technology) PIC16F84 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่มีหน่วยความจำโปรแกรม (program memory) เป็นแบบแฟลช (flash) ขนาด 1 กิโลเวิร์ด (1 เวิร์ดของ PIC มีขนาด 14 บิต) ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่สามารถเขียนและลบได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้านับพันครั้ง ทำให้สะดวกในการพัฒนาโปรแกรม หน่วยความจำข้อมูลที่เป็นแรม (RAM) ขนาด 68 ไบต์ และที่เป็นแบบอีอีพรอม (EEPROM) ขนาด 64 ไบต์ มีจำนวนพอร์ต PIC16F84 ที่จัดสรรไว้สำหรับอินพุต/เอาต์พุต 13 บิต สามารถตอบสนองสัญญาณอินเทอร์รัปต์ 4 เงื่อนไข โดยใช้แรงดันในการโปรแกรมเพียง 5 โวลต์ กินกระแสต่ำเพียง 1 ไมโครแอมป์ในสภาวะสแตนด์บายและสูงสุดเพียง 2 มิลลิแอมป์ ในขณะที่ใช้งานสัญญาณนาฬิกาความถี่ 4 เมกะเฮิรตซ์ (ดังรายละเอียดในภาคผนวก ค.) นอกจากนี้ PIC16F84 ยังเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จัดอยู่ในกลุ่มของไมโครโปรเซสเซอร์แบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) ซึ่งมีชุดคำสั่งใช้งานน้อยมากเพียง 33 คำสั่ง และทุกคำสั่งทำงานสิ้นสุดที่สัญญาณนาฬิกาเพียงลูกเดียว อีกทั้งยังทำงานในลักษณะไปป์ไลน์ (pipe line) จึงมีความเร็วในการทำงานสูงมาก มีโครงสร้างสถาปัตยกรรม ดังรูปที่ 2.13



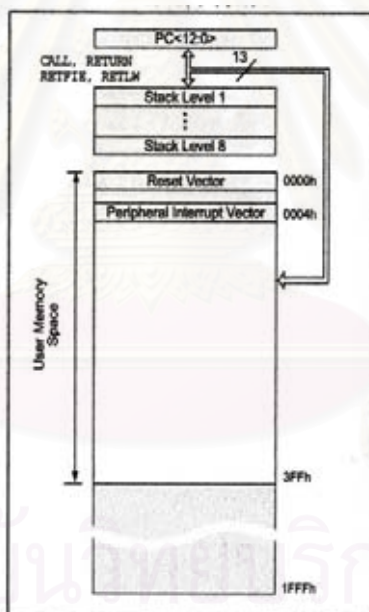
รูปที่ 2.13 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84^[9]

2.3.1 รายละเอียดในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84

การจัดสรรหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล

ก. หน่วยความจำโปรแกรม

เป็นหน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ หรือใช้เป็นที่เก็บโปรแกรมมอนิเตอร์ หน่วยความจำโปรแกรมนี้อ่านได้เพียงอย่างเดียว และจะสามารถเขียนหรือแก้ไขได้ก็ต่อเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 อยู่ในโหมดของการโปรแกรมเท่านั้น หน่วยความจำโปรแกรมมีขนาด 1 กิโลเวิร์ด ได้รับการจัดสรรอยู่ในตำแหน่ง 0000H-03FFH สามารถเขียนข้อมูลเก็บลงในพื้นที่ของหน่วยความจำนี้ได้ทุกแอดเดรสเว้นแต่แอดเดรส 0000H ซึ่งถูกสงวนไว้เก็บค่าแอดเดรสของการรีเซ็ต (Reset Vector) และแอดเดรส 0004H ซึ่งเก็บค่าแอดเดรสของการอินเตอร์รัปต์ (Interrupt Vector)

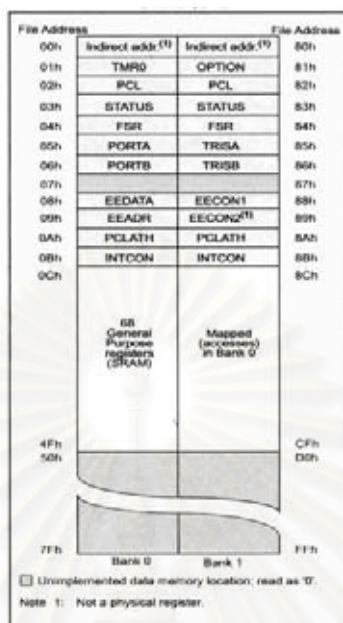


รูปที่ 2.14 หน่วยความจำโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84

ข. หน่วยความจำข้อมูล

พื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลได้รับการจัดสรรเป็น 2 ส่วนคือ พื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Registers : SFR) และพื้นที่ของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (General Purpose Registers : GPR) การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 2 แบนก์ เพื่อเก็บค่าของ SFR และ GPR หน่วยความจำในแบนก์ 0 จะถูกเลือกเมื่อเคลียร์บิต RP0 (บิต 5 ของรีจิสเตอร์

สถานะ) เป็น “0” และถ้าหากเซตบิตนี้เป็น “1” จะเป็นการเลือกหน่วยความจำในแบงก์ 1 หน่วยความจำแต่ละแบงก์จะมีขนาด 128 ไบต์ (0x07f)



รูปที่ 2.15 หน่วยความจำข้อมูลในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84

2.3.2 พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 มีพอร์ตสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก 2 พอร์ต คือ พอร์ต A และพอร์ต B รายละเอียดของขาต่อใช้งานทั้งหมดแสดงในตารางที่ 2.3

พอร์ต A ใน PIC16F84 พอร์ต A มีขนาด 5 บิต คือ RA0-RA5 เป็นพอร์ตแบบ 2 ทิศทาง จึงสามารถใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตได้อย่างอิสระ สำหรับขาพอร์ต A บิตที่ 4 หรือ RA4/T0CKI จะมีวงจรมิตต์ทริกเกอร์ต่อเข้าที่อินพุต ซึ่งใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณนาฬิกาภายนอกสำหรับไทมเมอร์คอนเตอ์ TMR0 ภายใน PIC16F84

พอร์ต B มีขนาด 8 บิต เป็นพอร์ต 2 ทิศทางจึงสามารถใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตได้อย่างอิสระเช่นเดียวกับพอร์ต A มีขา RB0 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ ส่วนขา RB6 และ RB7 นอกจากนี้จะเป็นพอร์ตทางออกแล้วยังใช้เป็นขารับสัญญาณนาฬิกาในโปรแกรมข้อมูลในหน่วยความจำแบบอนุกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย

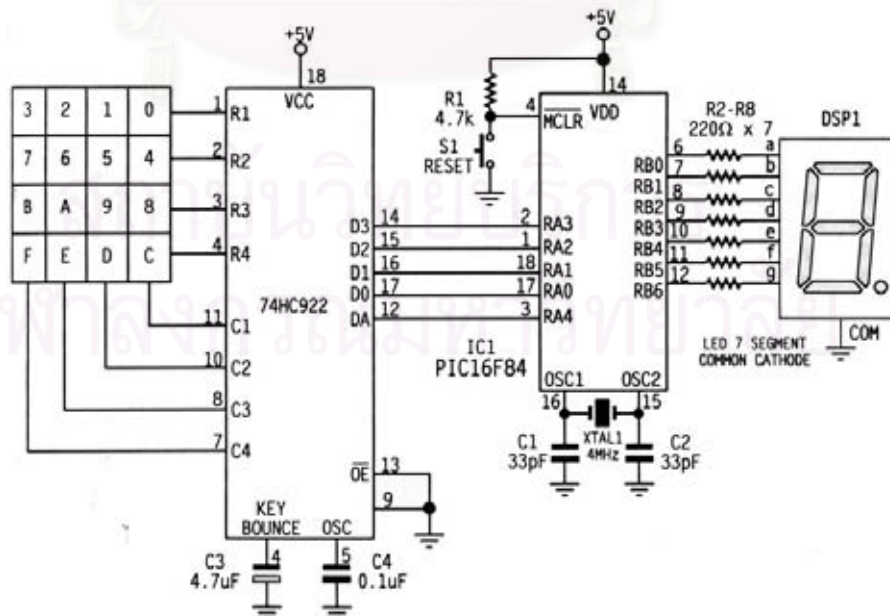
ตารางที่ 2.3 แสดงรายละเอียดของขาต่อใช้งานทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84

Pin Name	DIP No.	SOIC No.	I/O/P Type	Buffer Type	Description
OSC1/CLKIN	16	16	I	ST/CMOS ⁽³⁾	Oscillator crystal input/external clock source input.
OSC2/CLKOUT	15	15	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.
MCLR	4	4	I/P	ST	Master clear (reset) input/programming voltage input. This pin is an active low reset to the device.
RA0 RA1 RA2 RA3 RA4/T0CKI	17 18 1 2 3	17 18 1 2 3	I/O I/O I/O I/O I/O	TTL TTL TTL TTL ST	PORTA is a bi-directional I/O port. Can also be selected to be the clock input to the TMR0 timer/counter. Output is open drain type.
RB0/INT RB1 RB2 RB3 RB4 RB5 RB6 RB7	6 7 8 9 10 11 12 13	6 7 8 9 10 11 12 13	I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O	TTL/ST ⁽¹⁾ TTL TTL TTL TTL TTL/ST ⁽²⁾ TTL/ST ⁽²⁾	PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0/INT can also be selected as an external interrupt pin. Interrupt on change pin. Interrupt on change pin. Interrupt on change pin. Serial programming clock. Interrupt on change pin. Serial programming data.
Vss	5	5	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	14	14	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.

จากโครงสร้างและการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 จะเห็นได้ว่าเป็นสามารถนำมาประยุกต์ในเครื่องมือวัดต่าง ๆ ด้วยการโปรแกรมฟังก์ชันการจัดการสัญญาณเชิงเลขภายในตัวได้สะดวก ดังแผนภาพในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 ในเครื่องมือวัดต่าง ๆ

2.4 การสื่อสารข้อมูลระยะไกล

การสื่อสารข้อมูลเชิงสัญญาณหมายถึงการส่งและรับข้อมูลระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ เพื่อการติดต่อและควบคุมการทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์ หรือการบันทึกข้อมูล ตลอดจนการจัดการข้อมูล ทั้งภาพ เสียงและปริมาณของหน่วยวัดทางเคมี ฟิสิกส์ หรือข้อมูลทางสถิติต่าง ๆ เป็นต้น การสื่อสารข้อมูลเชิงสัญญาณระยะไกลสามารถทำได้เป็น 2 แบบ คือ

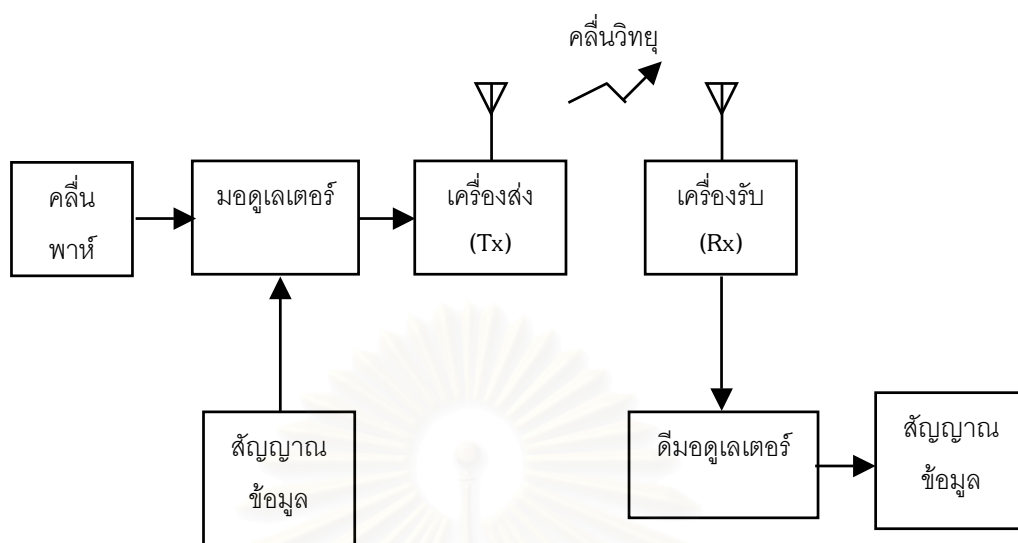
ก. การสื่อสารข้อมูลผ่านตัวกลางชนิดสาย ได้แก่ สายเคเบิลไฟฟ้า สายใยแก้วนำแสง (optic fiber) และชุดสายสัญญาณต่าง ๆ ที่ออกแบบเฉพาะชุดรับส่ง เป็นต้น

ข. การสื่อสารข้อมูลชนิดไร้สาย ได้แก่ การฝากข้อมูลไปกับคลื่นวิทยุและแสงอินฟราเรด เป็นต้น

การสื่อสารข้อมูลผ่านสายเคเบิล เป็นวิธีที่สะดวกและประหยัด แต่ไม่สามารถใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีอุปสรรคในการใช้งานกับเครื่องมือเครื่องใช้ที่ต้องเคลื่อนย้ายพกพา ซึ่งมักพบอุปสรรคจากการรบกวนทางสัญญาณและความไม่สะดวกเคลื่อนย้ายบ่อยครั้ง ดังนั้นปัจจุบันจะเห็นได้ว่าการสื่อสารแบบไร้สายเข้ามามีบทบาทอย่างมาก เช่นระบบควบคุมระยะไกลด้วยแสงอินฟราเรดในเครื่องรับโทรทัศน์ การควบคุมเครื่องเล่นเกมส์ ถ่ายโอนข้อมูลของเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ การควบคุมระยะไกลด้วยคลื่นวิทยุ ในการเปิดปิดประตูรถยนต์และบ้านเรือน เป็นต้น สำหรับเครื่องมือวัดที่เป็นประเภทพกพาไปกับบุคคลต้องมีการเปลี่ยนมุมตำแหน่งของเครื่องตามการเคลื่อนไหวของบุคคล การส่งสัญญาณระยะไกลจากเครื่องมือวัดไปยังเครื่องรับจึงเลือกใช้การสื่อสารด้วยคลื่นวิทยุเสมอ

2.4.1 การสื่อสารข้อมูลระยะไกลด้วยคลื่นวิทยุ

หลักการสื่อสารข้อมูลระยะไกลด้วยคลื่นวิทยุ เป็นการฝากข้อมูลสัญญาณผสมกับคลื่นวิทยุ เรียกว่า **การมอดูเลต (modulation)** และส่งสัญญาณผสมไปยังเสาอากาศของเครื่องส่ง (transmitter :Tx) เพื่อกระจายคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังเสาอากาศของเครื่องรับ (receiver :Rx) ระบบรับสัญญาณจะทำการตรวจแยกข้อมูลสัญญาณออกจากคลื่นวิทยุหรือคลื่นพาห้ เรียกว่า **การดีมอดูเลต (demodulator)** ดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แผนภาพการสื่อสารข้อมูลในการรับส่งสัญญาณ

การครอบครองคลื่นความถี่ที่จะใช้คลื่นพาห้ในการส่งข้อมูลสัญญาณ จะต้องเลือกใช้ให้ถูกต้องตามการบริหารความถี่ ของมาตรฐานระหว่างประเทศ ที่กำหนดโดยองค์การโทรคมนาคมนานาชาติ ITU (International Telecommunication Union) ซึ่งได้แบ่งย่านความถี่ ให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงย่านความถี่คลื่นวิทยุ

ความถี่	ชื่อย่านความถี่	อักษรย่อ
3 kHz - 10 kHz	Extremely low frequency	ELF
10 kHz - 30 kHz	Very low frequency	VLF
30 kHz - 300 kHz	Low frequency	LF
300 kHz - 3000 kHz	Medium frequency	MF
3 MHz - 30 MHz	High frequency	HF
30 MHz - 300 MHz	Very high frequency	VHF
300 MHz - 3000 MHz	Ultra high frequency	UHF
3 GHz - 30 GHz	Super high frequency	SHF
30 GHz - 300 GHz	Extremely high frequency	EHF

ลักษณะของสัญญาณในการสื่อสารข้อมูลด้วยเทคโนโลยีปัจจุบันแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ สัญญาณแอนาลอก (analog) และสัญญาณเชิงเลข (digital)

ก. สัญญาณแอนาลอก เป็นสัญญาณที่มีระดับและสัญญาณเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง แสดงปริมาณอยู่ในระบบเลขฐานสิบ (decimal number)

ข. สัญญาณเชิงเลข เป็นสัญญาณที่มีระดับสัญญาณอยู่ 2 ระดับ หรือมีขนาดการเปลี่ยนแปลงเป็นค่าของเลขลงตัวโดยปกติมักแทนด้วยระดับแรงดันที่แสดงสถานะเป็น “0” และ “1” แสดงปริมาณอยู่ในระบบเลขฐานสอง (binary number)

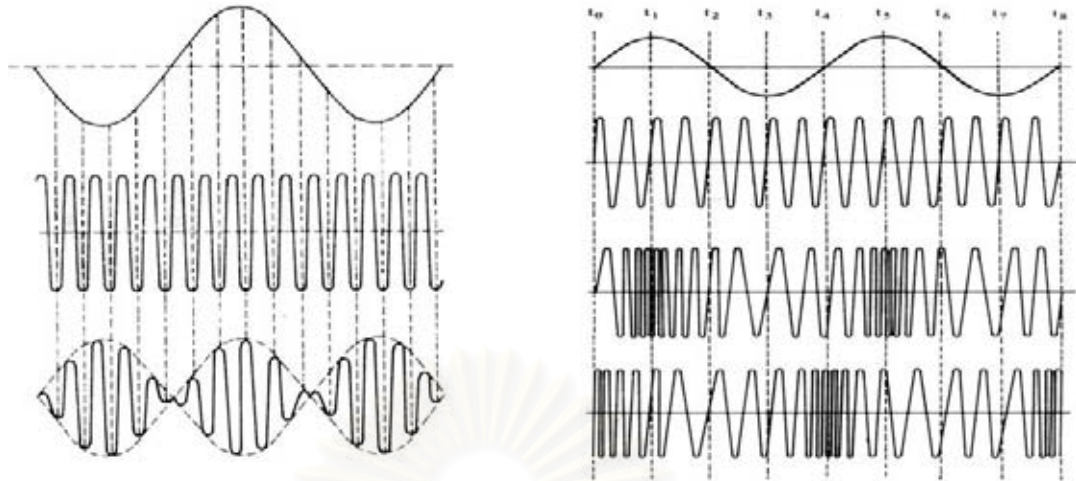
ก. การสื่อสารระบบแอนาลอก

การสื่อสารระบบแอนาลอก เป็นระบบที่มีการพัฒนาให้ส่งสัญญาณข้อมูลแอนาลอก ซึ่งยังคงใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพในปัจจุบัน เนื่องจากสัญญาณในธรรมชาติทั้งหมดเป็นสัญญาณแอนาลอก รูปแบบในการมอดูเลตสัญญาณข้อมูลออกอากาศไปยังจุดหมายปลายทาง สามารถทำได้ 3 วิธี ดังต่อไปนี้

ก.1 การมอดูเลตสัญญาณทางแอมพลิจูด (Amplitude Modulation หรือ AM) เป็นวิธีฝากสัญญาณข้อมูลเข้ากับคลื่นพาห์ แล้วมีผลให้แอมพลิจูดของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับรูปคลื่นของสัญญาณข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.18 ก.

ก.2 การมอดูเลตสัญญาณทางความถี่ (Frequency Modulation หรือ FM) เป็นวิธีการฝากสัญญาณข้อมูลเข้ากับคลื่นพาห์ แล้วมีผลให้ความถี่ของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับรูปคลื่นของสัญญาณข้อมูล ดังแสดงรูปที่ 2.18.ข. การมอดูเลตแบบ FM ให้คุณภาพของสัญญาณดีกว่าการมอดูเลตแบบ AM แต่ระบบจะซับซ้อนกว่า

ก.3 การมอดูเลตสัญญาณทางเฟส (Phase Modulation หรือ PM) เป็นวิธีการฝากสัญญาณข้อมูลเข้ากับคลื่นพาห์ แล้วมีผลให้เฟสของคลื่นพาห์เปลี่ยนแปลงสอดคล้องกับรูปคลื่นของสัญญาณข้อมูล ดังแสดงรูปที่ 2.18.ข. การมอดูเลตแบบ PM แตกต่างกับการมอดูเลตแบบ FM คือการมอดูเลตแบบ PM ใช้คลื่นพาห์เพียงความถี่เดียว การมอดูเลตและการดีมอดูเลตไม่ซับซ้อน จึงทำให้ประหยัด



ก. การมอดูเลตสัญญาณทางแอมพลิจูด

ข. การมอดูเลตสัญญาณทางความถี่และเฟส

รูปที่ 2.18 การมอดูเลตสัญญาณแบบต่าง ๆ^[10]

ข. การสื่อสารระบบเชิงเลข

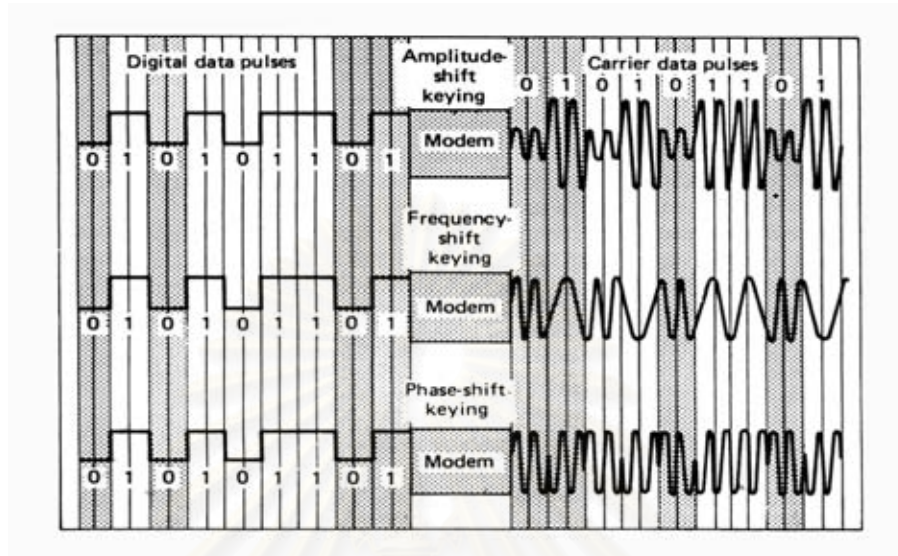
การสื่อสารระบบเชิงเลขระยะไกลด้วยคลื่นวิทยุ เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อการผสมสัญญาณเชิงเลขกับคลื่นพาห์ โดยการจัดการสัญญาณเชิงเลขในระบบส่งข้อมูลแบบอนุกรม (serial) ให้มีรูปแบบที่เหมาะสมกับการผสมคลื่นพาห์ เทคนิคที่นิยมใช้กัน 2 ชนิด ได้แก่ เทคนิคโมเด็ม (modulation/demodulation) และเทคนิคการเข้ารหัส/ถอดรหัส (encode/decode)

เทคนิคโมเด็ม (modem) เป็นวิธีการเปลี่ยนสัญญาณเชิงตัวเลข ซึ่งมีระดับลอจิก “0” และ “1” เป็นความถี่ที่แตกต่างกันทางด้านส่ง เพื่อมอดูเลตทั้งสัญญาณกับคลื่นพาห์ และด้านเครื่องรับเมื่อแยกสัญญาณต่างความถี่ด้วยเทคนิคโมเด็มจากคลื่นพาห์แล้ว จะทำการเปลี่ยนสัญญาณต่างความถี่ สัญญาณเชิงเลขตามเดิม ในรูปที่ 2.19 แสดงแผนภาพการมอดูเลตและดี-มอดูเลตของโมเด็ม

การมอดูเลตแบ่งได้ 3 ชนิด คือ เฟสแอมพลิจูดมอดูเลชัน (phase amplitude modulation :PAM) ฟรีควนซีชิฟต์คีย์อิง (frequency shift keying :FSK) และเฟสชิฟต์คีย์อิง (phase shift keying :PSK) เป็นต้น

เทคนิคการเข้ารหัส/ถอดรหัส เป็นวิธีการกำหนดรหัสของสัญญาณระดับลอจิก “0”, “1” และ high impedance เป็นชุดของสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างพัลส์ต่างกัน ด้วยการเข้ารหัส

(encoder) สัญญาณนี้จะนำไปมอดูเลตกับสัญญาณคลื่นพาห์ส่งไปยังเครื่องรับ ด้านเครื่องรับเมื่อทำการแยกคลื่นพาห์ออกแล้วจะต้องนำรหัสสัญญาณไปถอดรหัสดูกับตัวถอดรหัสที่สอดคล้องกันเพื่อให้กลับมาเป็นสัญญาณเชิงเลขตามเดิม ในกระบวนการถอดรหัส (decode)



รูปที่ 2.19 การมอดูเลตสัญญาณเชิงเลขด้วยเทคนิคโมเด็มในรูปแบบต่าง ๆ

2.4.2 รูปแบบของระบบสื่อสารข้อมูล

การส่งสัญญาณข้อมูลคือการส่งข่าวสารให้แก่อุปกรณ์ประมวลข่าวสาร (Information processing equipment) โดยอุปกรณ์ประมวลข่าวสารที่รู้จักกันดีก็คือคอมพิวเตอร์ ดังนั้นระบบส่งสัญญาณข้อมูลจึงเป็นระบบที่เชื่อมโยงคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์รับส่งข้อมูลปลายทางให้สามารถติดต่อกันได้ ในระบบสื่อสารข้อมูลนั้นอุปกรณ์รับส่งปลายทาง (Data terminal equipment) เรียกว่า DTE เป็นอุปกรณ์ที่กำเนิดและรับส่งข้อมูลในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ส่วนอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล (data circuit terminating equipment) หรือเรียกว่า DCE โดยจะใช้ร่วมกับอุปกรณ์รับส่งปลายทาง DTE ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แผนภาพระบบการสื่อสารข้อมูล

รูปแบบการสื่อสารสัญญาณ สามารถจัดรูปแบบการรับส่งได้ 3 รูปแบบ ดังนี้คือ

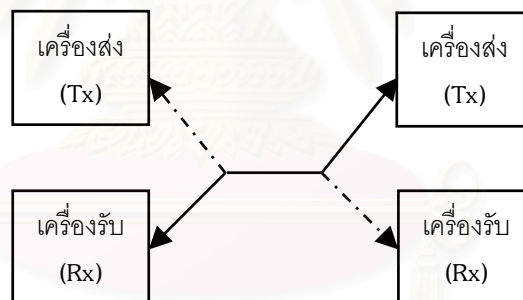
ก. แบบซิมเพล็กซ์ (Simplex) หรือการส่งข้อมูลแบบทิศทางเดียว (One way) เป็นการส่งข้อมูลทิศทางเดียวเมื่ออุปกรณ์หนึ่งส่งข้อมูล อุปกรณ์อีกชุดหนึ่งจะต้องรับข้อมูลเสมอ ไม่มีการโต้ตอบข้อมูลหรือคำสั่งใด ๆ

ข. แบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์ (Half Duplex) หรือการส่งข้อมูลแบบกึ่งสองทาง เป็นการเปลี่ยนเส้นทางในการส่งข้อมูลสื่อสารได้ โดยสลับกันใช้ช่องรับ/ส่งในการทำงาน ทำการรับและส่งในเวลาเดียวกันไม่ได้

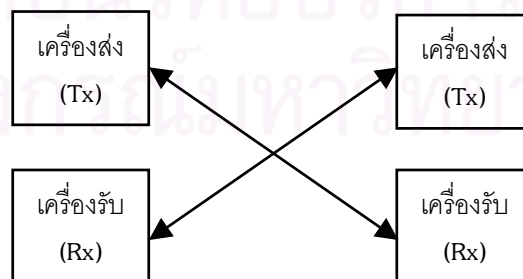
ค. แบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex) หรือการส่งข้อมูลแบบสองทาง เป็นการติดต่อกันได้สองทิศทางระหว่างคู่สนทนาได้ในเวลาเดียวกัน โดยไม่ต้องสลับสวิตช์ระบบรับส่งสัญญาณ



ก. แผนภาพส่งข้อมูลแบบซิมเพล็กซ์



ข. แผนภาพการส่งข้อมูลแบบฮาล์ฟดูเพล็กซ์



ค. แผนภาพการส่งข้อมูลแบบแบบฟูลดูเพล็กซ์ (Full Duplex)

รูปที่ 2.21 รูปแบบการสื่อสารสัญญาณ

2.4.3 ประเภทของการส่งสัญญาณ

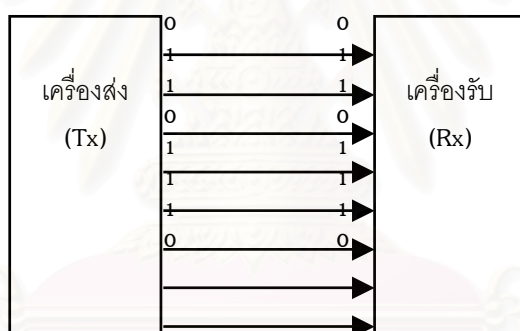
การส่งและรับสัญญาณข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือการส่งแบบอนุกรม และการส่งแบบขนาน

ก. การส่งสัญญาณแบบอนุกรม เป็นการส่งข้อมูลแต่ละบิตแบบเรียงออกไปเป็นลำดับ ต่อเนื่องกันทีละบิต โดยสายส่งข้อมูลจะมีอยู่เพียงเส้นเดียวเท่านั้น ดังแผนภาพในรูปที่ 2.24 ก.

ข. การส่งสัญญาณแบบขนาน เป็นทำการส่งข้อมูลทุก ๆ บิตออกไปพร้อม ๆ กันในครั้งเดียว โดยแต่ละบิตจะส่งในสายแต่ละเส้น ดังแผนภาพในรูปที่ 2.24 ข.



ก. แผนภาพการส่งสัญญาณแบบอนุกรม



ข. แผนภาพการส่งสัญญาณแบบขนาน

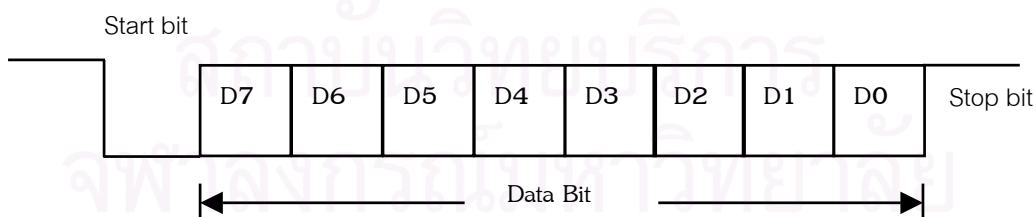
รูปที่ 2.22 รูปแบบการส่งสัญญาณ

ก. การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การส่งข้อมูลแบบอนุกรมที่ใช้ในปัจจุบัน ได้พัฒนามาจากมาตรฐาน EIA (Electronic Industries Association) เป็นมาตรฐาน RS (Recommended Standard) ได้แก่ RS-449, RS-422 และ RS-232 เป็นต้น แต่ที่ใช้กันมากคือ มาตรฐาน RS-232C การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมนี้สามารถส่งได้ในรูปแบบของการส่งข้อมูลสวนทางกัน (Full Duplex) ลักษณะการส่งข้อมูลแบบอนุกรมแบ่งรูปแบบการรับส่งได้เป็น 2 แบบ ได้แก่ การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส (Synchronous data transmission) และการส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Asynchronous data transmission)

ก.1 การส่งข้อมูลแบบซิงโครนัส เป็นการส่งข้อมูลออกไปตามเวลาที่แน่นอนและแม่นยำ การส่งแบบนี้จะไม่ใช้บิตเริ่มต้นและบิตหยุด ไม่มีการหยุดชั่วคราวระหว่างอักขระ จะใช้วิธีเข้าจังหวะเวลาทั้งสองทางที่ติดต่อกัน ซึ่งมีอยู่สองวิธีที่ปฏิบัติกันคือ ใช้อักขระซิงก์ (sync character) ให้นำบล็อกรวม (block) ของอักขระที่ใหญ่ อักขระซิงก์นี้สามารถใช้ในการกำหนดอัตราเร็วของข้อมูลให้ตรงกับอุปกรณ์เครื่องส่ง หรือใช้สัญญาณนาฬิกา (clock signal) โดยสัญญาณนาฬิกาทางด้านส่งและสัญญาณนาฬิกาทางด้านรับจะใช้คนละสายหรือคนละช่องสัญญาณในส่งข่าวสารเกี่ยวกับเวลาของข้อมูลที่จะส่ง

ก.2 การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส การส่งแบบนี้มักจะมีอัตราในการรับส่งข้อมูลที่มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที (bit per second) การส่งข้อมูลอัตราการส่งข้อมูลอาจจะเป็น 110, 300, 1200, 2400, 4800, 9600, 19200 บิตต่อวินาที โดยที่ทางด้านส่งและด้านรับจะต้องมีการตั้งค่าความเร็วให้เท่ากัน ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัสนั้นโครงสร้างของข้อมูลที่จะส่งมีลักษณะเป็นบล็อกรวมหรือเฟรม ซึ่งแต่ละบล็อกประกอบด้วยบิตเริ่มต้น (Start bit) และตามด้วยบิตข้อมูล (data bit) ทั้ง 8 บิตแล้วจึงจะส่งบิตสิ้นสุดข้อมูล (Stop bit) การส่งข้อมูลจะส่งเรียงตามลำดับดังนี้ บิตเริ่มต้น บิตข้อมูล 7 หรือ 8 บิต บิตภาวะ (parity) และบิตหยุด โดยขณะนี้ยังไม่มี การส่งสัญญาณข้อมูล ค่าสัญญาณในสายจะมีค่าเป็นลอจิก "high" หรือเรียกว่า "Marking State" การเริ่มต้นของการส่งข้อมูล เริ่มต้นจากสัญญาณ "high" ของ "Marking State" เปลี่ยนเป็นลอจิก "Low" ขนาด 1 บิต สถานะที่เปลี่ยนจากลอจิก "high" มาเป็นเป็นลอจิก "Low" เรียกว่า บิตเริ่มต้นหลักจากบิตเริ่มต้นแล้วก็ส่งบิตข้อมูลตามมา โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (Least Significant bit) จำนวน 7 หรือ 8 บิต หลังจากนั้นก็ส่งบิตพาริตี (Parity bit) เพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล แล้วสัญญาณในสายจะถูกเปลี่ยนให้เป็นลอจิก "high" ขนาด 1 บิต เพื่อเป็นการสิ้นสุดของการส่งข้อมูลซึ่งเรียกว่า บิตสิ้นสุดข้อมูลหรือบิตหยุด

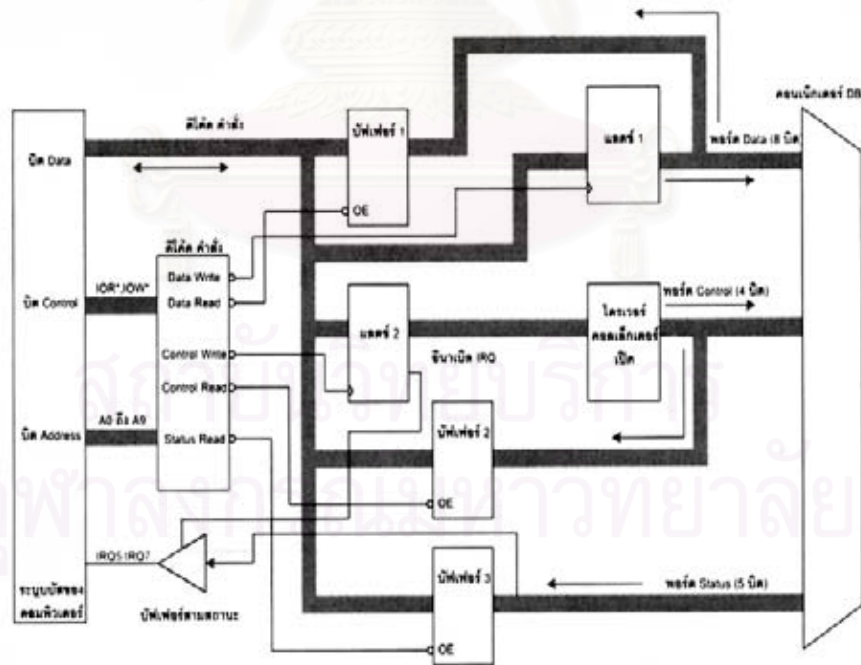


รูปที่ 2.23 รูปแบบการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

ข. การส่งข้อมูลแบบขนานของพอร์ตเครื่องพิมพ์

พอร์ตเครื่องพิมพ์ (Printer Port) มีลักษณะการถ่ายทอดข้อมูลของพอร์ตเป็นแบบขนาน(Parallel Port) เนื่องจากพอร์ตนี้ใช้สำหรับต่อกับเครื่องพิมพ์ ตลอดจนนำมาเชื่อมต่อกับอุปกรณ์

ต่อพ่วงซึ่งมีตั้งแต่อุปกรณ์ควบคุมพริ้นเตอร์ร่วมกัน (Printer sharing device) ดิสก์ไดรฟ์แบบพกพา (Portable disk drive) และเทปสำรองข้อมูล (Tape backup) ไปจนถึงเครือข่ายเฉพาะที่ (Local area network) และเครื่องเล่นซีดีรอม พอร์ตขนานของระบบประมวลผลข้อมูลส่วนใหญ่จะมีขนาด 8 บิต จึงสามารถรองรับการถ่ายทอดข้อมูลที่ละ 8 บิตได้ ในขณะที่พอร์ตอนุกรมจะสามารถรองรับการถ่ายทอดข้อมูลที่ละ 1 บิต มาตรฐานพอร์ตเครื่องพิมพ์ที่ใช้จะเป็น IEEE-1284 ซึ่งเป็นมาตรฐานในการจัดการสัญญาณสำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่อพ่วงผ่านพอร์ตขนานแบบ 2 ทิศทาง สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Standard Signalling Method for a Bi-directional Parallel Peripheral Interface for Personal Computers) พอร์ตขนานในเครื่องคอมพิวเตอร์จะมีสายสัญญาณเอาต์พุตทำหน้าที่ส่งข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องพิมพ์ และควบคุมการส่งข้อมูล 2 ทิศทาง (Bi-directional line) และสัญญาณอินพุตทำหน้าที่อ่านค่าสัญญาณข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แสดงบัสภายในของพอร์ตขนาน^[11]

โดยปกติพอร์ตขนานสำหรับเครื่องพิมพ์จะมีสายสัญญาณอยู่ทั้งหมด 17 เส้น มีรีจิสเตอร์ 3 ตัวควบคุมการทำงานดังนี้

ก. พอร์ตเอาต์พุตสำหรับสัญญาณข้อมูล 8 เส้น มีรีจิสเตอร์ ข้อมูล (Data register) ควบคุม

ข. พอร์ตอินพุตสำหรับการอ่านค่าสถานะต่าง ๆ จากภายนอก มีอยู่ด้วยกัน 5 เส้น มีรีจิสเตอร์สถานะ (Status register) ในการควบคุม

ค. พอร์ตเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ภายนอก มีอยู่ด้วยกัน 4 เส้น มีรีจิสเตอร์ควบคุม (Control register) ในการควบคุม

ตารางที่ 2.3 แสดงสายสัญญาณทั้งหมดที่อยู่บนพอร์ตขนาน

Pin No (D-Type 25)	Pin No (Centronics)	SPP Signal	Direction In/out	Register	Hardware Inverted
1	1	nStrobe	In/Out	Control	Yes
2	2	Data 0	Out	Data	
3	3	Data 1	Out	Data	
4	4	Data 2	Out	Data	
5	5	Data 3	Out	Data	
6	6	Data 4	Out	Data	
7	7	Data 5	Out	Data	
8	8	Data 6	Out	Data	
9	9	Data 7	Out	Data	
10	10	nAck	In	Status	
11	11	Busy	In	Status	Yes
12	12	Paper-Out PaperEnd	In	Status	
13	13	Select	In	Status	
14	14	nAuto-Linefeed	In/Out	Control	Yes
15	32	nError / nFault	In	Status	
16	31	nInitialize	In/Out	Control	
17	36	nSelect-Printer nSelect-In	In/Out	Control	Yes
18 - 25	19-30	Ground	Gnd		

พอร์ตเครื่องพิมพ์ของไมโครคอมพิวเตอร์มีโหมดการทำงานดังนี้

ก. แบบ SPP (Standard Parallel Port) คือพอร์ตขนานในเครื่อง IBM PC ที่ถูกออกแบบเพื่อใช้งานเป็นพอร์ตเครื่องพิมพ์ของไมโครคอมพิวเตอร์ในยุคแรก ๆ ซึ่งไม่มีการกำหนดมาตรฐานไบโตคอลที่ชัดเจนเพียงแต่มีการอ้างอิงไบโตคอลของการอินเตอร์เฟซแบบเซนทรอนิกส์ (centronic interface) ในการทำงานของพอร์ตเครื่องพิมพ์แบบ SPP กลุ่มขาข้อมูลสามารถส่งข้อมูลขนาน 8

บิตออกทางพอร์ตได้เพียงทิศทางเดียว ดังนั้นในการที่จะทำการรับข้อมูลต้องอาศัยกลุ่มขาพอร์ตสถานะ โดยการรับข้อมูลนี้จะทำได้ครั้งละ 4 บิตเท่านั้น

ข. แบบ PS/2 คือพอร์ตขนานที่ถูกปรับปรุงให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ทั้ง 2 ทิศทาง ซึ่งเริ่มใช้ในเครื่อง PC ของ IBM รุ่น PS/2 พอร์ตขนานแบบ 2 ทิศทางนี้ทำให้อุปกรณ์ต่อพ่วงสามารถรับส่งข้อมูล 8 บิตพร้อมกัน จึงทำให้พอร์ตขนานแบบ PS/2 ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการเชื่อมต่อ (interface) กับเครื่องมือต่าง ๆ ที่ต้องการรับส่งข้อมูลที่ละ 8 บิต

ค. แบบ EPP (Enhanced Parallel Port) นี้มีไบต์ข้อมูลแบบ 2 ทิศทางเช่นเดียวกับพอร์ตแบบ PS/2 แต่มีความเร็วสูงกว่า คือสามารถอ่านหรือเขียนข้อมูล 1 ไบต์ได้ใน 1 รอบการทำงาน (one cycle) เช่นเดียวกับระบบบัสแบบ ISA (ISA bus) หรือใช้เวลาเพียง 1 ไมโครวินาที รวมทั้งมีสัญญาณแฮนด์เชค (handshaking) พอร์ตแบบ EPP สามารถกลับทิศทางการส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นประโยชน์มากเมื่อใช้กับตัวอ่านเทปหรือดิสก์และอุปกรณ์อื่นๆ ที่มีการถ่ายโอนข้อมูลทั้ง 2 ทิศทางครั้งละ 8 บิต

ง. แบบ ECP (Extended Capability Port) เหมือนกับพอร์ต EPP ที่สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราเร็วเท่ากับอัตราเร็วของบัสแบบ ISA โดยพอร์ตแบบ ECP จะมีตัวพักข้อมูล (Buffer) และมีส่วนสนับสนุนการถ่ายโอนข้อมูลเข้าหน่วยความจำโดยตรง (direct memory access, DMA) รวมทั้งมีการบีบอัดข้อมูล (data compression) ด้วยการรับส่งข้อมูลในโหมด ECP จึงมีประโยชน์สำหรับเครื่องพิมพ์ (printer) สแกนเนอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วงอื่นที่ถ่ายโอนข้อมูลเป็นกลุ่มใหญ่

การพัฒนาระบบวัดปริมาณรังสีชนิดส่งข้อมูลระยะไกล

3.1 ข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

การป้องกันอันตรายจากรังสีเพื่อลดความเสี่ยงอันตรายต่อสุขภาพเป็นกระบวนการที่สำคัญในการควบคุมความปลอดภัยสำหรับการปฏิบัติงานทางรังสี ซึ่งยอมให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับรังสีไม่ว่ากรณีใด ๆ ไม่เกินค่าสูงสุดที่กำหนด (Maximum dose limit) โดยอาศัยเกณฑ์ความปลอดภัยของ ICRP และกฎระเบียบของหน่วยงานที่จะต้องถือปฏิบัติอย่างเคร่งครัด ไม่ว่าจะเป็นการปฏิบัติงานตามปกติ หรือการปฏิบัติงานฉุกเฉินทางรังสี ผู้ปฏิบัติงานจะต้องมีเครื่องมือวัดรังสีประจำบุคคลติดตัวรวมทั้งมีการประเมินค่าปริมาณรังสีที่ได้รับอย่างเป็นกิจวัตร เพื่อให้ผลประเมินการได้รับรังสีทำได้อย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะกรณีปฏิบัติงานฉุกเฉินทางรังสีในระดับความแรงรังสีสูง เครื่องวัดรังสีประจำบุคคลจะต้องมีการส่งข้อมูลเข้าระบบประมวลประเมินการรับรังสีของแต่ละบุคคลทันที เพื่อทำการสับเปลี่ยนผู้ปฏิบัติงาน ณ พื้นที่อันตราย และบันทึกข้อมูลการได้รับรังสีบนฐานข้อมูลอัตโนมัติ ในทางปฏิบัติสภาพการทำงานที่ต้องเคลื่อนไหวตลอดเวลา ระบบส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุเป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุด

3.1.1 การพัฒนาระบบวัดปริมาณรังสีชนิดส่งข้อมูลระยะไกล

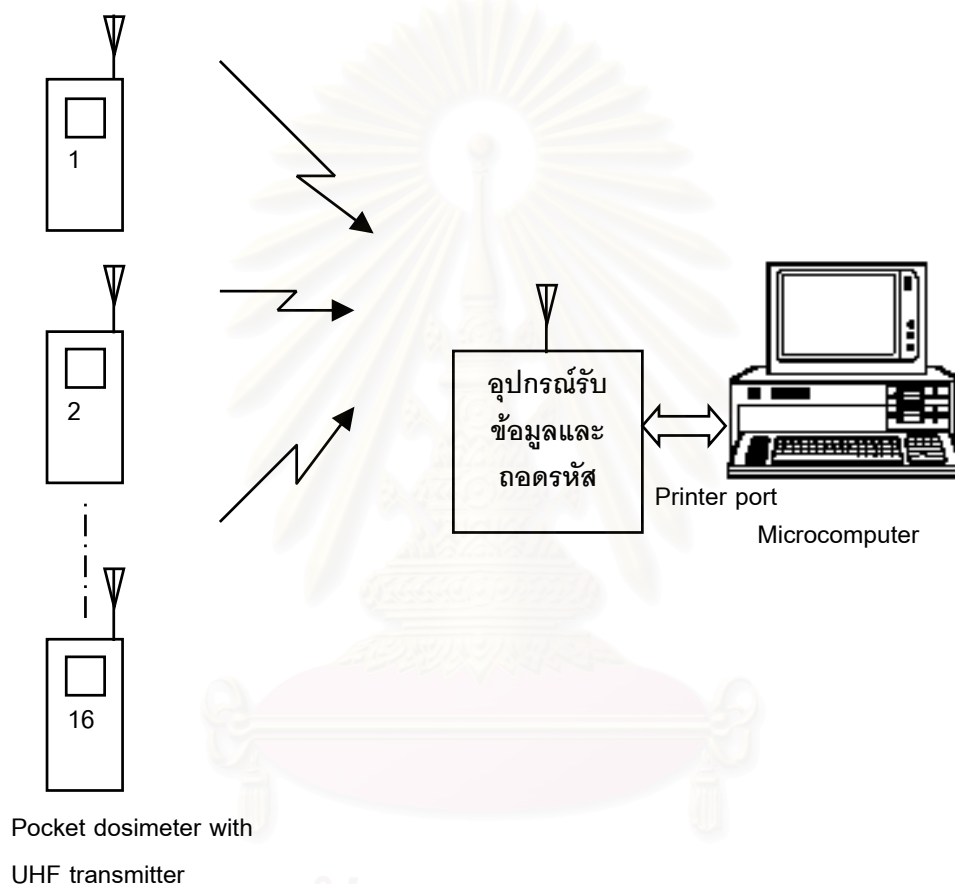
ข้อมูลรายละเอียดในการออกแบบวงจรแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของเครื่องวัดปริมาณรังสีพร้อมระบบส่งข้อมูล และระบบประมวลข้อมูลปริมาณรังสีด้วยไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมระบบรับข้อมูล

ก. ข้อมูลในส่วนของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลพร้อมระบบส่งข้อมูล

- ก.1 สามารถบันทึกปริมาณรังสีได้ 0-999 mR ในระบบตัวเลข
- ก.2 มีความไวต่อการวัดรังสีแกมมาในย่านพลังงาน 40 keV- 2 MeV
- ก.3 ทำงานด้วยแบตเตอรี่ และใช้กำลังไฟฟ้าน้อย
- ก.4 แสดงผลได้ในที่มืด มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา
- ก.5 ส่งข้อมูลด้วยคลื่นวิทยุ ซึ่งมีกำลังส่งมากกว่า 10 เมตร
- ก.6 สามารถกำหนดรหัสของเครื่องวัดรังสีประจำบุคคลได้ 16 ค่า

ข. ข้อมูลในส่วนขอระบบประมวลข้อมูลปริมาณรังสีด้วยไมโครคอมพิวเตอร์พร้อมระบบรับข้อมูล

- ข.1 สามารถรับข้อมูลปริมาณรังสีได้ 16 ชุด
- ข.2 สามารถประเมินปริมาณรังสีประจำบุคคลได้อย่างต่อเนื่อง
- ข.3 สามารถส่งสัญญาณเตือน เมื่อปริมาณรังสีถึงระดับที่กำหนด
- ข.4 ระบบข้อมูลสามารถถอดรหัสข้อมูลของเครื่องวัดรังสีได้ 16 ค่า



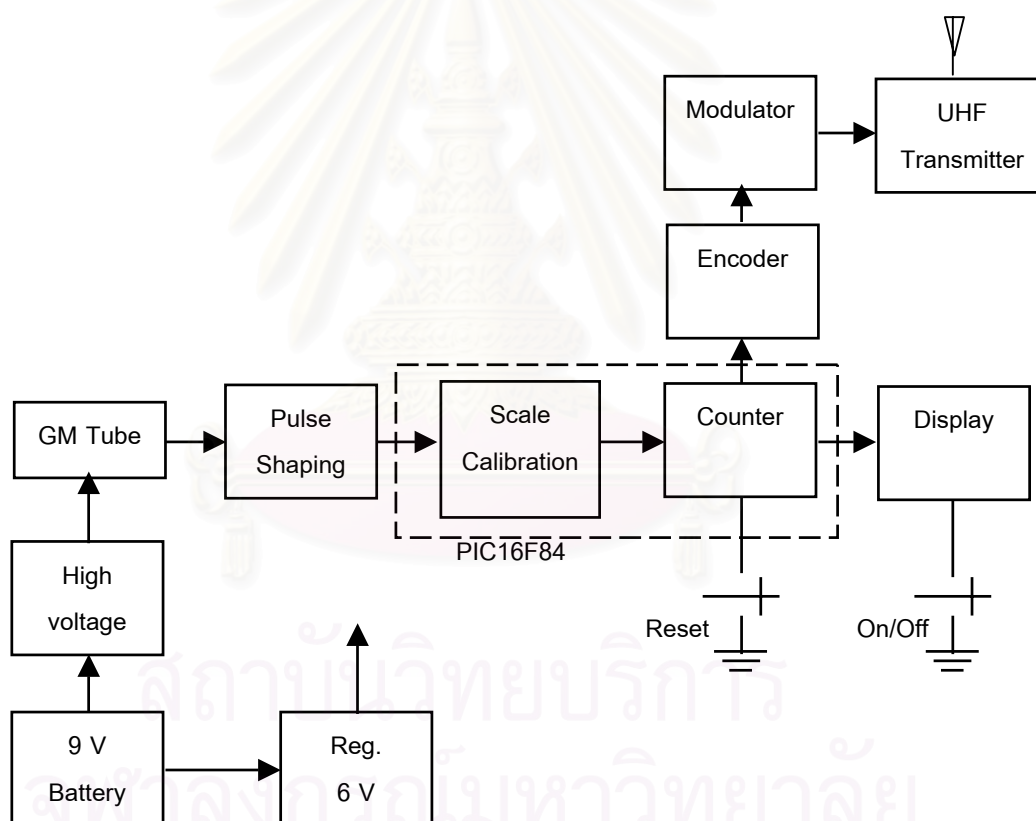
รูปที่ 3.1 แผนภาพของระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

ข้อมูลรายละเอียดดังกล่าวสามารถออกแบบระบบการทำงานได้ดังแผนภาพในรูปที่ 3.1 ระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่ออกแบบให้มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และสามารถส่งข้อมูลที่เข้ารหัสได้ 16 ค่า มอดูเลตกับคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF ที่มีกำลังส่งในรัศมี 20 เมตร ตลอดเวลาเป็นจังหวะ ในขณะที่ระบบประมวลผลปริมาณรังสีจะรับข้อมูลผ่านเครื่องรับวิทยุระบบ UHF ซึ่งสามารถถอดรหัสได้ 16 ค่าในสถานะการทำงานแบบ polling กล่าวคือ โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบประมวลผลจะกำหนดรหัส

ประจำตัวเครื่องวัดที่ใช้แต่ละตัวที่ต้องการอ่านข้อมูลปริมาณรังสีตามอัตราการเรียกอ่านค่าที่ต้องการ เมื่อเครื่องรับทำการดีมอดูเลตข้อมูลรหัสของเครื่องวัดปริมาณรังสีตัวใดได้ ข้อมูลปริมาณรังสีของเครื่องนั้น ๆ จะถูกส่งผ่านวงจรเชื่อมโยงสัญญาณไปเข้ากระบวนการประมวลผลการรับปริมาณรังสี

3.1.2 โครงสร้างของระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

ในส่วนของเครื่องวัดปริมาณรังสีเนื่องจากต้องการให้มีขนาดเล็กน้ำหนักเบา จึงได้ประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16F84 มาสร้างฟังก์ชันการทำงานของวงจรหลักในการวัดปริมาณรังสี และพัฒนางจรในส่วนของการเข้ารหัสรวมทั้งการมอดูเลตสัญญาณเพื่อส่งข้อมูลกระจายคลื่นออกอากาศไปยังเครื่องรับดังแผนภาพในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลพร้อมระบบส่งข้อมูล

จากแผนภาพในรูปที่ 3.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบตเตอรี่ 9 โวลต์จะแบ่งการจ่ายกำลังไฟฟ้าออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้คือ ส่วนแรกจ่ายให้วงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง ด้วยหลักการของการแปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันต่ำให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง เพื่อไบอัสให้หัววัดรังสีไกเกอร์ทำงาน ณ

จุดทำงานที่เหมาะสม อีกส่วนหนึ่งแบ่งไปที่วงจรควบคุมแรงดันคงที่ 575 โวลต์ ที่จ่ายให้กับวงจรวัดรังสีและแสดงผล เมื่อรังสีตกกระทบหัววัดไกเกอร์จะเกิดสัญญาณพัลส์จากวงจรวัดรังสีผ่านวงจรแต่งรูปสัญญาณ โดยอัตรานับรังสีจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสีที่หัววัดรังสีได้รับ สัญญาณพัลส์จากวงจรแต่งรูปสัญญาณ จะถูกส่งให้วงจรปรับเทียบค่ามาตรฐาน ซึ่งเป็นวงจรหารความถี่ของอัตรานับรังสี เพื่อให้วงจรรับรังสีอ่านค่าที่วัดได้ตรงตามปริมาณรังสีในหน่วยมิลลิเรินท์ - เกน (mR) ที่ถูกต้องไปแสดงผลที่ส่วนแสดงผล สัญญาณอีกส่วนหนึ่งของวงจรรับจะนำไปเข้ารหัสประจำเครื่องเพื่อสร้างรหัสประจำตัวในวงจรรหัส ก่อนทำการมอดูเลตและขยายสัญญาณออกสายอากาศด้วยคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF เนื่องจากเครื่องวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้นนี้ต้องการให้สิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าต่ำ จึงไม่ต้องการให้แสดงผลตลอดเวลา และออกแบบให้มีสวิตช์ปิดเปิดเฉพาะที่ต้องการอ่านค่าเท่านั้น

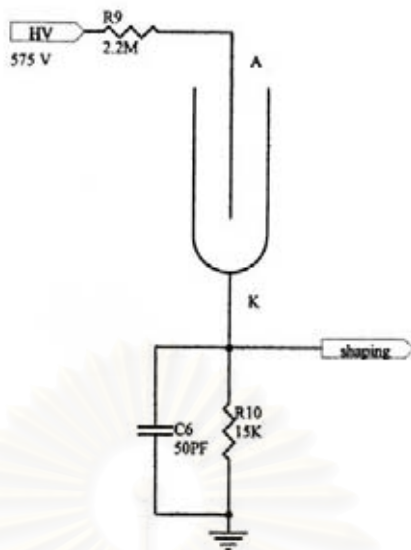
3.2 การออกแบบวงจรวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลพร้อมระบบส่งข้อมูล

จากข้อมูลในการออกแบบและพัฒนาระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล ในส่วนของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิดอ่านค่าได้ทันที ประกอบด้วยวงจรวัดรังสีอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ดังนี้

- ก. วงจรวัดรังสีด้วยหัววัดไกเกอร์ (GM count)
- ข. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (high voltage power supply)
- ค. วงจรแต่งรูปสัญญาณ (pulse shaping circuit)
- ง. วงจรคำนวณค่าเพื่อปรับเทียบปริมาณรังสี (divider and calibration)
- จ. วงจรรับและแสดงผลการวัดปริมาณรังสี (counter and display)
- ฉ. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ (battery power supply)
- ช. วงจรเข้ารหัสและวงจรรหัสคลื่นวิทยุย่าน UHF (encode and send radio waves)

3.2.1 วงจรวัดรังสีด้วยหัววัดไกเกอร์

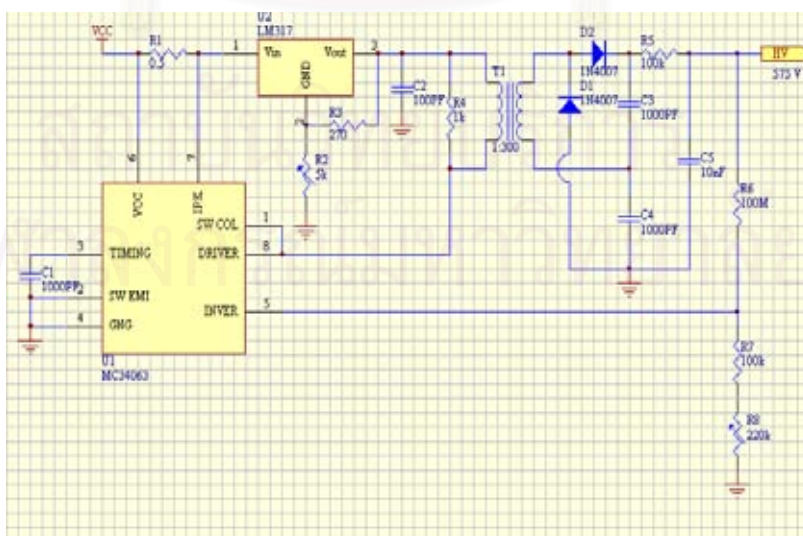
เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นนี้ เลือกลงใช้หัววัดไกเกอร์ที่มีขนาดเล็กของบริษัท HAMAMATSU รุ่น D3372 (รายละเอียดในภาคผนวก ค.) และเลือกจัดวงจรแบบ DC Coupling ใช้ตัวต้านทานจำกัดกระแสขนาด 2.2 เมกกะโอห์ม ($M\Omega$) และตัวต้านทานในวงจรแคโทดขนาด 15 กิโลโอห์ม ($k\Omega$) ดังแสดงวงจรในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แผนภาพการต่อหัววัตโทเกอร์แบบ DC. Coupling

3.2.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

เลือกใช้อุปกรณ์ด้านอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กกะทัดรัด น้ำหนักเบา เพื่อพัฒนาแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง โดยจัดวงจรตีชู้ตตีชู้คอนเวอร์เตอร์ แบบฟลายแบ็คคอนเวอร์เตอร์ ขั้วหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ชนิด Pot core ผ่านวงจรทวีแรงดัน 2 เท่าให้ได้แรงดันไฟฟ้า 575 โวลต์ ที่กระแสไม่ต่ำกว่า 250 ไมโครแอมป์ เพื่อไบอัสให้หัววัตโทเกอร์ทำงาน การคำนวณออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า แสดงในภาคผนวก ก. และวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแสดงในรูปที่ 3.4

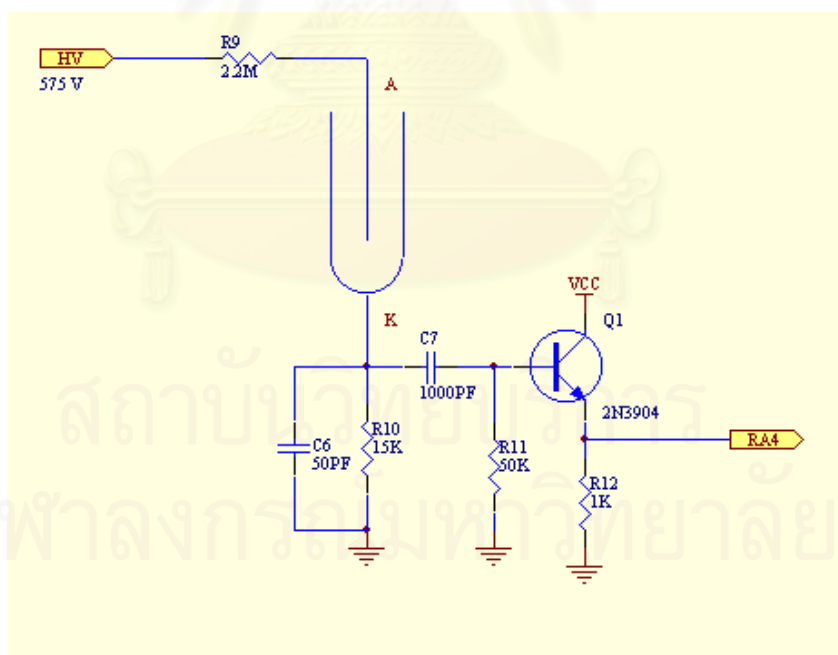


รูปที่ 3.4 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

จากวงจรในรูปที่ 3.4 เลือกใช้ไอซี U1 เบอร์ MC34063 ซึ่งเป็นไอซีสำเร็จรูปทำหน้าที่เป็นดีซีทูตีซีคอนเวอร์เตอร์ กำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 34 kHz เพื่อขับหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ชนิด pot core สร้างการเหนี่ยวนำแม่เหล็กระหว่างขดลวดด้านปฐมภูมิไปยังขดลวดด้านทุติยภูมิซึ่งมีอัตรารอบ 1:40 เพิ่มแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิเป็น 288 โวลต์ ส่งผ่านวงจรทวีแรงดันสองเท่า (Voltage double) โดยการทำงานของตัวเก็บประจุ C3, C4 และไดโอด D1, D2 ทำให้ได้รับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 575 โวลต์ ผ่านวงจรกรองริปเปิล (ripple) แรงดันไฟฟ้า R5, C5 เพื่อกรองแรงดันให้เรียบ แรงดันไฟฟ้าทางออกส่วนหนึ่งจากวงจรแบ่งแรงดันจะถูกป้อนกลับให้ไอซี U1 ขา 5 เพื่อควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูงให้คงที่ก่อนไบอัสให้หัววัดไกเกอร์ ณ จุดทำงาน

3.2.3 วงจรแต่งรูปสัญญาณ

สัญญาณที่ได้รับจากวงจรแคโทดของหัววัดรังสี มีลักษณะสัญญาณเป็นรูปเอ็กซ์โพเนนเชียลด้านบวก มีกระแสต่ำและเวลาสลายตัวพัลส์ (decay time) ยาว ไม่เหมาะที่จะขับวงจรนับความถี่สัญญาณโดยตรงได้ จำเป็นต้องแต่งรูปสัญญาณให้มีเวลาสลายพัลส์สั้นและขยายกระแสขับวงจรนับความถี่สัญญาณดังแสดงในวงจรรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 วงจรแต่งรูปสัญญาณ

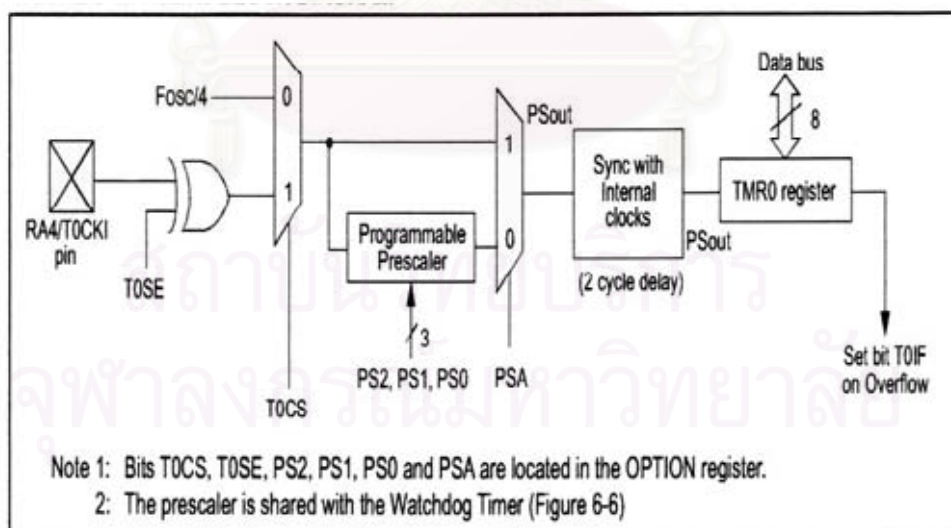
จากวงจรในรูปที่ 3.5 R11, C7 เป็นวงจร differentiator มีค่าคงที่เวลา $50 \mu\text{s}$ ทำหน้าที่แต่งรูปสัญญาณให้มีเวลาสลายพัลส์สั้น ขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q1 ชนิด NPN เบอร์ 2N3904 จัดวงจรขยายแบบคอมมอนคอลเลกเตอร์ ทำหน้าที่เป็นวงจรขับกระแสให้วงจรมัดความถี่สัญญาณ

3.2.4 วงจรควบคุมการวัดปริมาณรังสี

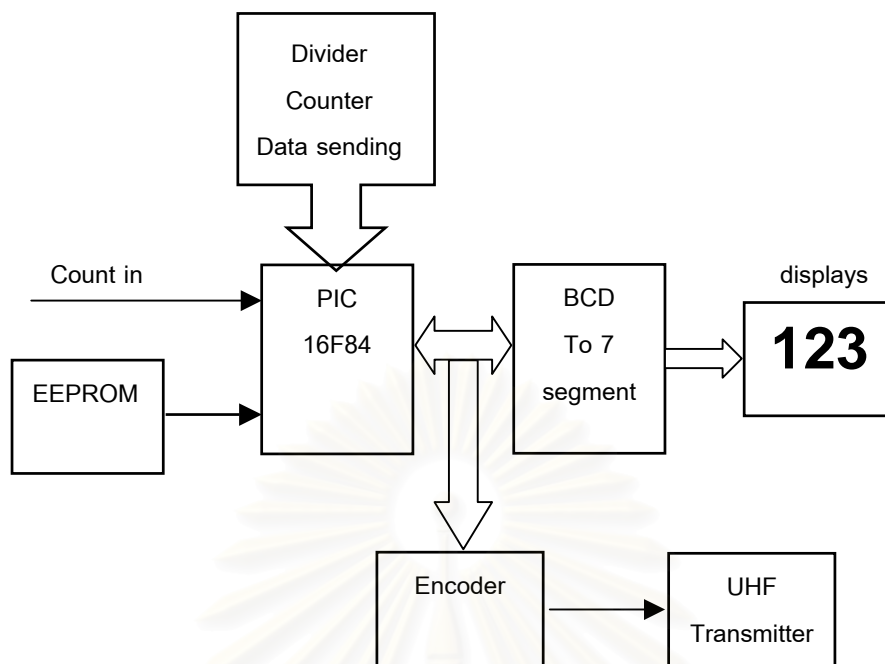
วงจรถมคุมการวัดปริมาณรังสีแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- ก. วงจรมัดเพื่อหาความถี่สำหรับปรับเทียบค่าปริมาณรังสีในหน่วยมิลลิเรินท์เกน
- ข. วงจรมัดความถี่สัญญาณพัลส์
- ค. วงจรส่งข้อมูลปริมาณรังสี

จากวัตถุประสงค์ของการออกแบบวงจรต้องการให้วงจรมีขนาดเล็กและออกแบบวงจรได้ง่าย จึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 มาประยุกต์การทำงานของวงจรต่าง ๆ โดยพัฒนาโปรแกรมควบคุมฟังก์ชันในโมดูลไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 ให้ทำงานในโหมดการนับสัญญาณพัลส์จากวงจรแต่งรูปสัญญาณ และส่งข้อมูลออกสู่วงจรมัดภายนอก ดังรายละเอียดตามแผนภาพรูปที่ 3.6 และ 3.7



รูปที่ 3.6 แผนภาพการทำงานของไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ภายใน PIC16F84



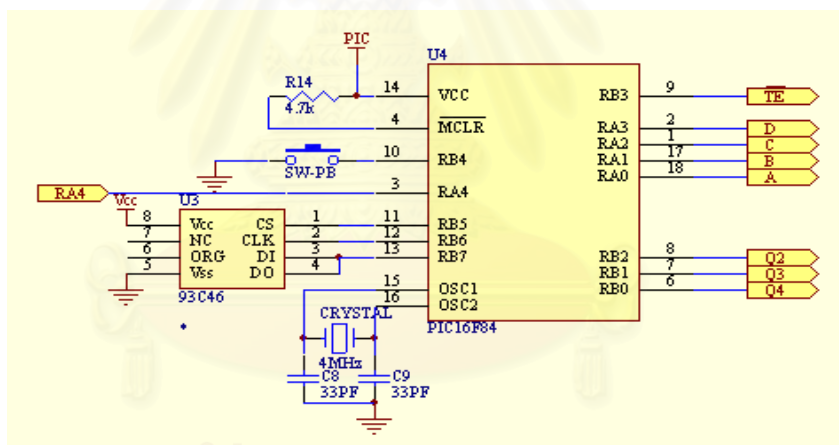
รูปที่ 3.7 แผนภาพวงจรควบคุมการวัดปริมาณรังสี

จากรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าวงจรควบคุมการวัดปริมาณรังสี 3 ส่วนออกแบบให้บรรจุอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 ทำงานจากการควบคุมของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นและเก็บไว้ในหน่วยความจำโปรแกรม โดยกำหนดฟังก์ชันการทำงานเป็นวงจรรวมและวงนับ รวมทั้งส่งข้อมูล BCD ออกจากพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 2 ส่วน คือ ส่วนแรกใช้ในการส่งเข้าวงจรถอดรหัส BCD ขับไดโอดเปล่งแสง (LED) ตัวเลข 7 ส่วน 3 หลัก และใช้เทคนิคการแสดงผลแบบมัลติเพล็กซ์ (multiplex) เป็นการขับ LED ทีละหลักด้วยอัตราเร็วที่ตามนุษย์สามารถเห็นได้ อีกส่วนหนึ่งส่งให้วงจรรหัสเพื่อส่งข้อมูลระยะไกลด้วยเครื่องส่งวิทยุคลื่นความถี่ UHF ขนาดเล็ก ดังรายละเอียดการออกแบบวงจรส่วนต่าง ๆ ดังนี้

3.2.4.1 วงจรนับความถี่และวงจรรวมหน่วยความจำ

การกำหนดโมดูลไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 ให้เป็นวงจรรวมความถี่และนับความถี่ ตามแผนภาพรูปที่ 3.6 ทำได้โดยกำหนดบิต TOCS อันเป็นบิต 5 ของรีจิสเตอร์ OPTION เป็น "1" โมดูลไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ จะทำงานในโหมดเคาน์เตอร์ ซึ่งจะรับสัญญาณพัลส์จากภายนอกโดยผ่านทางขาพอร์ต A (RA4/T0CKI) และเลือกอัตราส่วนของพรีสเกลเลอร์ (prescaler) สำหรับสอบเทียบปริมาณรังสีได้ด้วยการเลือกตั้งค่า (prescaler rate select

bit) ที่บิต 2-0 ของรีจิสเตอร์ OPTION ซึ่งกำหนดอัตราส่วนของของปริสเกลเลอร์ได้จาก 1:2 ถึง 1:256 และจึงส่งข้อมูลให้รีจิสเตอร์ TMR0 ขนาด 8 บิต ที่ทำหน้าที่เก็บค่าของการนับที่เกิดขึ้นในโมดูลไทมเมอร์/คาน์เตอร์ ซึ่งค่านับจะเพิ่มขึ้นในทุกไซเคิลของการกระทำคำสั่ง (instruction cycle) เมื่อค่า TMR0 เกิดการเปลี่ยนแปลงจาก 0xff มาเป็น 0x00 หรือเกิด โอเวอร์โฟลว (overflow) จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้น ซึ่งค่าของการนับที่ได้จะถูกนำมาแปลงเป็นข้อมูลไบนารี (binary code) ส่งออกมาในรูปแบบ BCD ทางพอร์ต A บิต 0,1,2,3 ตามลำดับให้วงจรถอดรหัส BCD ขับไดโอดเปล่งแสงตัวเลข 7 ส่วน 3 หลัก และส่งสัญญาณสแกนควบคุมการแสดงผลแบบมัลติ-เพล็กซ์ 3 หลัก ทางพอร์ต B บิตที่ 0,1,2 สำหรับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลปริมาณรังสีเพื่อป้องกันการสูญหายโดยใช้วิธีการแบ็คอัพ (back up) ข้อมูล จึงเลือกใช้ไอซีที่เก็บข้อมูลชนิด Serial EEPROM เบอร์ 93C46 ซึ่งสามารถอ่านและเขียนข้อมูลแบบอนุกรมมาประยุกต์ใช้งานติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 ทางพอร์ต B บิต 5,6,7 นอกจากนี้ยังออกแบบสัญญาณรีเซตค่าการวัดปริมาณรังสี เพื่อเริ่มนับค่าปริมาณรังสีใหม่ให้เริ่มต้นจากค่า "0" โดยการติดต่อของสัญญาณต่าง ๆ แสดงในวงจรรูปที่ 3.8

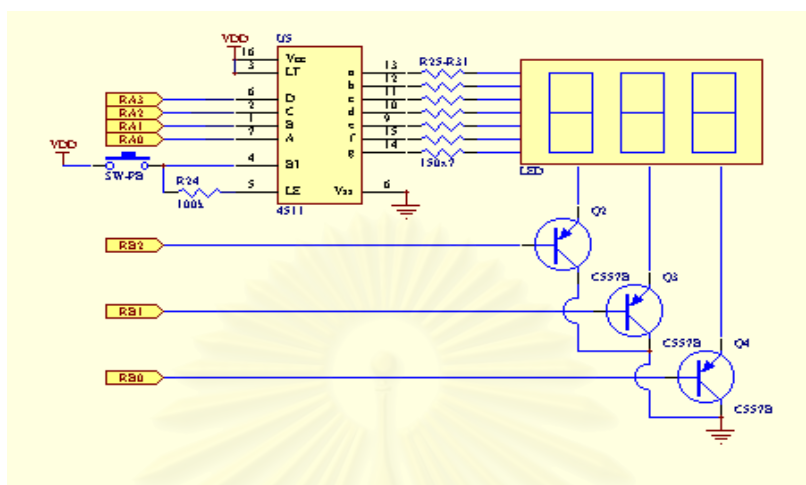


รูปที่ 3.8 วงจรนับความถี่และวงจรถนุญความจำ

3.2.5 วงจรแสดงผลปริมาณรังสี

วงจรแสดงผลนี้ประกอบด้วย วงจรถอดรหัส BCD เป็นตัวเลข 7 ส่วน เลือกใช้ไอซี CMOS เบอร์ MC4511 รับข้อมูลที่ส่งออกจากพอร์ต A บิต 0,1,2,3 ทำการถอดรหัสเป็นตัวเลข 7 ส่วน เพื่อส่งสัญญาณไปขับไดโอดเปล่งแสงแสดงผล 3 หลัก ซึ่งทำงานในระบบมัลติเพล็กซ์ โดยการควบคุม

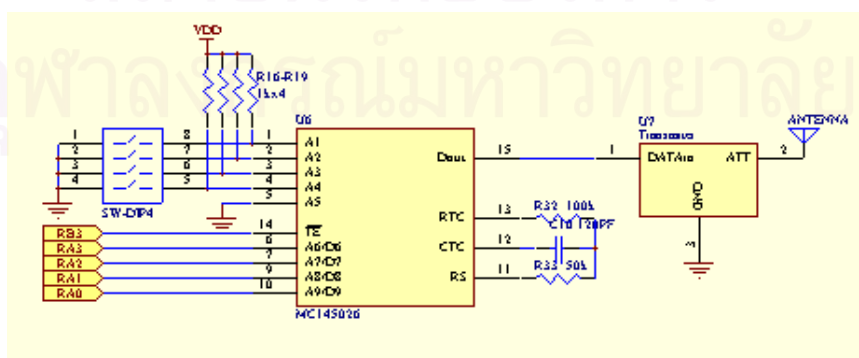
ของสัญญาณสแกนแต่ละหลักทางพอร์ต B บิต 0,1,2 ผ่านทรานซิสเตอร์ Q2-Q4 ชนิด PNP เบอร์ 557B ดังวงจรในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรแสดงผลปริมาณรังสี

3.2.6 วงจรเข้ารหัสและวงจรส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF

ในวงจรวิจัยนี้เลือกใช้ไอซี CMOS เบอร์ MC 145026 เป็นไอซีเข้ารหัสเพื่อทำหน้าที่แปลงข้อมูลสัญญาณแบบขนานให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลสัญญาณแบบอนุกรม เพื่อทำการมอดูเลตกับคลื่นวิทยุ ในวงจรส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF ความถี่ 300 MHz ได้โดยตรง โดยการเข้ารหัสสัญญาณและการจัดรูปสัญญาณลอจิก “0” และ “1” ของไอซีเข้ารหัสเบอร์ MC 145026 (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค.) สำหรับวงจรเข้ารหัสและวงจรส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF ที่ออกแบบขึ้นแสดงในรูปที่ 3.10

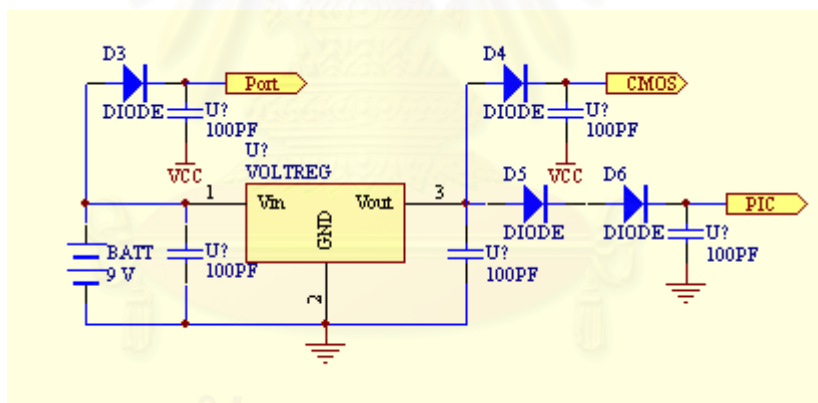


รูปที่ 3.10 วงจรเข้ารหัสและวงจรส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF

วงจรในรูปที่ 3.10 จัดให้ข้อมูลขนาด 4 บิตแรกเป็นข้อมูลรหัสประจำเครื่อง 4 บิต เลือกได้ด้วย dip switch ที่แอดเดรส A1-A4 ของไอซีเข้ารหัส ซึ่งสามารถตั้งรหัสประจำเครื่องได้ (2^4) ค่าหรือ 16 ค่า และข้อมูลชุดที่ 2 เป็นข้อมูลขนาด 4 บิต BCD ของค่าปริมาณรังสีส่งเข้าทางแอดเดรส A6/D6-A9/D9 โดยเรียงลำดับกันส่งข้อมูลอนุกรมชุดแรกเป็นรหัสประจำเครื่องตามด้วยข้อมูลวัดปริมาณรังสีออกทางขา 15 ของไอซี U6 เพื่อผ่านเข้าวงจรส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF ทำการมอดูเลตสัญญาณและส่งออกอากาศทางสายอากาศ

3.2.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นนี้เลือกใช้แบตเตอรี่อัลคาไลน์ (Alkaline) ขนาดแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ ชนิด MN1604B เพื่อป้อนแรงดันให้กับวงจรต่าง ๆ โดยจัดแรงดันไฟฟ้า 2 ส่วนคือ ส่วนแรกแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ จ่ายให้กับวงจรถ่ายทอดไฟฟ้าแรงดันสูง และส่วนที่สองเลือกใช้ไอซีเบอร์ 7806 ซึ่งเป็นไอซีควบคุมแรงดันขนาด 6 โวลต์ เพื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 และไอซี CMOS ดังแสดงในรูปที่ 3.11

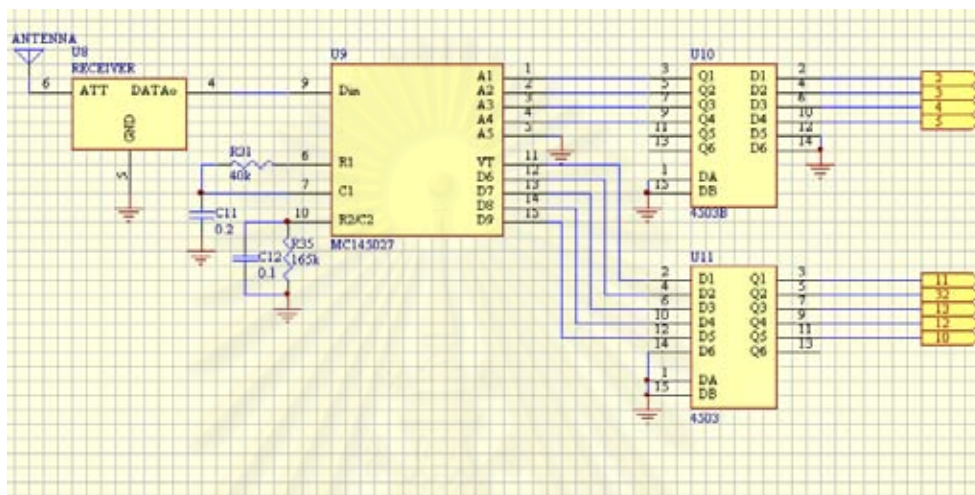


รูปที่ 3.11 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

3.3 วงจรถอดรหัสและรับข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่าน UHF

คลื่นวิทยุของสัญญาณข้อมูลในย่าน UHF จากเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแต่ละตัว จะสามารถส่งออกอากาศเป็นจังหวะมายังเครื่องรับ สัญญาณที่ได้รับจะผ่านกระบวนการดีมอดูเลตแยกคลื่นพาห้และสัญญาณข้อมูลที่เข้ารหัสไว้ออกจากกัน โดยสัญญาณข้อมูลจะถูกส่งเข้าวงจรถอดรหัส ซึ่งเลือกใช้ไอซี CMOS เบอร์ 145027 ทำการแปลงสัญญาณข้อมูลแบบเป็นสัญญาณ

ข้อมูลแบบขนาน 2 ชุด ส่งไปที่วงจรรีฟเฟอ์ เลือกใช้ไอซี CMOS เบอร์ 4503 ข้อมูลชุดที่ 1 เป็นข้อมูลรหัสส่งไปที่ U11 และข้อมูลชุดที่ 2 เป็นข้อมูลวัดปริมาณรังสีส่งไปที่ U12 ก่อนที่จะเชื่อมโยงสัญญาณผ่านทางพอร์ตเครื่องพิมพ์ของไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการตรวจสอบรหัสประจำเครื่องกับรหัสที่ระบบประมวลผลการวัดปริมาณรังสีต้องการค่าปริมาณรังสีของเครื่องวัดประจำบุคคลนั้นๆ ในระบบ polling ดังแสดงในรูปที่ 3.12



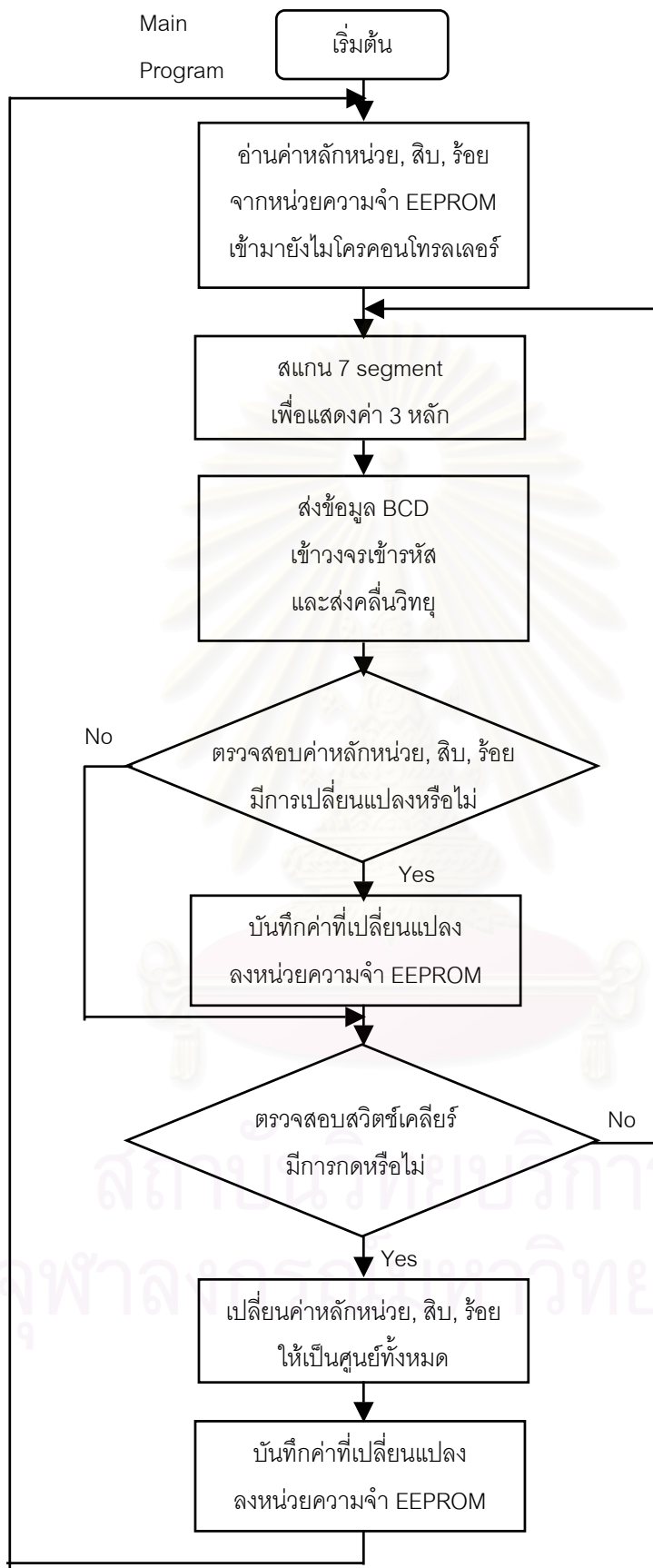
รูปที่ 3.12 วงจรถอดรหัสและรับข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่าน UHF

3.4 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบวัดปริมาณรังสี

โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 และโปรแกรมควบคุมการทำงานและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์

3.4.1 โปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84

การทำงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลจะถูกควบคุมด้วยโปรแกรมซึ่งเขียนด้วยภาษาแอสเซมบลี มีไฟล์ชาร์ตการทำงานตามรูปที่ 3.13 และรายละเอียดของโปรแกรมในภาคผนวก ข. ที่บรรจุในหน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84



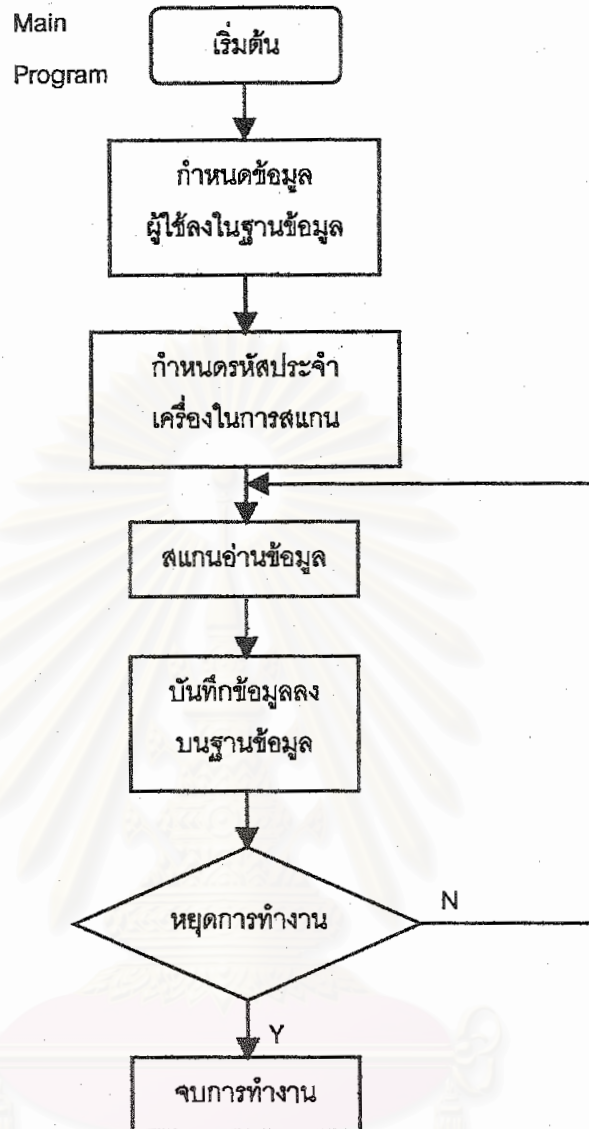
รูปที่ 3.13 โฟลว์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84

จากไฟล์ชาร์ตรูปที่ 3.13 โปรแกรมเริ่มต้นทำงานด้วยการอ่านค่าข้อมูลหลักหน่วย สิบ ร้อย จากหน่วยความจำ EEPROM เข้ามาเก็บในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 เพื่อส่งค่าข้อมูลส่วนหนึ่งไปยังไอซีถอดรหัส BCD เป็นตัวเลข 7 ส่วน ในระบบมัลติเพล็กซ์เพื่อแสดงผล อีกส่วนหนึ่งส่งไปยังไอซีเข้ารหัส BCD เพื่อทำการส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุ จากนั้นจะตรวจสอบข้อมูลแต่ละหลักว่ามีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลหรือไม่ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแต่ละหลักไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 จะทำการจัดเก็บบันทึกข้อมูลลงหน่วยความจำ EEPROM ถ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจะทำการเข้าไปทำการตรวจสอบสวิตช์เคลียร์ (reset) ว่ามีการกดหรือไม่ ถ้ามีการกดสวิตช์เคลียร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 จะกำหนดค่าหลักหน่วย สิบ ร้อย ให้มีค่าเท่ากับศูนย์ จากนั้นทำการจัดเก็บบันทึกข้อมูลลงหน่วยความจำ EEPROM และวนกลับไปอ่านค่าข้อมูลหลักหน่วย สิบ ร้อย ใหม่ ถ้าไม่มีการกดสวิตช์เคลียร์ จะวนกลับไปสแกนข้อมูลแต่ละหลักใหม่

3.4.2 โปรแกรมควบคุมการทำงานและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์

การทำงานในส่วนโปรแกรมควบคุมการทำงานและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ของระบบรับข้อมูลปริมาณรังสีพัฒนาโดยใช้ภาษาวิซวลเบสิก (Visual basic version6) และการจัดเก็บข้อมูลปริมาณรังสีแต่ละบุคคลที่ภาครับวิทยุรับได้ลงในฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์พัฒนาโดยใช้โปรแกรม Microsoft Access ซึ่งสามารถรับข้อมูลแบบ polling ผ่านทางพอร์ตเครื่องพิมพ์หรือพอร์ตขนาน มีไฟล์ชาร์ตการทำงานตามรูปที่ 3.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.14 ไฟล์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรมควบคุมและประมวลผล

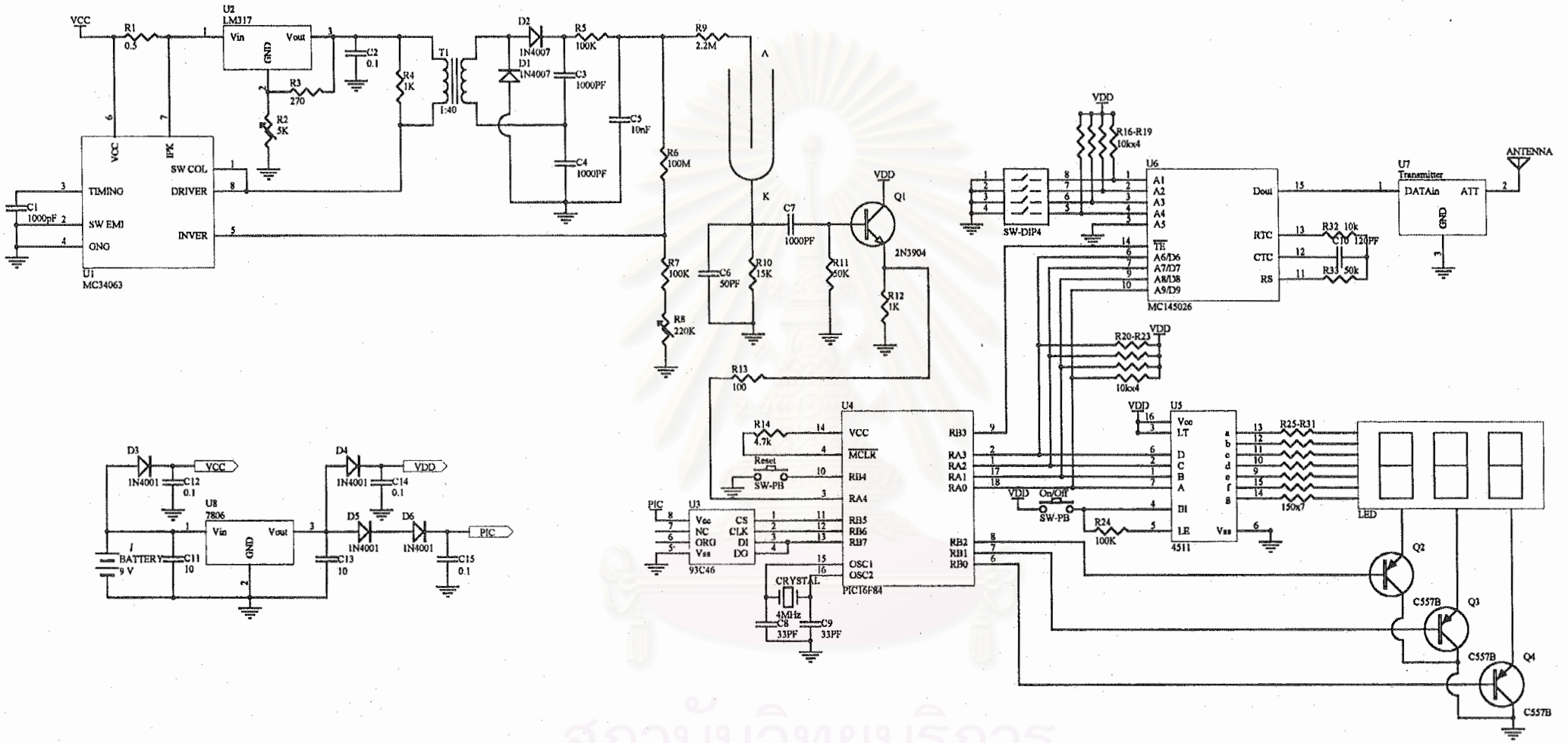
การทำงานของโปรแกรมควบคุมการทำงานและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ของระบบรับข้อมูลปริมาณรังสี เริ่มต้นการทำงาน ด้วยการบันทึกประวัติข้อมูลผู้ปฏิบัติงาน วันเวลา และรหัสประจำเครื่องที่ใช้งานลงในฐานข้อมูล เพื่อให้ในการตรวจสอบประวัติข้อมูลของผู้ปฏิบัติงาน จากนั้นทำการกำหนดจำนวนเครื่องวัดปริมาณรังสีและรหัสประจำเครื่องที่ต้องการสแกน โปรแกรมควบคุมการทำงานจะทำการสแกนอ่านข้อมูลปริมาณรังสีตามช่วงเวลาที่ตั้งไว้ เพื่อตรวจสอบรหัสประจำเครื่องของเครื่องวัดปริมาณรังสีที่ส่งมา เมื่อตรงกับลำดับที่ต้องการอ่านค่าจะทำการบันทึกค่าปริมาณรังสีลงในฐานข้อมูล และแสดงข้อมูลที่ปรับเปลี่ยนทางหน้าจอมอนิเตอร์ต่อเนื่อง จนกว่าจะหยุดทำงานของระบบ ขณะใช้งานนั้นตัวเครื่องวัดรังสีประจำบุคคลจะถูกพกติดตัวกับผู้

ปฏิบัติงานและส่งรหัสประจำตัวพร้อมปริมาณรังสีที่วัดได้เป็นจังหวัด ขณะที่ชุดอุปกรณ์รับจะเป็นผู้เลือกบันทึกข้อมูลตามลำดับที่ โปรแกรมควบคุมคัดเลือก เพื่อบันทึกเข้าฐานข้อมูล

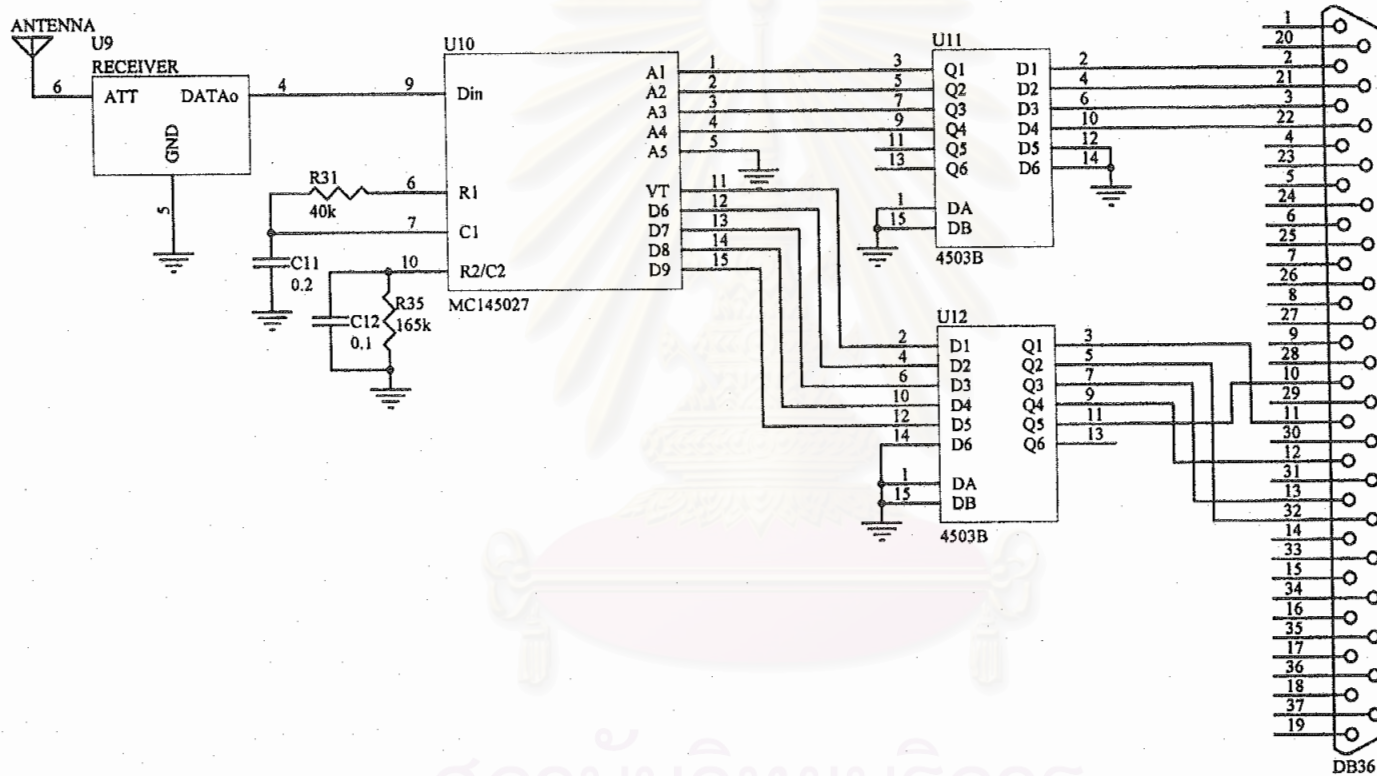
ในรูปที่ 3.15 แสดงวงจรเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงตัวเลขส่งข้อมูลระยะไกลด้วยคลื่นความถี่วิทยุ UHF ทั้งหมด รูปที่ 3.16 แสดงวงจรถอดรหัสและรับข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่าน UHF เพื่อทำการเชื่อมโยงและประมวลการวัดปริมาณรังสีแต่ละบุคคลบนไมโครคอมพิวเตอร์ รูปที่ 3.17 แสดงแผ่นพิมพ์วงจรของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล และรูปที่ 3.18 แสดงการจัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล เพื่อให้มีขนาดเล็ก ส่วนรูปที่ 3.19 แสดงการจัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในอุปกรณ์รับข้อมูลและถอดรหัส และรูปที่ 3.20 แสดงการจัดระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิดส่งข้อมูลแบบไร้สาย ซึ่งประกอบด้วยเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล อุปกรณ์รับข้อมูลและถอดรหัส และไมโครคอมพิวเตอร์



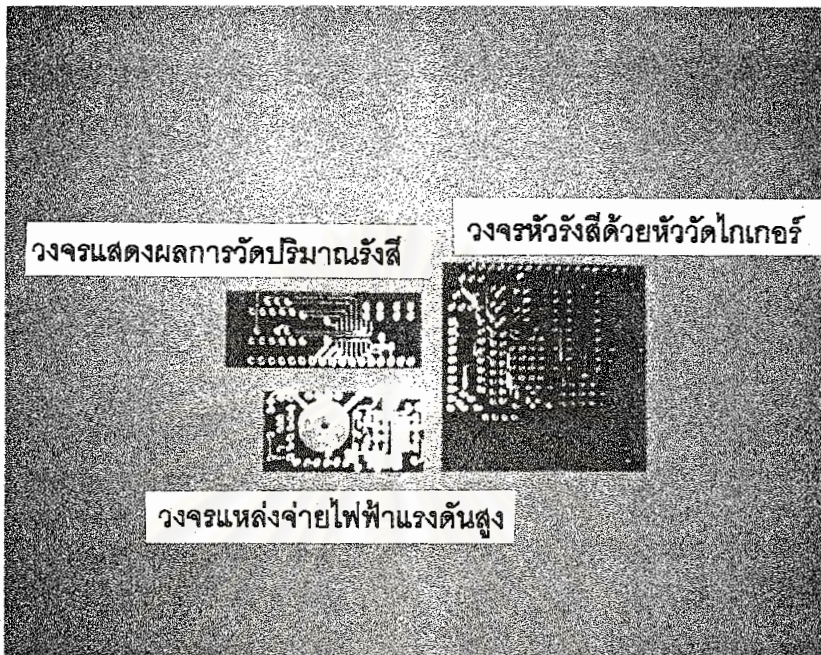
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



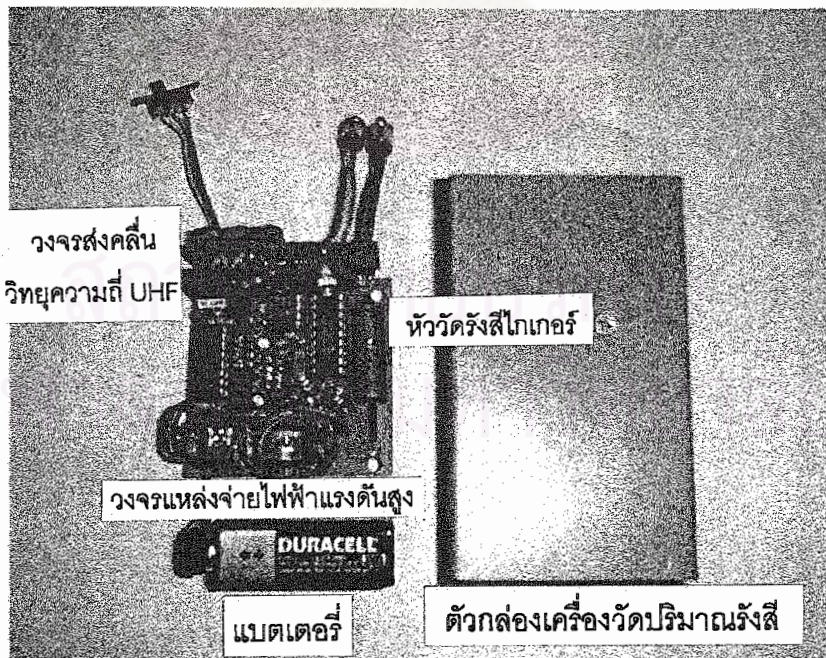
รูปที่ 3.15 วงจรเครื่องวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.16 วงจรถอดรหัสและรับข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่าน UHF



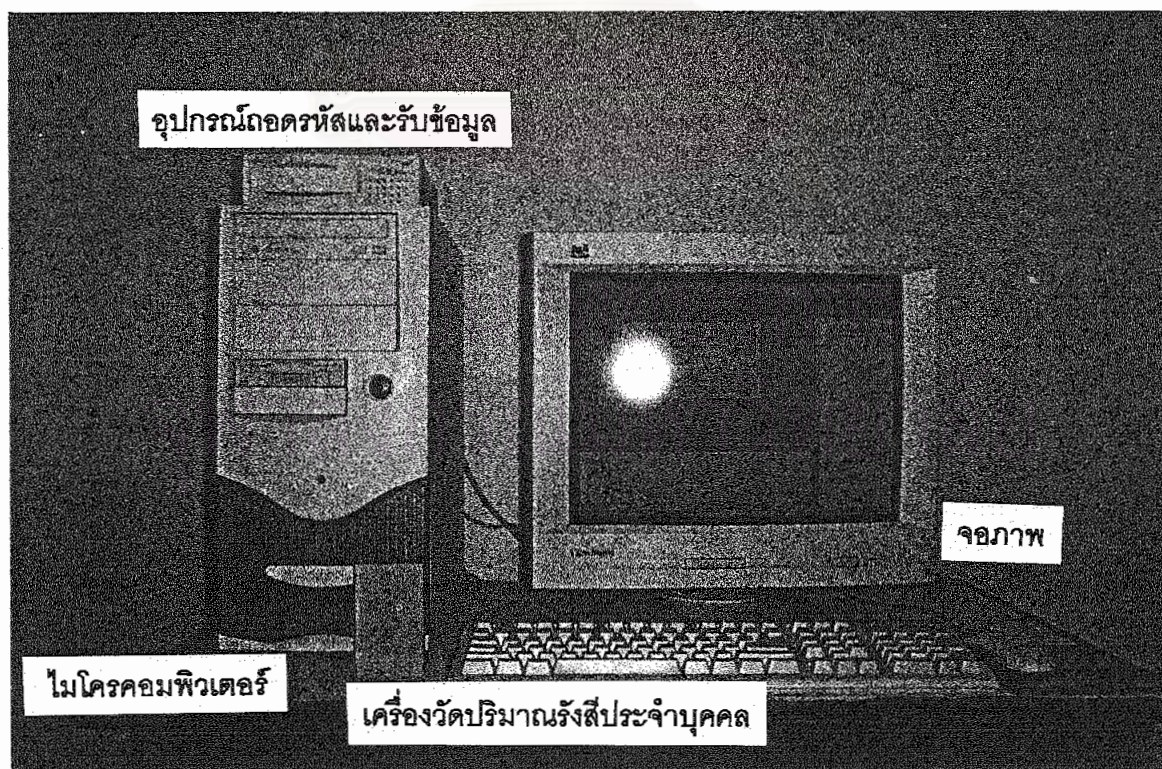
รูปที่ 3.17 แสดงแผ่นพิมพ์วงจรของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล



รูปที่ 3.18 แสดงการจัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล



รูปที่ 3.19 แสดงการจัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในอุปกรณ์รับข้อมูลและถอดรหัส



รูปที่ 3.20 แสดงการจัดระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิดส่งข้อมูลแบบไร้สาย

บทที่ 4

การทดสอบการทำงานของระบบ

การทดสอบการทำงานของระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงตัวเลขชนิดส่งข้อมูลแบบไร้สายที่พัฒนาขึ้นนี้ได้แบ่งทดสอบการทำงานของระบบต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. การทดสอบการทำงานของวงจรมายในเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล
2. การทดสอบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล
3. การทดสอบการติดต่อสื่อสาร
4. การทดสอบโปรแกรมควบคุมและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์

4.1. เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดสอบ

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ และการสอบเทียบระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น ดังนี้คือ

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply) Lodestar รุ่น PS-303
2. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (Oscilloscope) Tektronix รุ่น TDS360
3. โพรบวัดไฟฟ้าแรงดันสูง (H.V. probe) Tektronix รุ่น P5100
4. มัลติมิเตอร์วัดสัญญาณระบบเชิงตัวเลข (Digital multimeter) FLUKE รุ่น 73 II
5. DC coupling network box
6. ตัวต้านทาน (load resistor)
7. ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานซีเซียม-137 (Cs-137) ความแรงแรังสี 2.74 Ci
8. ต้นกำเนิดรังสีซีเซียม-137
9. เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล
10. อุปกรณ์รับข้อมูลและถอดรหัส
11. ไมโครคอมพิวเตอร์
12. สายพริ้นเตอร์ (Printer)

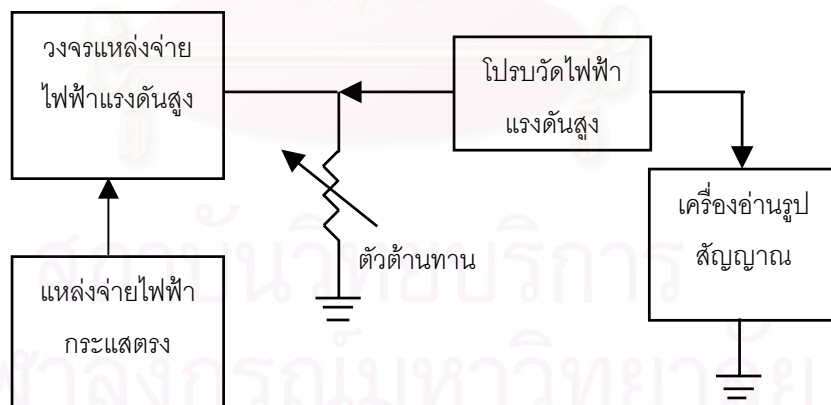
4.2 การทดสอบการทำงานของวงจรมายในเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

การทดสอบการทำงานของวงจรมายในเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น แบ่งการทดสอบออกเป็น ส่วน ๆ ได้ดังนี้ คือ การทดสอบสมรรถนะการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง การทดสอบรูปสัญญาณจากหัววัดรังสีไอแกมมา และการทดสอบวงจรมายแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

4.2.1 การทดสอบสมรรถนะการทำงานของวงจรมายแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

การทดสอบการทำงานของวงจรมายแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง และการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ เพื่อนำข้อมูลไปใช้ปรับเทียบค่าในวงจรมายแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำสามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรมายแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง เพื่อไบอัส ฌ จุดทำงานของหัววัดรังสีไอแกมมาได้อย่างคงที่ ซึ่งทำให้ผลการวัดปริมาณรังสีมีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกินมาตรฐาน

4.2.1.1 การทดสอบความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง



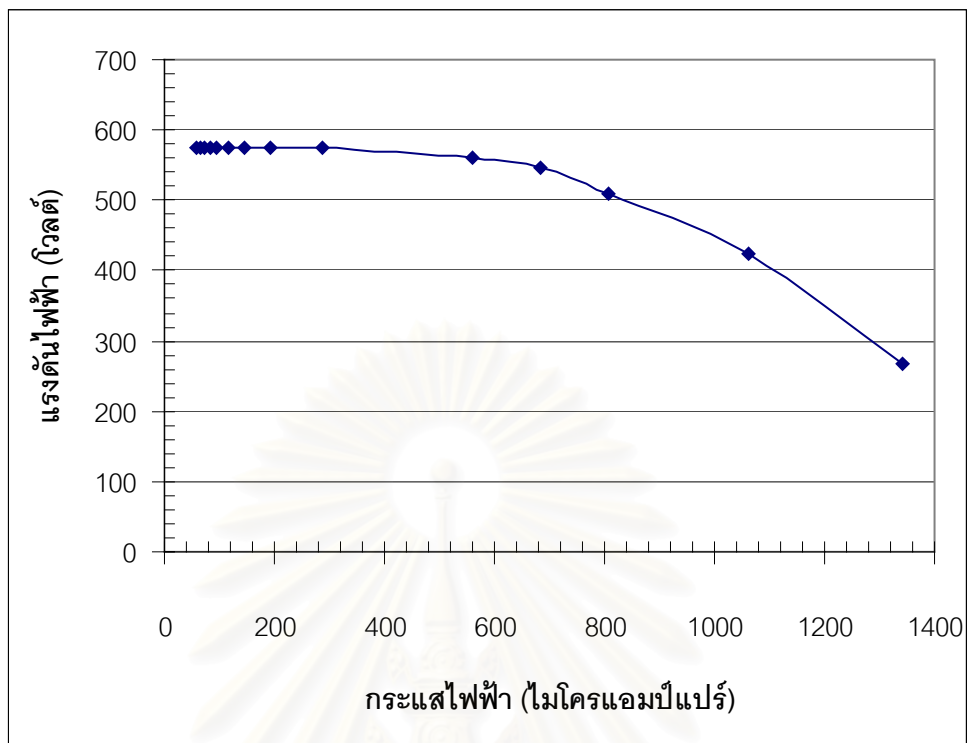
รูปที่ 4.1 แผนภาพการทดสอบความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง

ทดสอบโดยจัดอุปกรณ์ดังแผนภาพรูปที่ 4.1 ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่แรงดันไฟฟ้า 9.0 โวลต์ เพื่อจ่ายให้วงจรมายแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงมีค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 575 โวลต์ และปรับค่าตัวต้านทานโหลดเท่ากับ 10 เมกะโอห์ม ($M\Omega$) บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่อง

อ่านรูปสัญญาณ จากนั้นเปลี่ยนค่าตัวต้านทานไหลลดลงจนถึง 0.2 เมกะโอห์ม และบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ตามลำดับในตาราง นำค่าแรงดันไฟฟ้าและค่าตัวต้านทานที่เปลี่ยนไปมาคำนวณหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านจากสมการ $I=V/R$ ผลการทดสอบความสามารถในการจ่ายกระแสของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงให้กับตัวต้านทานดังแสดงในตารางที่ 4.1 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าแรงดันสูงกับค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานในรูปที่ 4.2

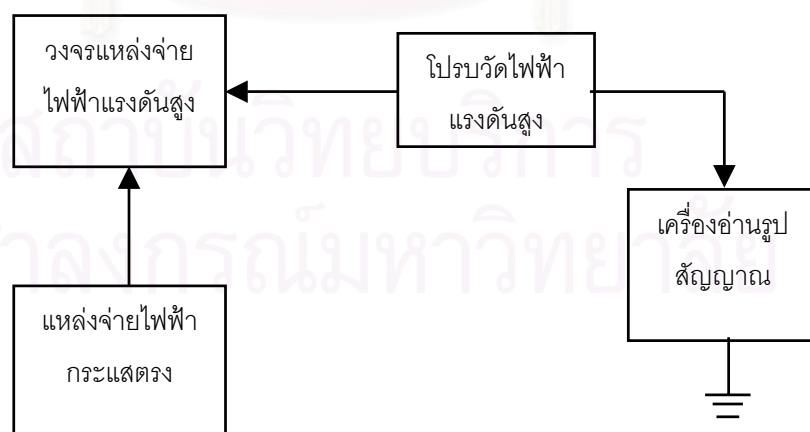
ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง

ตัวต้านทาน ($M\Omega$)	แรงดันเอาต์พุต (V)	คำนวณค่ากระแส (μA)
10	575	57.50
9	575	63.89
8	575	71.87
7	575	82.14
6	575	95.83
5	575	115.00
4	575	143.75
3	575	191.67
2	575	287.50
1	560	560.00
0.8	546	682.50
0.6	508	806.67
0.4	424	1060.00
0.2	268	1340.00



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าแรงดันสูงกับกระแสไฟฟ้า

4.2.1.2 การทดสอบหาขีดความสามารถในการจ่ายกระแสระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

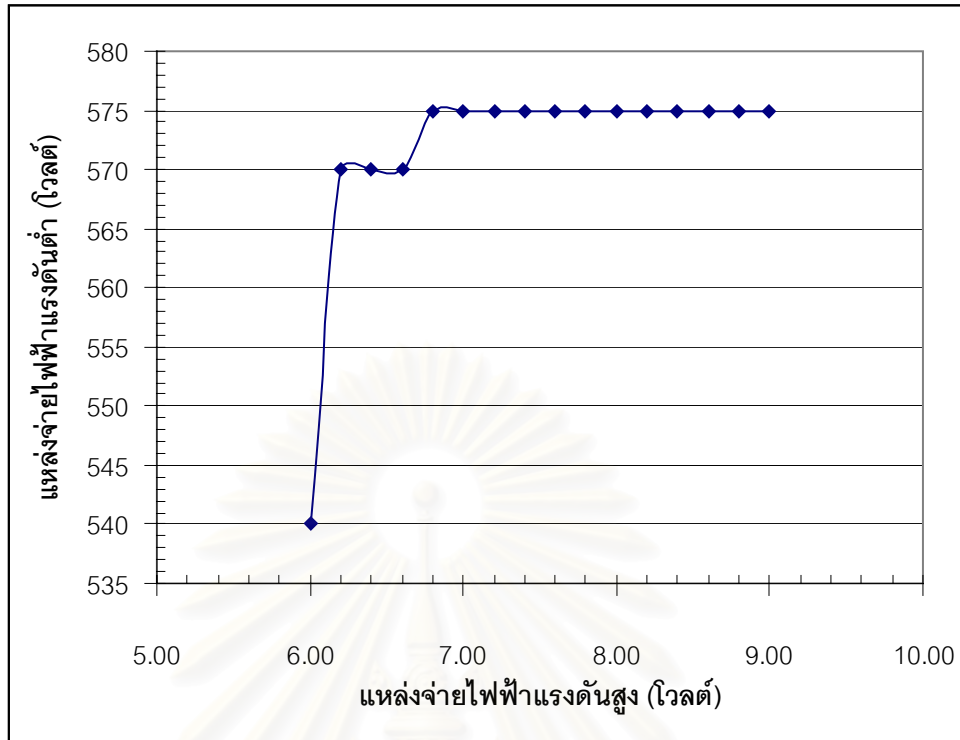


รูปที่ 4.3 แผนภาพการทดสอบหาขีดความสามารถในการจ่ายกระแสระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

จัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.3 ต่อค่าตัวต้านทานเท่ากับ 10 เมกะโอห์ม แปรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจาก 9.00 โวลต์ โดยลดลงทีละ 0.20 โวลต์ ไปจนถึง 6.00 โวลต์ ตามลำดับบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องอ่านรูปสัญญาณ ผลการทดสอบแสดงดังในตารางที่ 4.2 และรูปกราฟที่ 4.4 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

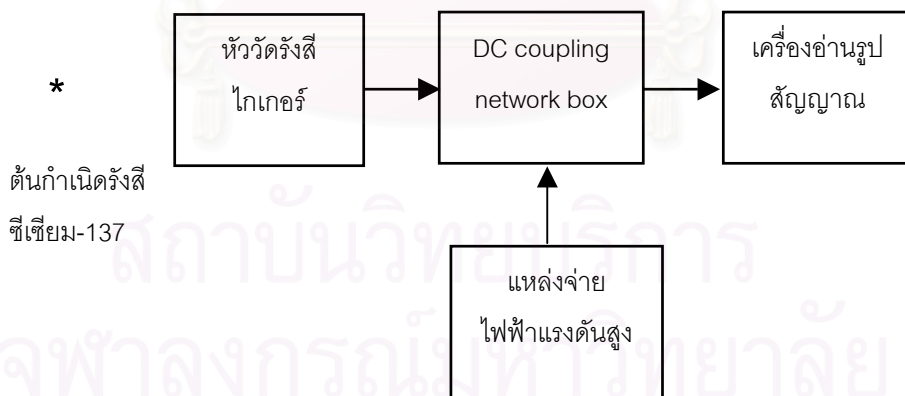
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบความสัมพันธ์แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ (V)	แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (V)
9.00	575
8.80	575
8.60	575
8.40	575
8.20	575
8.00	575
7.80	575
7.60	575
7.40	575
7.20	575
7.00	575
6.80	575
6.60	570
6.40	570
6.20	570
6.00	540



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

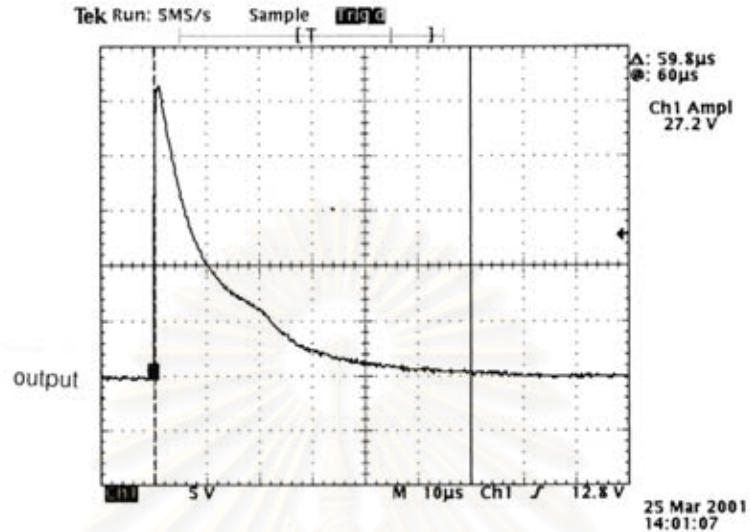
4.2.2 การทดสอบรูปสัญญาณจากหัววัดรังสีไกเกอร์



รูปที่ 4.5 การทดสอบรูปสัญญาณจากหัววัดรังสีไกเกอร์

การทดสอบรูปสัญญาณจากหัววัดรังสีไกเกอร์เป็นการตรวจสอบการทำงานของวงจรวัดรังสีไกเกอร์ เพื่อวัดรูปสัญญาณพัลส์เอกซโพเนนเชียลที่ได้ โดยจัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.5 ปรับค่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงเท่ากับ 575 โวลต์ ผลการทดสอบพบว่าสัญญาณพัลส์เอกซ

โพเนนเชียลจากหัววัดรังสีไอเกอร์ โดยใช้ตัวต้านทาน 15 กิโลโอห์มที่ขั้วแคโทด มีขนาดสัญญาณเท่ากับ 27.2 โวลต์ ค่า decay time ประมาณ 60 μ s ดังแสดงในรูปที่ 4.6

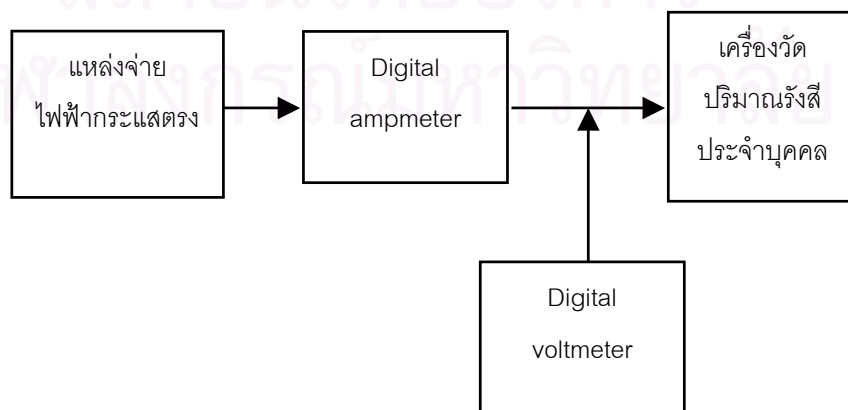


รูปที่ 4.6 รูปสัญญาณพัลส์เอกซ์โพเนนเชียลจากหัววัดรังสีไอเกอร์

4.2.3 การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบอัตราการสูญเสียกำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล และการทดสอบระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่

4.2.3.1 การทดสอบอัตราการสูญเสียกำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

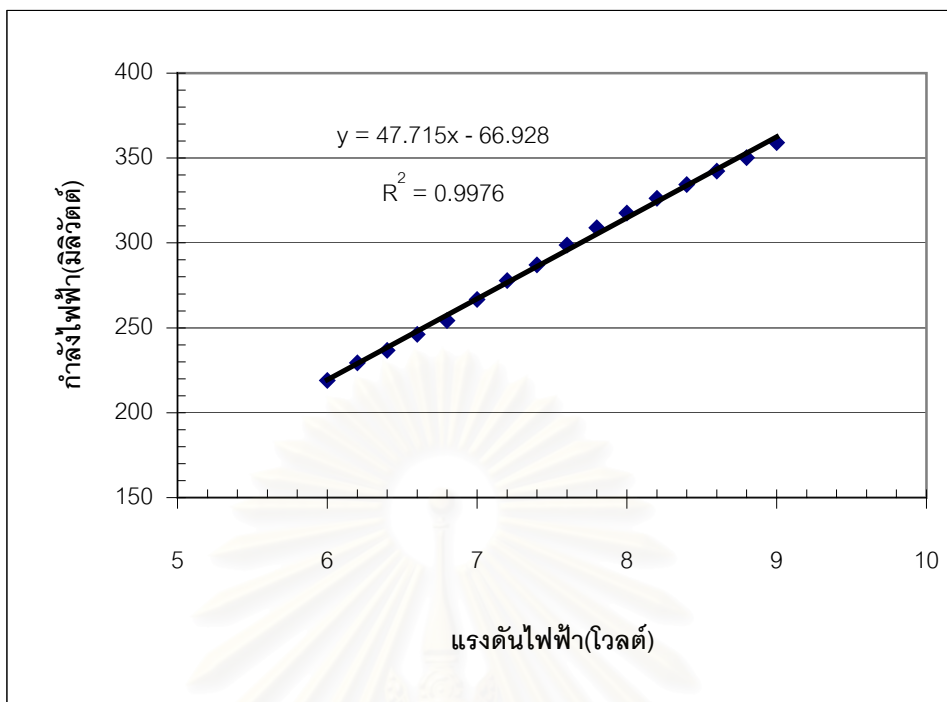


รูปที่ 4.7 การทดสอบการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดปริมาณรังสี

จัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.7 (เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่ทำการวัดต่อรวมวงจรส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF และปิดสวิตช์ displays) แปรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจาก 9 โวลต์ ลดลงทีละ 0.2 โวลต์ ไปจนถึง 6 โวลต์ อ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และนำค่ากระแสไฟฟ้าแต่ละค่ามาคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ($W=VI$) ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปกราฟที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำและอัตราการสูญเสียกำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

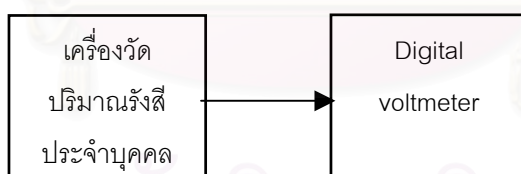
ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและอัตราการสูญเสียกำลังไฟฟ้า

แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (V)	กระแสไฟฟ้า (mA)	กำลังไฟฟ้า (mW)
9	39.9	359.10
8.8	39.8	350.24
8.6	39.8	342.28
8.4	39.8	334.32
8.2	39.8	326.36
8.0	39.7	317.60
7.8	39.6	308.88
7.6	39.3	298.68
7.4	38.8	287.12
7.2	38.6	277.92
7.0	38.1	266.70
6.8	37.4	254.32
6.6	37.3	246.18
6.4	37.0	236.8
6.2	37.0	229.40
6.0	36.5	219.0



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงและอัตราการสูญเสียกำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

4.2.3.2 การทดสอบระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่



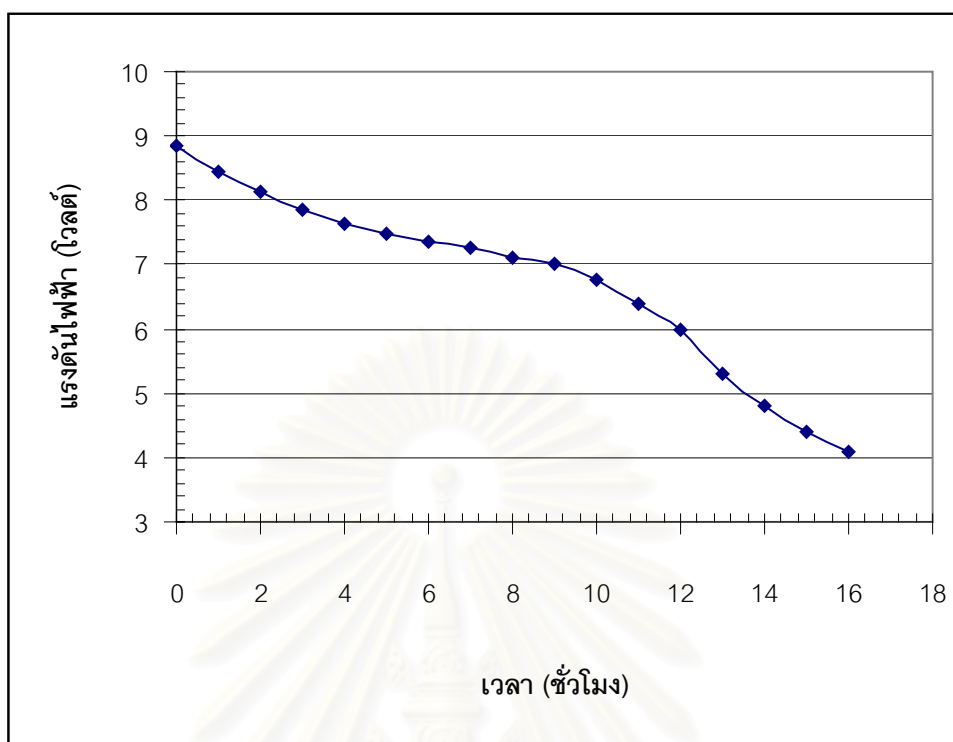
รูปที่ 4.9 การทดสอบระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่

เครื่องวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้นออกแบบให้ใช้กับแบตเตอรี่อัลคาไลน์ (alkaline) ขนาด 9 โวลต์ ชนิด MN1640B การทดสอบระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่จัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.9 .ทำการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าและบันทึกเวลาการทำงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีเริ่มต้น จนกระทั่งถึงสถานะแรงดันของแบตเตอรี่ต่ำกว่าพิกัดทำงาน ผลการทดสอบแสดงในตารางที่

4.4 และเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาใช้งานของแบตเตอรี่และแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำในรูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาใช้งานของแบตเตอรี่และแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

เวลา (ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (โวลต์)
0	8.84
1	8.45
2	8.12
3	7.84
4	7.63
5	7.48
6	7.36
7	7.26
8	7.12
9	7.00
10	6.75
11	6.40
12	6.00
13	5.30
14	4.80
15	4.40
16	4.10



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาใช้งานของแบตเตอรี่และแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

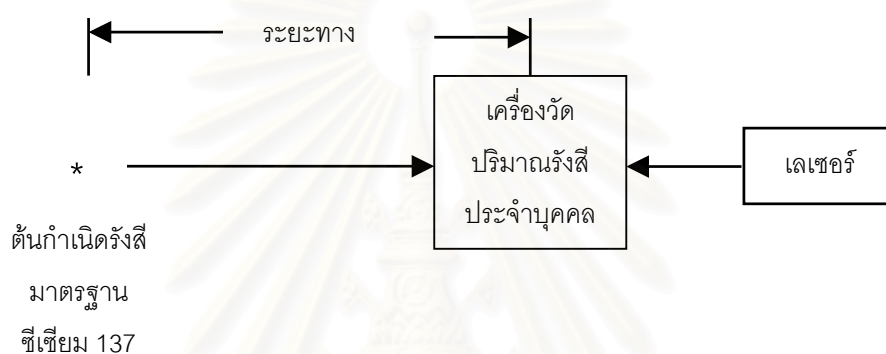
4.3 การทดสอบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

การทดสอบความถูกต้องในการวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลได้รับความอนุเคราะห์การสอบเทียบจากห้องปฏิบัติการเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary standard dosimeter laboratory : SSDL) กองรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบความถูกต้องในการวัดปริมาณรังสี และการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดรังสีประจำบุคคล

4.3.1 การทดสอบความถูกต้องในการวัดปริมาณรังสี

เพื่อให้เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดค่าปริมาณรังสีได้อย่างถูกต้องจึงต้องมีการสอบเทียบมาตรฐาน โดยนำเครื่องวัดรังสีประจำบุคคลไปสอบเทียบที่ห้องปฏิบัติการเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ ทำการสอบเทียบกับต้นกำเนิดรังสีแกมมา ซีเซียม-137 มีความ

แรงรังสี 2.74 Ci โดยจัดอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ระยะห่างระหว่างจุดกึ่งกลางหัววัดไกเกอร์ถึงจุดกึ่งกลางต้นกำเนิดรังสีเท่ากับ 75 เซนติเมตร เอกซ์โพเชอร์เรท (exposure rate) ที่จุดสอบเทียบมีค่าเท่ากับ 45.6 mR/sec. ฉายรังสีโดยใช้เวลา 3 วินาที และอ่านค่าปริมาณรังสีบนเครื่องวัดประจำบุคคล จากผลการสอบเทียบพบว่าค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดรังสีประจำบุคคลมีความแตกต่างจากปริมาณรังสีมาตรฐาน จึงทำการปรับแก้ค่าปริมาณรังสีที่วัดได้โดยการโปรแกรมเลือกอัตราส่วนของโปรแกรมเอเบิลพรีสเกลเลอร์ (programmable prescaler) เลือกตั้งค่าของรีจิสเตอร์ OPTION ที่อัตราส่วน 1:4 และกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ TMR0 ให้มีค่าที่ 244 เพื่อให้เกิดโอเวอร์โฟลว จากนั้นทำการสอบเทียบเครื่องวัดรังสีประจำบุคคลอีกครั้ง ผลการสอบเทียบแสดงในตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.11 การทดสอบความถูกต้องในการวัดปริมาณรังสี

ตารางที่ 4.5 ผลการปรับเทียบปริมาณรังสีสะสม

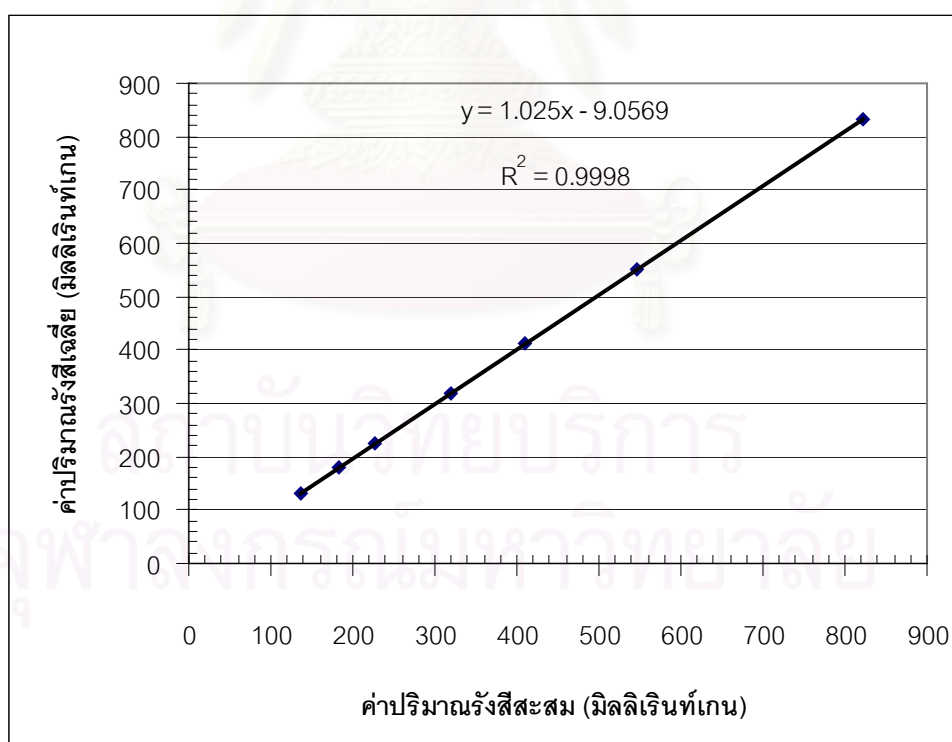
ปริมาณรังสี ณ ตำแหน่งสอบเทียบ (mR)	ปริมาณรังสีที่วัดได้ (mR)			ค่าเฉลี่ยปริมาณรังสี ($\bar{x} \pm SD$) (mR)	ความคลาด เคลื่อน (%)
	1	2	3		
136.8	129	132	132	131.0 ± 1.73	-4.2

4.3.2 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดรังสีประจำบุคคล

เพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น จึงได้จัดอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 4.11 โดยนำเครื่องวัดรังสีประจำบุคคลไปวางที่จุดสอบเทียบ แล้วทำการฉายรังสีที่ค่าปริมาณรังสีต่าง ๆ โดยแต่ละครั้งบันทึกค่าปริมาณรังสีที่วัดได้ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดรังสีประจำบุคคล

ปริมาณรังสี ณ ตำแหน่งสอบเทียบ (mR)				ค่าเฉลี่ยปริมาณรังสี ($\bar{x} \pm SD$) (mR)	ความคลาด เคลื่อน (%)
	1	2	3		
136.8	129	132	132	131.0 ± 1.73	-4.2
182.4	179	177	180	178.7 ± 1.53	-2.0
228.0	228	223	223	224.7 ± 2.89	-1.5
319.2	323	315	317	318.3 ± 4.16	-0.3
410.4	410	414	409	411.0 ± 2.65	0.1
547.2	549	553	557	553.0 ± 4.0	1.1
820.8	826	835	834	831.7 ± 4.93	1.3

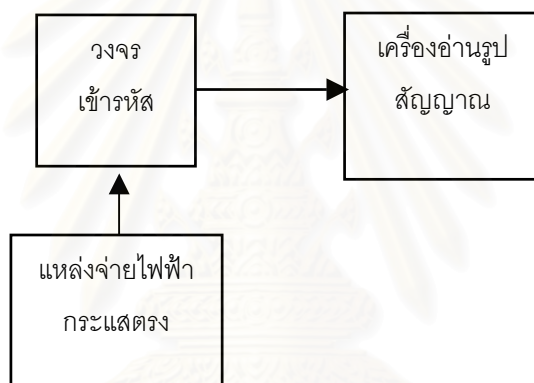


รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นของเครื่องวัดรังสีประจำบุคคล

4.4 การทดสอบการติดต่อสื่อสาร

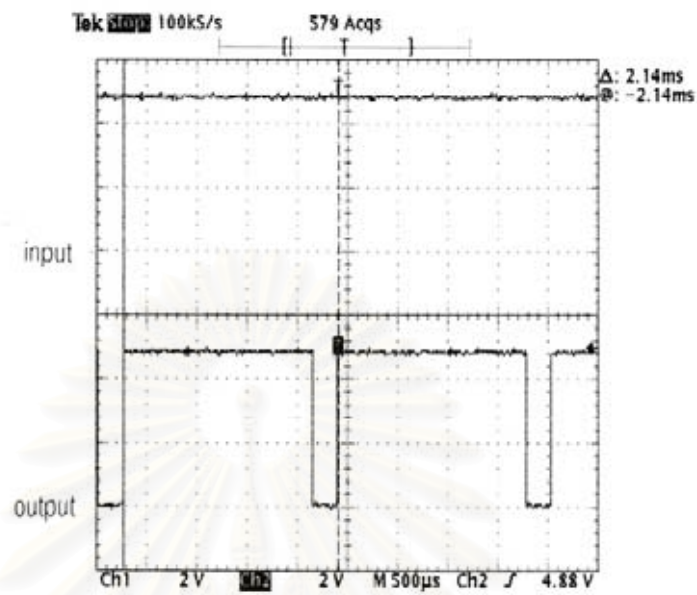
การทดสอบการติดต่อสื่อสาร โดยใช้วงจรเข้ารหัสส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF และวงจรถอดรหัสรับข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF แบ่งเป็นการทดสอบออกเป็นออกได้ 4 ส่วน ดังนี้ คือ การทดสอบการแปลงสัญญาณลอจิกเป็นสัญญาณเข้ารหัสแบบอนุกรม การทดสอบวงจรถอดรหัสและรับข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF การทดสอบหาขีดจำกัดของระยะทางในการทำงานของวงจรรับ/ส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF

4.4.1 การทดสอบการแปลงสัญญาณลอจิกเป็นสัญญาณเข้ารหัสแบบอนุกรม

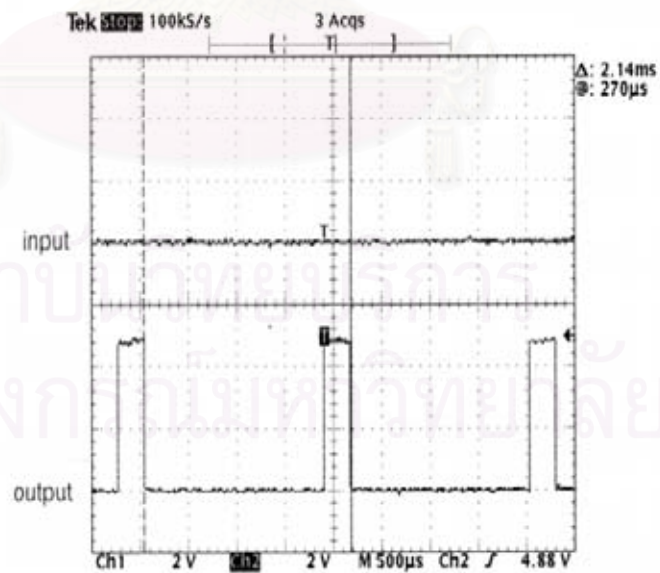


รูปที่ 4.13 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบการแปลงสัญญาณข้อมูล BCD เป็นสัญญาณเข้ารหัสแบบอนุกรม

จัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.13 ปรับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 5 และ 0 โวลต์ เช้าวงจรเข้ารหัสสัญญาณและจัดรูปสัญญาณลอจิก “1” และ “0” ตามลำดับ อ่านค่ารูปสัญญาณจากเครื่องอ่านรูปสัญญาณ ผลการแปลงสัญญาณลอจิกเป็นสัญญาณเข้ารหัสแบบอนุกรม แสดงดังรูปที่ 4.14ก. สัญญาณลอจิก “1” และรูปที่ 4.14ข. สัญญาณลอจิก “0” ตามลำดับ



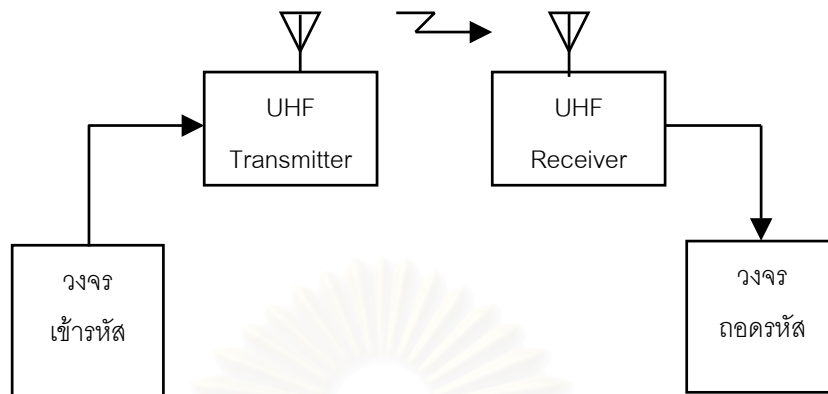
ก. สัญญาณลอจิก “1”



ข. สัญญาณลอจิก “0”

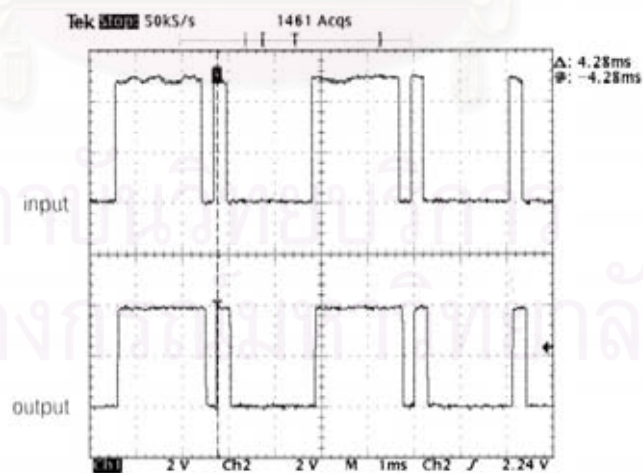
รูปที่ 4.14 แสดงผลการแปลงสัญญาณลอจิกเป็นสัญญาณเข้ารหัสแบบอนุกรม

4.4.2 การทดสอบวงจรถอดรหัสและรับข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF



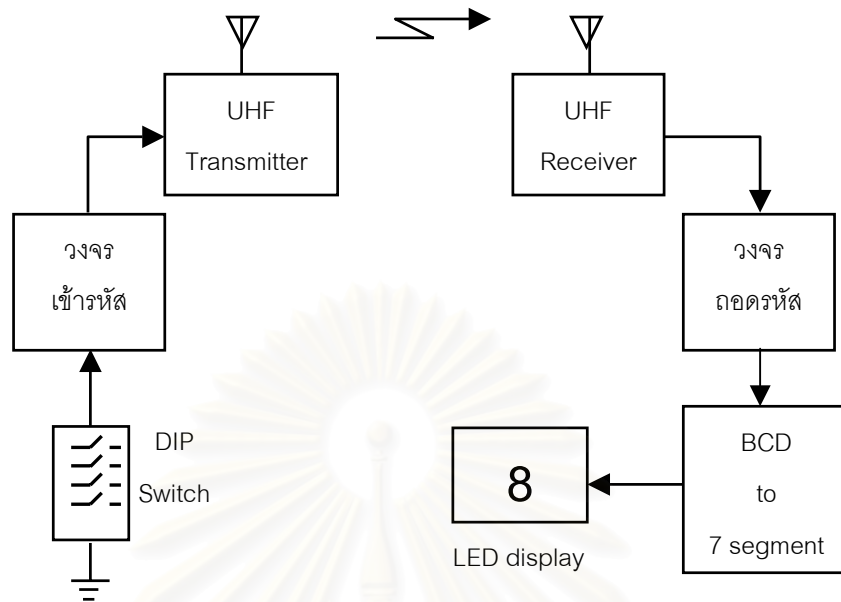
รูปที่ 4.15 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรถอดรหัสและรับข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF

จัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.15 ป้อนสัญญาณรหัส BCD เข้าวงจรเข้ารหัส เพื่อเปลี่ยนเป็นรูปแบบของสัญญาณแบบอนุกรม ส่งไปเข้าวงจรส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF อ่านค่ารูปสัญญาณด้วยเครื่องอ่านรูปสัญญาณเปรียบเทียบกับรูปสัญญาณที่ผ่านจากวงจรถอดรหัส ผลการวัดเปรียบเทียบรูปสัญญาณเข้ารหัสและสัญญาณถอดรหัสแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ผลการวัดเปรียบเทียบรูปสัญญาณเข้ารหัสและสัญญาณถอดรหัส

4.4.3 การทดสอบการรับสัญญาณข้อมูล



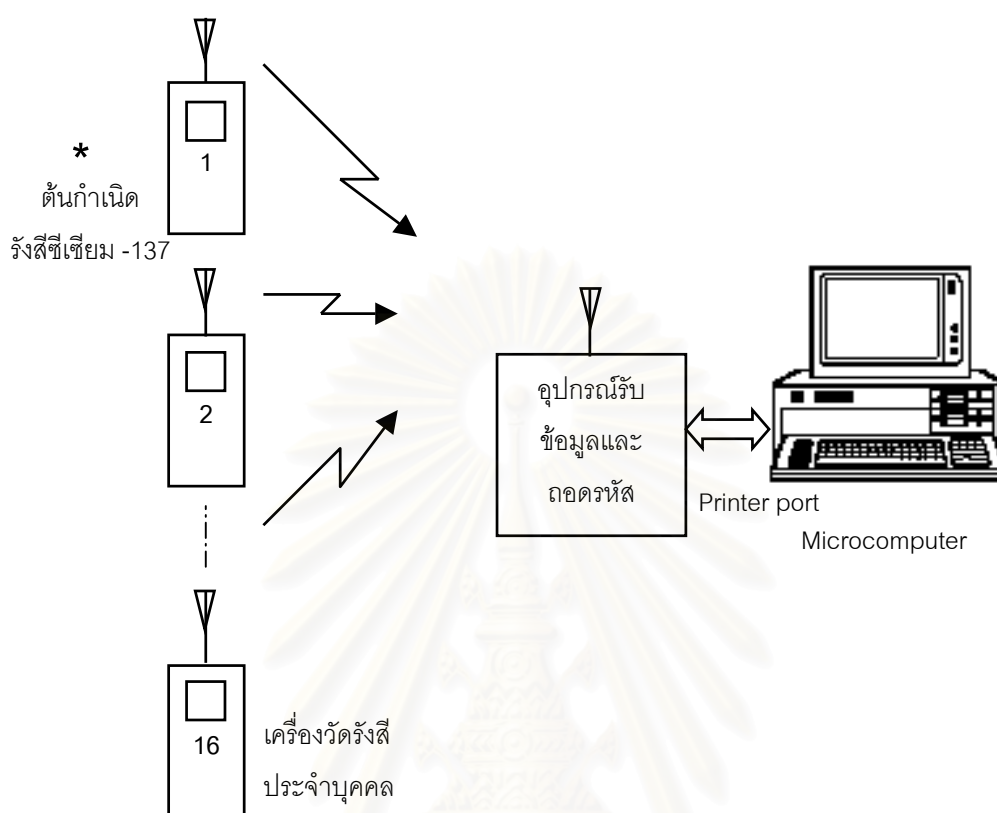
รูปที่ 4.17 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบการรับสัญญาณข้อมูล

การทดสอบการรับสัญญาณข้อมูล เพื่อหาสมรรถนะในการรับ/ส่งข้อมูลระหว่างวงจรเข้ารหัสและวงจรถอดรหัส โดยจัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.17 ป้อนสัญญาณรหัส BCD เข้าวงจรเข้ารหัส โดยปรับเปลี่ยน DIP switch จากค่า 0 จนถึง 9 ตามลำดับ อ่านค่าที่ได้ทาง LED display ผลการทดสอบการรับสัญญาณข้อมูลแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.7 การทดสอบการรับสัญญาณข้อมูลโดยคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF

				ข้อมูลที่ได้รับได้	
				Decimal code	
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	1	1
0	0	1	0	2	2
0	0	1	1	3	3
0	1	0	0	4	4
0	1	0	1	5	5
0	1	1	0	6	6
0	1	1	1	7	7

4.5 การทดสอบโปรแกรมควบคุมและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.18 การทดสอบโปรแกรมควบคุมและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์

การทดสอบโปรแกรมควบคุมและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ โดยใช้เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงตัวเลขชนิดส่งข้อมูลแบบไร้สาย และไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งมีโปรแกรมควบคุมการทำงานและประมวลผลที่พัฒนาขึ้น โดยจัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.18 เริ่มการทำงานของโปรแกรมควบคุมและประมวลผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ รีเซตเครื่องวัดรังสีประจำบุคคล เพื่อเริ่มการทำงานให้อ่านค่าปริมาณรังสีที่ได้รับบนไมโครคอมพิวเตอร์ ผลการทดสอบ โปรแกรมควบคุมการทำงานและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ จะทำการประมวลข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์รับและถอดรหัสแล้วบันทึกข้อมูลลงบนหน่วยความจำของไมโครคอมพิวเตอร์ จากนั้นโปรแกรมจัดการฐานข้อมูลที่พัฒนาโดยใช้ Microsoft Access จะทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลที่ได้ในฐานข้อมูล ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการค้นหาและสอบตรวจ ทำให้ทราบชื่อผู้ปฏิบัติงาน ปริมาณรังสีสะสมที่ได้รับ ตลอดจนวันและเวลาในการเข้าปฏิบัติงาน เพื่อป้องกันอันตรายจากรังสี

จำนวนเครื่อง

2

เครื่อง POCKET DOSE

000,KAI
001,Wasan
002,TUKSIN
003,DOSE

เลือก POCKET DOSE

วันที่ 5/9/01 เริ่มทำงาน

เวลา 7:14:18 PM หยุด

จบการทำงาน

เครื่อง ชื่อผู้ใช้ DOSE

002 TUKSIN 500

สถานะ หยุดการทำงาน

รูปที่ 4.19 ภาพแสดงโปรแกรมควบคุมการทำงานและประมวลผล

PKDoseRate Query : แบบสอบถามเลือก

ID	PKUserID	PocketID	PKUserName	PKUserLastName	PKDate	PKTime	PKDose
1	DOSE001	001	Wasan	Amphuchinee	19 April 2001	22:05:50	36
1	DOSE001	001	Wasan	Amphuchinee	21 April 2001	16:21:35	67
2	DOSE002	000	KAI	KFC	21 April 2001	11:48:52	24
2	DOSE002	000	KAI	KFC	21 April 2001	12:35:35	39
3	DOSE003	002	TUKSIN	SHINAWAT	21 April 2001	21:32:13	98
3	DOSE003	002	TUKSIN	SHINAWAT	9 May 2001	19:14:18	500
5	DOSE004	003	OOSE	NUCLEAR	24 April 2001	10:28:15	59

ระเบียน: 1 จาก 7

รูปที่ 4.20 แสดงโปรแกรมการจัดเก็บลงฐานข้อมูล

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

ระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงตัวเลขชนิดส่งข้อมูลแบบไร้สายที่พัฒนาขึ้น โดยออกแบบโครงสร้างให้เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลมีขนาดเล็กสามารถเข้ารหัสและส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF ไปยังอุปกรณ์รับข้อมูลและถอดรหัสปลายทาง ซึ่งเชื่อมโยงผ่านพอร์ตเครื่องพิมพ์บนไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการประมวลผลและควบคุมการทำงานของระบบ มีผลสรุปของการวิจัยดังนี้

5.1.1 ผลการทดสอบการทำงานของวงจรภายในเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

ก. การทดสอบสมรรถนะการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง พบว่าแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงสามารถทำงานที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 9 ถึง 6 โวลต์ และแปรเปลี่ยนค่าไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง เพื่อไบอัส ทรานซิสเตอร์ให้หัววัดไกเกอร์ทำงานได้ 575 ถึง 540 โวลต์ สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 57.50 ไมโครแอมป์แปร์

ข. การทดสอบรูปสัญญาณจากหัววัดรังสีไกเกอร์ พบว่ารูปสัญญาณพัลส์เอ็กโพเนนเชียลจากหัววัดไกเกอร์ ซึ่งจัดวงจรแบบ DC Coupling มีสัญญาณขนาด 27.2 โวลต์ และมีค่า decay time ประมาณ 60 μ S

ค. การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ พบว่าแบตเตอรี่อัลคาไลน์ ขนาด 9 โวลต์ ที่ใช้กับเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ขณะปิดสวิทช์ไดโอดเปล่งแสง และมีอัตราการสูญเสียกำลังไฟฟ้า 359.10 มิลลิวัตต์ ที่แรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์

5.1.2 ผลการทดสอบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

ก. การทดสอบความถูกต้องในการวัดปริมาณรังสี พบว่าเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น ทำการสอบเทียบกับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานซีเซียม-137 ความแรงรังสี 2.74 Ci ที่ระยะห่าง 75 เซนติเมตร มีค่าคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 5\%$

ข. การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล พบว่ามีความเป็นเชิงเส้น 0.9998

5.1.3 ผลการทดสอบการการติดต่อสื่อสาร

ก. การทดสอบการแปลงสัญญาณลอจิกเป็นสัญญาณเข้ารหัสแบบอนุกรม พบว่า วงจรเข้ารหัสสามารถแปลงสัญญาณลอจิก “1” และ “0” เป็นสัญญาณเข้ารหัสแบบอนุกรม ซึ่งสามารถเปลี่ยนสัญญาณเข้ารหัสได้ 16 ค่า โดยปรับเปลี่ยนจาก DIP สวิตช์ภายในเครื่องวัดรังสีประจำบุคคล

ข. การทดสอบวงจรถอดรหัสและรับข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF พบว่า ระหว่างรูปสัญญาณจากวงจรส่งข้อมูลและรูปสัญญาณจากวงจรรับข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF ที่อ่านด้วยเครื่องอ่านรูปสัญญาณมีขนาดและความถี่ของสัญญาณเดียวกัน

ค. การทดสอบการรับสัญญาณข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF พบว่า สัญญาณข้อมูลที่เข้าวงจรเข้ารหัสผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF กับสัญญาณข้อมูลที่ออกจากวงจรถอดรหัสผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF สามารถรับสัญญาณข้อมูลและถอดรหัสถูกต้องตรงกับสัญญาณเข้ารหัส

ง. การทดสอบการหาขีดจำกัดของระยะทางในวงจรรับ/ส่งคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF พบว่าสัญญาณข้อมูลที่ด้านรับสามารถรับได้อย่างถูกต้อง มีขีดจำกัดของระยะทางมากกว่า 10 เมตร โดยทดสอบภายในอาคาร

5.1.4 ผลการทดสอบโปรแกรมควบคุมและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์

การทดสอบโปรแกรมควบคุมและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ พบว่า โปรแกรมควบคุมของระบบสามารถทำการสแกนอ่านค่าปริมาณรังสีประจำบุคคลแต่ละเครื่องได้อย่างถูกต้อง โดยใช้เทคนิคการสแกนแบบ polling และสามารถจัดเก็บข้อมูลการวัดปริมาณรังสีในฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการค้นหารายชื่อ นามสกุล ปริมาณรังสีสะสมที่ได้รับ วัน และเวลาในการปฏิบัติงาน

5.2 ลักษณะพิกัดของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น

ก. หัววัดรังสี

หัววัดรังสีฮาโลเจน-ควีนชด halogen-quenched แบบ compact ใช้สำหรับวัดรังสีแกมมาและรังสีบีตาพลังงานสูง คุ้มด้วยตะกั่วหนา 0.5 มม. โดยรอบ เพื่อแก้ไขตอบการตอบสนองต่อพลังงานในช่วงพลังงานต่ำ^[1]

ข. ความแม่นยำในการวัดปริมาณรังสี

มีความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดรังสีประจำบุคคล 0.9998 และมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 5\%$

ค. แสดงผลค่าวัด

แสดงผลเชิงตัวเลข 3 หลักด้วยไดโอดเปล่งแสง ในช่วงปริมาณรังสี 0-999 mR เพื่อความสะดวกแก่ผู้ใช้ปฏิบัติงาน

ง. ระบบรีเซทและบันทึกค่าปริมาณรังสี

สามารถรีเซทเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลให้แสดงผล 000 mR และสามารถเก็บบันทึกข้อมูลปริมาณรังสี 0-999 mR เมื่อแบตเตอรี่หมดพลังงาน

จ. ตั้งค่ารหัสประจำเครื่อง

สามารถแปรเปลี่ยนรหัสประจำเครื่องได้ถึง 16 ค่า โดยตั้งค่า Dip สวิตช์ภายในเครื่องวัดปริมาณรังสี

ช. ส่งสัญญาณข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF 300 MHz

สามารถส่งข้อมูลปริมาณรังสีผ่านคลื่นวิทยุย่านความถี่ UHF 300 MHz ไปจัดเก็บในฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์

ซ. ชนิดของแบตเตอรี่

ใช้แบตเตอรี่อัลคาไลน์ขนาด 9 โวลต์ การสูญเสียกำลังไฟฟ้า 359.10 มิลลิวัตต์ และระยะเวลาใช้งานต่อเนื่อง 12 ชั่วโมง ขณะเปิดสวิตช์ไดโอดเปล่งแสง

ณ. ขนาดและน้ำหนักของเครื่อง

ออกแบบให้ตัวเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลมีขนาด 6 x 10 x 3 เซนติเมตรและมีน้ำหนัก 150 กรัม (รวมแบตเตอรี่)

5.3 ข้อเสนอแนะ

ก. จากผลการทดสอบการติดต่อสื่อสารของเครื่องวัดปริมาณประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น พบว่ามีขีดจำกัดของระยะทางในการสื่อสารข้อมูลไม่เกิน 18 เมตร ภายในอาคาร เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการรับ/ส่งสัญญาณข้อมูลให้สูงขึ้น ควรพัฒนาสายอากาศให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งจะทำให้สามารถรับสัญญาณได้ดีขึ้น หรืออาจใช้อุปกรณ์ทวนสัญญาณช่วยทำให้สามารถสื่อสารได้ไกลขึ้น

ข. การพัฒนาเพิ่มเติมในส่วนของสัญญาณส่งเสียงเตือนของเครื่องวัดปริมาณรังสี เมื่อได้รับปริมาณรังสีสูงถึงพิกัด เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 ซึ่งมีพอร์ตสำหรับติดต่อกับ

อุปกรณ์ภายนอกจำกัด จึงอาจเปลี่ยนใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล PIC16F87X ซึ่งมีสมรรถนะในการทำงานและมีพอร์ตสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเพิ่มมากขึ้น

ค. ควรมีการพัฒนาโดยนำอุปกรณ์สื่อสารชนิดใหม่ที่เรียกว่า Bluetooth ซึ่งจะเพิ่มขีดความสามารถในการรับส่งสัญญาณให้ถูกต้องและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังทำให้เครื่องวัดรังสีที่พัฒนาขึ้นมีขนาดเล็กและใช้พลังงานน้อยลง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. ธนากร อรัญศิริ. การพัฒนาระบบเชื่อมโยงสัญญาณสำหรับเฝ้าระวังทางรังสีโดยใช้เครือข่ายวิทยุสื่อสาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
2. อำนวย สุตสาคร. การพัฒนาเครื่องส่งสัญญาณนิวเคลียร์ไร้สาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
3. สูดใจ เกียรติศักดิ์วัฒนา. การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแสดงผลเชิงตัวเลข. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
4. S. Izmi, H. Kitaguchi, S.Mitani and Kikuchi, A Computerized Personal Dosimeter With An IC Card. IEEE Transaction on Nuclear Science. Vol. 36. No. 1, February 1989.
5. Knoll G.F. Radiation Detection and Measurement. New York: McGraw-Hill Book Company, 1989.
6. Herman Cember. Introduction to health physics. New York: McGraw-Hill Book Company, 1992.
7. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. เอกสารประกอบการสอนการตรวจวัดรังสีนิวเคลียร์และอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์. ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.
8. สุวัฒน์ ดั่น. เทคนิคและการออกแบบสวิตชิงเพาเวอร์ซัพพลาย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : บ. ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2538.
9. Myke Predko. Programming and Customizing the PIC Microcontroller. New York: McGraw-Hill Book Company, 1998.
10. สุชาติ กังวารจิตต์. หลักการทํางานเครื่องรับส่งวิทยุและระบบวิทยุสื่อสาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : บ. ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2532.
11. กฤษดา ใจเย็น และชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตร์วิไล. เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อกอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ขนาน. กรุงเทพฯ : บ. อินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด, 2542.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การออกแบบและคำนวณหม้อแปลงไฟฟ้าตัดตาสูง

งานนี้เลือกใช้หม้อแปลงชนิดแกนเฟอร์ไรต์แบบ P14/8 ซึ่งรายละเอียดของแกนชนิดนี้จากทางผู้ผลิต ระบุว่า $A_e = 0.251 \text{ cm}^2$ $A_c = 0.84 \text{ cm}^2$ $B_s = 4600 \text{ Gauss}$ ขั้นตอนการออกแบบได้ดังนี้

กำหนดให้

$$\begin{aligned} f &= 34 \text{ kHz} \\ B_{\max} &= 2300 \text{ Gauss} \\ V_p &= 9 \text{ V} \\ V_s &= 300 \text{ kV} \\ I_D &= 400 \text{ Circular mils / Amp} \\ I_p &= 180 \text{ mA} \\ I_s &= 50 \text{ } \mu\text{A} \end{aligned}$$

หาจำนวนรอบทางด้านปฐมภูมิ

$$\begin{aligned} N_p &= V_p \times 10^8 / 4f B_{\max} A_e \\ &= 9 \times 10^8 / 4 \times 34 \times 10^3 \times 2300 \times 0.251 \\ &= 11.46 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

หาขนาดลวดทองแดงด้านปฐมภูมิ

$$\begin{aligned} \text{ขนาดขดลวดทองแดง} &= I_p \times I_D \\ &= 180 \times 10^3 \times 400 \\ &= 72 \text{ Circular mils} \end{aligned}$$

จากตารางขนาดลวดทองแดงได้ขนาดลวดทองแดงเบอร์ 31 AWG

ดังนั้นทางด้านปฐมภูมิใช้ลวดทองแดง เบอร์ 31 AWG พัน 10 รอบ

ตรวจสอบค่า B_{\max} ขณะ V_{\max}

$$\begin{aligned} B_{\max} &= V_p \times 10^8 / 4f N_p A_e \\ &= 9 \times 10^8 / 4 \times 34 \times 10^3 \times 10 \times 0.251 \\ &= 2197.09 \text{ Gauss} \end{aligned}$$

หาจำนวนรอบทางด้านทุติยภูมิ

$$\begin{aligned} N_s &= N_p \times (V_s / V_p) \\ &= 10 \times (300 / 9) \\ &= 333.33 \text{ รอบ} \end{aligned}$$

หาขนาดลวดทองแดงด้านฟุตติยภูมิ

$$\begin{aligned}
 \text{ขนาดขดลวดทองแดง} &= I_s \times I_p \\
 &= 50 \times 10^{-6} \times 400 \\
 &= 0.02 \text{ Circular mils}
 \end{aligned}$$

จากตารางขนาดลวดทองแดงได้ขนาดลวดทองแดงเบอร์ 45 AWG

ดังนั้นทางด้านฟุตติยภูมิใช้ลวดทองแดง เบอร์ 45 AWG พัน 400 รอบ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84

```

LIST P=16F84                ; using a 16F84 processor 4 mHz crystal
#include "p16f84.inc"        ; definitions we might need
                            ; suppress annoying message because of tris
__CONFIG _PWRTE_ON & _XT_OSC & _WDT_OFF ; WDT off, XT osc

;*****
;
;   registers we define
;*****
units          EQU  H'0C'    ; holds rightmost units digit
tens           EQU  H'0D'    ; tens digit
hundreds       EQU  H'0E'    ; hundreds digit
thousands     EQU  H'0F'    ; thousands digit
dignbr        EQU  H'10'    ; # of current digit 0-3
mscounter      EQU  H'11'    ; counter used in msec delay
mscounter1     EQU  H'12'    ; counter used in msec delay
; W_TEMP      EQU  H'11'    ; used to save W during interrupt
; STATUS_TEMP EQU  H'12'    ; used to save STATUS during interrupt
eeprom        EQU  H'13'    ; bit buffer
addr          EQU  H'14'    ; address register
datai         EQU  H'15'    ; stored data input reg.
datao         EQU  H'16'    ; stored data output reg.
txbuf         EQU  H'17'    ; transmit buffer
count         EQU  H'18'    ; bits transmitted so far
count1        EQU  H'1F'
count2        EQU  H'19'
bits          EQU  H'1A'    ; bits to transmit
bycnt         EQU  H'1B'    ; byte counter for read routine
loops        EQU  H'1C'    ; delay loop counter
loops2       EQU  H'1D'    ; delay loop counter
hbyte        EQU  H'1E'    ; high byte for input data
lbyte        EQU  H'1F'    ; low byte for input data

;*****
;
;   Bit Assignments
;*****
#DEFINEdi     D'7'    ; eeprom input
#DEFINEdo     D'6'    ; eeprom output
#DEFINEdatout D'7'    ; data out line (port_b)
#DEFINEdatin  D'6'    ; data in line (port_b)

```

```

#DEFINEsclk      D'5'   ; clock line (port_b)
#DEFINEchpsel   D'4'   ; chip select line (port_b)
#DEFINE         RB3     D'3'
#DEFINE         RB4     D'4'
#DEFINE         RB5     D'5'
#DEFINE         RB6     D'6'
#DEFINE         RB7     D'7'

                ORG 01ffh
begin          goto PWRUP      ; set the reset vector

                ORG 0
                goto main     ; jump over the next instructions

                ORG 4
                goto introutine ; go to the interrupt routine

;*****
;
;          table is used to get a bit
;*****
pattern      ; patterns use to select which digit is on
                addwf PCL, f
                retlw B'11111110'
                retlw B'11111101'
                retlw B'11111011'

;*****
;
;          Initialization routine sets up ports and time
;*****
init
                movlw B'00010000'
                tris PORTA      ; all Port A outputs
                movlw B'10000000' ; Ports RB0 are inputs
                tris PORTB
                clrwdt
                movlw B'00110000' ; pull-up enabled, falling edge on RB0
                option
                movlw B'10100000' ; enable GIE and RBIE, clear RBIF
                movwf INTCON
                clrf PORTA
                clrf PORTB
                clrf dignbr      ; set digit # to 0
                clrf count
                clrf count1
                clrf count2
                return

```



```

        goto loop          ; reached 3, set digit nbr back to 0
        goto sendloop1    ; do it forever
                                ; total of 3 digits at 9.2 msec = 27.6 msec
                                ; this is about 35 complete displays/ sec
                                ; much fewer than this and you see it blink

loop
    clrf dignbr
    goto disploop

;*****
;      This is the main routine
;*****
main    call init          ; main routine starts here

;*****
;      This is a routine fills the display
;      and read a bits from the data EEPROM
;*****
disploop

    call EWEN

    movlw 0
    movwf addr

; movlw D'7'          ; set number of addresses to
; movwf bytcnt       ; read as 8
    call READ
    movf hbyte,W
    movwf units      ; clear the count registers
    movf lbyte,W
    movwf tens

; incf addr
    movlw .8
    movwf addr
; movlw D'15'        ; set number of addresses to
; movwf bytcnt       ; read as 8
    call READ
    movf hbyte,W
    movwf hundreds
    movf lbyte,W
    movwf thousands

    movf dignbr, W   ; get digit number into W
    call pattern     ; use it to get digit pattern into W ..

```

```

movwf PORTB           ; and into port A, ( selects digit )
movlw units           ; get the address of the units register in W ..
addwf dignbr, W      ; add to it the digit number, (note in W)...
movwf FSR             ; and put it in the indirect register FSR
movf INDF, W         ; shift contents of register pointed to by FSR ..
movwf PORTA          ; at put it into CD4511
call msec7           ; delay for each digit to be displayed

incf dignbr, f       ; next digit
movlw D'3'           ; reached 3 yet ?
subwf dignbr, W      ; W will be zero if yes
btfsc STATUS, Z      ; Test status zero flag. Skip if not set
clrf dignbr          ; reached 3, set digit nbr back to 0

incf count2, f       ; next digit
movlw D'180'         ; reached 3 yet ?
subwf count2, W      ; W will be zero if yes
btfsc STATUS, Z      ; Test status zero flag. Skip if not set
goto sendloop
goto disploop        ; do it forever

; total of 3 digits at 9.2 msec = 27.6 msec
; this is about 35 complete displays/ sec
; much fewer than this and you see it blink

;*****
; This is a routine to write s a bits to data EEPROM
;*****
wri    clrf count1    ; reached 3, set digit nbr back to 0
      movf units,W
; movlw D'1'
      movwf hbyte
      movf tens,W     ; clear the count registers
; movlw D'2'
      movwf lbyte
      movlw 0
      movwf addr
; movlw D'8'         ; set number of addresses to
; movwf bytcnt      ; read as 8
      call WRITE

      movf hundreds,W
; movlw D'4'
      movwf hbyte
;
      movf thousands,W
      movlw 0
      movwf lbyte
;
      incf addr

```

```

        movlw .8
        movwf addr
; movlw D'15'      ; set number of addresses to
; movwf bytcnt    ; read as 8
        call WRITE
        retlw 0          ; yes, jump out

;*****
;
; This is a routine delay
;*****
msec7          ; delays about 7,000 instructions
        movlw D'7'
        movwf mscounter
        clw
msloop        ; each time through loop takes 4 usec
        addlw D'1'      ; it goes 256 times before reaching zero again
        btfsz STATUS, Z ; total time 1.024 msec
        goto msloop
        decfsz mscounter, f ; goes through 7 of these 1.024 msec loops
        goto msloop    ; for a total of 7.2 msec
        return         ; + a few additional usec getting in a out

;*****
;
; This is a routine delay
;*****
msec8          ; delays about 7,000 instructions
        movlw D'150'
        movwf mscounter1
        clw
msloop1       ; each time through loop takes 4 usec
        addlw D'1'      ; it goes 256 times before reaching zero again
        btfsz STATUS, Z ; total time 1.024 msec
        goto msloop1
        decfsz mscounter1, f ; goes through 7 of these 1.024 msec loops
        goto msloop1  ; for a total of 7.2 msec
        return         ; + a few additional usec getting in a out

;*****
;
; Sound routine lasting about 100 milliseconds
;*****
snd1
        movlw D'153'      ; 103 additional would mean roll-over
sndloop
        bsf PORTB, RB7    ; RB7 high
        nop
        nop
        bcf PORTB, RB7    ; RB7 low

```



```

        addlw 1                ; bump W and check for roll-over to 0
        btfss STATUS, Z       ; 8 instructions in loop
        goto sndloop         ; 0.122 msec/instruction
        return                ; 103 loops

;*****
;      this is a routine interrupt
;*****
introutine                ; interrupt routine increments the count
;      movwf W_TEMP          ; save W
;      swapf STATUS,W        ; save status
;      movwf STATUS_TEMP     ; without changing flags
        movlw units          ; start by pointing a units register
        movwf FSR

intloop
        incf INDF, f         ; up INDF
        movlw D'10'         ; reached 10?
        subwf INDF, W       ; test but don't change INDF
        btfss STATUS, Z     ; skip if zero, (reached 10)
        goto restore       ; else we are finished
        clrf INDF           ; reset INDF to zero
        incf FSR, f         ; point at next register
        movlw hundreds + 1  ; reached one past last?
        subwf FSR, W        ;
        btfss STATUS, Z     ; zero means yes
        goto intloop       ; else continue

restore
;      swapf STATUS_TEMP,W; get original status back
;      movwf STATUS          ; into status register
;      swapf STATUS_TEMP,f   ; old no flags trick again
;      swapf STATUS_TEMP,W   ; to restore W
        movlw B'10100000'   ; enable GIE and RBIE, clear RBIF
        movwf INTCON       ; clear RB0 interrupt flag
;      bcf PORTB,RB7
;      bsf PORTB,RB7
; call snd1
        incf count1, f      ; next digit
        movlw D'10'        ; reached 3 yet ?
        subwf count1, W     ; W will be zero if yes
        btfsc STATUS, Z    ; Test status zero flag. Skip if not set
        call wri
        retfie              ; finished, return and enable interrupts

;*****
;      DELAY ROUTINE

```

```

; This routine takes the value in 'loops'
; and multiplies it times 1 millisecond to
; determine delay time.
;*****
;
WAIT
;
top    movlw .110                ; timing adjustment variable
      movwf loops2
top2   nop                      ; sit and wait
      nop
      nop
      nop
      nop
      nop
      decfsz loops2             ; inner loops complete?
      goto top2                ; no, go again
;
      decfsz loops              ; outer loops complete?
      goto top                  ; no, go again
      retlw 0                   ; yes, return from sub
;
;*****
; Start Bit Subroutine
; this routine generates a start bit
; (Chip select and DI high when clock goes high)
;*****
;
BSTART
      movlw b'10000000'
      tris PORTB                ; set port b for output
      ; except for the data out line

      bcf PORTB,datin           ; set datain and chipselect lines
      bcf PORTB,chpsel          ; low just to check operation
      bcf PORTB,sclk            ; make sure clock starts low too.
      nop
;
      bsf PORTB,chpsel          ; set chip select line high
      bsf PORTB,datin           ; set data in line high
      nop
      bsf PORTB,sclk            ; set the clock line high to
      ; generate the start bit

      nop
      nop
      bcf PORTB,sclk            ; set clock low again
      retlw 0
;*****
; BITIN routine reads one bit of data from the

```

```

; serial EE device and stores it in 'di'
;*****
BITIN
    bsf    eeprom,di    ; assume input bit is high
    bsf    PORTB,sclk   ; set clock line high
    nop
    btfss  PORTB,datout ; read the data bit
    bcf    eeprom,di    ; input bit was low
    bcf    PORTB,sclk   ; set clock line low
    ;
    retlw  0            ;

;*****
; Receive data routine
; This routine reads one byte of data from the part
; into the 'datai' register.
;*****
RX
    clrf   datai        ; clear input buffer
    movlw  .8           ; set # bits to 8
    movwf  count
    bcf    STATUS,0     ; make sure carry bit is low
RXLP    rlf    datai        ; rotate the buffer left 1 bit
        call  BITIN        ; read 1 bit
        bcf   datai,0      ; assume the input bit was low
        btfsc eeprom,di    ; check the bit
        bsf   datai,0      ; set high if necessary
        decfsz count      ; 8 bits done?
        goto  RXLP        ; no, do another
    retlw  0

;
;*****
; BITOUT routine
; This routine takes one bit of data in 'do' and
; transmits it to the serial EE device
;*****
BITOUT
    btfss  eeprom,do    ; check state of data bit
    goto  bitlow        ; low, goto bitlow
    bsf    PORTB,datin   ; high, set datin high
    goto  clkout        ; and clock it
    ;
bitlow  bcf    PORTB,datin ; output a logic low
clkout  bsf    PORTB,sclk  ; set clock line high
        nop
        bcf   PORTB,sclk  ; return clock line low
    retlw  0

```

```

;
;*****
; Transmit Data Subroutine
; This routine takes the byte of data stored in the
; 'datao' register and transmits it to the serial EE device.
;*****
;

```

```

TX
    movf    bits,w           ; set the number of bits to xmit
    movwf   count

```

```

TXLP
    bcf     eeprom,do       ; assume bit 7 is low
    btfsz  txbuf,7         ; is bit 7 clear?
    bsf     eeprom,do       ; no, set data bit =1
    call   BITOUT          ; transmit 1 bit to serial EE
    rlf    txbuf            ; rotate txbuf left
    decfsz count           ; all bits done?
    goto   TXLP           ; no, do another bit
    retlw  0               ; yes, jump out

```

```

;
;*****
; POWER-UP ROUTINE
; This is the program entry point, which in this case simply
; sets the port_a I/O lines and directs control to the
; erase/write enable routine.
;*****
;

```

```

PWRUP
;
;    movlw  b'00000000'
;    tris  PORTA           ; set port_a as all output
;    clrf  PORTA           ; all lines low
;
;    movlw  b'10000000'
;    tris  PORTB           ; set RB7 as input, rest output;
;
;    Fall through and do erase/write enable
;

```

```

;*****
; EWEN (Erase/Write ENable Routine)
; this routine enables the dut for erasing and
; writing. This must be done prior to any erase,write
; eral,wral instructions.
;*****
;

```

```

EWEN
    call   BSTART         ; generate a start bit

```

```

movlw .2                ; set # bits to 2
movwf bits              ;
movlw b'00000000'      ; get the opcode (00b)
movwf txbuf            ; into the output buffer
call TX                ; and transmit it
movlw .8                ; set # bits to 8
movwf bits              ;
movlw b'11000000'      ; get opcode and address
                        ; (11XXXXXX)
movwf txbuf            ; into output buffer
call TX                ; and transmit it
bcf PORTB,chpsel       ; set chip select line low
nop
retlw 0
;
;   return
;   Now continue on to the write command
;
;*****
;   Byte Write Routine
;   This routine writes an AA55h pattern into
;   8 consecutive addresses starting at address 00.
;   A delay of about 10ms is given after each byte
;   for the write cycle to complete.
;   The write is done in the x16 mode: the user must
;   have the ORG pin tied to Vcc on the device
;*****
WRITE
;
;   movlw .0             ; set starting address to 00
;   movwf addr          ;
;   movlw .8             ; set number of bytes to write as 8
;   movwf bytcnt        ;
topwr call BSTART       ; generate the start bit

movlw .2                ; set # bits to 2 for the opcode
movwf bits              ;
movlw b'01000000'      ; get opcode (01b)
movwf txbuf            ; into the transmit buffer
call TX                ; and send it

movlw .8                ; set # of bits to 8 for the
movwf bits              ; address
movf addr,w            ; get address counter
movwf txbuf            ; into output buffer
call TX                ; and send it
;   movlw b'10001000'   ; get upper byte of data (AAh)

```

```

movf hbyte,W
movwf txbuf          ; into the transmit buffer
call TX              ; and send it
;
movlw b'01010101'   ; get lower byte of data (55h)

movf lbyte,W
movwf txbuf          ; into transmit buffer
call TX              ; and send it

bcf PORTB,chpsel    ; clear the chip select line
                    ; to initiate write cycle

movlw .10            ;
movwf loops          ; set delay time to 10mS
call WAIT            ; and wait

; incf addr          ; increment address counter
; decfsz bytcnt      ; all bytes written?
; goto topwr         ; no, do another
; return             ; yes, go on
retlw 0

;
; Now continue on to the erase/write disable command
;

;*****
; READ ROUTINE
; This routine reads 8 consecutive addresses in
; random mode starting at address 0. This is done in
; x16 mode and will repeat forever.
;*****
READ
;
; movlw .0           ; set starting address to 00
; movwf addr         ;
; movlw .8           ; set number of addresses to
; movwf bytcnt       ; read as 8

rbyte

call BSTART         ; generate the start bit
movlw .2            ; set # bits to 2
movwf bits          ;
movlw b'10000000'   ; get opcode (10b)
movwf txbuf         ; into output buffer
call TX             ; and transmit it
movlw .8            ;

```

```

movwf bits                ; set number of bits to 8
movf  addr,w              ; get the address
movwf txbuf               ; into the output buffer
call  TX                  ; and transmit it

;rbyte

call  RX                  ; read the high byte
movf  datai,w            ; move input data to w
movwf hbyte              ; xfer it to high byte

call  RX                  ; read the low byte
movf  datai,w            ; move input data to w
movwf lbyte              ; xfer it to low byte

; bcf  PORTB,chpsel      ; clear the chip select line

; incf  addr              ; add 1 to the address
; decfsz bytcnt           ; have all bytes been read?
; goto  rbyte            ; no, read another byte
; goto  READ             ; yes, start over
bcf  PORTB,chpsel      ; clear the chip select line
; return
retlw 0

END                        ; signifies the end of the program

```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมควบคุมการทำงานและประมวลผลของระบบบนไมโครคอมพิวเตอร์

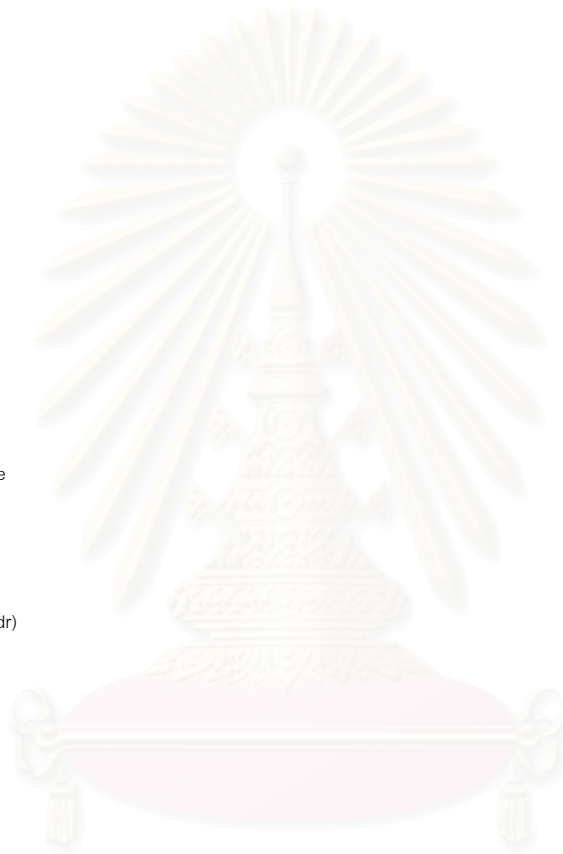
```

Dim start As Boolean
Dim db As Database
Dim rs, rsq1 As Recordset
Dim qdf As QueryDef
Dim sql As String
Dim clk As Boolean
Dim lt, t(4) As Integer

Private Sub Command1_Click()
Dim val(6)
Dim sw(5)
Dim datat(3)
Dim newdata, olddata, Value
Dim i, k, cnt, Max
Dim data, addr
Dim datasum

start = True
addr = 0
Max = lt
Do 'switch between pocket dose
  If addr > (Max - 1) Then
    addr = 0
  End If
  txtPocketID.Text = "00" & t(addr)
  Out &H378, t(addr)
  k = 1
  Do ' get data 3 times
    Timer2.Enabled = True
    total = 0
    For i = 1 To 5
      val(i) = 0
    Next i
    newdata = 1
    olddata = 1
    cnt = 1
    clk = False
    Do 'get data from parallel
      DoEvents
      data = (Inp(&H379))
      sw(0) = (data And &H40) / 64
      sw(1) = (data And &H80) / 128
      sw(2) = (data And &H20) / 32
      sw(3) = (data And &H10) / 16
      sw(4) = (data And &H8) / 8
      newdata = sw(1)
      If (newdata <> olddata) Then

```



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


```

If (newdata < olddata) Then
    Value = (8 * sw(0)) + (4 * sw(2)) + (2 * sw(3)) + (1 * sw(4))
    val(cnt) = Value
    cnt = cnt + 1
End If
olddata = newdata
End If
Loop Until (cnt > 3) Or (clk = True)
Delay
'Delay
total = (val(3) * 100) + (val(2) * 10) + val(1)
datat(k) = total
PGBar.Value = k * 25
lblstatus.Caption = "เริ่มรับข้อมูล " & k & "/3"
k = k + 1
Timer2.Enabled = False
txtDose.Text = ""
Loop Until (k > 3)
datasum = (datat(1) + datat(2) + datat(3)) / 3
txtDose.Text = datasum
' \\\ add new record to database \\\
If datasum = datat(1) And sw(1) = 0 Then
    With rs
        .AddNew
        !PocketID.Value = "00" & t(addr)
        !PKDate.Value = Date
        !PKTime.Value = Time()
        !PKDose.Value = datasum
        .Update
        .MoveLast
    End With
End If
addr = addr + 1
Loop Until start = False
End Sub

Private Sub Command3_Click()
start = False
lblstatus.Caption = "หยุดการทำงาน"
End Sub

Private Sub DBEnd_Click()
End
End Sub

Private Sub Form_Load()
txtDate.Text = Date
txtTime.Text = Time()
lblstatus.Caption = "พร้อมทำงาน"
Set db = DBEngine.Workspaces(0).OpenDatabase("c:\mic\dose.mdb")

```

```

Set rs = db.OpenRecordset("PKDoseRate", dbOpenDynaset)
rs.MoveLast
rs.MoveFirst

sql = "SELECT PKUse.PocketID, PKUserAccount.PKUserName"
sql = sql & " FROM PKUserAccount INNER JOIN PKUse "
sql = sql & " ON PKUserAccount.PKUserID = PKUse.PKUserID;"
Set qdf = db.CreateQueryDef("UserAccount", sql)
Set rsq = qdf.OpenRecordset

With rsq
    Do Until .EOF
        PocketLST.AddItem !PocketID & "," & !PKUserName
        .MoveNext
    Loop
End With
db.QueryDefs.Delete qdf.Name
End Sub

Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)
    rs.Close
    db.Close
End Sub

Private Sub PocketSelect_Click()
    Dim s As Integer
    It = 0
    For s = 0 To PocketLST.ListCount - 1
        If PocketLST.Selected(s) = True Then
            t(It) = Int(Left$(PocketLST.List(s), 3))
            It = It + 1
        End If
    Next s
    PocketNum.Text = It
End Sub

Private Sub Timer1_Timer()
    txtTime.Text = Time
End Sub

Private Sub Timer2_Timer()
    clk = True
End Sub

```

技術資料 第 101 号

HAMAMATSU

TECHNICAL DATA
NO. T-122

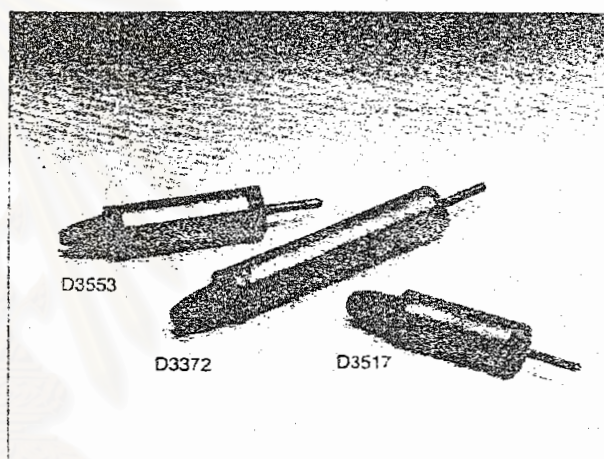
NEW GM (Geiger-Müller) COUNTER TUBES

Compact, Halogen-Quenched GM Counter Tubes For Measurement of γ and High Energy β Rays

Hamamatsu D3372, D3517 and D3553 are compact GM (Geiger-Müller) counter tubes which are mass-produced while still retaining the superiority of their traditional features. Like conventional GM counters, they consist of a cylinder-shaped cathode with an extremely small diameter of only 5mm, containing an anode and halogen-quenched counting gas.

Hamamatsu GM counter tubes are designed for the detection of gamma and high-energy beta rays larger than 0.5MeV, making them suitable for pocket dose meters. Particularly the D3517 can detect up to the high dose rate.

D 3 3 7 2
シリーズ中で
最も高検出率です。
(Fig1参照ください)



SPECIFICATIONS

Parameters	D3372	D3517	D3553	Unit
General				
Cathode Material	26% Cr, 72% Fe			-
Thickness	80 to 100			mg/cm ²
Effective Length	16	5	8	mm
Fill Gas	He, Ne, Halogen			-
Capacitance of Anode to Cathode	3	2.5	2.5	pF
Maximum Ratings				
Anode Resistance	2.2			MQ (Min.)
Applied Voltage	650	600	600	V
Temperature	Operation	-40 to +50		°C
	Storage	-40 to +75		°C
Characteristics (at 25°C)				
Starting Voltage	380	400	400	V (Max.)
Plateau Voltage	500 to 650	500 to 600	500 to 600	V
Operating Voltage	Arbitrary within plateau			-
Plateau Slope	0.15	0.3	0.3	%/V (Max.)
Background ^A	2	1	1	cpm (Max.)
Dead Time at 600V	20	15	15	μs (Max.)
Life Expectancy ^B	5 x 10 ¹⁰	1 x 10 ¹⁰	1 x 10 ¹⁰	counts
Equivalent Tube	Philips 18509 Hamamatsu D1136	Hamamatsu D1749	Philips 18529 Hamamatsu D1261	-

A: Shielded with 50mm Pb and 3mm Al at 575V (D3372), at 550V (D3553, D3517).

B: Count rate 4500 cps (D3372), 3200 cps (D3553, D3517) at 25°C.

GM COUNTER TUBES

Figure 1: Typical Counting Rate vs. Dose Rate Characteristics

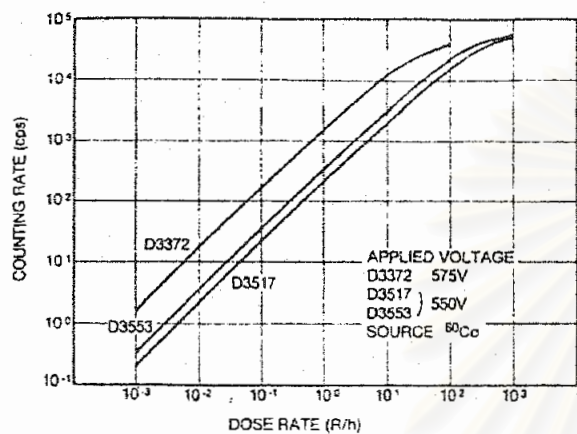


Figure 2: Typical Plateau Curves

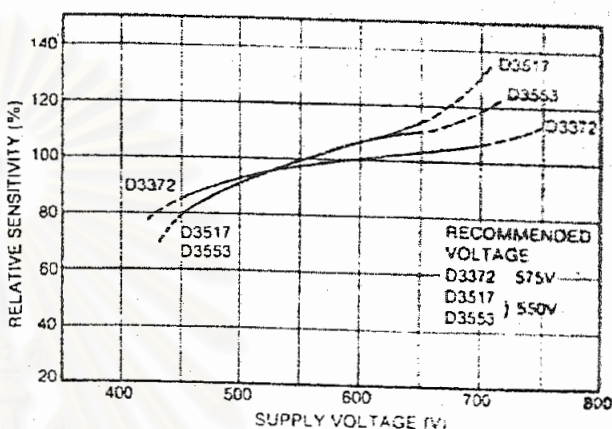


Figure 3: Typical Energy Response Characteristic

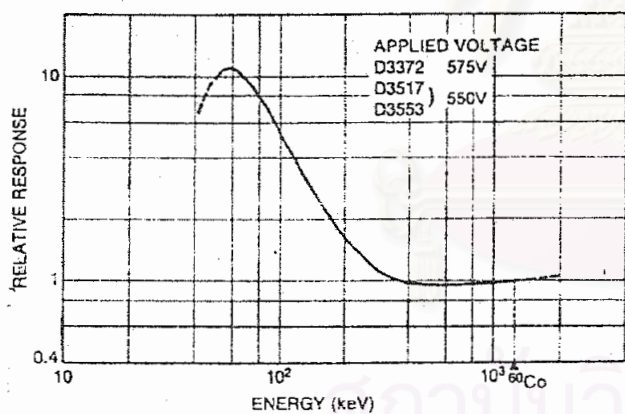


Figure 5: Measuring Circuit

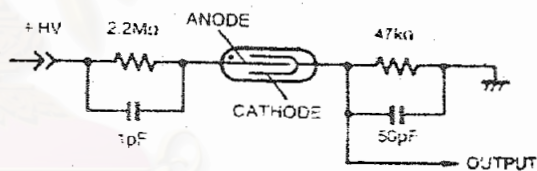
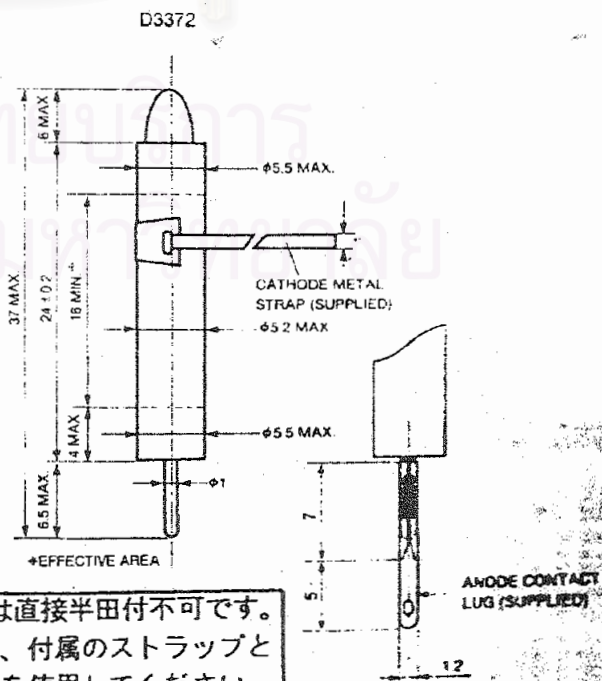
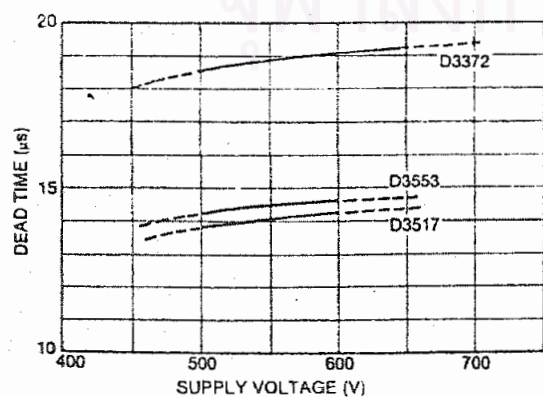


Figure 6: Dimensional Outlines (Unit: mm)

Figure 4: Typical Dead Time Characteristics





PIC16F8X

8-Bit CMOS Flash/EEPROM Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F83
- PIC16CR83
- PIC16F84
- PIC16CR84
- Extended voltage range devices available (PIC16LF8X, PIC16LCR8X)

High Performance RISC CPU Features:

- Only 35 single word instructions to learn
- All instructions single cycle (400 ns @ 10 MHz) except for program branches which are two-cycle
- Operating speed: DC - 10 MHz clock input
DC - 400 ns instruction cycle

Device	Memory			Freq Max.
	Flash	Data		
		RAM	EEPROM	
PIC16F83	512 words	36	64	10 MHz
PIC16CR83	512 words	36	64	10 MHz
PIC16F84	1 K-words	68	64	10 MHz
PIC16CR84	1 K-words	68	64	10 MHz

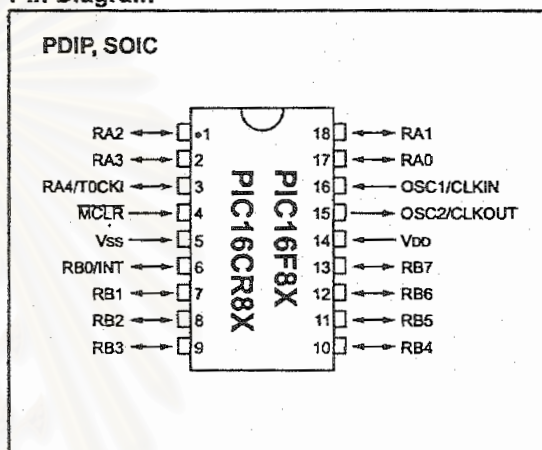
F = Flash; CR = ROM

- 14-bit wide instructions
- 8-bit wide data path
- 15 special function hardware registers
- Eight-level deep hardware stack
- Direct, indirect and relative addressing modes
- Four interrupt sources:
 - External RB0/INT pin
 - TMR0 timer overflow
 - PORTB<7:4> interrupt on change
 - Data EEPROM write complete
- 1,000,000 data memory EEPROM ERASE/WRITE cycles
- EEPROM Data Retention > 40 years

Peripheral Features:

- 13 I/O pins with individual direction control
- High current sink/source for direct LED drive
 - 25 mA sink max. per pin
 - 20 mA source max. per pin
- TMR0: 8-bit timer/counter with 8-bit programmable prescaler

Pin Diagram



Special Microcontroller Features:

- Power-on Reset (POR)
- Power-up Timer (PWRT)
- Oscillator Start-up Timer (OST)
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Code-protection
- Power saving SLEEP mode
- Selectable oscillator options
- Serial In-System Programming - via two pins (ROM devices support only Data EEPROM programming)

CMOS Technology:

- Low-power, high-speed CMOS Flash/EEPROM technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range:
 - Commercial: 2.0V to 6.0V
 - Industrial: 2.0V to 6.0V
- Low power consumption:
 - < 2 mA typical @ 5V, 4 MHz
 - 15 μ A typical @ 2V, 32 kHz
 - < 1 μ A typical standby current @ 2V

PIC16F8X

Applicable Devices	F83	CR83	F84	CR84
--------------------	-----	------	-----	------

11.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS FOR PIC16F83 AND PIC16F84

Absolute Maximum Ratings †

Ambient temperature under bias.....	-55°C to +125°C
Storage temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on VDD with respect to VSS	-0.3 to +7.5V
Voltage on MCLR with respect to VSS ⁽²⁾	-0.3 to +14V
Voltage on any pin with respect to VSS (except VDD and MCLR).....	-0.6V to (VDD + 0.6V)
Total power dissipation ⁽¹⁾	800 mW
Maximum current out of VSS pin.....	150 mA
Maximum current into VDD pin.....	100 mA
Input clamp current, I _{IK} (V _I < 0 or V _I > VDD).....	±20 mA
Output clamp current, I _{OK} (V _O < 0 or V _O > VDD).....	±20 mA
Maximum output current sunk by any I/O pin.....	25 mA
Maximum output current sourced by any I/O pin.....	20 mA
Maximum current sunk by PORTA.....	80 mA
Maximum current sourced by PORTA.....	50 mA
Maximum current sunk by PORTB.....	150 mA
Maximum current sourced by PORTB.....	100 mA

Note 1: Power dissipation is calculated as follows: $P_{dis} = V_{DD} \times (I_{DD} - \sum I_{OH}) + \sum [(V_{DD} - V_{OH}) \times I_{OH}] + \sum (V_{OL} \times I_{OL})$

Note 2: Voltage spikes below VSS at the MCLR pin, including currents greater than 80 mA, may cause latch-up. Thus, a series resistor of 50-100Ω should be used when applying a "low" level to the MCLR pin rather than pulling this pin directly to VSS.

† NOTICE: Stresses above those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation listings of this specification is not implied. Exposure to maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

PRELIMINARY

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

PIC16F8X

Applicable Devices **F83** **CR83** **F84** **CR84**

TABLE 11-1: CROSS REFERENCE OF DEVICE SPECS FOR OSCILLATOR CONFIGURATIONS AND FREQUENCIES OF OPERATION (COMMERCIAL DEVICES)

OSC	PIC16F84-04 PIC16F83-04	PIC16F84-10 PIC16F83-10	PIC16LF84-04 PIC16LF83-04
RC	V _{DD} : 4.0V to 6.0V I _{DD} : 4.5 mA max. at 5.5V I _{PD} : 14 μ A max. at 4V WDT dis Freq: 4.0 MHz max.	V _{DD} : 4.5V to 5.5V I _{DD} : 1.8 mA typ. at 5.5V I _{PD} : 1.0 μ A typ. at 5.5V WDT dis Freq: 4.0 MHz max.	V _{DD} : 2.0V to 6.0V I _{DD} : 4.5 mA max. at 5.5V I _{PD} : 7.0 μ A max. at 2V WDT dis Freq: 2.0 MHz max.
XT	V _{DD} : 4.0V to 6.0V I _{DD} : 4.5 mA max. at 5.5V I _{PD} : 14 μ A max. at 4V WDT dis Freq: 4.0 MHz max.	V _{DD} : 4.5V to 5.5V I _{DD} : 1.8 mA typ. at 5.5V I _{PD} : 1.0 μ A typ. at 5.5V WDT dis Freq: 4.0 MHz max.	V _{DD} : 2.0V to 6.0V I _{DD} : 4.5 mA max. at 5.5V I _{PD} : 7.0 μ A max. at 2V WDT dis Freq: 2.0 MHz max.
HS	V _{DD} : 4.5V to 5.5V I _{DD} : 4.5 mA typ. at 5.5V I _{PD} : 1.0 μ A typ. at 4.5V WDT dis Freq: 4.0 MHz max.	V _{DD} : 4.5V to 5.5V I _{DD} : 10 mA max. at 5.5V typ. I _{PD} : 1.0 μ A typ. at 4.5V WDT dis Freq: 10 MHz max.	Do not use in HS mode
LP	V _{DD} : 4.0V to 6.0V I _{DD} : 35 μ A typ. at 32 kHz, 3.0V I _{PD} : 0.6 μ A typ. at 3.0V WDT dis Freq: 200 kHz max.	Do not use in LP mode	V _{DD} : 2.0V to 6.0V I _{DD} : 32 μ A max. at 32 kHz, 3.0V I _{PD} : 7 μ A max. at 2.0V WDT dis Freq: 200 kHz max.

The shaded sections indicate oscillator selections which are tested for functionality, but not for MIN/MAX specifications. It is recommended that the user select the device type that ensures the specifications required.

PRELIMINARY

ศูนย์วิทยบริการ
สงครณมหาวิทยาลัย

PIC16F8X

Applicable Devices | F83 | CR83 | F84 | CR84

11.1 DC CHARACTERISTICS: PIC16F84, PIC16F83 (Commercial, Industrial)

DC Characteristics		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated)						
Power Supply Pins		Operating temperature $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ (commercial)						
		$-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ (industrial)						
Parameter No.	Sym	Characteristic	Min	Typ†	Max	Units	Conditions	
D001 D001A	VDD	Supply Voltage	4.0 4.5	—	6.0 5.5	V V	XT, RC and LP osc configuration HS osc configuration	
D002	VDR	RAM Data Retention Voltage ⁽¹⁾	1.5*	—	—	V	Device in SLEEP mode	
D003	VPOR	VDD start voltage to ensure internal Power-on Reset signal	—	VSS	—	V	See section on Power-on Reset for details	
D004	SVDD	VDD rise rate to ensure internal Power-on Reset signal	0.05*	—	—	V/ms	See section on Power-on Reset for details	
D010 D010A D013	IDD	Supply Current ⁽²⁾	— — —	1.8 7.3 5	4.5 10 10	mA mA mA	RC and XT osc configuration ⁽⁴⁾ FOSC = 4.0 MHz, VDD = 5.5V FOSC = 4.0 MHz, VDD = 5.5V (During Flash programming) HS OSC CONFIGURATION (PIC16F84-10) FOSC = 10 MHz, VDD = 5.5V	
D020 D021 D021A	IPD	Power-down Current ⁽³⁾	— — —	7.0 1.0 1.0	28 14 16	μA μA μA	VDD = 4.0V, WDT enabled, industrial VDD = 4.0V, WDT disabled, commercial VDD = 4.0V, WDT disabled, industrial	

* These parameters are characterized but not tested.

† Data in "Typ" column is at 5.0V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

Note 1: This is the limit to which VDD can be lowered in SLEEP mode without losing RAM data.

2: The supply current is mainly a function of the operating voltage and frequency. Other factors such as I/O pin loading and switching rate, oscillator type, internal code execution pattern, and temperature also have an impact on the current consumption.

The test conditions for all IDD measurements in active operation mode are:

OSC1=external square wave, from rail to rail; all I/O pins tristated, pulled to VDD, T0CKI = VDD,

MCLR = VDD; WDT enabled/disabled as specified.

3: The power down current in SLEEP mode does not depend on the oscillator type. Power-down current is measured with the part in SLEEP mode, with all I/O pins in hi-impedance state and tied to VDD and VSS.

4: For RC osc configuration, current through Rext is not included. The current through the resistor can be estimated by the formula $I_R = V_{DD}/2R_{ext}$ (mA) with Rext in kOhm.

PIC16F8X

Applicable Devices F83 CR83 F84 CR84

11.2 DC CHARACTERISTICS: PIC16LF84, PIC16LF83 (Commercial, Industrial)

DC Characteristics		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated)					
Power Supply Pins		Operating temperature $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ (commercial) $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ (industrial)					
Parameter No.	Sym	Characteristic	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
D001	VDD	Supply Voltage	2.0	—	6.0	V	XT, RC, and LP osc configuration
D002	VDR	RAM Data Retention Voltage ⁽¹⁾	1.5 *	—	—	V	Device in SLEEP mode
D003	VPOR	VDD start voltage to ensure internal Power-on Reset signal	—	VSS	—	V	See section on Power-on Reset for details
D004	SVDD	VDD rise rate to ensure internal Power-on Reset signal	0.05*	—	—	V/ms	See section on Power-on Reset for details
D010 D010A	IDD	Supply Current ⁽²⁾	—	1	4	mA	RC and XT osc configuration ⁽⁴⁾ Fosc = 2.0 MHz, VDD = 5.5V Fosc = 2.0 MHz, VDD = 5.5V (During Flash programming)
			—	7.3	10	mA	
D014			—	15	32	μA	
D020 D021 D021A	IPD	Power-down Current ⁽³⁾	—	3.0	16	μA	VDD = 2.0V, WDT enabled, industrial
			—	0.4	7.0	μA	VDD = 2.0V, WDT disabled, commercial
			—	0.4	9.0	μA	VDD = 2.0V, WDT disabled, industrial

* These parameters are characterized but not tested.

† Data in "Typ" column is at 5.0V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

Note 1: This is the limit to which VDD can be lowered in SLEEP mode without losing RAM data.

2: The supply current is mainly a function of the operating voltage and frequency. Other factors such as I/O pin loading and switching rate, oscillator type, internal code execution pattern, and temperature also have an impact on the current consumption.

The test conditions for all IDD measurements in active operation mode are:

OSC1=external square wave, from rail to rail; all I/O pins tristated, pulled to VDD, T0CKI = VDD,

MCLR = VDD; WDT enabled/disabled as specified.

3: The power down current in SLEEP mode does not depend on the oscillator type. Power-down current is measured with the part in SLEEP mode, with all I/O pins in hi-impedance state and tied to VDD and VSS.

4: For RC osc configuration, current through Rext is not included. The current through the resistor can be estimated by the formula $I_R = V_{DD}/2R_{ext}$ (mA) with Rext in kOhm.

PIC16F8X

Applicable Devices F83 CR83 F84 CR84

11.3 DC CHARACTERISTICS:

PIC16F84, PIC16F83 (Commercial, Industrial)
PIC16LF84, PIC16LF83 (Commercial, Industrial)

DC Characteristics All Pins Except Power Supply Pins		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ (commercial) $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ (industrial) Operating voltage V_{DD} range as described in DC spec Section 11.1 and Section 11.2.					
Parameter No.	Sym	Characteristic	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
D030 D030A D031 D032 D033 D034	V_{IL}	Input Low Voltage I/O ports with TTL buffer with Schmitt Trigger buffer MCLR, RA4/T0CKI OSC1 (XT, HS and LP modes) ⁽¹⁾ OSC1 (RC mode)	V_{SS} V_{SS} V_{SS} V_{SS} V_{SS} V_{SS}	— — — — — —	0.8 0.16V _{DD} 0.2V _{DD} 0.2V _{DD} 0.3V _{DD} 0.1V _{DD}	V V V V V V	$4.5\text{ V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{ V}$ entire range ⁽⁴⁾ entire range
D040 D040A D041 D042 D043	V_{IH}	Input High Voltage I/O ports with TTL buffer with Schmitt Trigger buffer MCLR, RA4/T0CKI, OSC1 (RC mode) OSC1 (XT, HS and LP modes) ⁽¹⁾	2.4 0.48V _{DD} 0.45V _{DD} 0.85 V _{DD} 0.7 V _{DD}	— — — — —	V _{DD} V _{DD} V _{DD} V _{DD} V _{DD}	V V V V V	$4.5\text{ V} \leq V_{DD} \leq 5.5\text{ V}$ entire range ⁽⁴⁾ entire range
D050	V_{HYS}	Hysteresis of Schmitt Trigger inputs	TBD	—	—	V	
D070	IPURB	PORTB weak pull-up current	50*	250*	400*	μA	$V_{DD} = 5.0\text{V}$, $V_{PIN} = V_{SS}$
D060 D061 D063	IIL	Input Leakage Current ^(2,3) I/O ports MCLR, RA4/T0CKI OSC1	— — —	— — —	±1 ±5 ±5	μA μA μA	$V_{SS} \leq V_{PIN} \leq V_{DD}$, Pin at hi-impedance $V_{SS} \leq V_{PIN} \leq V_{DD}$ $V_{SS} \leq V_{PIN} \leq V_{DD}$, XT, HS and LP osc configuration
D080 D083	V_{OL}	Output Low Voltage I/O ports OSC2/CLKOUT	— —	— —	0.6 0.6	V V	$I_{OL} = 8.5\text{ mA}$, $V_{DD} = 4.5\text{V}$ $I_{OL} = 1.6\text{ mA}$, $V_{DD} = 4.5\text{V}$
D090 D092	V_{OH}	Output High Voltage I/O ports ⁽³⁾ OSC2/CLKOUT	$V_{DD}-0.7$ $V_{DD}-0.7$	— —	— —	V V	$I_{OH} = -3.0\text{ mA}$, $V_{DD} = 4.5\text{V}$ $I_{OH} = -1.3\text{ mA}$, $V_{DD} = 4.5\text{V}$

* These parameters are characterized but not tested.

† Data in "Typ" column is at 5.0V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

- Note 1: In RC oscillator configuration, the OSC1 pin is a Schmitt Trigger input. Do not drive the PIC16F8X with an external clock while the device is in RC mode, otherwise chip damage may result.
- Note 2: The leakage current on the MCLR pin is strongly dependent on the applied voltage level. The specified levels represent normal operating conditions. Higher leakage current may be measured at different input voltages.
- Note 3: Negative current is defined as coming out of the pin.
- Note 4: The user may use better of the two specs.

PIC16F8X

Applicable Devices F83 CR83 F84 CR84

11.4 DC CHARACTERISTICS: PIC16F84, PIC16F83 (Commercial, Industrial) PIC16LF84, PIC16F83 (Commercial, Industrial)

DC Characteristics All Pins Except Power Supply Pins		Standard Operating Conditions (unless otherwise stated) Operating temperature $0^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +70^{\circ}\text{C}$ (commercial) $-40^{\circ}\text{C} \leq T_A \leq +85^{\circ}\text{C}$ (industrial) Operating voltage V_{DD} range as described in DC spec Section 11.1 and Section 11.2.					
Parameter No.	Sym	Characteristic	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
Capacitive Loading Specs on Output Pins							
D100	Cosc2	OSC2 pin	—	—	15	pF	In XT, HS and LP modes when external clock is used to drive OSC1
D101	Cio	All I/O pins and OSC2 (RC mode)	—	—	50	pF	
Data EEPROM Memory							
D120	ED	Endurance	1M	10M	—	E/W	25°C at 5V $V_{MIN} \geq$ Minimum operating voltage
D121	VDRW	V_{DD} for read/write	V_{MIN}	—	6.0	V	
D122	TDEW	Erase/Write cycle time	—	—	10	ms	
Program Flash Memory							
D130	EP	Endurance	100	1000	—	E/W	V_{MIN} = Minimum operating voltage
D131	VPR	V_{DD} for read	V_{MIN}	—	6.0	V	
D132	VPEW	V_{DD} for erase/write	4.5	—	5.5	V	
D133	TPEW	Erase/Write cycle time	—	10	—	ms	

† Data in "Typ" column is at 5.0V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

PRELIMINARY

ศูนย์วิทยบริการ
สงครณมหาวิทยาลัย

PIC16F8X

Applicable Devices **F83** **CR83** **F84** **CR84**

TABLE 11-2: TIMING PARAMETER SYMBOLOGY

The timing parameter symbols have been created following one of the following formats:

1. TppS2ppS
2. TppS

T	Frequency	T	Time
Lowercase symbols (pp) and their meanings:			
2	to	os,osc	OSC1
ck	CLKOUT	ost	oscillator start-up timer
cy	cycle time	pwrt	power-up timer
io	I/O port	rbt	RBx pins
inp	INT pin	t0	T0CKI
mc	MCLR	wdt	watchdog timer
Uppercase symbols and their meanings:			
F	Fall	P	Period
H	High	R	Rise
I	Invalid (Hi-impedance)	V	Valid
L	Low	Z	High Impedance

FIGURE 11-1: PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

All timings are measure between high and low measurement points as indicated in the figures below.

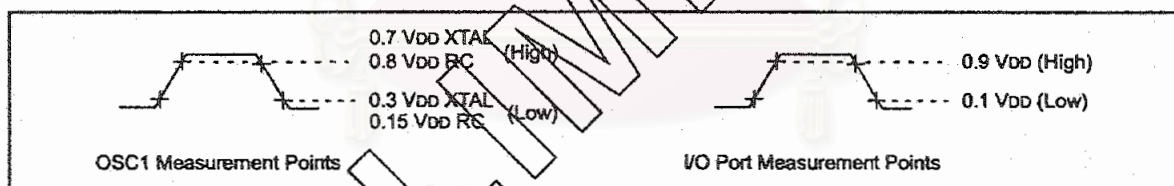
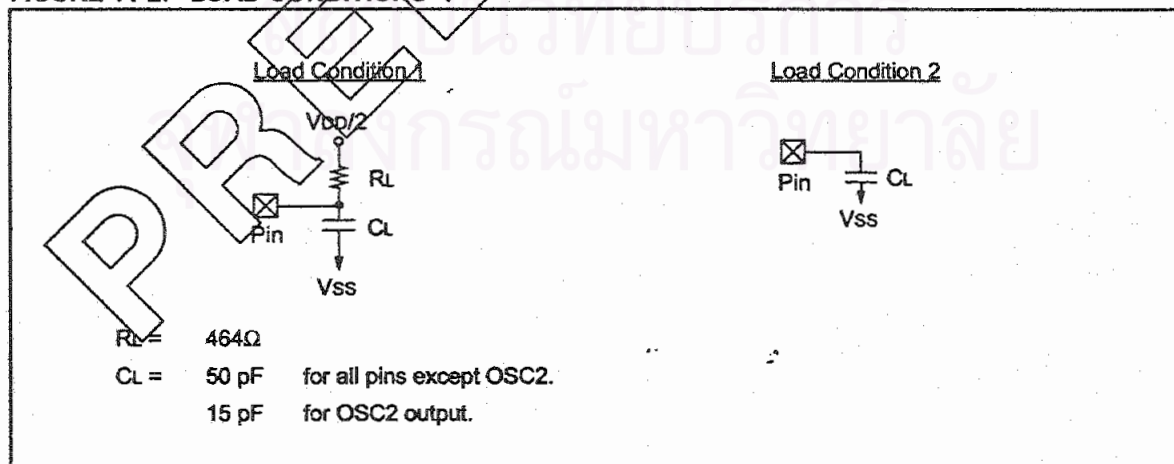


FIGURE 11-2: LOAD CONDITIONS



PIC16F8X

Applicable Devices | F83 | CR83 | F84 | CR84

11.5 Timing Diagrams and Specifications

FIGURE 11-3: EXTERNAL CLOCK TIMING

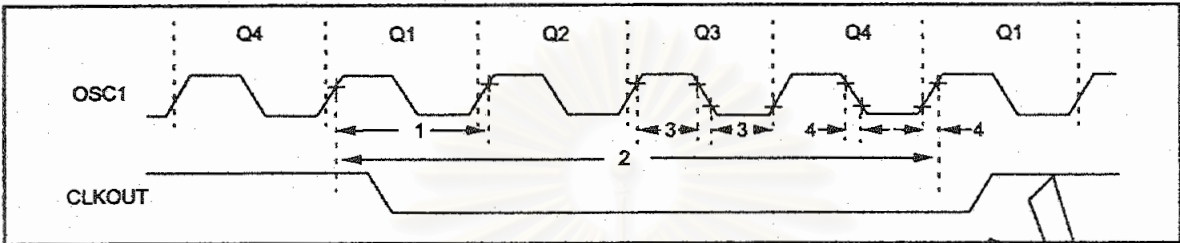


TABLE 11-3: EXTERNAL CLOCK TIMING REQUIREMENTS

Parameter No.	Sym	Characteristic	Min	Typ†	Max	Units	Conditions			
	Fosc	External CLKIN Frequency ⁽¹⁾	DC	—	2	MHz	XT, RC osc PIC16LF8X-04			
			DC	—	4	MHz	XT, RC osc PIC16F8X-04			
			DC	—	10	MHz	HS osc PIC16F8X-10			
			DC	—	200	kHz	LP osc PIC16LF8X-04			
			Oscillator Frequency ⁽¹⁾	DC	—	2	MHz	RC osc PIC16LF8X-04		
				DC	—	4	MHz	RC osc PIC16F8X-04		
				0.1	—	2	MHz	XT osc PIC16LF8X-04		
				0.1	—	4	MHz	XT osc PIC16F8X-04		
			1.0	—	10	MHz	HS osc PIC16F8X-10			
			DC	—	200	kHz	LP osc PIC16LF8X-04			
			1	Tosc	External CLKIN Period ⁽¹⁾	500	—	—	ns	XT, RC osc PIC16LF8X-04
						250	—	—	ns	XT, RC osc PIC16F8X-04
100	—	—				ns	HS osc PIC16F8X-10			
5.0	—	—				µs	LP osc PIC16LF8X-04			
		Oscillator Period ⁽¹⁾	500	—	—	ns	RC osc PIC16LF8X-04			
			250	—	—	ns	RC osc PIC16F8X-04			
			500	—	10,000	ns	XT osc PIC16LF8X-04			
			250	—	10,000	ns	XT osc PIC16F8X-04			
			100	—	1,000	ns	HS osc PIC16F8X-10			
			5.0	—	—	µs	LP osc PIC16LF8X-04			
2	Tcy	Instruction Cycle Time ⁽¹⁾	0.4	4/Fosc	DC	µs				
3	TosL, TosH	Clock In (OSC1) High or Low Time	60*	—	—	ns	XT osc PIC16LF8X-04			
			50*	—	—	ns	XT osc PIC16F8X-04			
			2.0*	—	—	µs	LP osc PIC16LF8X-04			
			35*	—	—	ns	HS osc PIC16F8X-10			
4	TosR, TosF	Clock In (OSC1) Rise or Fall Time	25*	—	—	ns	XT osc PIC16F8X-04			
			50*	—	—	ns	LP osc PIC16LF8X-04			
			15*	—	—	ns	HS osc PIC16F8X-10			

* These parameters are characterized but no tested.

† Data in "Typ" column is at 5.0V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

Note 1: Instruction cycle period (Tcy) equals four times the input oscillator time-base period. All specified values are based on characterization data for that particular oscillator type under standard operating conditions with the device executing code. Exceeding these specified limits may result in an unstable oscillator operation and/or higher than expected current consumption. All devices are tested to operate at "min." values with an external clock applied to the OSC1 pin.

When an external clock input is used, the "Max." cycle time limit is "DC" (no clock) for all devices.

PIC16F8X

Applicable Devices F83 CR83 F84 CR84

FIGURE 11-4: CLKOUT AND I/O TIMING

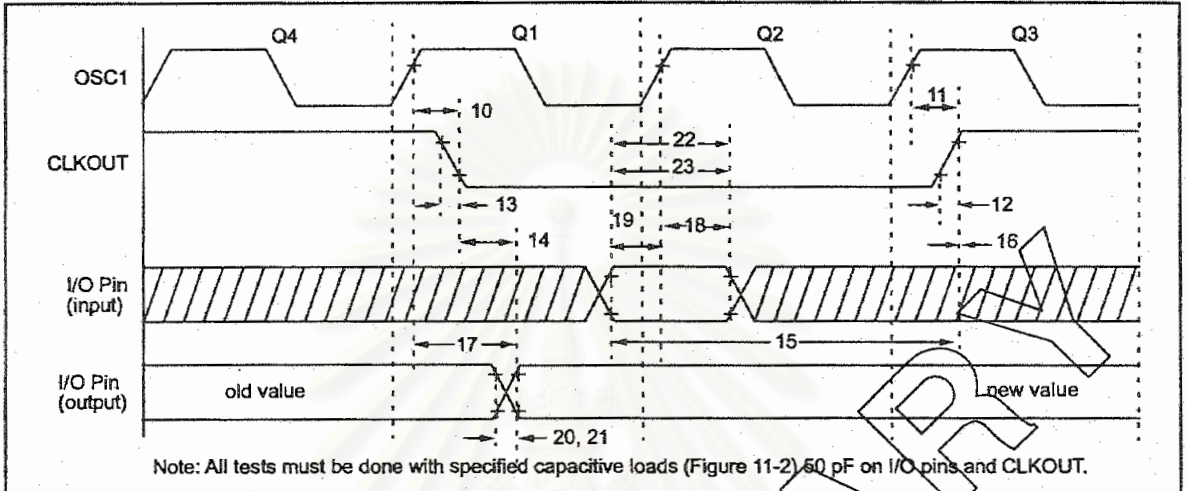


TABLE 11-4: CLKOUT AND I/O TIMING REQUIREMENTS

Parameter No.	Sym	Characteristic	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
10	TosH2ckL	OSC1↑ to CLKOUT↓	PIC16F8X	15	30*	ns	Note 1
10A			PIC16LF8X	15	120*	ns	Note 1
11	TosH2ckH	OSC1↑ to CLKOUT↑	PIC16F8X	15	30*	ns	Note 1
11A			PIC16LF8X	15	120*	ns	Note 1
12	TckR	CLKOUT rise time	PIC16F8X	15	30*	ns	Note 1
12A			PIC16LF8X	15	100*	ns	Note 1
13	TckF	CLKOUT fall time	PIC16F8X	15	30*	ns	Note 1
13A			PIC16LF8X	15	100*	ns	Note 1
14	TckL2ioV	CLKOUT ↓ to Port out valid	—	—	0.5Tcy + 20*	ns	Note 1
15	TioV2ckH	Port in valid before CLKOUT ↑	PIC16F8X	0.30Tcy + 30*	—	ns	Note 1
			PIC16LF8X	0.30Tcy + 80*	—	ns	Note 1
16	TckH2ioL	Port in hold after CLKOUT ↑	0*	—	—	ns	Note 1
17	TosH2ioV	OSC1↑ (Q1 cycle) to Port out valid	PIC16F8X	—	125*	ns	
			PIC16LF8X	—	250*	ns	
18	TosH2ioL	OSC1↑ (Q2 cycle) to Port input invalid (I/O in hold time)	TBD	—	—	ns	
19	TioV2osH	Port input valid to OSC1↑ (I/O in setup time)	TBD	—	—	ns	
20	TioR	Port output rise time	PIC16F8X	10	25*	ns	
20A			PIC16LF8X	10	60*	ns	
21	TioF	Port output fall time	PIC16F8X	10	25*	ns	
21A			PIC16LF8X	10	60*	ns	
22	Tinp	INT pin high	PIC16F8X	20*	—	ns	
22A		or low time	PIC16LF8X	55*	—	ns	
23	Trbp	RB7:RB4 change INT high or low time	PIC16F8X	Tosc §	—	ns	
23A			PIC16LF8X	Tosc §	—	ns	

* These parameters are characterized but not tested.

† Data in "Typ" column is at 5.0V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

§ By design

Note 1: Measurements are taken in RC Mode where CLKOUT output is 4 x Tosc.

PIC16F8X

Applicable Devices F83 CR83 F84 CR84

FIGURE 11-5: RESET, WATCHDOG TIMER, OSCILLATOR START-UP TIMER AND POWER-UP TIMER TIMING

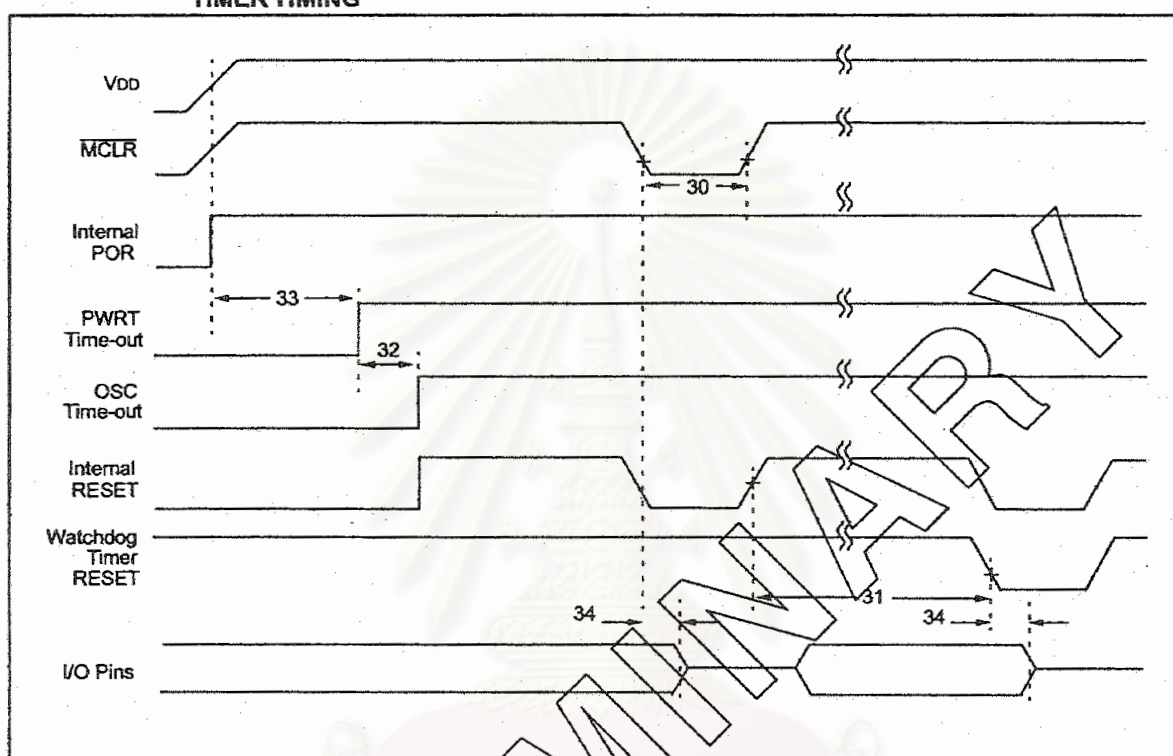


TABLE 11-5: RESET, WATCHDOG TIMER, OSCILLATOR START-UP TIMER AND POWER-UP TIMER REQUIREMENTS

Parameter No.	Sym	Characteristic	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
30	Tmcl	MCLR Pulse Width (low)	1000*	—	—	ns	$2.0V \leq V_{DD} \leq 6.0V$
31	Twdt	Watchdog Timer Time-out Period (No Prescaler)	7*	18	33*	ms	$V_{DD} = 5.0V$
32	Tost	Oscillation Start-up Timer Period	—	$1024T_{osc}$	—	ms	$T_{osc} = OSC1$ period
33	Tpwr	Power-up Timer Period	28*	72	132*	ms	$V_{DD} = 5.0V$
34	Tioz	I/O Hi-impedance from MCLR Low or reset	—	—	100*	ns	

* These parameters are characterized but not tested.

† Data in "Typ" column is at 5V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

PIC16F8X

Applicable Devices F83 CR83 F84 CR84

FIGURE 11-6: TIMER0 CLOCK TIMINGS

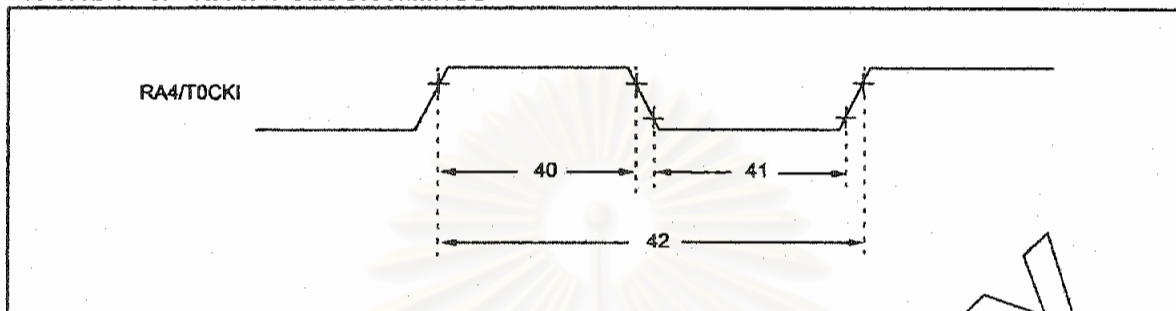


TABLE 11-6: TIMER0 CLOCK REQUIREMENTS

Parameter No.	Sym	Characteristic	Min	Typ†	Max	Units	Conditions
40	Tt0H	T0CKI High Pulse Width	No Prescaler	$0.5T_{CY} + 20^*$	—	—	ns
			With Prescaler	50 [*] 30 [*]	—	—	ns ns
41	Tt0L	T0CKI Low Pulse Width	No Prescaler	$0.5T_{CY} + 20^*$	—	—	ns
			With Prescaler	50 [*] 20 [*]	—	—	ns ns
42	Tt0P	T0CKI Period	$T_{CY} + 40^*$ N	—	—	ns	N = prescale value (2, 4, ..., 256)

* These parameters are characterized but not tested.

† Data in "Typ" column is at 5.0V, 25°C unless otherwise stated. These parameters are for design guidance only and are not tested.

PRELIMINARY

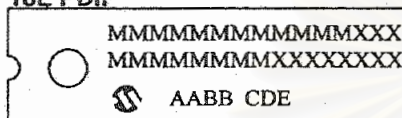
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

PIC16F8X

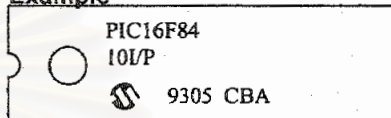
15.0 PACKAGING INFORMATION

15.1 Package Marking Information

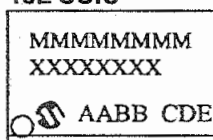
18L PDIP



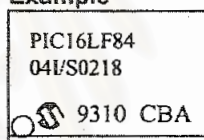
Example



18L SOIC



Example

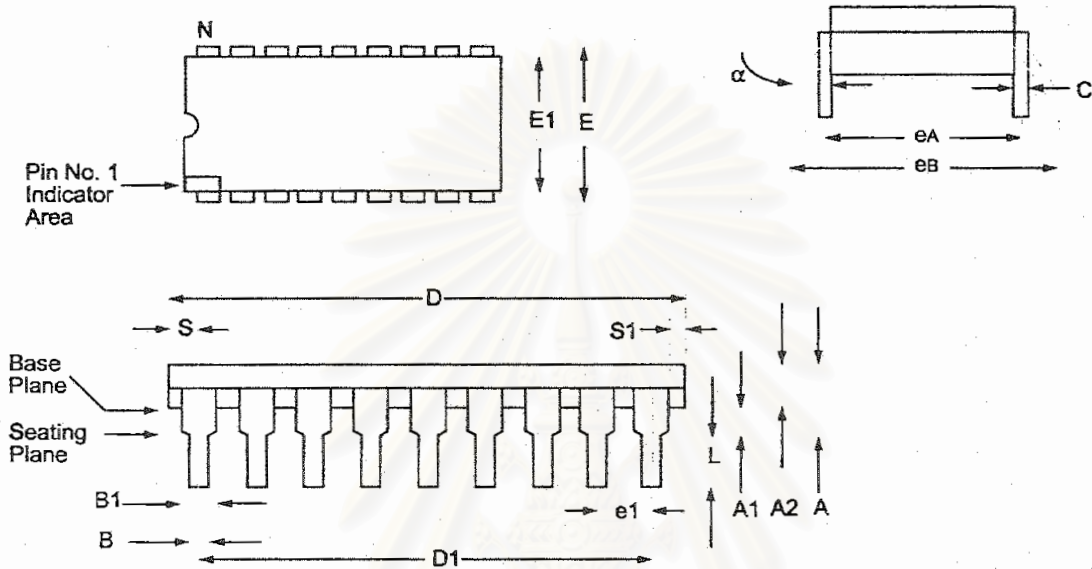


Legend: MM...M	Microchip part number information
XX...X	Customer specific information*
AA	Year code (last two digits of calendar year)
BB	Week code (week of January 1 is week '01')
C	Facility code of the plant at which wafer is manufactured C = Chandler, Arizona, U.S.A., S = Tempe, Arizona, U.S.A.
D	Mask revision number
E	Assembly code of the plant or country of origin in which part was assembled
Note:	In the event the full Microchip part number cannot be marked on one line, it will be carried over to the next line thus limiting the number of available characters for customer specific information.

* Standard OTP marking consists of Microchip part number, year code, week code, facility code, mask rev#, and assembly code. For OTP marking beyond this, certain price adders apply. Please check with your Microchip Sales Office. For QTP devices, any special marking adders are included in QTP price.

PIC16F8X

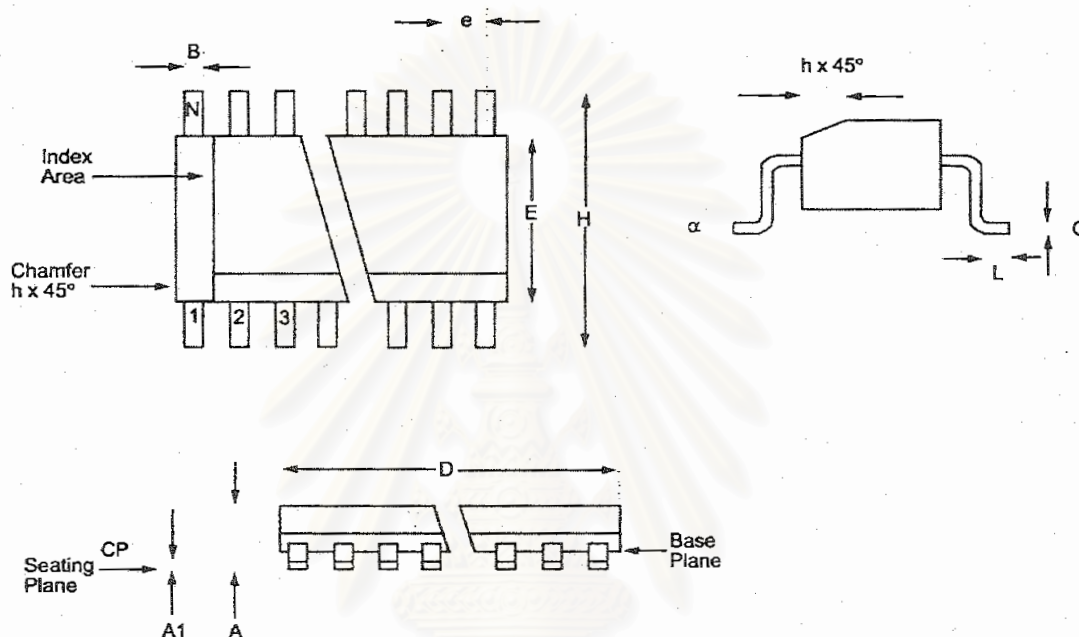
15.2 18-Lead Plastic Dual In-line (PDIP) - 300 mil



Package Group: Plastic Dual In-Line (PLA)						
Symbol	Millimeters			Inches		
	Min	Max	Notes	Min	Max	Notes
α	0°	10°		0°	10°	
A	—	4.064		—	0.160	
A1	0.381	—		0.015	—	
A2	3.048	3.810		0.120	0.150	
B	0.355	0.559		0.014	0.022	
B1	1.524	1.524	Reference	0.060	0.060	Reference
C	0.203	0.381	Typical	0.008	0.015	Typical
D	22.479	23.495		0.885	0.925	
D1	20.320	20.320	Reference	0.800	0.800	Reference
E	7.620	8.255		0.300	0.325	
E1	6.096	7.112		0.240	0.280	
e1	2.489	2.591	Typical	0.098	0.102	Typical
eA	7.620	7.620	Reference	0.300	0.300	Reference
eB	7.874	9.906		0.310	0.390	
L	3.048	3.556		0.120	0.140	
N	18	18		18	18	
S	0.889	—		0.035	—	
S1	0.127	—		0.005	—	

PIC16F8X

15.3 18-Lead Plastic Surface Mount (SOIC) - 300 mil



Package Group: Plastic SOIC (SO)						
Symbol	Millimeters			Inches		
	Min	Max	Notes	Min	Max	Notes
α	0°	8°		0°	8°	
A	2.362	2.642		0.093	0.104	
A1	0.101	0.300		0.004	0.012	
B	0.355	0.483		0.014	0.019	
C	0.241	0.318		0.009	0.013	
D	11.353	11.735		0.447	0.462	
E	7.416	7.595		0.292	0.299	
e	1.270	1.270	Reference	0.050	0.050	Reference
H	10.007	10.643		0.394	0.419	
h	0.381	0.762		0.015	0.030	
L	0.406	1.143		0.016	0.045	
N	18	18		18	18	
CP	-	0.102		-	0.004	



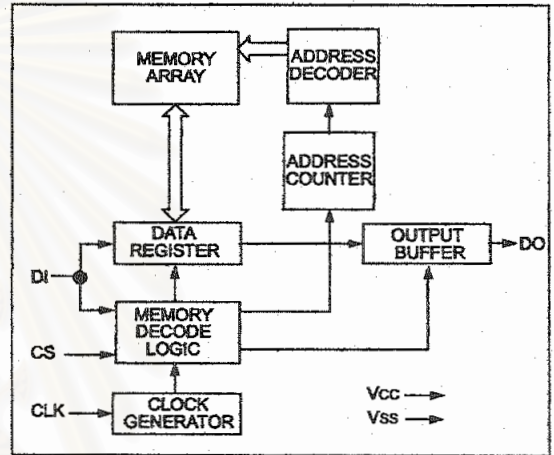
93C46B

1K 5.0V Microwire® Serial EEPROM

FEATURES

- Single supply 5.0V operation
- Low power CMOS technology
 - 1 mA active current (typical)
 - 1 µA standby current (maximum)
- 64 x 16 bit organization
- Self-timed ERASE and WRITE cycles (including auto-erase)
- Automatic ERAL before WRAL
- Power on/off data protection circuitry
- Industry standard 3-wire serial interface
- Device status signal during ERASE/WRITE cycles
- Sequential READ function
- 1,000,000 E/W cycles ensured
- Data retention > 200 years
- 8-pin PDIP/SOIC and 8-pin TSSOP packages
- Available for the following temperature ranges:
 - Commercial (C): 0°C to +70°C
 - Industrial (I): -40°C to +85°C
 - Automotive (E): -40°C to +125°C

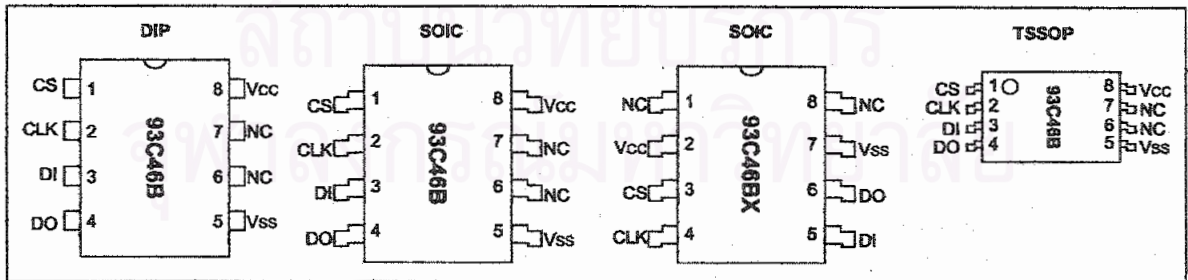
BLOCK DIAGRAM



DESCRIPTION

The Microchip Technology Inc. 93C46B is a 1 Kbit, low-voltage serial Electrically Erasable PROM. The device memory is configured as 64 x 16 bits. Advanced CMOS technology makes this device ideal for low-power, nonvolatile memory applications. The 93C46B is available in standard 8-pin DIP, surface mount SOIC, and TSSOP packages. The 93C46BX is only offered in a 150 mil SOIC package.

PACKAGE TYPE



**MC34063A
MC35063A
MC33063A**

Advance Information

**DC-TO-DC CONVERTER
CONTROL CIRCUITS**

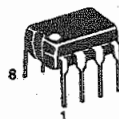
The MC34063A Series is a monolithic control circuit containing the primary functions required for DC-to-DC converters. These devices consist of an internal temperature compensated reference, comparator, controlled duty cycle oscillator with an active current limit circuit, driver and high current output switch. This series was specifically designed to be incorporated in Step-Down and Step-Up and Voltage-Inverting applications with a minimum number of external components. Refer to Application Notes AN920A and AN954 for additional design information.

- Operation from 3.0 V to 40 V Input
- Low Standby Current
- Current Limiting
- Output Switch Current to 1.5 A
- Output Voltage Adjustable
- Frequency Operation to 100 kHz
- Precision 2% Reference

**DC-TO-DC CONVERTER
CONTROL CIRCUITS**

**SILICON MONOLITHIC
INTEGRATED CIRCUITS**

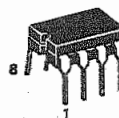
**P1 SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 626-05**



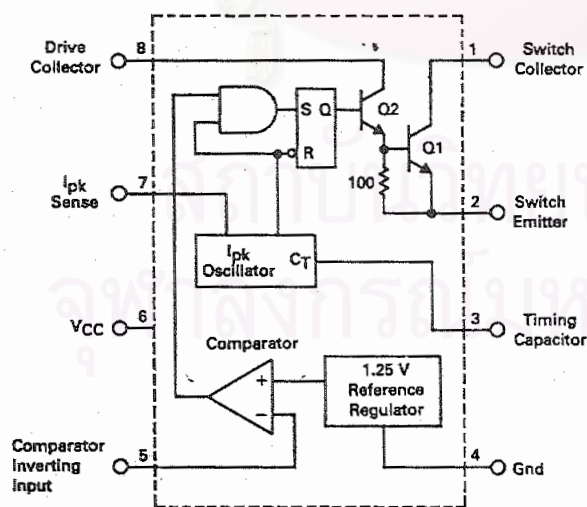
**D SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 751-03
SO-8**



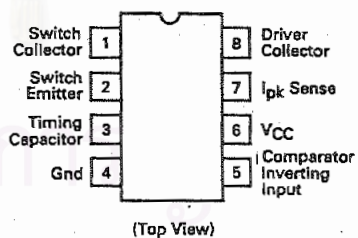
**U SUFFIX
CERAMIC PACKAGE
CASE 693-02**



FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



PIN CONNECTIONS



ORDERING INFORMATION

Device	Temperature Range	Package
MC35063AU	-55 to +125°C	Ceramic DIP
MC33063AD	-40 to +85°C	Plastic SOIC
MC33063AP1		Plastic DIP
MC34063AD	0 to +70°C	Plastic SOIC
MC34063AP1		Plastic DIP

This document contains information on a new product. Specifications and information herein are subject to change without notice.

MC34063A, MC35063A, MC33063A

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	Value	Unit
Power Supply Voltage	V _{CC}	40	Vdc
Comparator Input Voltage Range	V _{IR}	-0.3 to +40	Vdc
Switch Collector Voltage	V _{C(switch)}	40	Vdc
Switch Emitter Voltage (V _{Pin 1} = 40 V)	V _{E(switch)}	40	Vdc
Switch Collector to Emitter Voltage	V _{CE(switch)}	40	Vdc
Driver Collector Voltage	V _{C(driver)}	40	Vdc
Driver Collector Current (Note 1)	I _{C(driver)}	100	mA
Switch Current	I _{SW}	1.5	Amps
Power Dissipation and Thermal Characteristics			
Ceramic Package, U Suffix			
TA = +25°C	P _D	1.25	W
Thermal Resistance	R _{θJA}	100	°C/W
Plastic Package, P Suffix			
TA = +25°C	P _D	1.25	W
Thermal Resistance	R _{θJA}	100	°C/W
SOIC Package, D Suffix			
TA = +25°C	P _D	625	mW
Thermal Resistance	R _{θJA}	160	°C/W
Operating Junction Temperature	T _J	+150	°C
Operating Ambient Temperature Range			
MC35063A	TA	-55 to +125	°C
MC33063A		-40 to +85	
MC34063A		0 to +70	
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150	°C

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V_{CC} = 5.0 V; T_A = T_{low} to T_{high} [Note 2] unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Units
OSCILLATOR					
Frequency (V _{Pin 5} = 0 V, C _T = 1.0 nF, T _A = 25°C)	f _{OSC}	24	33	42	kHz
Charge Current (V _{CC} = 5.0 V to 40 V, T _A = 25°C)	I _{chg}	24	33	42	μA
Discharge Current (V _{CC} = 5.0 V to 40 V, T _A = 25°C)	I _{dischg}	140	200	260	μA
Discharge to Charge Current Ratio (Pin 7 = V _{CC} , T _A = 25°C)	I _{dischg} /I _{chg}	5.2	6.2	7.5	—
Current Limit Sense Voltage (I _{chg} = I _{dischg} , T _A = 25°C)	V _{ipk(sense)}	250	300	350	mV

NOTES:

- Maximum package power dissipation limits must be observed.
- T_{low} = -55°C for MC35063A T_{high} = +125°C for MC35063A
 -40°C for MC33063A +85°C for MC33063A
 0°C for MC34063A +70°C for MC34063A

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MC34063A, MC35063A, MC33063A

ELECTRICAL CHARACTERISTICS — continued ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$; $T_A = T_{\text{low}}$ to T_{high} unless otherwise specified)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Units
OUTPUT SWITCH (Note 3)					
Saturation Voltage, Darlington Connection ($I_{SW} = 1.0\text{ A}$, Pins 1, 8 connected)	$V_{CE(\text{sat})}$	—	1.0	1.3	V
Saturation Voltage ($I_{SW} = 1.0\text{ A}$, $R_{\text{Pin 8}} = 82\ \Omega$ to V_{CC} , Forced $\beta = 20$)	$V_{CE(\text{sat})}$	—	0.45	0.7	V
DC Current Gain ($I_{SW} = 1.0\text{ A}$, $V_{CE} = 5.0\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)	h_{FE}	50	120	—	—
Collector Off-State Current ($V_{CE} = 40\text{ V}$)	$I_{C(\text{off})}$	—	0.01	100	μA
COMPARATOR					
Threshold Voltage ($T_A = 25^\circ\text{C}$) ($T_A = T_{\text{low}}$ to T_{high})	V_{th}	1.225 1.21	1.25 —	1.275 1.29	V
Threshold Voltage Line Regulation ($V_{CC} = 3.0\text{ V}$ to 40 V)	Re_{dline}	—	1.4	5.0	mV
Input Bias Current ($V_{in} = 0\text{ V}$)	I_{IB}	—	-40	-400	nA
TOTAL DEVICE					
Supply Current ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to 40 V , $C_T = 1.0\text{ nF}$, Pin 7 = V_{CC} , $V_{\text{Pin 5}} > V_{th}$, Pin 2 = Gnd, Remaining pins open)	I_{CC}	—	2.5	4.0	mA
TOTAL DEVICE					
Supply Current ($V_{CC} = 5.0\text{ V}$ to 40 V , $C_T = 1.0\text{ nF}$, Pin 7 = V_{CC} , $V_{\text{Pin 5}} > V_{th}$, Pin 2 = Gnd, Remaining pins open)	I_{CC}	—	2.5	4.0	mA

NOTES:

- Low duty cycle pulse techniques are used during test to maintain junction temperature as close to ambient temperature as possible.
- If the output switch is driven into hard saturation (non-Darlington configuration) at low switch currents ($< 300\text{ mA}$) and high driver currents ($\geq 30\text{ mA}$), it may take up to $(2.0\ \mu\text{s})$ to come out of saturation. This condition will shorten the "off" time at frequencies $\geq 30\text{ kHz}$, and is magnified at high temperatures. This condition does not occur with a Darlington configuration, since the output switch cannot saturate. If a non-Darlington configuration is used, the following output drive condition is recommended:

$$\text{Forced } \beta \text{ of output switch} = I_{C, \text{ output}} / (I_{C, \text{ driver}} - 7.0\text{ mA}) \geq 10$$

*The $100\ \Omega$ resistor in the emitter of the driver device requires about 7.0 mA before the output switch conducts.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



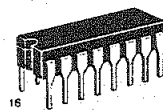
MC14511B

BCD-TO-SEVEN SEGMENT LATCH/DECODER/DRIVER

The MC14511B BCD-to-seven segment latch/decoder/driver is constructed with complementary MOS (CMOS) enhancement mode devices and NPN bipolar output drivers in a single monolithic structure. The circuit provides the functions of a 4-bit storage latch, an 8421 BCD-to-seven segment decoder, and an output drive capability. Lamp test (\overline{LT}), blanking (\overline{BI}), and latch enable (LE) inputs are used to test the display, to turn off or pulse modulate the brightness of the display, and to store a BCD code, respectively. It can be used with seven-segment light emitting diodes (LED), incandescent, fluorescent, gas discharge, or liquid crystal readouts either directly or indirectly.

Applications include instrument (e.g., counter, DVM, etc.) display driver, computer/calculator display driver, cockpit display driver, and various clock, watch, and timer uses.

- Low Logic Circuit Power Dissipation
- High-Current Sourcing Outputs (Up to 25 mA)
- Latch Storage of Code
- Blanking Input
- Lamp Test Provision
- Readout Blanking on all Illegal Input Combinations
- Lamp Intensity Modulation Capability
- Time Share (Multiplexing) Facility
- Supply Voltage Range = 3.0 V to 18 V
- Capable of Driving Two Low-power TTL Loads, One Low-power Schottky TTL Load or Two HTL Loads Over the Rated Temperature Range
- Chip Complexity: 216 FETs or 54 Equivalent Gates
- Triple Diode Protection on all Inputs



L SUFFIX
CERAMIC
CASE 620



P SUFFIX
PLASTIC
CASE 648



D SUFFIX
SOIC
CASE 751B



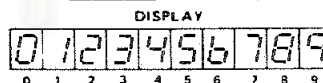
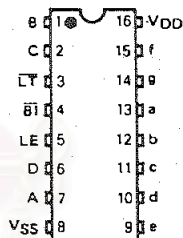
DW SUFFIX
SOIC
CASE 751G

ORDERING INFORMATION

- MC14XXXBCP Plastic
- MC14XXXBCL Ceramic
- MC14XXXBDW SOIC
- MC14XXXBD SOIC

T_A = -55° to 125°C for all packages.

PIN ASSIGNMENT



TRUTH TABLE

INPUTS				OUTPUTS							
LE	BI	LT	D C B A	a	b	c	d	e	f	g	DISPLAY
X	X	0	X X X X	1	1	1	1	1	1	1	Blank
0	1	1	0 0 0 0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	1	1	0 0 0 1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	0 0 1 0	1	1	0	1	0	0	0	2
0	1	1	0 0 1 1	1	1	1	0	0	0	0	3
0	1	1	0 1 0 0	0	1	1	0	0	1	1	4
0	1	1	0 1 0 1	1	1	0	1	0	1	1	5
0	1	1	0 1 1 0	0	1	1	1	1	1	1	6
0	1	1	0 1 1 1	1	1	1	0	0	0	0	7
0	1	1	1 0 0 0	1	1	1	1	1	1	1	8
0	1	1	1 0 0 1	1	1	0	0	1	1	1	9
0	1	1	1 0 1 0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1 0 1 1	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1 1 0 0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1 1 0 1	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1 1 1 0	0	0	0	0	0	0	0	Blank
0	1	1	1 1 1 1	0	0	0	0	0	0	0	Blank
1	1	1	X X X X	-	-	-	-	-	-	-	-

X = Don't Care
* Depends upon the BCD code previously applied when LE = 0

MAXIMUM RATINGS* (Voltages referenced to V_{SS})

Rating	Symbol	Value	Unit
DC Supply Voltage	V _{DD}	-0.5 to +18	V
Input Voltage, All Inputs	V _{in}	-0.5 to V _{DD} + 0.5	V
DC Current Drain per Input Pin	I	10	mA
Operating Temperature Range	T _A	-55 to +125	°C
Power Dissipation per Package†	P _D	500	mW
Storage Temperature Range	T _{stg}	-65 to +150	°C
Maximum Output Drive Current (Source) per Output	I _{OHmax}	25	mA
Maximum Continuous Output Power (Source) per Output ‡	P _{OHmax}	50	mW

‡ P_{OHmax} = I_{OH}(V_{DD} - V_{OH})
 *Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.
 †Temperature Derating: Plastic "P and D/DW" Packages: -7.0 mW/°C From 65°C To 125°C
 Ceramic "L" Packages: -12 mW/°C From 100°C To 125°C

This device contains circuitry to protect the inputs against damage due to high static voltages or electric fields; however, it is advised that normal precautions be taken to avoid application of any voltage higher than maximum rated voltages to this high impedance circuit. A destructive high current mode may occur if V_{in} and V_{out} are not constrained to the range V_{SS} ≤ (V_{in} or V_{out}) ≤ V_{DD}.

Due to the sourcing capability of this circuit, damage can occur to the device if V_{DD} is applied, and the outputs are shorted to V_{SS} and are at a logical 1 (See Maximum Ratings).

Unused inputs must always be tied to an appropriate logic voltage level (e.g., either V_{SS} or V_{DD}).

MC14511B

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Voltages Referenced to V_{SS})

Characteristic	Symbol	V _{DD} Vdc	-55°C		25°C			125°C		Unit
			Min	Max	Min	Typ #	Max	Min	Max	
Output Voltage V _{in} = V _{DD} or 0	V _{OL}	5.0	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	Vdc
		10	—	0.05	—	0	0.05	—	0.05	
V _{in} = 0 or V _{DD}	V _{OH}	5.0	4.1	—	4.1	4.57	—	4.1	—	Vdc
		10	9.1	—	9.1	9.58	—	9.1	—	
Input Voltage # (V _O = 3.8 or 0.5 Vdc) (V _O = 8.8 or 1.0 Vdc) (V _O = 13.8 or 1.5 Vdc)	V _{IL}	5.0	—	1.5	—	2.25	1.5	—	1.5	Vdc
		10	—	3.0	—	4.50	3.0	—	3.0	
		15	—	4.0	—	6.75	4.0	—	4.0	
(V _O = 0.5 or 3.8 Vdc) (V _O = 1.0 or 8.8 Vdc) (V _O = 1.5 or 13.8 Vdc)	V _{IH}	5.0	3.5	—	3.5	2.75	—	3.5	—	Vdc
		10	7.0	—	7.0	5.50	—	7.0	—	
		15	11	—	11	8.25	—	11	—	
Output Drive Voltage (I _{OH} = 0 mA) (I _{OH} = 5.0 mA) (I _{OH} = 10 mA) (I _{OH} = 15 mA) (I _{OH} = 20 mA) (I _{OH} = 25 mA)	Source V _{OH}	5.0	4.1	—	4.1	4.57	—	4.1	—	Vdc
			—	—	—	4.24	—	—	—	
			3.9	—	3.9	4.12	—	3.5	—	
			—	—	—	3.94	—	—	—	
			3.4	—	3.4	3.70	—	3.0	—	
			—	—	—	3.54	—	—	—	
		10	9.1	—	9.1	9.58	—	9.1	—	Vdc
			—	—	—	9.26	—	—	—	
			9.0	—	9.0	9.17	—	8.6	—	
			—	—	—	9.04	—	—	—	
			8.6	—	8.6	8.90	—	8.2	—	
			—	—	—	8.70	—	—	—	
15	14.1	—	14.1	14.59	—	14.1	—	Vdc		
	—	—	—	14.27	—	—	—			
	14	—	14	14.18	—	13.6	—			
	—	—	—	14.07	—	—	—			
	13.6	—	13.6	13.95	—	13.2	—			
	—	—	—	13.70	—	—	—			
Output Drive Current (V _{OL} = 0.4 V) (V _{OL} = 0.5 V) (V _{OL} = 1.5 V)	Sink I _{OL}	5.0	0.64	—	0.51	0.88	—	0.36	—	mA
		10	1.6	—	1.3	2.25	—	0.9	—	
		15	4.2	—	3.4	8.8	—	2.4	—	
Input Current	I _{in}	15	—	±0.1	—	±0.00001	±0.1	—	±1.0	μA
Input Capacitance	C _{in}	—	—	—	—	5.0	7.5	—	—	pF
Quiescent Current (Per Package) V _{in} = 0 or V _{DD} , I _{out} = 0 μA	I _{DD}	5.0	—	5.0	—	0.005	5.0	—	150	μA
		10	—	10	—	0.010	10	—	300	
		15	—	20	—	0.015	20	—	600	
Total Supply Current**† (Dynamic plus Quiescent, Per Package) (C _L = 50 pF on all outputs, all buffers switching)	I _T	5.0	I _T = (1.9 μA/kHz) f + I _{DD}							μA
		10	I _T = (3.8 μA/kHz) f + I _{DD}							
		15	I _T = (5.7 μA/kHz) f + I _{DD}							

#Noise immunity specified for worst-case input combination.

Noise Margin for both "1" and "0" level =

1.0 Vdc min @ V_{DD} = 5.0 Vdc

2.0 Vdc min @ V_{DD} = 10 Vdc

2.5 Vdc min @ V_{DD} = 15 Vdc

**The formulas given are for the typical characteristics only at 25°C.

†To calculate total supply current at loads other than 50 pF:

$$I_T(C_L) = I_T(50 \text{ pF}) + 3.5 \times 10^{-3} (C_L - 50) V_{DD} f$$

where: I_T is in μA (per package), C_L in pF, V_{DD} in Vdc, and f in kHz is input frequency.

MC14511B

SWITCHING CHARACTERISTICS* ($C_L = 50 \text{ pF}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$)

Characteristic	Symbol	V _{DD} V _{dc}	Min	Typ	Max	Unit
Output Rise Time $t_{TLH} = (0.40 \text{ ns/pF}) C_L + 20 \text{ ns}$ $t_{TLH} = (0.25 \text{ ns/pF}) C_L + 17.5 \text{ ns}$ $t_{TLH} = (0.20 \text{ ns/pF}) C_L + 15 \text{ ns}$	t_{TLH}	5.0 10 15	— — —	40 30 25	80 60 50	ns
Output Fall Time $t_{THL} = (1.5 \text{ ns/pF}) C_L + 50 \text{ ns}$ $t_{THL} = (0.75 \text{ ns/pF}) C_L + 37.5 \text{ ns}$ $t_{THL} = (0.55 \text{ ns/pF}) C_L + 37.5 \text{ ns}$	t_{THL}	5.0 10 15	— — —	125 75 65	250 150 130	ns
Data Propagation Delay Time $t_{PLH} = (0.40 \text{ ns/pF}) C_L + 620 \text{ ns}$ $t_{PLH} = (0.25 \text{ ns/pF}) C_L + 237.5 \text{ ns}$ $t_{PLH} = (0.20 \text{ ns/pF}) C_L + 165 \text{ ns}$ $t_{PHL} = (1.3 \text{ ns/pF}) C_L + 655 \text{ ns}$ $t_{PHL} = (0.60 \text{ ns/pF}) C_L + 260 \text{ ns}$ $t_{PHL} = (0.35 \text{ ns/pF}) C_L + 182.5 \text{ ns}$	t_{PLH} t_{PHL}	5.0 10 15 5.0 10 15	— — — — — — —	640 250 175 720 290 200	1280 500 350 1440 580 400	ns
Blank Propagation Delay Time $t_{PLH} = (0.30 \text{ ns/pF}) C_L + 585 \text{ ns}$ $t_{PLH} = (0.25 \text{ ns/pF}) C_L + 187.5 \text{ ns}$ $t_{PLH} = (0.15 \text{ ns/pF}) C_L + 142.5 \text{ ns}$ $t_{PHL} = (0.85 \text{ ns/pF}) C_L + 442.5 \text{ ns}$ $t_{PHL} = (0.45 \text{ ns/pF}) C_L + 177.5 \text{ ns}$ $t_{PHL} = (0.35 \text{ ns/pF}) C_L + 142.5 \text{ ns}$	t_{PLH} t_{PHL}	5.0 10 15 5.0 10 15	— — — — — — —	600 200 150 485 200 160	750 300 220 970 400 320	ns
Lamp Test Propagation Delay Time $t_{PLH} = (0.45 \text{ ns/pF}) C_L + 290.5 \text{ ns}$ $t_{PLH} = (0.25 \text{ ns/pF}) C_L + 112.5 \text{ ns}$ $t_{PLH} = (0.20 \text{ ns/pF}) C_L + 80 \text{ ns}$ $t_{PHL} = (1.3 \text{ ns/pF}) C_L + 248 \text{ ns}$ $t_{PHL} = (0.45 \text{ ns/pF}) C_L + 102.5 \text{ ns}$ $t_{PHL} = (0.35 \text{ ns/pF}) C_L + 72.5 \text{ ns}$	t_{PLH} t_{PHL}	5.0 10 15 5.0 10 15	— — — — — — —	313 125 90 313 125 90	625 250 180 625 250 180	ns
Setup Time	t_{su}	5.0 10 15	100 40 30	— — —	— — —	ns
Hold Time	t_h	5.0 10 15	60 40 30	— — —	— — —	ns
Latch Enable Pulse Width	t_{WL}	5.0 10 15	520 220 130	260 110 65	— — —	ns

*The formulas given are for the typical characteristics only

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Encoder and Decoder Pairs CMOS

These devices are designed to be used as encoder/decoder pairs in remote control applications.

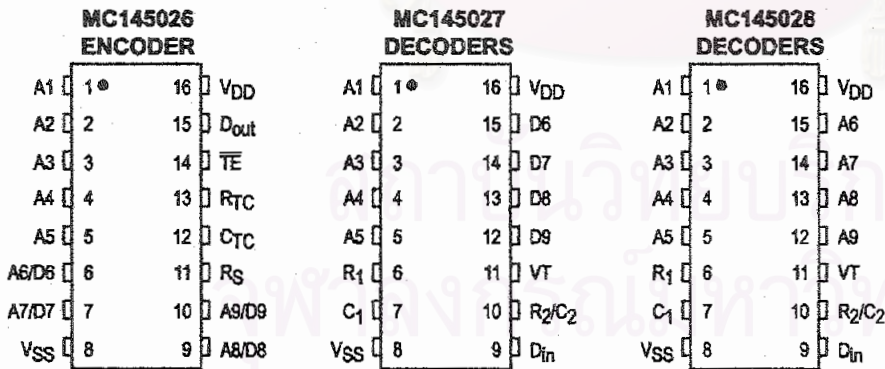
The MC145026 encodes nine lines of information and serially sends this information upon receipt of a transmit enable (\overline{TE}) signal. The nine lines may be encoded with trinary data (low, high, or open) or binary data (low or high). The words are transmitted twice per encoding sequence to increase security.

The MC145027 decoder receives the serial stream and interprets five of the trinary digits as an address code. Thus, 243 addresses are possible. If binary data is used at the encoder, 32 addresses are possible. The remaining serial information is interpreted as four bits of binary data. The valid transmission (VT) output goes high on the MC145027 when two conditions are met. First, two addresses must be consecutively received (in one encoding sequence) which both match the local address. Second, the 4 bits of data must match the last valid data received. The active VT indicates that the information at the Data output pins has been updated.

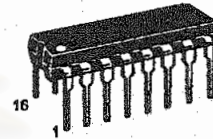
The MC145028 decoder treats all nine trinary digits as an address which allows 19,683 codes. If binary data is encoded, 512 codes are possible. The VT output goes high on the MC145028 when two addresses are consecutively received (in one encoding sequence) which both match the local address.

- Operating Temperature Range: - 40 to + 85°C
- Very-Low Standby Current for the Encoder: 300 nA Maximum @ 25°C
- Interfaces with RF, Ultrasonic, or Infrared Modulators and Demodulators
- RC Oscillator, No Crystal Required
- High External Component Tolerance; Can Use $\pm 5\%$ Components
- Internal Power-On Reset Forces All Decoder Outputs Low
- Operating Voltage Range: MC145026 = 2.5 to 18 V*
MC145027, MC145028 = 4.5 to 18 V
- For Infrared Applications, See Application Note AN1016/D

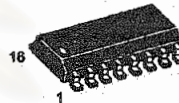
PIN ASSIGNMENTS



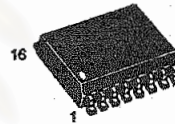
MC145026
MC145027
MC145028



P SUFFIX
PLASTIC DIP
CASE 648



D SUFFIX
SOG PACKAGE
CASE 751B



DW SUFFIX
SOG PACKAGE
CASE 751G

ORDERING INFORMATION

MC145026P	Plastic DIP
MC145026D	SOG Package
MC145027P	Plastic DIP
MC145027DW	SOG Package
MC145028P	Plastic DIP
MC145028DW	SOG Package



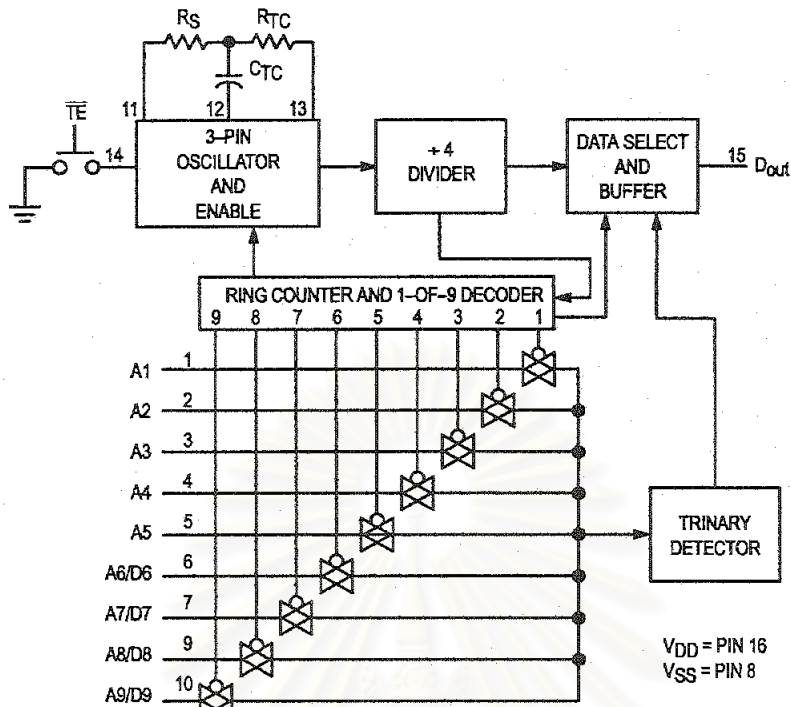


Figure 1. MC145026 Encoder Block Diagram

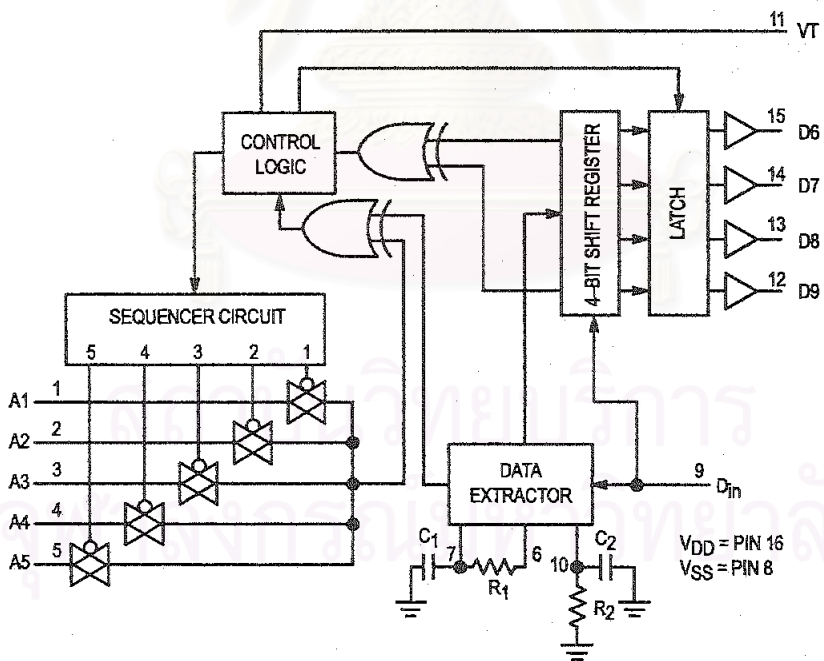


Figure 2. MC145027 Decoder Block Diagram

ELECTRICAL CHARACTERISTICS — MC145026*, MC145027, and MC145028 (Voltage Referenced to V_{SS})

Symbol	Characteristic	V _{DD} V	Guaranteed Limit						Unit
			- 40°C		25°C		85°C		
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	
V _{OL}	Low-Level Output Voltage (V _{in} = V _{DD} or 0)	5.0	—	0.05	—	0.05	—	0.05	V
		10	—	0.05	—	0.05	—	0.05	
		15	—	0.05	—	0.05	—	0.05	
V _{OH}	High-Level Output Voltage (V _{in} = 0 or V _{DD})	5.0	4.95	—	4.95	—	4.95	—	V
		10	9.95	—	9.95	—	9.95	—	
		15	14.95	—	14.95	—	14.95	—	
V _{IL}	Low-Level Input Voltage (V _{out} = 4.5 or 0.5 V) (V _{out} = 9.0 or 1.0 V) (V _{out} = 13.5 or 1.5 V)	5.0	—	1.5	—	1.5	—	1.5	V
		10	—	3.0	—	3.0	—	3.0	
		15	—	4.0	—	4.0	—	4.0	
V _{IH}	High-Level Input Voltage (V _{out} = 0.5 or 4.5 V) (V _{out} = 1.0 or 9.0 V) (V _{out} = 1.5 or 13.5 V)	5.0	3.5	—	3.5	—	3.5	—	V
		10	7.0	—	7.0	—	7.0	—	
		15	11	—	11	—	11	—	
I _{OH}	High-Level Output Current (V _{out} = 2.5 V) (V _{out} = 4.6 V) (V _{out} = 9.5 V) (V _{out} = 13.5 V)	5.0	-2.5	—	-2.1	—	-1.7	—	mA
		5.0	-0.52	—	-0.44	—	-0.36	—	
		10	-1.3	—	-1.1	—	-0.9	—	
		15	-3.6	—	-3.0	—	-2.4	—	
I _{OL}	Low-Level Output Current (V _{out} = 0.4 V) (V _{out} = 0.5 V) (V _{out} = 1.5 V)	5.0	0.52	—	0.44	—	0.36	—	mA
		10	1.3	—	1.1	—	0.9	—	
		15	3.6	—	3.0	—	2.4	—	
I _{in}	Input Current — T _E (MC145026, Pull-Up Device)	5.0	—	—	3.0	11	—	—	μA
		10	—	—	16	60	—	—	
		15	—	—	35	120	—	—	
I _{in}	Input Current R _S (MC145026), D _{in} (MC145027, MC145028)	15	—	± 0.3	—	± 0.3	—	± 1.0	μA
I _{in}	Input Current A1 - A5, A6/D6 - A9/D9 (MC145026), A1 - A5 (MC145027), A1 - A9 (MC145028)	5.0	—	—	—	± 110	—	—	μA
		10	—	—	—	± 500	—	—	
		15	—	—	—	± 1000	—	—	
C _{in}	Input Capacitance (V _{in} = 0)	—	—	—	—	7.5	—	—	pF
I _{DD}	Quiescent Current — MC145026	5.0	—	—	—	0.1	—	—	μA
		10	—	—	—	0.2	—	—	
		15	—	—	—	0.3	—	—	
I _{DD}	Quiescent Current — MC145027, MC145028	5.0	—	—	—	50	—	—	μA
		10	—	—	—	100	—	—	
		15	—	—	—	150	—	—	
I _{dd}	Dynamic Supply Current — MC145026 (f _c = 20 kHz)	5.0	—	—	—	200	—	—	μA
		10	—	—	—	400	—	—	
		15	—	—	—	600	—	—	
I _{dd}	Dynamic Supply Current — MC145027, MC145028 (f _c = 20 kHz)	5.0	—	—	—	400	—	—	μA
		10	—	—	—	800	—	—	
		15	—	—	—	1200	—	—	

* Also see next Electrical Characteristics table for 2.5 V specifications.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS — MC145026 (Voltage Referenced to V_{SS})

Symbol	Characteristic	V _{DD} V	Guaranteed Limit						Unit
			-40°C		25°C		85°C		
			Min	Max	Min	Max	Min	Max	
V _{OL}	Low-Level Output Voltage (V _{in} = 0 V or V _{DD})	2.5	—	0.05	—	0.05	—	0.05	V
V _{OH}	High-Level Output Voltage (V _{in} = 0 V or V _{DD})	2.5	2.45	—	2.45	—	2.45	—	V
V _{IL}	Low-Level Input Voltage (V _{out} = 0.5 V or 2.0 V)	2.5	—	0.3	—	0.3	—	0.3	V
V _{IH}	High-Level Input Voltage (V _{out} = 0.5 V or 2.0 V)	2.5	2.2	—	2.2	—	2.2	—	V
I _{OH}	High-Level Output Current (V _{out} = 1.25 V)	2.5	0.28	—	0.25	—	0.2	—	mA
I _{OL}	Low-Level Output Current (V _{out} = 0.4 V)	2.5	0.22	—	0.2	—	0.16	—	mA
I _{in}	Input Current (\overline{TE} — Pull-Up Device)	2.5	—	—	0.09	1.8	—	—	μA
I _{in}	Input Current (A1–A5, A6/D6–A9/D9)	2.5	—	—	—	±25	—	—	μA
I _{DD}	Quiescent Current	2.5	—	—	—	0.05	—	—	μA
I _{DD}	Dynamic Supply Current (f _c = 20 kHz)	2.5	—	—	—	40	—	—	μA

SWITCHING CHARACTERISTICS — MC145026*, MC145027, and MC145028 (C_L = 50 pF, T_A = 25°C)

Symbol	Characteristic	Figure No.	V _{DD}	Guaranteed Limit		Unit
				Min	Max	
t _{TLH} , t _{THL}	Output Transition Time	4, 8	5.0 10 15	— — —	200 100 80	ns
t _r	D _{in} Rise Time — Decoders	5	5.0 10 15	— — —	15 15 15	μs
t _f	D _{in} Fall Time — Decoders	5	5.0 10 15	— — —	15 5.0 4.0	μs
f _{osc}	Encoder Clock Frequency	6	5.0 10 15	0.001 0.001 0.001	2.0 5.0 10	MHz
f	Decoder Frequency — Referenced to Encoder Clock	12	5.0 10 15	1.0 1.0 1.0	240 410 450	kHz
t _w	\overline{TE} Pulse Width — Encoders	7	5.0 10 15	65 30 20	— — —	ns

* Also see next Switching Characteristics table for 2.5 V specifications.

SWITCHING CHARACTERISTICS — MC145026 (C_L = 50 pF, T_A = 25°C)

Symbol	Characteristic	Figure No.	V _{DD}	Guaranteed Limit		Unit
				Min	Max	
t _{TLH} , t _{THL}	Output Transition Time	4, 8	2.5	—	450	ns
f _{osc}	Encoder Clock Frequency	6	2.5	1.0	250	kHz
t _w	\overline{TE} Pulse Width	7	2.5	1.5	—	μs



Figure 4.

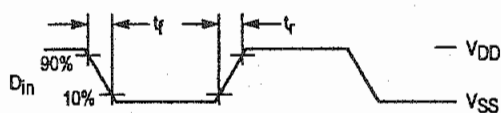


Figure 5.

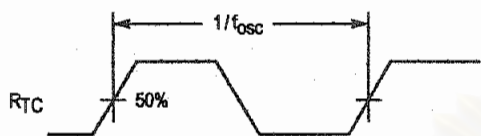


Figure 6.

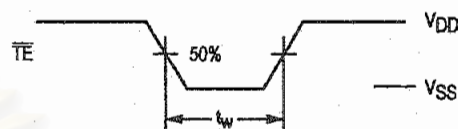
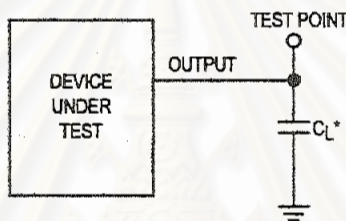


Figure 7.



* Includes all probe and fixture capacitance.

Figure 8. Test Circuit

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

OPERATING CHARACTERISTICS

MC145026

The encoder serially transmits trinary data as defined by the state of the A1 – A5 and A6/D6 – A9/D9 input pins. These pins may be in either of three states (low, high, or open) allowing 19,683 possible codes. The transmit sequence is initiated by a low level on the \overline{TE} input pin. Upon power-up, the MC145026 can continuously transmit as long as \overline{TE} remains low (also, the device can transmit two-word sequences by pulsing \overline{TE} low). However, no MC145026 application should be designed to rely upon the first data word transmitted immediately after power-up because this word may be invalid. Between the two data words, no signal is sent for three data periods (see Figure 10).

Each transmitted trinary digit is encoded into pulses (see Figure 11). A logic 0 (low) is encoded as two consecutive short pulses, a logic 1 (high) as two consecutive long pulses, and an open (high impedance) as a long pulse followed by a short pulse. The input state is determined by using a weak "output" device to try to force each input high then low. If only a high state results from the two tests, the input is assumed to be hardwired to V_{DD} . If only a low state is obtained, the input is assumed to be hardwired to V_{SS} . If both a high and a low can be forced at an input, an open is assumed and is encoded as such. The "high" and "low" levels are 70% and 30% of the supply voltage as shown in the Electrical Characteristics table. The weak "output" device sinks/sources up to 110 μA at a 5 V supply level, 500 μA at 10 V, and 1 mA at 15 V.

The \overline{TE} input has an internal pull-up device so that a simple switch may be used to force the input low. While \overline{TE} is high and the second-word transmission has timed out, the encoder is completely disabled, the oscillator is inhibited, and the current drain is reduced to quiescent current. When \overline{TE} is brought low, the oscillator is started and the transmit sequence begins. The inputs are then sequentially selected, and determinations are made as to the input logic states. This information is serially transmitted via the D_{out} pin.

MC145027

This decoder receives the serial data from the encoder and outputs the data, if it is valid. The transmitted data, consisting of two identical words, is examined bit by bit during reception. The first five trinary digits are assumed to be the address. If the received address matches the local address, the next four (data) bits are internally stored, but are not transferred to the output data latch. As the second encoded word is received, the address must again match. If a match occurs, the new data bits are checked against the previously stored data bits. If the two nibbles of data (four bits each) match, the data is transferred to the output data latch by VT and remains until new data replaces it. At the same time, the VT output pin is brought high and remains high until an error is received or until no input signal is received for four data periods (see Figure 10).

Although the address information may be encoded in trinary, the data information must be either a 1 or 0. A trinary (open) data line is decoded as a logic 1.

MC145028

This decoder operates in the same manner as the MC145027 except that nine address lines are used and no data output is available. The VT output is used to indicate that a valid address has been received. For transmission security, two identical transmitted words must be consecutively received before a VT output signal is issued.

The MC145028 allows 19,683 addresses when trinary levels are used. 512 addresses are possible when binary levels are used.

PIN DESCRIPTIONS

MC145026 ENCODER

A1 – A5, A6/D6 – A9/D9

Address, Address/Data Inputs (Pins 1 – 7, 9, and 10)

These address/data inputs are encoded and the data is sent serially from the encoder via the D_{out} pin.

RS, CTC, RTC

(Pins 11, 12, and 13)

These pins are part of the oscillator section of the encoder (see Figure 9).

If an external signal source is used instead of the internal oscillator, it should be connected to the R_S input and the RTC and CTC pins should be left open.

\overline{TE}

Transmit Enable (Pin 14)

This active-low transmit enable input initiates transmission when forced low. An internal pull-up device keeps this input normally high. The pull-up current is specified in the Electrical Characteristics table.

D_{out}

Data Out (Pin 15)

This is the output of the encoder that serially presents the encoded data word.

V_{SS}

Negative Power Supply (Pin 8)

The most-negative supply potential. This pin is usually ground.

V_{DD}

Positive Power Supply (Pin 16)

The most-positive power supply pin.

MC145027 AND MC145028 DECODERS

A1 – A5, A1 – A9

Address Inputs (Pins 1 – 5) — MC145027,

Address Inputs (Pins 1 – 5, 15, 14, 13, 12) — MC145028

These are the local address inputs. The states of these pins must match the appropriate encoder inputs for the VT pin to go high. The local address may be encoded with trinary or binary data.

D6 – D9

Data Outputs (Pins 15, 14, 13, 12) — MC145027 Only

These outputs present the binary information that is on encoder inputs A6/D6 through A9/D9. Only binary data is

acknowledged; a trinary open at the MC145026 encoder is decoded as a high level (logic 1).

D_{in}
Data In (Pin 9)

This pin is the serial data input to the decoder. The input voltage must be at CMOS logic levels. The signal source driving this pin must be dc coupled.

R₁, C₁
Resistor 1, Capacitor 1 (Pins 6, 7)

As shown in Figures 2 and 3, these pins accept a resistor and capacitor that are used to determine whether a narrow pulse or wide pulse has been received. The time constant $R_1 \times C_1$ should be set to 1.72 encoder clock periods:

$$R_1 C_1 = 3.95 R_{TC} C_{TC}$$

R₂/C₂
Resistor 2/Capacitor 2 (Pin 10)

As shown in Figures 2 and 3, this pin accepts a resistor and capacitor that are used to detect both the end of a received word and the end of a transmission. The time constant $R_2 \times C_2$ should be 33.5 encoder clock periods (four data periods per Figure 11): $R_2 C_2 = 77 R_{TC} C_{TC}$. This time

constant is used to determine whether the D_{in} pin has remained low for four data periods (end of transmission). A separate on-chip comparator looks at the voltage-equivalent two data periods ($0.4 R_2 C_2$) to detect the dead time between received words within a transmission.

VT
Valid Transmission Output (Pin 11)

This valid transmission output goes high after the second word of an encoding sequence when the following conditions are satisfied:

1. the received addresses of both words match the local decoder address, and
2. the received data bits of both words match.

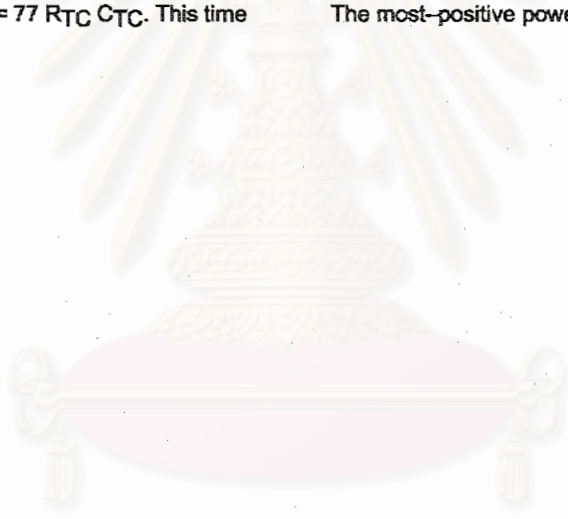
VT remains high until either a mismatch is received or no input signal is received for four data periods.

VSS
Negative Power Supply (Pin 8)

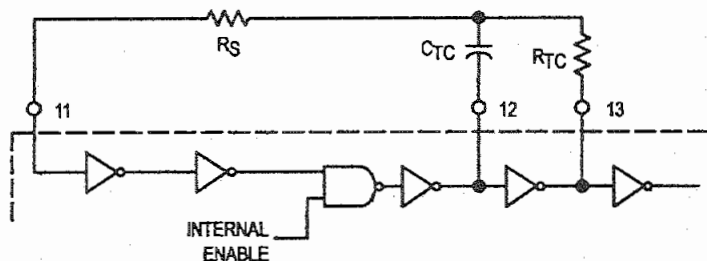
The most-negative supply potential. This pin is usually ground.

VDD
Positive Power Supply (Pin 16)

The most-positive power supply pin.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



This oscillator operates at a frequency determined by the external RC network; i.e.,

$$f = \frac{1}{2.3 R_{TC} C_{TC}'} \text{ (Hz)}$$

for 1 kHz ≤ f ≤ 400 kHz

where: $C_{TC}' = C_{TC} + C_{\text{layout}} + 12 \text{ pF}$

$R_S \approx 2 R_{TC}$

$R_S \geq 20 \text{ k}$

$R_{TC} \geq 10 \text{ k}$

$400 \text{ pF} < C_{TC} < 15 \mu\text{F}$

The value for R_S should be chosen to be ≥ 2 times R_{TC} . This range ensures that current through R_S is insignificant compared to current through R_{TC} . The upper limit for R_S must ensure that $R_S \times 5 \text{ pF}$ (input capacitance) is small compared to $R_{TC} \times C_{TC}$.

For frequencies outside the indicated range, the formula is less accurate. The minimum recommended oscillation frequency of this circuit is 1 kHz. Susceptibility to externally induced noise signals may occur for frequencies below 1 kHz and/or when resistors utilized are greater than 1 MΩ.

Figure 9. Encoder Oscillator Information

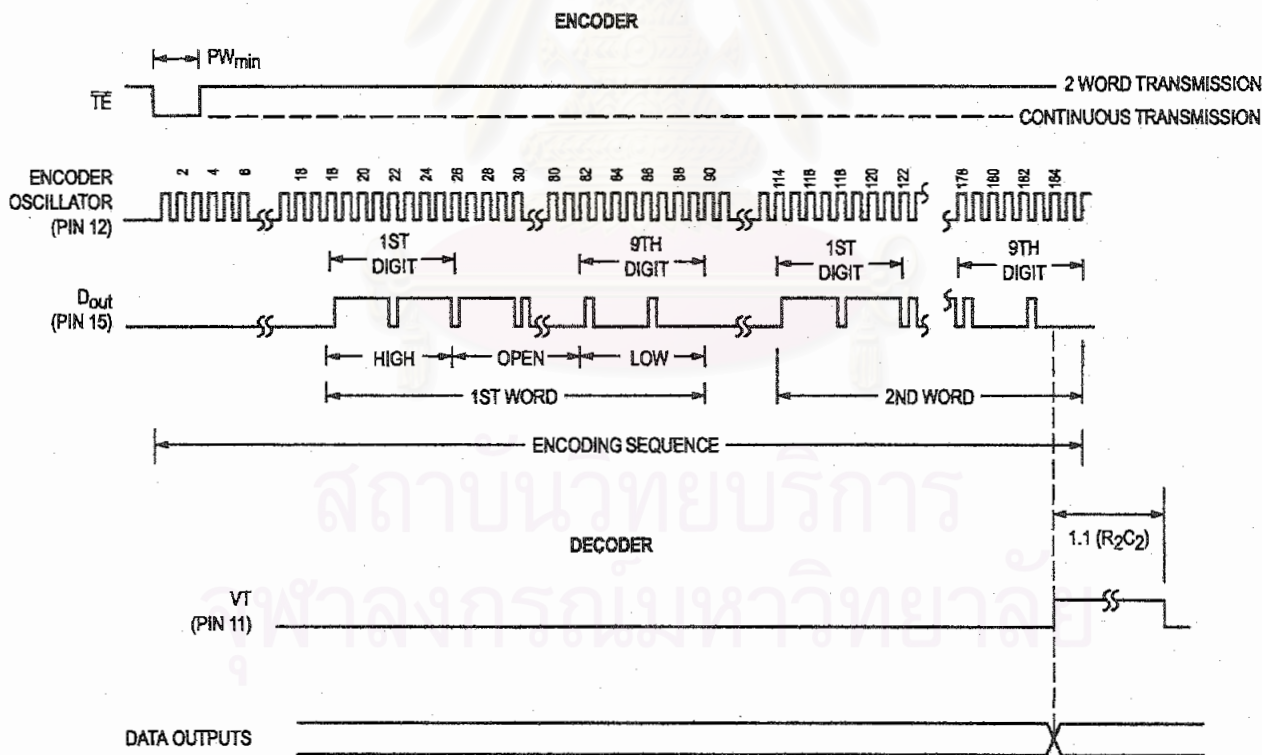


Figure 10. Timing Diagram

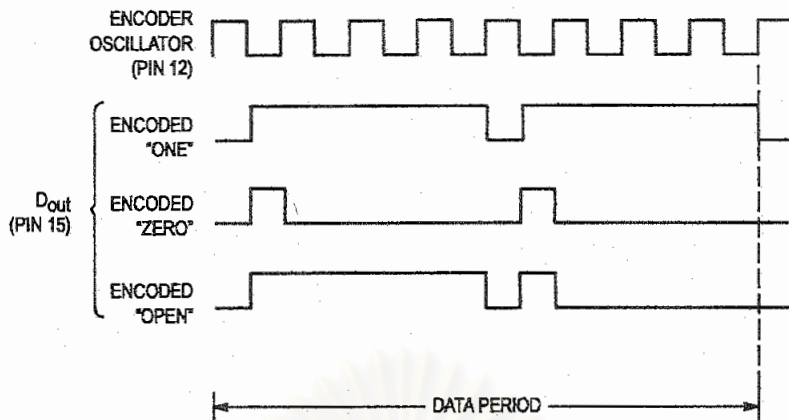


Figure 11. Encoder Data Waveforms

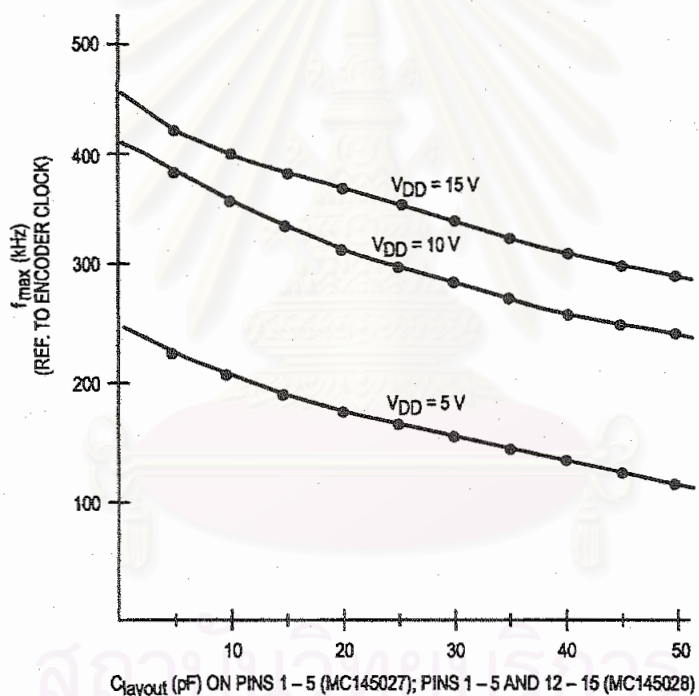


Figure 12. f_{max} vs C_{layout} — Decoders Only

OTHER AVAILABLE RF PRODUCTS

Transmitter/Receiver Sets:

TX-99K1- 300MHz AM RF LC-based single-button transmitter with encoder
 TX-99K2- 300MHz AM RF LC-based twin-button transmitter with encoder
 RE-99 V3.0- 300MHz AM RF super regenerative receiver
 TX-66 V3.0- 310MHz AM RF transmitter with SAW resonator
 RE-66 V3.0- 310MHz AM RF super-regenerative receiver
 TX-88- 418MHz AM RF transmitter with SAW resonator
 RE-88- 418MHz AM RF super-heterodyne receiver

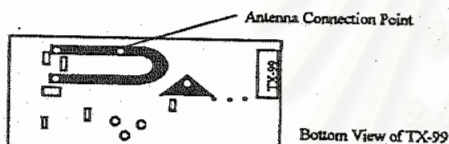
Encoder/Decoder Sets:

TX-01- 12-bit encoder motherboard (8-bit address/4-bit data)
 RE-01- 12-bit decoder motherboard (8-bit address/4-bit data)

ANTENNA INFORMATION

The TX-99 has a loop trace antenna on board and does not require the addition of a wire antenna. A wire antenna is a piece of insulated or non-insulated wire cut to a specific length and soldered to the antenna connection point of the receiver board. If you need to use a wire antenna, follow the connection diagram below.

We recommend using 22 gauge wire cut to 9.36" (1/4 wave). Most people use the 1/4 wave antenna because it is fairly short and works very well, but if desired, a half or full wave antenna may be used. Better results can be achieved using a half or full wave antenna, but a lengthy antenna is sometimes hard to conceal.



TESTING & TROUBLESHOOTING

Certain problems can arise when working with RF products. If the transmitter or receiver boards are not accurately tuned, or possibly defective, the desired signal may never reach its destination. At the same time, if the address of the encoder board does not match the address of the decoder board, or either board is defective, again, the desired signal may never reach its destination. It is sometimes very hard to tell what the actual problem is. The following instructions should be helpful.

The first things to be tested are the encoder motherboard (TX-01) and decoder motherboard (RE-01). These will become very useful in testing, and if necessary, tuning the transmitter and receiver. To check the TX-01 and RE-01 you must remove the transmitter and receiver from these boards. Make sure both motherboards are connected to the same power supply. Connect the data-pin on the TX-01 to the data-pin on the RE-01 (located on the 3pin connector) with a piece of wire. With both addresses matched and power applied, the Valid ID relay on the RE-01 should be closed. If the relay is not closed, and your power supply is above 9VDC, contact your vendor and request replacements.

Now that you have determined your TX-01 and RE-01 boards are functioning accurately, the transmitter and receiver can be tested. Attach the transmitter to the encoder board and apply power. Attach the receiver to the decoder board, position them about 50 feet away from the encoder/transmitter boards, and apply power. If the address of the encoder matches the address of the decoder, and the power supply is at least 9VDC for both the TX-01 and RE-01, the Valid ID relay on the RE-01 should be closed. If the relay is not closed, an attempt should be made to tune the receiver board.

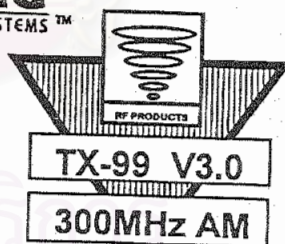
The frequency of the receiver board can be modified by carefully turning the variable capacitor located on top of the receiver board. This should be done with a plastic or ceramic screw-driver. The variable capacitor looks a lot like a flat head screw and has a half-turn range. This means that if you have adjusted the capacitor more than one half of a turn in either direction, you will have gone through the entire range of the capacitor and should have picked up the signal. Continue slowly turning the capacitor until the Valid ID relay closes. This procedure can be repeated at various distances up to 200 feet away from the transmitter. The guaranteed operating distance of these sets is 50 feet, but with a little attention and a wire antenna, these boards are capable of about 200 feet. If you are unable to achieve the guaranteed distance of 50 feet, or if you feel that tuning these boards is beyond your ability, please contact your vendor for replacements. These boards are tuned from the factory and should have at least a 50 foot range. Tuning is only recommended when greater distances are required or in the event that a board appears to be defective.

The TX-99 is a LC-based 300MHz AM RF transmitter board. It is ideal for almost any application needing a wireless control system. When used with the TX-01 encoder motherboard, RE-99 receiver board, and RE-01 decoder motherboard, the TX-99 offers 4 bits of data providing up to 16 different codes. 8 bits of address ensure that data sent from your transmitter are passed on to the RE-01 data outputs, and all stray data are rejected. The 8-bit address also allows the use of up to 256 individually addressed receivers to be used with a single transmitter. This set works well in applications such as gathering data from remote sensors or controlling remotely located objects such as lights, valves, motors and just about anything else.

SPECIFICATIONS

ELECTRICAL	
Operating Voltage:	3VDC
Operating Current:	1.6mA
Frequency:	300 MHz
Circuit Type:	LC Based AM
ENVIRONMENTAL	
Operating Temp:	0°C to 40°C
Storage Temp:	-20° to 80°C
PHYSICAL	
Length:	3/4" (19.05mm)
Width:	1-3/4" (44.45mm)
Height:	1/2" (12.70mm)
Weight:	0.3oz (.011gms)

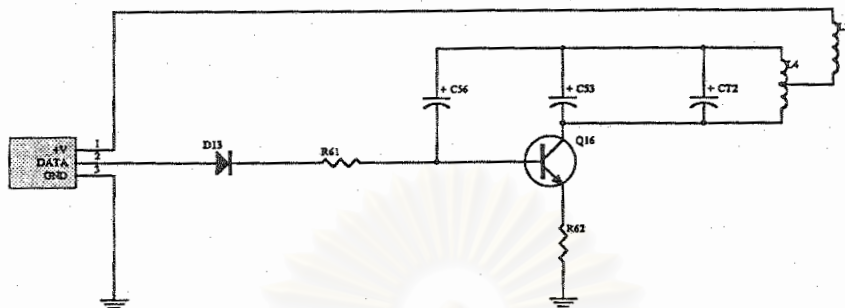
MING
MICROSYSTEMS™



RF TRANSMITTER BOARD

Applications Include:

Wireless Control
 Garage Door Opener
 Remote Data Acquisition
 Car Alarm/Keyless Entry



GENERAL INFORMATION THAT APPLIES TO OUR REMOTE CONTROL PRODUCTS

BREAKDOWN OF A REMOTE CONTROL SYSTEM:

A remote control system is any system with controls or commands delivered to the main unit from a distance, in this case by radio frequency transmission. The remote system we will discuss includes an encoder, transmitter, receiver, and decoder. All of these parts must be used in order to attain a complete link. See descriptions below.

ENCODER:

An encoder is a circuit in which a code or signal presented in one format can be changed to a format compatible with the circuitry it interfaces with. In the case of the TX-01 the format delivered by the user is a 12-bit parallel code consisting of 8 address bits and 4 data bits. This code must be changed to a serial format in order to become compatible with the transmitter's input. This is the job of the TX-01 encoder motherboard, or more specifically, the HT12E encoder I.C. found on the TX-01 encoder motherboard.

TRANSMITTER:

A transmitter is a circuit with an output sent through the air by light, sound, or electromagnetic waves at a specific frequency. In the case of the TX-99, the output is an amplitude modulated radio frequency of 300MHz. The transmitter receives a coded signal from the encoder and uses that signal to modulate its 300MHz carrier. In simple terms, the output of the transmitter is an electromagnetic representation of the input data code.

RECEIVER:

A receiver is a circuit capable of accepting and processing light, sound, or electromagnetic waves of a specific frequency. In the case of the RE-99, the 300MHz radio frequency signal sent by the transmitter is received, and the incoming data extracted from that signal. The extracted data is then sent out in serial format to the decoder board.

DECODER:

A decoder is a circuit in which a coded signal of a specific format (usually that of its compatible encoder) is received and changed to a format compatible with the circuitry it interfaces with (usually the format originally presented to the encoder is the same format used for the output of the decoder when used in wireless systems, but not always). In the case of the RE-01, the incoming code is a 12-bit serial format. This code must be checked to ensure that the first 8 bits (address bits) match the address of the decoder I.C. This is the job of the RE-01 decoder motherboard, or more specifically, the HT12D decoder I.C. found on the RE-01 decoder motherboard. If the incoming 8 bit address is correct, the last 4 bits of the 12 bit code (data bits) are passed on to the data outputs of the RE-01, and the Valid ID relay closes and remains closed until the incoming signal is no longer present. The 4 data bits, however, latch and remain in whatever state they were set to by the last transmission, until they are changed by the next transmission.

DATA CODES:

A data code is a set of numbers or letters representing some form of information. In the case of the encoders and decoders described above, the data code consists of a combination of four 1s and/or 0s representing 16 possible states. If a +5V signal is applied to one of the four data lines, or if the data line is left floating (not connected), this is considered a 1. If +0V (or ground) is applied to one of the four data lines, this is considered a 0. By using different combinations of 1s and 0s on the four data lines, 16 separate control commands can be sent. I.C.s are available, such as the 74HC154, which can turn a 4 bit data code into a more user friendly output, giving you the option to select 1 of 16 different output pins to activate per transmission. If the 4-bit data code is being sent to a micro-controller, or if less than 4 different commands are needed, these extra I.C.s are not needed.

IMPORTANT NOTE:

The bandwidth utilized on our RF modules was intended for experimental use in applications that require only short burst transmissions. Our RF boards must be used with their intended motherboards (TX-01 & RE-01) and cannot be used for continuous serial data applications.

MING RF products are designed for experimental use and are not FCC approved. It is the responsibility of the user to verify compliance with FCC regulations on their own application and obtain an FCC approval number for the final product which is to be marketed.

LIMITED WARRANTY

The TX-99 is warranted against manufacturing defects in materials and workmanship for one year from the date of purchase. Within this period, MING will, at its option, repair or replace the product, or any part thereof, without charge for parts and labor.

This warranty does not apply in the following cases: Improper installation, misuse, failure to follow installation and operating instructions, alteration, abuse, accident or tampering.

MING is not responsible or liable for indirect, special, or consequential damages arising out of or in connection with the use or performance of the product or other damage with respect to any economic loss, loss of property, loss of revenues or profit, or costs of removal, installation or reinstallation.

Except as provided herein, MING makes no express warranties, and any implied warranty of merchantability or fitness for particular purpose is limited in its duration to the duration of the written limited warranties set forth herein.

There will be charges rendered repairs to the product made after the expiration of the aforesaid one year warranty period.

This warranty gives you specific legal rights and you may have other rights which vary from state to state.

**FOR TECHNICAL SUPPORT
PLEASE CALL (626) 912-9864**

OTHER AVAILABLE RF PRODUCTS

Transmitter/Receiver Sets:

TX-99K1- 300MHz AM RF LC-based single-button transmitter with encoder
 TX-99K2- 300MHz AM RF LC-based twin-button transmitter with encoder
 TX-99 V3.0- 300MHz AM RF LC-based transmitter
 TX-66 V3.0- 310MHz AM RF transmitter with SAW resonator
 RE-66 V3.0- 310MHz AM RF super-regenerative receiver
 TX-88- 418MHz AM RF transmitter with SAW resonator
 RE-88- 418MHz AM RF super-heterodyne receiver

Encoder/Decoder Sets:

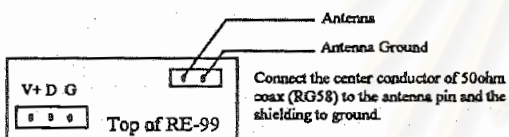
TX-01- 12-bit encoder motherboard (8-bit address/4-bit data)
 RE-01- 12-bit decoder motherboard (8-bit address/4-bit data)

ANTENNA INFORMATION

The RE-99 requires a wire antenna for optimum operating distance. A wire antenna is a piece of insulated or non-insulated wire cut to a specific length and soldered to the antenna connection point of the receiver board.

We recommend using 22 gauge wire cut to 9.36" (1/4 wave). Most people use the 1/4 wave antenna because it is fairly short and works very well, but if desired, a half or full wave antenna may be used. Better results can be achieved using a half or full wave antenna, but a lengthy antenna is sometimes hard to conceal.

If coax cable is required for your application, please see the diagram below.



TESTING & TROUBLESHOOTING

Certain problems can arise when working with RF products. If the transmitter or receiver boards are not accurately tuned, or possibly defective, the desired signal may never reach its destination. At the same time, if the address of the encoder board does not match the address of the decoder board, or either board is defective, again, the desired signal may never reach its destination. It is sometimes very hard to tell what the actual problem is. The following instructions should be helpful.

The first things to be tested are the encoder motherboard (TX-01) and decoder motherboard (RE-01). These will become very useful in testing, and if necessary, tuning the transmitter and receiver. To check the TX-01 and RE-01 you must remove the transmitter and receiver from these boards. Make sure both motherboards are connected to the same power supply. Connect the data-pin on the TX-01 to the data-pin on the RE-01 (located on the 3pin connector) with a piece of wire. With both addresses matched and power applied, the Valid ID relay on the RE-01 should be closed. If the relay is not closed, and your power supply is above 9VDC, contact your vendor and request replacements.

Now that you have determined your TX-01 and RE-01 boards are functioning accurately, the transmitter and receiver can be tested. Attach the transmitter to the encoder board and apply power. Attach the receiver to the decoder board, position them about 50 feet away from the encoder/transmitter boards, and apply power. If the address of the encoder matches the address of the decoder, and the power supply is at least 9VDC for both the TX-01 and RE-01, the Valid ID relay on the RE-01 should be closed. If the relay is not closed, an attempt should be made to tune the receiver board.

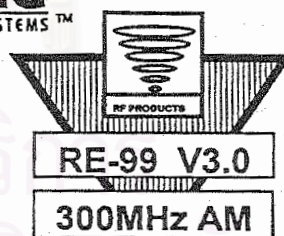
The frequency of the receiver board can be modified by carefully turning the variable capacitor located on top of the receiver board. This should be done with a plastic or ceramic screw-driver. The variable capacitor looks a lot like a flat head screw and has a half-turn range. This means that if you have adjusted the capacitor more than one half of a turn in either direction, you will have gone through the entire range of the capacitor and should have picked up the signal. Continue slowly turning the capacitor until the Valid ID relay closes. This procedure can be repeated at various distances up to 200 feet away from the transmitter. The guaranteed operating distance of these sets is 50 feet, but with a little attention and a wire antenna these boards are capable of about 200 feet. If you are unable to achieve the guaranteed distance of 50 feet, or if you feel that tuning these boards is beyond your ability, please contact your vendor for replacements. These boards are tuned from the factory and should have at least a 50 foot range. Tuning is only recommended when greater distances are required or in the event that a board appears to be defective.

The RE-99 is a LC-based 300MHz AM RF super-regenerative receiver board. It is ideal for almost any application needing a wireless control system. When used with the TX-99K key-chain transmitter and RE-01 decoder motherboard, the RE-99 is perfect for use as a keyless entry system for your home or automobile. If your application requires the ability to send data codes, the TX-99 transmitter and TX-01 encoder motherboard, combined with the RE-99 receiver and RE-01 decoder motherboard, will allow 4-bit data transmission. This set works well in applications such as gathering data from remote sensors or controlling remotely located objects such as lights, valves, motors and just about anything else.

SPECIFICATIONS

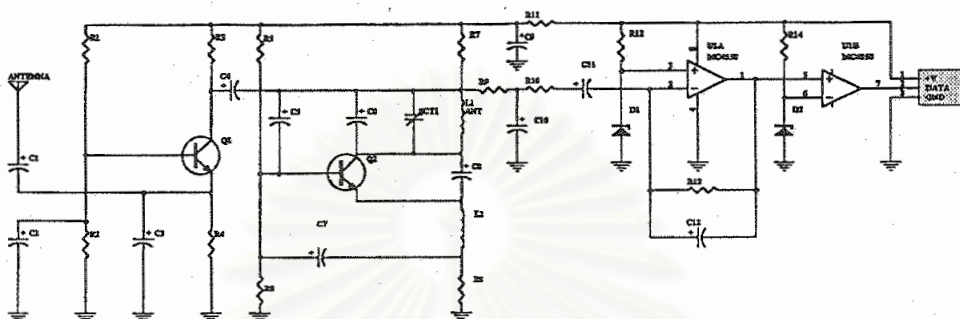
ELECTRICAL	
Operating Voltage:	5VDC
Operating Current:	1.6mA
Frequency:	300 MHz
Circuit Type:	LC Based AM
ENVIRONMENTAL	
Operating Temp:	0°C to 40°C
Storage Temp:	-20° to 80°C
PHYSICAL	
Length:	1-3/16" (30.16mm)
Width:	2-3/8" (60.33mm)
Height:	11/16" (17.46mm)
Weight:	1.6oz (.056gms)

MING
MICROSYSTEMS™



RF RECEIVER BOARD

Applications Include:
 Wireless Control
 Garage Door Opener
 Remote Data Acquisition
 Car Alarm/Keyless Entry



GENERAL INFORMATION THAT APPLIES TO OUR REMOTE CONTROL PRODUCTS

BREAKDOWN OF A REMOTE CONTROL SYSTEM:

A remote control system is any system with controls or commands delivered to the main unit from a distance, in this case by radio frequency transmission. The remote system we will discuss includes an encoder, transmitter, receiver, and decoder. All of these parts must be used in order to attain a complete link. See descriptions below.

ENCODER:

An encoder is a circuit in which a code or signal presented in one format can be changed to a format compatible with the circuitry it interfaces with. In the case of the TX-01 the format delivered by the user is a 12-bit parallel code consisting of 8 address bits and 4 data bits. This code must be changed to a serial format in order to become compatible with the transmitters input. This is the job of the TX-01 encoder motherboard, or more specifically, the HT12E encoder I.C. found on the TX-01 encoder motherboard.

TRANSMITTER:

A transmitter is a circuit with an output sent through the air by light, sound or electromagnetic waves at a specific frequency. In the case of the TX-99, the output is an amplitude modulated radio frequency of 300MHz. The transmitter receives a coded signal from the encoder and uses that signal to modulate its 300MHz carrier. In simple terms, the output of the transmitter is an electromagnetic representation of the input data code.

RECEIVER:

A receiver is a circuit capable of accepting and processing light, sound, or electromagnetic waves of a specific frequency. In the case of the RE-99, the 300MHz radio frequency signal sent by the transmitter is received, and the incoming data extracted from that signal. The extracted data is then sent out in serial format to the decoder board.

DECODER:

A decoder is a circuit in which a coded signal of a specific format (usually that of its compatible encoder) is received and changed to a format compatible with the circuitry it interfaces with (usually the format originally presented to the encoder is the same format used for the output of the decoder when used in wireless systems, but not always). In the case of the RE-01, the incoming code is a 12-bit serial format. This code must be checked to ensure that the first 8 bits (address bits) match the address of the decoder I.C. This is the job of the RE-01 decoder motherboard, or more specifically, the HT12D decoder I.C. found on the RE-01 decoder motherboard. If the incoming 8-bit address is correct, the last 4 bits of the 12 bit code (data bits) are passed on to the data outputs of the RE-01, and the Valid ID relay closes and remains closed until the incoming signal is no longer present. The 4 data bits, however, latch and remain in whatever state they were set to by the last transmission, until they are changed by the next transmission.

DATA CODES:

A data code is a set of numbers or letters representing some form of information. In the case of the encoders and decoders described above, the data code consists of a combination of four 1s and/or 0s representing 16 possible states. If a +5V signal is applied to one of the four data lines, or if the data line is left floating (not connected), this is considered a 1. If +0V (or ground) is applied to one of the four data lines, this is considered a 0. By using different combinations of 1s and 0s on the four data lines, 16 separate control commands can be sent. I.C.s are available, such as the 74HC154, which can turn a 4 bit data code into a more user friendly output, giving you the option to select 1 of 16 different output pins to activate per transmission. If the 4-bit data code is being sent to a micro-controller, or if less than 4 different commands are needed, these extra I.C.s are not needed.

IMPORTANT NOTE:

The bandwidth utilized on our RF modules was intended for experimental use in applications that require only short burst transmissions. Our RF boards must be used with their intended motherboards (TX-01 & RE-01) and cannot be used for continuous serial data applications.

MING RF products are designed for experimental use and are not FCC approved. It is the responsibility of the user to verify compliance with FCC regulations on their own application and obtain an FCC approval number for the final product which is to be marketed.

LIMITED WARRANTY

The RE-99 is warranted against manufacturing defects in materials and workmanship for one year from the date of purchase. Within this period, MING will, at its option, repair or replace the product, or any part thereof, without charge for parts and labor.

This warranty does not apply in the following cases: Improper installation, misuse, failure to follow installation and operating instructions, alteration, abuse, accident or tampering.

MING is not responsible or liable for indirect, special, or consequential damages arising out of or in connection with the use or performance of the product or other damage with respect to any economic loss, loss of property, loss of revenues or profit, or costs of removal, installation or reinstallation.

Except as provided herein, MING makes no express warranties, and any implied warranty of merchantability or fitness for particular purpose is limited in its duration to the duration of the written limited warranties set forth herein.

There will be charges rendered repairs to the product made after the expiration of the aforesaid one year warranty period.

This warranty gives you specific legal rights and you may have other rights which vary from state to state.

**FOR TECHNICAL SUPPORT
PLEASE CALL (626) 912-9864**

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย สุทธิเกียรติ ชลลาภ เกิดวันที่ 28 มีนาคม พ.ศ. 2514 ที่โรงพยาบาลศิริราช กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาไฟฟ้า ภาควิชาไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปี พ.ศ. 2537 และเข้าศึกษาในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2540



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย