

การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงเลขชนิดเก็บข้อมูล
บนหน่วยความจำถอดเปลี่ยนได้



นายกิตินันต์ แสงมณี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4987-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF A REMOVABLE MEMORY PERSONAL DIGITAL DOSIMETER



Mr. Kitinun Sangmanee

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Nuclear Technology

Faculty of Engineering

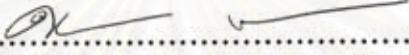
Chulalongkorn University

Academic Year 2005

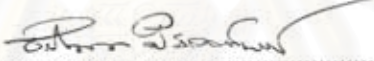
ISBN 974-17-4987-2

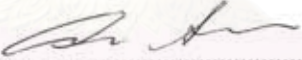
| | |
|----------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงเลข ชนิดเก็บข้อมูลบนหน่วยความจำถอดเปลี่ยนได้ |
| โดย | นายกิตินันต์ แสงมณี |
| สาขาวิชา | นิวเคลียร์เทคโนโลยี |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | อาจารย์ เค โข ทองอร่าม |


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ชยากริต ศิริอุปถัมภ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ เค โข ทองอร่าม)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ภูณณชัยยะ)

กิตินันต์ แสงมณี : การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงเลขชนิดเก็บข้อมูลบนหน่วยความจำถอดเปลี่ยนได้. (DEVELOPMENT OF A REMOVABLE MEMORY PERSONAL DIGITAL DOSIMETER) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. อรรถพร ภัทรสุมันต์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : อ. เดโช ทองอร่าม, 82 หน้า. ISBN 974-17-4987-2.

ได้พัฒนาระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงเลขชนิดเก็บข้อมูลบนหน่วยความจำถอดเปลี่ยนได้ โดยอาศัยชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่หาซื้อได้ภายในประเทศ และใช้ไอซีตระกูลซีมอสเพื่อช่วยลดการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า ประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ส่วน ได้แก่ เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่ออกแบบให้ทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 สามารถวัดปริมาณรังสีสะสมได้ในช่วง 0 – 9999 มิลลิเรินท์เกน มีระบบส่งเสียงเตือนให้ผู้ปฏิบัติงานทราบเมื่อปริมาณรังสีที่วัดได้มีค่าเกินพิกัดที่ตั้งไว้ สามารถเก็บบันทึกข้อมูลปริมาณรังสีลงในหน่วยความจำได้ทุกช่วงเวลา 10 นาที และระบบอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำแล้วเก็บบันทึกในฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์

จากผลทดสอบการทำงานและเปรียบเทียบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นพบว่าสามารถวัดปริมาณรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ได้อย่างถูกต้อง โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 3\%$ สามารถใช้งานต่อเนื่องได้นานกว่า 40 ชั่วโมง มีการสิ้นเปลืองไฟฟ้า 95 มิลลิวัตต์ และปริมาณรังสีที่วัดได้สามารถเก็บบันทึกลงในหน่วยความจำได้โดยไม่พบข้อผิดพลาด

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี..... ลายมือชื่อนิสิต..... ภาณุพงศ์ แสงมณี
สาขาวิชา.....นิวเคลียร์เทคโนโลยี..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา..... 2548..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4570219221 : MAJOR NUCLEAR TECHNOLOGY

KEY WORD: DIGITAL DOSIMETER/ POCKET DOSIMETER / DOSEMETER

KITINUN SANGMANEE : DEVELOPMENT OF A REMOVABLE MEMORY PERSONAL DIGITAL DOSIMETER. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. ATTAPORN PATTARASUMUNT, THESIS COADVISOR : DECHO THONG-ARAM, 82 pp. ISBN 974-17-4987-2.

A small battery operated removable memory personal digital dosimeter system was developed using local available electronic components. CMOS IC's were used to reduce power consumption. The system consisted of 2 parts: a microcontroller based (PIC16F877) personal digital dosimeter with a measuring range of 0 – 9999 mR. It was also equipped with alarming system to alert users when the cumulative dose was exceeded the dose limit. The dose can be recorded into the memory every 10 minutes interval. And a memory reader system capable in downloading recorded data from memory to the database on microcomputer.

Result of performance testing and dosimetric calibration showed that the developed dosimeter had a capability in measuring cumulative dose of gamma and x-ray with the accuracy within $\pm 3\%$. The dosimeter was able to operate continuously more than 40 hours at 95 mW power consumption. The measuring dose could be recorded into the memory without any error.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department..... Nuclear Technology..... Student's signature..... Kitinun Sangmanee
Field of study..... Nuclear Technology..... Advisor's signature.....
Academic year.... 2005..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถพร ภัทรสุมันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งคอยแนะนำขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์ อาจารย์ เดโช ทองอร่าม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งคอยให้คำแนะนำในด้านการแก้ไขปัญหาในการออกแบบวงจร ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุวิทย์ ปุณณชัยยะ ผู้ซึ่งแนะนำแนวทางและช่วยตอบปัญหาข้อสงสัยต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า รวมถึงอาจารย์ทุกท่านในภาควิชา นวัตกรรมเทคโนโลยี ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง

ขอขอบคุณ คุณบัญชา อุณพานิช ที่มีส่วนเป็นอย่างมากในการให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะต่าง ๆ และอำนวยความสะดวกแก่ข้าพเจ้าในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณศิริ ศรีมโนรถ และเจ้าหน้าที่ทุก ๆ คนของกองรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการสอบเทียบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

ขอขอบคุณ คุณจิรศักดิ์ วุฒิวรรณพงศ์ ที่คอยช่วยแนะนำและตอบข้อสงสัยในการเขียน โปรแกรมเกี่ยวกับการจัดการฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์ ตลอดจนช่วยแก้ไขข้อผิดพลาดให้แก่ข้าพเจ้า จนทำให้เกิดความสมบูรณ์ของโปรแกรมมากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ นิสิตในภาควิชา นวัตกรรมเทคโนโลยีทุกท่านที่มีส่วนเป็นอย่างมากในการให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกแก่ข้าพเจ้าในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยในการทำวิทยานิพนธ์

ถ้าปราศจากบิดามารดาผู้ให้กำเนิด ผู้ซึ่งคอยสนับสนุนดูแลเอาใจใส่ในทุก ๆ ด้าน และคอยบ่มสอนให้ข้าพเจ้าเป็นคนดี ข้าพเจ้าคงไม่มีโอกาสมีวันนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สารบัญ

หน้า

| | |
|--|----|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฌ |
| สารบัญรูปภาพ..... | ญ |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... | 2 |
| 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย..... | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 3 |
| 1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 2. แนวคิดและทฤษฎีระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล..... | 5 |
| 2.1 ความปลอดภัยด้านการปฏิบัติการเกี่ยวกับรังสี..... | 5 |
| 2.2 เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล | 9 |
| 2.3 หลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล แบบอิเล็กทรอนิกส์..... | 13 |
| 2.4 การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องวัดปริมาณรังสี..... | 18 |
| 2.5 หน่วยความจำ EEPROM แบบ IC | 23 |
| 3. การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดเก็บข้อมูลบนหน่วยความจำถอดเปลี่ยนได้..... | 29 |
| 3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย | 29 |
| 3.2 การออกแบบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิดเก็บข้อมูล บนหน่วยความจำถอดเปลี่ยนได้ | 29 |

| บทที่ | หน้า |
|--|------|
| 3.3 วงจรอ่านค่าจากหน่วยความจำ..... | 36 |
| 3.4 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบวัดปริมาณรังสี | 36 |
| 4. การทดสอบการทำงานของระบบและผลการทดสอบ..... | 43 |
| 4.1 การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องวัดปริมาณรังสี ประจำบุคคล..... | 43 |
| 4.2 การทดสอบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล..... | 52 |
| 4.3 การทดสอบการเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำ | 58 |
| 4.4 การทดสอบโปรแกรมอ่านค่าปริมาณรังสีและรายงานผลบน ไมโครคอมพิวเตอร์..... | 59 |
| 5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 61 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 61 |
| 5.2 ลักษณะพิกัดของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น | 62 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ | 63 |
| รายการอ้างอิง | 64 |
| ภาคผนวก..... | 65 |
| ภาคผนวก ก การออกแบบและคำนวณหม้อแปลงไฟฟ้าศักดาสูง..... | 66 |
| ภาคผนวก ข โปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 และโปรแกรมการประมวลผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ | 68 |
| ภาคผนวก ค คุณสมบัติของหัววัดรังสีไอเกอร์..... | 80 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 82 |

สารบัญตาราง

| ตาราง | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ค่า radiation weighting factor (W_R)..... | 9 |
| 2.2 แสดงรายละเอียดพอร์ตใช้งานทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877..... | 22 |
| 4.1 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าจากวงจรแหล่งจ่ายกับกระแสที่จ่ายให้โหลด | 44 |
| 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง | 45 |
| 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง เมื่อมีวงจรรักษาระดับแรงดันคงที่ | 47 |
| 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำและการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า | 50 |
| 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาใช้งานของแบตเตอรี่และแรงดันไฟฟ้าของ แบตเตอรี่ | 51 |
| 4.6 ผลการทดสอบการตอบสนองต่อทิศทางการวัดปริมาณรังสี | 53 |
| 4.7 ผลการวัดปริมาณรังสี ณ ตำแหน่งเปรียบเทียบมาตรฐาน | 54 |
| 4.8 เปรียบเทียบผลการทดสอบการตอบสนองต่อพลังงานของเครื่องวัดปริมาณรังสี ที่พัฒนาขึ้น | 55 |
| 4.9 ผลการทดสอบความถูกต้องของการวัดปริมาณรังสี | 56 |
| 4.10 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล ที่พัฒนาขึ้น | 57 |
| 4.11 แสดงค่าปริมาณรังสีที่เก็บบันทึกลงในหน่วยความจำ | 58 |

สารบัญญภาพ

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 รูปร่างและลักษณะของฟิล์มเบคจ์..... | 10 |
| 2.2 รูปร่างและลักษณะของ TLD | 11 |
| 2.3 ลักษณะของเครื่องวัดปริมาณรังสีแบบอิเล็กทรอนิกส์โคปไอออนในเซชัน แชมเบอร์..... | 12 |
| 2.4 เครื่องวัดปริมาณรังสีแบบอิเล็กทรอนิกส์ | 13 |
| 2.5 แผนภาพของเครื่องวัดปริมาณรังสีแบบอิเล็กทรอนิกส์..... | 13 |
| 2.6 ลักษณะของหัววัดไกเกอร์ขนาดเล็ก | 14 |
| 2.7 วงจรหัววัดรังสีไกเกอร์แบบ AC และ DC Coupling | 14 |
| 2.8 คุณสมบัติเส้นกราฟลาโตของหัววัดรังสีไกเกอร์ | 15 |
| 2.9 แผนภาพของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ (dc to dc converter) | 16 |
| 2.10 ลักษณะวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แบบพื้นฐาน..... | 17 |
| 2.11 ระบบวัดส่วนหน้าและรูปสัญญาณพัลส์..... | 17 |
| 2.12 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 | 19 |
| 2.13 หน่วยความจำข้อมูลในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 | 21 |
| 2.14 โครงสร้างของหน่วยความจำ EEPROM ตระกูล 24XX..... | 24 |
| 2.15 ลักษณะขาสัญญาณของหน่วยความจำตระกูล 24XX | 24 |
| 2.16 ตัวอย่างการเขียนข้อมูลแบบครั้งละไบต์..... | 26 |
| 2.17 ตัวอย่างการเขียนข้อมูลแบบครั้งละหน้า | 26 |
| 2.18 ตัวอย่างการอ่านข้อมูลแบบ current address read | 27 |
| 2.19 ตัวอย่างการอ่านข้อมูลแบบ random read | 27 |
| 2.20 ตัวอย่างการอ่านข้อมูลแบบ sequential read..... | 28 |
| 3.1 แผนภาพเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลพร้อมระบบบันทึกข้อมูล ลงหน่วยความจำ..... | 30 |
| 3.2 วงจรหัววัดไกเกอร์แบบ DC coupling | 31 |
| 3.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง | 31 |
| 3.4 วงจรแต่งรูปสัญญาณ..... | 32 |
| 3.5 แผนภาพของวงจรควบคุมการวัดปริมาณรังสีโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ | 33 |

| รูปที่ | หน้า |
|--------|--|
| 3.6 | วงจรมับสัญญาณพัลส์และวงจรรีบเทียบค่าปริมาณรังสี 33 |
| 3.7 | วงจรถอดผลปริมาณรังสีและวงจรถ่วงเสียงเดือน 34 |
| 3.8 | วงจรมับทักข้อมูลลงหน่วยความจำ 35 |
| 3.9 | วงจรถ่วงจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ 35 |
| 3.10 | วงจรถ่วงค่าจากหน่วยความจำ 36 |
| 3.11 | โพลีชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมภายในเครื่องวัดปริมาณรังสี ประจำบุคคล 37 |
| 3.12 | โพลีชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมอ่านข้อมูลปริมาณรังสี จากหน่วยความจำ..... 38 |
| 3.13 | วงจรถ่วงเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น 39 |
| 3.14 | วงจรถ่วงข้อมูลปริมาณรังสีจากหน่วยความจำ 40 |
| 3.15 | แสดงการจัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล.. 41 |
| 3.16 | แสดงเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลภายหลังประกอบลงกล่อง 41 |
| 3.17 | แสดงการจัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ.. 42 |
| 3.18 | แสดงเครื่องอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายหลังประกอบลงกล่อง 42 |
| 4.1 | แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสามารถของวงจรถ่วงจ่ายไฟฟ้า แรงดันสูง 43 |
| 4.2 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสที่จ่ายให้โหลด 44 |
| 4.3 | แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้า แรงดันต่ำและแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง 45 |
| 4.4 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า แรงดันสูง 46 |
| 4.5 | แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้า แรงดันต่ำและแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงเมื่อมีการใช้วงจรถ่วงระดับ แรงดัน 46 |
| 4.6 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า แรงดันสูง เมื่อมีวงจรถ่วงระดับแรงดันคงที่ 47 |
| 4.7 | แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบรูปสัญญาณจากหัววัดรังสี 48 |
| 4.8 | รูปสัญญาณพัลส์จากวงจรถ่วงหัววัดรังสี 48 |
| 4.9 | การจัดอุปกรณ์ทดสอบการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดปริมาณรังสี..... 49 |

| | | |
|------|--|----|
| 4.10 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า | 50 |
| 4.11 | การจัดอุปกรณ์ทดสอบระยะเวลาใช้งานของแบตเตอรี่ | 51 |
| 4.12 | กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาใช้งานและแรงดันไฟฟ้า ของแบตเตอรี่ | 52 |
| 4.13 | แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบการตอบสนองต่อทิศทางการวัด ปริมาณรังสี | 52 |
| 4.14 | กราฟแสดงการตอบสนองต่อทิศทางการวัดปริมาณรังสี | 53 |
| 4.15 | การจัดอุปกรณ์เพื่อทำการเปรียบเทียบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล..... | 54 |
| 4.16 | กราฟแสดงการเปรียบเทียบการตอบสนองต่อพลังงานของเครื่องวัด ปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น | 56 |
| 4.17 | กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล | 57 |
| 4.18 | การจัดอุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบการเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำ | 58 |
| 4.19 | กราฟแสดงการเก็บข้อมูลปริมาณรังสีลงในหน่วยความจำ | 59 |
| 4.20 | การจัดอุปกรณ์ทดสอบโปรแกรมอ่านค่าปริมาณรังสีจากหน่วยความจำและ รายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ | 59 |
| 4.21 | การแสดงผลบนหน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมการอ่านค่า ปริมาณรังสีจากหน่วยความจำ | 60 |
| 4.22 | รายละเอียดย่อของผู้ปฏิบัติงาน | 60 |

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยได้นำเครื่องกำเนิดรังสีและสารกัมมันตรังสีมาใช้งานเป็นระยะเวลานานแล้ว เนื่องจากคุณสมบัติของรังสีชนิดต่าง ๆ มีประโยชน์ต่องานในหลายด้าน เช่น การใช้รังสีในทางการเกษตรเพื่อหาความชื้นของดินหรือเพื่อปรับปรุงพันธุ์พืช การใช้รังสีในงานอุตสาหกรรมเพื่อตรวจสอบโครงสร้างภายในวัสดุ ในด้านการแพทย์มีการใช้รังสีในการวินิจฉัยรวมทั้งการรักษาคนไข้ และการใช้รังสีเพื่องานค้นคว้าวิจัยต่าง ๆ เป็นต้น เพื่อให้การใช้งานรังสีเป็นไปอย่างปลอดภัย การป้องกันอันตรายจากรังสีจึงเป็นสิ่งที่ต้องปฏิบัติไปพร้อม ๆ กัน ผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับรังสีจึงจำเป็นที่จะต้องมีการวางแผนการทำงานอย่างรอบคอบ เพื่อมิให้ตัวผู้ปฏิบัติงานเองและผู้ที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงได้รับปริมาณรังสีเกินกว่าระดับความปลอดภัยที่คณะกรรมการระหว่างประเทศว่าด้วยการป้องกันอันตรายจากรังสี (International Commission on Radiological Protection: ICRP) กำหนดไว้

หลักการเบื้องต้นในการป้องกันอันตรายจากรังสีได้แก่ การควบคุมระยะเวลาในการปฏิบัติงาน การควบคุมระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับผู้ปฏิบัติงาน และการใช้เครื่องกำบังรังสี ในทางปฏิบัติเพื่อให้เกิดความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงาน จำเป็นต้องมีการตรวจวัดปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ดังนั้นผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีจะต้องมีเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลติดตัวตลอดระยะเวลาการปฏิบัติงาน เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลมีอยู่หลายชนิด เช่น फिल्मแบดจ์ (film badge) และ เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์โดสิมิเตอร์ (TLD: Thermoluminescent Dosimeter) ซึ่งทั้งสองอย่างนี้ เป็นที่นิยมใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากใช้งานง่ายและมีราคาถูก แต่ก็ยังมีข้อจำกัดหลายอย่างคือ ไม่สามารถอ่านค่าปริมาณรังสีที่ได้รับได้ทันที และเครื่องวัดปริมาณรังสีทั้งสองชนิดนี้จะใช้ในการวัดปริมาณรังสีสะสมเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถวัดปริมาณรังสีในแต่ละช่วงเวลาปฏิบัติงานได้ จึงได้มีการพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดอ่านค่าได้ทันที (electronic pocket dosimeter) ขึ้นมา เพื่อความสะดวกในการตรวจวัดปริมาณรังสีในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ แต่เครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดอ่านค่าได้ทันทีนี้ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องคอยจดบันทึกข้อมูลปริมาณรังสีที่ได้รับทุกครั้งภายหลังการปฏิบัติงาน เพื่อให้ทราบถึงปริมาณรังสีสะสมที่ได้รับ ซึ่งถ้าผู้ปฏิบัติงานมิได้ทำการจดบันทึก ก็จะทำให้ข้อมูลปริมาณรังสีที่ร่างกายได้รับผิดพลาดไป จึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิดอ่านค่าได้ทันที ให้สามารถเก็บบันทึกข้อมูลลงบนหน่วยความจำชนิดที่สามารถถอดเปลี่ยนได้ โดยการใช้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กที่สามารถจัดหาได้ภายในประเทศเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่าย ซึ่งจะช่วยให้ตัวผู้ปฏิบัติงานเองหรือเจ้าหน้าที่ที่คอย

ควบคุมความปลอดภัยแก่ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงข้อมูลปริมาณรังสีที่ร่างกายผู้ปฏิบัติงานได้รับตลอดช่วงระยะเวลาที่ปฏิบัติงาน และทำการเก็บข้อมูลดังกล่าวไว้ในฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อประโยชน์ในด้านการป้องกันอันตรายจากรังสี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงเลข พร้อมระบบบันทึกข้อมูลปริมาณรังสีลงบนหน่วยความจำชนิดถอดเปลี่ยนได้และไมโครคอมพิวเตอร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. พัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงเลขชนิดเก็บข้อมูลของการวัดปริมาณรังสีลงบนหน่วยความจำชนิดถอดเปลี่ยนได้
2. พัฒนาอุปกรณ์อ่านข้อมูลและโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ เพื่ออ่านค่าปริมาณรังสีจากหน่วยความจำของแต่ละบุคคล แล้วเก็บบันทึกข้อมูลดังกล่าวไว้เป็นฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์
3. ทดสอบสมรรถนะของเครื่องวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้นในด้านต่าง ๆ ได้แก่ การตอบสนองต่อพลังงาน (Energy dependent) ความถูกต้องในการวัดปริมาณรังสี (Accuracy) และความไว (Sensitivity) เป็นต้น

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้า รวบรวมข้อมูลและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบและสร้างวงจรต่าง ๆ ของเครื่องวัดปริมาณรังสีในแต่ละส่วนโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก
3. ออกแบบและสร้างอุปกรณ์อ่านข้อมูลจากหน่วยความจำและพัฒนาโปรแกรมการจัดเก็บค่าปริมาณรังสี เพื่อบันทึกในฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์
4. ทดสอบสมรรถนะและปรับปรุงการทำงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลให้สามารถใช้งานได้สมบูรณ์
5. สรุปผลงานวิจัยและเขียนรายงานวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงเลขชนิดบันทึกข้อมูลลงบนหน่วยความจำซึ่งสามารถถอดเปลี่ยนได้และสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์ ทำให้สะดวกต่อการตรวจวัดปริมาณรังสีที่แต่ละบุคคลได้รับ อันจะเป็นประโยชน์ต่อการป้องกันอันตรายจากรังสีต่อไป

1.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. ปี 2532 S. Izumi, H. Kitaguchi, S. Mitani and H. Kikuchi[1] ได้ทำการวิจัยเรื่อง A Computerized Personal Dosimeter with an IC Card ได้พัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลโดยใช้ Microprocessor และใช้หัววัดแบบ Silicon Solid State Gamma-Ray IC Card ในเครื่องวัดปริมาณรังสีสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกับ Microprocessor ข้อมูลของผู้ปฏิบัติงานและประวัติการปฏิบัติงานทางด้านรังสีจะถูกบันทึกไว้ใน IC Card เครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดนี้สามารถเตือนให้ทราบถึงบริเวณที่มีรังสีสูง กำหนดการปฏิบัติงานในบริเวณที่มีรังสี และสามารถบันทึกข้อมูลการปฏิบัติงานทางรังสีได้ สามารถอ่านข้อมูลใน IC Card ได้โดยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์

2. ปี 2536 นาย สุขใจ เกียรติศักดิ์วัฒนา[2] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิดแสดงผลเชิงเลข (DEVELOPMENT OF A PERSONAL DIGITAL DOSIMETER) โดยเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นนี้ มีการออกแบบให้ใช้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถหาได้ภายในประเทศเป็นหลัก มีขนาดกะทัดรัดเพื่อพกพาขณะปฏิบัติงานได้สะดวก ทั้งนี้เพื่อให้มีราคาประหยัด บำรุงรักษาง่ายและทนต่อสภาพการใช้งานในสภาวะแวดล้อมภายในประเทศ เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลสามารถวัดปริมาณรังสีสะสมได้ในช่วง 0-9999 มิลลิเรินท์เกน มีระบบส่งเสียงเตือนให้ผู้ปฏิบัติงานทราบถึงสภาวะปริมาณรังสีในบริเวณที่ทำการปฏิบัติงาน 4 รูปแบบ คือ ปริมาณรังสีสะสมเมื่อถึงพิกัดที่ตั้งไว้ ปริมาณรังสีทุก 1 มิลลิเรินท์เกน ปริมาณรังสีที่สูงเกินพิกัดของหัววัดรังสี และอัตราปริมาณรังสีที่สามารถตั้งพิกัดได้ที่ระดับ 2.5, 10 และ 25 มิลลิเรินท์เกนต่อชั่วโมง

3. ปี 2543 นาย สุทธิเกียรติ ชลลาภ[3] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การพัฒนาระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงเลขชนิดส่งข้อมูลแบบไร้สาย (DEVELOPMENT OF A WIRELESS PERSONAL DIGITAL DOSIMETER SYSTEM) โดยระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นนี้ จะประกอบด้วยอุปกรณ์ 2 ส่วน ได้แก่ เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่ออกแบบให้ทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F84 แสดงผลเชิงเลขในย่าน 0-999 mR สามารถส่งข้อมูลปริมาณรังสีพร้อมรหัสประจำเครื่องซึ่งแปรเปลี่ยนได้ 16 ค่า ด้วยเครื่องส่งวิทยุย่านความถี่ UHF ขนาดกำลังส่ง 0.25 mW อีกส่วนหนึ่งเป็นระบบรับข้อมูลปริมาณรังสีส่งให้ชุดประมวลผลข้อมูลด้วยไมโครคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมควบคุมการทำงานออกแบบให้รับข้อมูลในแบบโพลลิ่ง (polling) เพื่อวัดปริมาณรังสีสะสมของผู้ปฏิบัติงานได้พร้อมกัน 16 ช่องสัญญาณ



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

แนวคิดและทฤษฎีระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

2.1 ความปลอดภัยด้านการปฏิบัติการเกี่ยวกับรังสี

รังสี (radiation) หมายถึง พลังงานรูปแบบหนึ่งที่แผ่กระจายจากต้นกำเนิดออกไปในตัวกลางใด ๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้แก่ รังสีเอกซ์ (X-ray) รังสีแกมมา (Gamma rays) และในรูปของอนุภาค ได้แก่ รังสีแอลฟา (Alpha rays) รังสีเบตา (Beta rays) รังสีนิวตรอน (Neutron) เป็นต้น โดยที่เราสามารถจำแนกรังสีออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. รังสีที่ก่อให้เกิดไอออน (ionizing radiation) คือรังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุในตัวกลางที่รังสีเคลื่อนผ่าน ได้แก่ รังสีเอกซ์ (x) รังสีแอลฟา (α) รังสีเบตา (β) รังสีแกมมา (γ) และรังสีนิวตรอน (n) เป็นต้น

2. รังสีที่ไม่ก่อให้เกิดไอออน (non-ionizing radiation) คือรังสีที่ไม่ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นประจุในตัวกลางที่รังสีเคลื่อนที่ผ่าน ได้แก่ รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่น อัลตราไวโอเลต และคลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น

ในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสีนั้น ความปลอดภัยเป็นสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงอยู่เสมอไม่ว่าผู้ปฏิบัติงานจะทำงานเกี่ยวข้องกับรังสีชนิดใดก็ตาม การประเมินอันตรายจากรังสีมีหลักเกณฑ์ในการทำงานคือ “ในการปฏิบัติงานทางรังสีใด ๆ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องได้รับรังสีไม่เกินระดับปริมาณรังสีที่ยอมให้รับได้ (dose limits)” ระดับปริมาณรังสีที่ยอมให้ผู้ปฏิบัติงานรับได้ ถูกกำหนดขึ้นโดยคณะกรรมการระหว่างประเทศว่าด้วยการป้องกันอันตรายจากรังสี หรือ ICRP (International Commission on Radiological Protection) ซึ่งคณะกรรมการนี้จะดูแลปรับปรุงข้อกำหนดเกี่ยวกับระดับรังสีที่ยอมให้รับได้อยู่เสมอตามความเจริญก้าวหน้าทางวิชาการ ทั้งนี้ได้มีการกำหนดระดับปริมาณรังสีไว้สำหรับบุคคลสองกลุ่ม กลุ่มแรกคือผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับรังสี อีกกลุ่มคือประชาชนทั่วไป ในทางปฏิบัติผู้ปฏิบัติงานทางรังสีจะต้องยึดหลักในการป้องกันอันตรายจากรังสีเพื่อควบคุมให้ตนเองและผู้อื่นได้รับปริมาณรังสีน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

2.1.1 หลักการป้องกันอันตรายจากรังสีเบื้องต้น

การป้องกันอันตรายจากรังสีนั้นมีปัจจัยที่จะต้องยึดถือเป็นหลักปฏิบัติอยู่ด้วยกัน 3 ประการคือ ระยะเวลาที่ได้รับรังสี ระยะห่างระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับต้นกำเนิดรังสี และการใช้วัสดุกำบังรังสี

ก. เวลา (time) ปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับนั้นขึ้นกับเวลาและอัตราการได้รับรังสีด้วยความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{total dose} = \text{dose rate} \times \text{exposure time}$$

เมื่อ

| | | |
|---------------|---|---------------------------------------|
| total dose | = | ปริมาณรังสีที่ได้รับทั้งหมด |
| dose rate | = | อัตราปริมาณรังสีในบริเวณที่ปฏิบัติงาน |
| exposure time | = | เวลาที่ได้รับรังสี |

จากความสัมพันธ์จะพบว่า ถ้าใช้เวลาในการปฏิบัติงานทางรังสีให้น้อยที่สุดจะช่วยให้ได้รับรังสีในปริมาณที่น้อยลงด้วยเช่นกัน

ข. ระยะทาง (distance) ปริมาณรังสี ณ บริเวณใด ๆ เป็นสัดส่วนผกผันกำลังสองกับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี โดยมีลักษณะความสัมพันธ์เป็นดังนี้

$$I \propto \frac{1}{d^2}$$

เมื่อ

| | | |
|---|---|---------------------------|
| I | = | ปริมาณรังสี ณ บริเวณใด ๆ |
| d | = | ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี |

จากความสัมพันธ์พบว่าปริมาณรังสีจะลดลงเมื่อปฏิบัติงานห่างจากต้นกำเนิดรังสีมากขึ้น

ค. วัสดุกำบังรังสี (shielding) เมื่อรังสีผ่านตัวกลางใด ๆ จะมีปริมาณลดลงตามกฎของแลมเบิร์ต (Lambert's Law) ดังนี้

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

- เมื่อ I = ปริมาณรังสีหลังผ่านวัสดุกำบังรังสี
 I_0 = ปริมาณรังสีก่อนผ่านวัสดุกำบังรังสี
 μ = สัมประสิทธิ์การลดทอนปริมาณรังสี (attenuation coefficient)
 x = ความหนาของวัสดุกำบังรังสี

ดังนั้นการปฏิบัติงานหลังวัสดุกำบังรังสีจะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับรังสีน้อยที่สุด

2.1.2 หน่วยวัดปริมาณรังสี[4]

เมื่อร่างกายของมนุษย์ได้รับรังสีที่มีพลังงานสูงพอจะทำให้เซลล์ภายในร่างกายเกิดการไอออนไนซ์ เป็นผลให้อะตอมหรือโมเลกุลของเซลล์ถูกทำลายและอาจทำให้เกิดอาการผิดปกติภายในร่างกาย จึงได้มีการกำหนดหน่วยของการวัดปริมาณรังสีและกัมมันตภาพรังสีขึ้นเพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการตรวจวัดและควบคุมความปลอดภัยทางด้านรังสี

ก. ปริมาณกัมมันตภาพรังสี (radioactivity)

เป็นหน่วยที่ใช้วัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีของไอโซโทปในขณะหนึ่ง เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณไอโซโทปรังสีในสารกัมมันตรังสีจะมีปริมาณลดลงพร้อมกับเกิดธาตุใหม่ขึ้น โดยจะเรียกลักษณะนี้ว่า การสลายตัว ดังนั้นการวัดปริมาณกัมมันตภาพรังสีในขณะหนึ่งจึงวัดได้โดยการหาปริมาณรังสีที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของธาตุในขณะนั้น หน่วยของปริมาณกัมมันตภาพรังสีเดิมอาศัยการอ้างอิงอัตราการเปลี่ยนแปลงทางนิวเคลียร์ของธาตุเรเดียมหนัก 1 กรัม ซึ่งสลายตัว 3.7×10^{10} ครั้งต่อวินาที (disintegration per second) เท่ากับหน่วย 1 คูรี (Ci)

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

ต่อมาเมื่อใช้ SI Unit ได้มีการกำหนดชื่อเฉพาะของหน่วยวัดกัมมันตภาพรังสีว่า เบกเคอเรล (Bq) โดยที่

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

และ

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

ข. ปริมาณเอกซ์โพเชอร์ (exposure)

เป็นหน่วยที่ใช้วัดปริมาณรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาในอากาศโดยพิจารณาจากคุณสมบัติของรังสีที่ทำให้อากาศเกิดการแตกตัวเป็นไอออน มีหน่วยเป็น เรินท์เกน (Roentgen, R) ปริมาณรังสี 1 เรินท์เกน หมายถึง ปริมาณรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาที่ทำให้อากาศ 0.001293 กรัม (ปริมาตรของอากาศ 1 ลบ.ซม. ที่ S.T.P) เกิดการแตกตัวให้ประจุไฟฟ้า 1 e.s.u. (electrostatic unit) หรือเกิดคู่อิออน 2.08×10^3 คู่ ปัจจุบัน SI Unit ใช้หน่วยเป็นคูลอมบ์ต่อกิโลกรัม (C/kg)

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

ค. ปริมาณรังสีดูดกลืน (absorbed dose)

เป็นหน่วยวัดที่พิจารณาจากปริมาณพลังงานของรังสีที่ถ่ายเทให้กับวัตถุต่อหน่วยมวล เดิมใช้หน่วยวัดเป็น แรด (radiation absorbed dose, rad) โดยปริมาณรังสีดูดกลืน 1 แรด หมายถึง พลังงานรังสี 100 เอิร์กซ์ (ergs) ที่ถ่ายให้วัตถุมวล 1 กรัม

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

ในปัจจุบัน SI Unit ใช้หน่วยของพลังงานเป็นจูล (joule) และหน่วยของมวลเป็นกิโลกรัม (kilogram) จึงได้มีการใช้หน่วยของปริมาณรังสีดูดกลืนเป็นจูลต่อกิโลกรัมหรือเรียกว่า เกรย์ (Gray, Gy) โดยที่

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg} = 100 \text{ rad}$$

ง. ปริมาณรังสีสมมูลย์ (dose equivalent, H)

เป็นหน่วยวัดที่นำเอาผลทางชีววิทยาที่เกิดจากรังสีต่างชนิดกันเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เนื่องจากรังสีแต่ละชนิดมีคุณสมบัติต่างกัน ผลกระทบต่อระบบชีววิทยาเมื่อได้รับรังสีที่ปริมาณรังสีดูดกลืนเดียวกันจึงแตกต่างกัน ปริมาณรังสีสมมูลย์นี้มีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างปริมาณรังสีดูดกลืน (D) และค่าแฟกเตอร์คุณภาพของรังสี (quality factor, Q)

$$H = DQ$$

ปริมาณรังสีสมมูลย์มีหน่วยเป็น เรม (roentgen equivalent man, rem) โดยที่ปริมาณรังสี 1 เรม หมายถึงปริมาณรังสีที่ก่อให้เกิดผลทางชีววิทยาเทียบเท่ากับผลที่เกิดจากรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา 1 แรด ต่อมาเมื่อใช้ SI Unit ได้มีการเปลี่ยนหน่วยปริมาณรังสีสมมูลย์เป็นซีเวิร์ต (Sievert, Sv) โดยที่

$$1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$$

ในปัจจุบัน ICRP ได้เปลี่ยนค่าแฟกเตอร์คุณภาพของรังสีมาใช้ค่า radiation weighting factor (W_R) แทน และใช้ equivalent dose แทน dose equivalent ดังนั้นในการหาผลรวมของ equivalent dose (H_T) ของกลุ่มเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ สามารถหาได้จากความสัมพันธ์

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

เมื่อ $D_{T,R}$ เท่ากับ absorbed dose เฉลี่ยทั่วบริเวณกลุ่มเนื้อเยื่อหรืออวัยวะ (T) เนื่องจากรังสี (R) ค่า W_R แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่า radiation weighting factor (W_R) [5]

| Type and energy range | Radiation weighting factor (W_R) |
|---|--------------------------------------|
| Photon, 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 |

2.2 เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

สำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสีนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการวัดปริมาณรังสีขนาดเล็กสำหรับบุคคลเพื่อบันทึกค่าปริมาณรังสีที่ได้รับอย่างต่อเนื่อง เพื่อตรวจวัดและควบคุมระดับปริมาณรังสีไม่ให้เกิดระดับอันตราย ในการประเมินค่าปริมาณรังสีจากเครื่องวัดเหล่านี้ จำเป็นต้องทราบการตอบสนองของเครื่องวัดต่อชนิดและพลังงานของรังสี ทราบถึงพิสัยของการวัดและผลของการวัดเมื่อเครื่องวัดนั้น ๆ อยู่ในสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน เครื่องวัดปริมาณรังสีจึงมีหลายชนิด เลือกชนิดตามความเหมาะสมของหน่วยงานหรือตามลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้

ก. फिल्मแบดจ์

เป็นอุปกรณ์วัดรังสีประจำตัวบุคคลที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย สามารถวัดได้ทั้งรังสีเบต้า รังสีแกมมา รังสีเอกซ์และเทอร์มัลนิวตรอน มีลักษณะเป็นกลัก ด้านในประกอบด้วยฟิล์มไวแสงและแผ่นกรองรังสี (filter) หลายชนิดที่มีความหนาต่างกัน เช่น อะลูมิเนียม แคลเซียม ตะกั่ว ชนิดของแผ่นกรองรังสีจะช่วยจำแนกประเภทของรังสี และความหนาของแผ่นกรองจะบอกถึงพลังงานของรังสีที่ได้รับ เมื่อแผ่นฟิล์มได้รับรังสีจะทำให้สารไวแสงที่เคลือบอยู่บนแผ่นฟิล์มเกิดปฏิกิริยาสร้างความดำต่าง ๆ ขึ้น ทำให้สามารถตรวจวัดปริมาณรังสีได้โดยการวัดเทียบจากความดำที่เกิดขึ้นบนฟิล์ม ทำการอ่านค่าความดำของฟิล์มด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนทางแสงที่เรียกว่า เดนซิโตมิเตอร์ (densitometer) แล้วทำการแปรผลของปริมาณรังสีที่ได้รับโดยใช้การเปรียบเทียบ (calibration) กับฟิล์มที่ได้รับรังสีมาตรฐานที่ปริมาณต่าง ๆ



รูปที่ 2.1 รูปร่างและลักษณะของฟิล์มแบดจ์

ข้อดีของฟิล์มแบดจ์คือ ใช้งานง่าย ราคาต่อแผ่นฟิล์มไม่แพง สามารถเก็บแผ่นฟิล์มไว้เป็นหลักฐานได้ช่วงหนึ่ง ประเมินค่าการรับรังสีโดยแยกชนิดและพลังงานต่าง ๆ ได้

ข้อเสียของฟิล์มแบดจ์คือ สามารถใช้งานได้ครั้งเดียว ตัวฟิล์มมีอายุจำกัด ผลของการวัดขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่ใช้และเก็บฟิล์ม ไม่สามารถทราบผลของการวัดได้ในทันที

ข. เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์โดสมิเตอร์

เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์โดสมิเตอร์ อาศัยหลักการดูดกลืนพลังงานของรังสีไว้ในอะตอมของผลึกวัดเช่น ลิเทียมฟลูออไรด์ (LiF) แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF₂) แคลเซียมซัลเฟต (CaSO₄) เป็นต้น ซึ่งเมื่อผลึกจากสารประกอบเหล่านี้ได้รับรังสีจะเกิดการยกระดับของอิเล็กตรอนและโฮลค้างไว้ในบริเวณกักเก็บ (trap) เมื่อผลึกได้รับปริมาณรังสีมาก อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นให้อยู่ในบริเวณกักเก็บก็จะมีจำนวนมากขึ้นด้วย

การอ่านค่าของปริมาณรังสีทำได้โดยการใช้พลังงานความร้อนกระตุ้น อิเล็กตรอนที่ถูกกระตุ้นจะลดระดับพลังงานลงและคายพลังงานที่สะสมไว้ออกมาในรูปของแสง สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดความเข้มแสงที่เปลี่ยนปริมาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ผลรวมของปริมาณแสงที่วัดได้จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้ จากนั้นนำค่าที่อ่านได้ไปเปรียบเทียบกับค่าปริมาณรังสีที่ทำการเปรียบเทียบมาตรฐานแล้วก็จะสามารถแปรผลเป็นค่าปริมาณรังสีที่ได้รับ สารเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติแตกต่างกัน เช่น LiF มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อและมีการตอบสนองต่อพลังงานของรังสีน้อย ส่วน CaF₂ มีความไวสูงกว่าและมีการตอบสนองต่อพลังงานของรังสีสูงกว่า LiF ดังนั้นการใช้สารเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์แต่ละชนิดจึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ใช้งาน



รูปที่ 2.2 รูปร่างและลักษณะของ TLD

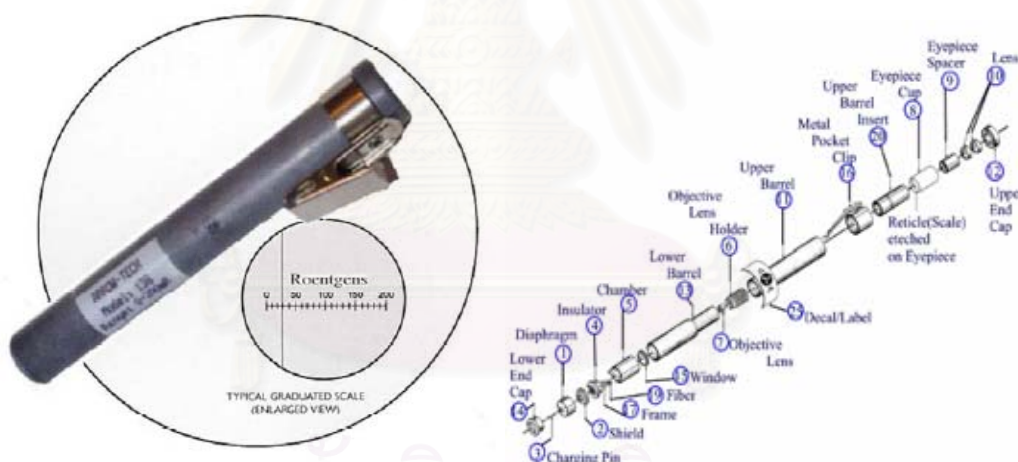
ข้อดีของ TLD คือ มีพิสัยในการวัดปริมาณรังสีที่กว้าง สภาวะแวดล้อม เช่น ความชื้น ไม่มีผลต่อการวัด สามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้หลังจากอ่านค่าปริมาณรังสีแล้ว

ข้อเสียของ TLD คือ ไม่สามารถอ่านค่าได้ทันที ข้อมูลปริมาณรังสีทั้งหมดจะถูกลบเมื่อผ่านการอ่านค่า ดังนั้นเครื่องอ่านค่าสัญญาณจะต้องทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำและผ่านการตรวจสอบอย่างดีก่อนทำการอ่านค่า

ค. เครื่องวัดปริมาณรังสีประเภทอ่านค่าได้ทันที

เครื่องวัดปริมาณรังสีประเภทนี้จะนำมาใช้เมื่อต้องการทราบปริมาณรังสีที่ได้รับในทันที โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องทำงานในบริเวณที่มีระดับปริมาณรังสีสูง เพื่อเตือนให้ทราบถึงระดับปริมาณรังสีที่ได้รับในช่วงเวลาหนึ่ง และควบคุมมิให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับรังสีมากจนถึงระดับที่กำหนดไว้ (dose limit)

เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแบบอิเล็กทรอนิกส์โทรสโคปไอออนไนเซชันแชมเบอร์ (pocket electroscope ionization chamber) เป็นเครื่องมือวัดรังสีเอกซ์หรือแกมมาที่ทำงานโดยอาศัยการอัดประจุไฟฟ้าให้กับขั้วไฟฟ้า (electrodes) ให้แก่ออกก่อนนำไปใช้ เมื่อเครื่องวัดได้รับรังสีจะทำให้เกิดการไอออนไนเซชันภายในกระบอก ปริมาณคู่อิออนที่เกิดขึ้นจะลบล้างประจุไฟฟ้าที่อัดไว้ให้กับขั้วไฟฟ้าให้ลดลงเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสี แผ่นขั้วไฟฟ้าจะหุบลง ทำให้สามารถอ่านค่าจากตำแหน่งของแผ่นขั้วไฟฟ้าบนสเกลที่มองผ่านกล้องขยายได้โดยตรง ค่าที่อ่านได้จากสเกลไม่ค่อยละเอียด นิยมใช้บริเวณที่มีรังสีสูง



รูปที่ 2.3 ลักษณะของเครื่องวัดปริมาณรังสีแบบอิเล็กทรอนิกส์โทรสโคปไอออนไนเซชันแชมเบอร์[6]

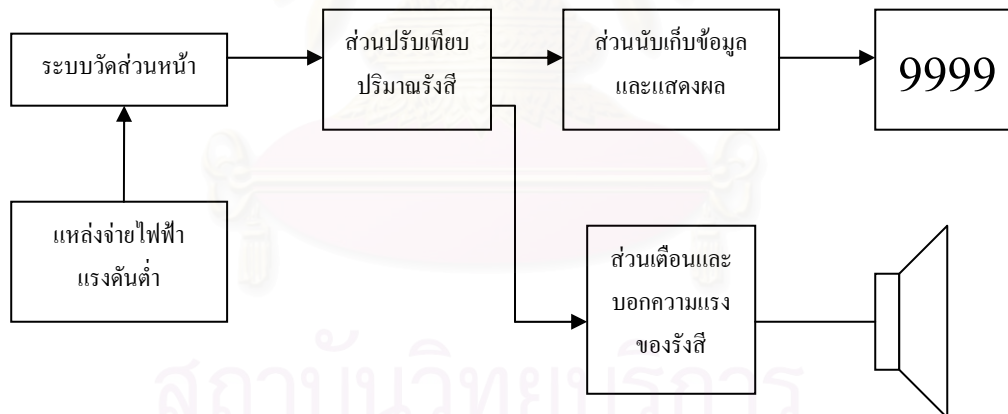
เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแบบอิเล็กทรอนิกส์ (electronic pocket dosimeter) เป็นโดสิมิเตอร์ที่มีขนาดเล็กและมีน้ำหนักเบา พกพาได้สะดวก สามารถวัดผลรวมของปริมาณรังสีแล้วทำการอ่านค่าในระบบเชิงเลขได้ทันที นอกจากนี้ยังมีระบบส่งเสียงเตือนเมื่อเข้าใกล้บริเวณที่มีรังสีสูงถึงระดับที่ควบคุมได้ ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของเครื่องวัดชนิดนี้ในขณะที่เครื่องวัดแบบอื่นไม่สามารถทำได้



รูปที่ 2.4 เครื่องวัดปริมาณรังสีแบบอิเล็กทรอนิกส์

2.3 หลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแบบอิเล็กทรอนิกส์

เป็นอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีที่ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่าง ๆ ได้แก่ ระบบวัดส่วนหน้า ระบบปรับเทียบปริมาณรังสี ระบบเก็บข้อมูลและแสดงผล ระบบส่งเสียงเตือนปริมาณรังสี แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ ดังแผนภาพรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แผนภาพของเครื่องวัดปริมาณรังสีแบบอิเล็กทรอนิกส์

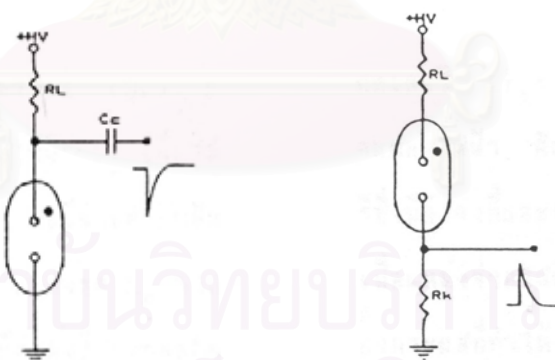
2.3.1 ระบบวัดส่วนหน้าของเครื่องวัด

ระบบวัดส่วนหน้าของเครื่องวัดปริมาณรังสีประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ หัววัดรังสีไอเกอร์ แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงและวงจรแปลงรูปสัญญาณพัลส์

2.3.1.1 หัววัดไกเกอร์ (Geiger-Mueller tube, GM) หัววัดไกเกอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานของรังสีที่ผ่านเข้าไปในหัววัดให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าในลักษณะพัลส์ ซึ่งปริมาณสัญญาณพัลส์จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสี หัววัดไกเกอร์ที่ใช้ในเครื่องวัดปริมาณรังสีแบบอิเล็กทรอนิกส์นี้จะมีขนาดเล็ก สามารถวัดรังสีได้ในช่วง 0.5-5000 mR/hr ทำงานที่แรงดันไฟฟ้า 400-650 โวลต์ ให้สัญญาณพัลส์ในระดับ 1-10 โวลต์ สามารถจัดวงจรหัววัดรังสีให้ส่งผ่านสัญญาณพัลส์ได้ทั้งแบบ AC และ DC coupling ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 ลักษณะของหัววัดไกเกอร์ขนาดเล็ก



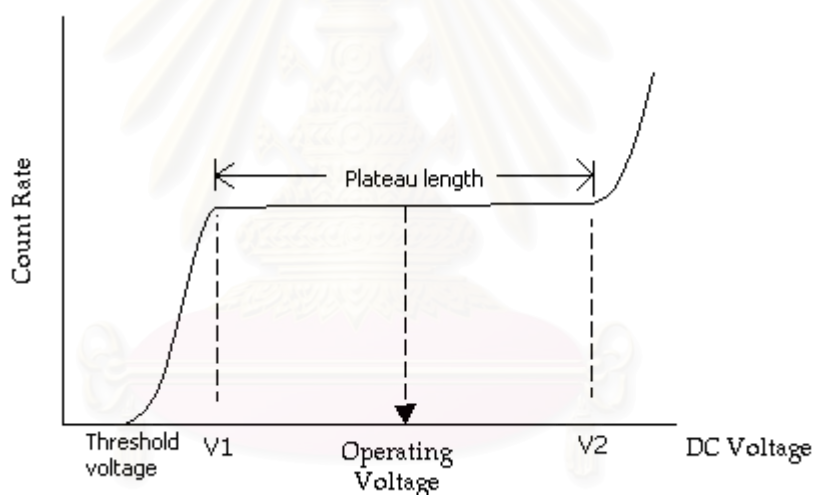
ก. AC coupling

ข. DC coupling

รูปที่ 2.7 วงจรหัววัดรังสีไกเกอร์แบบ AC และ DC Coupling

2.3.1.2 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง

หัววัดรังสีไกเกอร์จะทำงานได้ต้องจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงระหว่างขั้วแคโทดและขั้วแอนโนดให้ถึง ณ จุดทำงานของหัววัดรังสี (operating voltage) เนื่องจากหัววัดไกเกอร์แต่ละชนิดจะใช้แรงดันไฟฟ้าแตกต่างกันตามโครงสร้างของหัววัดชนิดนั้น ๆ จึงต้องมีการหาแรงดันไฟฟ้า ณ จุดทำงานของหัววัดไกเกอร์ เพื่อให้ได้ค่าการวัดรังสีที่ถูกต้อง โดยทำการจัดวงจรหัววัดไกเกอร์ซึ่งประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง เครื่องตั้งเวลาและเครื่องนับรังสี ทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับหัววัดจนกระทั่งแรงดันไฟฟ้าสูงถึงค่าหนึ่ง หัววัดจะเริ่มนับรังสี เรียกจุดนี้ว่า Threshold voltage หลังจากนั้นเพิ่มแรงดันไฟฟ้าและบันทึกอัตราการนับรังสีไปเรื่อย ๆ จนถึงบริเวณที่มีอัตราการนับมากผิดปกติให้หยุดทำการเพิ่มแรงดันไฟฟ้า แล้วนำค่าความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและอัตราการนับรังสีมาเขียนกราฟจะได้เส้นกราฟแสดงคุณสมบัติของหัววัดรังสีไกเกอร์ที่เรียกว่า Plateau curve ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 คุณสมบัติเส้นกราฟพลาโตของหัววัดรังสีไกเกอร์

การเลือกไฟฟ้าแรงดันสูงใช้งานจะเลือกในช่วง 25% - 50% ของช่วงพลาโต เพื่อยืดอายุการใช้งานของหัววัดไกเกอร์

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงจะต้องมีเสถียรภาพที่ค่อนข้างสูง ภายในเครื่องวัดรังสีประจำบุคคลที่มีขนาดเล็ก แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงจำเป็นต้องมีขนาดเล็กและใช้การแปลงไฟฟ้าแรงดันสูงจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแรงดันต่ำของแบตเตอรี่ โดยอาศัยหลักการทำงานของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ (dc to dc converter) ความถี่สูง มีส่วนประกอบดังแผนภาพรูปที่ 2.9



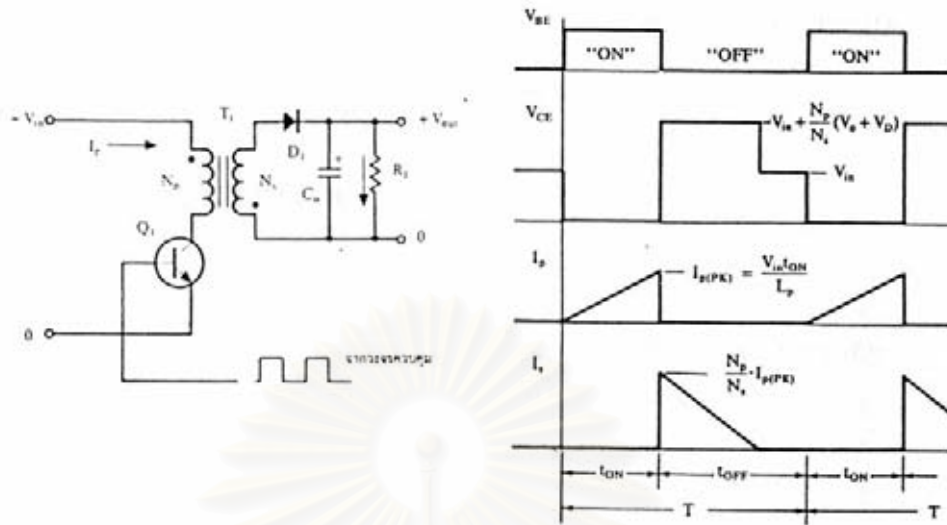
รูปที่ 2.9 แผนภาพของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ (dc to dc converter)

วงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูง (*high frequency inverter circuit*) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงด้วยหม้อแปลงไฟฟ้าแบบสวิตซิง (*switching transformer*) ร่วมกับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่สวิตซ์ซึ่งจะทำการสวิตซ์ตามความถี่ที่วงจรควบคุมกำหนด และหม้อแปลงไฟฟ้าจะทำหน้าที่เปลี่ยนขนาดของแรงดันไฟฟ้าให้เพิ่มขึ้น (*step up*)

วงจรเรียงกระแสและทวีแรงดัน (*rectifier and multiplier circuit*) ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงพร้อมทั้งทวีแรงดันเป็นจำนวนเท่าที่ต้องการเพื่อลดการทำงานของหม้อแปลงเพื่อจ่ายให้กับโหลด

วงจรกรองกระแส (*filter circuit*) ทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นจากการสวิตซ์ของพัลส์ให้เป็นกระแสไฟฟ้าให้ราบเรียบมากขึ้น

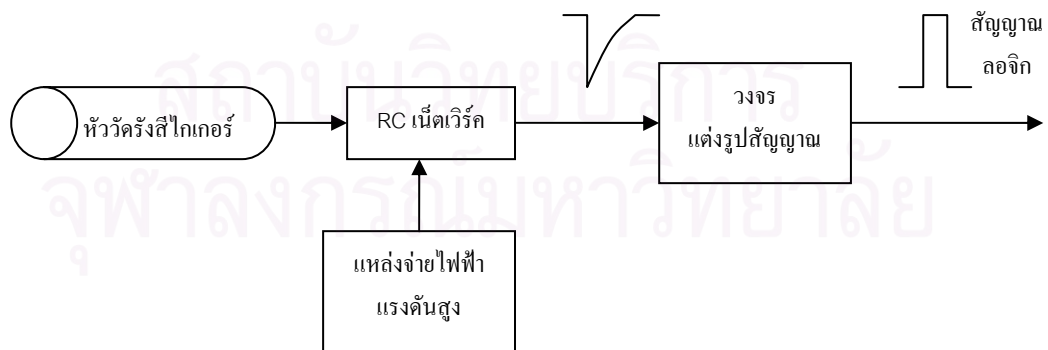
วงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกันหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดวงจรภายในยกตัวอย่างเช่น วงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์ (*flyback converter circuit*) ดังรูปที่ 2.10 การทำงานของวงจรอาศัยการสวิตซ์ของทรานซิสเตอร์ (Q_1) ให้นำกระแสและหยุดนำกระแสสลับกันตามความถี่สัญญาณทางไฟฟ้าจากวงจรกำเนิดความถี่ ในขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q_1 นำกระแสจะทำให้กระแส (I_p) ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิ (N_p) เกิดกระแสเหนี่ยวนำในขดลวดทุติยภูมิ (N_s) เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_1 นำกระแส ไดโอด (D_1) จะอยู่ในลักษณะไบอัสกลับ (*reverse bias*) จึงไม่มีกระแสไหลผ่านโหลด (R_L) ขดลวดปฐมภูมิจะสะสมพลังงานไว้ เมื่อทรานซิสเตอร์ Q_1 หยุดนำกระแส ไดโอด D_1 จะนำกระแสเนื่องจากขดลวดปฐมภูมิทำการถ่ายพลังงานที่สะสมไว้ไปยังขดลวดทุติยภูมิ ทำให้มีกระแสไหลผ่านไปประจุบนตัวเก็บประจุ (C_o) และสร้างแรงดันไฟฟ้าบนโหลด (R_L)



รูปที่ 2.10 ลักษณะวงจรฟลายแบคคอนเวอร์เตอร์แบบพื้นฐาน[7]

2.3.1.3 วงจรแต่งรูปสัญญาณ

เนื่องจากสัญญาณที่ได้รับจากหัววัดรังสีมีลักษณะเป็นสัญญาณรูปเข็ม (needle pulse) ในช่วงเวลาสั้นและมีขนาดของสัญญาณต่างกันในพัลส์แต่ละลูกตามภาวะของการกำเนิดสัญญาณ แต่วงจรนับอิเล็กทรอนิกส์ทำงานในระบบเชิงตัวเลขซึ่งต้องการสัญญาณลอจิก ดังนั้นเพื่อให้การนับปริมาณรังสีมีประสิทธิภาพ ระบบวัดส่วนหน้าจึงจำเป็นต้องมีวงจรแต่งรูปสัญญาณจากหัววัดรังสีให้เป็นสัญญาณลอจิก ซึ่งมีขนาดของความสัมพันธ์



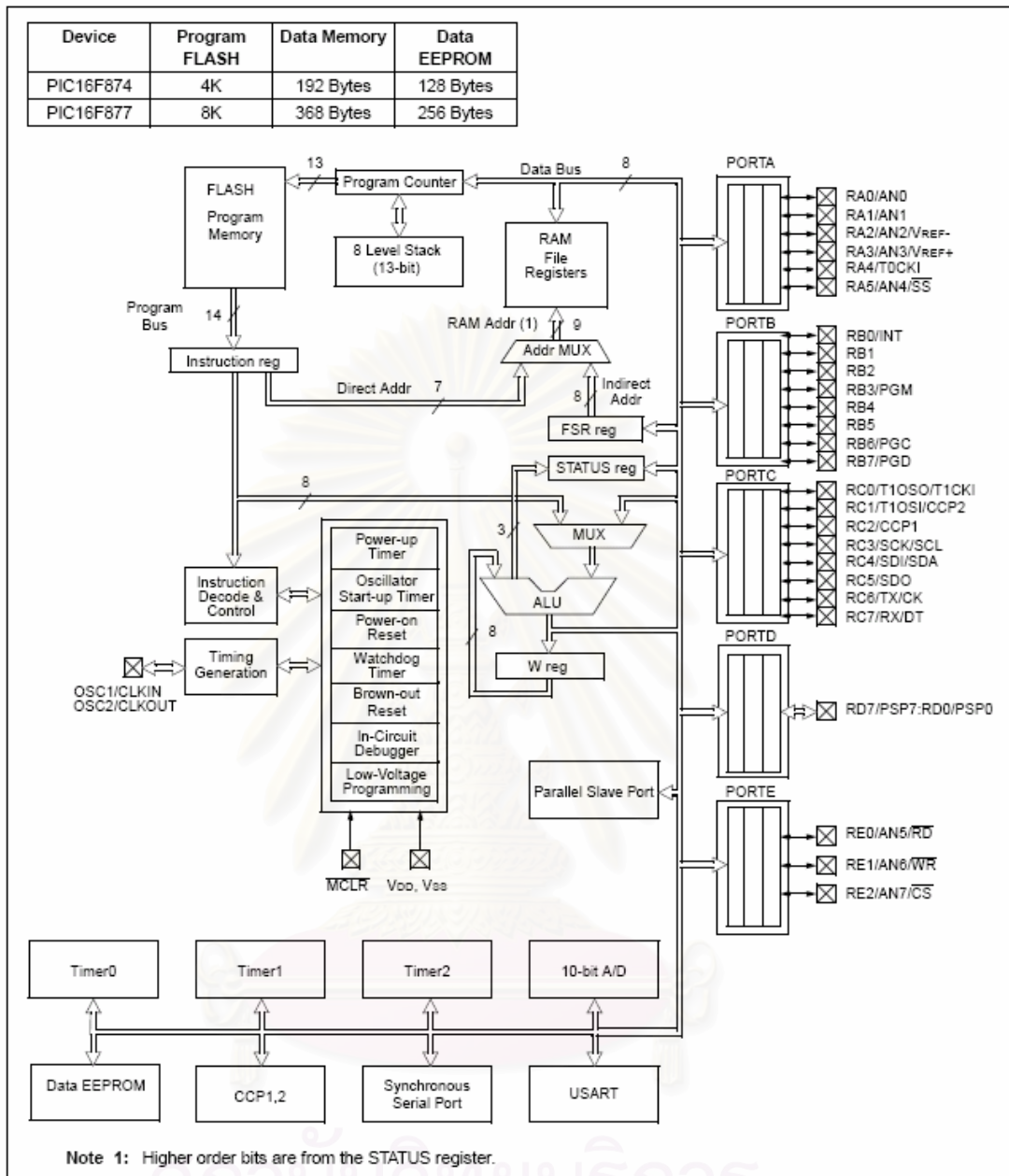
รูปที่ 2.11 ระบบวัดส่วนหน้าและรูปสัญญาณพัลส์

2.3.2 ระบบเปรียบเทียบปริมาณรังสี ระบบเตือนปริมาณรังสี ระบบนับและแสดงผล

ในปัจจุบันนั้นได้มีการพัฒนาเครื่องมือวัดรังสีให้มีขนาดเล็กลง แต่มีสมรรถนะการทำงานที่เหมือนเดิม ลดการใช้ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้เครื่องมือใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ ที่เห็นได้ชัดเจนในส่วนของเทคโนโลยีระบบเชิงตัวเลขคือการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการออกแบบโปรแกรมให้ทำงานแทนฟังก์ชันของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในระบบเปรียบเทียบปริมาณรังสี ระบบเตือนปริมาณรังสีและระบบนับและแสดงผล

2.4 การประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในเครื่องวัดปริมาณรังสี

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน หนึ่งในนั้นคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC (Peripheral Interface Controller) PIC16F877 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับการออกแบบและพัฒนาโดยบริษัทไมโครชิปเทคโนโลยี (Microchip Technology) มีหน่วยความจำโปรแกรมที่เป็นแบบแฟลช (flash program memory) ขนาด 8 กิโลไบต์ (1 ไบต์ของ PIC มีขนาด 14 บิต) สามารถเขียนและลบได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้านับพันครั้ง มีหน่วยความจำข้อมูลที่เป็นแรม (Random Access Memory, RAM) ขนาด 368 ไบต์ และที่เป็นแบบอีพรอม (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory, EEPROM) ขนาด 256 ไบต์ มีจำนวนพอร์ตที่จัดสรรไว้สำหรับอินพุต/เอาต์พุต 33 บิต สามารถตอบสนองสัญญาณอินเทอร์รัปต์ได้ 14 เงื่อนไข ใช้แรงดันในการโปรแกรม 5 โวลต์ กินกระแส 1 ไมโครแอมป์ในสถานะแสดงตบบายต์ และสูงสุด 2 มิลลิแอมป์ ในขณะที่ใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่ 4 เมกะเฮิร์ต นอกจากนี้ PIC16F877 ยังจัดเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จัดอยู่ในกลุ่มของไมโครโปรเซสเซอร์แบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) ซึ่งมีชุดคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง และทุกคำสั่งทำงานสิ้นสุดที่สัญญาณนาฬิกาเพียงลูกเดียว อีกทั้งยังทำงานในลักษณะไปป์ไลน์ (pipe line) จึงมีความเร็วในการทำงานสูงมาก มีโครงสร้างสถาปัตยกรรมดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877[8]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.1 รายละเอียดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

การจัดสรรหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล

ก. หน่วยความจำโปรแกรม

เป็นหน่วยความจำที่ใช้สำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบ หน่วยความจำโปรแกรมนี้อ่านได้อย่างเดียวและจะสามารถเขียนหรือแก้ไขได้ก็ต่อเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 อยู่ในโหมดของการโปรแกรมเท่านั้น

ข. หน่วยความจำข้อมูล

พื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลใน PIC16F877 ได้รับการจัดสรรเป็น 2 ส่วนคือ พื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษ (Special Function Registers, SFR) และพื้นที่ของรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป (General Purpose Registers, GPR) การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลแบ่งออกเป็น 4 แบนก์เพื่อเก็บค่าของ SFR และ GPR โดยสามารถเลือกแบงก์ได้จากการกำหนดรีจิสเตอร์สถานะ (status register) ของ PIC16F877

| | | | | File Address | | | |
|--------------------------------------|-----|--------------------------------------|------------|--------------------------------------|--------------|--------------------------------------|--------------|
| Indirect addr. ^(*) | 00h | Indirect addr. ^(*) | 80h | Indirect addr. ^(*) | 100h | Indirect addr. ^(*) | 180h |
| TMR0 | 01h | OPTION_REG | 81h | TMR0 | 101h | OPTION_REG | 181h |
| PCL | 02h | PCL | 82h | PCL | 102h | PCL | 182h |
| STATUS | 03h | STATUS | 83h | STATUS | 103h | STATUS | 183h |
| FSR | 04h | FSR | 84h | FSR | 104h | FSR | 184h |
| PORTA | 05h | TRISA | 85h | | 105h | | 185h |
| PORTB | 06h | TRISB | 86h | PORTB | 106h | TRISB | 186h |
| PORTC | 07h | TRISC | 87h | | 107h | | 187h |
| PORTD ^(*) | 08h | TRISD ^(*) | 88h | | 108h | | 188h |
| PORTE ^(*) | 09h | TRISE ^(*) | 89h | | 109h | | 189h |
| PCLATH | 0Ah | PCLATH | 8Ah | PCLATH | 10Ah | PCLATH | 18Ah |
| INTCON | 0Bh | INTCON | 8Bh | INTCON | 10Bh | INTCON | 18Bh |
| PIR1 | 0Ch | PIE1 | 8Ch | EEDATA | 10Ch | EECON1 | 18Ch |
| PIR2 | 0Dh | PIE2 | 8Dh | EEADR | 10Dh | EECON2 | 18Dh |
| TMR1L | 0Eh | PCON | 8Eh | EEDATH | 10Eh | Reserved ⁽²⁾ | 18Eh |
| TMR1H | 0Fh | | 8Fh | EEADRH | 10Fh | Reserved ⁽²⁾ | 18Fh |
| T1CON | 10h | | 90h | | 110h | | 190h |
| TMR2 | 11h | SSPCON2 | 91h | | 111h | | 191h |
| T2CON | 12h | PR2 | 92h | | 112h | | 192h |
| SSPBUF | 13h | SSPADD | 93h | | 113h | | 193h |
| SSPCON | 14h | SSPSTAT | 94h | | 114h | | 194h |
| CCPR1L | 15h | | 95h | | 115h | | 195h |
| CCPR1H | 16h | | 96h | | 116h | | 196h |
| CCP1CON | 17h | | 97h | General Purpose Register 16 Bytes | 117h | General Purpose Register 16 Bytes | 197h |
| RCSTA | 18h | TXSTA | 98h | | 118h | | 198h |
| TXREG | 19h | SPBRG | 99h | | 119h | | 199h |
| RCREG | 1Ah | | 9Ah | | 11Ah | | 19Ah |
| CCPR2L | 1Bh | | 9Bh | | 11Bh | | 19Bh |
| CCPR2H | 1Ch | | 9Ch | | 11Ch | | 19Ch |
| CCP2CON | 1Dh | | 9Dh | | 11Dh | | 19Dh |
| ADRESH | 1Eh | ADRESL | 9Eh | | 11Eh | | 19Eh |
| ADCON0 | 1Fh | ADCON1 | 9Fh | | 11Fh | | 19Fh |
| | 20h | | A0h | | 120h | | 1A0h |
| General Purpose Register 96 Bytes | | General Purpose Register 80 Bytes | | General Purpose Register 80 Bytes | | General Purpose Register 80 Bytes | |
| | | accesses 70h-7Fh | EFh F0h | accesses 70h-7Fh | 16Fh 170h | accesses 70h - 7Fh | 1EFh 1F0h |
| Bank 0 | 7Fh | Bank 1 | FFh | Bank 2 | 17Fh | Bank 3 | 1FFh |

Unimplemented data memory locations, read as '0'.
 * Not a physical register.
Note 1: These registers are not implemented on 28-pin devices.
2: These registers are reserved, maintain these registers clear.

รูปที่ 2.13 หน่วยความจำข้อมูลในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877[8]

2.4.2 พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 มีพอร์ตสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก 5 พอร์ต คือพอร์ต A, B, C, D และ พอร์ต E รายละเอียดของพอร์ตใช้งานทั้งหมดแสดงในตารางที่ 2.2 ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดพอร์ตใช้งานทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877[8]

| Pin Name | DIP Pin# | PLCC Pin# | QFP Pin# | I/O/P Type | Buffer Type | Description |
|-----------------|----------|-----------|----------|------------|------------------------|--|
| OSC1/CLKIN | 13 | 14 | 30 | I | ST/CMOS ⁽⁴⁾ | Oscillator crystal input/external clock source input. |
| OSC2/CLKOUT | 14 | 15 | 31 | O | — | Oscillator crystal output. Connects to crystal or resonator in crystal oscillator mode. In RC mode, OSC2 pin outputs CLK-OUT which has 1/4 the frequency of OSC1, and denotes the instruction cycle rate. |
| MCLR/Vpp/THV | 1 | 2 | 18 | I/P | ST | Master clear (reset) input or programming voltage input or high voltage test mode control. This pin is an active low reset to the device. |
| RA0/AN0 | 2 | 3 | 19 | I/O | TTL | PORTA is a bi-directional I/O port. RA0 can also be analog input0 RA1 can also be analog input1 RA2 can also be analog input2 or negative analog reference voltage RA3 can also be analog input3 or positive analog reference voltage RA4 can also be the clock input to the Timer0 timer/counter. Output is open drain type. RA5 can also be analog input4 or the slave select for the synchronous serial port. |
| RA1/AN1 | 3 | 4 | 20 | I/O | TTL | |
| RA2/AN2/VREF- | 4 | 5 | 21 | I/O | TTL | |
| RA3/AN3/VREF+ | 5 | 6 | 22 | I/O | TTL | |
| RA4/T0CKI | 6 | 7 | 23 | I/O | ST | |
| RA5/SS/AN4 | 7 | 8 | 24 | I/O | TTL | |
| RB0/INT | 33 | 36 | 8 | I/O | TTL/ST ⁽¹⁾ | PORTB is a bi-directional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-up on all inputs. RB0 can also be the external interrupt pin. RB3 can also be the low voltage programming input Interrupt on change pin. Interrupt on change pin. Interrupt on change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming clock. Interrupt on change pin or In-Circuit Debugger pin. Serial programming data. |
| RB1 | 34 | 37 | 9 | I/O | TTL | |
| RB2 | 35 | 38 | 10 | I/O | TTL | |
| RB3/PGM | 36 | 39 | 11 | I/O | TTL | |
| RB4 | 37 | 41 | 14 | I/O | TTL | |
| RB5 | 38 | 42 | 15 | I/O | TTL | |
| RB6/PGC | 39 | 43 | 16 | I/O | TTL/ST ⁽²⁾ | |
| RB7/PGD | 40 | 44 | 17 | I/O | TTL/ST ⁽²⁾ | |
| RC0/T1OSO/T1CKI | 15 | 16 | 32 | I/O | ST | PORTC is a bi-directional I/O port. RC0 can also be the Timer1 oscillator output or a Timer1 clock input. RC1 can also be the Timer1 oscillator input or Capture2 input/Compare2 output/PWM2 output. RC2 can also be the Capture1 input/Compare1 output/PWM1 output. RC3 can also be the synchronous serial clock input/output for both SPI and I ² C modes. RC4 can also be the SPI Data In (SPI mode) or data I/O (I ² C mode). RC5 can also be the SPI Data Out (SPI mode). RC6 can also be the USART Asynchronous Transmit or Synchronous Clock. RC7 can also be the USART Asynchronous Receive or Synchronous Data. |
| RC1/T1OSI/CCP2 | 16 | 18 | 35 | I/O | ST | |
| RC2/CCP1 | 17 | 19 | 36 | I/O | ST | |
| RC3/SCK/SCL | 18 | 20 | 37 | I/O | ST | |
| RC4/SDI/SDA | 23 | 25 | 42 | I/O | ST | |
| RC5/SDO | 24 | 26 | 43 | I/O | ST | |
| RC6/TX/CK | 25 | 27 | 44 | I/O | ST | |
| RC7/RX/DT | 26 | 29 | 1 | I/O | ST | |

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

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

ตารางที่ 2.2 แสดงรายละเอียดพอร์ตที่ใช้งานทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 (ต่อ)[8]

| Pin Name | DIP Pin# | PLCC Pin# | QFP Pin# | I/O/P Type | Buffer Type | Description | |
|---------------------------|----------|------------|-------------|------------|-----------------------|--|---|
| RD0/PSP0 | 19 | 21 | 38 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | PORTD is a bi-directional I/O port or parallel slave port when interfacing to a microprocessor bus. | |
| RD1/PSP1 | 20 | 22 | 39 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | | |
| RD2/PSP2 | 21 | 23 | 40 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | | |
| RD3/PSP3 | 22 | 24 | 41 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | | |
| RD4/PSP4 | 27 | 30 | 2 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | | |
| RD5/PSP5 | 28 | 31 | 3 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | | |
| RD6/PSP6 | 29 | 32 | 4 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | | |
| RD7/PSP7 | 30 | 33 | 5 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | | |
| RE0/ \overline{RD} /AN5 | 8 | 9 | 25 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | PORTE is a bi-directional I/O port. RE0 can also be read control for the parallel slave port, or analog input5. | |
| RE1/ \overline{WR} /AN6 | 9 | 10 | 26 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | | RE1 can also be write control for the parallel slave port, or analog input6. |
| RE2/ \overline{CS} /AN7 | 10 | 11 | 27 | I/O | ST/TTL ⁽³⁾ | | RE2 can also be select control for the parallel slave port, or analog input7. |
| Vss | 12,31 | 13,34 | 6,29 | P | — | Ground reference for logic and I/O pins. | |
| VDD | 11,32 | 12,35 | 7,28 | P | — | Positive supply for logic and I/O pins. | |
| NC | — | 1,17,28,40 | 12,13,33,34 | | — | These pins are not internally connected. These pins should be left unconnected. | |

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

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

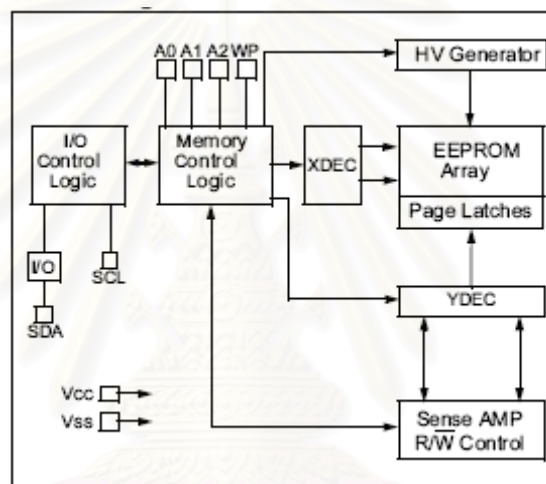
จากโครงสร้างและการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 จะเห็นได้ว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในเครื่องมือวัดรังสีได้ด้วยการโปรแกรมฟังก์ชันจัดการสัญญาณเชิงเลขภายในตัวได้สะดวก

2.5 หน่วยความจำ EEPROM แบบ I²C[9]

I²C Bus (Inter Integrate Circuit Bus) เป็นลักษณะการติดต่อสื่อสารอนุกรมแบบหนึ่ง ถูกคิดค้นและพัฒนาโดยฟิลิปส์เซมิคอนดักเตอร์ (Philips Semiconductor) และได้มีการพัฒนาเรื่อยมาโดยผู้ผลิตรายอื่น ๆ มีข้อดีคือใช้สัญญาณในการเชื่อมต่อเพียงสองเส้นได้แก่ SCL และ SDA แต่สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์จำนวนหลาย ๆ ตัวในบัสเดียวกันได้ เนื่องจากวงจรต่าง ๆ มุ่งเน้นที่จะออกแบบให้มีขนาดเล็กกระทัดรัด ดังนั้นอุปกรณ์จำพวก chip support ต่าง ๆ ก็เริ่มมีการออกแบบให้ใช้การเชื่อมเป็นแบบ I²C Bus มากขึ้น ข้อกำหนดของการเชื่อมต่อบัสแบบนี้จะมีรูปแบบที่เป็นมาตรฐานเหมือนกัน แต่อาจมีความแตกต่างกันบ้างในบางจุดเช่น จำนวนไบต์ของข้อมูลที่ใช้ในการสื่อสารของอุปกรณ์แต่ละประเภท อาจใช้จำนวนไบต์มากน้อยไม่เท่ากัน แต่รูปแบบโดยรวมจะมีความหมายเหมือนกัน

2.5.1 คุณสมบัติของหน่วยความจำ EEPROM แบบ I²C ตระกูล 24XX

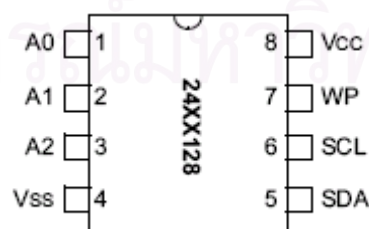
หน่วยความจำแบบ EEPROM จัดเป็นหน่วยความจำแบบถาวร เนื่องจากสามารถเก็บรักษาข้อมูลภายในตัวไว้ได้ถึงแม้ว่าจะไม่มีการจ่ายไฟเลี้ยงให้กับตัวหน่วยความจำก็ตาม ซึ่งหน่วยความจำแบบนี้จะมีจุดเด่นประการหนึ่งคือสามารถทำการลบและเขียนซ้ำได้หลาย ๆ ครั้งด้วยสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งทำให้มีความสะดวกมากในการออกแบบวงจรและการนำไปประยุกต์ใช้งาน หน่วยความจำตระกูล 24XX จะมีคุณสมบัติคือ มีตัวถังขนาดเล็ก ใช้สัญญาณในการเชื่อมต่อเพียงเส้นเดียว สามารถลบและเขียนซ้ำได้ถึง 1 ล้านครั้ง และสามารถเก็บรักษาข้อมูลไว้ได้นานหลายปี จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาข้อมูล



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของหน่วยความจำ EEPROM ตระกูล 24XX[10]

2.5.2 การจัดหาสัญญาณของหน่วยความจำ 24XX

รูปร่างของหน่วยความจำตระกูล 24XX นั้นมีขนาด 8 ขา มีลักษณะการจัดเรียงขาสัญญาณดังนี้



รูปที่ 2.15 ลักษณะขาสัญญาณของหน่วยความจำตระกูล 24XX

A0, A1, A2 เป็นขาสัญญาณอินพุตที่ใช้กำหนดตำแหน่งการทำงานของ EEPROM แต่ละตัวที่เชื่อมต่อกันภายในบัส ซึ่งขาสัญญาณนี้แต่ละตัวอาจมีไม่เท่ากัน บางตัวอาจไม่มีเลย โดยถ้าหน่วยความจำตัวใดไม่มีการออกแบบให้กำหนดค่าแอดเดรสจากทางฮาร์ดแวร์ได้ ขาสัญญาณเหล่านี้จะถูกปล่อยว่าง (NC) ไว้

Vss เป็นขาสัญญาณอ้างอิงหรือ ขากราวน์ (Ground, GND)

SDA เป็นขาข้อมูลแบบ 2 ทิศทาง ใช้สำหรับรับส่งข้อมูลระหว่าง EEPROM และ ไมโครคอนโทรลเลอร์

SCL เป็นขาสัญญาณนาฬิกาอินพุตของ EEPROM ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และ EEPROM

WP เป็นขาสัญญาณที่ใช้ป้องกันการเขียนข้อมูลให้กับ EEPROM ถ้าขานี้มีสถานะเป็น 0 จะสามารถเขียนข้อมูลให้กับ EEPROM ได้ แต่ถ้าขานี้มีสถานะเป็น 1 จะไม่สามารถเขียนข้อมูลให้กับ EEPROM ได้

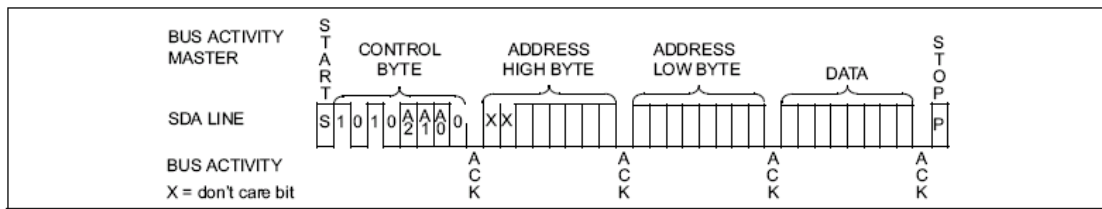
Vcc เป็นขาสัญญาณไฟเลี้ยงวงจรของ EEPROM

2.5.3 การเขียนข้อมูลให้กับหน่วยความจำ

สำหรับวิธีการอ่านเขียนข้อมูลของหน่วยความจำแต่ละเบอร์นั้น โดยมากแล้วจะมีรูปแบบที่คล้ายกัน แต่อาจแตกต่างกันบ้างในบางเบอร์หรือบางบริษัทผู้ผลิต เช่น ความเร็วในการเขียน ดังนั้นเมื่อจะเลือกใช้หน่วยความจำเบอร์ใด ควรศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมถึงคุณสมบัติของหน่วยความจำนั้นด้วย

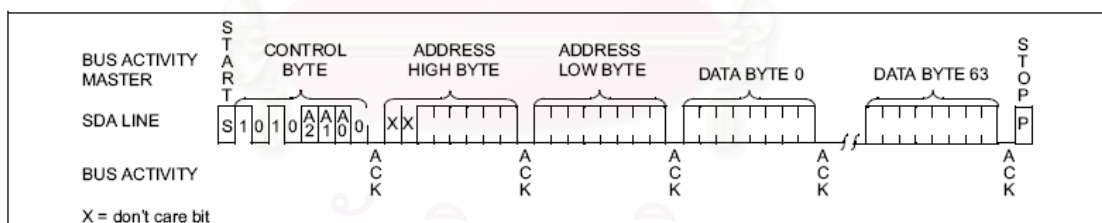
ในการเขียนข้อมูลให้กับหน่วยความจำ EEPROM นั้น จะมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ คือ การเขียนแบบทีละไบต์ (byte write) และการเขียนแบบทีละหน้า (page write)

ก. Byte write เป็นการเขียนข้อมูลให้กับหน่วยความจำครั้งละ 1 ไบต์ โดยการเขียนข้อมูลแบบนี้จะสามารถเขียนข้อมูลในตำแหน่งใด ๆ ภายในตัวหน่วยความจำก็ได้ ซึ่งทุก ๆ ครั้งที่จะเขียนข้อมูลให้หน่วยความจำนั้น หลังจากสร้างสถานะเริ่มต้น (start condition) แล้วจะต้องส่งค่ารหัสควบคุม (control byte) จำนวน 1 ไบต์ ตามด้วยค่าไบต์แอดเดรส (address byte) ซึ่งอาจเป็น 1 หรือ 2 ไบต์ ขึ้นอยู่กับหน่วยความจำตัวที่ใช้ จากนั้นจึงตามด้วยไบต์ข้อมูลที่ต้องการจะเขียนอีก 1 ไบต์ แล้วจึงสิ้นสุดด้วยสถานะสิ้นสุด (stop condition)



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการเขียนข้อมูลแบบครั้งละไบต์[10]

ข. Page write เป็นการเขียนข้อมูลให้กับหน่วยความจำครั้งละหลาย ๆ ไบต์ โดยการตั้งเขียนข้อมูลแบบนี้จะสามารถเขียนข้อมูลในตำแหน่งหน่วยความจำที่อยู่ใน page เดียวกันได้ ครั้งละหลาย ๆ ไบต์ ซึ่งทุก ๆ ครั้งที่จะเขียนข้อมูลให้กับหน่วยความจำนั้น หลังจากสร้างสถานะเริ่มต้นแล้ว จะต้องส่งค่ารหัสควบคุมจำนวน 1 ไบต์ ตามด้วยค่าไบต์แอดเดรส จำนวน 1 หรือ 2 ไบต์ ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของหน่วยความจำตัวที่ใช้ จากนั้นตามด้วยไบต์ข้อมูลที่จะเขียนอีกครั้งละ 1 ไบต์ ต่อเนื่องกันไปเรื่อย ๆ แล้วจึงจบด้วยสถานะสิ้นสุดเป็นลำดับสุดท้าย โดยจำนวนของไบต์ข้อมูลนั้นจะต้องดูจากขนาดของ page ที่กำหนดไว้ในหน่วยความจำแต่ละเบอร์ว่ามีขนาดกี่ไบต์ การเขียนข้อมูลให้กับหน่วยความจำวิธีนี้จะมีข้อดีคือ ไม่ต้องเสียเวลาในการส่งค่าควบคุมและแอดเดรสใหม่บ่อย ๆ แต่มีข้อจำกัดคือ ตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำที่ต้องการจะเขียนนั้นจะต้องต่อเนื่องกัน ไม่สามารถกระโดดข้ามได้ และในการเขียนแต่ละครั้งต้องไม่เกิน page ด้วย เนื่องจากเมื่อตำแหน่งแอดเดรสของ EEPROM ถูกเพิ่มเป็นค่าสูงสุดใน page แล้ว ค่าตำแหน่งแอดเดรสจะวนกลับไปเป็นค่าตำแหน่งเริ่มต้นของ page ใหม่

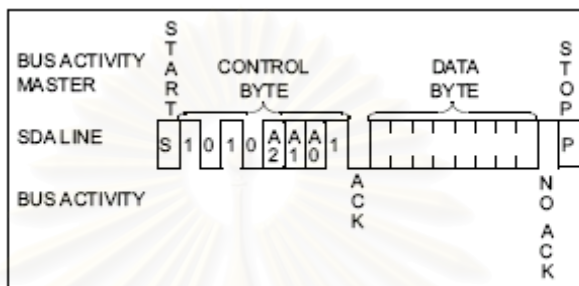


รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการเขียนข้อมูลแบบครั้งละหน้า[10]

2.5.4 การอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ

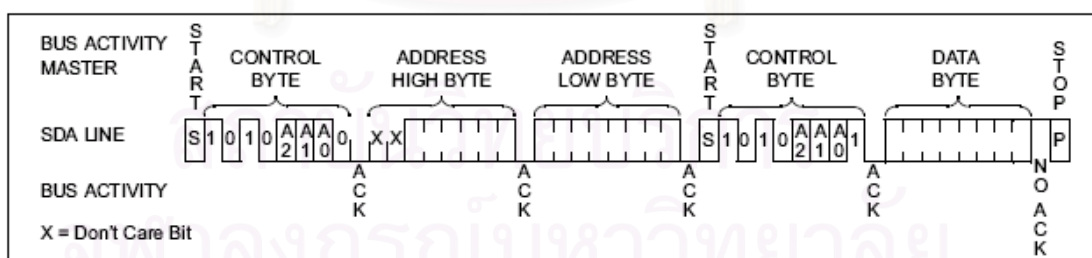
สำหรับการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำนั้นจะสามารถตั้งอ่านข้อมูลได้ 3 แบบคือ การอ่านแบบระบุตำแหน่งครั้งละ 1 ไบต์ (current address read) การอ่านแบบไม่ระบุตำแหน่งครั้งละ 1 ไบต์ (random read) และการอ่านแบบไม่ระบุตำแหน่งครั้งละหลาย ๆ ไบต์ (sequential read)

ก. Current address read เป็นการสั่งอ่านข้อมูลตำแหน่งแอดเดรสต่อเนื่องจากครั้งสุดท้าย ซึ่งการส่งข้อมูลแบบนี้จะมีความรวดเร็วกว่าแบบอื่นเนื่องจากไม่ต้องส่งไบต์แอดเดรสไปให้กับหน่วยความจำ กระบวนการอ่านข้อมูลจะเริ่มต้นด้วยการสร้างสถานะเริ่มต้น ตามด้วยรหัสควบคุม สำหรับบ่งบอกการอ่านจำนวน 1 ไบต์ แล้วจึงรอรับข้อมูล จากนั้นจึงจบด้วยสถานะสิ้นสุด



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการอ่านข้อมูลแบบ current address read[10]

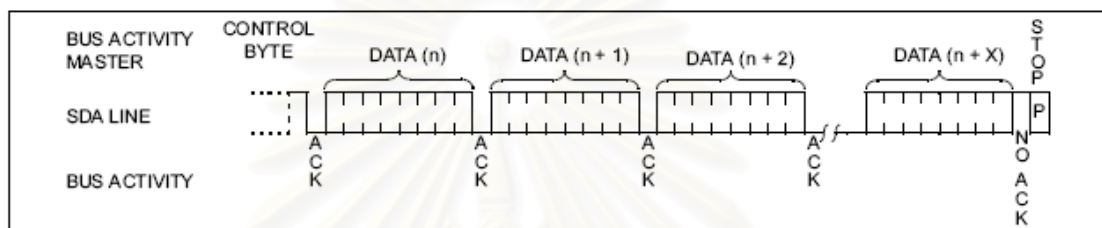
ข. Random read เป็นการสั่งอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำในตำแหน่งใด ๆ ที่ต้องการ โดยจะอ่านข้อมูลได้ครั้งละ 1 ไบต์ กระบวนการอ่านข้อมูลวิธีนี้ จะเริ่มต้นด้วยการสร้างสถานะเริ่มต้น ตามด้วยรหัสควบคุม สำหรับบ่งบอกการเขียนจำนวน 1 ไบต์ ตามด้วยค่าของแอดเดรส ซึ่งอาจจะเป็น 1 หรือ 2 ไบต์ ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของหน่วยความจำที่เลือกใช้ หลังจากเขียนแอดเดรสครบแล้ว ให้สร้างสถานะเริ่มต้นอีกครั้งพร้อมกับส่งค่ารหัสควบคุมสำหรับบ่งบอกการอ่านจำนวน 1 ไบต์ แล้วจึงรอรับไบต์ข้อมูลจากหน่วยความจำตามตำแหน่งแอดเดรสที่ระบุไว้ แล้วตามด้วยสถานะสิ้นสุดเพื่อจบการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างการอ่านข้อมูลแบบ random read[10]

ค. Sequential read เป็นการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำตำแหน่งแอดเดรสใด ๆ ภายในหน่วยความจำก็ได้ มีลักษณะคล้ายกับคำสั่งอ่านข้อมูลแบบ random read โดยสามารถอ่านข้อมูลได้ครั้งละหลาย ๆ ไบต์ ต่อเนื่องกันไป ซึ่งเมื่ออ่านข้อมูลแต่ละไบต์เสร็จแล้ว ค่าแอดเดรสจะเพิ่มขึ้นครั้งละ 1 ตำแหน่งโดยอัตโนมัติ โดยไม่ต้องส่งรหัสควบคุมและแอดเดรสไบต์ในการอ่านใหม่ให้เสียเวลา โดยหน่วยความจำจะส่งข้อมูลออกมาทางขง SDA ครั้งละ 1 ไบต์ ต่อเนื่องกันไป

เรื่อย ๆ จนกว่าจะพบสถานะสิ้นสุด กระบวนการอ่านข้อมูลวิธีนี้จะเริ่มต้นด้วยการสร้างสถานะเริ่มต้น จากนั้นจึงส่งรหัสควบคุมสำหรับบ่งบอกการเขียนจำนวน 1 ไบต์ ตามด้วยค่าของแอดเดรส ซึ่งอาจจะเป็น 1 หรือ 2 ไบต์ ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของหน่วยความจำที่เลือกใช้ หลังจากเขียนแอดเดรสครบแล้ว ให้สร้างสถานะเริ่มต้นอีกครั้งพร้อมกับส่งค่ารหัสควบคุมสำหรับบ่งบอกการอ่านจำนวน 1 ไบต์ แล้วจึงรอรับข้อไบต์ข้อมูลจากหน่วยความจำตามตำแหน่งที่ระบุไว้ จากนั้นยังสามารถอ่านข้อมูลตำแหน่งถัดไปในหน่วยความจำได้อีกเรื่อย ๆ เมื่ออ่านข้อมูลได้ครบตามต้องการแล้วจึงจบด้วยสถานะสิ้นสุด



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างการอ่านข้อมูลแบบ sequential read[10]

บทที่ 3

การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดเก็บข้อมูลบนหน่วยความจำถอดเปลี่ยนได้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

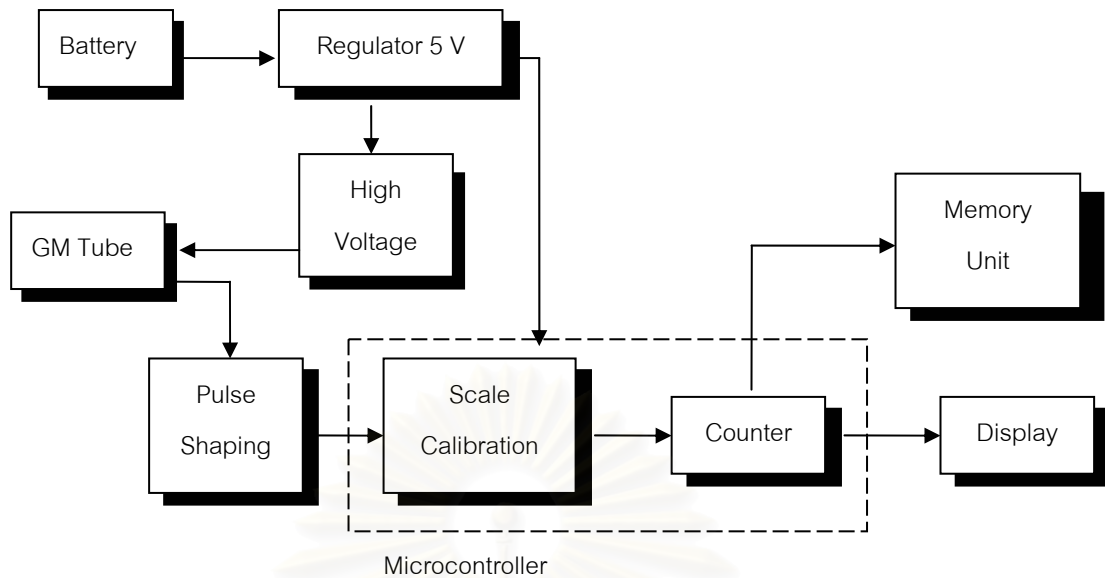
1. เครื่องกำเนิดรูปสัญญาณ (Pulse generator) HP รุ่น 8111A
2. เครื่องอ่านรูปสัญญาณ (Oscilloscope) TEKTRONIX รุ่น TDS3034B
3. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC power supply) Loadstar รุ่น PS-303
4. โพรบวัดไฟฟ้าแรงดันสูง (H.V. probe) HP รุ่น 34111A
5. มัลติมิเตอร์ระบบเชิงตัวเลข (Digital multimeter) Sanwa รุ่น PC510
6. ต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานซีเซียม-137 (Cs-137) ความแรงรังสี 2.74 Ci (กองรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข)
7. เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น
8. ไมโครคอมพิวเตอร์

3.2 การออกแบบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิดเก็บข้อมูลบนหน่วยความจำถอดเปลี่ยนได้

ข้อมูลรายละเอียดของเครื่องมือมีดังต่อไปนี้

- ก. สามารถบันทึกปริมาณรังสีได้ 0 – 9999 มิลลิเรนท์เกิน ในระบบเชิงเลข
- ข. มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา พกพาได้สะดวก
- ค. ทำงานด้วยแบตเตอรี่และกินกระแสไฟฟ้าต่ำ
- ง. เก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำของแต่ละบุคคลได้ทุก ๆ ระยะเวลา 10 นาที
- จ. มีฐานข้อมูลสำหรับประเมินค่าปริมาณรังสีประจำบุคคลได้อย่างต่อเนื่อง

โครงสร้างของระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น แสดงได้ดังแผนภาพที่ 3.1 โดยจะประกอบด้วยเครื่องวัดปริมาณรังสีที่ออกแบบให้มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และสามารถเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำของแต่ละบุคคลได้ ซึ่งสามารถนำหน่วยความจำของแต่ละบุคคลไปทำการอ่านค่าเพื่อเก็บบันทึกไว้ในฐานข้อมูลเพื่อประเมินค่าปริมาณรังสีที่แต่ละบุคคลได้รับ

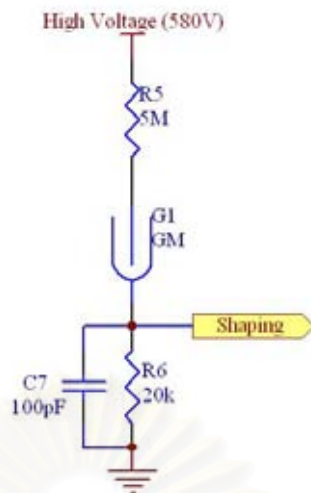


รูปที่ 3.1 แผนภาพเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลพร้อมระบบบันทึกข้อมูลลงหน่วยความจำ

จากแผนภาพ เมื่อแบตเตอรี่ผ่านการควบคุมแรงดันแล้วจะแบ่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกจ่ายให้กับวงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง เพื่อไปออสซิให้หัววัดรังสีทำงาน อีกส่วนหนึ่งจ่ายให้กับวงจรวัดรังสีและแสดงผล เมื่อรังสีตกกระทบหัววัดรังสี จะเกิดสัญญาณพัลส์จากวงจรวัดรังสี ผ่านวงจรแต่งรูปสัญญาณ โดยอัตรานับรังสีจะเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสีที่หัววัดรังสีได้รับ สัญญาณพัลส์จากวงจรแต่งรูปสัญญาณจะถูกส่งให้วงจรปรับเทียบค่ามาตรฐาน ซึ่งเป็นวงจรหาความถี่ของอัตรานับรังสี เพื่อให้วงจรนับรังสีอ่านค่าที่วัดได้ตรงตามปริมาณรังสีในหน่วยมิลลิเรินท์เกน (mR) ที่ถูกต้องแล้วไปแสดงผลที่ส่วนแสดงผล สัญญาณอีกส่วนหนึ่งของวงจรมับสัญญาณจะนำไปเก็บบันทึกลงบนหน่วยความจำ

3.2.1 วงจรวัดรังสีด้วยหัววัดรังสีไกเกอร์

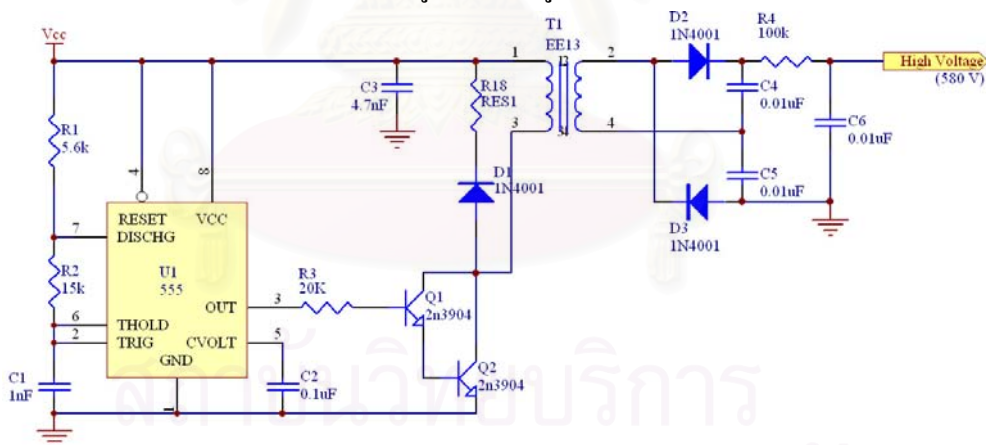
เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่ออกแบบและพัฒนาขึ้นนี้เลือกใช้หัววัดรังสีไกเกอร์ขนาดเล็กของบริษัท HAMAMATSU รุ่น D3372 (รายละเอียดในภาคผนวก ค.) และเลือกจัดวงจรแบบ DC coupling ใช้ตัวต้านทานจำกัดกระแสขนาด 5 เมกกะโอห์ม (MΩ) และตัวต้านทานในวงจรแคโทดขนาด 20 กิโลโอห์ม (kΩ) ดังแสดงวงจรในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 วงจรหัววัดไกเกอร์แบบ DC coupling

3.2.2 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง

จัดวงจรดีซีทูดิซีคอนเวอร์เตอร์เป็นแบบฟลายแบ็กคอนเวอร์เตอร์ ขั้วหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ชนิด EE Core ผ่านวงจรทวีแรงดัน 2 เท่า ให้ได้แรงดันไฟฟ้า 580 โวลต์ที่กระแสไม่ต่ำกว่า 100 ไมโครแอมป์ เพื่อไบอัสให้หัววัดไกเกอร์ทำงาน การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้าแสดงในภาคผนวก ก. วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแสดงดังรูปที่ 3.3

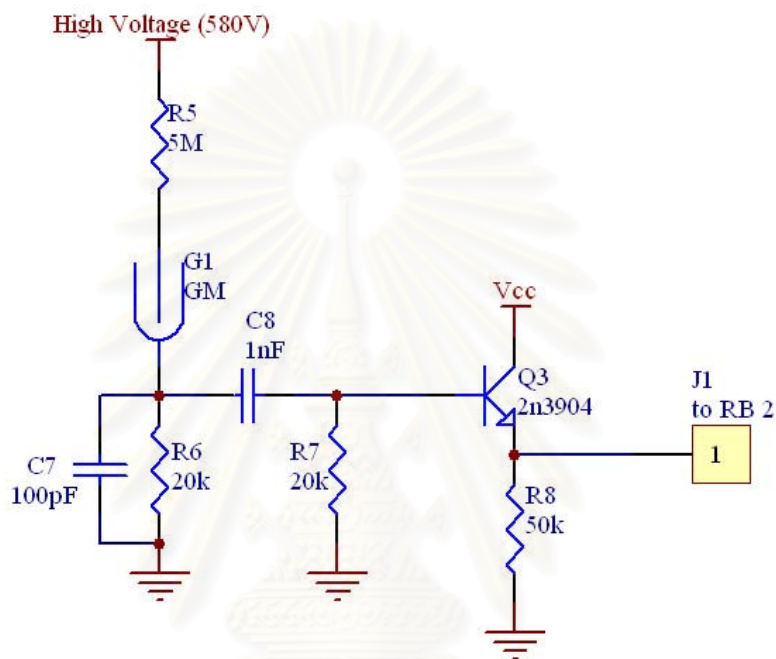


รูปที่ 3.3 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

จากวงจรในรูปที่ 3.3 เลือกใช้ไอซี U1 เบอร์ 555 เป็นแหล่งกำเนิดความถี่ 25 kHz เพื่อขับหม้อแปลงแกนเฟอร์ไรต์ชนิด EE Core สร้างการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กระหว่างขดลวดด้านปฐมภูมิไปยังขดลวดด้านทุติยภูมิซึ่งมีอัตรารอบ 1:30 เพิ่มแรงดันไฟฟ้าด้านทุติยภูมิเป็น 290 โวลต์ ส่งผ่านวงจรทวีแรงดันสองเท่า โดยการทำงานของตัวเก็บประจุ C4, C5 และไดโอด D2, D3 ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 580 โวลต์ ผ่านวงจรกรองริปเปิล (ripple) แรงดันไฟฟ้า R4, C6 เพื่อกรองแรงดันให้เรียบ แล้วนำไปไบอัสให้กับหัววัดรังสีไกเกอร์ ณ จุดทำงาน

3.2.3 วงจรแต่งรูปสัญญาณ

สัญญาณพัลส์จากวงจรหัววัดรังสีจะมีลักษณะเป็นพัลส์รูปสี่เหลี่ยมขนาดต่าง ๆ กัน มีกระแสต่ำและเวลาสลายตัวพัลส์ (decay time) ยาว ไม่เหมาะที่จะจับวงจรนับความถี่สัญญาณโดยตรง จะต้องเปลี่ยนสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมให้เป็นสัญญาณลอจิกเพื่อให้วงจรนับความถี่สัญญาณทำงานได้ถูกต้อง

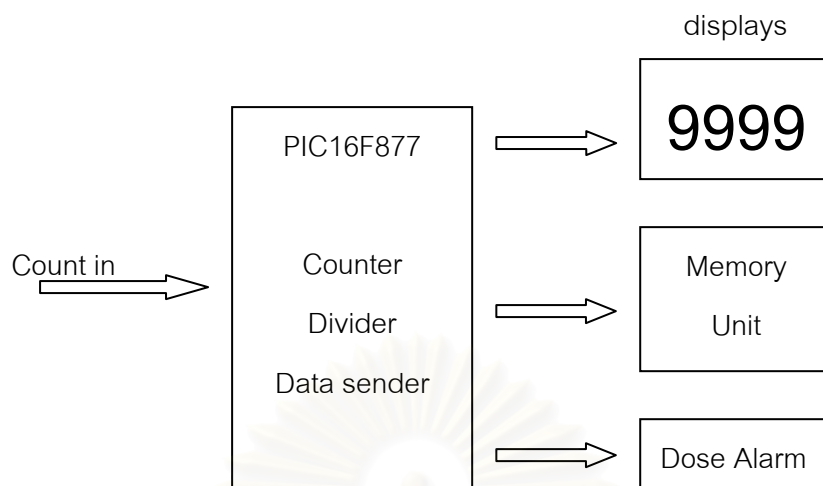


รูปที่ 3.4 วงจรแต่งรูปสัญญาณ

จากวงจรรูปที่ 3.4 C8, R7 เป็นวงจร differentiator ทำหน้าที่แต่งรูปสัญญาณให้มีเวลาสลายพัลส์สั้น ขณะที่ทรานซิสเตอร์ Q3 ชนิด NPN เบอร์ 2N3904 จัดวงจรขยายแบบคอมมอนคอลเลกเตอร์ ทำหน้าที่เป็นวงจรขับกระแสให้วงจรนับความถี่สัญญาณ

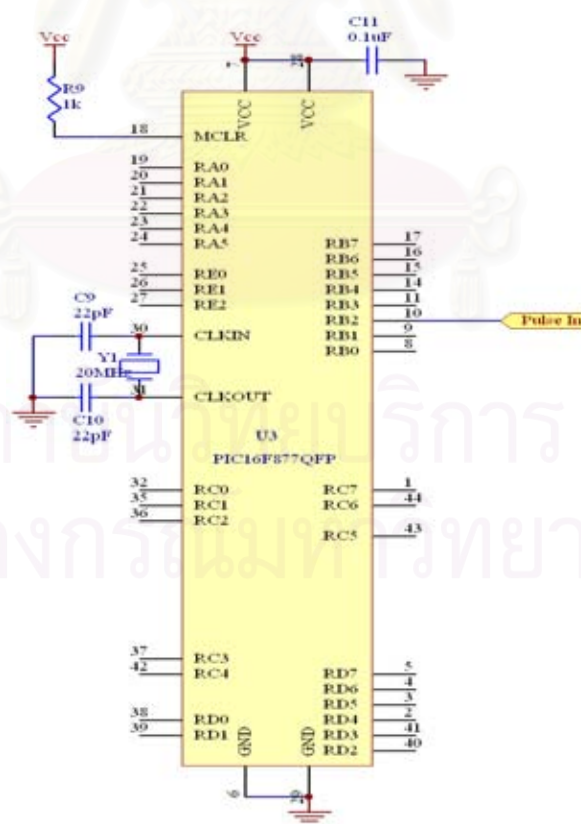
3.2.4 วงจรนับสัญญาณพัลส์และวงจรปรับเทียบค่าปริมาณรังสี

เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการออกแบบวงจร ต้องการให้เครื่องมือมีขนาดเล็ก จึงเลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 มาประยุกต์การทำงานในหน้าที่ต่าง ๆ คือ ใช้ทำหน้าที่เป็นตัวนับสัญญาณพัลส์จากวงจรแต่งรูปสัญญาณ ใช้ปรับเทียบปริมาณสัญญาณพัลส์ที่นับได้ให้ไปอยู่ในค่าของหน่วยวัดทางรังสี และส่งข้อมูลที่ได้ออกสู่ภายนอก ดังแผนภาพรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนภาพของวงจรควบคุมการวัดปริมาณรังสีโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

โดยอาศัยการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้ทำหน้าที่รับสัญญาณพัลส์จากภายนอกโดยผ่านเข้าทางพอร์ต RB2 และทำการกำหนดความถี่ที่ต้องการใช้เป็นฐานเวลาในการเก็บบันทึกจำนวนพัลส์ที่รับเข้ามา จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณเพื่อทำการเปรียบเทียบจำนวนพัลส์ให้กลายเป็นค่าของปริมาณรังสี

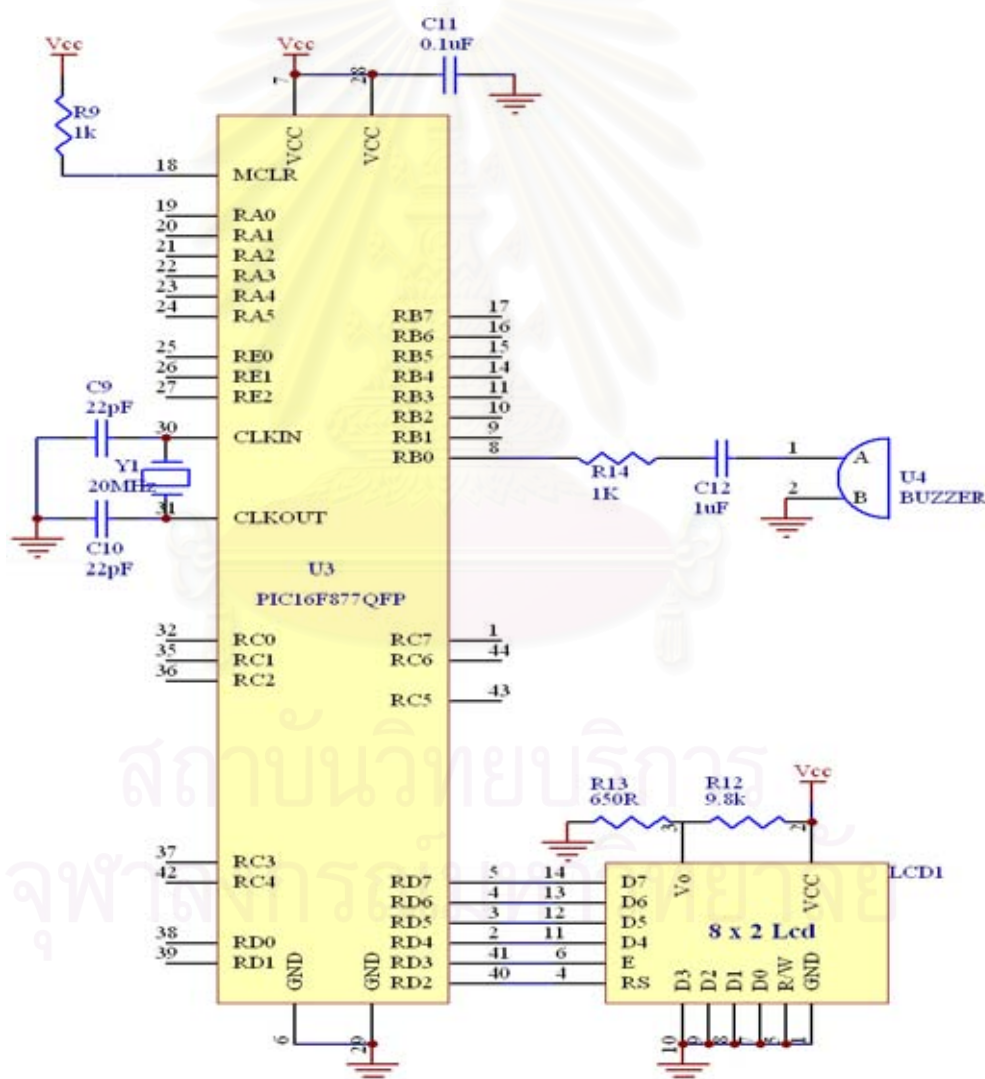


รูปที่ 3.6 วงจรนับสัญญาณพัลส์และวงจรเปรียบเทียบค่าปริมาณรังสี

3.2.5 วงจรแสดงผลปริมาณรังสีและวงจรส่งเสียงเตือน

เนื่องจากการออกแบบวงจร ต้องการให้ประหยัดพลังงานได้มากที่สุด ในส่วนของวงจรแสดงผลนี้จึงได้นำจอแสดงผลชนิด LCD ซึ่งสามารถแสดงผลได้ 8 ตัวอักษร 2 บรรทัด มาใช้ในการแสดงผลแทนการใช้ไดโอดเปล่งแสงแบบ 7 ส่วน จอ LCD จะมีข้อได้เปรียบมากกว่าการใช้ LED แบบที่เป็นไดโอดเปล่งแสง 7 ส่วนอยู่คือ มีขนาดที่ค่อนข้างเล็กและประหยัดพลังงานมากกว่า

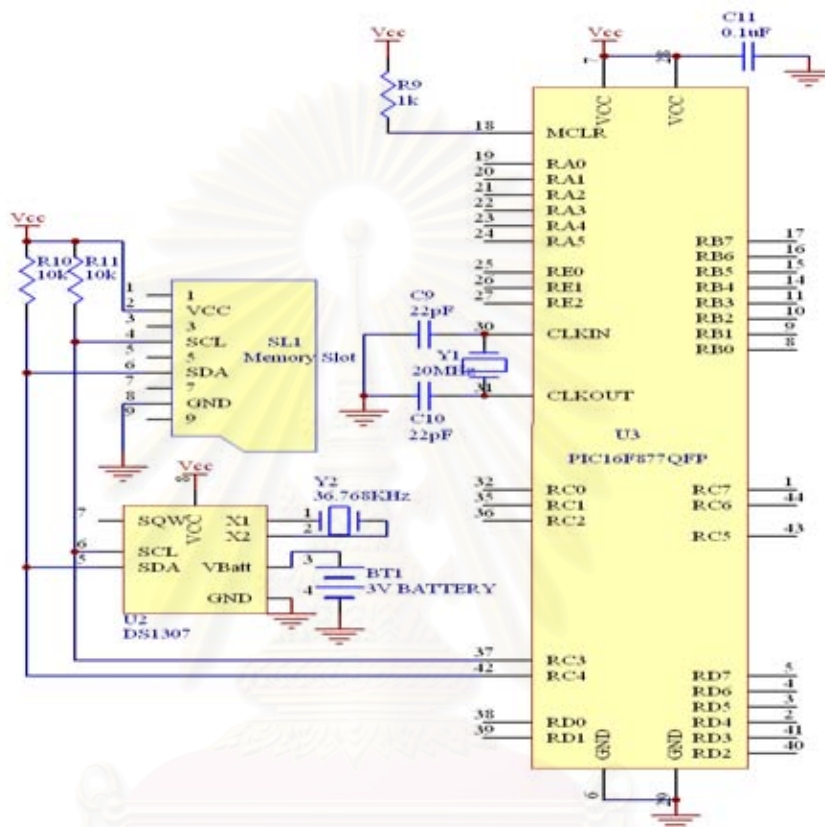
เพื่อให้เครื่องวัดปริมาณรังสีมีขนาดเล็ก ในส่วนของวงจรส่งเสียงเตือนปริมาณรังสี จึงได้อาศัยการทำงานของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่เป็นตัวกำเนิดความถี่ไปขับลำโพงแบบบีตเซอร์ (Buzzer) เมื่อปริมาณรังสีสูงถึงค่าที่ตั้งไว้



รูปที่ 3.7 วงจรแสดงผลปริมาณรังสีและวงจรส่งเสียงเตือน

3.2.6 วงจรบันทึกข้อมูลลงหน่วยความจำ

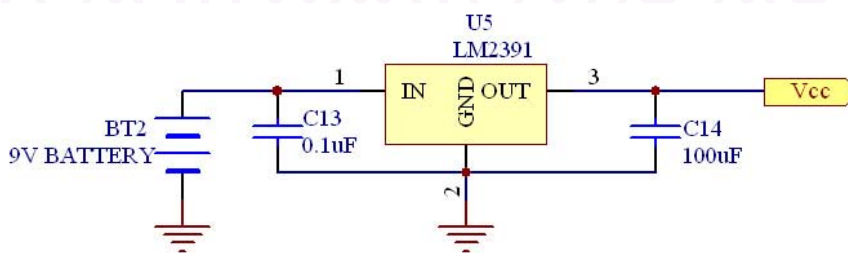
เนื่องจากวัตถุประสงค์ของเครื่องมือวัด ต้องการให้สามารถบันทึกปริมาณรังสีได้ ทุกช่วงเวลา 10 นาที และสามารถระบุได้ว่าผู้ปฏิบัติงาน เข้าปฏิบัติงานในช่วงเวลาใด จึงได้มีการประยุกต์ใช้ไอซีฐานเวลาเบอร์ DS1307 มาเป็นตัวระบุเวลาของเครื่องวัดรังสี และทำการบันทึกค่า ช่วงเวลาในแต่ละครั้งที่เข้าปฏิบัติงานลงในหน่วยความจำด้วย



รูปที่ 3.8 วงจรบันทึกข้อมูลลงหน่วยความจำ

3.2.7 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

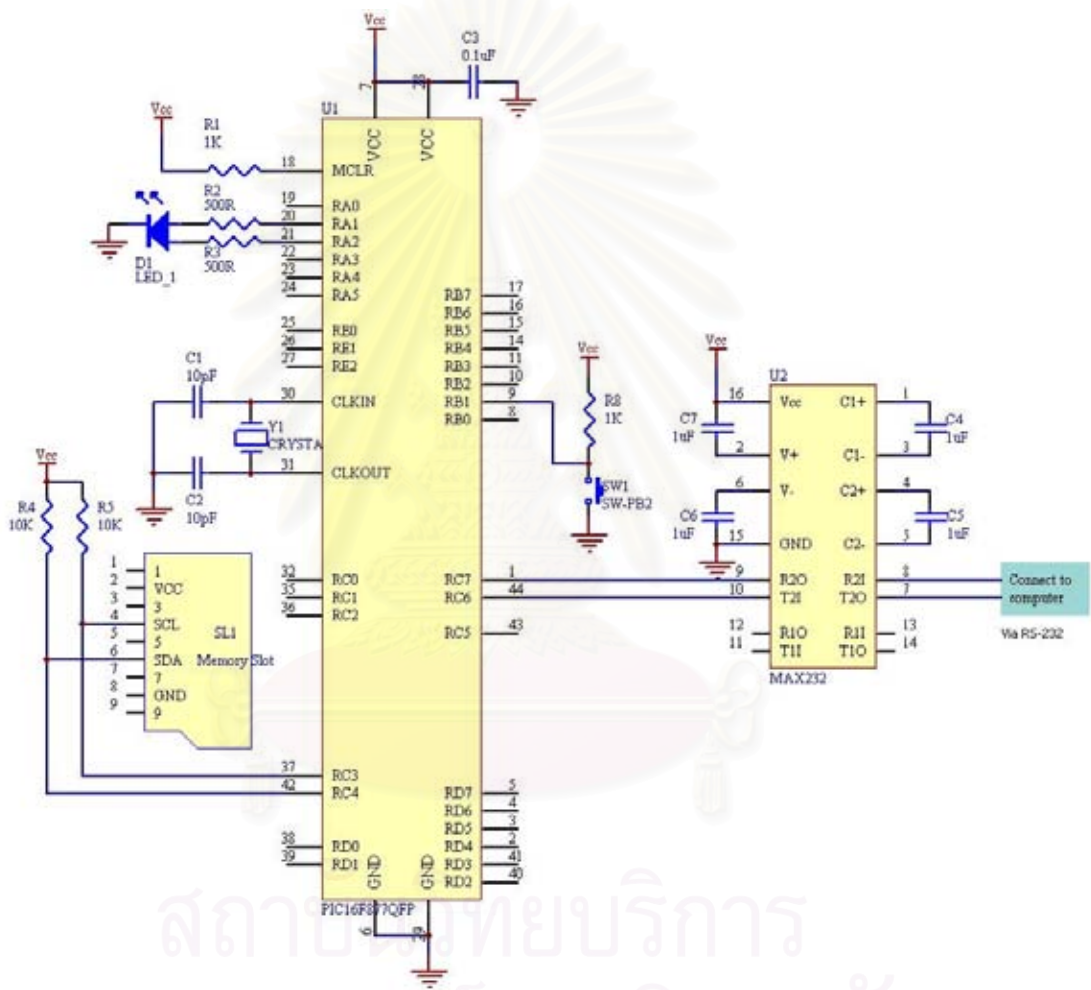
เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นนี้ ใช้แบตเตอรี่อัลคาไลน์ (alkaline) ขนาดแรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์ และใช้ไอซีเบอร์ LM2391 เป็นตัวจำกัดแรงดันให้มีขนาดแรงดันไฟฟ้า เหลือ 5 โวลต์ เพื่อทำการจ่ายไฟให้กับวงจรในส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

3.3 วงจรอ่านค่าจากหน่วยความจำ

ภายหลังจากที่เครื่องวัดปริมาณรังสีได้ทำการบันทึกข้อมูลลงในหน่วยความจำแล้ว จะต้องนำหน่วยความจำมาทำการอ่านค่าจากเครื่องอ่านค่าจากหน่วยความจำที่ได้ทำการเชื่อมต่ออยู่กับ ไมโครคอมพิวเตอร์โดยมีการเชื่อมต่อข้อมูลผ่านทางซีเรียลพอร์ต เพื่อนำข้อมูลที่ได้ออกไปทำการเก็บ บันทึกไว้ในฐานข้อมูล ซึ่งจะทำได้ทำให้สามารถตรวจสอบปริมาณรังสีที่แต่ละบุคคลได้รับ ได้ตลอดเวลา วงจรอ่านค่าจากหน่วยความจำแสดงดังรูปที่ 3.10



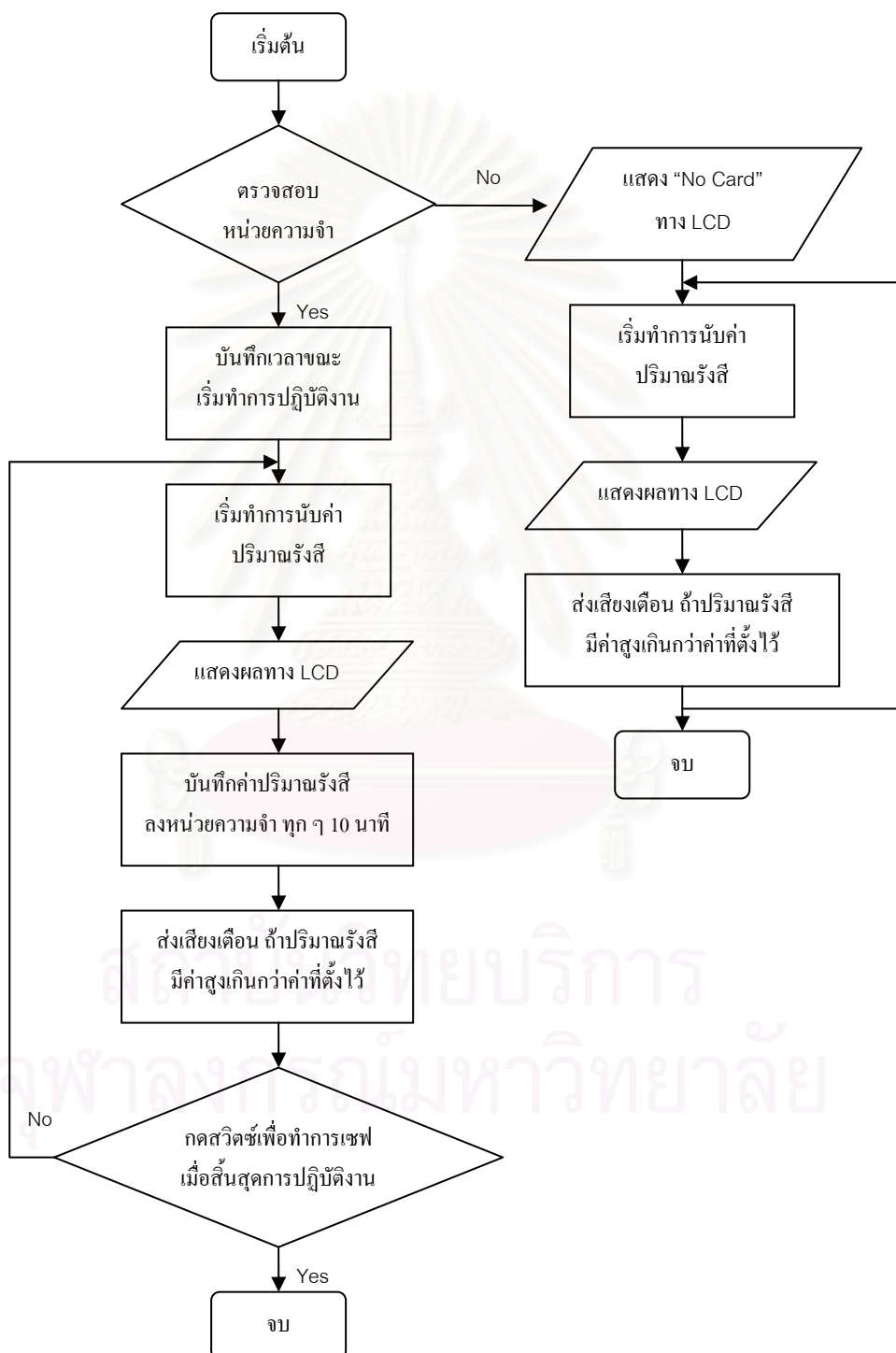
รูปที่ 3.10 วงจรอ่านค่าจากหน่วยความจำ

3.4 การพัฒนาโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบวัดปริมาณรังสี

โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้น แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนโปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล และส่วนโปรแกรมควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำและแสดงผลบน ไมโครคอมพิวเตอร์

3.4.1 โปรแกรมควบคุมการทำงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

การทำงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลจะถูกควบคุมด้วยโปรแกรมซึ่งเขียนด้วยภาษาเบสิกของ PIC BasicPro Compiler v.2.45 มีโฟลว์ชาร์ตการทำงานตามรูปที่ 3.11 รายละเอียดของโปรแกรมที่บรรจุอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 คว้าได้จากภาคผนวก ข.

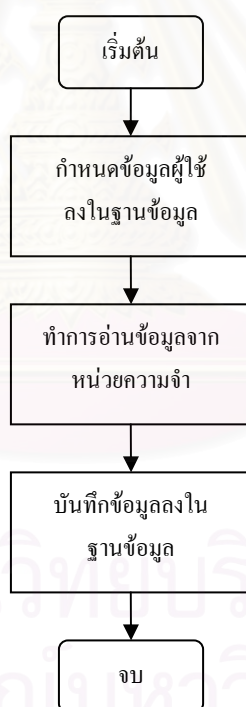


รูปที่ 3.11 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมภายในเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

จากรูปที่ 3.11 โปรแกรมเริ่มต้นการทำงานด้วยการตรวจสอบหน่วยความจำ ถ้ามีหน่วยความจำติดตั้งอยู่ที่เครื่องจะทำการบันทึกเวลาเริ่มต้นที่เริ่มปฏิบัติงาน หลังจากนั้นจะทำการนับรังสีพร้อมกับแสดงผลทาง LCD และทำการบันทึกปริมาณรังสีลงในหน่วยความจำทุก ๆ 10 นาที แต่ถ้าไม่มีหน่วยความจำติดตั้งอยู่ที่เครื่อง จะแสดงข้อความที่บอกว่าไม่มีหน่วยความจำ แล้วจึงเริ่มทำการนับปริมาณรังสีพร้อมทั้งแสดงผลทาง LCD เครื่องวัดปริมาณรังสีจะส่งเสียงเตือนถ้าได้รับปริมาณรังสีมากเกินไปกว่าค่าที่ได้ตั้งไว้

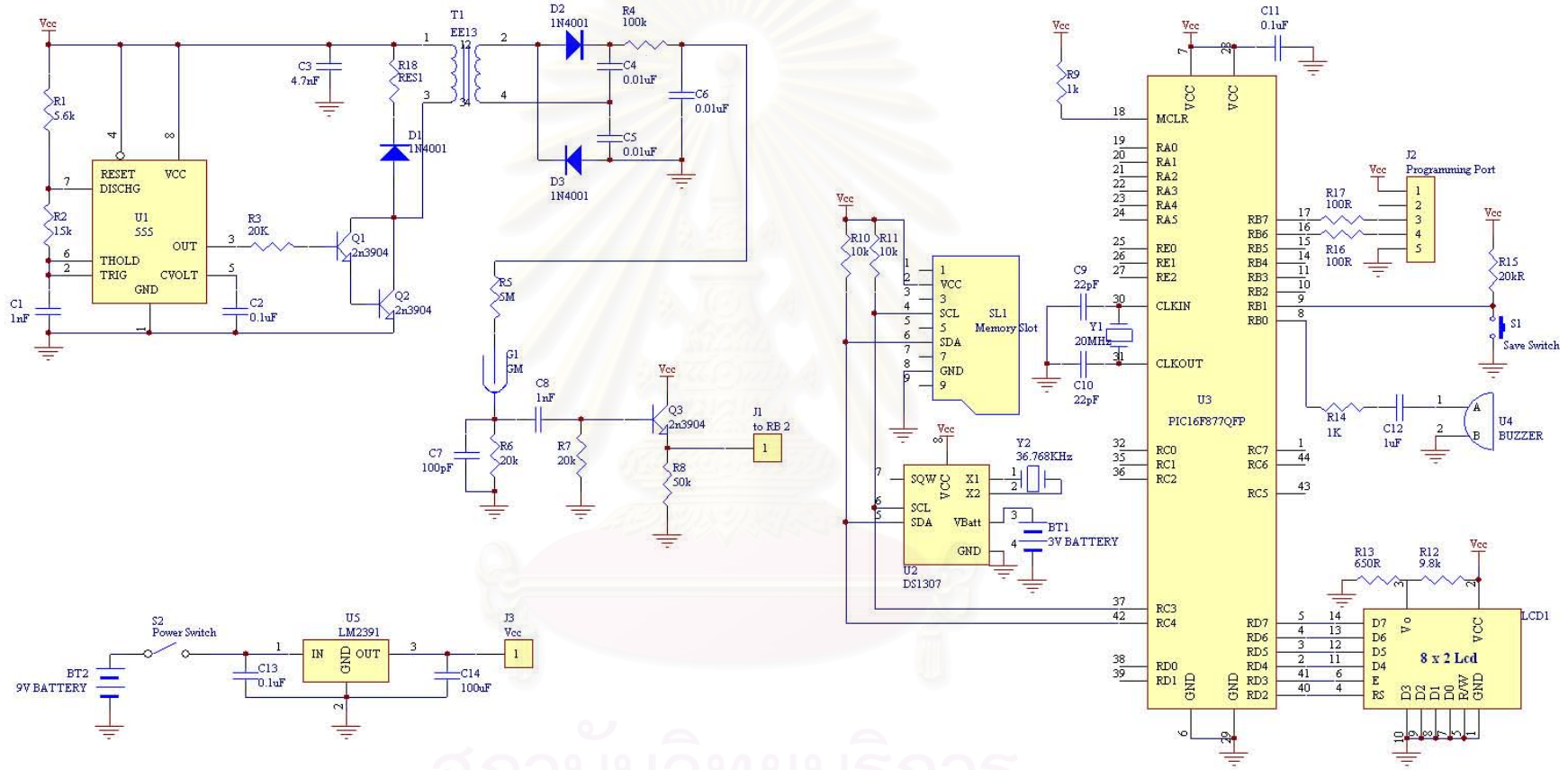
3.4.2 โปรแกรมควบคุมการอ่านข้อมูลปริมาณรังสีจากหน่วยความจำและแสดงผลบนไมโครคอมพิวเตอร์

การทำงานในส่วน โปรแกรมควบคุมการอ่านข้อมูลปริมาณรังสีจากหน่วยความจำและแสดงผลบนไมโครคอมพิวเตอร์ พัฒนาโดยใช้ภาษาวิชวลเบสิกเวอร์ชัน 6.0 (visual basic v.6.0) โดยการรับข้อมูลผ่านทางซีเรียลพอร์ต มีโฟลว์ชาร์ตการทำงานตามรูปที่ 3.12

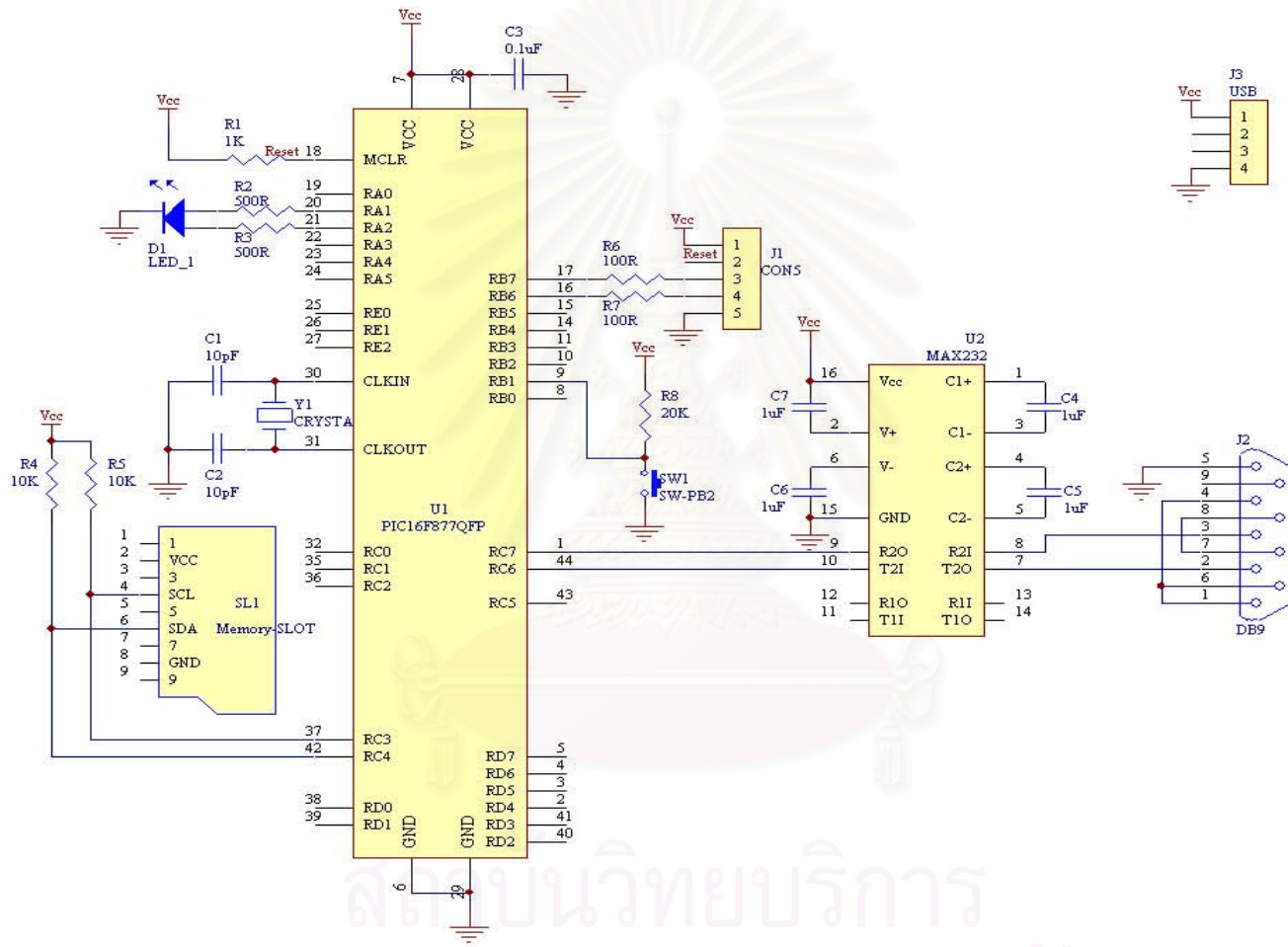


รูปที่ 3.12 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรแกรมอ่านข้อมูลปริมาณรังสีจากหน่วยความจำ

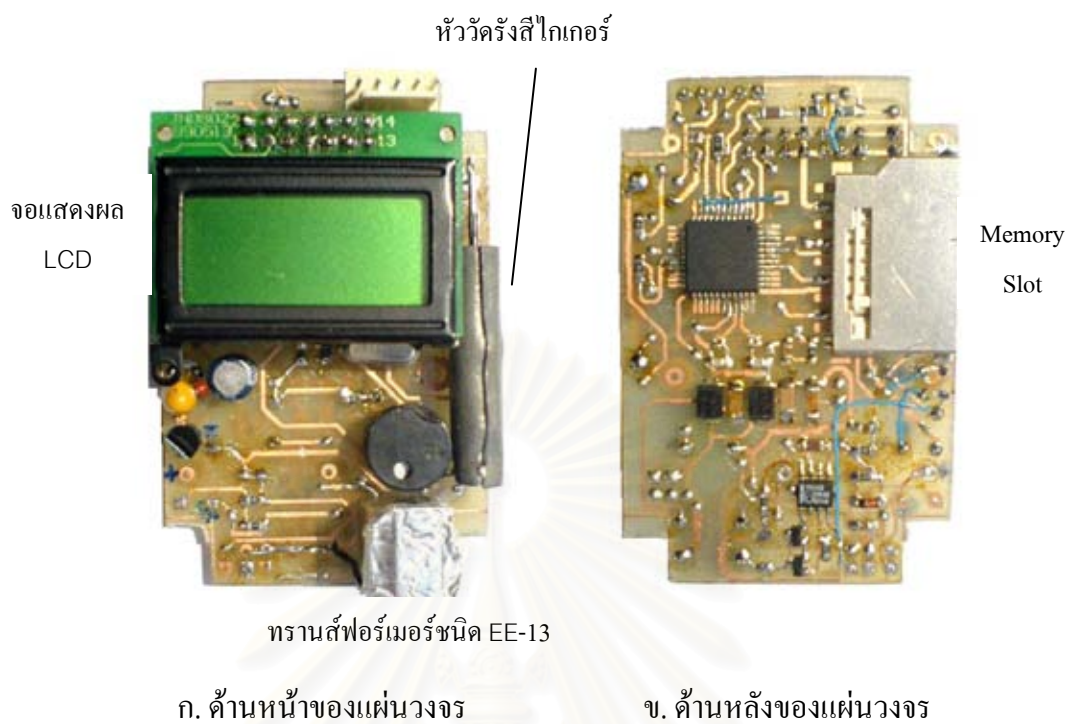
เริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมอ่านข้อมูลปริมาณรังสีจากหน่วยความจำโดยการบันทึกข้อมูลของผู้ใช้ในฐานข้อมูล จากนั้นทำการอ่านข้อมูลปริมาณรังสีในหน่วยความจำของแต่ละบุคคล แล้วทำการบันทึกค่าลงในฐานข้อมูลบนไมโครคอมพิวเตอร์ให้ตรงกับข้อมูลของผู้ใช้ที่บันทึกไว้ก่อนหน้านี้



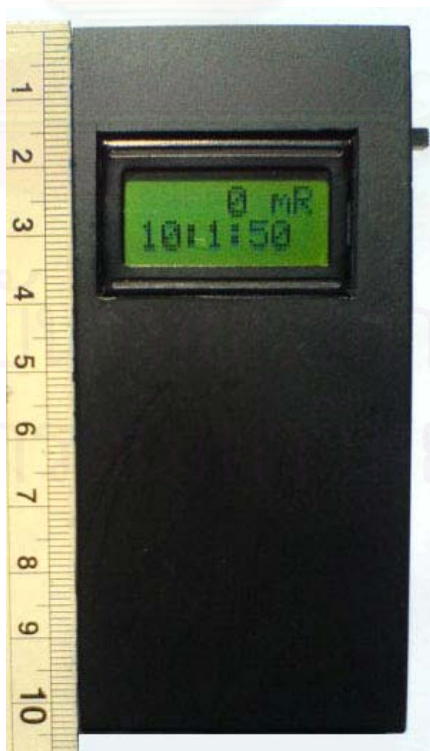
รูปที่ 3.13 วงจรเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น



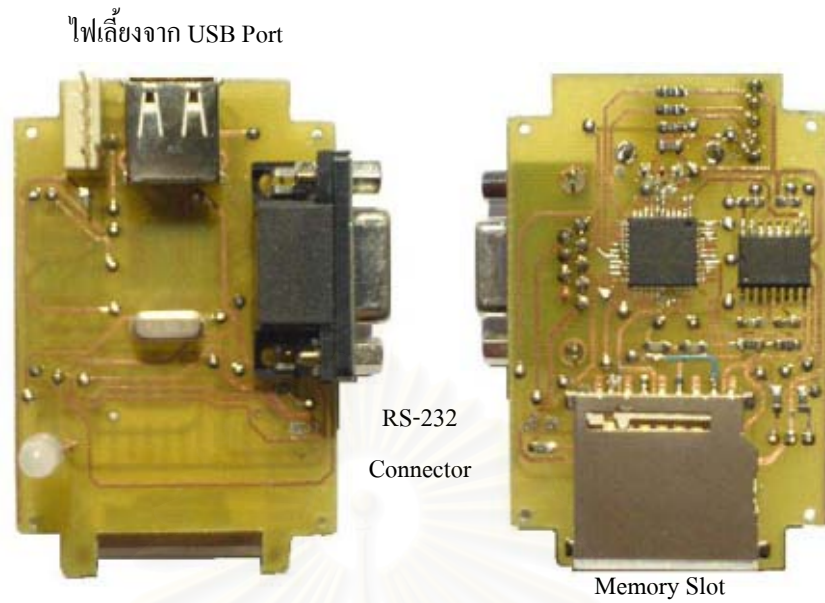
รูปที่ 3.14 วงจรอ่านข้อมูลปริมาณรังสีจากหน่วยความจำ



รูปที่ 3.15 แสดงการจัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล



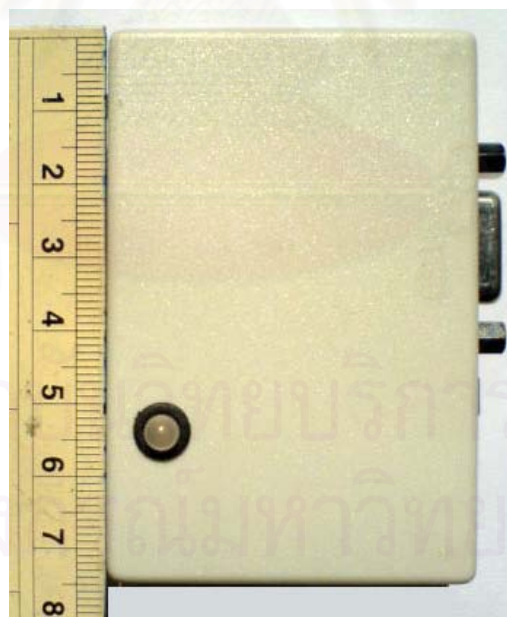
รูปที่ 3.16 แสดงเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลภายหลังประกอบลงกล่อง



ก. ด้านหน้าของแผ่นวงจร

ข. ด้านหลังของแผ่นวงจร

รูปที่ 3.17 แสดงการจัดอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในเครื่องอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ



รูปที่ 3.18 แสดงเครื่องอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำภายหลังประกอบลงกล่อง

บทที่ 4

การทดสอบการทำงานของระบบและผลการทดสอบ

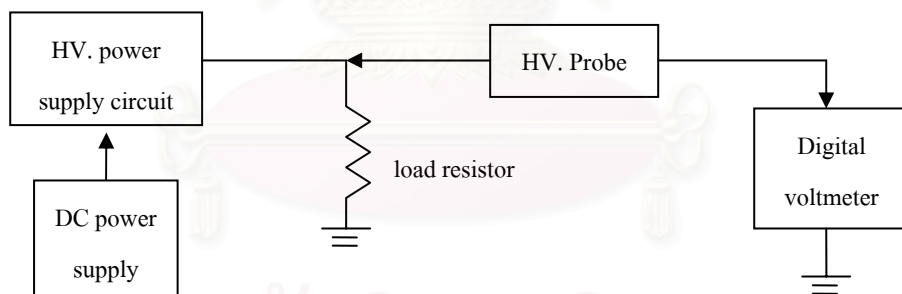
4.1 การทดสอบสมรรถนะการทำงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

การทดสอบการทำงานของวงจรต่าง ๆ ภายในเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่ได้พัฒนาขึ้นมีดังต่อไปนี้

4.1.1 การทำสอบสมรรถนะการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรงของวงจร และทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ เพื่อนำข้อมูลไปปรับเทียบค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำให้สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อไบอัสให้กับหัววัดไกเกอร์ได้อย่างคงที่ โดยที่ยังคงทำให้ผลการวัดปริมาณรังสีคลาดเคลื่อนไม่เกินข้อกำหนดมาตรฐาน

4.1.1.1 การทดสอบความสามารถในการจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง

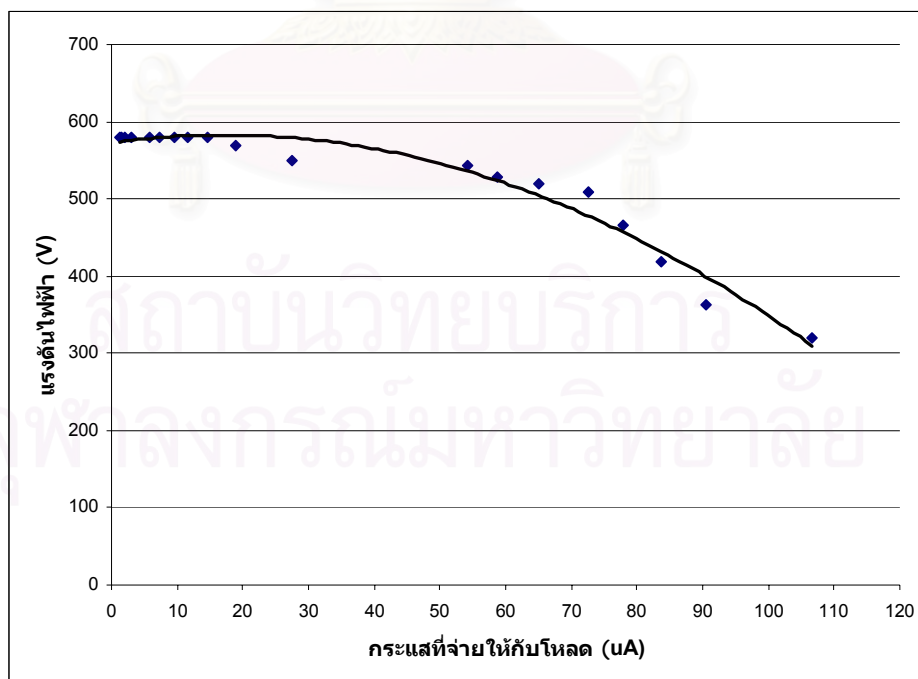


รูปที่ 4.1 แผนภาพการจัตุอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสามารถของวงจรกำเนิดไฟฟ้าแรงดันสูง

การทดสอบทำโดยจัดอุปกรณ์ทดสอบตามแผนภาพรูปที่ 4.1 ปรับแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (dc power supply) ให้มีแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ เพื่อจ่ายให้วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (HV. power supply circuit) ให้มีค่าแรงดันไฟฟ้า 580 โวลต์ ปรับค่าตัวต้านทานโหลดเท่ากับ 500 เมกกะโอห์ม (M Ω) บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่องอ่านค่าสัญญาณ (digital voltmeter) จากนั้นทำการเปลี่ยนค่าตัวต้านทานโหลดของวงจรและบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้ นำค่าแรงดันไฟฟ้าและค่าตัวต้านทานที่เปลี่ยนไปมาคำนวณหาค่ากระแสที่ไหลผ่านจากสมการ $I = V/R$ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.1 และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทานแสดงในรูปที่ 4.2

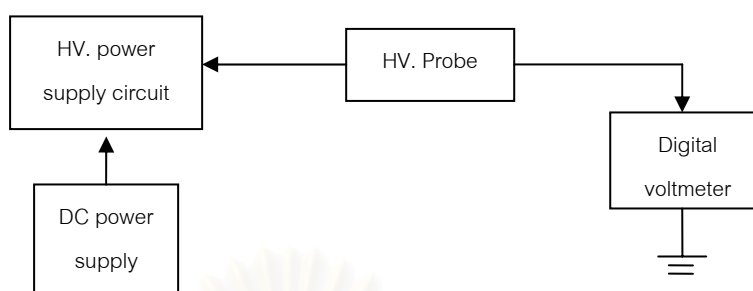
ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าจากวงจรแหล่งจ่ายกับกระแสที่จ่ายให้โหลด

| ค่าความต้านทาน (M Ω) | แรงดันไฟฟ้า (V) | กระแสที่จ่ายให้กับโหลด (μ A) |
|---------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| 500 | 580 | 1.16 |
| 400 | 580 | 1.45 |
| 300 | 580 | 1.93 |
| 200 | 580 | 2.90 |
| 100 | 580 | 5.80 |
| 80 | 580 | 7.25 |
| 60 | 580 | 9.67 |
| 50 | 580 | 11.60 |
| 40 | 580 | 14.50 |
| 30 | 570 | 19.00 |
| 20 | 550 | 27.50 |
| 10 | 543 | 54.30 |
| 9 | 528 | 58.67 |
| 8 | 520 | 65.00 |
| 7 | 508 | 72.57 |
| 6 | 467 | 77.83 |
| 5 | 418 | 83.60 |
| 4 | 362 | 90.50 |
| 3 | 320 | 106.67 |



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้ากับกระแสที่จ่ายให้โหลด

4.1.1.2 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

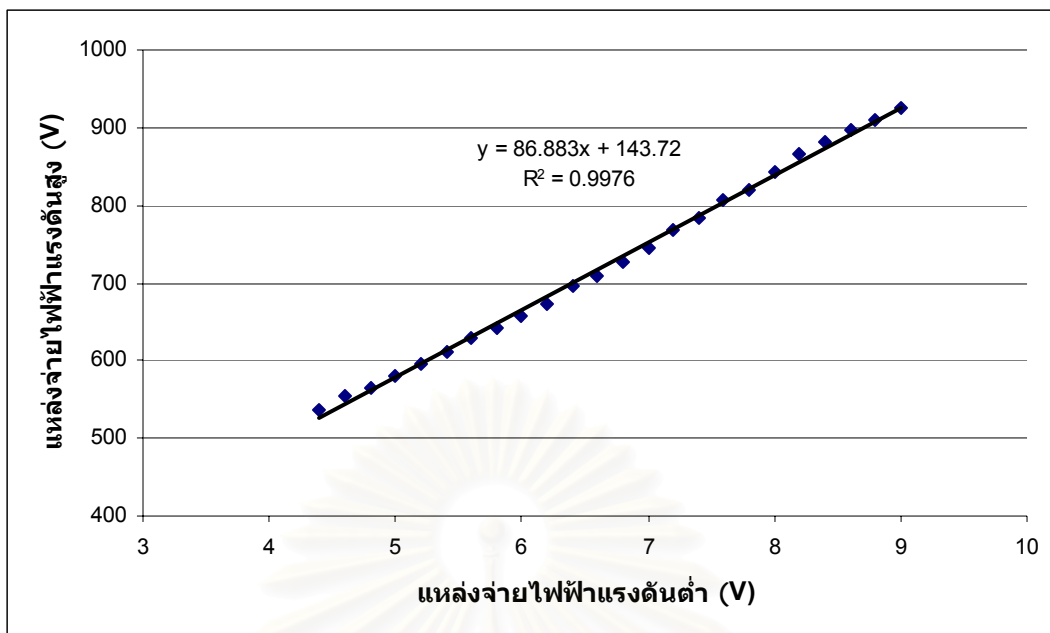


รูปที่ 4.3 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำและแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

จัดอุปกรณ์การทดสอบดังรูปที่ 4.3 ให้โหลดความต้านทาน 100 เมกกะโอห์ม แปรเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจาก 9 โวลต์ โดยลดลงทีละ 0.2 โวลต์ ไปจนถึง 4.6 โวลต์ บันทึกค่าความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงจากเครื่องอ่านสัญญาณ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.2 และเส้นกราฟรูปที่ 4.4

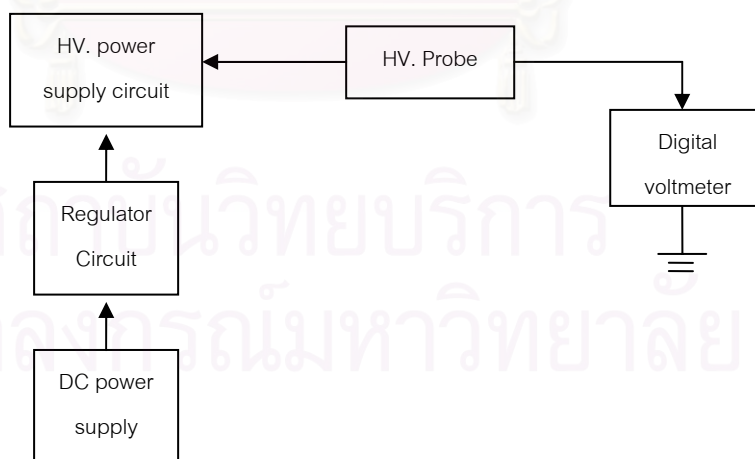
ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

| แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ (V) | แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (V) |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 9.0 | 925 |
| 8.8 | 910 |
| 8.6 | 896 |
| 8.4 | 882 |
| 8.2 | 865 |
| 8.0 | 842 |
| 7.8 | 820 |
| 7.6 | 806 |
| 7.4 | 784 |
| 7.2 | 768 |
| 7.0 | 746 |
| 6.8 | 726 |
| 6.6 | 710 |
| 6.4 | 696 |
| 6.2 | 672 |
| 6.0 | 658 |
| 5.8 | 642 |
| 5.6 | 628 |
| 5.4 | 612 |
| 5.2 | 596 |
| 5.0 | 580 |
| 4.8 | 565 |
| 4.6 | 555 |
| 4.4 | 536 |



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง

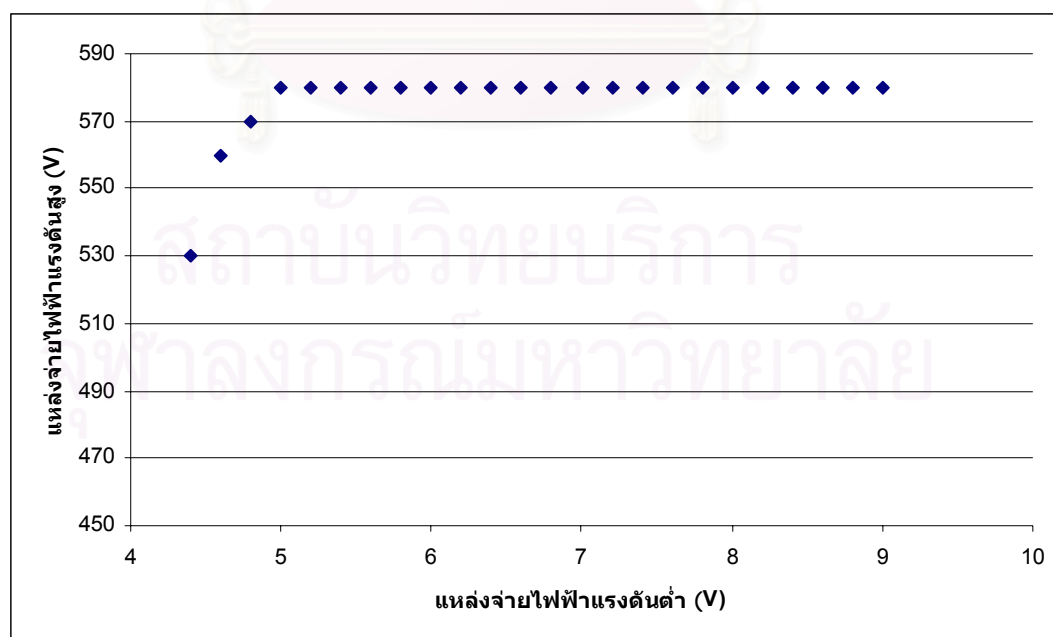
เนื่องจากในเครื่องวัดรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นนี้ ได้มีการใช้วงจรรักษาระดับแรงดันคงที่ 5 โวลต์ (regulator circuit) เพื่อจำกัดแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ ก่อนที่จะมีการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำเมื่อมีวงจรรักษาระดับแรงดันคงที่ที่มีการจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.5 ทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ในลักษณะเดิม ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.3 และกราฟรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 แผนภาพการจัดอุปกรณ์เพื่อทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำและแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงเมื่อมีการใช้วงจรรักษาระดับแรงดัน

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงเมื่อมี
วงจรรักษาระดับแรงดันคงที่

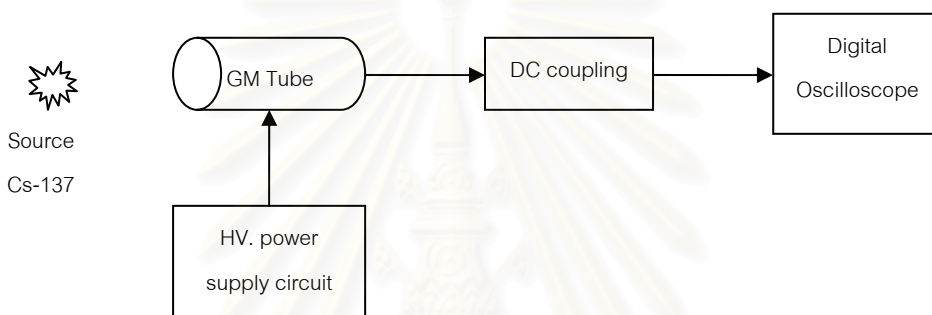
| แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ (V) | แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง (V) |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 9.0 | 580 |
| 8.8 | 580 |
| 8.6 | 580 |
| 8.4 | 580 |
| 8.2 | 580 |
| 8.0 | 580 |
| 7.8 | 580 |
| 7.6 | 580 |
| 7.4 | 580 |
| 7.2 | 580 |
| 7.0 | 580 |
| 6.8 | 580 |
| 6.6 | 580 |
| 6.4 | 580 |
| 6.2 | 580 |
| 6.0 | 580 |
| 5.8 | 580 |
| 5.6 | 580 |
| 5.4 | 580 |
| 5.2 | 580 |
| 5.0 | 580 |
| 4.8 | 570 |
| 4.6 | 560 |
| 4.4 | 530 |



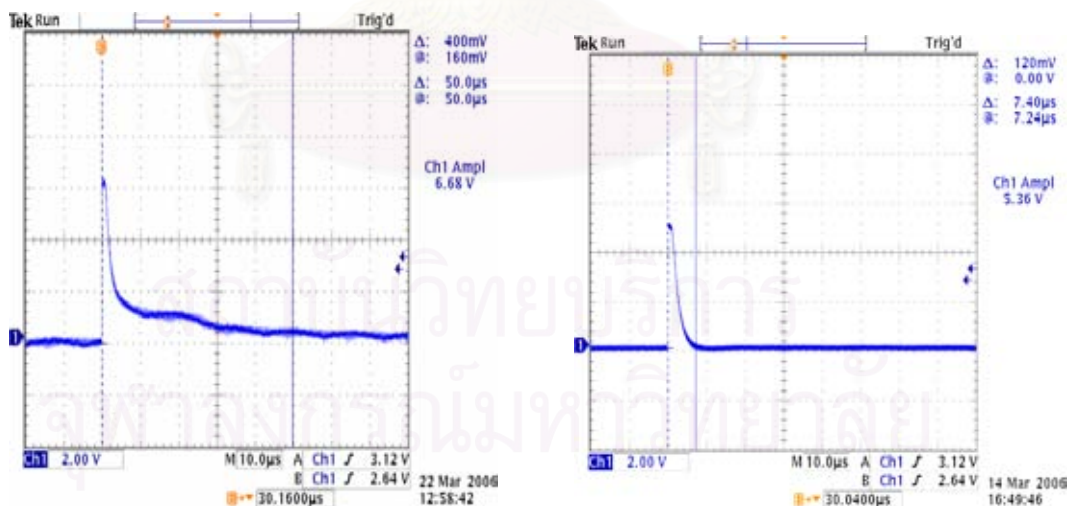
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า
แรงดันสูง เมื่อมีวงจรรักษาระดับแรงดันคงที่

4.1.2 การทดสอบรูปสัญญาณจากหัววัดรังสีไกเกอร์

การทดสอบรูปสัญญาณนี้เป็นการตรวจสอบการทำงานของวงจรหัววัดรังสีซึ่งไปอัดด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงภายในเครื่องวัดปริมาณรังสี เพื่อตรวจสอบสัญญาณรบกวนและสัญญาณพัลส์ โดยจัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.7 ปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ 580 โวลต์ ใช้ต้นกำเนิดรังสีแกมมา Cs-137 ในการทดสอบ อ่านค่ารูปสัญญาณด้วยเครื่องอ่านรูปสัญญาณ ผลการทดสอบพบว่า สัญญาณจากหัววัดรังสีไกเกอร์มีขนาดสัญญาณเท่ากับ 6.68 โวลต์ ค่า decay time ประมาณ 50 μ s และภายหลังการแต่งรูปสัญญาณพบว่า สัญญาณจากหัววัดรังสีไกเกอร์มีขนาดสัญญาณเท่ากับ 5.36 โวลต์ ค่า decay time ประมาณ 7.4 μ s ดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.7 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบรูปสัญญาณจากหัววัดรังสี



ก. สัญญาณพัลส์ก่อนผ่านวงจรแต่งรูปสัญญาณ ข. สัญญาณพัลส์หลังผ่านวงจรแต่งรูปสัญญาณ

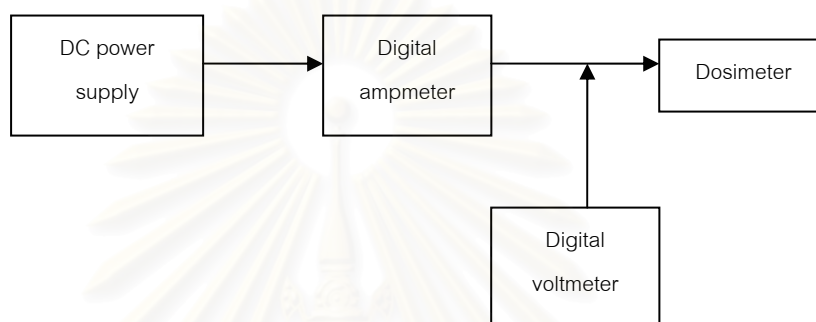
รูปที่ 4.8 รูปสัญญาณพัลส์จากวงจรหัววัดรังสี

4.1.3 การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การทดสอบการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล และการทดสอบระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่

4.1.3.1 การทดสอบการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

บุคคล

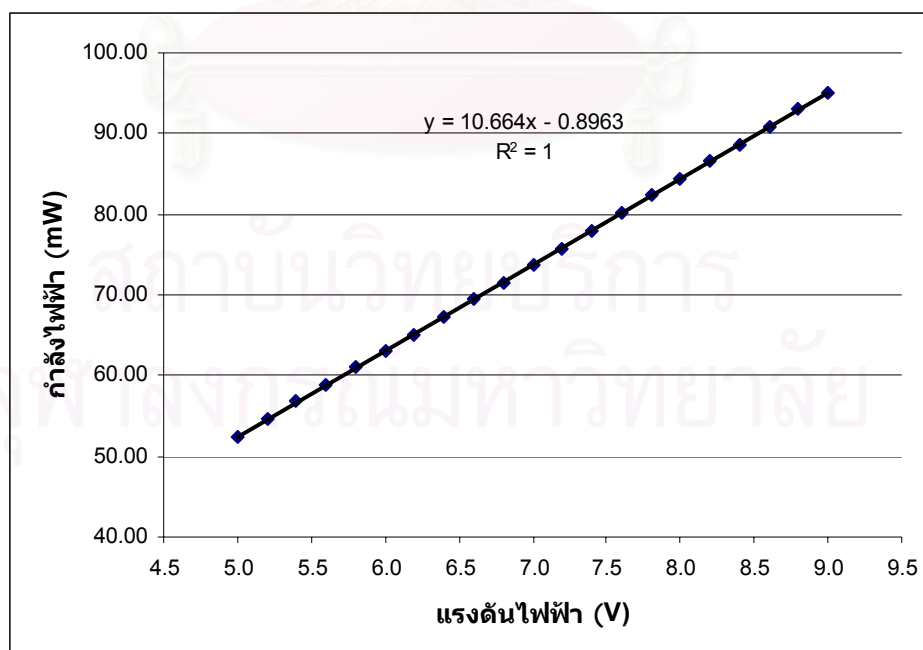


รูปที่ 4.9 การจัดอุปกรณ์ทดสอบการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าของเครื่องวัดปริมาณรังสี

จัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.9 ทำการแปรเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าจาก 9 โวลต์ ไปจนถึง 5.0 โวลต์ โดยลดลงครั้งละ 0.2 โวลต์ อ่านค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง และนำค่ากระแสไฟฟ้ามาคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไป ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.4 และความสัมพันธ์ระหว่างไฟฟ้าแรงดันต่ำกับการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าแสดงในรูปกราฟที่ 4.10

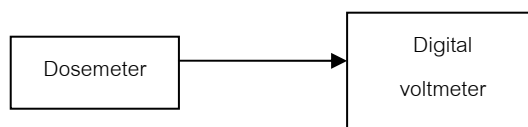
ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำและการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า

| แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ (V) | กระแสไฟฟ้าที่ใช้ (mA) | กำลังไฟฟ้าที่สูญเสีย (mW) |
|-------------------------------|--------------------------|------------------------------|
| 9.0 | 10.57 | 95.13 |
| 8.8 | 10.57 | 93.02 |
| 8.6 | 10.56 | 90.82 |
| 8.4 | 10.56 | 88.70 |
| 8.2 | 10.56 | 86.59 |
| 8.0 | 10.55 | 84.40 |
| 7.8 | 10.55 | 82.29 |
| 7.6 | 10.54 | 80.10 |
| 7.4 | 10.54 | 78.00 |
| 7.2 | 10.53 | 75.82 |
| 7.0 | 10.53 | 73.71 |
| 6.8 | 10.52 | 71.54 |
| 6.6 | 10.52 | 69.43 |
| 6.4 | 10.52 | 67.33 |
| 6.2 | 10.51 | 65.16 |
| 6.0 | 10.51 | 63.06 |
| 5.8 | 10.51 | 60.96 |
| 5.6 | 10.51 | 58.86 |
| 5.4 | 10.51 | 56.75 |
| 5.2 | 10.50 | 54.60 |
| 5.0 | 10.50 | 52.50 |



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าและการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า

4.1.3.2 การทดสอบระยะเวลาใช้งานของแบตเตอรี่

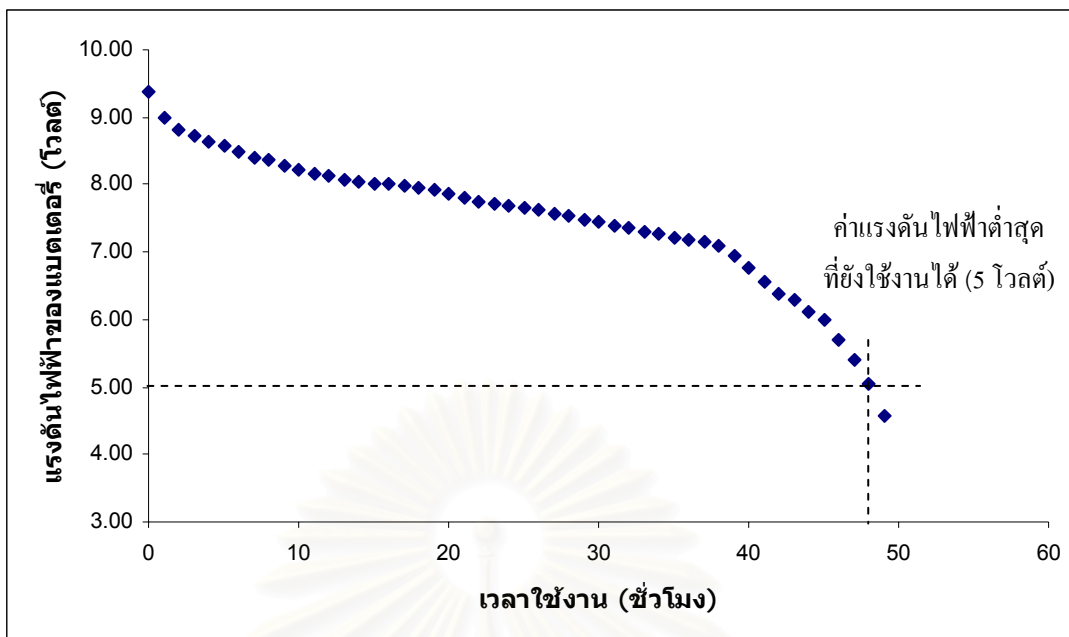


รูปที่ 4.11 การจัดอุปกรณ์ทดสอบระยะเวลาใช้งานของแบตเตอรี่

ทำการจัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.11 เครื่องวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้น ออกแบบให้ใช้กับแบตเตอรี่อัลคาไลน์ขนาด 9 โวลต์ ของ Panasonic รุ่น 6LR61(T) บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่และระยะเวลาการทำงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีจนกระทั่งถึงสถานะที่แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าพิกัดทำงาน ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.5 และเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่กับระยะเวลาการใช้งานของแบตเตอรี่แสดงในรูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาใช้งานของแบตเตอรี่และแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่

| เวลาใช้งาน (ชั่วโมง) | แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (โวลต์) | เวลาใช้งาน (ชั่วโมง) | แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (โวลต์) |
|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| 0 | 9.39 | 25 | 7.67 |
| 1 | 9.00 | 26 | 7.62 |
| 2 | 8.81 | 27 | 7.58 |
| 3 | 8.73 | 28 | 7.54 |
| 4 | 8.64 | 29 | 7.49 |
| 5 | 8.58 | 30 | 7.45 |
| 6 | 8.50 | 31 | 7.40 |
| 7 | 8.41 | 32 | 7.35 |
| 8 | 8.36 | 33 | 7.30 |
| 9 | 8.29 | 34 | 7.26 |
| 10 | 8.22 | 35 | 7.22 |
| 11 | 8.16 | 36 | 7.18 |
| 12 | 8.12 | 37 | 7.14 |
| 13 | 8.07 | 38 | 7.10 |
| 14 | 8.03 | 39 | 6.95 |
| 15 | 8.02 | 40 | 6.76 |
| 16 | 8.01 | 41 | 6.56 |
| 17 | 7.99 | 42 | 6.38 |
| 18 | 7.95 | 43 | 6.28 |
| 19 | 7.91 | 44 | 6.11 |
| 20 | 7.86 | 45 | 6.00 |
| 21 | 7.81 | 46 | 5.70 |
| 22 | 7.76 | 47 | 5.39 |
| 23 | 7.72 | 48 | 5.04 |
| 24 | 7.69 | 49 | 4.58 |



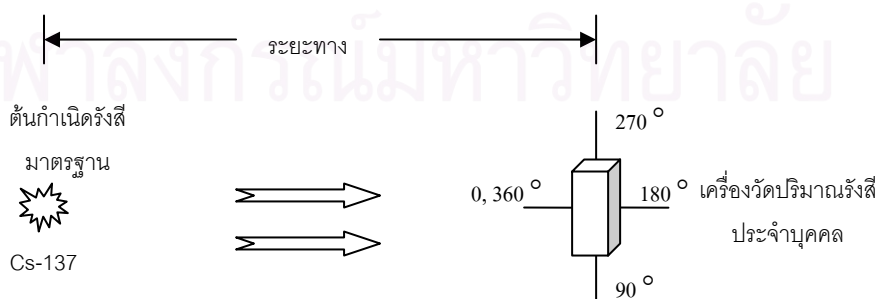
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาใช้งานและแรงดันไฟฟ้าของแมตเตอร์

4.2 การทดสอบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

เป็นการทดสอบเพื่อทำการเปรียบเทียบเครื่องวัดปริมาณรังสีให้มีความถูกต้องของข้อมูลการวัด โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 4 ส่วนคือ การทดสอบการตอบสนองต่อทิศทางการวัดปริมาณรังสี การทดสอบความไวของการวัดปริมาณรังสี การทดสอบความถูกต้องในการวัดปริมาณรังสี และการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดปริมาณรังสี

4.2.1 การทดสอบการตอบสนองต่อทิศทางการวัดปริมาณรังสี

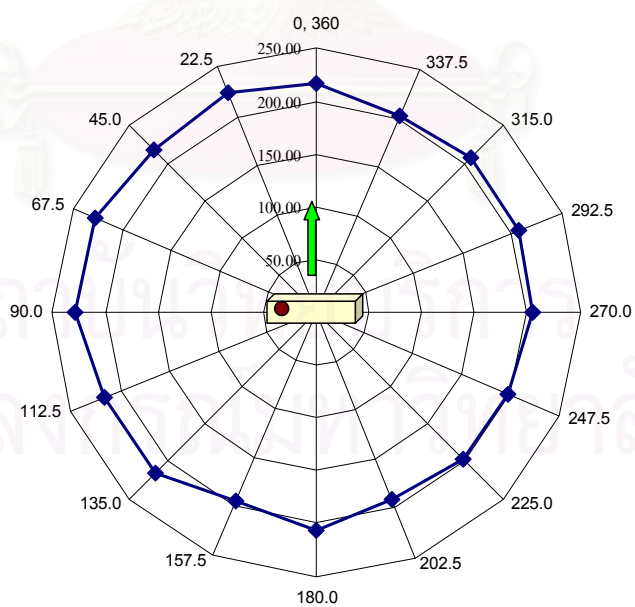
จัดอุปกรณ์การทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.13 ระยะห่างระหว่างต้นกำเนิดรังสีกับเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลเท่ากับ 70 ซม. ใช้เวลาในการวัดปริมาณรังสี 1 นาที แปรเปลี่ยนมุมทดสอบของเครื่องครั้งละ 22.5 องศา จนกระทั่งครบ 360 องศา ผลการทดสอบทิศทางการวัดปริมาณรังสีแสดงในตารางที่ 4.6 และเส้นกราฟรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.13 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบการตอบสนองต่อทิศทางการวัดปริมาณรังสี

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบการตอบสนองต่อทิศทางการวัดปริมาณรังสี

| ทิศทางการวัด (องศา) | จำนวนนับรังสี (count) ครั้งที่ | | | ค่าเฉลี่ยจำนวนนับรังสี (count) |
|------------------------|-----------------------------------|-----|-----|-----------------------------------|
| | 1 | 2 | 3 | |
| 0, 360 | 220 | 210 | 220 | 216.67 |
| 337.5 | 192 | 201 | 212 | 201.67 |
| 315.0 | 210 | 209 | 203 | 207.33 |
| 292.5 | 206 | 212 | 199 | 205.67 |
| 270.0 | 204 | 198 | 210 | 204.00 |
| 247.5 | 205 | 198 | 190 | 197.67 |
| 225.0 | 203 | 192 | 191 | 195.33 |
| 202.5 | 194 | 189 | 186 | 189.67 |
| 180.0 | 203 | 216 | 198 | 205.67 |
| 157.5 | 194 | 199 | 191 | 194.67 |
| 135.0 | 203 | 221 | 219 | 214.33 |
| 112.5 | 217 | 213 | 221 | 217.00 |
| 90.0 | 226 | 234 | 224 | 228.00 |
| 67.5 | 236 | 215 | 228 | 226.33 |
| 45.0 | 225 | 210 | 214 | 216.33 |
| 22.5 | 224 | 230 | 216 | 223.33 |

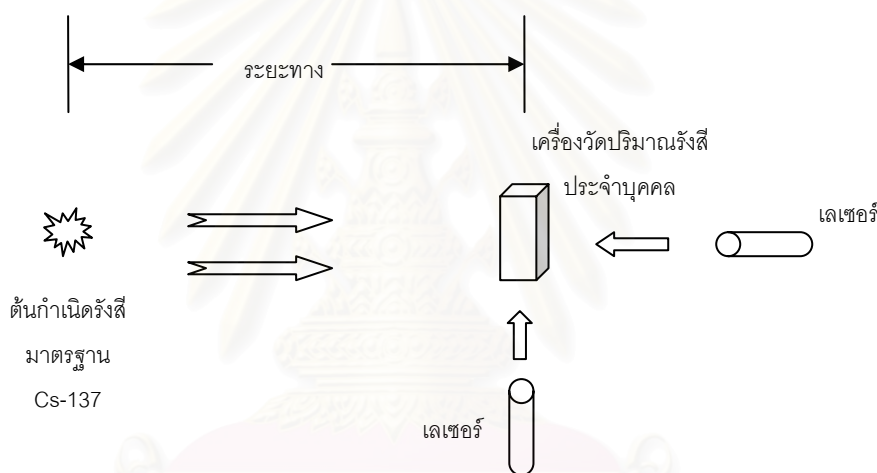


● ตำแหน่งของหัววัดรังสีไอเกออร์

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการตอบสนองต่อทิศทางการวัดปริมาณรังสี

4.2.2 การทดสอบความไวในการวัดปริมาณรังสี

เพื่อให้เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นสามารถวัดค่าปริมาณรังสีได้อย่างถูกต้องจึงต้องมีการปรับเทียบมาตรฐาน โดยนำเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นไปทำการทดสอบหาความไวในการวัดปริมาณรังสีที่ห้องปฏิบัติการเครื่องวัดรังสีมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard Dosimeter Laboratory, SSDL) กองรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ทำการปรับเทียบกับต้นกำเนิดรังสีแกมมาซีเซียม-137 ความเข้มรังสี 2.74 Ci โดยจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.15 ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางหัววัดรังสีไเกอร์ถึงจุดกึ่งกลางต้นกำเนิดรังสีเท่ากับ 75 เซนติเมตร อัตราปริมาณรังสี (exposure rate) ที่จุดปรับเทียบ ณ วันที่ 29 มีนาคม 2549 มีค่าเท่ากับ 0.40781 mR/Sec ทำการฉายรังสีโดยใช้ค่าปริมาณรังสีต่าง ๆ เพื่อนำมาหาค่าความไวเฉลี่ย ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.15 การจัดอุปกรณ์เพื่อทำการปรับเทียบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

ตารางที่ 4.7 ผลการวัดปริมาณรังสี ณ ตำแหน่งปรับเทียบมาตรฐาน

| ปริมาณรังสี ณ ตำแหน่งปรับเทียบ (mR) | จำนวนนับรังสีที่วัดได้ (count) | | | | ค่าเฉลี่ย จำนวนนับรังสี (count) | ความไว (count/mR) |
|-------------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|---------------------------------|-------------------|
| | ครั้งที่ | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| 4.08 | 2023 | 1978 | 1961 | 2050 | 2003 | 491 |
| 8.16 | 4012 | 3989 | 4065 | 3944 | 4003 | 491 |
| 20.39 | 10098 | 9992 | 10023 | 10015 | 10032 | 492 |
| 49.75 | 24642 | 24753 | 24656 | 24825 | 24719 | 497 |
| 70.14 | 34595 | 34565 | 34533 | 34593 | 34572 | 493 |
| 84.82 | 42175 | 41961 | 42093 | 42107 | 42084 | 496 |
| 99.91 | 49375 | 49340 | 49298 | 49317 | 49333 | 494 |
| | | | | | ค่าเฉลี่ย | 493 ± 2.40 |

จากผลการทดสอบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลในด้านความไวต่อการวัดปริมาณรังสีพบว่าเครื่องวัดปริมาณรังสีที่ได้พัฒนาขึ้น มีความไวในการวัดปริมาณรังสีโดยเฉลี่ยคือ 493 Count/mR จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ไปใช้ในการเปรียบเทียบการวัดปริมาณรังสี เพื่อให้เครื่องวัดปริมาณรังสีสามารถแสดงผลออกมาในรูปของปริมาณรังสีสะสม (หน่วยเป็นเรินท์เกน)

4.2.3 การทดสอบการตอบสนองต่อพลังงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

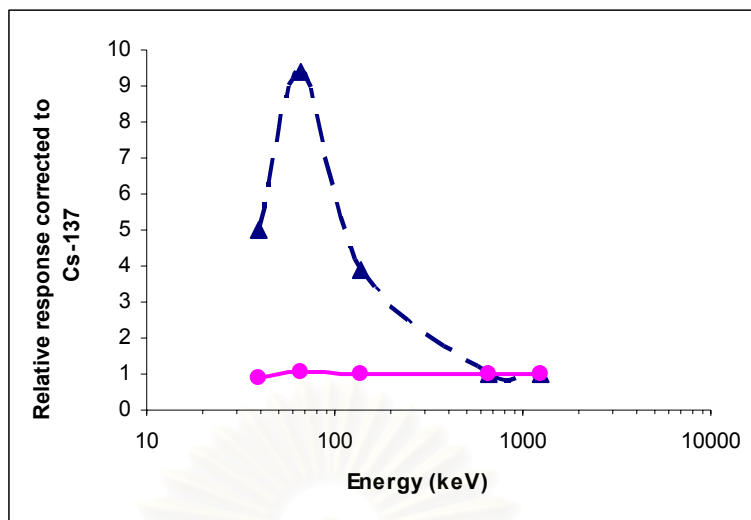
ทำการจัดอุปกรณ์ทดสอบดังรูปที่ 4.15 แปรเปลี่ยนค่าพลังงานต่าง ๆ โดยการใช้ต้นกำเนิดรังสี Cs-137, Co-60 และเครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ ผลการทดสอบการตอบสนองต่อพลังงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น แบ่งเป็นผลการตอบสนองเมื่อยังไม่มีการแก้ค่าตอบสนองต่อพลังงานที่หัววัดรังสี และหลังจากแก้ค่าด้วยตะกั่วหนา 0.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และเส้นกราฟเปรียบเทียบผลการวัดรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบผลการทดสอบการตอบสนองต่อพลังงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้น

| พลังงาน รังสี (keV) | ปริมาณรังสี (mR) | ปริมาณรังสีที่วัดได้ (mR) | | | | ค่าเฉลี่ย (mR) | relative response corrected to 662 keV of Cs-137 |
|---------------------------|---------------------|---------------------------|--------|--------|--------|-------------------|--|
| | | ครั้งที่ | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | | |
| 39 | 50 | 248.6 | 249.1 | 248.7 | 248.3 | 248.7 | 5.0183 |
| | | [43.6] | [43.1] | [43.2] | [44.1] | | |
| 66 | 50 | 464.7 | 464.2 | 463.5 | 463.7 | 464.0 | 9.3649 |
| | | [54.6] | [52.1] | [50.6] | [51.6] | | |
| 137 | 50 | 191.2 | 192.3 | 191.8 | 191.5 | 191.7 | 3.8686 |
| | | [49.9] | [50.4] | [49.8] | [49.9] | | |
| 662 | 50 | 49.5 | 49.4 | 49.8 | 49.5 | 49.6 | 1.0000 |
| | | [50.0] | [50.2] | [50.0] | [50.4] | | |
| 1250 | 50 | 50.0 | 50.5 | 51.3 | 51.1 | 50.7 | 1.0234 |
| | | [50.3] | [49.8] | [50.2] | [49.6] | | |

: ค่าที่วัดจากเครื่องวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้น ขณะที่ยังไม่ได้แก้ค่าการตอบสนองต่อพลังงาน

[] : ค่าที่วัดจากเครื่องวัดปริมาณรังสีที่พัฒนาขึ้น หลังจากแก้ค่าการตอบสนองต่อพลังงานของหัววัดโดยใช้ตะกั่วหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร หุ้มหัววัดรังสี



- ▲ — เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นไม่ได้แก้ค่าการตอบสนองต่อพลังงาน
- ● — เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น แก้ค่าการตอบสนองต่อพลังงานด้วยตะกั่วหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร

รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการตอบสนองต่อพลังงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น

4.2.4 การทดสอบความถูกต้องในการวัดปริมาณรังสี

จัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.15 ระยะห่างจากจุดกึ่งกลางหัววัดรังสีไอเกอร์ถึงจุดกึ่งกลางต้นกำเนิดรังสีเท่ากับ 75 เซนติเมตร อัตราปริมาณรังสี ที่จุดปรับเทียบ ณ วันที่ 29 มีนาคม 2549 มีค่าเท่ากับ 0.40781 mR/Sec ทำการฉายรังสีโดยใช้ค่าปริมาณรังสี 101.99 mR ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบความถูกต้องของการวัดปริมาณรังสี

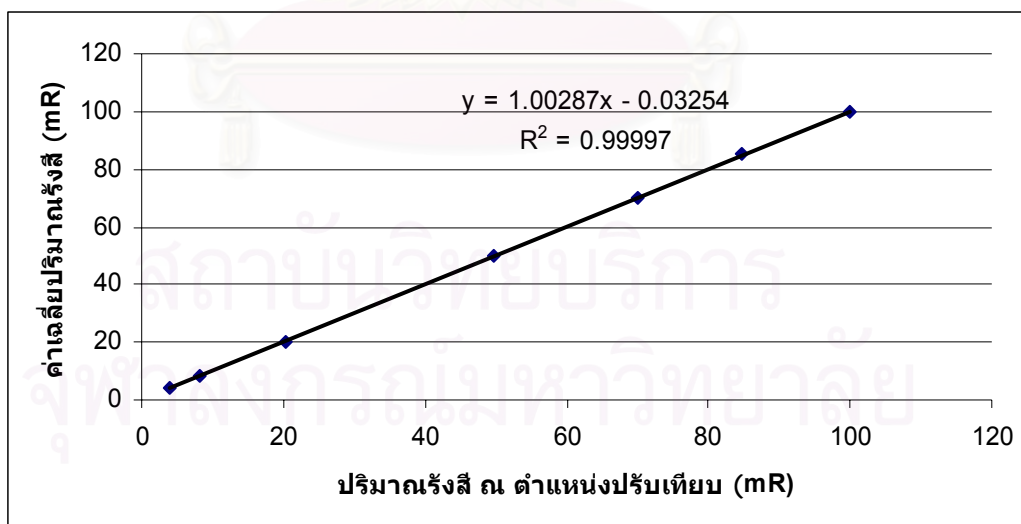
| ปริมาณรังสี ณ ตำแหน่งปรับเทียบ (mR) | ปริมาณรังสีสะสม (mR) ครั้งที่ | | | | ค่าเฉลี่ย ปริมาณรังสี (mR) | ความเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD) | ความคลาดเคลื่อน (%) |
|-------------------------------------|-------------------------------|-------|------|-------|----------------------------|----------------------------|---------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | | |
| 101.9 | 100.1 | 100.0 | 99.9 | 100.0 | 100.0 | 0.08 | 0.08 |

4.2.5 การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

เพื่อทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น ได้ทำการจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.15 โดยนำเครื่องวัดรังสีไปวางที่จุดเปรียบเทียบ แล้วทำการฉายรังสีที่ค่าปริมาณรังสีต่าง ๆ บันทึกค่าปริมาณรังสีในแต่ละครั้งของการวัด ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.17

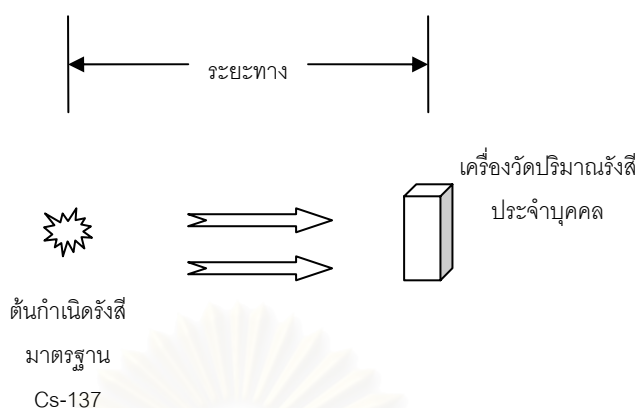
ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น

| ปริมาณรังสี ณ ตำแหน่งเปรียบเทียบ (mR) | ปริมาณรังสีสะสม (mR) ครั้งที่ | | | | ค่าเฉลี่ย ปริมาณรังสี (mR) | ความเบี่ยงเบน มาตรฐาน (SD) | ความคลาดเคลื่อน (%) |
|---------------------------------------|-------------------------------|--------|-------|-------|----------------------------|----------------------------|---------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | | |
| 4.08 | 4.10 | 4.01 | 3.98 | 4.16 | 4.06 | 0.08 | 2.04 |
| 8.16 | 8.13 | 8.09 | 8.24 | 7.99 | 8.11 | 0.10 | 1.26 |
| 20.39 | 20.47 | 20.25 | 20.32 | 20.30 | 20.34 | 0.09 | 0.46 |
| 49.75 | 49.95 | 50.18 | 49.98 | 50.32 | 50.11 | 0.17 | 0.35 |
| 70.14 | 70.13 | 70.06 | 70.00 | 70.12 | 70.08 | 0.06 | 0.08 |
| 84.82 | 85.49 | 85.06 | 85.32 | 85.35 | 85.31 | 0.18 | 0.21 |
| 99.91 | 100.09 | 100.01 | 99.93 | 99.97 | 100.00 | 0.07 | 0.07 |



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

4.3 การทดสอบการเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำ

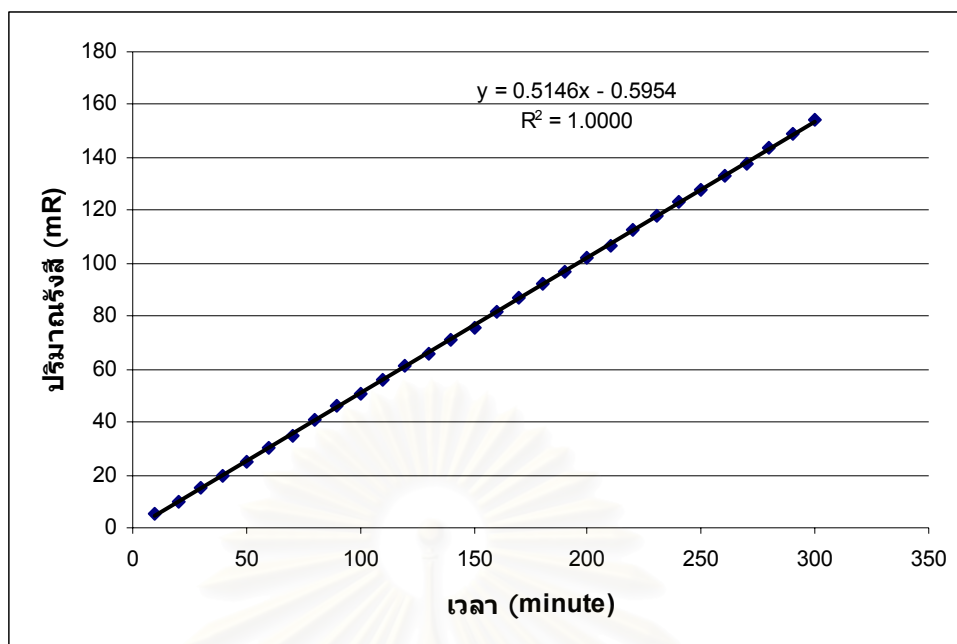


รูปที่ 4.18 การจัดอุปกรณ์เพื่อทำการทดสอบการเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำ

ทำการจัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพรูปที่ 4.18 โดยกำหนดให้ปริมาณรังสีมีค่าคงที่ จากนั้นทำการวัดปริมาณรังสีแล้วบันทึกลงในหน่วยความจำทุก ๆ ระยะเวลา 10 นาที เป็นระยะเวลา 5 ชม. ผลการบันทึกปริมาณรังสีแสดงในตารางที่ 4.11 และเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์รูปที่ 4.19

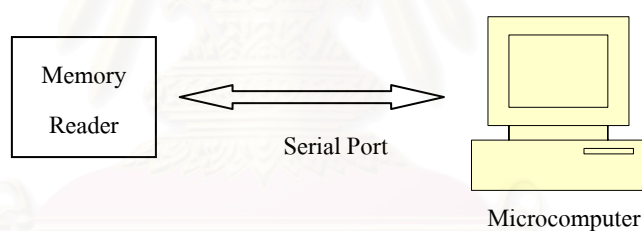
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าปริมาณรังสีที่เก็บบันทึกลงในหน่วยความจำ

| เวลา (minute) | ปริมาณรังสี (mR) | เวลา (minute) | ปริมาณรังสี (mR) |
|------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| 10 | 5 | 160 | 82 |
| 20 | 10 | 170 | 87 |
| 30 | 15 | 180 | 92 |
| 40 | 20 | 190 | 97 |
| 50 | 25 | 200 | 102 |
| 60 | 30 | 210 | 107 |
| 70 | 35 | 220 | 113 |
| 80 | 41 | 230 | 118 |
| 90 | 46 | 240 | 123 |
| 100 | 51 | 250 | 128 |
| 110 | 56 | 260 | 133 |
| 120 | 61 | 270 | 138 |
| 130 | 66 | 280 | 144 |
| 140 | 71 | 290 | 149 |
| 150 | 76 | 300 | 154 |



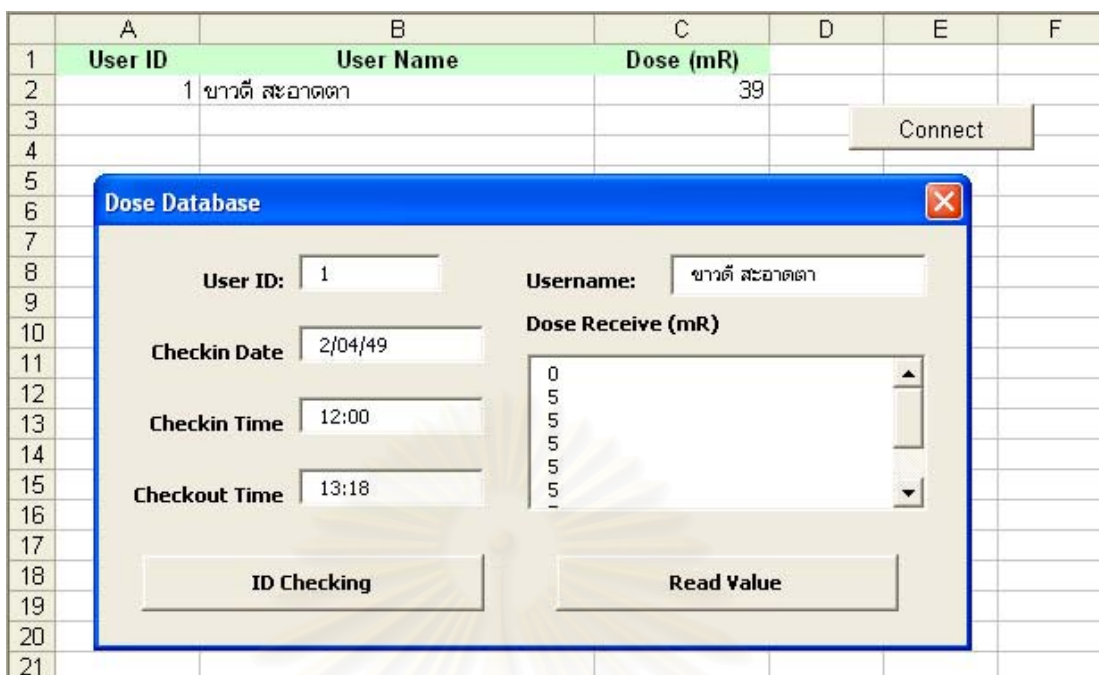
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงการเก็บข้อมูลปริมาณรังสีลงในหน่วยความจำ

4.4 การทดสอบโปรแกรมอ่านค่าปริมาณรังสีและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่ 4.20 การจัดอุปกรณ์ทดสอบโปรแกรมอ่านค่าปริมาณรังสีจากหน่วยความจำและรายงานผลบนไมโครคอมพิวเตอร์

ทำการจัดอุปกรณ์ดังรูปที่ 4.20 โดยใช้เครื่องอ่านค่าปริมาณรังสีจากหน่วยความจำและไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งมีโปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผลที่ได้ทำการพัฒนาขึ้น เริ่มการอ่านค่าปริมาณรังสีที่บันทึกอยู่ในหน่วยความจำ จากนั้นโปรแกรมอ่านค่าปริมาณรังสีจะทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้จากหน่วยความจำแล้วบันทึกลงในฐานข้อมูลที่พัฒนาโดยใช้ Microsoft Excel ซึ่งจะประโยชน์ในการค้นหาและตรวจสอบการทำงานของผู้ปฏิบัติงานเพื่อการป้องกันอันตรายจากรังสี



รูปที่ 4.21 การแสดงผลบนหน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์ของโปรแกรมการอ่านค่าปริมาณรังสีจากหน่วยความจำ

| | A | B | C | D | E |
|----|---------------------|---------------------|----------------------------|----------------------|----|
| 1 | | | | | |
| 2 | ชื่อผู้ใช้ | ชาวดี สะอาดตา | Accumulative Dose = | 39 | mR |
| 3 | | | | | |
| 4 | Checkin Date | Checkin Time | Dose (mR) | Checkout Time | |
| 5 | 2-เม.ย.-49 | 12:00 | 0 | 13:18 | |
| 6 | | 12:10 | 5 | | |
| 7 | | 12:20 | 5 | | |
| 8 | | 12:30 | 5 | | |
| 9 | | 12:40 | 5 | | |
| 10 | | 12:50 | 5 | | |
| 11 | | 13:00 | 5 | | |
| 12 | | 13:10 | 5 | | |
| 13 | | 13:18 | 4 | | |
| 14 | | | | | |

รูปที่ 4.22 รายละเอียดของข้อมูลปฏิบัติงาน

สถาบันวิจัยรังสี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงตัวเลขชนิดเก็บข้อมูลบนหน่วยความจำถอดเปลี่ยนได้ มีผลสรุปของการวิจัยดังนี้

5.1.1 ผลการทดสอบการทำงานของวงจรภายในเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

ก. การทดสอบสมรรถนะการทำงานของวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงพบว่า เมื่อมีการใช้วงจรรักษาระดับแรงดัน แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงจะสามารถทำงานที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตั้งแต่ 9 ถึง 5 โวลต์ และแปรเปลี่ยนค่าไฟฟ้าแรงดันสูงกระแสตรง เพื่อไบอัสให้หัววัดไกเกอร์ทำงานได้ 580 ถึง 525 โวลต์ สามารถจ่ายกระแสได้สูงสุด 14.5 ไมโครแอมป์แปร์

ข. การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงพบว่า แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่ยังสามารถรักษาระดับแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูงให้คงที่อยู่ได้มีค่า 5.2 โวลต์

ค. การทดสอบรูปสัญญาณจากหัววัดรังสีไกเกอร์พบว่า รูปสัญญาณพัลส์มีขนาด 6.68 โวลต์ และมีค่า decay time ประมาณ 50 μ s

ง. การทดสอบวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำพบว่า แบตเตอรี่อัลคาไลน์ขนาด 9 โวลต์ ที่ใช้กับเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น สามารถใช้งานได้ต่อเนื่องนาน 47 ชั่วโมง และมีอัตราการสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า 95.13 mW ที่แรงดันไฟฟ้า 9 โวลต์

5.1.2 ผลการทดสอบเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

ก. การทดสอบการตอบสนองต่อทิศทางการวัดปริมาณรังสีพบว่า เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น ตอบสนองการวัดปริมาณรังสีมากที่สุดที่มุม 67.5 – 90 องศา

ข. การทดสอบความไวในการวัดปริมาณรังสีพบว่า มีความไวในการวัดปริมาณรังสีที่ 493 count/mR

ค. การทดสอบการตอบสนองต่อพลังงานพบว่า เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้นมีการตอบสนองต่อปริมาณรังสีในช่วงพลังงาน 39 – 137 keV มากกว่าในช่วงพลังงาน 662 – 1250 keV เมื่อทำการแก้ไขค่าการตอบสนองต่อพลังงานของรังสีโดยใช้แผ่นตะกั่วหนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร หุ้มรอบหัววัดรังสี ทำให้ผลการวัดในช่วงพลังงานต่ำดีขึ้น ซึ่งทำให้เครื่องวัดสามารถวัดปริมาณรังสีในช่วงพลังงานตั้งแต่ 39 ถึง 1250 keV ได้โดยมีความคลาดเคลื่อนในการวัดน้อยกว่า $\pm 15\%$

ง. การทดสอบความถูกต้องในการวัดปริมาณรังสีพบว่า เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น ทำการเปรียบเทียบกับต้นกำเนิดรังสีมาตรฐานซีเซียม-137 จากห้องปฏิบัติการกองรังสีและเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ความแรงรังสี 2.74 Ci ที่ระยะห่าง 75 เซนติเมตร มีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 3\%$

จ. การทดสอบความเป็นเชิงเส้นของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลพบว่า มีความเป็นเชิงเส้นดีมากโดยมีสัมประสิทธิ์ความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.99997

5.1.3 ผลการทดสอบการเก็บบันทึกค่าปริมาณรังสีลงในหน่วยความจำ

การทดสอบการเก็บบันทึกค่าปริมาณรังสีลงในหน่วยความจำพบว่า เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น สามารถบันทึกค่าได้ทุก ๆ 10 นาที โดยที่สามารถเก็บบันทึกค่าได้อย่างถูกต้องในทุกช่วงเวลา

5.1.4 ผลการทดสอบโปรแกรมอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำและบันทึกลงฐานข้อมูล

การทดสอบโปรแกรมอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำพบว่า โปรแกรมสามารถทำการอ่านข้อมูลปริมาณรังสีจากหน่วยความจำของแต่ละบุคคลได้อย่างถูกต้อง และสามารถจัดเก็บข้อมูลปริมาณรังสีลงในฐานข้อมูลได้ตรงตามรหัสของผู้ใช้หน่วยความจำ

5.2 ลักษณะพิสัยของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่พัฒนาขึ้น

ก. หัววัดรังสี

หัววัดรังสีไกเกอร์ชนิด halogen-quenched ขนาดเล็ก (Hamamatsu D3372) ใช้สำหรับวัดรังสีแกมมาและรังสีเบตาพลังงานสูง ฟิล์มช่วยตะกั่วหนา 0.5 มม. โดยรอบ เพื่อแก้ไขการตอบสนองต่อพลังงานในช่วงพลังงานต่ำ

ข. แสดงผลการวัด

แสดงผลเชิงตัวเลข 4 หลักด้วยจอแบบ LCD ในช่วงปริมาณรังสี 0-9999 mR

ค. ความแม่นยำในการวัดปริมาณรังสี

มีความเป็นเชิงเส้นเท่ากับ 0.99997 และมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน $\pm 3\%$

ง. ระบบบันทึกค่าปริมาณรังสี

สามารถบันทึกปริมาณได้ทุกช่วงระยะเวลา 10 นาที

จ. ชนิดของแบตเตอรี่

ใช้แบตเตอรี่อัลคาไลน์ขนาด 9 โวลต์ การสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้า 95.13 mW
ระยะเวลาใช้งานต่อเนื่องนาน 47 ชั่วโมง

ฉ. ขนาดและน้ำหนักของตัวเครื่อง

ออกแบบตัวเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลให้มีขนาด 5 x 10.5 x 2 เซนติเมตร
และมีน้ำหนักรวม 115 กรัม

5.3 ข้อเสนอแนะ

ก. จากผลการทดสอบการเก็บข้อมูลลงหน่วยความจำที่พัฒนาขึ้นพบว่า หากทำการพัฒนาระบบให้สามารถเก็บข้อมูลลงในหน่วยความจำมาตรฐานประเภท SD/MMC Card หรือ Compact Flash Card ก็จะเป็นการอำนวยความสะดวกค่อนข้างมากเนื่องจากหน่วยความจำดังกล่าวมีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด แต่จะต้องมีการพัฒนาทางด้านไมโครคอนโทรลเลอร์โดยการนำไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถในการติดต่อกับหน่วยความจำมาตรฐานดังกล่าวมาประยุกต์ใช้งานด้วย

ข. ควรมีการพัฒนาในเรื่องของการเชื่อมต่อข้อมูลกับไมโครคอมพิวเตอร์ โดยใช้การเชื่อมต่อในมาตรฐานอื่น ๆ ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันเช่น การเชื่อมต่อด้วยอินฟราเรด (IrDa), การเชื่อมต่อด้วย Bluetooth หรือการเชื่อมต่อโดยใช้เครือข่ายแบบไร้สาย (wireless lan)

ค. ควรเลือกใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำเป็นแบตเตอรี่ที่มีแรงดันไฟฟ้า 6 โวลต์ แทนแบตเตอรี่ 9 โวลต์ จะช่วยลดการสิ้นเปลืองพลังงานของระบบลงได้เป็นอย่างมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. Izumi, S., H. Kitaguchi, S. Mitani and H. Kikuchi. A computerized personal dosimeter with an IC card. IEEE Transaction on nuclear science. Vol. 36. No. 1, February, 1989.
2. สุขใจ เกียรติศักดิ์วัฒนา. การพัฒนาเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิดแสดงผลเชิงตัวเลข. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
3. สุทธิเกียรติ ชลลาภ. การพัฒนาระบบวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลที่แสดงผลเชิงตัวเลขชนิดส่งข้อมูลแบบไร้สาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยีบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
4. อรรถพร ภัทรสมันต์. เอกสารประกอบการสอนการวัดปริมาณรังสี. ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
5. Knoll, G.F. Radiation detection and measurement. New York: McGraw-Hill Book Company, 1992.
6. Direct reading dosimeter — Low range models. Available from:
http://www.arrowtechinc.com/Catalog_pdf/Irdosimeter.pdf, 2000.
7. สุวัฒน์ คั่น. เทคนิคและการออกแบบสวิตชิงพาวเวอร์ซัพพลาย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2538.
8. Microchip Technology Inc. PIC16F87X Datasheet. 2001.
9. เอกชัย มะการ. รู้จักและเข้าใจ Chips Support แบบ I2C BUS. กรุงเทพฯ: บริษัท อีทีที จำกัด, 2545.
10. Microchip Technology Inc. 24AA64/24LC64 I²C Serial EEPROM. 2003.
11. Chryssis, G. High-frequency switching power supplies: Theory and design. New York: McGraw-Hill Book Company, 1984.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การออกแบบและคำนวณหม้อแปลงไฟฟ้าสวิตชิ่ง[11]

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้หม้อแปลงชนิดแกนเฟอร์ไรต์แบบ EE-13 Core เป็นวัสดุชนิด 2F1 รายละเอียดของแกนชนิดนี้ อ้างอิงจากบริษัทผู้ผลิตแกน Tomita Ferrite core ทางผู้ผลิตระบุว่า $A_c = 0.171 \text{ cm}^2$, $B_{\max} = 1750 \text{ Gauss}$ ขั้นตอนการออกแบบมีดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} \text{กำหนดให้ } f &= 50 \text{ kHz} \\ V_{\text{in}} &= 5 \text{ V} \\ V_{\text{out}} &= 290 \text{ V} \\ R_L &= 5 \text{ M}\Omega \\ \text{Duty cycle } (\delta_{\max}) &= 0.5 \text{ (50\%)} \end{aligned}$$

หาค่ากำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ต้องใช้

$$\begin{aligned} P &= \frac{V^2}{R} = \frac{290^2}{(5 \times 10^6)} \\ &= 0.017 \text{ Watt} \end{aligned}$$

คำนวณโดยหาค่ากำลังไฟฟ้าไว้ประมาณ 2 เท่า

$$\text{ดังนั้น } P \approx 0.035 \text{ Watt}$$

จากตารางขนาดขดลวดทองแดง เลือกใช้ขดลวดด้านทุติยภูมิเบอร์ AWG 45

หาค่าปริมาณกระแสที่ต้องใช้ทางด้านขดลวดปฐมภูมิ

$$\begin{aligned} I_{\text{pp}} &= \frac{2P_{\text{Out}}}{V_{\text{in,min}} \delta_{\max}} = \frac{2(0.035)}{(5)(0.5)} \\ &= 0.028 \text{ Amp} \end{aligned}$$

จากตารางขนาดขดลวดทองแดง เลือกใช้ขดลวดด้านปฐมภูมิเบอร์ AWG 42

หาค่าความเหนี่ยวนำทางด้านขดลวดปฐมภูมิ

$$\begin{aligned} L_p &= \frac{V_{\text{in,min}} \delta_{\max}}{I_{\text{pp}} f} = \frac{(5)(0.5)}{(0.028)(50 \times 10^3)} \\ &= 1786 \text{ } \mu\text{H} \end{aligned}$$

หาค่าระยะห่างระหว่างแกน

$$\begin{aligned}
 I_g &= \frac{(0.4\pi L_p I_{PP}^2)10^8}{A_e B_{\max}^2} \\
 &= \frac{(0.4\pi \times 1786 \times 10^{-6} \times 0.028^2)10^8}{(0.171)(1750^2)} \\
 &= 0.0336 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

หาจำนวนรอบของขดลวดทางด้านปฐมภูมิ

$$\begin{aligned}
 N_p &= \frac{(L_p I_{PP})10^8}{A_e B_{\max}} = \frac{(1786 \times 10^{-6})(0.028)10^8}{(0.171)(1750)} \\
 &= 16.71 \text{ รอบ}
 \end{aligned}$$

หาจำนวนรอบของขดลวดทางด้านทุติยภูมิ

$$\begin{aligned}
 N_s &= \frac{N_p (V_{out} + V_D)(1 - \delta_{\max})}{V_{in, \min} \delta_{\max}} \\
 &= \frac{16.71(290 + 1)(1 - 0.5)}{(5)(0.5)} \\
 &= 972.52 \text{ รอบ}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น พันขดลวดทางด้านปฐมภูมิด้วยลวดเบอร์ AWG 42 ทั้งหมด 17 รอบ

พันขดลวดทางด้านทุติยภูมิด้วยลวดเบอร์ AWG 45 ทั้งหมด 973 รอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

โปรแกรมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877

```
Clear
DEFINE OSC 4
DEFINE LCD_DREG          PORTD          'lcd data port output
DEFINE LCD_DBIT          4              'lcd data bit output

DEFINE LCD_RSREG         PORTD          'lcd register select port
DEFINE LCD_RSBIT         2              'lcd register select bit

DEFINE LCD_EREG          PORTD          'lcd enable port
DEFINE LCD_EBIT          3              'lcd enable bit

DEFINE LCD_BITS          4              '4-bits data bus
DEFINE LCD_LINES         2              '2 character lines

DEFINE ADC_BITS          10             'Set number of bit
DEFINE ADC_CLOCK          3              'Set Clock source (0 = Oscillator/2)
DEFINE ADC_SAMPLEUS      50             'Set sampling time in uS

ID   VAR WORD
C0   VAR WORD          'Variable for correct count
C1   VAR WORD          'Variable for correct count
C2   VAR BYTE          'Variable for correct count
VALUE VAR BYTE
Addr VAR byte
SEC  VAR BYTE
SEC_L VAR WORD
SEC_H VAR WORD
SEC_T VAR WORD
MINUTE VAR BYTE
MIN_L VAR WORD
MIN_H VAR WORD
MIN_T VAR WORD
HOUR  VAR BYTE
HOUR_L VAR WORD
HOUR_H VAR WORD
HOUR_T VAR WORD
DAY   VAR BYTE
DAY_L VAR BYTE
DAY_H VAR BYTE
DAY_T VAR BYTE
MONTH VAR BYTE
MONTH_L VAR BYTE
MONTH_H VAR BYTE
MONTH_T VAR BYTE
YEAR  VAR BYTE
```



```

SEC2  VAR BYTE
MIN1  VAR BYTE
MIN10 VAR BYTE
MIN20 VAR BYTE
MIN30 VAR BYTE
MIN40 VAR BYTE
MIN50 VAR BYTE

SCL  var PORTC.3
SDA  var PORTC.4

Ctrl  con $A0          'Control code for memory
CtrlRTC con $D0       'Control code for RTC

Main:

##### Memory Checking #####
Addr = 0
I2CRead SDA,SCL,Ctrl,Addr,Addr,[ID]
If ID=4112 Then
  Goto NoCard
Else
  Goto WithCard
EndIf

#####

WithCard:
LCDOut $FE,1,"Welcome"
LCDOut $FE,$C0
LCDOUT $FE,$14,"ID: ",#ID
Pause 1000
LCDOut $FE,1

Addr = 1
I2CRead SDA,SCL,Ctrl,Addr,Addr,[VALUE]
While VALUE <> 0          'When Value = 0 program continue
  Addr = Addr + 1
  I2CRead SDA,SCL,Ctrl,Addr,Addr,[VALUE]
Wend

##### Initial Time #####
SEC_T = 0
MIN_T = 0
HOUR_T = 0
DAY_T = 0
MONTH_T = 0

GOSUB TIME
GOSUB CONV

```

```

MIN1 = Minute
MIN10 = Minute + 16
MIN20 = Minute + 32
MIN30 = Minute + 48
MIN40 = Minute + 64
MIN50 = Minute + 80

```

```

If MIN10 > 89 Then MIN10 = MIN10 - 96
If MIN20 > 89 Then MIN20 = MIN20 - 96
If MIN30 > 89 Then MIN30 = MIN30 - 96
If MIN40 > 89 Then MIN40 = MIN40 - 96
If MIN50 > 89 Then MIN50 = MIN50 - 96

```

```

IF SEC = 0 THEN SEC = 1
IF SEC > 0 AND SEC < 16 THEN SEC2 = SEC - 1
IF SEC >= 16 THEN SEC2 = SEC - 16

```

```

LCDOut $FE,1,"HOUR: ",#HOUR_T
PAUSE 500
I2CWrite SDA,SCL,Ctrl,Addr,Addr,[HOUR_T]
Pause 15
Addr = Addr +1

```

```

LCDOUT $FE,1,"MIN: ",#MIN_T
PAUSE 500
I2CWrite SDA,SCL,Ctrl,Addr,Addr,[MIN_T]
Pause 15
Addr = Addr +1

```

```

LCDOut $FE,1
C0 = 0
C1 = 0
C2 = 0

```

```

GOTO Loop

```

```

##### Count With Card #####

```

```

Loop:

```

```

GOSUB TIME
GOSUB CONV

```

```

If SEC_T = 0 Then

```

```

    LcdOut $FE,1

```

```

    LCDOUT $FE,$C0

```

```

    LCDOut DEC(HOUR_T),":",DEC(MIN_T),":",DEC(SEC_T)

```

```

ELSE

```

```

    LCDOut $FE,$C0

```

```

    LCDOut DEC(HOUR_T),":",DEC(MIN_T),":",DEC(SEC_T)

```

```

ENDIF

```

```

IF C1=0 and C1<=9 Then LCDOut $FE,2,$FE,$14,$FE,$14,$FE,$14,$FE,$14,$FE,$14,DEC(C1)," ",DEC(C2)
IF C1>9 and C1<=99 Then LCDOut $FE,2,$FE,$14,$FE,$14,$FE,$14,$FE,$14,DEC(C1)," ",DEC(C2)
IF C1>99 and C1<=999 Then LCDOut $FE,2,$FE,$14,$FE,$14,$FE,$14,DEC(C1)," ",DEC(C2)
IF C1>999 and C1<=9999 Then LCDOut $FE,2,$FE,$14,$FE,$14,DEC(C1)," ",DEC(C2)
IF C1>9999 Then LCDOut $FE,2,$FE,$14,DEC(C1)," ",DEC(C2)

```

```

Count PortB.2,1000,C0                                'Count on PortB.2 every 100 mSec
C1 = C1 + C0
C1 = C1 * 1

```

```

IF MINUTE = MIN1 AND SEC = SEC2 THEN GOSUB Correct
IF MINUTE = MIN10 AND SEC = SEC2 THEN GOSUB Correct
IF MINUTE = MIN20 AND SEC = SEC2 THEN GOSUB Correct
IF MINUTE = MIN30 AND SEC = SEC2 THEN GOSUB Correct
IF MINUTE = MIN40 AND SEC = SEC2 THEN GOSUB Correct
IF MINUTE = MIN50 AND SEC = SEC2 THEN GOSUB Correct
IF PORTB.1 = 0 THEN GOTO Saving
IF C1 >= 1000 Then FreqOut PortB.0,500,2000
Goto Loop

```

```
##### Count Without Card #####
```

Nocard:

```

LCDOut $FE,1,"No Card"
Pause 1000
C0 = 0
C1 = 0
Goto Loop2

```

Loop2:

```

LcdOut $FE,1,DEC(C1)
Count PortB.2,1000,C0
C1 = C1 + C0
C1 = C1 * 1          'Calibration Factor
IF C1 >= 1000 Then FreqOut PortB.0,500,2000
Goto Loop2

```

```
##### Correct Data #####
```

Correct:

```

I2CWrite SDA,SCL,Ctrl,Addr,Addr,[C1]
Pause 10
Addr = Addr + 1
C2 = C2 + 1

```

```

LcdOut $fe,1,Dec(C1)
LcdOut $fe,$c0,"Save"
Pause 500
LCDOut $FE,1
Return

```

```
##### Save #####
```

```
Saving:
```

```
LCDOUT $FE,1,"Saving"
```

```
Pause 1000
```

```
I2CWrite SDA,SCL,Ctrl,Addr,Addr,[C1]
```

```
Pause 10
```

```
Addr = Addr + 1
```

```
I2CWrite SDA,SCL,Ctrl,Addr,Addr,[HOUR]
```

```
PAUSE 10
```

```
Addr = Addr + 1
```

```
I2CWrite SDA,SCL,Ctrl,Addr,Addr,[MINUTE]
```

```
Pause 10
```

```
LCDOUT $FE,1,"COMPLETE"
```

```
PAUSE 1000
```

```
LCDOUT $FE,1,"GOOD BYE"
```

```
STOP
```

```
#####
```

```
TIME:
```

```
I2CRead SDA,SCL,CtrlRTC,0,[SEC]
```

```
I2CRead SDA,SCL,CtrlRTC,1,[MINUTE]
```

```
I2CRead SDA,SCL,CtrlRTC,2,[HOUR]
```

```
I2CRead SDA,SCL,CtrlRTC,4,[DAY]
```

```
I2CRead SDA,SCL,CtrlRTC,5,[MONTH]
```

```
I2CRead SDA,SCL,CtrlRTC,6,[YEAR]
```

```
RETURN
```

```
#####
```

```
CONV:
```

```
'Convert Value For Second
```

```
SEC_L = SEC & %00001111
```

```
SEC_H = SEC & %11110000
```

```
SEC_H = SEC_H >> 4
```

```
SEC_T = (SEC_H*10)+SEC_L
```

```
'Convert Value For Minute
```

```
MIN_L = MINUTE & %00001111
```

```
MIN_H = MINUTE & %11110000
```

```
MIN_H = MIN_H >> 4
```

```
MIN_T = (MIN_H*10) + MIN_L
```

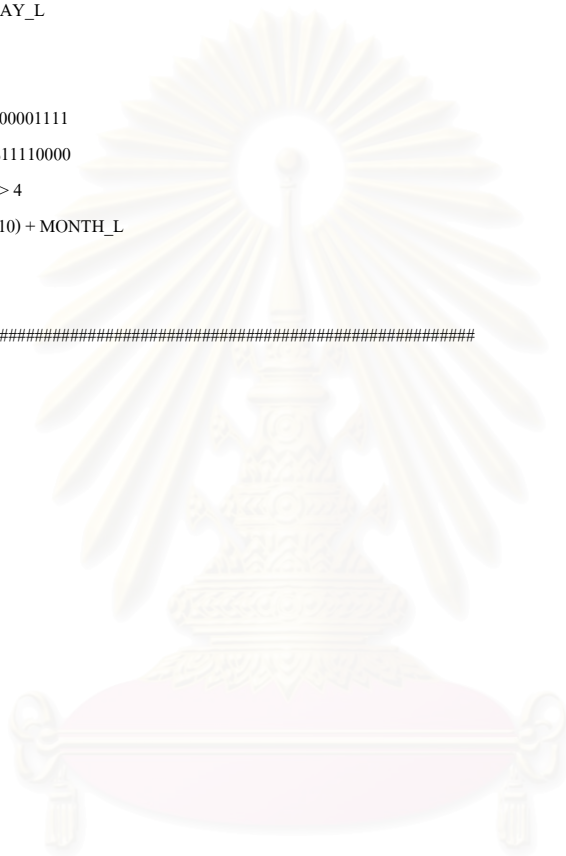
```
'Convert Value For Hour  
HOUR_L = HOUR & %00001111  
HOUR_H = HOUR & %11110000  
HOUR_H = HOUR_H >> 4  
HOUR_T = (HOUR_H*10) + HOUR_L
```

```
'Convert Value For Day  
DAY_L = DAY & %00001111  
DAY_H = DAY & %11110000  
DAY_H = DAY_H >> 4  
DAY_T = (DAY_H*10) + DAY_L
```

```
'Convert Value For Month  
MONTH_L = MONTH & %00001111  
MONTH_H = MONTH & %11110000  
MONTH_H = MONTH_H >> 4  
MONTH_T = (MONTH_H*10) + MONTH_L  
RETURN
```

```
#####
```

```
End
```



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โปรแกรมการประมวลผลบนไมโครคอมพิวเตอร์

```
Private Sub Connect_Click()
```

```
    Dim cForm As New MainForm
```

```
    cForm.Show vbModal
```

```
    ActiveWorkbook.Worksheets("Summary").Activate
```

```
End Sub
```

```
Dim SerialBuffer As String
```

```
Private Sub UserForm_Activate()
```

```
On Error GoTo SerialPort_Handler
```

```
    Serial.CommPort = CInt(ActiveWorkbook.Worksheets("Settings").Range("B2").Value)
```

```
    tmp = CStr(ActiveWorkbook.Worksheets("Settings").Range("B3").Value) + ","
```

```
    tmp = tmp + CStr(ActiveWorkbook.Worksheets("Settings").Range("B4").Value) + ","
```

```
    tmp = tmp + CStr(ActiveWorkbook.Worksheets("Settings").Range("B5").Value) + ","
```

```
    tmp = tmp + CStr(ActiveWorkbook.Worksheets("Settings").Range("B6").Value)
```

```
    Serial.Settings = tmp
```

```
    Serial.RThreshold = 1
```

```
    Serial.PortOpen = True
```

```
Exit Sub
```

```
SerialPort_Handler:
```

```
    MsgBox "Serial Port Error: [" + CStr(Err.Number) + "]" + vbNewLine + vbNewLine _  
        + Err.Description, vbExclamation, "Communications Error"
```

```
    Unload Me
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CheckID_Click()
```

```
On Error GoTo CheckID_Handler
```

```
    SerialBuffer = ""
```

```
    Serial.Output = "aa"
```

```
    UID.Text = ReadSerial(1)
```

```
    If Len(UID) = 0 Then
```

```
        Exit Sub
```

```
    End If
```

```
    ActiveWorkbook.Worksheets("UserID-" + UID.Text).Select
```

```
    AdjustSheet "UserID-" + UID.Text
```

```
Exit Sub
```

```
CheckID_Handler:
```

```
    If Err.Number = 9 Then
```

```
        Dim newsh As Worksheet
```



```

Set newsh = ActiveWorkbook.Worksheets.Add(before:=Worksheets("Settings"))
newsh.Name = "UserID-" + UID.Text
AdjustSheet "UserID-" + UID.Text

i = 2
Do
    If Len(ActiveWorkbook.Worksheets("Summary").Range("A" + CStr(i)).Value) = 0 Then
        ActiveWorkbook.Worksheets("Summary").Range("A" + CStr(i)).Value = UID.Text
        ActiveWorkbook.Worksheets("Summary").Range("B" + CStr(i)).Formula = _
            "=" + "UserID-" + UID.Text + "!B2"
        ActiveWorkbook.Worksheets("Summary").Range("C" + CStr(i)).Formula = _
            "=" + "UserID-" + UID.Text + "!D2"
        newsh.Activate
    Exit Do
End If
i = i + 1
Loop
End If
End Sub

```

```

Private Sub AdjustSheet(sname As String)
    If Len(sname) = 0 Then
        Exit Sub
    End If

    Worksheets(sname).Columns("A").ColumnWidth = 15
    Worksheets(sname).Columns("B").ColumnWidth = 20
    Worksheets(sname).Columns("C").ColumnWidth = 20
    Worksheets(sname).Columns("D").ColumnWidth = 20

    Worksheets(sname).Range("A2").Font.Bold = True
    Worksheets(sname).Range("C2").Font.Bold = True
    Worksheets(sname).Rows(4).Font.Bold = True

    Worksheets(sname).Range("A2").Interior.Color = RGB(180, 180, 180)
    Worksheets(sname).Range("A4:D4").Interior.Color = RGB(180, 180, 180)

    Worksheets(sname).Range("A2").Value = "×¼Ûéà"
    Worksheets(sname).Range("C2").Value = "Accumulative Dose = "
    Worksheets(sname).Range("E2").Value = "mR"
    Worksheets(sname).Range("A4").Value = "Checkin Date"
    Worksheets(sname).Range("B4").Value = "Checkin Time"
    Worksheets(sname).Range("C4").Value = "Dose (mR)"
    Worksheets(sname).Range("D4").Value = "Checkout Time"

    Worksheets(sname).Range("D2").Formula = "=sum(C:C)"

    UserName.Text = CStr(Worksheets(sname).Range("B2").Value)
End Sub

```

```
Private Sub ReadValue_Click()
    Dim buff(1 To 100) As Integer
```

```
    SerialBuffer = ""
    Serial.Output = "bb"
    tmp = ReadSerial
```

```
    chkout = 0
    idx = 0
```

```
    Do While Len(tmp) > 0
        n = InStr(1, tmp, Chr(&HD))
        If n > 1 Then
            dat = Left(tmp, n - 1)
            If Len(tmp) > n Then
                tmp = Mid(tmp, n + 1)
            Else
                tmp = ""
            End If
        ElseIf n = 1 Then
            dat = ""
            If Len(tmp) > n Then
                tmp = Mid(tmp, n + 1)
            Else
                tmp = ""
            End If
        Else
            Exit Do
        End If
    End If
```

```
    If Len(dat) > 0 Then
        idx = idx + 1
        buff(idx) = CInt(dat)
```

```
    msg = msg + CStr(idx) + vbTab + dat + vbNewLine
```

```
    If dat = "31232" Or chkout > 0 Then
```

```
        chkout = chkout + 1
```

```
        If chkout > 2 Then
```

```
            Exit Do
```

```
        End If
```

```
    End If
```

```
End If
```

```
Loop
```



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```

If idx >= 9 Then
    CheckinDate.Text = CStr(buff(1)) + "/" + CStr(buff(2)) + "/" + CStr(buff(3))
    CheckinTime.Text = CStr(buff(4)) + ":" + CStr(buff(5))
    CheckoutTime.Text = CStr(buff(idx - 1)) + ":" + CStr(buff(idx))

    DoseData.Text = ""
    For i = 6 To idx - 3
        DoseData.Text = DoseData.Text + CStr(buff(i)) + vbNewLine
    Next i
    TransferData CInt(UID.Text), buff, idx - 8
End If
' MsgBox msg
End Sub

```

```

Private Sub TransferData(ByVal id As Integer, ByRef buffer() As Integer, nData As Integer)
On Error GoTo TransferData_Handler

```

```

If nData < 1 Then
    Exit Sub
End If

```

```

ActiveWorkbook.Worksheets("UserID-" + CStr(id)).Activate

```

```

i = 5
Do

```

```

    tmp1 = Format(ActiveSheet.Range("A" + CStr(i)).Value, "dd/mm/yy")
    tmp2 = Format(ActiveSheet.Range("B" + CStr(i)).Value, "HH:mm:ss")
    tmp3 = ActiveSheet.Range("C" + CStr(i)).Value

```

```

    tmp4 = CStr(buffer(1)) + "/" + CStr(buffer(2)) + "/" + CStr(buffer(3))
    tmp5 = CStr(buffer(4)) + ":" + CStr(buffer(5))
    tmp6 = CStr(buffer(nData + 7)) + ":" + CStr(buffer(nData + 8))

```

```

    tmp7 = Format(tmp4, "dd/mm/yy")
    tmp8 = Format(tmp5, "HH:mm:ss")

```

```

If Len(tmp1) = 0 And Len(tmp2) = 0 And Len(tmp3) = 0 Then

```

```

    ActiveSheet.Range("A" + CStr(i)).Value = Format(tmp4, "d MMM yy")

```

```

    ActiveSheet.Range("B" + CStr(i)).Value = tmp5

```

```

    ActiveSheet.Range("D" + CStr(i)).Value = tmp6

```

```

For j = 0 To nData - 1

```

```

    tmp9 = Hour(Format(tmp5, "HH:mm:ss"))

```

```

    tmp10 = Minute(Format(tmp5, "HH:mm:ss"))

```

```

    tmp10 = tmp10 + (10 * j)

```

```

If tmp10 >= 60 Then

```

```

    tmp9 = tmp9 + (tmp10 \ 60)

```

```

    If tmp9 >= 24 Then tmp9 = 0

```

```

    tmp10 = tmp10 Mod 60

```

```

End If

```

```

    tmp11 = CStr(tmp9) + ":" + CStr(tmp10)

```

```

        ActiveSheet.Range("B" + CStr(i + j)).Value = tmp11
        ActiveSheet.Range("C" + CStr(i + j)).Value = buffer(6 + j)
    Next j
    If nData > 1 Then
        ActiveSheet.Range("B" + CStr(i + nData - 1)).Value = tmp6
    End If
    Exit Do
Else
    If (tmp1 = tmp7) And (tmp2 = tmp8) Then
        Exit Do
    Else
        i = i + 1
    End If
End If
Loop

Exit Sub

TransferData_Handler:
MsgBox "Format Error: " + CStr(Err.Number) + vbNewLine + vbNewLine _
    + Err.Description, vbExclamation, "Error Occured"
End Sub

Private Sub Serial_OnComm()
    If Serial.CommEvent = comEvReceive Then
        SerialBuffer = SerialBuffer + Serial.Input
    End If
End Sub

Private Function ReadSerial(Optional ByVal nBytes As Integer = 0) As String
    Dim interval As Double

    getall = False
    If nBytes = 0 Then
        getall = True
        nBytes = 1000
    End If

    interval = 2000
    Do While interval > 0
        If Len(SerialBuffer) >= nBytes Then
            Exit Do
        End If
        interval = interval - 0.05
        DoEvents
    Loop

    If getall = True Then nBytes = Len(SerialBuffer)

    If Len(SerialBuffer) >= nBytes Then
        ReadSerial = Left(SerialBuffer, nBytes)
    End If
End Function

```

```
If Len(SerialBuffer) > nBytes Then
    SerialBuffer = Mid(SerialBuffer, nBytes + 1)
Else
    SerialBuffer = ""
End If
Else
    ReadSerial = ""
End If
End Function
```



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

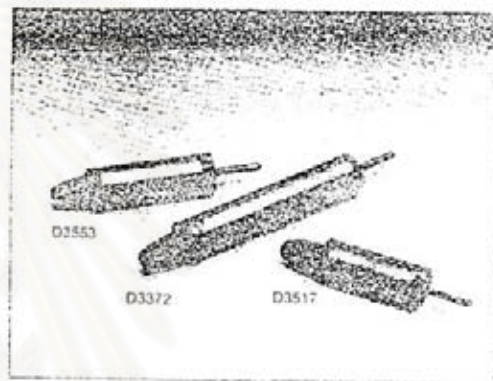
HAMAMATSU
TECHNICAL DATA
NO. T-122

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 rays 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 | 28% Cr, 72% Fe | | | - |
| Thickness | 80 to 100 | | | microns |
| 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 | | | MΩ (Max.) |
| Applied Voltage | 550 | 600 | 500 | V |
| Temperature | Operation | -40 to +50 | | °C |
| | Storage | -40 to +75 | | °C |
| Characteristics (at 25°C) | | | | |
| Starting Voltage | 350 | 400 | 400 | V (Min.) |
| Plateau Voltage | 500 to 625 | 550 to 600 | 500 to 600 | V |
| Operating Voltage | Arbitrary within plateau | | | - |
| Plateau Slope | 0.15 | 0.2 | 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 ¹² | 1 x 10 ¹¹ | counts |
| Equivalent Tube | Philips 18509 Hamamatsu D1135 | Hamamatsu D1749 | Philips 18529 Hamamatsu D1267 | - |

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.

Information furnished by HAMAMATSU is believed to be reliable. However, no responsibility is assumed for possible inaccuracies or omissions. Specifications are subject to change without notice. No patent rights are granted in any of the circuits described herein.

GM COUNTER TUBES

Figure 1: Typical Counting Rate vs. Dose Rate Characteristics

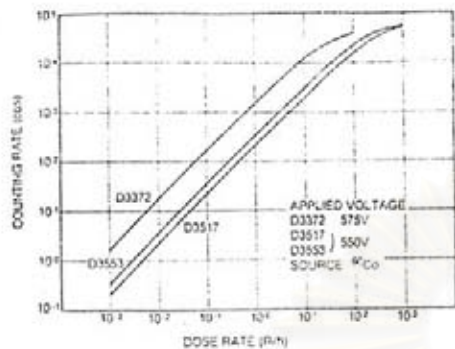


Figure 2: Typical Plateau Curves

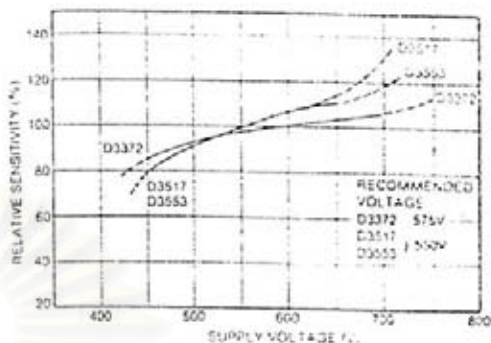


Figure 3: Typical Energy Response Characteristic

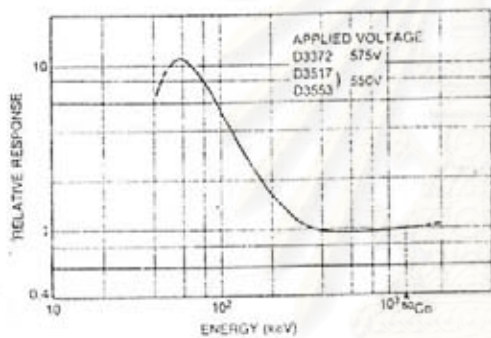


Figure 5: Measuring Circuit

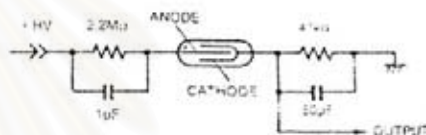


Figure 6: Dimensional Outlines (Unit: mm)

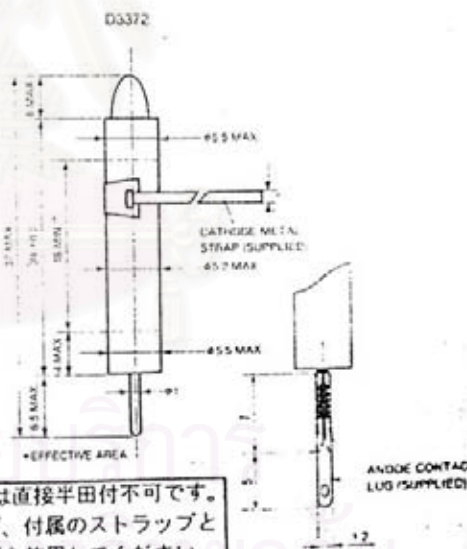
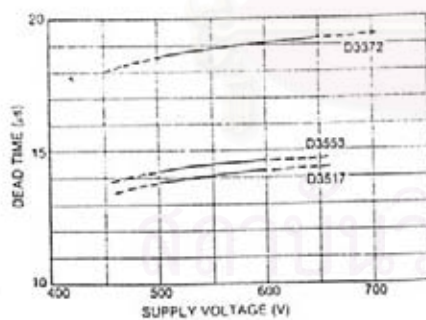


Figure 4: Typical Dead Time Characteristics



GMTは直接半田付不可です。
必ず、付属のストラップと
ラグを使用してください。

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

นายกิตินันต์ แสงมณี เกิดวันที่ 21 กันยายน พ.ศ.2523 ที่โรงพยาบาลราชวิถี จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ในปีการศึกษา 2544 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย