

การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดรังสีแกมมาสเปกตรัม

Development of Detection for Gamma Ray Spectrum Instrument

By Rutjaphan Kateklum , IAEA- RCA project

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันอุปกรณ์หรือเครื่องมือวัดวิเคราะห์ทางนิวเคลียร์แบบ Pulse High Analyzer (PHA) ใช้ในการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของธาตุ ในทางด้านเทคนิควิศวกรรมได้นำความสูงของ Pulse ที่วัดได้ไปแยกแยะระดับพลังงานต่างๆเชิงปริมาณและคุณภาพ เพื่อสร้างสเปกตรัมเพื่อวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของธาตุต่างๆซึ่งมีอุปกรณ์ที่นิยมใช้ในงานวิเคราะห์ 2 แบบคือ Multichannel Analyzer (MCA) และ Single Channel Analyzer (SCA) ซึ่ง MCA จะมีขีดความสามารถในการวิเคราะห์สูงมากเนื่องจากวิเคราะห์สัญญาณด้วยระบบอัตโนมัติ โดยมีราคาสูงมากกว่า SCA หลายเท่า แต่ SCA จะให้ผลการวิเคราะห์ช้ากว่าและไม่ละเอียดเพราะเป็นระบบการแยกแยะพลังงานช่องเดี่ยวแบบ Manual Control หรือแบบการหมุนปรับ ΔE หรือ Window ดังนั้นเพื่อจะเพิ่มประสิทธิภาพของการการใช้งานและการวิเคราะห์ของ SCA ให้ได้ใกล้เคียงกับระบบวัดของ MCA โดยมีการพัฒนาให้ใช้ SCA วิเคราะห์สัญญาณด้วยระบบอัตโนมัติซึ่งจะทำให้สามารถวิเคราะห์ไอโซโทปที่มี Half life ยาว และสามารถสร้างรูปแสดง Spectrum ได้เสมือนระบบการวัดแบบ MCA ในราคาจะต่ำกว่าระบบวัด MCA มาก

ขั้นตอนและวิธีการในการดำเนินงานพัฒนา

1. ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ออกแบบและพัฒนาระบบวัดนิวเคลียร์แต่ละส่วนได้แก่ ภาควิทยาสัญญาณหลัก อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดี่ยว พร้อมระบบควบคุมการทำงานผ่านพอร์ต USB ของไมโครคอมพิวเตอร์
3. ออกแบบและสร้างระบบควบคุมการทำงานผ่านพอร์ต USB ของไมโครคอมพิวเตอร์
4. พัฒนาโปรแกรมควบคุมระบบวัดให้มีรูปแบบการทำงานเป็นเครื่องมือวัดนิวเคลียร์แบบเสมือน
5. ทดสอบสมรรถนะการทำงานกับอุปกรณ์วัดรังสี

หลักการและการดำเนินการพัฒนา

อุปกรณ์นิวเคลียร์

ระบบวัดนิวเคลียร์มีส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วน [1] คือ 1. หัววัดรังสี 2. ส่วนขยายสัญญาณ 3. ส่วนสร้างกระบวนการเก็บข้อมูล 4. ส่วนแสดงผล องค์ประกอบทั้ง 4 ส่วนจะทำหน้าที่สร้างกระบวนการของสัญญาณไฟฟ้า ที่ได้รับจากอันตรกิริยาของอนุภาคนิวเคลียร์จนกระทั่งแสดงผลการวัดในส่วนที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยแบ่งเป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่ต่างๆคือ

1. แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง ปรับค่าได้ (High voltage power supply)
2. อุปกรณ์ขยายและแต่งรูปสัญญาณและตัดสัญญาณรบกวน
 - 2.1 ภาคขยายส่วนหน้า (Preamplifier)
 - 2.2 ภาคขยายหลัก (Main amplifier)
 - 2.3 ดิสคริมิเนเตอร์ (Discriminator)
3. อุปกรณ์นับรังสี
 - 3.1 สเกลเลอร์ หรือ เคาน์เตอร์ (Scaler or Counter)
 - 3.2 เครื่องตั้งเวลา (Timer)
 - 3.3 เรทมิเตอร์ (Rate meter)
4. อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ (Pulse high analyzer)
 - 4.1 อุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดียว (SCA)
 - 4.2 อุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง (MCA)
5. อุปกรณ์บันทึกผลและแสดงผล
 - 2.1.5.1 เครื่องพิมพ์ (Printer)
 - 2.5.1.3 เครื่องเขียนกราฟ (x-y recorder)
 - 2.5.1.4 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data recorder)

การจัดระบบวัดนิวเคลียร์

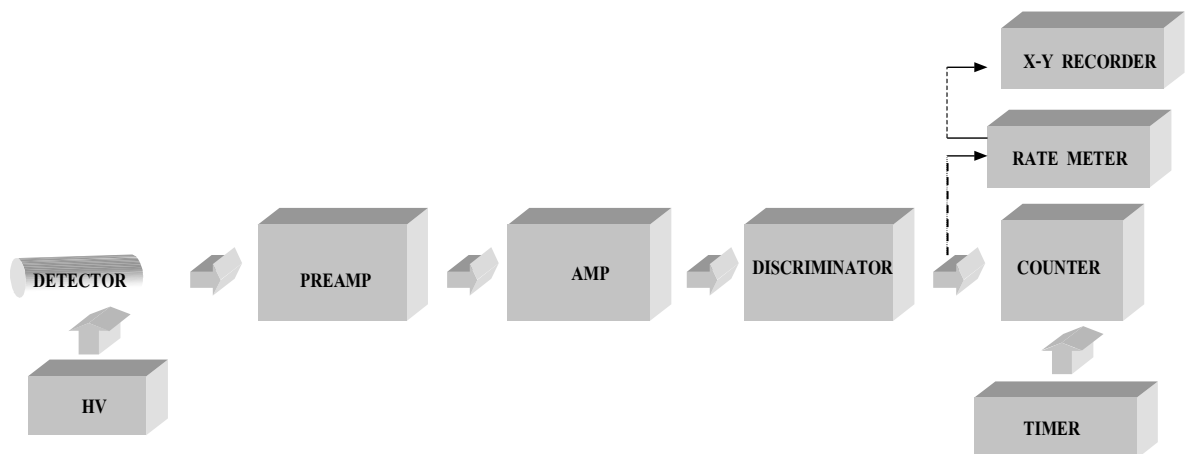
เพื่อจัดเป็นระบบต่าง ๆ นั้นขึ้นอยู่กับเทคนิคที่ใช้วัดต้นกำเนิดรังสีและผลของข้อมูลที่ต้องการแต่โดยทั่วไปแล้วหลักของการจัดระบบวัดแบ่งออกเป็น 2 ระบบใหญ่คือ

การจัดระบบนับอนุภาค

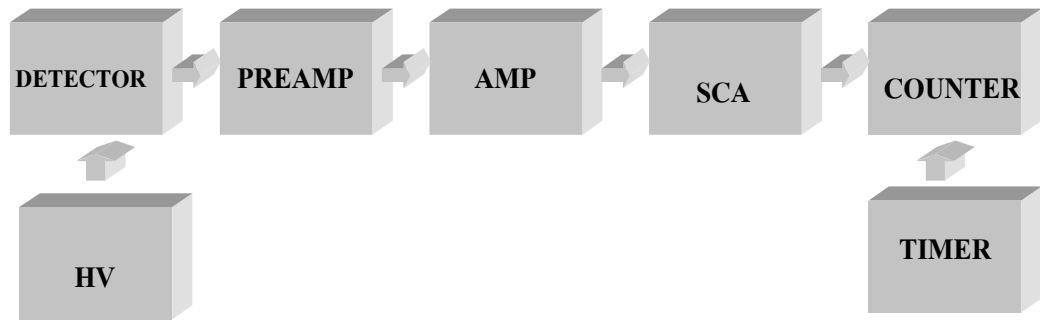
ใช้วัดความแรงรังสีประกอบด้วย หัววัดรังสีและแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง ส่วนขยายสัญญาณพัลส์ส่วนตัดสัญญาณรบกวน ส่วนบันทึกผลการนับและ แสดงผลในหน่วยจำนวนนับต่อหน่วยเวลาหรือค่าเฉพาะCPM หรือ CPS

การจัดระบบวิเคราะห์ระดับพลังงาน

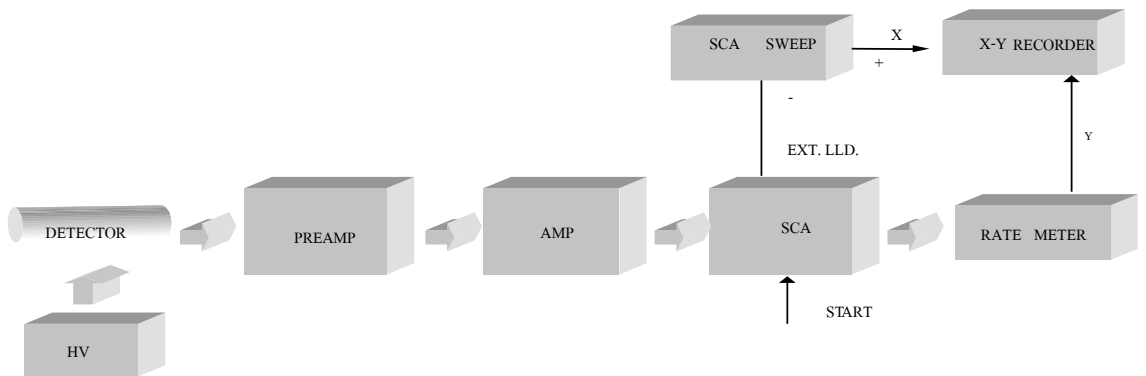
ใช้ในงานวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพ ประกอบด้วยหัววัดรังสีและแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง ส่วนขยายสัญญาณ อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ อุปกรณ์นับและแสดงผลข้อมูล ผลของการวิเคราะห์พลังงานจะแสดงในรูปของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนนับที่เปลี่ยนไปเทียบกับระดับพลังงานค่าต่างๆหรือ สเปกตรัม



รูปที่ 1 แสดงการจัดระบบนับ

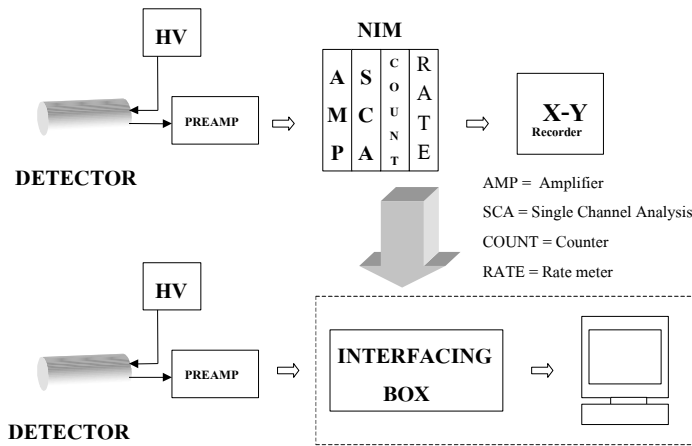


รูปที่ 2 แสดงการจัดระบบนับแบบช่องเดี่ยว



รูปที่ 3 แสดงการจัดระบบวิเคราะห์พลังงานแบบ AUTOMATIC CONTROL SCA

จากรูป แสดงระบบวัดนิวเคลียร์แบบต่างๆ โดยอยู่ในกลุ่มการจัดระบบวัดแบบนับอนุภาค และระบบวิเคราะห์ระดับพลังงาน



รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบการจัดระบบเครื่องมือวัดนิวเคลียร์

รูปที่ 4 แสดงการพัฒนาของระบบวัดของระบบโมดูลาร์ (Modular) ซึ่งมีการปรับพารามิเตอร์แบบ Manual function setting ให้เป็นระบบวัดที่ควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์โดยมีการปรับพารามิเตอร์แบบ Computer function setting ซึ่งสามารถควบคุมให้เป็นระบบอัตโนมัติได้

อุปกรณ์ต่างๆมีหลักการดังนี้

1. หัววัดรังสีชนิด scintillation

หัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน เป็นหัววัดรังสีที่มีกระบวนการวัดรังสีทางอ้อม มีโครงสร้างประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนที่รับอันตรกิริยาและเกิดประกายแสง (Scintillator) ต่อเชื่อมกับส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนประกายแสงเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์และทวีปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ (Photomultiplier tube, PMT) ซึ่งห่อหุ้มไว้ด้วยภาชนะปิดป้องกันแสงสว่างจากภายนอกและบริเวณหลอดทวีคูณอิเล็กทรอนิกส์(PMT)จะห่อหุ้มไว้ด้วยแผ่นกั้นสนามแม่เหล็ก (mu-metal) เพื่อป้องกันการรบกวนสนามแม่เหล็กซึ่งจะทำให้กลุ่มอิเล็กทรอนิกส์เบี่ยงเบนจากบริเวณไดโนด (dynode)

ขั้นตอนการทำงานของหัววัดรังสีชนิดซินทิลเลชัน

1. เมื่ออนุภาคนิวเคลียร์ตกกระทบซินทิลเลเตอร์จะเกิดประกายแสงขึ้น ณ บริเวณที่มีการถ่ายโอนพลังงาน
2. แสงที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับโดยตัวสะท้อน (Reflector) และส่วนหนึ่งจะส่งตรงไปยังตัวนำแสง (light guide) ผ่านไปยังโฟโตแคโทด (photocathode) ภายในหลอดทวีคูณอิเล็กทรอนิกส์
3. โฟโตอิเล็กทรอนิกส์ (Photoelectrons) จะถูกปลดปล่อยจากโฟโตแคโทดตรงไปยังไดโนดและถูกทวีคูณด้วยส่วนทวีคูณอิเล็กทรอนิกส์(electron multiplier)
4. ปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกรวบรวมบนไดโนดจะสร้างพัลส์ของกระแสขึ้นที่อินพุทของภาคขยายสัญญาณส่วนหน้า (Preamplifier)

ปริมาณประจุ Q ที่ปรากฏบนไดโนดหรือไดโนดตัวสุดท้ายของหลอดทวีคูณอิเล็กทรอนิกส์จะเป็นสัดส่วนกับพลังงานของอนุภาคนิวเคลียร์ เนื่องจากความเข้มของประกายแสงแต่ละครั้งขึ้นกับพลังงานที่ถ่ายโอนให้ซินทิลเลเตอร์ ดังนั้นถ้าให้ Ne เป็นจำนวนโฟโตอิเล็กทรอนิกส์ที่ปล่อยจากโฟโตแคโทดและ M เป็นค่าทวีคูณอิเล็กทรอนิกส์ของหลอดทวีคูณอิเล็กทรอนิกส์ในการวัดรังสีแต่ละครั้ง Q จะมีค่าเท่ากับ

$$Q = 1.6 \times 10^{-19} M Ne$$

2. แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง(HV. Power supply)

หัววัดรังสีทุกชนิดจะกำเนิดสัญญาณพัลส์ ซึ่งเป็นตัวแทนของอนุภาคนิวเคลียร์หลังการดูดกลืนพลังงานได้สมบูรณ์ จะต้องได้รับการไบอัสที่ถูกต้องและเหมาะสมกับหัววัดรังสี เนื่องจากหัววัดรังสีแต่ละหัวต้องการค่าที่เหมาะสมของศักดาไฟฟ้าและกระแสต่างกัน อีก

ทั้งต้องการเสถียรภาพของศักดาไฟฟ้าทางเอาท์พุท ดังนั้นแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง จะต้องออกแบบไว้ให้มีคุณสมบัติดังนี้

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงสูง จะต้องปรับค่าศักดาไฟฟ้าทางเอาท์พุทได้ในช่วง 0-3000 โวลท์ เพื่อจะได้จัดค่าที่เหมาะสมของหัววัดรังสีแต่ละหัวได้
2. ต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าได้เพียงพอแก่หัววัดรังสีแต่ละชนิดในช่วง 100 uA-10 mA ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวงจรไฟฟ้าของหัววัดรังสี
3. ต้องมีเสถียรภาพในการรักษาศักดาไฟฟ้าทางเอาท์พุทให้คงที่ ณ จุดที่ตั้งไว้ โดยไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแวดล้อม หรือการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้าในสาย 220 โวลท์
4. ต้องการกำจัดสัญญาณรบกวน จากความถี่ไฟฟ้า 50 Hz และการกระเพื่อมของแรงดันจากวงจรเรียงกระแส (ripple) รวมทั้งสัญญาณรบกวนภายนอกอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงดันสูงมีความสำคัญต่อการกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่หัววัดรังสีมาก ถ้ามีการกระเพื่อมหรือรบกวนจากสัญญาณภายนอกผ่านเข้าไปกับไบอัสของหัววัดรังสี จะมีผลทำให้สัญญาณพัลส์จากหัววัดเกิดการเลื่อนระดับของความสูงที่ระดับพลังงานเดียวกัน บนเส้นฐานศูนย์ (Zero base line) ทำให้การแยกความสูงของระดับพลังงานจะเลวลง

ในระบบวัดทางนิวเคลียร์ที่ไม่ต้องการเสถียรภาพในการวัดมากนักแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูงอาจกำเนิดได้อย่างง่ายได้จากการเพิ่มศักดาไฟฟ้าจาก 220 โวลท์เป็นศักดาไฟฟ้าแรงสูงกระแสสลับ โดยใช้ทรานสฟอर्मเมอร์แบบเพิ่มศักดา (Step up Transformer) แล้วใช้ไดโอดเรียงกระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง และกรองความถี่ด้วยคาปาซิเตอร์ แต่ผลที่ได้รับคือ เมื่อศักดาไฟฟ้าทางเข้ากระเพื่อมหรือถูกรบกวน ศักดาแรงสูงกระแสตรงทางออกก็จะกระทบกระเทือนด้วย นอกจากนี้พัลส์กระแสตรงความถี่ต่ำที่ 50 Hz ยังยากต่อการทำให้เรียบ (filter) ด้วยคาปาซิเตอร์ขนาดเล็กๆ

เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูง ทั้งด้านเสถียรภาพของศักดาไฟฟ้าทางเอาท์พุทและการกำจัดริบเปิล รวมทั้งการปรับค่าศักดาไฟฟ้าโดยไม่เกิดการกรรโชกของเอาท์พุท จึงมีการใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานด้วยความไวสูงเข้าช่วย แหล่งจ่ายไฟสูงประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำกระแสตรงแบบคงที่ วงจรกำเนิดความถี่ วงจรขยาย ทรานสฟอर्मเมอร์แบบเพิ่มศักดาซึ่งมีแกนเป็นเฟอร์

ไรท์ (ferrite core) เพื่อตอบสนองการทำงานที่ความถี่สูง วงจรทวีแรงดัน (Voltage multiplier) วงจรกรองรีปเปิล และวงจรควบคุมสัปดาห์ไฟฟ้าทางออกให้คงที่

หลักการทำงาน แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงดันต่ำจะทำหน้าที่เปลี่ยน ศักดาไฟฟ้า 220 โวลท์ 50 Hz ให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่มีศักดาไฟฟ้าต่ำและคงที่ ไป เลี้ยงส่วนต่างๆของวงจร วงจรกำเนิดความถี่จะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้มีความถี่ 1- 10 kHz (เพื่อสะดวกต่อการกำจัดริบเปิล) ส่งให้ภาคขยายขับทรานสฟอรั่มเมอร์แบบ เพิ่มศักดาทางขดปฐมภูมิ ทางขดทุติยภูมิจะให้ศักดาไฟฟ้าแรงสูงความถี่สูง กระแสสลับ แต่การกำเนิดศักดาไฟฟ้าแรงสูงด้วยทรานสฟอรั่มเมอร์มีขีดจำกัดอยู่ที่ คุณสมบัติในด้านฉนวนไฟฟ้าของเส้นลวดและ โครงสำหรับพัน ดังนั้นการสร้างศักดา ไฟฟ้าแรงสูงมากๆ จะต้องอาศัยวงจรทวีแรงดันไฟฟ้าเข้าช่วย ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้า ทางออกสูงเป็นทวีคูณส่งให้วงจรกรองรีปเปิล ศักดาไฟฟ้าแรงสูงทางออกจะถูก ควบคุมให้คงที่เมื่อเกิดการดิ่งกระแสไฟฟ้าไปใช้ในหัววัดรังสี โดยการทำงานของ วงจรควบคุมแรงดัน ซึ่งจะสุ่มสัญญาณ (Sampling) บางส่วนจากเอาต์พุทของแหล่งจ่าย และทำการชดเชยแรงดันทางออกให้คงที่ รวมทั้งตรวจสอบแรงดันอ้างอิงเพื่อการปรับ ค่าแรงดันที่ค่าต่างๆได้ด้วย

3. อุปกรณ์ขยายสัญญาณ (Amplifier)

อุปกรณ์ขยายสัญญาณทางนิวเคลียร์มีคุณสมบัติเป็นอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ แบบเชิงเส้น (Linear pulse amplifier) มีหน้าที่หลัก 2 ประการคือ ขยายและแต่งรูป สัญญาณพัลส์ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทางความสูงในรูปของระดับแรงดันไฟฟ้า เป็น สัดส่วนกับระดับพลังงานต่างๆดังนั้นการพิจารณาอัตราขยาย (Amplifier factor) จะ กล่าวในเรื่องของ Voltage gain (A_v) ซึ่งมีค่าเท่ากับอัตราส่วนของสัญญาณทางเอาต์พุท (V_o) กับสัญญาณทางอินพุท (V_i)

$$A_v = \frac{V_o}{V_i}$$

เมื่อเปลี่ยนค่า A_v จะสามารถจัดระดับสัญญาณทางเอาต์พุท (V_o) ให้ตรงกับสเกลของ อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ที่เราต้องการจะปรับเทียบได้ ส่วนขยายนี้แบ่ง ออกเป็น 2 ภาค คือ

1. ภาคขยายส่วนหน้า (Preamplifier)

ในระบบวัดนิวเคลียร์ ภาคขยายส่วนหน้าจะต้องมีคุณสมบัติเป็นภาคขยาย ที่มีอิมพีแดนซ์ทางอินพุทสูง (High Z_i) และมีอัตราขยายแรงดันประมาณ 1 ทำ

หน้าที่เป็นตัวแมตซ์ระหว่างหัววัดรังสีกับภาคขยายหลัก เพื่อลดผลของการเกิดการสูญเสียสัญญาณทางอิมพีแดนซ์ โดยปกติภาคขยายส่วนหน้าจะอยู่ติดกับหัววัดรังสี เพื่อลดการสูญเสียสัญญาณในความจุของสายส่งและสครรบบกวนของสนามไฟฟ้าภายนอกด้วย แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

- ภาคขยายที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน (Voltage sensitive amplifier)
- ภาคขยายที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของประจุ (Charge sensitive amplifier)

2. ภาคขยายหลัก (Main amplifier)

ภาคขยายหลักเป็นส่วนขยายซึ่งรับสัญญาณพัลส์ จากภาคขยายส่วนหน้า ทำหน้าที่ขยายและแต่งรูปสัญญาณให้เหมาะสมกับการนำไปวิเคราะห์ความสูง มีอัตราขยายแรงดัน (Voltage gain) ในช่วง 100-5000 เท่า เหนือนี้สามารถปรับได้ในช่วงกว้างด้วยการปรับเป็นขั้นๆ และแต่ละขั้นมีการปรับละเอียด เพื่อให้มีการเปลี่ยนเกนแบบเชิงเส้นต่อเนื่องกัน ทำให้สามารถจัดระดับความสูงของพัลส์ทางออกสัมพันธ์กับสเกลของอุปกรณ์วิเคราะห์ตามความต้องการ สัญญาณพัลส์ซึ่งถูกขยายแล้วจะได้รับการแต่งรูปสัญญาณก่อนนำไปวิเคราะห์

การแต่งรูปสัญญาณมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ และการนับพัลส์ทางนิวเคลียร์มาก เนื่องจากสัญญาณพัลส์มีลักษณะเป็นพัลส์ยอดแหลม ซึ่งมีช่วงเวลาสั้นมากไม่เป็นการสะดวกต่อการวัดความสูงของพัลส์ นอกจากนี้เวลาขาของพัลส์ใช้เวลานาน (ในภาคขยายส่วนหน้าจะประมาณ 50 μ sec)

ทำให้พัลส์ที่เข้ามาในช่วงเวลาใกล้เคียงกันเกิดการซ้อน ระหว่างขอบขาขึ้นของพัลส์ที่ตามมากับสัญญาณหางของพัลส์ตัวแรกที่กำลังสลายเป็นเหตุให้เส้นฐานศูนย์เลื่อนขึ้น (pile up) และสัญญาณถูกตัดยอด (clip) ในที่สุด ไม่สามารถแยกพัลส์แต่ละลูกได้ ดังนั้นจึงต้องมีการแต่งรูปสัญญาณด้วยวงจร CR และ RC ผลที่ได้รับคือรูปสัญญาณพัลส์ทางเอาท์พุทของภาคขยายหลักจะมีรูปร่างเป็นพัลส์แบบเกาสเซียน มีความกว้างของพัลส์แคบลงมีช่วงเวลาขาขึ้นและลงที่พอเหมาะ ทำให้การวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ง่ายขึ้น เนื่องจากจุดยอดมีจุดเปลี่ยน slope ชัดเจน และพัลส์แต่ละลูกแยกกันบนเส้นฐานศูนย์

การปรับอัตราขยายแรงดัน เพื่อปรับเทียบความสูงของพัลส์กับสเกลมาตรฐานของระดับพลังงานในอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลส์นั้น มาตรฐาน กำหนดย่านการขยายเชิงเส้นของภาคขยายหลักไว้ 0-10 โวลท์ สัมพันธ์กับช่วงพลังงานสูงสุดที่ต้องการวิเคราะห์ดังนั้นการปรับอัตราขยาย ($V_o = A_v V_i$)

ให้ V_0 หรือพัลส์ที่ต้องการวิเคราะห์อยู่ในช่วง 0-10 โวลต์ ช่วงระดับความสูงของพัลส์จะเป็นสัดส่วนกับระดับพลังงาน แต่ถ้าปรับอัตราขยายเกินความสามารถในการขยายแรงดันสูงสุด จะทำให้พัลส์ที่ V_0 ถูกตัดยอด เนื่องจากการอิ่มตัวของภาคขยาย ณ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

4. ดิสคริมิเนเตอร์ (Discriminator)

ดิสคริมิเนเตอร์เป็นอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่ตัดสัญญาณรบกวนที่ไม่ต้องการในระบบนับอนุภาคนิวเคลียร์ สัญญาณพัลส์ที่รบกวนในระบบวัด เกิดจากสิ่งรบกวนทางไฟฟ้า (noise) หรือการรบกวนจากแบคกราวด์ที่มีระดับพลังงานต่ำๆ เพื่อให้ระบบนับทำงานสมบูรณ์จึงต้องมีการตัดสัญญาณรบกวนที่ไม่สนใจออก โดยปกติอุปกรณ์ดิสคริมิเนเตอร์จะต่อไว้หลังจากภาคขยายสัญญาณและให้เอาท์พุทเป็นลอจิกพัลส์ไปบันทึกจำนวนนับอนุภาคในสเกลเลอร์ (Scaler) เมื่อระดับพลังงานของอนุภาคสูงกว่าระดับต่ำสุด (Threshold) ที่ตั้งไว้ ซึ่งเรียกว่าระดับดิสคริมิเนชัน ระบบการจัดดิสคริมิเนเตอร์แบบนี้เป็นแบบ Integral discriminator

5. อุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว (Single channel analyzer)

เป็นอุปกรณ์นิวเคลียร์ซึ่งทำหน้าที่วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยวซึ่งมีขีดความสามารถ วิเคราะห์ได้ครั้งละ 1 ช่อง สเกลของระดับพลังงานด้วยการหมุนเลื่อนช่องของ หน้าต่าง (ΔE) ซึ่งตั้งจากผลต่างของดิสคริมิเนเตอร์ 2 ระดับคือ ULD- LLD เพื่อทำการแยกจำนวนนับที่แต่ละระดับความสูงของพัลส์ ในเวลาเท่าๆกัน ทุกจุดแล้วนำข้อมูลจำนวนนับที่ระดับความสูงของพัลส์ต่างๆมาพลอตเป็นกราฟ ของสเปกตรัมที่วัดได้ จะเห็นว่าต้องใช้เวลาในการวิเคราะห์นานเท่ากับจำนวนช่อง สเกลที่เลื่อนต่อเนื่องกันคูณด้วยเวลาที่ตั้งนับแต่ละจุด จึงไม่เหมาะสมสำหรับวิเคราะห์ เชิงคุณภาพของไอโซโทปที่มีครึ่งชีวิตสั้น

อุปกรณ์วิเคราะห์แบบช่องเดี่ยว ประกอบด้วยส่วนสำคัญหลัก 2 ส่วน คือ

1. ดิสคริมิเนเตอร์ 2 ระดับ (upper และ lower level discriminator ,ULD และ LLD) และ 2 วงจรแอนติคิเดนซ์ (Anticoincidence) วิธีการแยกระดับความสูงของพัลส์ใน SCA อาศัยหลักการเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าระหว่างความสูงของพัลส์กับค่าศักดาไฟฟ้ามาตรฐานซึ่งปรับค่าได้ 0-10 โวลต์ ระดับของศักดาไฟฟ้าที่ปรับค่าได้เป็นของดิสคริมิเนเตอร์ 2 ระดับคือ ULD และ LLD ผลต่างของระดับศักดาไฟฟ้าทั้งสองคือคือ ULD-LLD มีค่าเท่ากับ (ΔE) เรียกว่าหน้าต่าง เป็นช่องซึ่งทำหน้าที่เสมือนช่องแยกนับจำนวนอนุภาคที่ระดับความสูงของพัลส์ค่าต่างๆให้กับอุปกรณ์นับ (Scaler) ในรูปของสัญญาณลอจิก

ซึ่งการแยกนับด้วยวิธีนี้เรียกว่า differential discriminator ลอจิกเอาต์พุตจะส่งเข้าอุปกรณ์นับเฉพาะพัลส์ซึ่งมีความสูงอยู่ในช่วงของ ΔE เท่านั้น

ส่วนสำคัญหลักของการแยกระดับความสูงของพัลส์ใน SCA คือ Differential discriminator ระดับดิสคริมีเนชันของ ULD และ LLD เปรียบเสมือนกำแพงทางไฟฟ้าทั้งบนและล่าง เหลือเป็นช่องหน้าต่างไว้เพื่อให้อุปกรณ์นับมองผ่านช่องหน้าต่าง เพื่อนับพัลส์ที่มีความสูงใส่ช่องหน้าต่างเท่านั้น

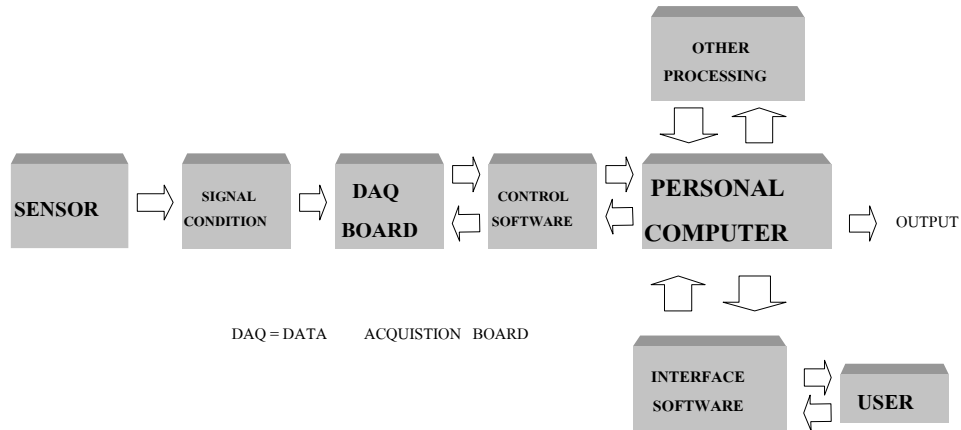
การทำงานของ SCA เป็นการประยุกต์การทำงานดิสคริมีเนเตอร์ และแอนติโคอินซิเดนซ์เกทเข้าด้วยกัน ในส่วนของดิสคริมีเนเตอร์ของ SCA จะจัดเป็น 2 ระดับ แต่ละระดับมีแรงดันอ้างอิง ปรับค่าได้ 0-10 โวลต์ อีตาระจากกัน ดิสคริมีเนเตอร์ A จะต้องจัดระดับแรงดันต่ำกว่า B เสมอเพื่อตัดสัญญาณพัลส์ที่มีความสูงต่ำกว่าระดับที่เลือก จึงเลือกดิสคริมีเนเตอร์ระดับต่ำ (LLD) และขณะเดียวกันดิสคริมีเนเตอร์ B จะต้องจัดระดับแรงดันอ้างอิงไว้สูงกว่า A เสมอ เพื่อตัดระดับสัญญาณพัลส์ที่มีความสูงเกินระดับที่เลือก ซึ่งเรียกว่า ULD จะเห็นว่าระดับที่เลือกสัญญาณของ ULD และ LLD จะต่างกันอยู่ช่วงหนึ่ง ซึ่งสัญญาณจะผ่านเฉพาะช่วงนี้เท่านั้นเรียกว่า ช่องหน้าต่าง (ΔE หรือ window) เมื่อ ΔE มีช่องแคบก็หมายถึงการเลือกความสูงของพัลส์ละเอียดมาก ถ้า ΔE มีความกว้างมากเกินไปความสูงของพัลส์ที่ใกล้เคียงกันจะผ่านช่อง ΔE ได้ ทำให้ไม่สามารถแยกระดับได้ละเอียด ในการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ตลอดช่วงที่สนใจจะต้องเริ่มปรับ LLD และ ULD ให้ได้รับผลของ ΔE คงที่จากระดับต่ำไปหาสูง จนถึงระดับความสูงของพัลส์ที่ต้องการวิเคราะห์

เครื่องมือแบบเสมือน (Virtual Instrument)

เครื่องมือแบบเสมือน (Virtual Instrument หรือ VI) [10] โดยคำว่า “เสมือน” บ่งบอกถึง การที่ ซอฟต์แวร์กระทำการเลียนแบบทางกายภาพของเครื่องมือโดยตรวจวัดและประมวลผลจากปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นแท้จริงซึ่งมีความแตกต่างจากเครื่องมือเฉพาะทาง คือ VI จะใช้ ไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่งปัจจุบันมีความเร็วในการประมวลผลสูงดังนั้นจึงให้ความหลากหลายของงานโดยขึ้นกับซอฟต์แวร์ที่ใช้

คำจำกัดความ (Definition) [10] เครื่องมือเสมือน (Virtual Instrument) คือ แนวทาง เครื่องมือวัดที่มีอยู่เดิมนำมาประยุกต์เพิ่มส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์กับไมโครคอมพิวเตอร์ซึ่ง

ใช้เตรียมการเชื่อมโยงสั่งการผ่านรูปภาพ (Visual user interface) หรือหน้าปัดเสมือน (Virtual panel) บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ผู้เครื่องมือ



รูปที่ 5 แสดงแผนผังทั่วไปของเครื่องมือเสมือน

จากรูปที่ 5 ประกอบด้วยส่วนต่างๆคือ

1. ส่วนที่เป็น transducer หรือ detector, sensor ทำหน้าที่แปลงพลังงานทางกลเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและส่วน signal conditioning accessories (attenuators , amplifier , filter,) ทำหน้าที่ขยายและปรับแต่งสัญญาณทางไฟฟ้า
2. ส่วนที่เป็น data acquisition board (sampler, A/D converter) เป็น ส่วน ที่แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณระดับดิจิทัลและสุ่มสัญญาณ
3. ส่วนที่เป็นไมโครคอมพิวเตอร์
4. ส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ (data acquisition board control, processing , user interface)

โดยอธิบายส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ซึ่งมีลักษณะการปฏิบัติการควบคุมและแสดงผลเลียนแบบเครื่องมือทางกายภาพวัตถุ เช่นออสซิลโลสโคป (Oscilloscopes) หรือมัลติมิเตอร์ (Multimeter) โดยใช้ฟังก์ชันในการประมวลสัญญาณ ทางอินพุตและแสดงผลสู่คอมพิวเตอร์

ระบบควบคุมและการเขียนโปรแกรม

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันจะถูกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์เล็กๆหรือที่เรียกว่า ไมโครโปรเซสเซอร์เกือบทั้งสิ้น ในปัจจุบันเรียกว่า Embedded System ระบบควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์จะต้องมีหน่วยประมวลผลกลางที่เรียกว่าไมโครโปรเซสเซอร์เป็นหัวในหลักในการทำงาน

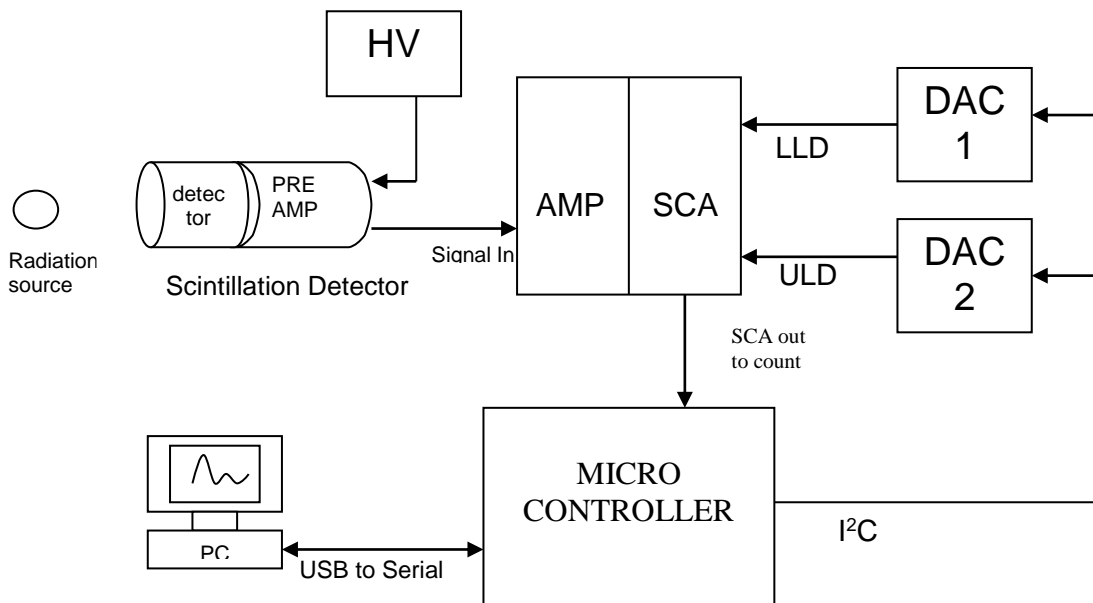
การนำไมโครโปรเซสเซอร์มาใช้งานจะต้องมีการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงาน และมีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลที่ได้จากการประมวลผล และจะต้องมีพอร์ต I/O สำหรับให้ระบบติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก แต่ถ้าหากใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีหน่วยความจำและพอร์ตอยู่ภายในตัวชิป ที่เรียกว่า Single-chip microcontroller หรือคอมพิวเตอร์ชิปเดี่ยว ทำให้การใช้งานทำได้เพียงแต่ต่ออุปกรณ์ที่จำเป็นภายนอกเท่านั้น

การที่ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำงานได้จะต้องมีการป้อนชุดคำสั่งให้ทำงาน การนำคำสั่งหลายๆคำสั่งมาต่อเรียงกันจะเรียกว่าการโปรแกรม โดยภาษา Assembly ถือว่าเป็นภาษาพื้นฐานที่สุดที่จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน ในปัจจุบันได้มีการนำภาษาระดับสูงมาใช้ในงาน ไมโครคอนโทรลเลอร์มากขึ้นเนื่องจากเขียนได้ง่ายคล้ายภาษามนุษย์ การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาระดับสูงนั้นจะต้องมีตัวแปลภาษา (Compiler) เพื่อแปลภาษาที่เขียนให้เป็นภาษาเครื่องของชิปตัวนั้นอีกทีหนึ่ง โดยอยู่ในรูปของ Hex file แล้วนำไปโปรแกรมให้ชิปทำงาน

ปัจจุบันการพัฒนางานไมโครคอนโทรลเลอร์ได้มีการใช้ภาษาระดับสูงในการเขียนโปรแกรมมากขึ้นและมีแนวโน้มมากขึ้นเรื่อยๆ งานที่เขียนด้วยภาษา Assembly ที่โปรแกรมมีความยาวประมาณ 10 หน้ากระดาษ เมื่อเขียนด้วยภาษาระดับสูงแล้วอาจทำให้ความยาวเหลือเพียง 2 หน้ากระดาษเท่านั้น โดยการเขียนโปรแกรมจะเริ่มจากเขียนบนเครื่องคอมพิวเตอร์ PC และแปลให้เป็นภาษาเครื่องในรูปแบบ Hex file จากนั้นนำไปโปรแกรมลงบนระบบคอมพิวเตอร์ให้ระบบทำงาน โดยภาษาระดับสูงที่นิยมใช้กันคือภาษาซีเนื่องจากมีข้อดีต่างๆหลายประการ การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีนี้สามารถเชื่อมต่อกับภาษา Assembly ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากภาษาซีมีการทำงานใกล้เคียงกับภาษา Assembly มากที่สุด ทำให้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษาซีสามารถเขียนภาษา Assembly รวมไปได้เรียกว่า In-line Assembly และเนื่องจากภาษาซีเป็นภาษาที่ใช้การเขียนโปรแกรมแบบโครงสร้าง (Structured language) ทำให้เราสามารถสร้างฟังก์ชันต่างๆเก็บไว้ และนำมาเรียกใช้ในภายหลังได้ ทำให้การพัฒนาโปรแกรมใหญ่ๆทำได้ง่ายและเร็วขึ้น

โครงสร้างของระบบวัดเครื่องมือนิวเคลียร์ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆดังนี้

1. อุปกรณ์วัดรังสีส่วนหน้า (Detector) ได้แก่หัววัดรังสีแกมมา
2. ระบบวัดปริมาณรังสี (Measuring system) ประกอบด้วยวงจรย่อยๆ ได้แก่ แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง วงจรขยายสัญญาณพัลส์ วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว
3. ระบบเชื่อมโยงสัญญาณวัด (Data interface) ได้แก่วงจรรับส่งข้อมูลจากพอร์ต USB ของคอมพิวเตอร์แปลงเป็น Serial (USB to Serial)
4. ระบบประมวลผลข้อมูลวัด (Data processing) ที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์



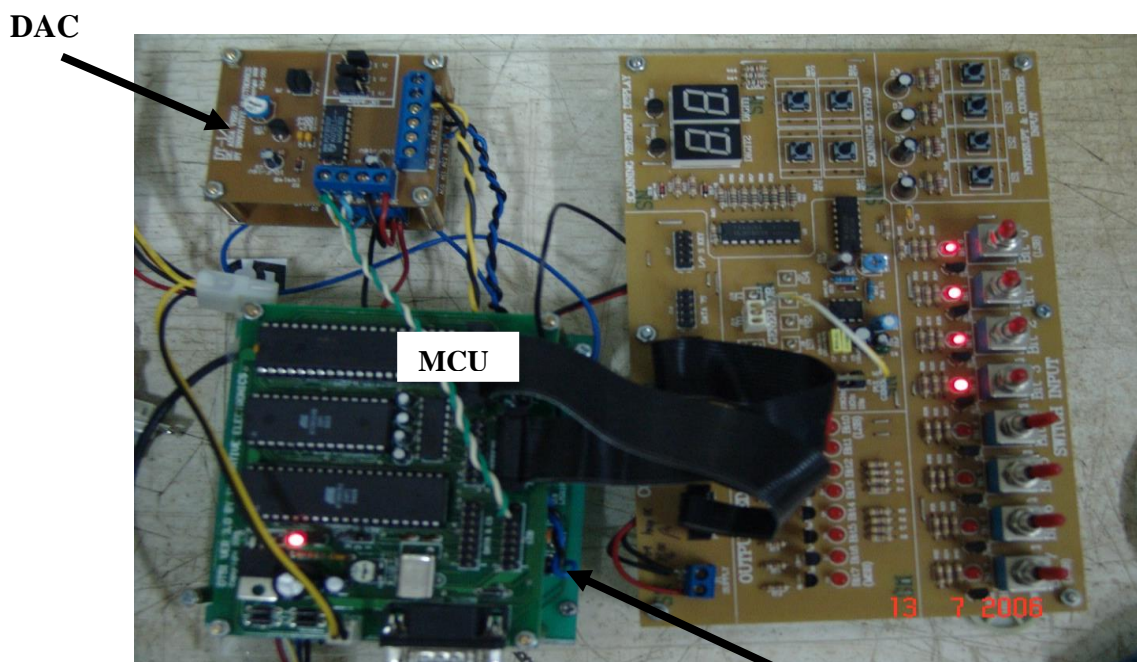
รูปที่ 6 โครงสร้างส่วนประกอบของอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์ที่พัฒนาขึ้น

จากแผนภาพรูปที่ 6 เครื่องมือวัดนิวเคลียร์แบบเสมือนมีการทำงานของระบบดังนี้

1. อุปกรณ์วัดส่วนหน้าซึ่งประกอบด้วยหัววัดรังสีแบบเรืองรังสี เมื่อหัววัดรังสีได้รับไบอัสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่เหมาะสมจะเกิดกระบวนการวัดรังสีที่ตกกระทบหัววัดรังสีโดยรังสีจะทำอันตรกิริยากับผลึกเรืองรังสี (scintillator) เกิดประกายแสงที่มีความสว่างเป็นสัดส่วนกับพลังงานของรังสี ปริมาณแสงที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ และได้รับการทวีปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ด้วยหลอดโฟโตมัลติพลาย

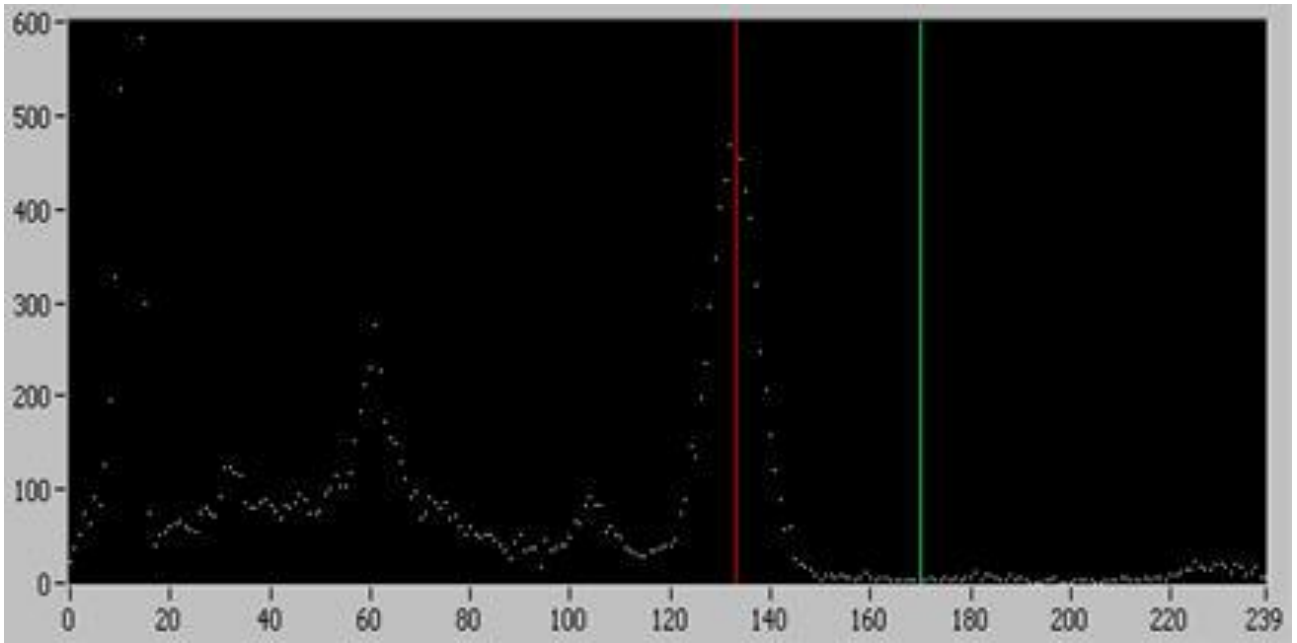
เออร์ (PMT) เกิดเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีความสูงเป็นสัดส่วนกับระดับพลังงานของรังสีที่ส่งไปวัดปริมาณรังสีในระบบวัดรังสี

2. ระบบวัดปริมาณรังสี จะทำหน้าที่รับสัญญาณพัลส์จากอุปกรณ์วัดส่วนหน้ามาขยายให้ได้สัญญาณที่มีอัตราส่วนของสัญญาณพัลส์สูงกว่าสัญญาณรบกวน (S/N) ด้วยการขยายพร้อมแต่งรูปสัญญาณในวงจรขยายสัญญาณพัลส์ สัญญาณพัลส์ที่มีขนาดความสูงของพัลส์เป็นสัดส่วนกับระดับพลังงาน จะได้รับการวิเคราะห์พลังงานด้วยวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ซึ่งตั้งค่าศักดาไฟฟ้าอ้างอิงของช่องวิเคราะห์พลังงานไว้เฉพาะค่าที่ต้องการ สัญญาณลอจิกที่ผ่านออกมาจากช่องวิเคราะห์พลังงานจะถูกนับอัตราพัลส์ด้วยวงจรเคาน์เตอร์ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ระบบเชื่อมโยงสัญญาณวัดซึ่งวงจรเชื่อมโยงกับพอร์ตUSB ของคอมพิวเตอร์ โดยรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์นำไปประมวลผลที่คอมพิวเตอร์และส่งข้อมูลควบคุมวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดียวโดยข้อมูลเชิงเลขจะผ่านส่วนพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลข้อมูลวัด
4. ระบบประมวลข้อมูลวัด ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ในการประสานจังหวะการรับส่งข้อมูลให้สอดคล้องกันของข้อมูลจากพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ การควบคุมแปลงศักดาไฟฟ้าจากเรตมิเตอร์ให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขของปริมาณรังสี การควบคุมและสร้างแรงดันจาก Digital to analog conversion (DAC) ให้แก่วงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดียว และการจัดระบบวัดนิวเคลียร์



รูปที่ 7 แสดงอุปกรณ์ที่ได้พัฒนา

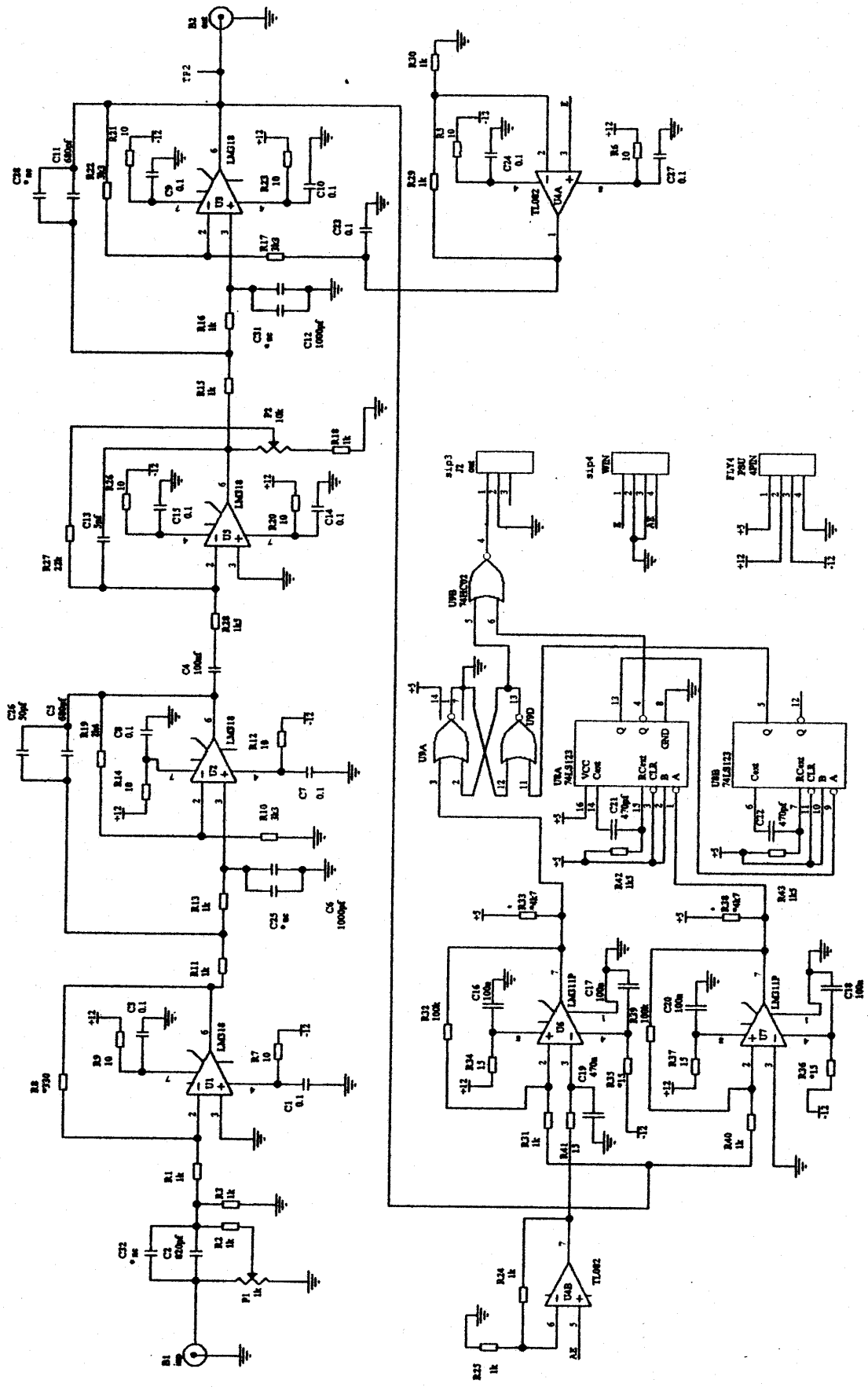
SCA
+AMP



รูปที่ 8 แสดง Spectrum Cs-137 , automatic control processing of SCA



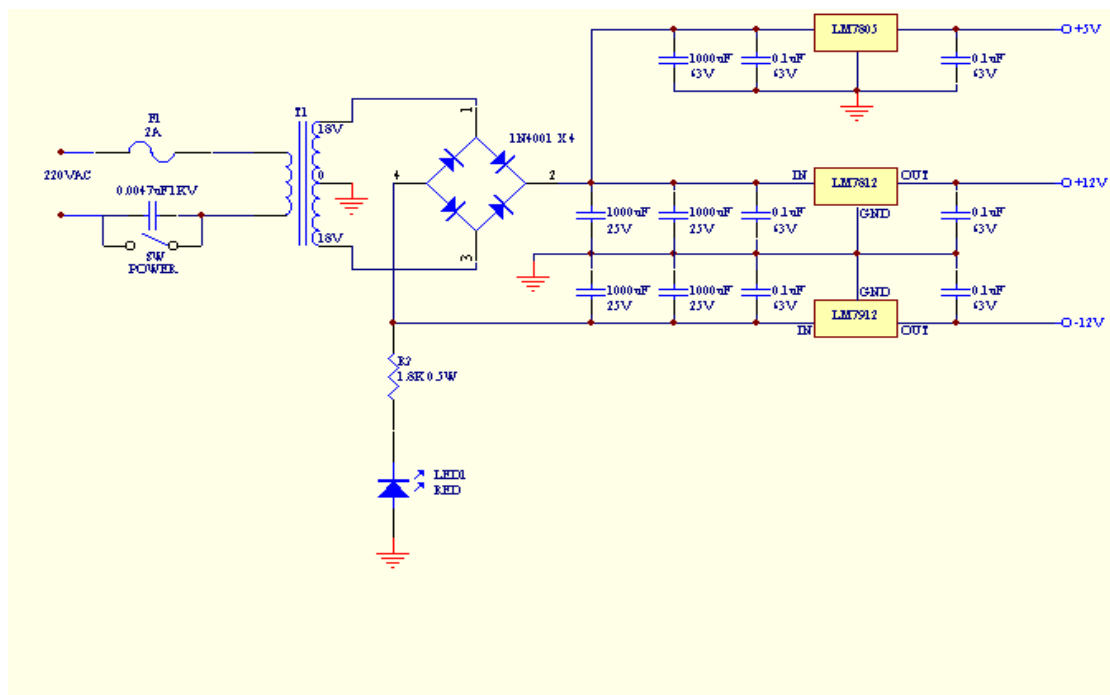
รูปที่ 9 Scintillation detector for the systems



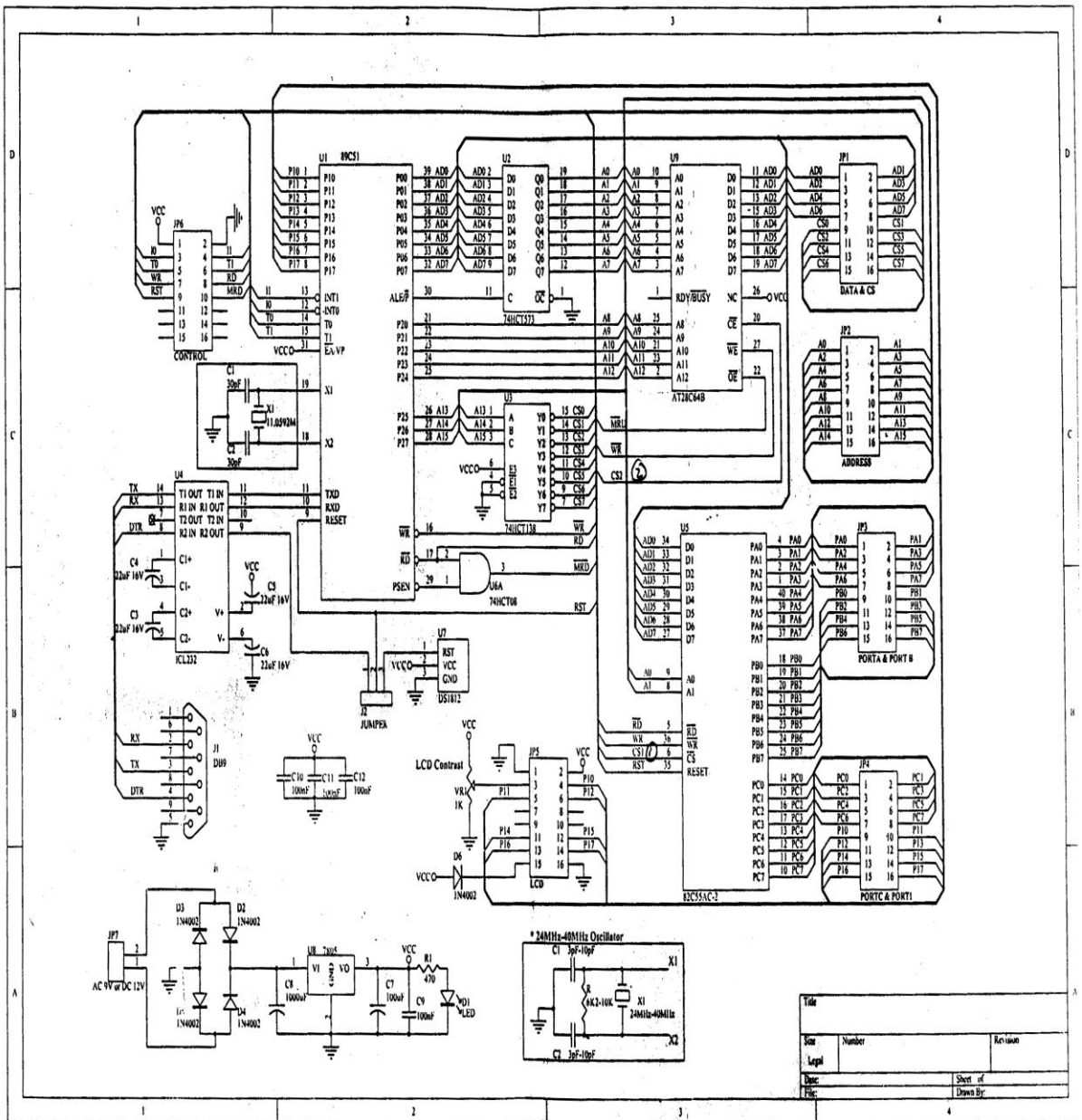
รูปที่ 10 วงจรขยายสัญญาณพัลส์และวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดียว

แหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์

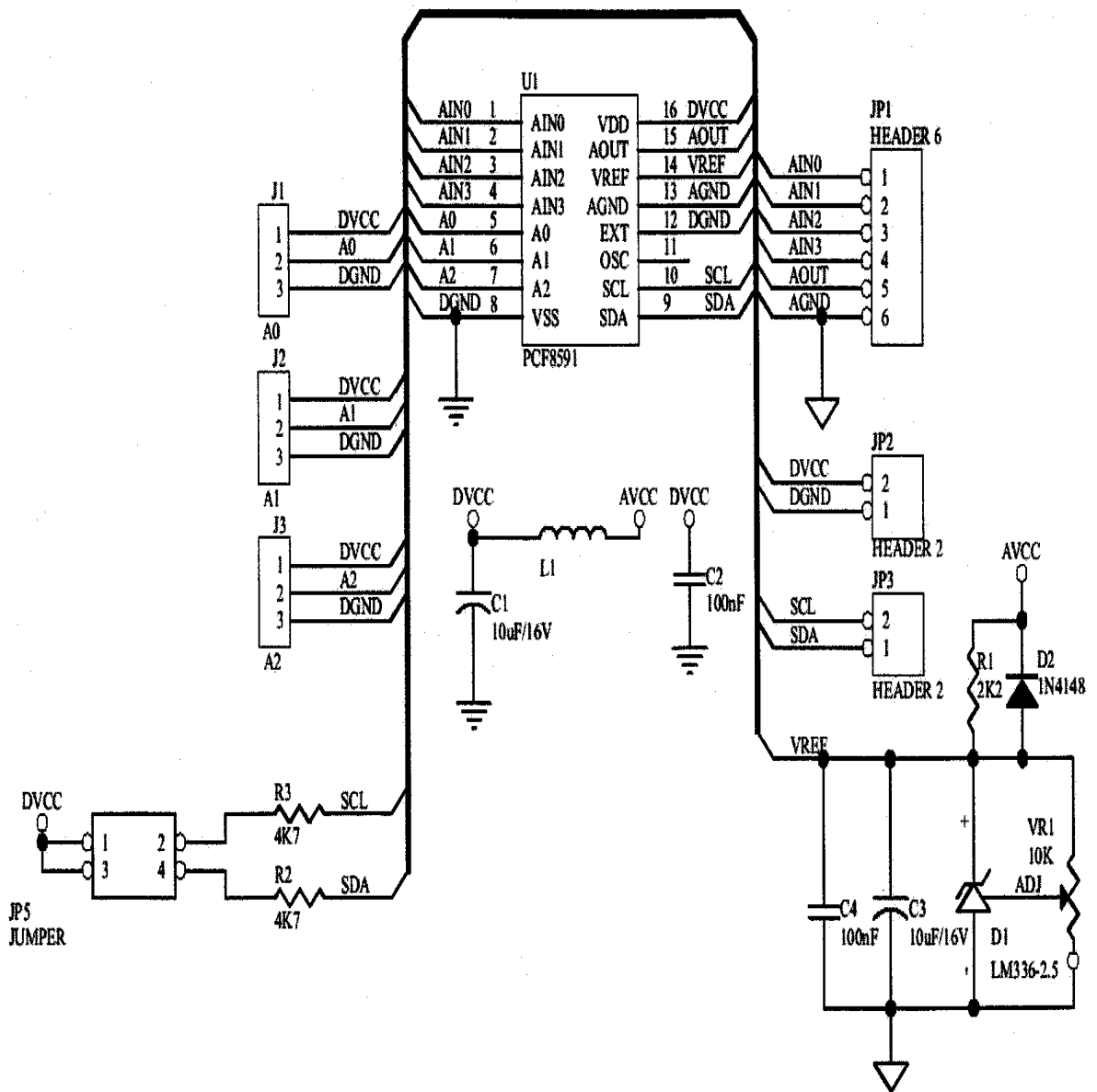
วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าสัปดาห์ในรูปแบบประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 4 ชุด ดังนี้ สัปดาห์ไฟ ± 12 โวลต์ 1.0แอมแปร์ สำหรับจ่ายให้วงจรขยายสัญญาณพัลส์และวงจรที่ใช้ไอซีประเภทลิเนียร์ สัปดาห์ไฟ 5 โวลต์ 1.0 แอมแปร์ สำหรับจ่ายให้วงจรอินเทอร์เฟซ วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ และวงจรที่ใช้ไอซีประเภท TTL



รูปที่ 11 แหล่งจ่ายสัปดาห์ไฟ



รูปที่ 12 แสดงวงจรควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU)



รูปที่ 13 แสดงวงจร DAC

การทดสอบสมรรถนะและการทำงานของเครื่อง

เครื่องมือวัดนิวเคลียร์แบบเสมือนที่พัฒนาขึ้นเป็นระบบที่รวมกันของ วงจรขยายสัญญาณพัลส์ วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว รวมเป็นระบบนับอนุภาคและระบบวิเคราะห์พลังงาน โดยการควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเมื่อประกอบเครื่องวัดสมบูรณ์แล้วได้ทำการทดสอบระบบต่างๆดังนี้

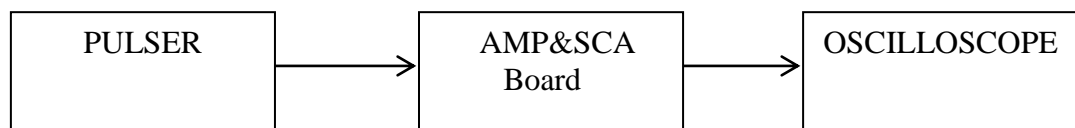
1. ทดสอบวงจรภาคขยาย
2. ทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว
3. ทดสอบระบบวิเคราะห์พลังงาน
 - 3.1 Chi-square testing
 - 3.2 Spectrum test

1. การทดสอบวงจรภาคขยาย

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสี (Pulser) ของ Canberra รุ่น 807
2. เครื่องอ่านสัญญาณไฟฟ้า (Oscilloscope) ของ HAMEG
3. อุปกรณ์ในส่วนขยายสัญญาณพัลส์ที่พัฒนาขึ้น

ขั้นตอนการทดสอบ



รูปที่ 16 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรขยายสัญญาณพัลส์

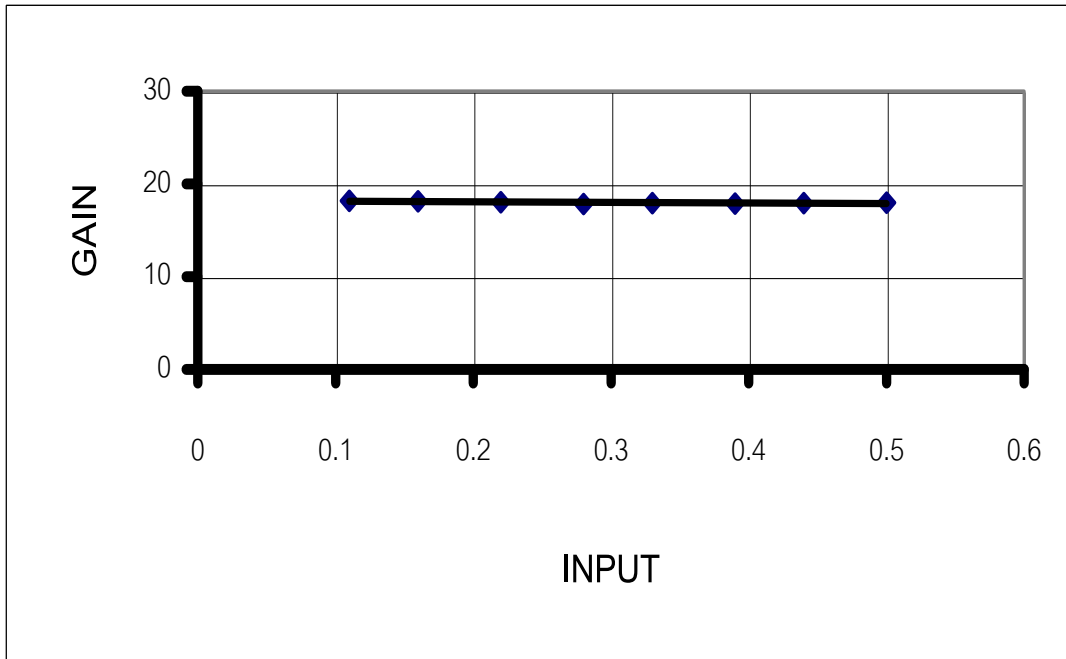
1. จัดอุปกรณ์ทดสอบดังแผนภาพ
2. ทดสอบการตอบสนองสัญญาณพัลส์ของวงจรมายโดยป้อนสัญญาณพัลส์ขาขึ้นขนาด 200 มิลลิโวลต์ ให้กับอุปกรณ์ขยายสัญญาณพัลส์ อานรูปสัญญาณจากอุปกรณ์ในส่วนขยายสัญญาณพัลส์หลังการปรับ pole zero cancellation
3. ทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอัตรายขยาย โดยตั้งอัตรายขยายคงที่และแปรเปลี่ยนขนาดสูงของสัญญาณพัลส์ทางเข้าจากอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัวควร์งสี บันทึกผลในตารางและคำนวณอัตรายขยาย

ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบการตอบสนองสัญญาณพัลส์ของวงจรมายสัญญาณในรูป มีความเป็นเชิงเส้นของอัตรายขยายดังเส้นกราฟ

สัญญาณพัลส์ทางเข้า (V)	สัญญาณพัลส์ทางออก (V)	อัตรายขยาย
0.11.	2	18.18
0.16	3	18.12
0.219	4	18.05
0.28	5	17.85
0.33	6	17.95
0.39	7	17.89
0.439	8	17.91
0.50	9	18.00

ตารางแสดงผลทดสอบความเป็นเชิงเส้นของอัตรายขยาย



รูปที่ 17 เส้นกราฟความเป็นเชิงเส้นของอัตรายาย

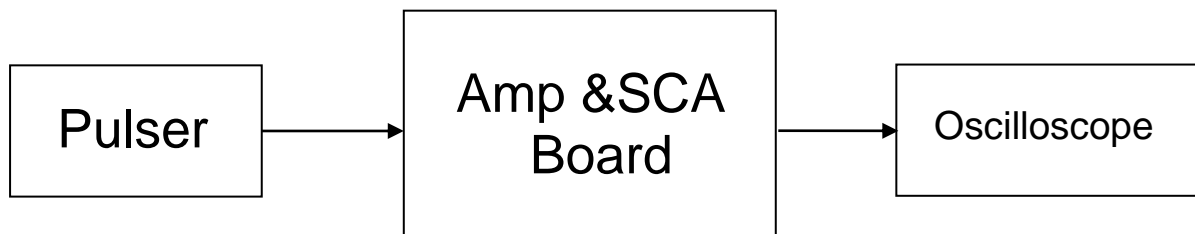
การทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องกำเนิดสัญญาณเลียนแบบหัววัดรังสีของ ORTEC รุ่น 448
2. เครื่องวัดสัญญาณไฟฟ้า (Oscilloscope) รุ่น Tektronix 2236
3. ระบบนับรังสีที่พัฒนาขึ้นได้แก่วงจรขยายสัญญาณพัลส์และวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยวเป็นการทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิงของ LLD และ ΔE



รูปที่ 18 แผนภาพการจัดอุปกรณ์ทดสอบวงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดี่ยว

ผลการทดสอบ

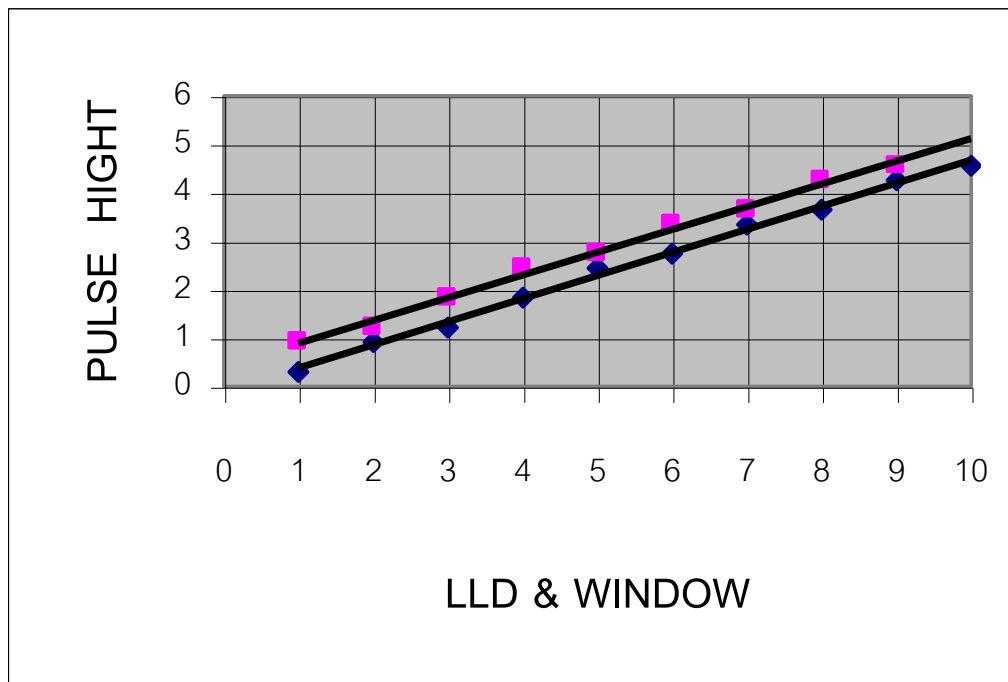
1. ผลการสอบเป็นเชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิงของ LLD และ ΔE ให้ผลดังนี้

ความสูงของพัลส์	สเกล LLD(V)
1.0	0.30
2.0	0.92
3.0	1.22
4.0	1.83
5.0	2.44
6.0	2.74
7.0	3.34
8.0	3.65
9.0	4.26
10.0	4.56

ตารางแสดงผลทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกล LLD

ความสูงของพัลส์	สเกล ΔE (V)
1.0	0.915
2.0	1.218
3.0	1.826
4.0	2.438
5.0	2.738
6.0	3.34
7.0	3.64
8.0	4.25
9.0	4.55

ตารางแสดงทดสอบความเป็นเชิงเส้นของสเกล



รูปที่ 20 เส้นกราฟความเป็นเชิงเส้นของสเกลศักดาไฟฟ้าอ้างอิง LLD และ ΔE

การทดสอบแบบ Chi-square

Count	C-Mean	(C-Mean) ²
3038	40.2	1616.04
2891	-106.8	11406.24
2955	-42.8	1831.84
2920	-77.8	6052.84
3090	92.2	8500.84
2962	-35.8	1281.64
3060	62.2	3868.84
3046	48.2	2323.24
3057	59.2	3504.64
2986	-11.8	139.24
3073	75.2	5655.04
2948	-49.8	2480.04
2912	-85.8	7361.64
2947	-50.8	2580.64
3026	28.2	795.24
2892	-105.8	11193.64
3008	10.2	104.04
3075	77.2	5959.84
2988	-9.8	96.04
3082	-84.2	7089.64
59956	3.64E-12	83841.2
Mean =	2997.8	
	chi-square =	83841.2/2997.8
=	27.967	
Except	10.1 -30.1	

ตารางแสดงการทดสอบ Chi-square Spectrum test

สรุปผลการพัฒนา

จากผลการพัฒนาเครื่องมือวัดนิวเคลียร์บนไมโครคอมพิวเตอร์ได้ข้อมูลสรุปดังนี้

1. ผลการพัฒนาเครื่องต้นแบบนี้พบว่ามีความเป็นไปได้ในการที่จะพัฒนาเครื่องมือวัดนิวเคลียร์แบบเสมือนบนไมโครคอมพิวเตอร์โดยใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่หาได้ภายในประเทศเป็นส่วนใหญ่ ยกเว้นต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสีเท่านั้นที่จำเป็นต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศโดยตรง นอกจากนี้ในปัจจุบันผู้นำเข้าอุปกรณ์และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มีการนำเข้าผลิตภัณฑ์ทันสมัยและมีคุณภาพสูงทำให้การออกแบบเพื่อประกอบเครื่องมือวัดมีขนาดกระทัดรัดและมีความเชื่อมั่นในการทำงานสูงขึ้น

2. การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของระบบวัดและประมวลผลการวัดปริมาณรังสีจะช่วยลดความซับซ้อนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ลง รวมทั้งลดการสูญเสียเวลาในการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์และแผ่นพิมพ์วงจรและเนื่องจากเทคโนโลยีความก้าวหน้าในการโปรแกรมผู้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ก้าวหน้าทำให้มีความสะดวกและยืดหยุ่นมากขึ้นในการพัฒนาโปรแกรมมอนิเตอร์สำหรับควบคุมการทำงานของระบบ

3. การพัฒนาโปรแกรมเครื่องมือวัดแบบเสมือนเพื่อควบคุมการทำงานและแสดงผลของข้อมูลต่างๆ จะช่วยให้สามารถเพิ่มสมรรถนะของระบบได้อย่างมากเนื่องจากออกแบบโปรแกรมตามความต้องการของผู้ใช้งานได้ไม่จำกัดทำให้ระบบสามารถขยายออกไปได้มากตามการประยุกต์ของการเขียนโปรแกรม

4. เนื่องจากอุปกรณ์วัดรังสีแกมมาสเปกตรัมที่พัฒนาขึ้นมาใช้วัดสำหรับไอโซโทปที่มี Half life ยาว เนื่องจากต้องใช้เวลามากในการเก็บข้อมูลเข้าประมวลผลในระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) ดังนั้นเพื่อให้เพิ่มประสิทธิภาพของเวลาในการประมวลผลเพื่อให้วัดไอโซโทปที่มี Half life สั้นได้ดี ดังนั้นการพัฒนาต่อยอดอุปกรณ์วัดรังสีแกมมาสเปกตรัมนี้โดยปรับปรุงระบบ Acquisition ให้มีสมรรถนะความเร็วและหน่วยความจำมากขึ้น

การพัฒนาอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์ที่มีอยู่ในปัจจุบันให้มีความสะดวกในการใช้งาน มีประสิทธิภาพและคุณภาพในการวัดเพิ่มขึ้น สามารถประยุกต์ใช้ในเครื่องมือวัดรังสีในงานกำกับความปลอดภัย เครื่องมือวัดรังสีทางการแพทย์เช่นเครื่องวัด Thyroid Uptake หรือประยุกต์ในงานอุตสาหกรรม สามารถใช้อุปกรณ์วัดชนิด SCA ที่มีอยู่มาใช้ประโยชน์ได้เต็มประสิทธิภาพ ทั้งลดการนำเข้าเครื่องมือนิวเคลียร์จากต่างประเทศ เป็นการต่อยอดองค์ความรู้ที่มีอยู่ใช้ให้เป็นประโยชน์ และใช้เป็นต้นแบบในการเผยแพร่องค์ความรู้กระบวนการทำงานของเครื่องมือนิวเคลียร์ในการสร้างความเข้าใจกับนักเรียน นักศึกษา นักวิจัย ผู้ปฏิบัติงานด้านนิวเคลียร์หรือผู้ที่มีความสนใจ

รายการอ้างอิง

1. สุวิทย์ ปุณณชัยยะ. Nuclear Radiation Detection and Instrumentation. เอกสารการสอนวิชา 2111606นิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538
2. เดโช ทองอร่าม .การพัฒนาระบบควบคุมความหนาแบบนิวคลีโอนิกสำหรับเครื่องรีดโลหะบาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชานิวเคลียร์เทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2538.
3. P.W Nicholson. Nuclear Electronics.(n.p): John Wiley & sons, 1974
4. Glenn F. Knoll. Radiation Detection and Measurment. 3rd ed. (n.p) : John Wiley & sons, 1999
5. Nicholas Tsoufanidid. Measurment and Detection of Radiation. (n.p) :McGraw Hill, 1983
6. Dhanajay V.Gadre.Programming the parallel port. (n.p) :CMP Books,1998
7. P.A. Egelstaff and E.R. Rae. Proceedings Conference on Automatic Acquisition and Reduction of Nuclear Data. (n.p) :EANDC Karlsruhe,1964
8. A.M Boyaski. Proceedings for the Skytop conference on computer systems in experimental nuclear physics. (n.p) : Boyasi, 1969
9. S. Nuccio and C. Spataro. Approaches to Evaluate the Virtual Instrumentation Measurement Uncertainties.IEEE Instrumentation and Measurment. Vol.12(2001) : 84 – 89