หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

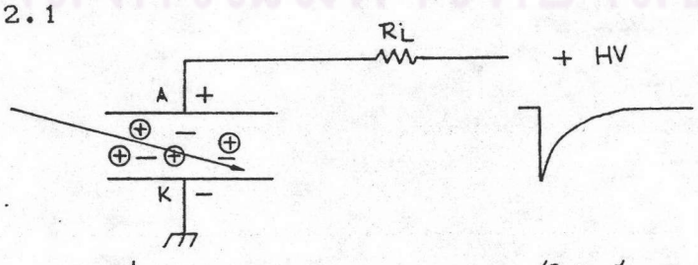
การวิเคราะห์ความสูงของพัลซ์

การวิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ในกระบวนการวัดรังสีนิวเคลียร์ หมายถึง การวิเคราะห์ระดับพลังงานของรังสีนิวเคลียร์ ที่ได้จากการสลายตัวของไอโซโทปกัมมันตรังสี ปฏิกิริยาและอันตรกิริยาทางนิวเคลียร์ เป็นต้น หลักของการวิเคราะห์ระดับพลังงาน ประกอบด้วยระบบวัดพลังงานของรังสีนิวเคลียร์ และกระบวนการวิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ ซึ่งในระยะแรก ๆ อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลซ์แบบหลายช่อง จะใช้เทคโนโลยีทางฮาร์ดแวร์ควบคุมขั้นตอนการเปลี่ยนรหัสสัญญาณ การเก็บข้อมูลและแสดงผล แต่ในปัจจุบันนิยมใช้เทคโนโลยีผสมผสาน ระหว่างฮาร์ดแวร์และซอฟท์แวร์ เพื่อลดปริมาณการใช้วงจรอิเล็คทรอนิกส์ที่ยุ่งยากลง

2.1 ลักษณะของสัญญาณพัลซ์ (Pulse Signal)

2.1.1 กลไกในหัววัดรังสี

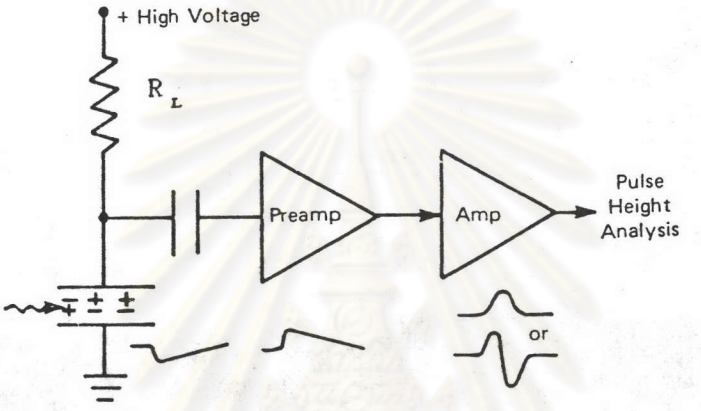
สัญญาณพัลซ์ในกระบวนการวัดทางนิวเคลียร์มีลักษณะเป็นสัญญาณอิเล็คทรอนิกส์ซึ่งแสดงรายละเอียดของรังสีนิวเคลียร์ที่ได้จากหัววัดรังสี หลักของการกำเนิดสัญญาณพัลซ์ อาศัยกลไกการเปลี่ยนพลังงานจลน์ของรังสีนิวเคลียร์ให้เป็นปริมาณประจุไฟฟ้า ซึ่งปริมาณประจุไฟฟ้านี้จะมากหรือน้อยขึ้นกับระดับพลังงานของรังสีนิวเคลียร์นั้น ในหัววัดรังสีกลไกของการวัดเกิดจากการจัดตัวกลางที่เหมาะสมรับการดูดกลืนพลังงานของรังสี ก่อให้เกิดอันตรกิริยาอาจเป็นผลทางตรงหรืออ้อมก็ตาม สร้างเป็นปริมาณประจุไฟฟ้าขึ้นภายใต้สนามไฟฟ้าในวงจรหัววัดรังสีดังแสดง ในรูป 2.1



รูป 2.1 กลไกการเปลี่ยนพลังงานของรังสีนิวเคลียร์ให้เป็นปริมาณประจุไฟฟ้า

2.1.2 การขยายสัญญาณ (2)

หัววัดรังสีทุกชนิด มีโครงสร้างเทียบเท่ากับตัวเก็บประจุขนาดเล็ก อิเล็คโทรดภายในซึ่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง (High Voltage) ไว้ จะทำหน้าที่รวบรวมประจุไฟฟ้าที่ เกิดขึ้นหลังอันตรกิริยาการวัด ทำให้กระแสไหลในวงจรหัววัดรังสี และเกิดการ เปลี่ยนแปลงศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_L และหัววัดรังสีเกิดเป็นสัญญาณพัลซ์ในรูป ศักดาไฟฟ้า (Pulse Voltage) ขึ้น ดังแสดงในรูป 2.2

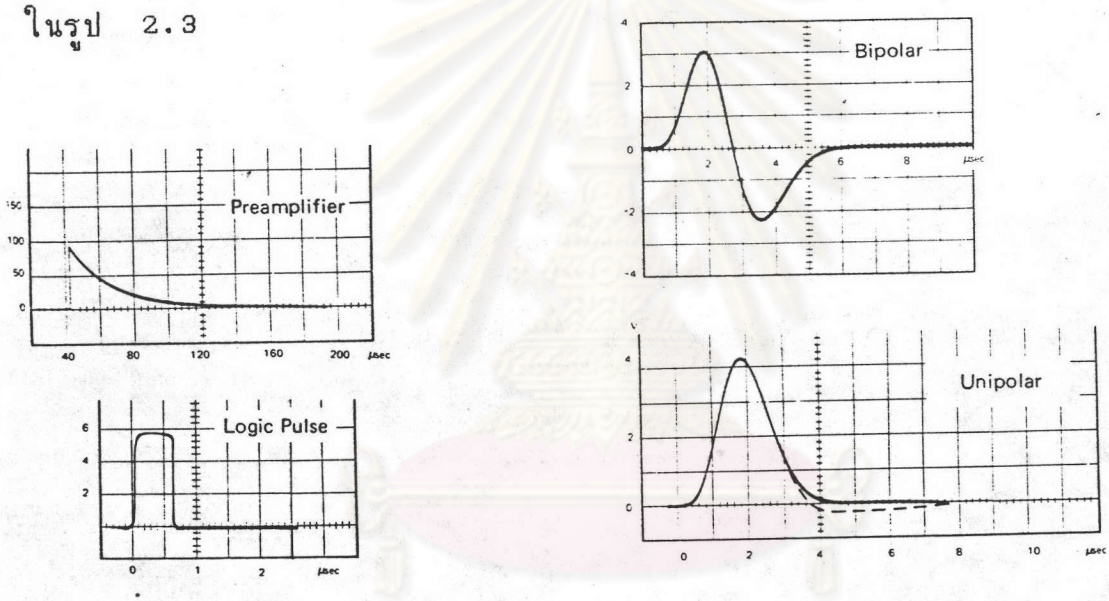


รูป 2.2 ระบบวัดรังสีนิวเคลียร์

ระบบวัดรังสีนิวเคลียร์ ประกอบด้วย หัววัดรังสี แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าสูง อุปกรณ์ขยายส่วนหน้า (Preamplifier) และอุปกรณ์ขยายหลัก (Amplifier) ภาคขยายส่วนหน้าจะทำหน้าที่แยกศักดาไฟฟ้าสูง ที่จ่ายให้กับหัววัดรังสีกับภาคขยายด้วยตัวเก็บประจุ พร้อมทั้งส่งผ่านสัญญาณวัดด้วยอัตราขยายประมาณ 1 ลักษณะของพัลซ์ที่เกิดจะมีเวลาขาขึ้น (Rise Time) เท่ากับค่าคงตัวเวลาในพารามิเตอร์ของวงจรหัววัด และเวลาขาลง (Fall Time) ของพัลซ์จะขึ้นอยู่กับค่า คงตัวเวลาของวงจรตัวเก็บประจุ (Capacitor) และตัวต้านทาน (Resistor) ในภาคขยายส่วนหน้า ปกติจะจัดไว้ประมาณ 50 ไมโครวินาที ภาคขยายส่วนหน้าจะจัดไว้ในตำแหน่งใกล้กับหัววัดรังสีเพื่อลดค่าความจุของสายเคเบิล (Cable) อันมีผลต่อเวลาขาขึ้น และการสูญเสียความสูงของพัลซ์ ในขณะเดียวกันภาคขยายส่วนหน้าจะจัดค่าอิมพิแดนซ์ (Impedance) ให้เหมาะสมกับการเชื่อมโยงสัญญาณระหว่าง หัววัดรังสีกับภาคขยายหลัก ช่วยให้ขับสัญญาณได้ระยะไกล

ภาคขยายหลัก ทำหน้าที่ขยายสัญญาณพัลซ์ให้มีขนาดความสูงตามมาตรฐาน

การวัดในอุปกรณ์วัดนิวเคลียร์ โดยช่วงวิเคราะห์ระดับพลังงานจะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงความสูงของพัลซ์ 0 ถึง 10 โวลท์ นอกจากการจัดอัตราขยายแล้วภาคขยายหลักจะทำหน้าที่แต่งรูปสัญญาณของพัลซ์จากภาคขยายล่วนหน้า ซึ่งมีเวลาขาลงนานเกินไปจะทำให้เกิดการซ้อนของพัลซ์ที่ตามมาต่อเนื่อง ในการแต่งรูปสัญญาณให้มีเวลาสั้นและลดสัญญาณรบกวนจะใช้วงจรประกอบของตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ ได้แก่วงจรดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ (Differentiator) และวงจรอินทิเกรเตอร์ (Integrator) สัญญาณทางออกของภาคขยายหลัก หลังจากการแต่งรูปสัญญาณจะมีการรบกวนของสัญญาณไฟฟ้าน้อยลง และมีรูปร่างใกล้เคียงรูปเกาซ์เซียน (Near-gaussion) ซึ่งมาตรฐานสัญญาณจะมี 2 รูปแบบ คือ แบบไบโพลา และยูนิโพลา ขึ้นกับขั้นตอนของการแต่งรูปสัญญาณ ดังแสดงมาตรฐานของสัญญาณพัลซ์ในรูป 2.3



รูป 2.3 รูปสัญญาณพัลซ์มาตรฐาน

2.2 การวิเคราะห์ความสูงของพัลซ์

จากหัวข้อ 2.1.2 จะเห็นว่าลักษณะของสัญญาณพัลซ์มีลักษณะเป็นสัญญาณอนาลอกเดี่ยวเป็นลูก ๆ ต่อเนื่องตามจำนวนนับอนุภาค ความสูงของพัลซ์เฉพาะจุดยอด จะสัมพันธ์กับระดับพลังงานของอนุภาคที่วัดด้วย และมีความกว้างของพัลซ์ตามมาตรฐานซึ่งแคบมาก ช่วง 2-6 ไมโครวินาที ดังนั้นการวิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ จะต้องใช้เทคนิคทางฮาร์ดแวร์ที่มีความไวค่อนข้างสูง ในการจับยอดพีคของสัญญาณพัลซ์มาแปลงเป็นรหัสเชิงเลข เพื่อวิเคราะห์การกระจายของระดับความสูง

ของพัลซ์ หรือระดับพลังงานและบันทึกผลวิเคราะห์ในหน่วยความจำ และแสดงผลในรูปของสเปคตรัมนิวเคลียร์ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเดี่ยวให้เป็นรหัสเชิงเลข เรียกว่า วงจรแปลงรหัสสัญญาณ (Analog to Digital Converter) มักเรียกย่อว่า ADC ซึ่งจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

ก) ต้องมีอัตราความเร็วในการแปลงสัญญาณ (Conversion Gain) สูง

ข) ต้องมีความเที่ยงตรง และความถูกต้อง ในการแปลงรหัสมีความเป็นสัดส่วนเชิงเส้น (Linearity)

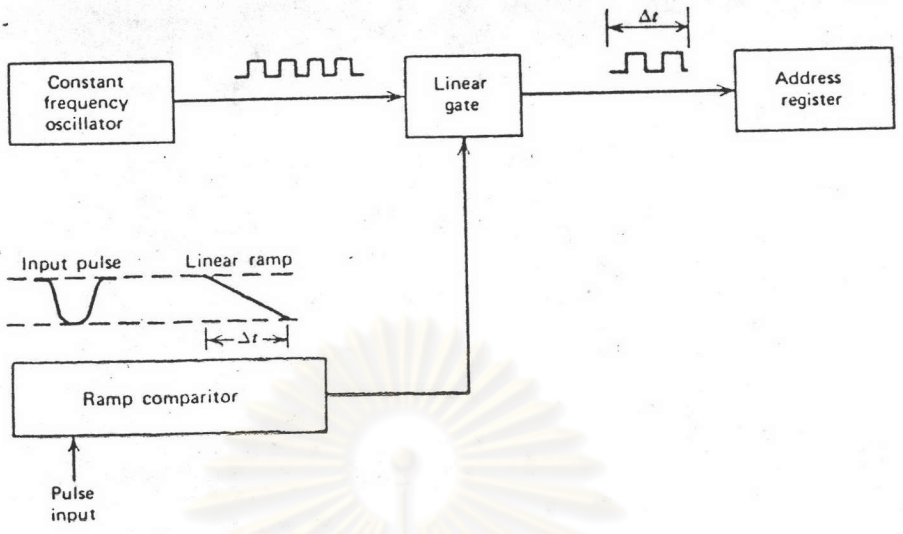
ค) มีความละเอียดสูงในการแปลงค่าสัญญาณในช่องวิเคราะห์

สำหรับความละเอียดในการแปลงรหัสของอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลซ์แบบหลายช่อง จะสัมพันธ์กับช่วงวัดมาตรฐาน 0 ถึง 10 โวลท์ การกำหนดช่องวิเคราะห์ของหน่วยความจำจะมีความละเอียดตามค่าบิท คือ 2^n เช่น 1024 2048 หรือ 4096 ช่องวัด เป็นต้น เมื่อวงจรแปลงรหัสสัญญาณมีความละเอียดมาก จะต้องมีความเร็วสูงในการแปลงสัญญาณ อันจะมีผลกระทบต่อความเป็นสัดส่วนเชิงเส้น คุณลมบัติของการแปลงรหัสจะขึ้นอยู่กับเทคนิคการจัดวงจร ซึ่งวงจรแปลงรหัสสัญญาณที่นิยมใช้กันมีอยู่ 2 แบบ คือ

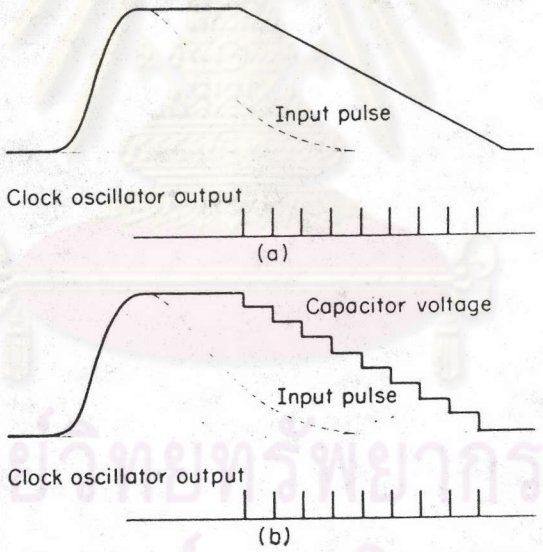
- วงจรแบบ วิลคินสัน
- วงจรแบบ ซัคเซสซีพแอพพรอกซิเมชัน

2.2.1 วงจรแบบวิลคินสัน (3)

วงจรชนิดนี้อาศัยหลักการเก็บประจุ (Charge) ที่ค่ายอดของพัลซ์ และคายประจุ (Discharge) หลังจากตรวจสอบยอดพีคในตัวเก็บประจุด้วยวงจรจ่ายกระแสคงที่ (Constant Current) เพื่อให้การลดของกระแสในตัวเก็บประจุมีความเป็นสัดส่วนเชิงเส้น จากจุดเริ่มต้นจนกระทั่งถึงจุดสุดท้ายของการคายประจุ จะเป็นช่วงเวลาที่เป็นสัดส่วนกับความสูงของพัลซ์ ช่วงเวลานี้จะเป็นช่วงเวลาที่กำหนดความเร็วในการแปลงรหัสร่วมกับสัญญาณนาฬิกา โดยจุดเริ่มต้นจะเปิดเกท ให้กับวงจรนับไบนารี (Binary Counter) เพื่อนับความถี่สัญญาณนาฬิกาที่มีความถี่คงที่ วงจรนับจะหยุดนับเมื่อเกทปิด วงจรนับไบนารีแต่ละชุดจะสร้างรหัสเชิงเลขสัมพันธ์กับแอดเดรสของหน่วยความจำ ที่จะเก็บค่าความสูงของพัลซ์ต่อไป ดังแสดงในรูป 2.4 และ 2.5



รูป 2.4 แผนภาพแสดงการทำงานของวงจรแบบวิลคินสัน



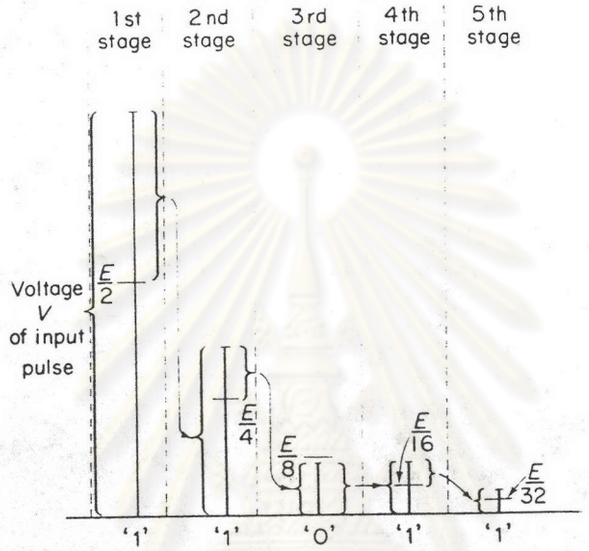
รูป 2.5 รูปสัญญาณแสดงการแปลงรหัสในวงจรแบบวิลคินสัน

จากแผนภาพ ช่วงเวลาการเปลี่ยนรหัส ($\triangle t$) จะถูกควบคุมโดยวงจรคายประจุแบบเชิงเส้น และความถี่ของสัญญาณนาฬิกาจะคงที่ด้วยการควบคุมของผลึกกำเนิดสัญญาณ (Crystal Oscillator) ดังนั้นค่าจำนวนนับในวงจรนับไบนารีจะแปรเป็นสัดส่วนกับช่วงเวลา และค่าความสูงของพัลซ์ เพื่อลดเวลาในการแปลงรหัสให้น้อยลง วงจรจะต้องถูกออกแบบความถี่สัญญาณนาฬิกาให้สูงขึ้น ปกติจะเริ่มใช้จาก

จาก 50 MHz 100 MHz และ 200 MHz

2.2.2 วงจรแบบซัคเซสซีพแอพพรอกซิเมชัน (4)

หลักการพื้นฐานของวงจรเปลี่ยนรหัสแบบนี้ อาศัยการประมาณค่า ด้วยการเปรียบเทียบค่าความสูงของพัลซ์กับค่าประมาณน้ำหนักตัวเชิงเลขไบนารี (Binary Weight) ของศักดาไฟฟ้า E/2 , E/4 , E/8 ,..... เป็นต้น ภายในวงจร ดังแสดงในรูป 2.6



รูป 2.6 หลักการของการเปลี่ยนรหัสความสูงแบบซัคเซสซีพแอพพรอกซิเมชัน

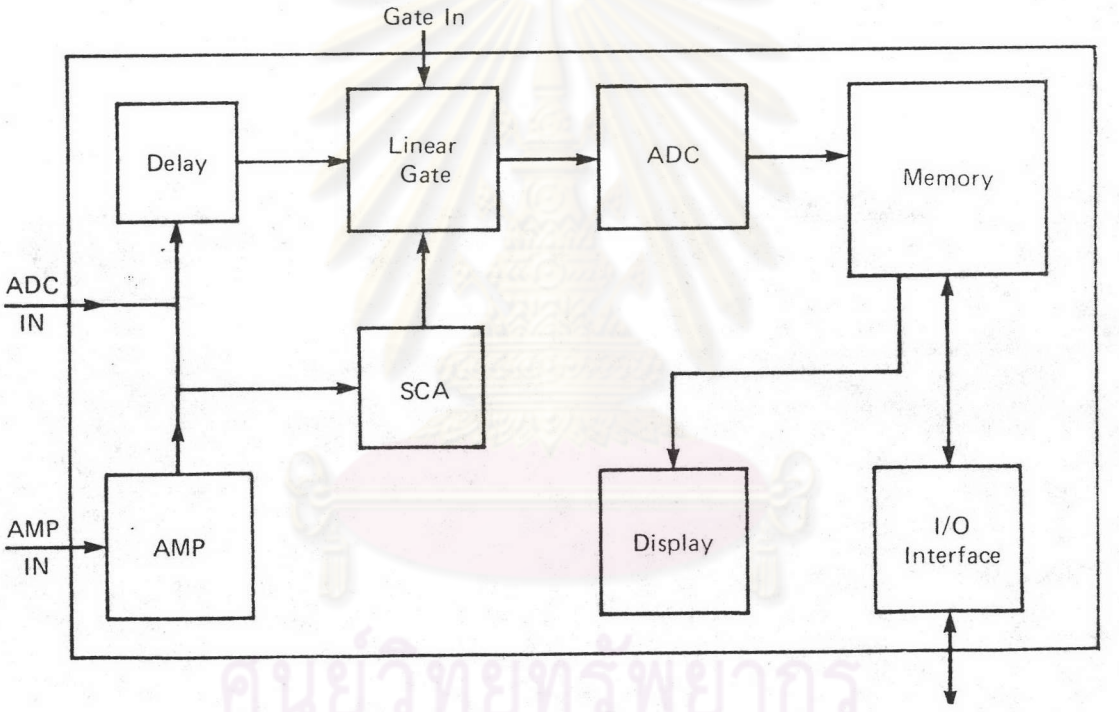
จากรูป 2.6 สัญญาณพัลซ์ที่มีความ สูงขนาดหนึ่ง (V) เมื่อป้อนเข้าวงจรเปรียบเทียบ ถ้าสัญญาณพัลซ์ต่ำกว่าค่า E/2 วงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าจะให้ลอจิกเป็น "0" ในบิทแรก แต่ถ้าสัญญาณพัลซ์สูงกว่าค่า E/2 วงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าจะให้ลอจิกเป็น "1" ในบิทแรก ขณะเดียวกันวงจรภายในจะลบค่าความสูงของพัลซ์ (E/2-V=V') และส่งสัญญาณส่วนที่เหลือไปเปรียบเทียบในบิทที่สองด้วยวิธีเดียวกันโดยเปรียบเทียบกับ E/4 ถ้าค่าที่ลบออกมากกว่าค่า E/4 วงจรเปรียบเทียบก็จะให้ลอจิกเป็น "1" ในบิทที่สอง และถ้าน้อยกว่าก็จะให้ลอจิกเป็น "0" จากนั้นก็จะทำการลบค่าความสูงของศักดาไฟฟ้าในช่วงที่สองออก (E/4-V') และส่งไปเปรียบเทียบในบิทที่ 3 ต่อ โดยขั้นตอนเหมือนกัน ถ้าขั้นตอนมี 10 ขั้นตอนก็จะมีเอาท์พุท 10 บิท ซึ่งหมายถึงความละเอียดในการแปลงรหัสมีค่าเป็น 2^{10}=1024 บิท หรือกำหนดแอดเดรสได้ 1024 ช่องนับนั่นเอง

สำหรับวงจร ADC ชนิดนี้ เวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณจะเพิ่มขึ้นเป็น

ฟังก์ชันแบบลอกาลิทึม (Logarithm) ของจำนวนแชนแนลที่แปลงได้สูงสุด แต่ในแบบวิลคินสัน เวลาจะเพิ่มขึ้นเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นกับจำนวนแชนแนลที่แปลงได้เต็มที่ ฉนั้นวงจรแบบซัคเซสซีพแอพพรอกซิเมชันจะทำงานได้เร็วกว่าในกรณีที่จำนวนแชนแนลของการแปลงเต็มที่มีค่ามาก แต่ข้อเสีย คือ มีความแม่นยำในการแปลงสัญญาณต่ำกว่า ซึ่งข้อเสียนี้เกิดจากกระบวนการหักลบค่าความสูงของพัลซ์ในแต่ละขั้นตอน

2.3 อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลซ์แบบหลายช่อง (2)

อุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ (Pulse Height Analyzer) หรือ เรียกกันทั่ว ๆ ไปว่า มัลติแชนแนลอนาไลเซอร์ประกอบด้วยวงจรพื้นฐานในกระบวนการวิเคราะห์ความสูงของพัลซ์ ดังแสดงในรูป 2.7

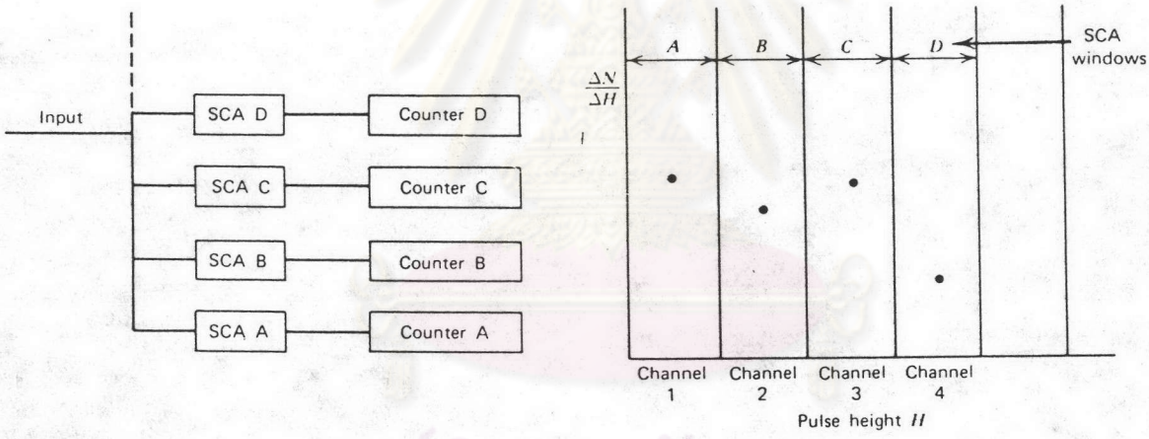


รูป 2.7 แผนภาพเบื้องต้นของ MCA

การทำงานของระบบอาศัยหลักการพื้นฐานของการแปลงสัญญาณอนาลอก (ขนาดความสูงของพัลซ์) ให้เป็นรหัสเชิงเลข (Digital) ด้วย วงจรแปลงรหัสสัญญาณ รหัสเชิงเลขที่ปรากฏบนแอดเดรส (Address) ของวงจรจะถูกควบคุมให้นำไปเก็บ สะสมไว้ในหน่วยความจำชั่วคราว หรือแรม (Random Access Memory) ซึ่งจัดไว้โดยการบวกเพิ่มค่าจำนวนที่ความถี่ซ้ำกัน การกระจายของค่ารหัสจะเป็นไปตามการกระจายของความสูงของพัลซ์ หน่วยความจำจะเก็บ

สะสมปริมาณนับเหล่านั้น และแสดงผลในรูปของสเปคตรัมบนจอภาพ

ขนาดของหน่วยความจำจะจัดเป็นกลุ่มขนาด 256-8192 (2^n ช่องนับ) โดยมีค่าความสามารถในการเก็บข้อมูลนับได้สูงสุด 10^5-10^6 จำนวนนับ ลักษณะของการจัดหน่วยความจำสามารถเปรียบเทียบได้กับการจัดเรียงแอดเดรสซ้อนกันตั้งขึ้น โดยช่องวัดที่ 1 จะอยู่ล่างสุดเรียงลำดับกันขึ้นมาจนถึงหน่วยความจำสูงสุดจะอยู่บนสุด ในแต่ละครั้งที่พัลซ์ผ่านวงจรแปลงรหัสสัญญาณ วงจรวิเคราะห์จะควบคุมการค้นหาแอดเดรสของหน่วยความจำซึ่งตรงค่าความสูงของพัลซ์ที่เป็นรหัสไบนารี และเพิ่มค่านับอีก 1 ในแอดเดรสหน่วยความจำนั้น กล่าวได้ว่าทุกครั้งที่สัญญาณพัลซ์ถูกวิเคราะห์ผ่านวงจรแปลงรหัสสัญญาณ วงจรจะค้นหาแอดเดรสของหน่วยความจำที่มีค่าเทียบเท่ากับค่าความสูงของอินพุทพัลซ์ เพื่อเพิ่มค่านับในแอดเดรสของหน่วยความจำนั้นอีก 1 ลักษณะการทำงานที่กล่าวมานี้สามารถเปรียบเทียบได้กับการซ้อนวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลซ์แบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer) ดังแสดงในรูป 2.8 (4)



รูป 2.8 การจัดเรียงซ้อนชุดวิเคราะห์ SCA A , B , C , D..อย่างต่อเนื่อง

จากรูป 2.7 ในส่วนของอินพุทเกท (Input Gate) ปกติทำหน้าที่กั้นพัลซ์ที่จะผ่านเข้าไปยังวงจรแปลงสัญญาณ ในช่วงเวลาที่กำลังแปลงสัญญาณ (Busy) พัลซ์ที่ผ่านเข้าวงจรแปลงรหัสสัญญาณมาก่อน จะบังคับให้วงจรภายในส่งสัญญาณลอจิกไปยังวงจรอินพุทเกท เพื่อสั่งให้ปิดกั้นพัลซ์ไว้ หลังจากวงจรแปลงรหัสสัญญาณพัลซ์และบันทึกข้อมูลเสร็จก็จะส่งสัญญาณลอจิกไปให้วงจรอินพุทเกทเปิดให้พัลซ์ลูกต่อไปเข้ามายังวงจรแปลงรหัสสัญญาณ เนื่องจากวงจรแปลงรหัสสัญญาณทำงานช้าในกรณีที่อินพุทพัลซ์มีค่าความสูงของพัลซ์มาก ๆ และมีผลให้อินพุทเกทถูกปิดนาน ดังนั้นอินพุท

พัลซ์บางลูกจะสูญหายไปในช่วงเวลาที่วงจรแปลงรหัสสัญญาณกำลังทำงาน เรียกว่า เดดไทม์ (Dead Time) จากผลการสูญเสียสัญญาณในช่วงเวลาของกระบวนการแปลงสัญญาณในระบบของอุปกรณ์วิเคราะห์ความสูงของพัลซ์แบบหลายช่อง จึงมีการปรับปรุงเวลานับเพื่อวิเคราะห์เป็น 2 ลักษณะ คือ เวลาจริง (True Time) และเวลาที่ชดเชยการสูญเสียสัญญาณ (Live Time) ข้อมูลที่สะสมในช่องวัด 0 จะแสดงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ เมื่อตั้งเวลาจริงในช่องวัด 0 จะบันทึกเวลาทุก 1 วินาที แต่ถ้าตั้งเวลาที่ชดเชยการสูญเสียสัญญาณเวลาที่จะบันทึกในช่องวัด 0 จะถูกควบคุมด้วยเวลาที่สูญเสียในกระบวนการสัญญาณ หมายถึง ความถี่ฐานเวลาจะเกทไว้กับเวลาที่สูญเสียนี้ ค่าปริมาณการสูญเสียเวลาจะอ่านได้จาก เปอร์เซ็นต์เดดไทม์ (% Dead Time) ถ้าการสูญเสียมากกว่า 10 % จะทำให้การวิเคราะห์คลาดเคลื่อน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย