หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
การวัดปริมาณรังสี

2.1 ความปลอดภัยด้านการปฏิบัติการเกี่ยวกับรังสี

ความปลอดภัยทางรังสีเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงเสมอในการปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสี การควบคุมความปลอดภัยของปฏิบัติการใดๆ เกี่ยวกับต้นกำเนิดรังสีบนบรรทัดฐาน การประเมินอันตรายจากรังสีมีระเบียบปฏิบัติในการทำงานดังนี้ "ในการปฏิบัติงานทางรังสีใดๆ ผู้ปฏิบัติงานจะต้องได้รับรังสีไม่เกินระดับปริมาณรังสีที่ยอมให้รับได้ (Dose Equivalent Limits , DEL)" พิกัดสูงสุดด้านความปลอดภัยทางรังสี กำหนดขึ้นโดยคณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยการป้องกันอันตรายจากรังสี[2](International Commission on Radiological Protection ,ICRP) ซึ่งคณะกรรมาธิการนี้จะดูแลปรับปรุงข้อกำหนดเกี่ยวกับระดับรังสีที่ยอมให้รับได้อยู่เสมอ ตามความเจริญก้าวหน้าทางวิชาการ ได้มีการกำหนดระดับปริมาณรังสีไว้สำหรับกลุ่มบุคคลสองกลุ่ม คือ ผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวข้องกับรังสีและประชาชนทั่วไปซึ่งยอมให้ได้รับปริมาณรังสีได้ไม่เกิน 1 ใน 10 ของบุคคลในกลุ่มแรก โดยถือหลักว่าถ้าร่างกายของคนทั้งสองกลุ่มนี้ได้รับกัมมันตภาพรังสีหรือวัสดุกัมมันตรังสีเข้าไปไม่เกินระดับที่ ICRP กำหนดไว้ ความเสี่ยงอันตรายจากรังสี หรือความเสียหายที่จะเกิดขึ้นต่อสุขภาพของบุคคลนั้น ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตาม ICRP ได้แนะนำว่า การได้รับรังสีทั้งหลายควรจะรักษาให้ได้รับในปริมาณต่ำสุดเท่าที่เป็นไปได้ ในขณะที่ระดับปริมาณรังสีที่ยอมรับให้รับได้นั้น สามารถใช้เป็นแนวทางในการวางแผนควบคุมความปลอดภัย แต่ในทางปฏิบัติแล้วผู้ปฏิบัติงานทางรังสีควรใช้หลักเบื้องต้นในการป้องกันอันตรายจากรังสีควบคุมให้ตนเองและผู้อื่นได้รับปริมาณรังสีน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ สำหรับอันตรายจากรังสีจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังนี้

ก. ชนิดของรังสี (type of radiation)

ข. ปริมาณรังสี (amount of radiation)

ค. ประเภทของไอโซโทปรังสี (type of radioisotope)

ง. ขนาดอัตราของปริมาณรังสี (dose rate)

จ. ความไวต่อรังสีของอวัยวะ (the sensitivity of organ to radioisotope)

2.1.1 หลักการป้องกันอันตรายจากรังสีเบื้องต้น

การป้องกันอันตรายจากรังสีโดยทั่วไปนั้นมีปัจจัยที่จะต้องถือเป็นหลักปฏิบัติ 3 ประการคือ ระยะเวลาที่ได้รับรังสี ระยะห่างระหว่างผู้ปฏิบัติงานกับต้นกำเนิดรังสีและการใช้วัสดุกำบังรังสี

ก. เวลา (time) เนื่องจากปริมาณรังสีที่ผู้ปฏิบัติงานได้รับขึ้นกับเวลา และอัตราการได้รับรังสีด้วยความสัมพันธ์ดังนี้

$$\text{total dose} = \text{dose rate} \times \text{exposure time} \quad \text{------ (2.1)}$$

เมื่อ total dose = ปริมาณรังสีที่ได้รับทั้งหมด

dose rate = อัตราปริมาณรังสีในบริเวณที่ปฏิบัติงาน

exposure time = เวลาที่ได้รับรังสี

ดังนั้นการลดระยะเวลาปฏิบัติงานในบริเวณที่มีรังสี สามารถลดการรับรังสีให้เหลือไม่เกินค่าปริมาณรังสีที่ยอมให้รับได้ (Dose equivalent limits) ซึ่งหมายความว่าในทางปฏิบัติจะต้องใช้เวลาให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ในการทำงานบริเวณที่มีรังสี

ข. ระยะทาง (distance) เนื่องจากปริมาณรังสี ณ บริเวณใดๆ เป็นสัดส่วนผกผันกำลังสองกับระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี ในกรณีที่ต้นกำเนิดรังสีมีขนาดเล็กจนถือว่าเป็นจุด ความสัมพันธ์จะเป็นดังนี้

$$I \propto \frac{1}{d^2} \quad \text{------ (2.2)}$$

เมื่อ I = ปริมาณรังสี ณ บริเวณใดๆ

d = ระยะห่างจากต้นกำเนิดรังสี

จากสมการจะเห็นว่าปริมาณรังสีจะลดลงเมื่อปฏิบัติงานห่างจากต้นกำเนิดรังสีมากขึ้น การพิจารณาผลของระยะทางที่มีต่อต้นกำเนิดรังสีจะแตกต่างกันตามรูปลักษณะของต้นกำเนิดรังสี เช่น ต้นกำเนิดรังสีอาจมีลักษณะเป็นจุด (point source) เป็นแท่ง (line source) เป็นแผ่นบาง (plane source) หรือเป็นรูปทรงกระบอก (volume source) เป็นต้น

ค. วัสดุกำบังรังสี (shielding) เมื่อรังสีผ่านตัวกลางใดๆ จะมีปริมาณลดลงตามกฎของแลมเบิร์ต (Lambert's law) ดังนี้

$$I = I_o e^{-\mu x} \qquad \text{------ (2.3)}$$

เมื่อ I = ปริมาณรังสีหลังผ่านวัสดุกำบังรังสี

I_o = ปริมาณรังสีก่อนผ่านวัสดุกำบังรังสี

μ = สัมประสิทธิ์การลดทอนของปริมาณรังสี (attenuation coefficient)

x = ความหนาของวัสดุกำบังรังสี

ดังนั้นการปฏิบัติงานหลังวัสดุกำบังรังสีที่ออกแบบไว้ถูกต้องจะช่วยให้ผู้ปฏิบัติงาน สามารถทำงานได้โดยรับรังสีน้อยที่สุด

2.1.2 หน่วยวัดปริมาณรังสี

ในทางชีววิทยานั้น เซลล์ (cell) ต่างๆ ของร่างกายมนุษย์ถึงแม้จะมีรูปร่างลักษณะและส่วนประกอบแตกต่างกันไปก็ตาม แต่สิ่งที่เหมือนกัน คือ ภายในเซลล์ที่มีชีวิตจะประกอบด้วยน้ำและมีโมเลกุลของสารอินทรีย์ลอยปนอยู่ เมื่อรังสีผ่านเซลล์และมีพลังงานสูงพอจะเกิดการไอออนไนซ์ อาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงและทำความเสียหายแก่เซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้ เมื่อรังสีมีปริมาณสูงปริมาณเซลล์ก็จะได้รับความเสียหายมาก ดังนั้นการควบคุมความปลอดภัยทางรังสี จึงได้มีการกำหนดหน่วยการวัดปริมาณรังสีขึ้น เพื่อเป็นมาตรฐานในการตรวจวัด ดังนี้

ก. เอ็กซ์โพเชอร์ (exposure, x) เป็นหน่วยที่ใช้วัดปริมาณรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาในอากาศโดยพิจารณาจากคุณสมบัติของรังสีที่สามารถทำให้อากาศเกิดการไอออนไนซ์ มีหน่วยเป็น เรินท์เกน (Roentgen,R) ปัจจุบัน SI unit ใช้หน่วยเอ็กซ์โพเชอร์เป็นคูลอมบ์ต่อกิโลกรัม (C/kg) ปริมาณรังสี 1 เรินท์เกน หมายถึง ปริมาณรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมาที่ทำให้อากาศ 0.001293 กรัม (ปริมาตร 1 ลบ.ซม ที่ S.T.P) เกิดการไอออนไนซ์เป็นประจุไฟฟ้า 1 e.s.u.(electrostatic unit) หรือเกิดคู่ไอออน 2.08×10^{9} คู่ ซึ่งความสัมพันธ์ของหน่วยวัดเรินท์เกนและคูลอมบ์ต่อกิโลกรัม จะเป็นไปดังนี้

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

ข. ปริมาณรังสีดูดกลืน (absorbed dose) เป็นหน่วยวัดที่พิจารณาจากปริมาณพลังงานของรังสีที่ถ่ายเทให้วัตถุต่อหน่วยมวล เดิมใช้หน่วยวัดเป็น แรด (radiation absorbed dose, rad) โดยปริมาณรังสีดูดกลืน 1 แรด หมายถึง พลังงานรังสีที่ถ่ายเทให้วัตถุ 100 เอิกซ์ (ergs) ต่อมวล 1 กรัม (gram) ในปัจจุบันหน่วย SI unit ใช้หน่วยของพลังงานเป็นจูล (joule) และหน่วยของมวลเป็นกิโลกรัม (kilogram) เรียกหน่วยวัดนี้ใหม่เป็น เกรย์ (gray, Gy) ซึ่งความสัมพันธ์ของหน่วยวัดปริมาณรังสีดูดกลืน

$$1\ Gy = 100\ rad$$

ค. ปริมาณรังสีสมมูลย์ (dose equivalent, H) เป็นหน่วยวัดที่นำเอาผลทางชีววิทยาที่เกิดจากรังสีต่างชนิดกันเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เนื่องจากในปัจจุบันเป็นที่ทราบว่าผลความเสียหายของรังสีแต่ละชนิด (α, β, γ) ก่อให้เกิดอันตรายต่อเซลล์ของสิ่งมีชีวิตได้ต่างกัน ถึงแม้จะได้รับปริมาณรังสีดูดกลืนที่เท่าๆ กัน ปริมาณรังสีสมมูลย์นี้ มีหน่วยเป็นเรม (roentgen equivalent man,rem) โดยที่ปริมาณรังสี 1 เรม หมายถึง ปริมาณรังสีที่ก่อให้เกิดผลทางชีววิทยาเทียบเท่าผลที่เกิดจากรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา 1 แรด โดยการหาค่าปริมาณรังสีสมมูลย์คำนวณได้ดังนี้

$$H = DQ \qquad \text{------ (2.4)}$$

เมื่อ H = dose equivalent

D = ปริมาณรังสีดูดกลืน (absorbed dose)

Q = quality factor

จากสมการที่ 2.4 เรม (rem) จะมีค่าเท่ากับ rad x Q ปัจจุบันในหน่วย SI unit ใช้หน่วย ซีเวิร์ต (Sievert, Sv) ซึ่งมีค่าเท่ากับ Gy x Q ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ของหน่วยใหม่ดังนี้

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

2.2 การวัดปริมาณรังสีประจำบุคคล

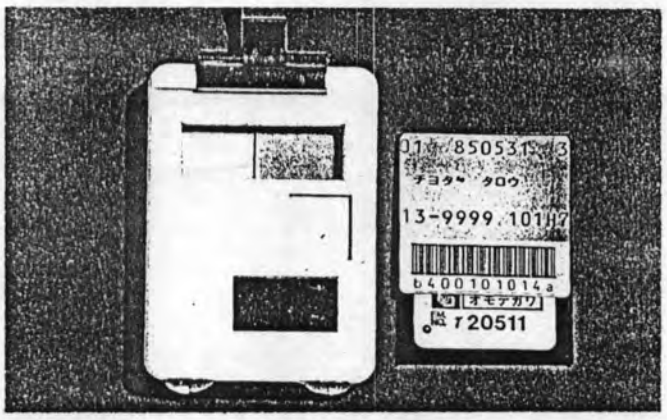
การวัดปริมาณรังสีสำหรับผู้ปฏิบัติงานทางรังสีอาศัยเครื่องวัดรังสีขนาดเล็กสำหรับพกติดตัวผู้ปฏิบัติงาน เพื่อบันทึกค่าปริมาณรังสีที่บุคคลนั้นได้รับอย่างต่อเนื่อง ในการประเมินค่าปริมาณรังสีจากเครื่องวัดเหล่านี้ จำเป็นต้องทราบการตอบสนองของเครื่องวัดต่อชนิด และพลังงานของรังสี ทราบถึงพิสัยในการวัดของเครื่องวัดและผลของการวัด เมื่อเครื่องวัดนั้นๆ อยู่ในสภาวะแวดล้อมของผู้ปฏิบัติงานซึ่งแตกต่างกัน จึงได้มีการพัฒนาอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีประจำบุคคลในรูปแบบต่างๆ หลายชนิด ซึ่งอาจจะเลือกใช้ได้ตามความเหมาะของหน่วยงาน และตามลักษณะงานดังต่อไปนี้

2.2.1 อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีประเภทอ่านค่าวัดทางอ้อม

2.2.1.1 ฟิล์มแบดจ์ (film badge)

ฟิล์มแบดจ์ เป็นอุปกรณ์วัดรังสีประจำตัวบุคคลที่ใช้กันแพร่หลายและเป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป เนื่องจากมีราคาประหยัดสามารถวัดได้ทั้งรังสีเอกซ์ แกมมา เบตาและเทอร์มัลนิวตรอน ประกอบด้วยฟิล์มไวแสง ซึ่งห่อหุ้มมิดชิดเพื่อกันแสงและกลักใส่ฟิล์มซึ่งมีแผ่นกรองรังสี (filter) หลายชนิด ได้แก่ แคดเมี่ยม อลูมิเนียมและตะกั่วปะกบติดอยู่ เพื่อช่วย

ในการประเมินค่าปริมาณรังสีที่ได้รับจากการปฏิบัติงานกับชนิดของรังสี และพลังงานต่างๆ เมื่อแผ่นฟิล์มได้รับรังสี สารไวแสงที่เคลือบอยู่บนแผ่นฟิล์มจะถูกกระตุ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาสร้าง latent image เมื่อต้องการอ่านค่าวัดรังสีทำได้โดยนำแผ่นฟิล์มไปล้างน้ำยาล้างฟิล์ม ความดำบนแผ่นฟิล์มที่บริเวณต่างๆ จะมีค่าต่างกัน บริเวณที่มีแผ่นกรองต่างชนิดจะบ่งชี้ชนิดของรังสี ส่วนบริเวณที่มีแผ่นกรองต่างความหนาจะช่วยบ่งชี้พลังงาน ทั้งนี้เนื่องจากรังสีจะถูกแผ่นกรองดูดกลืนพลังงานไว้บางส่วนตามคุณสมบัติของรังสี การวัดค่าความดำที่เกิดขึ้นบนแผ่นฟิล์มนี้ ใช้เครื่องวัดการดูดกลืนทางแสงเรียกว่า densitometer ค่าความดำที่เกิดขึ้น จะเปลี่ยนแปลงตามค่าปริมาณรังสีที่ฟิล์มได้รับ การแปรผลปริมาณรังสีจะใช้หลักการปรับเทียบ(calibration)กับฟิล์มที่ได้รับรังสีมาตรฐานที่ปริมาณต่างๆ ข้อดีของฟิล์มแบดจ์ ก็คือสามารถเก็บแผ่นฟิล์มที่ล้างแล้วไว้เป็นหลักฐานได้ระยะเวลาหนึ่ง สามารถประเมินค่าการรับรังสีโดยแยกชนิดและพลังงานต่างๆได้ ข้อเสียคือ ผลของการวัดขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมที่ใช้และเก็บฟิล์ม เนื่องจากอุณหภูมิและความชื้น ฟิล์มแต่ละชุดที่ผลิตมีอายุการใช้งานจำกัด สามารถใช้ฟิล์มได้ครั้งเดียว ขณะที่การล้างฟิล์มต้องทำพร้อมกันและไม่สามารถอ่านผลได้ทันที



รูปที่ 2.1 ลักษณะของฟิล์มแบดจ์ก่อนบรรจุแผ่นฟิล์มใส่กลัก

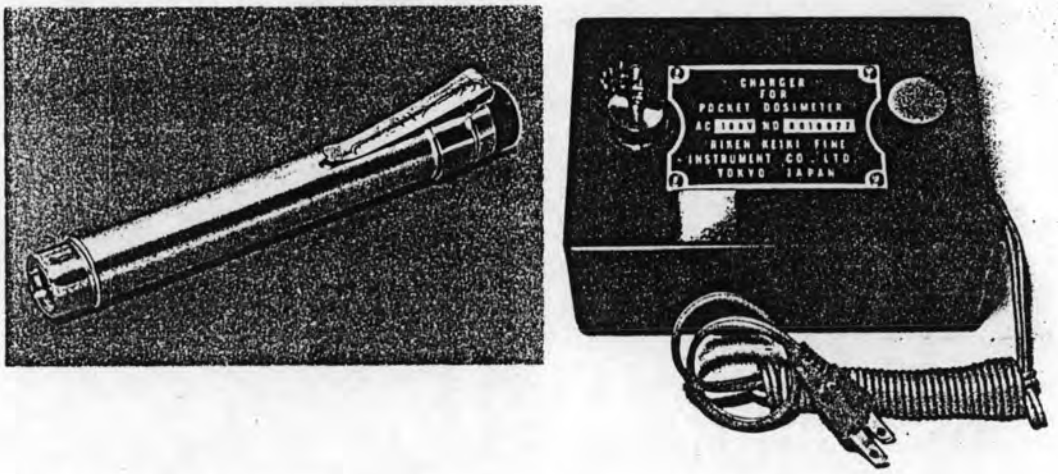
2.2.1.2 เทอร์โมลูมิเนสเซนต์โดสมิเตอร์ (thermoluminescent dosimeters, TLD)

ในปัจจุบันได้มีการนำเอาเครื่องวัดรังสีชนิดใหม่ที่มีความไวสูงมาใช้แทนการวัดรังสีด้วยฟิล์มแบดจ์ เช่น การใช้สารประกอบที่มีคุณสมบัติทางการวัดรังสี ได้แก่ ลิเทียมฟลูออไรด์ (LiF) แคลเซียมฟลูออไรด์ (CaF_2) แคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) เป็นต้น สารประกอบเหล่านี้สามารถสะสมพลังงานจากการรับรังสีด้วยการยกระดับพลังงานของโฮลและอิเล็กตรอนค้างไว้บริเวณกับดัก (trap)ในแถบช่องว่าง (forbidden band) และเมื่อได้รับพลังงานความร้อนกระตุ้น สารประกอบจะคายพลังงานที่สะสมไว้ออกมาในรูปของแสง สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องวัดความเข้มแสงด้วยการเปลี่ยนปริมาณแสงเป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งผลรวมของปริมาณแสงที่วัดได้จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสีที่ถูกดูดกลืนไว้ ชุดเครื่องวัดและอ่านค่าปริมาณรังสีนี้เรียกว่าเทอร์โมลูมิเนสเซนต์โดสมิเตอร์ ในปัจจุบันได้มีการผลิต TLD ออกมาในรูปของการ์ด (TLD card)เพื่อใช้เป็นเครื่องวัดรังสีประจำบุคคล โดยใช้งานร่วมกับกลักที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ เมื่อต้องการอ่านค่าปริมาณรังสีสะสมจะต้องนำสารเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ (TLD material) ที่ได้รับรังสีมาอ่านค่าโดยใช้เครื่องอ่าน (TLD Reader) เมื่อนำค่าที่อ่านได้ไปเปรียบเทียบกับค่าปริมาณรังสีที่ปรับเทียบกับค่ามาตรฐานจะสามารถแปรผลเป็นค่าปริมาณรังสีที่ได้รับ สารเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว สามารถนำไปใช้ใหม่ได้โดยผ่านกระบวนการให้ความร้อน (annealling) เพื่อทำให้โฮลและอิเล็กตรอนที่ค้างในบริเวณกับดักแถบช่องว่างกลับลงสู่แถบวาเลนซ์ให้หมดเสียก่อน สารเทอร์โมลูมิเนสเซนต์แต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน เช่น ลิเทียมฟลูออไรด์ มีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกับเนื้อเยื่อ และมีการตอบสนองต่อพลังงานของรังสีน้อย ส่วนแคลเซียมฟลูออไรด์มีความไวสูงกว่า และมีการตอบสนองต่อพลังงานของรังสีสูงกว่า LiF ดังนั้น การใช้สารเทอร์โมลูมิเนสเซนต์ แต่ละชนิดจึงขึ้นอยู่กับการประยุกต์ใช้งาน ข้อดีของเทอร์โมลูมิเนสเซนต์โดสมิเตอร์ คือ มีพิสัยในการวัดปริมาณรังสีกว้าง สภาวะแวดล้อมไม่มีผลต่อการวัด สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หลังจากอ่านปริมาณรังสีสะสมแล้ว ข้อเสียก็คือ ปริมาณรังสีสะสมจะถูกลบเมื่อผ่านการอ่านโดยใช้ความร้อน ดังนั้นเครื่องอ่าน TLD จะต้องทำงานอย่างถูกต้อง แม่นยำและผ่านการตรวจสอบอย่างดีก่อนทำการอ่านค่า เครื่องวัดรังสีประจำบุคคลชนิดนี้ไม่สามารถอ่านค่าได้ทันที

2.2.2 อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีประเภทอ่านค่าวัดได้ทันที

อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีประเภทนี้จะนำมาใช้เมื่อต้องการทราบปริมาณรังสีที่บุคคลได้รับในทันที โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องทำงานในบริเวณที่มีระดับรังสีสูง นอกจากการใช้ฟิล์มแบดจ์หรือเทอร์โมลูมิเนสเซนต์โดสมิเตอร์แล้ว ยังจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์วัดประเภทนี้เพื่อตรวจสอบปริมาณรังสีที่ได้รับอย่างรวดเร็ว เป็นการเตือนให้ทราบถึงปริมาณรังสีที่ได้รับในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง และควบคุมมิให้ผู้ปฏิบัติงานได้รับรังสีถึงระดับที่ยอมให้รับได้ อุปกรณ์วัดปริมาณรังสีประเภทนี้ได้แก่

2.2.2.1 เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแบบอิเล็กโตรสโคป ไอออนไนเซชัน แชมเบอร์ (pocket electroscope ionization chamber) เป็นเครื่องมือวัดรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา ที่ทำงานโดยอาศัยการอัดประจุไฟฟ้าบนแผ่นขั้วไฟฟ้า(electrodes) ให้กางออกก่อนนำไปใช้ ขณะใช้งานเมื่อภายในกระบอกบรรจุแผ่นขั้วไฟฟ้าได้รับรังสีจะเกิดการไอออนไนซ์ ปริมาณคู่ไอออนที่เกิดจะลบล้างประจุไฟฟ้าที่อัดไว้ให้ลดลงเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสี แผ่นขั้วไฟฟ้าจะหุบลง ทำให้สามารถอ่านค่าจากตำแหน่งของแผ่นขั้วไฟฟ้าบนสเกลที่มองผ่านกล้องขยายขนาดเล็กได้โดยตรง เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลชนิดนี้ใช้สำหรับบริเวณที่มีรังสีสูง ค่าที่อ่านได้ไม่ละเอียด เนื่องจากย่านวัดนี้สามารถวัดได้ค่อนข้างสูง โดยทั่วไปจะวัดผลรวมของปริมาณรังสีในหน่วยเรินท์เกน



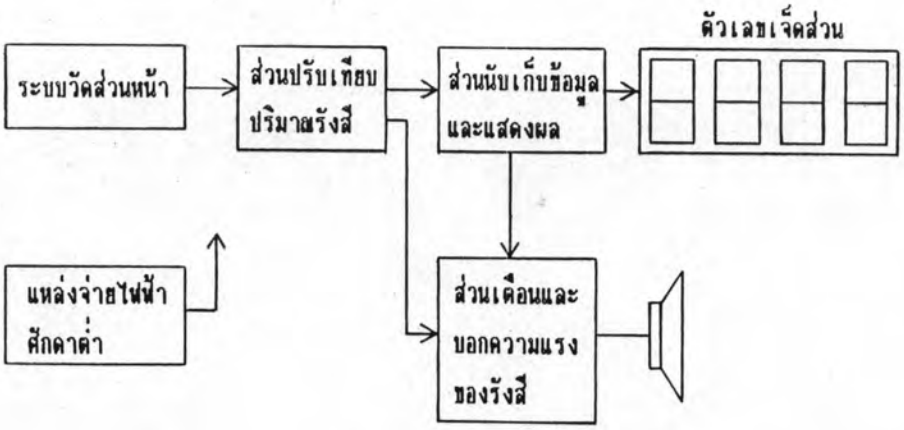
รูปที่ 2.2 ลักษณะของชุดเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแบบอิเล็กโตรสโคป ไอออนไนเซชัน แชมเบอร์

2.2.2.2 เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแบบอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากวิวัฒนาการด้านอิเล็กทรอนิกส์ไมโคร และหัววัดไกเกอร์ สามารถทำให้ระบบวัดรังสีมีขนาดเล็กลง เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลในปัจจุบันจึงนิยมใช้แบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งมีน้ำหนักเบา พกพาได้สะดวก สามารถวัดผลรวมปริมาณรังสีของรังสีเอกซ์หรือรังสีแกมมา และอ่านค่าในระบบเชิงตัวเลขได้ทันที นอกจากนี้การทำงานในระบบอิเล็กทรอนิกส์ยังสามารถเพิ่มระบบเตือนอันตรายเมื่อเข้าใกล้บริเวณที่มีรังสีสูงถึงระดับปริมาณรังสีที่ควบคุมได้ ในขณะที่เครื่องวัดในแบบอื่นไม่สามารถทำได้ จึงมีข้อได้เปรียบในด้านของการอ่านค่า ตลอดจนความสะดวกในการใช้งานและระบบเตือนอันตราย เป็นต้น

รูปที่ 2.3 ลักษณะของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแบบอิเล็กทรอนิกส์

2.3 หลักการทำงานของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแบบอิเล็กทรอนิกส์

เครื่องวัดปริมาณรังสีประจำตัวบุคคลแบบอิเล็กทรอนิกส์ เป็นอุปกรณ์วัดปริมาณรังสีที่เกิดจากการย่อส่วน ระบบวัดรังสีแบบนับรวม (integral counting system) ที่ใช้หัววัดไกเกอร์ขนาดเล็ก สามารถทำการวัดปริมาณรังสีและแสดงผลเชิงตัวเลข พกพาติดตัวได้สะดวก ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆ ได้แก่ ระบบวัดส่วนหน้า ระบบปรับเทียบปริมาณรังสี ระบบเก็บข้อมูลและแสดงผล ระบบส่งเสียงเตือนระดับรังสีและปริมาณรังสี แหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลังต่ำที่ประจุใหม่ได้ ซึ่งมีการทำงานดังแผนภาพรูปที่ 2.4

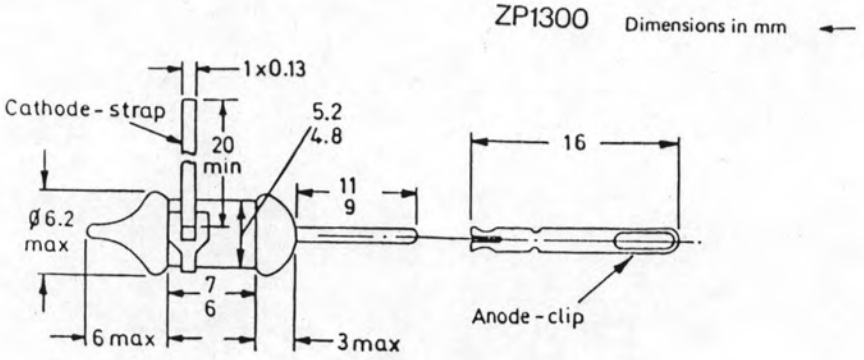


รูปที่ 2.4 แผนภาพของเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลแบบอิเล็กทรอนิกส์

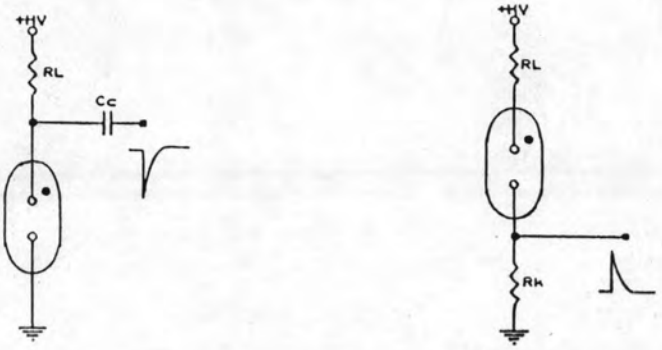
2.3.1 <u>ระบบวัดส่วนหน้าของเครื่องวัด</u>

ระบบวัดส่วนหน้าของเครื่องวัดปริมาณรังสีประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ที่ทำหน้าที่วัดรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ได้แก่ หัววัดไกเกอร์ แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงและวงจรแต่งรูปสัญญาณพัลส์

2.3.1.1 หัววัดไกเกอร์ (Geiger- Mueller tube,GM) หัววัดไกเกอร์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานของรังสีที่ผ่านเข้าไปในหัววัดให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าในลักษณะสัญญาณพัลส์ ซึ่งปริมาณสัญญาณพัลส์จะเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสี เนื่องจากเครื่องวัดปริมาณรังสีประจำบุคคลต้องการให้มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา พกพาสะดวก ดังนั้นหัววัดไกเกอร์ที่ใช้จึงมีขนาดเล็ก มีความสามารถในการวัดปริมาณรังสีได้ในช่วง 0.5 - 5000 mR/hr ทำงานที่ไฟฟ้าศักดาสูง 400-600 โวลต์ ให้สัญญาณพัลส์ในระดับ 1 - 10 โวลต์ สามารถจัดวงจรหัววัดรังสีให้ส่งผ่านสัญญาณพัลส์ได้ทั้งแบบ AC และ DC coupling ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 ลักษณะของหัววัดรังสีไกเกอร์ขนาดเล็ก

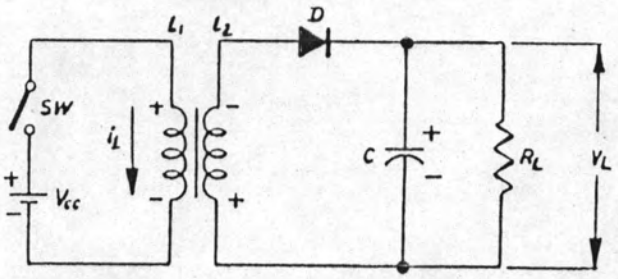


ก. AC coupling ข. DC coupling

รูปที่ 2.6 วงจรหัววัดรังสีไกเกอร์แบบ AC และ DC coupling

2.3.1.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงกระแสตรง การทำงานของหัววัดรังสีจำเป็นจะต้องให้ไบอัส(bias) ณ จุดทำงานของหัววัด(operating voltage) เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าให้ชั้วไฟฟ้า ทำการรวบรวมประจุไฟฟ้าจากการโอนถ่ายพลังงานของรังสีในแต่ละพัลส์ แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงกระแสตรง จะต้องมีเสถียรภาพของศักดาทางออกค่อนข้างสูง ในเครื่องวัดรังสีประจำบุคคลแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงกระแสตรงจะต้องมีขนาดเล็ก และจำเป็นต้องแปลงไฟฟ้าศักดาสูงจากไฟฟ้าศักดาต่ำของแบตเตอรี่ โดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก การเรียงกระแสไฟฟ้าและการทวีศักดาไฟฟ้า [3] ดังแสดงวงจรพื้นฐานในรูปที่ 2.7

019431



รูปที่ 2.7 วงจรพื้นฐานของวงจรดี-ซี คอนเวอร์เตอร์

เมื่อทำการปิดสวิตช์ (SW) กระแสไฟฟ้าตรงจากแบตเตอรี (i_1) ไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิของหม้อแปลงไฟฟ้า L_1 เมื่อไม่คิดการสูญเสียของหม้อแปลงไฟฟ้า ศักดาไฟฟ้าตกคร่อมขดลวดปฐมภูมิ (L_1) จะมีค่าเท่ากับศักดาไฟฟ้าของแบตเตอรีซึ่งมีค่าคงที่และเกิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำในขด L_1 มายังขด L_2 จากกฎของการเหนี่ยวนำเมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ (V_{cc}) มีค่าคงที่ (constant) จะได้สมการของกระแสที่ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กใน L_1 ดังนี้

$$i = \frac{V_{cc}}{L_1} t \qquad \text{-------(2.5)}$$

กระแสเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดศักดาไฟฟ้าในขดลวดทุติยภูมิ (L_2) ดังสมการ

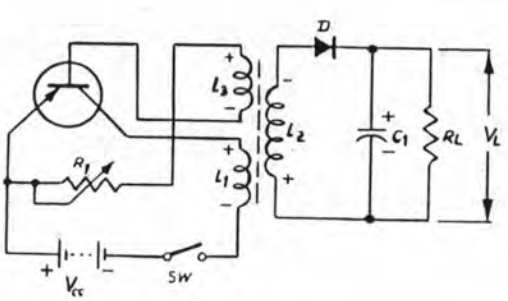
$$V_2 = \frac{N_2}{N_1} L_1 \frac{di_1}{dt} = \frac{N_2}{N_1} . V_{cc} \qquad \text{-------(2.6)}$$

ศักดาไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนขดลวดทุติยภูมิจะมีค่ามากกว่าศักดาไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดากระแสตรงจากแบตเตอรี่ ในกรณีที่จำนวนรอบ $N_2 > N_1$ เนื่องจากไดโอด D ที่ต่อกับขดลวดทุติยภูมิได้รับไบอัสกลับ ศักดาไฟฟ้าที่เกิดบนขดลวดทุติยภูมิไม่สามารถทำให้เกิดกระแสไหลในวงจรได้

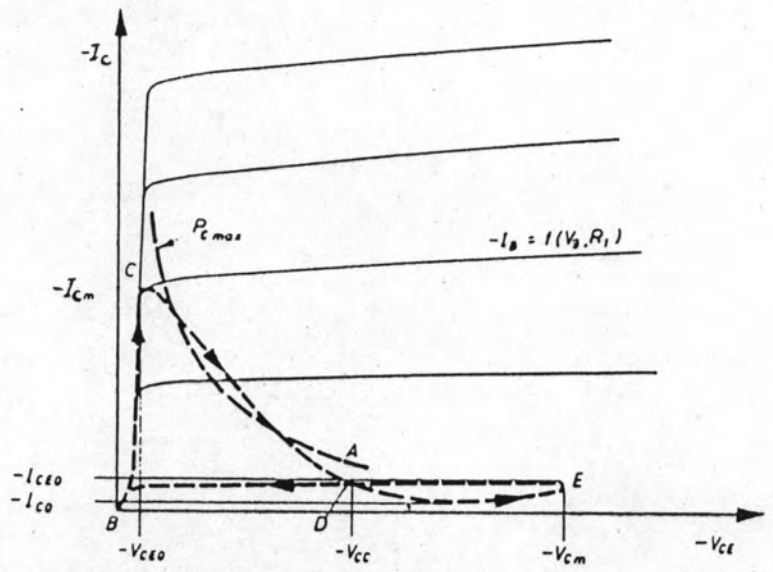
เมื่อสวิตช์ SW ที่ขดลวดปฐมภูมิเปิด กระแส i_1 หยุดไหล ทำให้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในหม้อแปลงไฟฟ้าเหนี่ยวนำในทิศทางตรงข้ามในชั่วขณะเวลาอันสั้น ทำให้เกิดศักดาไฟฟ้ากลับขั้วกับครั้งแรกขึ้นที่ขดลวดทุติยภูมิ ทำให้ไดโอด D ที่ต่ออยู่ ได้รับไบอัสตรงทำให้ตัวเก็บประจุ C เริ่มเก็บประจุ เมื่อศักดาไฟฟ้าบนตัวเก็บประจุ ประจุถึงค่าศักดาสูงสุดของขด L_2 ไดโอด D ก็จะไบอัสกลับอีกครั้ง จะเห็นว่าเมื่อปิดสวิตช์ SW แบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานให้แก่หม้อแปลงไฟฟ้าแล้ว สะสมพลังงานในรูปสนามแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อเปิดสวิตช์ SW พลังงานที่สะสมในหม้อแปลงจะถ่ายพลังงานไปยังโหลด R_L ผ่านวงจรเรียงกระแสไฟฟ้า

จากหลักการดังกล่าว ได้มีการพัฒนารูปแบบของวงจรแปลงไฟฟ้าศักดาสูงกระแสตรงด้วยการแทนที่การทำงานของวงจรสวิตช์ เพื่อสร้างสภาพเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กในหม้อแปลงศักดาไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง ด้วยวงจรสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานด้วยทรานซิสเตอร์ ดังนี้

ก. ริงกิง-โชค ไดเรคเตอร์เรนท์คอนเวอร์เตอร์ (ringing-choke direct-current converter) รูปแบบของวงจรแสดงในรูปที่ 2.8 การปิดและเปิดวงจรของขดลวดปฐมภูมิ ควบคุมด้วยทรานซิสเตอร์ซึ่งได้รับการไบอัสแบบคอมมอนอิมิตเตอร์ (common emitter) และป้อนกลับสัญญาณไบอัสทางเบสแบบ positive ผ่านขดลวด L_3 ทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานด้วยการสวิตช์ตัวเองต่อเนื่อง ระหว่างจุดอิ่มตัวของกระแส และจุด cut off ดังแสดงในเส้นกราฟคุณลักษณะการทำงานของทรานซิสเตอร์และเส้นโหลด ในรูปที่ 2.9 และรูปสัญญาณในรูปที่ 2.10

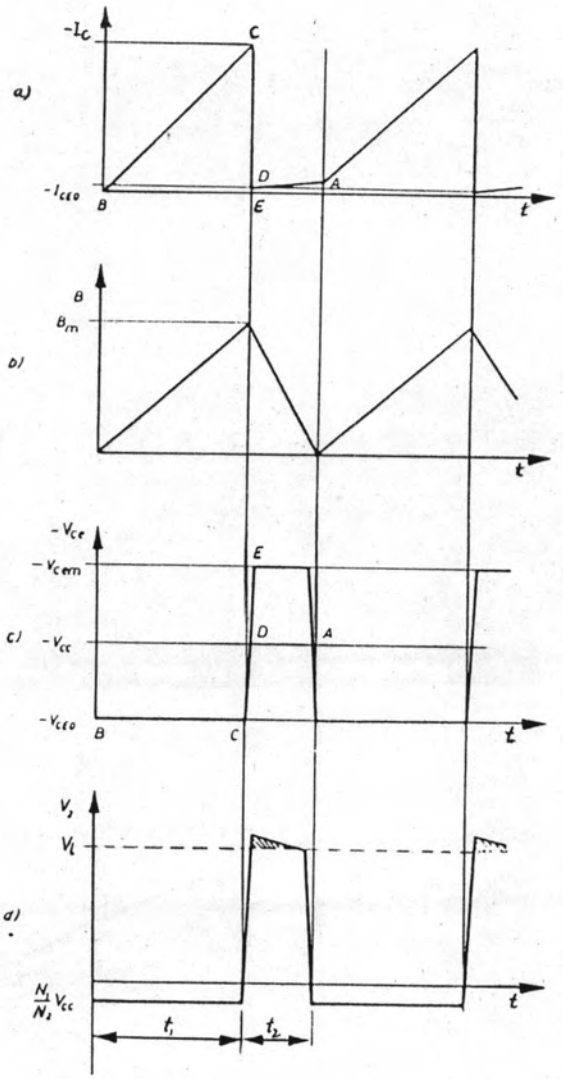


รูปที่ 2.8 วงจรริงกิง-โชค ดี-ซีคอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 2.9 เส้นกราฟแสดงการทำงานของวงจรริงกิง-โชค ดี-ชีคอนเวอร์เตอร์

ในทางปฏิบัติประสิทธิภาพของริงกิง-โชค ดี-ชีคอนเวอร์เตอร์ จะมีค่าประมาณ 0.70 เมื่อ t_1/t มีค่าอยู่ระหว่าง 0.50 และ 0.90 ค่าสัมประสิทธิ์การโอนถ่ายพลังงานระหว่างขดลวดปฐมภูมิ และทุติยภูมิมีค่าใกล้ 1 การเลือกแกนหม้อแปลงไฟฟ้าขึ้นกับลักษณะงาน แกนเหล็กซิลิกอนจะทำงานที่ความถี่ประมาณ 50 - 200 Hz เป็นแกนที่สามารถใช้กับงานที่ต้องการกำลังไฟฟ้าสูงได้ดี ค่าความหนาแน่นสนามแม่เหล็ก (Bm) ประมาณ 10 kG (kilogausses) ในขณะที่แกนเฟอร์ไรต์ทำงานที่ความถี่สูงระหว่าง 1-10 kHz เป็นแกนที่เหมาะสมกับงานที่ให้กำลังไฟฟ้าต่ำ สามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กมีค่า Bm ประมาณ 2.5 kG



รูปที่ 2.10 รูปคลื่นสัญญาณและสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของวงจรริงกิง-โชค ดี-ซี คอนเวอร์เตอร์

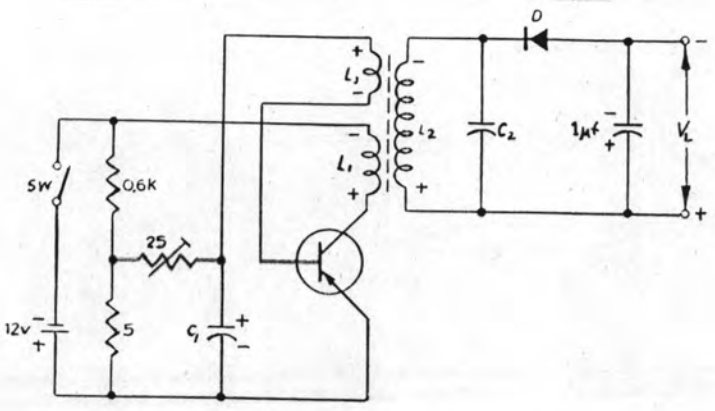
a) กระแสคอลเลคเตอร์

b) ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก

c) ศักดาไฟฟ้าที่ขาคอลเลคเตอร์

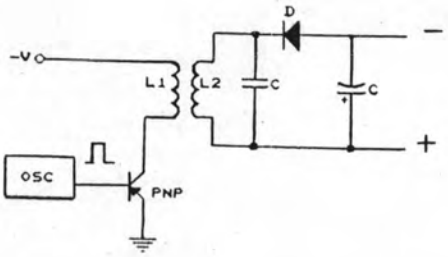
d) ศักดาไฟฟ้าของขดลวดทุติยภูมิ

ข. ทรานสฟอร์เมอร์ไดเรคเคอร์เรนท์คอนเวอร์เตอร์ (transformer direct current converter) รูปแบบของวงจรนี้มีลักษณะคล้ายกับวงจรริงกิง-โชค ดี-ซีคอนเวอร์เตอร์ แต่มีการทำงานที่แตกต่างกันตรงการควบคุมไบอัส จากการป้อนกลับแบบ positive ที่เบสของทรานซิสเตอร์ จึงทำงานที่ความถี่ที่เสถียรกว่า ประสิทธิภาพการแปลงกระแสไฟฟ้าอยู่ระหว่าง 0.60 และ 0.70 ในขณะที่อัตราส่วนของ t_1/t ที่ให้ประสิทธิภาพสูงเท่ากับ 3/2 รูปแบบของวงจรนี้แสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วงจรทรานสฟอร์เมอร์ ดี-ซี คอนเวอร์เตอร์

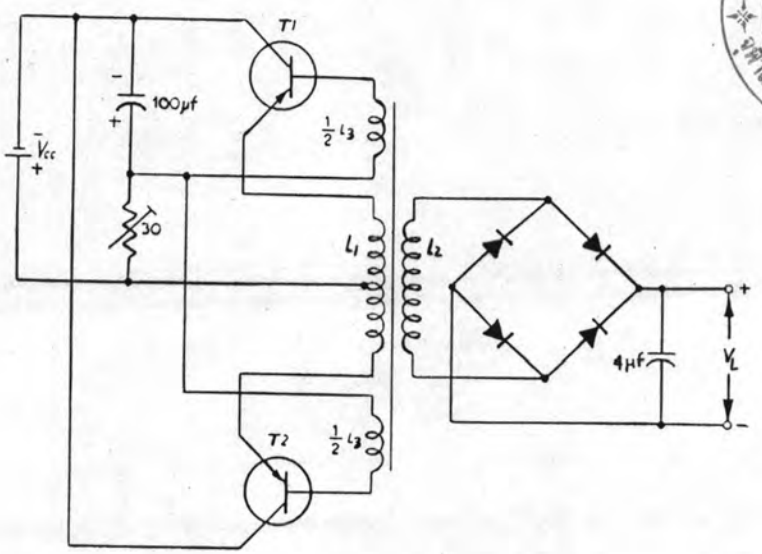
ค. ดริพเวนไทพ์ไดเรคเคอร์เรนท์คอนเวอร์เตอร์ (driven type direct current converter) การทำงานของวงจรอาศัยวงจรกำเนิดความถี่ (oscillator) อิสระขับทรานซิสเตอร์ให้ทำหน้าที่เป็นสวิตช์ ทำให้สามารถออกแบบความถี่และกำหนด t_1/t ได้สะดวกกว่าวงจรที่ทำงานด้วยการกำเนิดความถี่ในตัวเอง



รูปที่ 2.12 วงจรดริพเวนไทพ์ไดเรคเคอร์เรนท์คอนเวอร์เตอร์

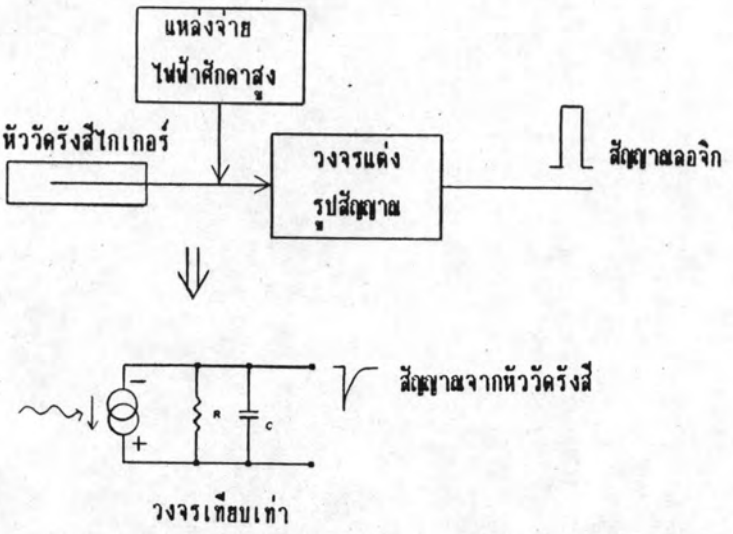
ง. พุช-พูล ไดเรคเคอร์เรนท์คอนเวอร์เตอร์ (push-pull direct current converter) วงจรนี้จะมีลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้าที่แตกต่างไป คือ มีขดลวดปฐมภูมิและขดป้อนสัญญาณกลับ 2 ชุด เพื่อควบคุมทรานซิสเตอร์ของวงจรสวิตช์ 2 วงจร ให้สลับกันทำงาน ทำให้สามารถกำเนิดสัญญาณเลียนแบบไฟฟ้ากระแสสลับได้สมบูรณ์ เป็นผลให้เรียงกระแสแบบเต็มคลื่นได้ ค่าตัวเก็บประจุในการกรองกระแสสามารถใช้ขนาดความจุต่ำลง แต่จะมีข้อจำกัดในด้านขนาดของวงจร ซึ่งไม่เหมาะในการนำมาใช้กับอุปกรณ์วัดรังสีแบบพกพา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.13 วงจรพุช-พูล ดี-ซีคอนเวอร์เตอร์

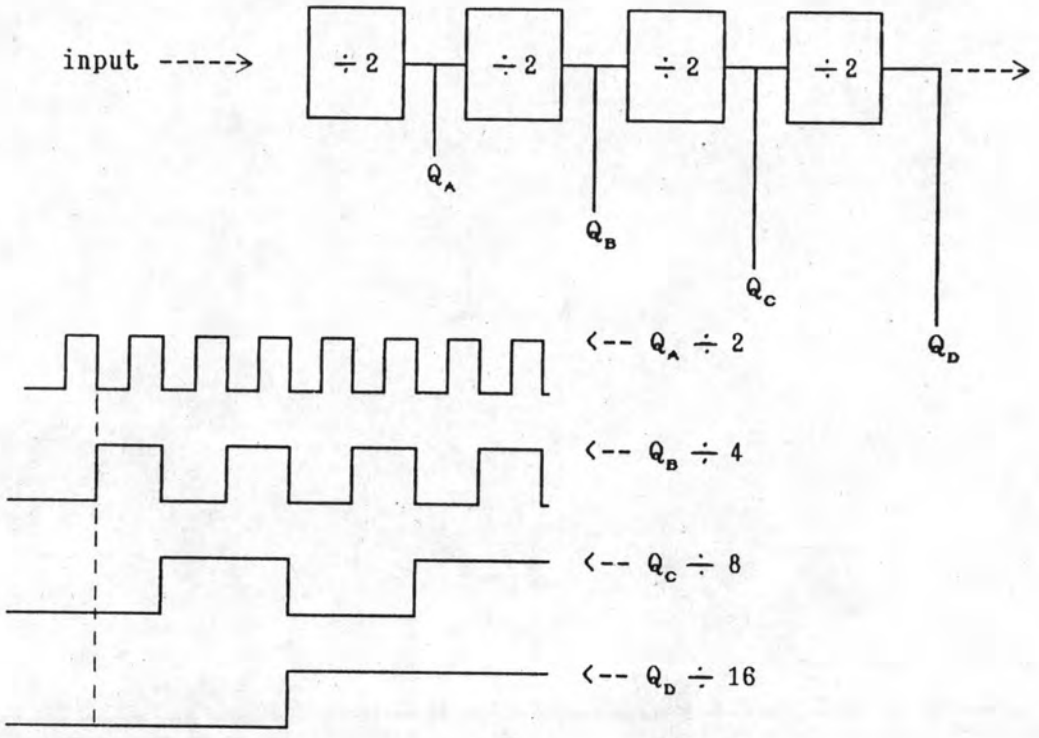
2.3.1.3 วงจรแต่งรูปสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณที่ได้รับจากหัววัดรังสีมีลักษณะเป็นสัญญาณรูปเข็มในช่วงเวลาสั้นและมีขนาดของสัญญาณต่างกันในพัลส์แต่ละลูก ตามภาวะของการกำเนิดสัญญาณ แต่วงจรนับอิเล็กทรอนิกส์ทำงานในระบบเชิงตัวเลข ต้องการสัญญาณลอจิก ดังนั้นเพื่อให้การนับปริมาณรังสีมีประสิทธิภาพ ระบบวัดส่วนหน้าจึงจำเป็นต้องมีวงจรแต่งรูปสัญญาณจากหัววัดรังสีให้เป็นสัญญาณลอจิก ซึ่งมีขนาดความสูงสัญญาณคงที่



รูปที่ 2.14 ระบบวัดส่วนหน้าและรูปสัญญาณพัลส์

2.3.2 วงจรปรับเทียบปริมาณรังสี

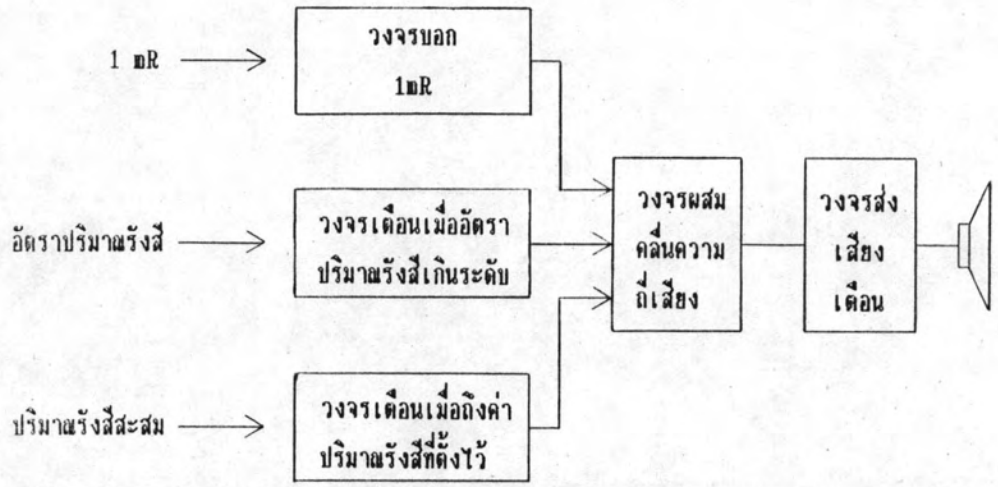
เนื่องจากผลการวัดรังสีจากระบบวัดส่วนหน้านั้นเป็นค่าอัตรานับรังสีที่มีสัดส่วนสัมพันธ์กับปริมาณรังสีที่ได้รับ เพื่อให้สามารถอ่านค่าปริมาณรังสีในหน่วยมาตรฐาน ได้จากเครื่องวัดโดยตรง เครื่องวัดปริมาณรังสีแบบอิเล็กทรอนิกส์ จึงต้องมีระบบปรับเทียบข้อมูลด้วยการหารปริมาณรังสีในระบบเชิงตัวเลข ดังแสดงการทำงานในรูปที่ 2.15 วงจรหารสอง (binary counter) จะถูกนำมาจัดเรียงเป็นตัวหารในระบบเลขฐานสองเป็นลำดับจาก ÷2, ÷4, ÷8, ÷16,.....÷4096 เป็นต้น ทางออกของวงจรหารที่เหมาะสมจะถูกเลือกส่งให้กับวงจรนับเพื่อแสดงผลปริมาณรังสีต่อไป



รูปที่ 2.15 การทำงานของวงจรหารปริมาณนับรังสี

2.3.3 <u>วงจรส่งเสียงเตือนและบอกปริมาณรังสี</u>

นอกจากความสามารถของเครื่องวัดปริมาณรังสีแบบอิเล็กทรอนิกส์ในการบอกค่าปริมาณรังสีสะสม ซึ่งสามารถปรับเทียบให้อ่านค่าได้โดยตรง และการปรับเทียบแต่ละครั้งสามารถใช้งานได้ระยะหนึ่งไม่จำเป็นต้องปรับเทียบทุกครั้งแล้ว เครื่องวัดปริมาณรังสีชนิดนี้ยังมีวงจรทำงานที่ทำหน้าที่ส่งเสียงเตือน เพื่อเตือนผู้ปฏิบัติงานให้ทราบถึงระดับปริมาณรังสีเกินค่าที่ตั้งไว้ อันเป็นประโยชน์ในด้านความปลอดภัย ได้แก่ การส่งสัญญาณเมื่อปริมาณรังสีเกินระดับ การส่งสัญญาณที่รับปริมาณรังสีทุกๆ 1 มิลลิเรินท์เกน และการส่งสัญญาณเตือนเมื่อรังสีสะสมถึงระดับที่ควบคุมไว้ วงจรการทำงานต่างๆ จะส่งสัญญาณเตือนไปผสมสัญญาณเสียงในรูปแบบที่แตกต่างกัน เพื่อให้ผู้ใช้เข้าใจความหมายของเสียงเตือนที่เกิดขึ้นในแต่ละครั้ง ดังแสดงแผนภาพการทำงานในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แผนภาพการทำงานของระบบส่งเสียงเตือนเพื่อบอกสภาวะต่างๆ