บทที่ 4

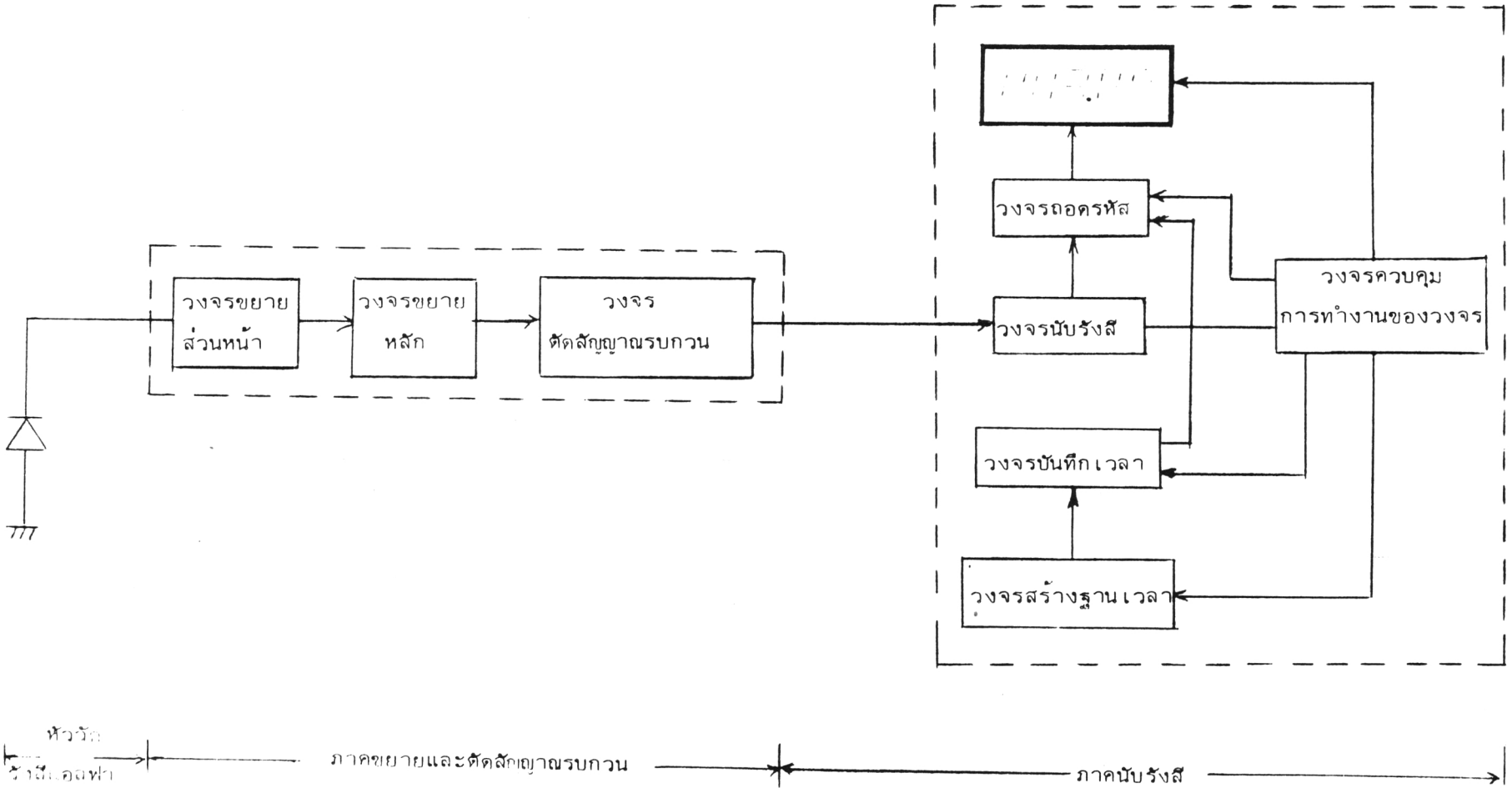
การออกแบบเครื่องวัดกาซเรดอน

เครื่องวัดกาซเรดอน เป็นอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์ ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นให้มีขนาดกระทัดรัด เพื่อใช้ในการตรวจวัดรังสีแอลฟาที่เกิดจากการสลายตัวของกาซเรดอน โดยการฝังเครื่องวัดลงบนผิวดินบริเวณที่มีแหล่งแร่ก้มมันตรังสี ซึ่งมีอนุกรมการสลายตัวให้กาซเรดอน กาซนี้จะฟุ้งกระจายให้รังสีแอลฟาตกกระทบหัววัด พลังงานของรังสีแอลฟาจะถูกดูดกลืนภายในสารกึ่งตัวนำ ทำให้เกิดการแตกตัวเป็นคู่ของอิเลคตรอนและโฮลขึ้น ดังนั้นวงจรที่ต่อเข้ากับหัววัดจะรวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนเป็นพัลส์ของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งถูกขยายและแต่งรูปสัญญาณให้เหมาะสมสำหรับการนับรังสีในระบบเชิงเลข การใช้งานของเครื่องวัดกาซเรดอนจะเป็นการนับจำนวนพัลส์ที่เกิดจากรังสีแอลฟาพร้อมๆ กับบันทึกช่วงเวลาของการนับ

หัววัดรังสีแอลฟาที่ใช้จะเป็นหัววัดรังสีแอลฟาแบบข็อตกี้แบเรียร์ที่สร้างขึ้นดังกล่าวในบทที่ 3 ซึ่งถูกนำมาประกอบเข้ากับวงจรของเครื่องวัดกาซเรดอน โดยมีส่วนประกอบที่สำคัญดังแผนภาพรูป 4.1 คือ

1. ภาคขยายและตัดสัญญาณรบกวน
   - วงจรขยายส่วนหน้า
   - วงจรขยายหลัก
   - วงจรตัดสัญญาณรบกวน
2. ภาคนับรังสี
   - วงจรนับรังสี
   - วงจรบันทึกเวลา
   - วงจรสร้างฐานเวลา
   - วงจรถอดรหัสและแสดงผล
   - วงจรควบคุมการทำงาน

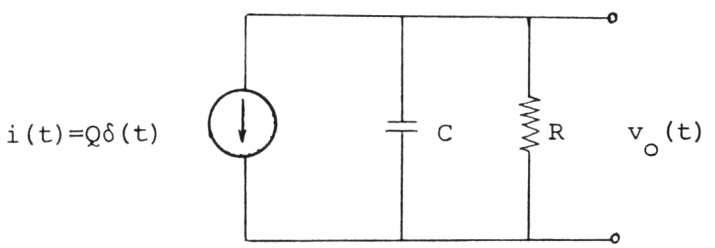
จากรูป 4.1 ประจุไฟฟ้าที่เกิดจากการดูดกลืนพลังงานรังสีที่หัววัดจะผ่านเข้าวงจรขยายส่วนหน้าได้พัลส์ของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะถูกขยายและแต่งรูปสัญญาณโดยวงจรขยายหลัก และถูกแยก



รูป 4.1 แผนภาพการเชื่อมโยงของวงจรภายในเครื่องวัดกาซเรดอน

ออกจากสัญญาณรบกวนด้วยวงจรตัดสัญญาณรบกวน พัลส์ที่ได้จะเป็นพัลส์ทางลอจิกซึ่งส่งเข้าภาคนับรังสีด้วยวงจรนับรังสี ขณะที่ช่วงเวลาของการนับจะถูกบันทึกไว้ด้วยวงจรบันทึกเวลา ส่วนข้อมูลที่ได้จะแสดงด้วยไดโอดเปล่งแสง 7 ส่วน ขนาดเล็ก

เมื่อรังสีแอลฟาตกกระทบหัววัด จะเกิดการดูดกลืนพลังงานของรังสีขึ้นที่บริเวณปลอดพาหะ ทำให้เกิดคู่ของอิเลคตรอนและโฮลขึ้นที่บริเวณดังกล่าว ซึ่งจะเคลื่อนที่ไปยังขั้วแคโธด (Cathode) และขั้วแอโนด (Anode) ตามลำดับ ปรากฏการณ์นี้เป็นการปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุลย์ตามธรรมชาติของสารกึ่งตัวนำ ดังนั้นในแง่ของการกำเนิดสัญญาณ หัววัดรังสีสามารถแทนได้ด้วยวงจรสมมูลย์ ดังรูป 4.2



รูป 4.2 วงจรสมมูลย์ของหัววัดรังสี

คู่อิเลคตรอน-โฮล จะถูกสร้างขึ้นในทันทีที่มีรังสีแอลฟาตกกระทบ วงจรสมมูลย์จึงแทนได้ด้วยแหล่งกำเนิดกระแส (current source) ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างประจุที่เกิดขึ้นกับเดลต้าฟังชั่น หลังจากนั้นคู่อิเลคตรอน-โฮล ดังกล่าวจะค่อยๆคืนสู่สภาวะสมดุลย์อีก ซึ่งแทนได้ด้วยการต่อ R ขนานกับ C เมื่อวิเคราะห์ใน S-domain โดย Laplace transform ของ $Q\,\delta(t)$ เท่ากับ Q จะได้

$$V_o = I(s)\,Z(s) \qquad (4.1)$$

$$= -Q\,\frac{R/SC}{R+\frac{1}{SC}} \qquad (4.2)$$

$$= \frac{-Q}{C}\cdot\frac{1}{S+\frac{1}{RC}} \qquad (4.3)$$

ดังนั้นคำตอบของพัลส์ขาออกของหัววัดรังสีเมื่อมีการดูดกลืนพลังงานรังสีที่ตกกระทบจะเป็น

$$v_o(t) = \frac{-Q}{C} e^{-t/RC} \qquad (4.4)$$

4.1 การออกแบบภาคขยายและศัดสัญญาณรบกวน

4.1.1 วงจรขยายส่วนหน้า

วงจรขยายส่วนหน้าที่เชื่อมโยงหัววัดรังสีเข้ากับวงจรขยายหลัก (รูป 4.3) วงจรขยายส่วนหน้านี้จะต่อเป็นวงจรขยายส่วนหน้าที่ไวต่อประจุ (charge sensitive preamplifier) ซึ่งประจุจะถูกรวบรวมและเปลี่ยนเป็นสัญญาณแรงดัน โดยพิจารณาจาก

$$V_{in} = \frac{Q}{C_i} \qquad (4.5)$$

โดยที่ Q เป็นประจุที่เกิดจากการดูดกลืนพลังงานของรังสี

C_i คือค่าความจุของหัววัดรังสี

$$V_{in} = \frac{Q}{C_i + (A+1)\, C_f} \qquad (4.6)$$

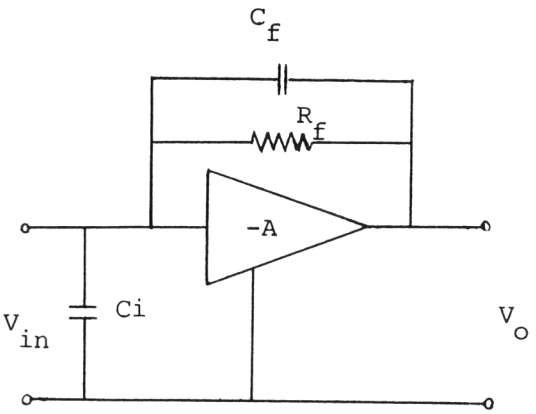
$$V_o = -A\, V_{in} = -A\, \frac{Q}{C_i + (A+1)\, C_f} \qquad (4.7)$$

โดยที่ A เป็นค่า open loop gain ของวงจรขยายที่ใช้ ในกรณีของวงจรรวมค่า A จะมีค่าเป็น 100,000 เท่า (ภาคผนวก ก) ส่วนค่า C_i ซึ่งเป็นค่าความจุของหัววัดมีค่า 1000 pF (บทที่ 3) C_f ก็มีค่าเป็น pF ดังนั้นจึงถือได้ว่าค่า $\frac{C_i}{C_f} + 1$ มีค่าน้อยกว่าค่า A มากๆ นั่นคือ

$$V_o = -\frac{Q}{C_f} \qquad (4.8)$$

นั่นคือแรงดันขาออกของวงจรขยายส่วนหน้าชนิดไวต่อประจุนี้จะเกิดจากการรวบรวมประจุที่ C_f

i 18318743



รูป 4.3 วงจรขยายส่วนหน้าชนิดไวต่อประจุ

การออกแบบวงจรจะกำหนดค่า charge gain = 5 mV/MeV เนื่องจากการทดลองหาคุณสมบัติของหัววัดซึ่งมีค่าความจุ = 1000 pF พบว่าพลังงานจากรังสีแอลฟาที่ผ่านชั้นอากาศจากต้นกำเนิดรังสีจะทำให้เกิดคู่อิเลคตรอน-โฮล ขึ้นประมาณ 6.9 eV ต่อ 1 คู่อิเลคตรอน-โฮล ดังนั้นพลังงานรังสีแอลฟาจากกาซเรดอน 5.49 MeV จะกำเนิดประจุได้

$$Q = \frac{5.49 \times 10^{6}}{6.9} \times 1.6 \times 10^{-19} \quad \text{คูลอมบ์}$$

$$= 1.27 \times 10^{-13} \quad \text{คูลอมบ์}$$

สำหรับกรณีกาซเรดอน 5.49 MeV แรงดันขาออก V_o = (5 mV/MeV) x (5.49 MeV) = 27.45 mV

จากสมการ (4.8) $C_f = \frac{Q}{V_o} = \frac{1.27 \times 10^{-13}}{27.45 \times 10^{-3}} = 4.62$ pF

ดังนั้นเลือกค่า $C_f = 4.7$ pF

ในทางปฏิบัติแล้วค่า R_f จะให้มีค่ามากๆ เพื่อให้มีค่าคงที่เวลานานกว่าของหัววัด แต่อย่างไรก็ตามจะขึ้นกับอัตราการนับโดย

$$v_o = Qn\ R_f \qquad (4.9)$$

โดยที่ n คืออัตราการนับซึ่งต้องการให้นับได้ 10,000 ครั้ง/วินาที

$$R_f = \frac{V_o}{Q\,n}$$

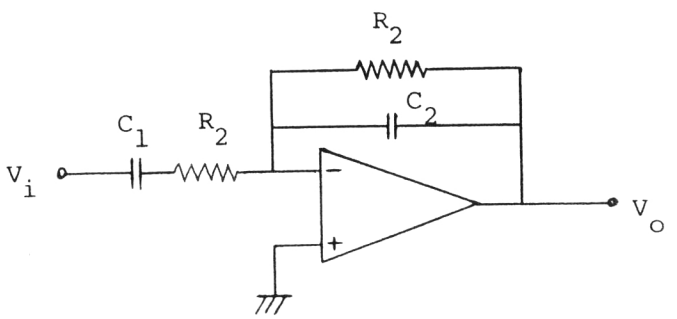
$$= \frac{27.45 \times 10^{-3}}{1.27 \times 10^{-13} \times 10^{4}} = 21.61 \quad M\Omega$$

ดังนั้นเลือกค่า $R_f = 22 \quad M\Omega$

สำหรับตัววงจรขยาย เลือกใช้วงจรรวมออปแอมป์เบอร์ LF 356 ซึ่งออกแบบให้เหมาะสำหรับวงจรอินทิเกรเตอร์ที่ต้องการความเร็วสูง เนื่องจากค่า slew rate ของออปแอมป์เบอร์นี้มีค่า 12 V/μs สัญญาณขาออกของวงจรขยายส่วนหน้าจะมีขนาด 27 mV ซึ่งสามารถใช้เวลาประมาณ 2 ns เท่านั้น นอกจากนั้นค่า open loop gain มีค่าสูงถึง 120000 เท่า ซึ่งถือว่ามากกว่าค่า $\frac{C_i}{C_f} + 1$ มากๆ (C_i = 1000 pF, C_f = 4.7 pF) ส่วนค่ากระแสไบอัสขาเข้ามีค่า 30 pA แรงดันตกคร่อมคร่อม R_f จะมีค่าเพียง 0.066 μV ซึ่งจะไม่ทำให้ออปแอมป์ทำงานในภาวะอิ่มตัว สำหรับการกินกระแสของออปแอมป์เบอร์ 356 ประมาณ 5 mA ซึ่งสามารถใช้กับแหล่งจ่ายไฟที่เป็นแบตเตอรี่ได้

4.1.2 วงจรขยายหลัก

สัญญาณแรงดันที่ได้จากวงจรขยายส่วนหน้าชนิดไวต่อประจุนั้นมีขนาดเล็ก และรูปคลื่นของสัญญาณใกล้เคียงเอ็กซ์โปเน็นเชียล ดังนั้นในการออกแบบจะให้วงจรขยายหลักทำหน้าที่ขยายสัญญาณโดยการตอบสนองสัญญาณพัลส์ ซึ่งจำกัดช่วงความถี่ของสัญญาณรบกวน ทำให้รูปคลื่นของสัญญาณที่ได้จากวงจรขยายหลักมีช่วงเวลาขาขึ้นเพิ่มขึ้นและช่วงเวลาขาลงลดลง การแต่งรูปคลื่นดังกล่าวจะให้ผลดีต่อ signal to noise ดังนั้นวงจรที่ใช้จะเป็นดังรูป 4.4



รูป 4.4 วงจรขยายหลัก

เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ Laplace transform

$$\frac{V_o}{V_i} = -\frac{Z_2}{Z_1} \tag{4.10}$$

$$= \frac{-R_2/SC_2}{(R_2+1/SC_2)(R_1+1/SC_1)} \tag{4.11}$$

$$= \frac{-SC_1R_2}{(SR_2C_2+1)(SR_1C_1+1)} \tag{4.12}$$

$$= \frac{-1}{C_2R_1} \frac{S}{(S+\frac{1}{R_2C_2})(S+\frac{1}{R_1C_1})} \tag{4.13}$$

จะเห็นได้ว่าวงจรในรูป 4.4 มีความถี่คัทออฟที่ $\frac{1}{2\pi R_1C_1}$ และที่ $\frac{1}{2\pi R_2C_2}$ โดยกำหนดความถี่คัทออฟต่ำที่ $\frac{1}{2\pi R_1C_1}$ และความถี่คัทออฟสูงที่ $\frac{1}{2\pi R_2C_2}$ ดังนั้นสัญญาณรบกวนที่มีความถี่ต่ำกว่า $\frac{1}{2\pi R_1C_1}$ หรือสูงกว่า $\frac{1}{2\pi R_2C_2}$ จะไม่ถูกขยาย

สัญญาณรบกวนที่ต้องการให้ถูกแยกออกจากสัญญาณพัลส์ที่เกิดจากรังสีแอลฟานั้น ส่วนใหญ่เกิดจากสัญญาณความถี่ต่ำซึ่งจากความถี่ 50 Hz หรือความถี่ 2 เท่า เกิดจากการรบกวนทางสนามแม่เหล็ก และสัญญาณความถี่สูงซึ่งเกิดขึ้นในวงจร ดังนั้นให้ความถี่คัทออฟต่ำ มีค่าเป็น 10 เท่าของความถี่ของแสง 100 Hz

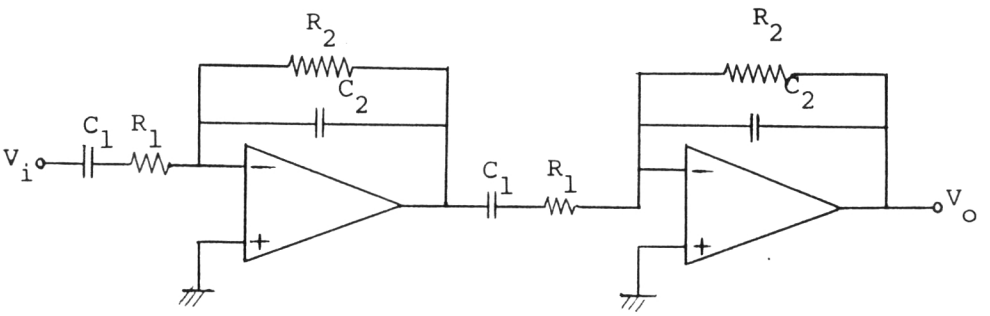
$$R_1C_1 = \frac{1}{2\pi \times 10 \times 100} = 1.6 \times 10^{-4} \quad \text{sec}$$

สำหรับความถี่คัทออฟสูงกำหนดจากอัตราการนับสูงสุดในวงจรขยายส่วนหน้า ซึ่งมีค่าเป็น 10,000 ครั้ง/วินาที

$$R_2C_2 = \frac{1}{2\pi \times 10{,}000} = 1.6 \times 10^{-5} \quad \text{sec}$$

วงจรขยายในรูป 4.4 จะกันสัญญาณไฟตรงและสัญญาณที่เกิดจากแสง นอกจากนี้ยังกันสัญญาณรบกวนที่มีความถี่สูงกว่า 10 kHz อย่างไรก็ตามสัญญาณรบกวนขนาดเล็กที่มีลักษณะเป็นพัลส์เหมือนกับสัญญาณจากรังสีแอลฟาจะถูกกำจัดโดยวงจรดิสคริมิเนเตอร์ จากสมการ (4.12)

ที่ความถี่กลาง คือ ช่วงความถี่ที่อยู่ระหว่าง $\frac{1}{2\pi R_1 C_1}$ ถึง $\frac{1}{2\pi R_2 C_2}$ นั้น อัตราขยายจะเท่ากับ $\frac{-R_2}{R_1}$ ในที่นี้เพื่อให้ผลตอบสนองทางความถี่ใกล้เคียงอุดมคติยิ่งขึ้น จึงใช้วงจรขยายหลักในรูป 4.4 ต่อเนื่องกัน 2 ภาคดังรูป 4.5



รูป 4.5 วงจรขยายหลักต่อเนื่อง 2 ภาค

ต้องการให้แรงดันขาออกของวงจรรูป 4.5 มีค่าประมาณ 2.7 โวลต์ โดยแรงดันขาเข้าซึ่งได้จากวงจรขยายส่วนหน้าชนิดไวต่อประจุมีค่าประมาณ 27 mV. ดังนั้นอัตราขยายแรงดันที่ต้องการในวงจรรูป 4.5 จะเท่ากับ 100 นั่นคือวงจรแต่ละภาคมีอัตราขยายแรงดัน = 10

$$\frac{R_2}{R_1} = 10$$

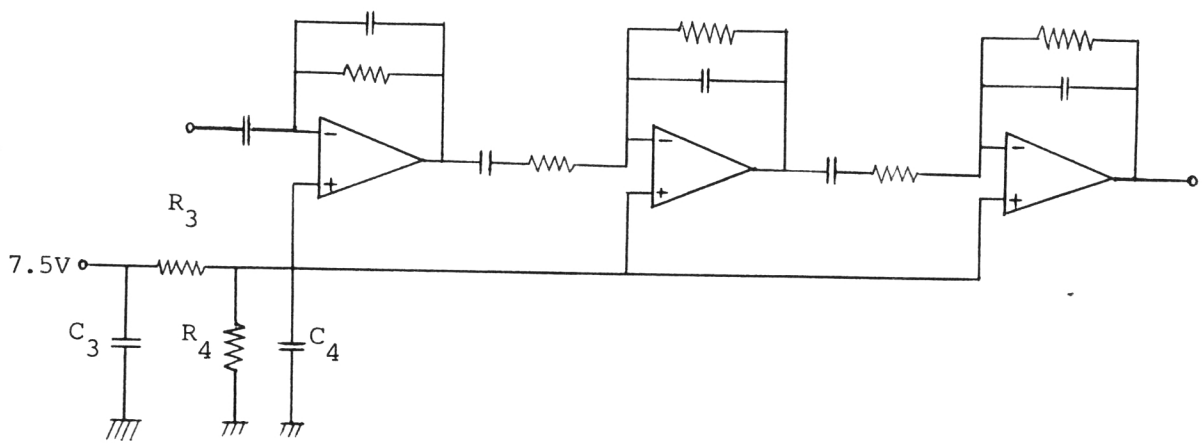
เลือกค่า $R_1 = 10\ k\Omega$ $R_2 = 100\ k\Omega$

$$C_1 = \frac{1.6 \times 10^{-4}}{10\ k\Omega} = 0.016\ \mu F$$ เลือกค่า $C_1 = 0.01\ \mu F$

$$C_2 = \frac{1.6 \times 10^{-5}}{100\ k\Omega} = 160\ pF$$ เลือกค่า $C_2 = 100\ pF$

วงจรขยายหลักในรูป 4.5 นั้นจะเลือกใช้วงจรรวมออปแอมป์เบอร์ LF 356 เช่นเดียวกับในวงจรขยายส่วนหน้า ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการสำรองอุปกรณ์ สำหรับลักษณะสมบัติของออปแอมป์เบอร์นี้ กระแสไบอัสขาเข้าต่ำมากประมาณ 30 pA แรงดันและกระแสออฟเซ็ทขาเข้ามีค่าเพียง 1 mV และ 3 pA ตามลำดับ นอกจากนั้นผลตอบสนองทางความถี่แบบ open loop (ภาคผนวก ก) ความถี่ที่อัตราขยายแรงดัน 10 เท่า จะเป็น 500 kHz ซึ่งถือว่าเป็นความถี่ที่อยู่ไกลออกจากความถี่คัทออฟสูงไปมากๆ ดังนั้นออปแอมป์เบอร์นี้มีคุณสมบัติใกล้เคียงออปแอมป์อุดมคติ

การไบอัสวงจรขยายส่วนหน้าและวงจรขยายหลักนั้นจะไบอัสที่ขานอนอินเวอร์ติ้งของออปแอมป์ทั้ง 3 ให้มีค่าแรงดัน 2.5 โวลต์ ส่วนแหล่งจ่ายไฟที่ใช้กับออปแอมป์จะมีค่า 7.5 โวลต์ Single supply ดังนั้นจุดทำงานของวงจรขยายจะถูกเลื่อนไปที่ระดับ 2.5 โวลต์ ทำให้ช่วงการแกว่งของสัญญาณขาออกอยู่ระหว่าง 0 ถึง 7.5 โวลต์ รูป 4.6 เป็นวงจรไบอัสที่ขานอนอินเวอร์ติ้งของออปแอมป์



รูป 4.6 วงจรไบอัส

โดยต้องการไบอัสที่ขานอนอินเวอร์ติ้งให้มีค่า 2.5 โวลต์

$$V_{R4} = 2.5 \text{ โวลต์}$$

ให้ $I_{R_3} + I_{R_4} = 100 \ \mu A$

$$R_3 + R_4 = \frac{7.5}{100 \times 10^{-6}} = 75 \ k\Omega$$

$$R_4 = \frac{V_{R_4}}{7.5} \times (R_3 + R_4) = \frac{2.5}{7.5} \times 7.5 = 25 \ k\Omega$$

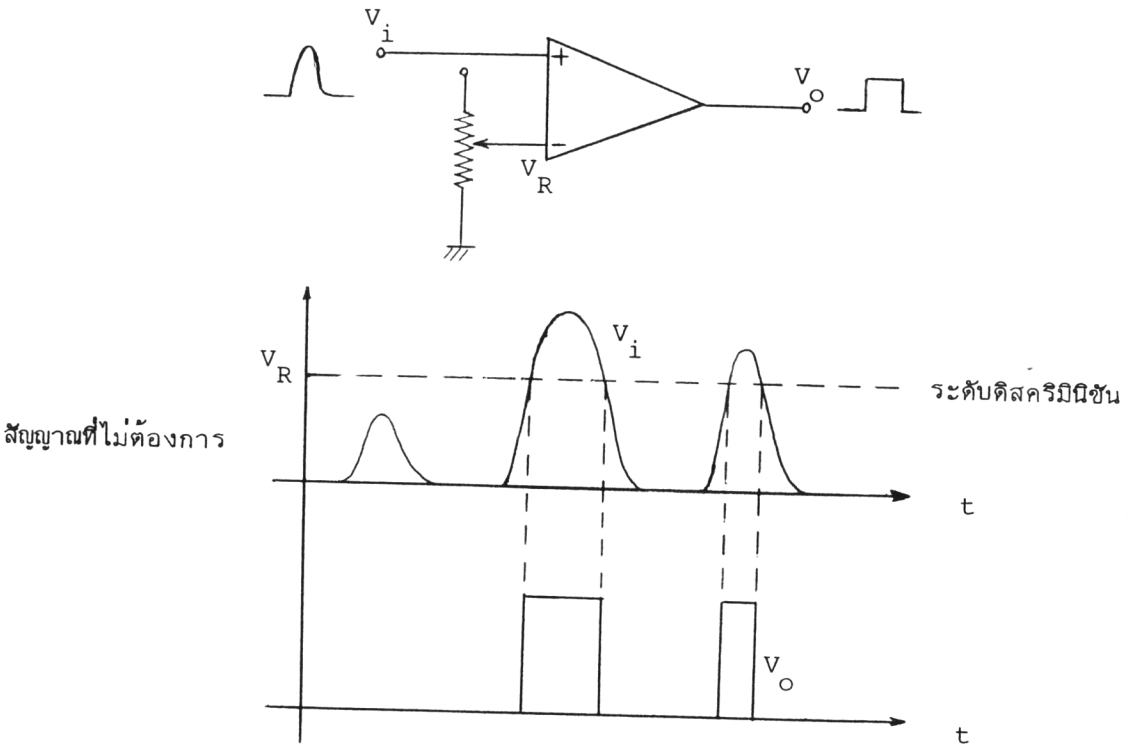
$$R_3 = 75 - 25 = 50 \ k\Omega$$

เลือกค่า $C_3 = 100 \ \mu F$

$C_4 = 47 \ \mu F$

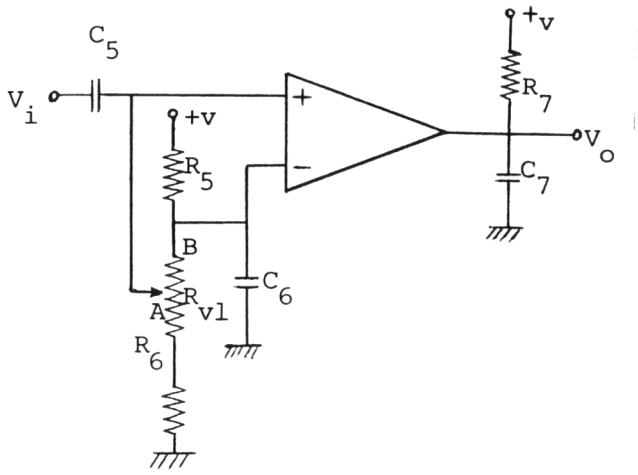
4.1.3 วงจรตัดสัญญาณรบกวน

วงจรนี้จะคอยตัดสัญญาณรบกวนที่มีความถี่ปานกลาง ซึ่งวงจรขยายหลักไม่สามารถแยกออกมาได้ และจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณเชิงเส้นให้เป็นสัญญาณลอจิก เพื่อให้เหมาะสมกับการทำงานในภาคนับรังสี รูป 4.7 เป็นการทำงานของวงจรตัดสัญญาณรบกวน



รูป 4.7 การทำงานของวงจรตัดสัญญาณรบกวน[10]

เมื่อสัญญาณ V_i มีขนาดมากกว่าแรงดันอ้างอิงที่ตั้งไว้ (V_R) ขาออกของวงจรจะให้พัลส์ลอจิก ส่วนสัญญาณที่ต้องการตัดทิ้งก็จะไม่สามารถผ่านวงจรนี้ไปได้ สำหรับวงจรที่ใช้ในเครื่องวัดกาซเรดอนเป็นวงจรรวมซึ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดัน (Voltage comparator) ดังรูป 4.8



รูป 4.8 วงจรตัดสัญญาณรบกวน

วงจรรูป 4.8 จะตั้งระดับดิสคริมิเนชั่นด้วยแรงดันที่ตกคร่อม $R_{V1} + R_6$ แรงดันขาเข้าจะถูกไบอัสให้อยู่ในระดับแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างจุด A กับกราวน์ด ดังนั้นระดับดิสคริมิเนชั่นจะมากกว่าระดับไฟตรงของสัญญาณอยู่เป็นค่าแรงดันระหว่างจุด A และ B ซึ่งให้มีค่าสูงสุด 2 โวลต์ และให้ $V_{R_5} = V_{R_6} = 2.75$ โวลต์ เมื่อเลือก $R_{V1} = 50$ kΩ

$$R_5 = R_6 = \frac{R_{V1} \cdot V_{R_6}}{V_{R_{v1}}}$$

$$= 50 \times \frac{2.75}{2} = 68.75 \text{ kΩ}$$

ใช้ค่า $R_5, R_6 = 68$ kΩ

สำหรับวงจรรวมที่ใช้ในรูป 4.8 เป็นวงจรเปรียบเทียบแรงดันเบอร์ LM 311 ซึ่งวงจรขาออกเป็นแบบ Open callector ดังนั้นใช้ความต้านทานภายนอก $R_7 = 10$ kΩ ส่วน C_5 ทำหน้าที่กั้นไฟตรง ใช้ค่า 0.01 μF และ C_6 จะบายพาสสัญญาณไฟสลับ ใช้ค่า 0.01 μF

4.2 การออกแบบภาคนับรังสี

การนับรังสีเป็นกระบวนการขั้นสุดท้ายของระบบเครื่องวัดกาซเรดอน สัญญาณที่ได้จากหัววัดรังสีแอลฟาจะผ่านวงจรขยายและถูกแต่งสัญญาณให้เป็นพัลส์ลอจิก พัลส์ลอจิกที่ได้จะถูกส่งไปยังภาคนับรังสี โดยปกติแล้วการนับรังสีจะต้องเกี่ยวข้องกับเวลาที่ใช้ในการนับรังสี ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากการนับจะประกอบด้วยจำนวนนับและช่วงเวลา ภาคนับรังสีจะประกอบด้วย วงจรนับ วงจรบันทึกเวลา วงจรสร้างฐานเวลา วงจรถอดรหัสและแสดงผล และวงจรควบคุมการทำงาน การออกแบบภาคนับรังสีจะเลือกใช้วงจรรวมตระกูลซีมอสทั้งหมด

4.2.1 วงจรนับรังสี

การออกแบบเครื่องวัดกาซเรดอนจะต้องให้มีขนาดกระทัดรัดที่สุด และข้อมูลของจำนวนนับต้องเพียงพอสำหรับการตรวจวัดบริเวณที่มีความเข้มข้นของปริมาณรังสี ในที่นี้จะออกแบบให้วงจรนับสามารถนับจำนวนพัลส์ได้ถึง 99999 ลูก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้วงจรรวมชนิด LSI ที่สามารถนับจำนวนเลขฐานสิบได้ 5 หลัก วงจรรวม LSI นี้ได้แก่ MC 14534 (ภาคผนวก ก) ซึ่งสามารถนับพัลส์ที่มีความถี่สูง 1 MHz ถึง 5 MHz ภายในวงจรรวมประกอบด้วยวงจรนับสิบอยู่ 5 ชุด และวงจรมัลติเพล็กซ์ข้อมูล BCD ออกที่แต่ละหลักโดยถูกควบคุมด้วยเกทสามสเตท สัญญาณของพัลส์ที่จะนับให้เป็น clock A เข้าที่ขา 4 การควบคุมการใช้งานจะเลือกใช้ให้ Mode A และ B ที่ขา 5 และ 6 เป็นศูนย์ ความถี่ที่ใช้สแกนจะใช้ความถี่ 910 Hz ซึ่งได้จากวงจรกำเนิดฐานเวลา โดยให้ scaner reset ที่ขา 9 เป็นศูนย์ สำหรับการส่งผ่านข้อมูลที่นับได้ไปยังวงจรถอดรหัสและแสดงผลทำได้โดยควบคุมให้ขา 15 และขา 21 เป็นศูนย์ เมื่อเกิดกรณีนับพัลส์ถึงลูกที่ 100000 จะมีการทดโดยเกิดสัญญาณพัลส์ขึ้นที่ขา 13 การเริ่มต้นนับของวงจรรวมนี้จะทำได้โดยควบคุมให้ Master reset ที่ขา 2 เป็นศูนย์

4.2.2 วงจรบันทึกเวลา

วงจรบันทึกเวลาจะถูกออกแบบให้เริ่มต้นบันทึกเวลาพร้อมๆ กับวงจรนับ และแสดงข้อมูลทางเวลาด้วย วงจรนี้เป็นวงจรนับเช่นเดียวกับวงจรนับรังสี แต่แทนที่จำนวนพัลส์ที่นับเป็นสัญญาณพัลส์ที่เกิดจากรังสีแอลฟา แต่จะเป็นจำนวนพัลส์ที่เป็นสัญญาณความถี่ที่ใช้เป็นฐานเวลา ดังนั้นวงจรบันทึกเวลาจะบันทึกได้ 1 หน่วยเวลาก็ต่อเมื่อนับจำนวนพัลส์ได้ 1 ลูก ในที่นี้ต้องการให้เครื่องวัดสามารถนับได้สูงสุด 999.99 ชั่วโมง วงจรที่ใช้จึงเหมือนวงจรนับรังสีทุกประการ คือใช้วงจรรวม MC 14534 วงจรบันทึกเวลาจะบันทึกได้ 000.01 ชั่วโมง เมื่อมีพัลส์ clock A เข้าที่ขา 4

1 ลูก ในช่วงเวลา 36 วินาที

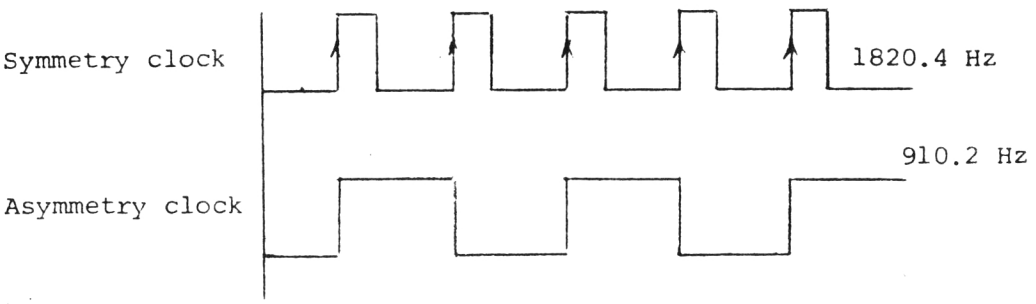
ดังนั้นความถี่ของสัญญาณที่เข้าที่ขา 4 นั้นจะหาได้จาก

$$f = \frac{1}{36 \text{ วินาที}} = 0.027 \text{ Hz}$$

4.2.3 วงจรสร้างฐานเวลา

วงจรสร้างฐานเวลาประกอบด้วย วงจรกำเนิดสัญญาณความถี่ และวงจรหารความถี่ เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการนำไปใช้ในส่วนอื่นของวงจร ได้แก่ สัญญาณความถี่ที่ใช้เป็น Scan clock ที่ขา 10 ของ MC 14534 สัญญาณความถี่ที่ใช้ควบคุมช่วงเวลาในการสลับแสดงข้อมูลจำนวนนับกับเวลาและสัญญาณความถี่ 0.027 Hz

การออกแบบจะใช้วงจร RC oscillator กำเนิดสัญญาณความถี่ 1820.4 Hz ผ่านวงจรหาร 2 เพื่อทำให้สัญญาณเป็น Symmetry clock[7] ความถี่ 910.2 Hz สำหรับสแกน (รูป 4.9) เนื่องจากต้องการให้ช่วงเวลาแสดงผลจำนวนนับกับเวลาเท่ากัน สัญญาณความถี่ 910.2 Hz จะผ่านวงจรหารเพื่อให้ได้ความถี่ 0.2 Hz สำหรับควบคุมการสลับแสดงข้อมูล และความถี่ 0.027 Hz จึงใช้เป็นฐานเวลา



รูป 4.9 สัญญาณพัลส์สมมาตรที่ได้จากการหารความถี่ด้วย 2

วงจร RC oscillator ใช้วงจรรวม MC 14528 ซึ่งเป็น CMOS Dual Multivibrator (ภาคผนวก ก) โดยความถี่ที่ได้จากการต่อค่า R และ C ภายนอก ในกรณีที่เป็น Asymmetry clock $f = 1/(t_1 + t_2)$ แต่ t_1 เป็นค่า Propagation time delay ซึ่งมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ t_2 ดังนั้น

$$t_2 = 0.2\ R_x C_x \ln (V_{DD} - V_{SS})$$

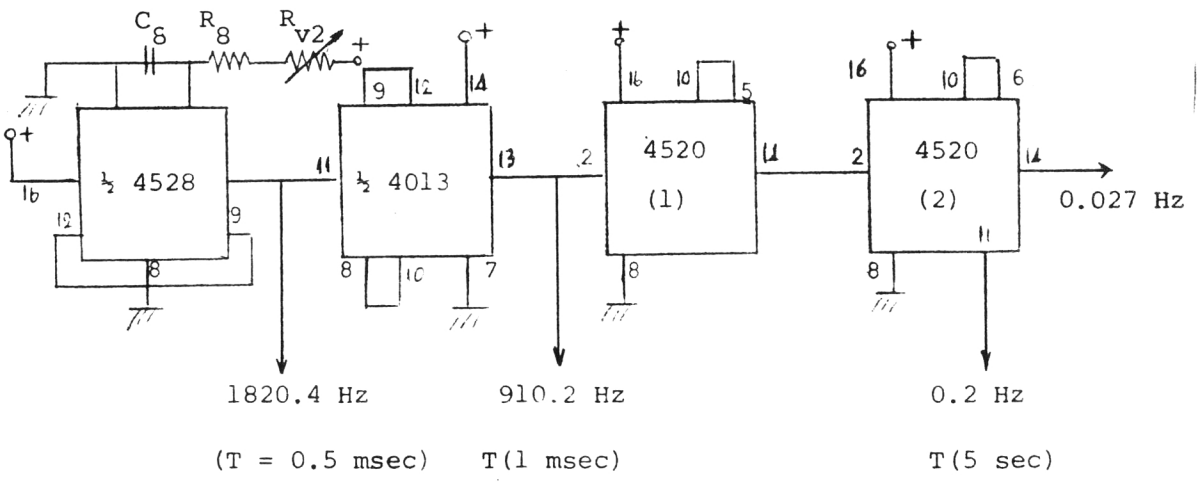
$$\frac{1}{1820.4} = 0.2\ R_x C_x \ln (7.5)$$

เลือกค่า C_x = 0.01 μF

R_x = 137.33 kΩ

ใช้ R_x เป็น 100 kΩ อนุกรมกับความต้านทานเปลี่ยนค่าได้ 50 kΩ

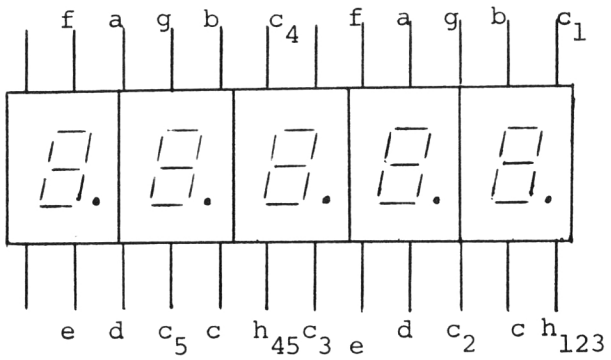
สัญญาณความถี่ 1820.4 Hz ผ่านฟลิปฟลอปหาร 2 ได้ความถี่ 910.2 Hz ใช้เป็น Scan clock ที่ขา 10 ของ MC 14534 ส่วนสัญญาณความถี่ 0.2 Hz ได้จากการหารความถี่ 910.2 Hz ด้วย 2^{12} และสัญญาณความถี่ 0.027 Hz ได้จากการหารความถี่ 910.2 Hz ด้วย 2^{15} ดังนั้นวงจรหารความถี่เลือกใช้วงจรรวม MC 14520 Dual Binary Up Counter (ภาคผนวก ก) เป็นวงจรหาร 2, 4, 8, 16 2 ชุด สัญญาณความถี่ 0.027 Hz ซึ่งเป็นฐานเวลาจะเข้าวงจรบันทึกเวลาที่ขา 4 ของ MC 14534



รูป 4.10 แผนภาพแสดงวงจรสร้างฐานเวลา

4.2.4 <u>วงจรถอดรหัสและแสดงผล</u>

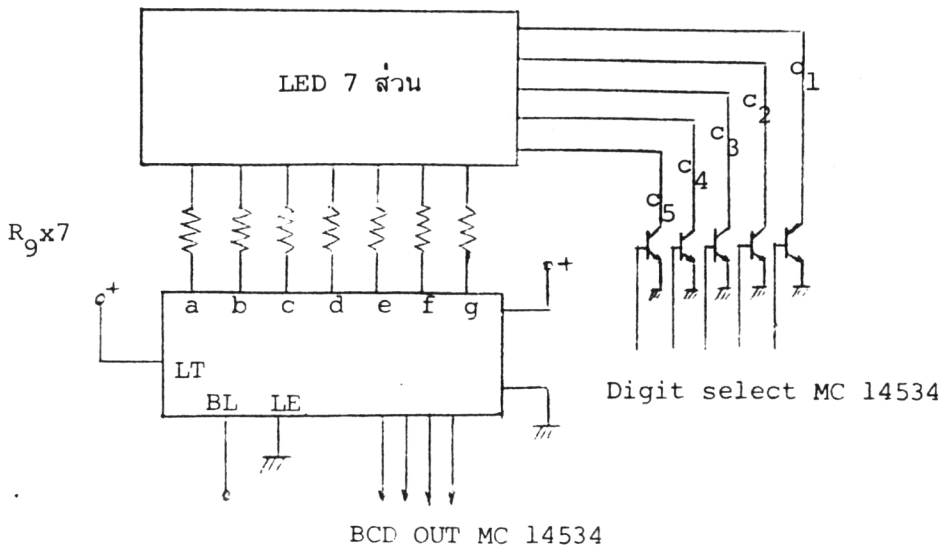
ข้อมูลที่ได้จากวงจรนับรังสีและวงจรบันทึกเวลาจะเป็นรหัส BCD แต่เนื่องจากการอ่านข้อมูลที่สะดวกที่สุดจะเป็นเลขนับสิบ (Decimal) ซึ่งได้จากภาคแสดงผลตัวเลข 7 ส่วนของไดโอดเปล่งแสง (LED) ดังนั้นจึงต้องมีวงจรถอดรหัส BCD เป็นรหัสตัวเลข 7 ส่วน โดยใช้วงจร MC 14511 CMOS BCD to 7 segment Latch/Decoder/Driver (ภาคผนวก ก)) ส่วนการแสดงผลใช้ LED 7 ส่วน ขนาดเล็ก 5 หลัก ซึ่งขาภายนอกแสดงในรูป 4.11



รูป 4.11 แผนภาพแสดงขาภายนอกของ LED 7 ส่วน ขนาดเล็ก

LED 7 ส่วนในรูป 4.11 เป็นชนิดแคโธดร่วม (Common cathode) ขา C_1, C_2, C_3 C_4, C_5 เป็นขา common ของหลักที่ 1, 2, 3, 4, 5 ตามลำดับ ขา h_{123} เป็นขาของจุดทศนิยมหลักหน่วย, สิบ ร้อย และ h_{45} เป็นขาจุดทศนิยมหลักพัน, หมื่น การแสดงผลของข้อมูลที่ถอดรหัสจาก BCD เป็นรหัสตัวเลข 7 ส่วน ในแต่ละหลักจะใช้วิธีสแกนด้วยความถี่ 910.2 Hz ที่ขา Digit select 7, 8, 14, 16, 11 ของ MC 14534 ตามรูป 4.12

เนื่องจาก LED 7 ส่วน เป็นชนิดแคโธดร่วม และการสแกนเลือกหลักจะสแกนด้วยค่าลอจิก "1" จึงต้องใช้ทรานซิสเตอร์ต่อเป็นวงจรอินเวอร์เตอร์ โดยควบคุมให้ทรานซิสเตอร์เปิดหรือปิดด้วยสัญญาณความถี่ที่สแกนที่ขาเลือกหลัก (Digit select) ของ MC 14534 การอ่านข้อมูล (LED ทั้ง 5 หลัก สว่าง) ทำได้โดยการควบคุมให้ขา BL เป็น "1" ส่วนค่า R_9 เลือกใช้ 100 Ω



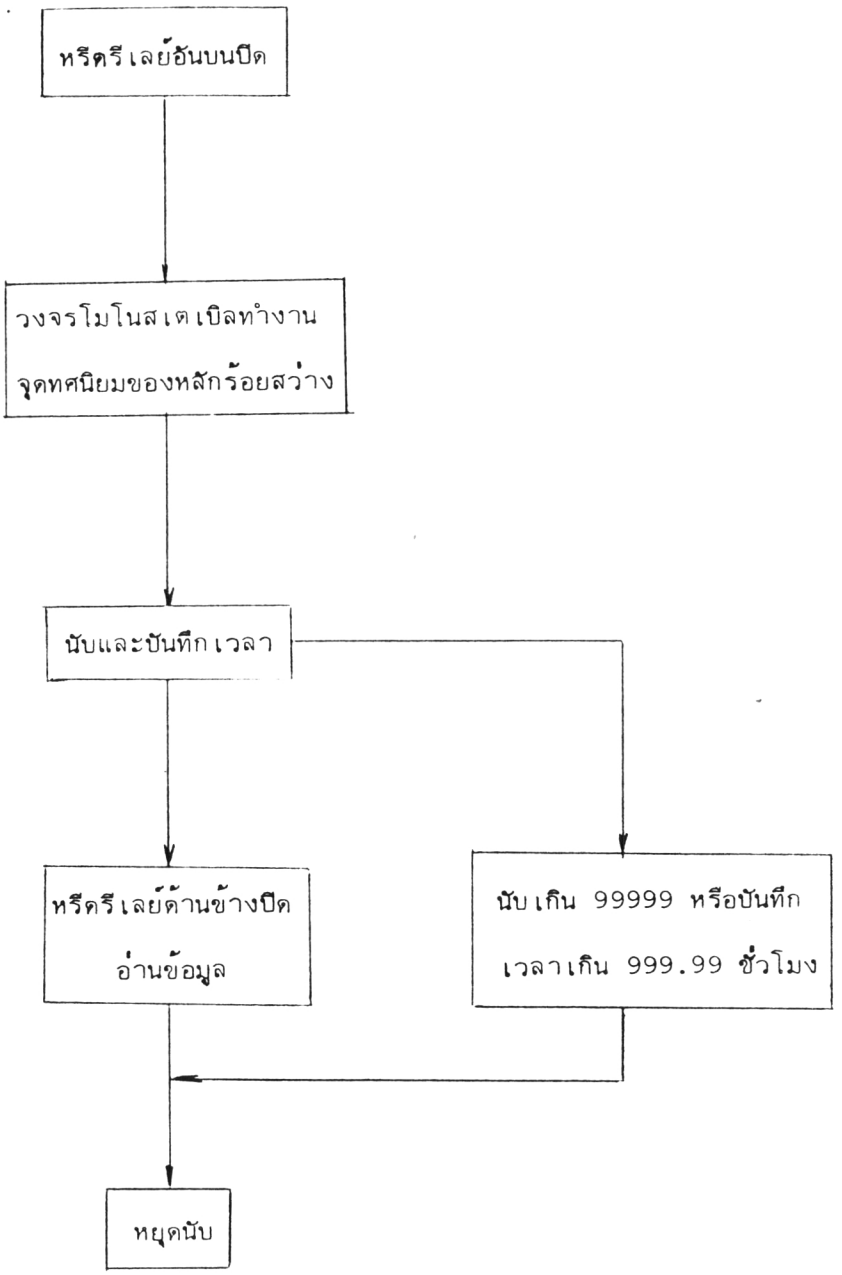
รูป 4.12 วงจรถอดรหัสและแสดงผล

4.2.5 วงจรควบคุมการทำงาน

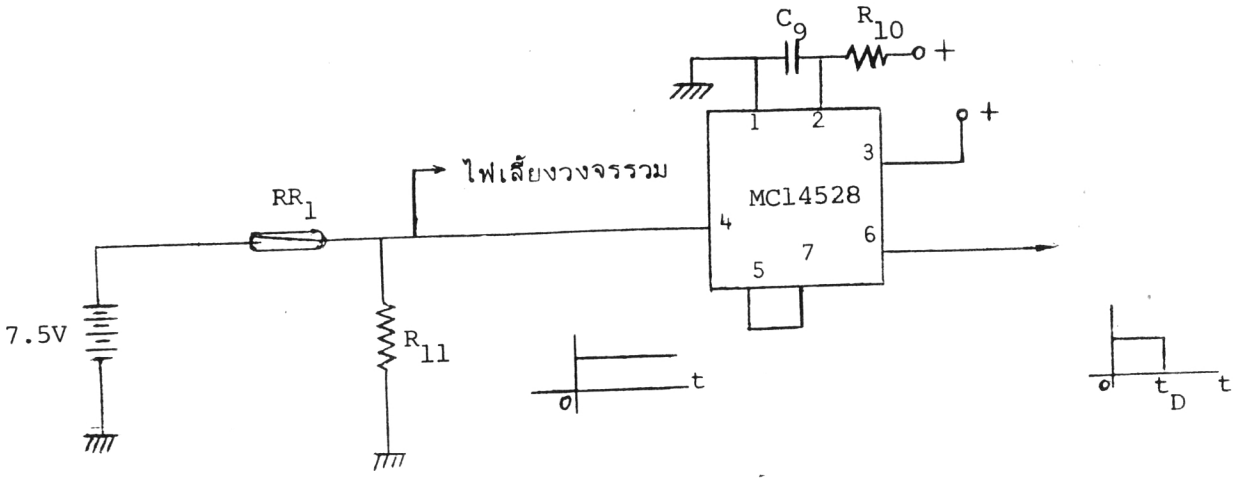
วงจรควบคุมการทำงานถูกออกแบบขึ้นเพื่อให้ทำงานได้ตามความต้องการและสะดวกยิ่งขึ้น รูป 4.13 เป็นแผนผังแสดงการควบคุมการทำงาน เมื่อสวิทช์หรีดรีเลย์ที่ต่อกับแบตเตอรี่ปิดวงจรทั้งหมดจะต่อเข้ากับแบตเตรี่ โดยวงจรโมโนสเตเบิลทำงานทำให้จุดทศนิยมของหลักร้อยสว่าง เป็นการแสดงถึงวงจรเริ่มทำงาน และทำการนับรังสีและบันทึกเวลา เมื่อต้องการอ่านข้อมูลโดยใช้แม่เหล็กถาวรดูดให้สวิทช์หรีดรีเลย์อ่านข้อมูลปิด วงจรจะหยุดและหยุดบันทึกเวลา หรือถ้ายังไม่มีการอ่านข้อมูลแต่มีการนับรังสีเกิน 99999 หรือบันทึกเวลาเกิน 999.99 ชั่วโมง วงจรก็จะหยุดทำงานเช่นเดียวกัน วงจรที่ควบคุมขั้นตอนดังกล่าวประกอบด้วยวงจรควบคุมการเริ่มต้นทำงานของวงจร วงจรควบคุมการหยุดนับและหยุดบันทึกเวลา วงจรควบคุมการแสดงผลของ LED 7 ส่วน

วงจรควบคุมการเริ่มต้นทำงานของวงจร

วงจรนี้จะเป็นการควบคุมการจ่ายไฟเลี้ยงจากแบตเตอรี่ให้แก่ระบบของวงจรภายในเครื่องวัดกาซเรดอน และทำหน้าที่เคลียร์ข้อมูลเดิมของวงจรนับ วงจรบันทึกเวลา วงจรหารความถี่ และฟลิปฟลอป โดยวงจรดังกล่าวจะถูกรีเซทด้วยสัญญาณ one shot จากวงจรโมโนสเตเบิล



รูป 4.13 แผนภาพแสดงการควบคุมระบบการทำงาน



รูป 4.14 วงจรควบคุมการเริ่มต้นทำงานของวงจร

เมื่อสวิทช์หรีดรีเลย์ RR_1 ปิด วงจรรวมทุกวงจรจะต่อเข้ากับแบตเตอรี่ ขณะเดียวกันวงจรรวม MC 14528 จะทำหน้าที่เป็นวงจรโมโนสเตเบิลสร้างพัลส์ขึ้น 1 ลูก โดยเลือกค่า R_{10} = 1 MΩ C_9 = 47 µF

$$t_D = 0.2\ R_{10}\ C_9\ \ln\ (V_{DD} - V_{SS})$$

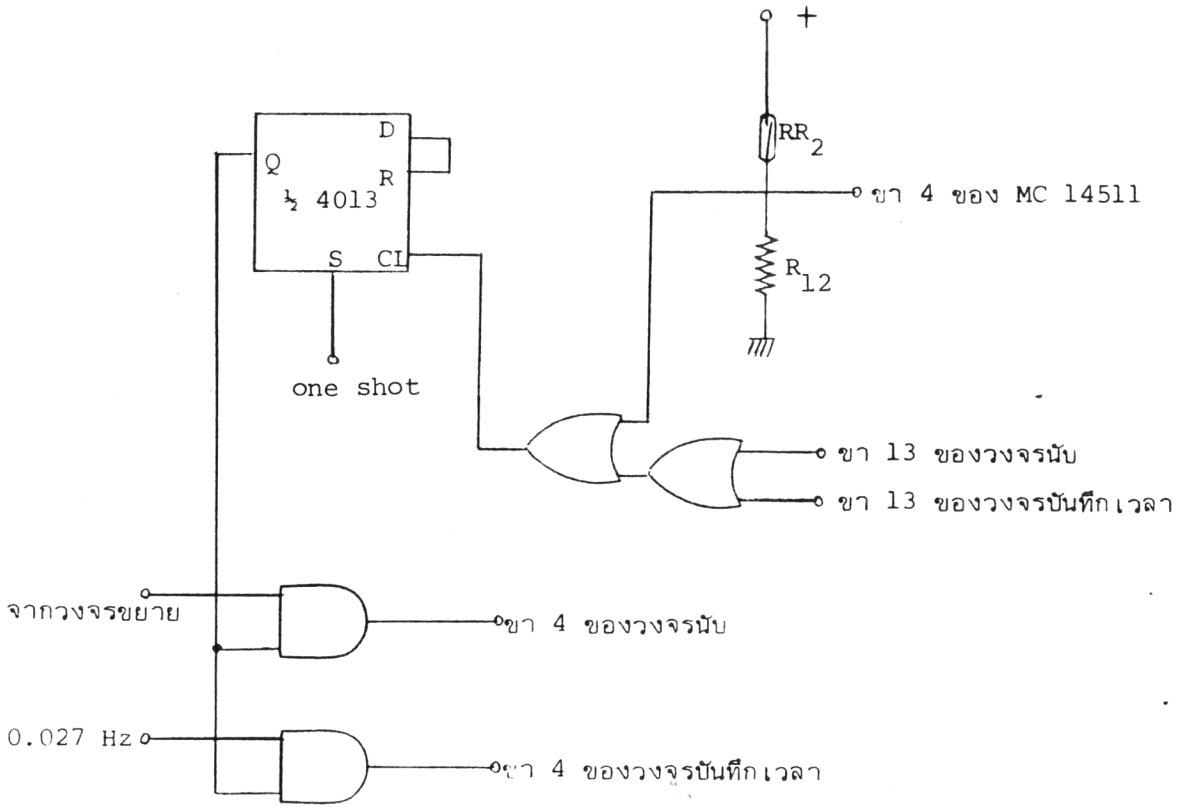
$$= 0.2 \times 10^{6} \times 47 \times 10^{-6} \ln 7.5 = 1.88 \text{ วินาที}$$

จากรูป 4.14 วงจรจะเริ่มทำงานหลังจากเวลาผ่านไป t_D

<u>วงจรควบคุมการหยุดนับและหยุดบันทึกเวลา</u>

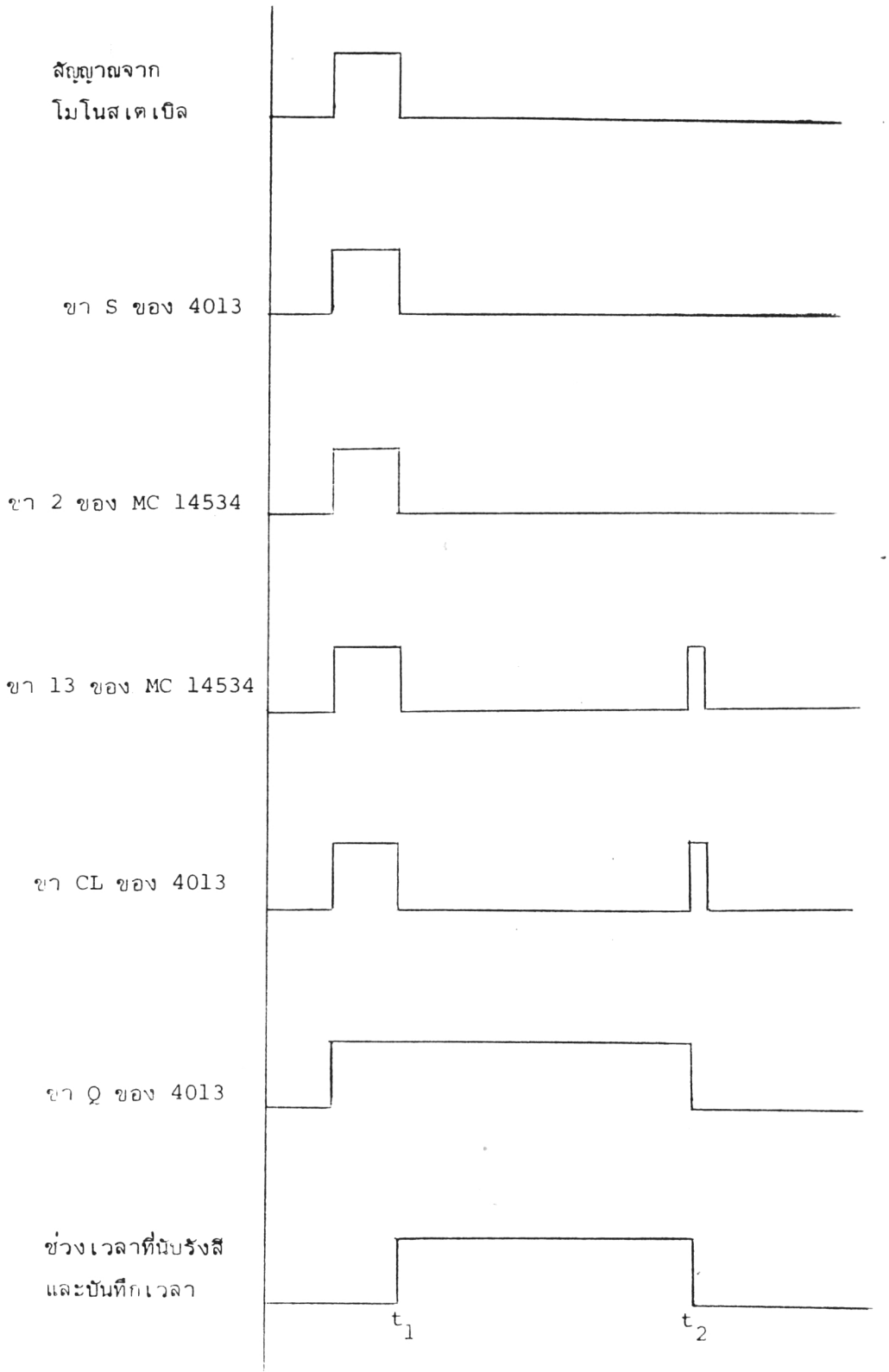
ในกรณีที่แหล่งสำรวจมีความเข้มของรังสีมาก การนับรังสีอาจจะเกิน 99999 หรือในกรณีที่บันทึกเวลานานเกิน 999.99 ชั่วโมง วงจรนับและวงจรบันทึกเวลาจะต้องหยุดทำงานเอง มิฉะนั้นวงจรนับและวงจรบันทึกเวลาจะเริ่มนับใหม่ตั้งแต่ 00000 หรือ 000.00 ชั่วโมง ทำให้ไม่ได้ข้อมูลที่ถูกต้อง ส่วนในกรณีที่ไม่มีการนับรังสีได้เกิน 99999 หรือไม่มีการบันทึกเวลาเกิน 999.99 ชั่วโมง แต่ต้องการอ่านข้อมูลทันทีที่ปิดสวิทช์หรีดรีเลย์ วงจรนับและวงจรบันทึกเวลาต้องหยุดทำงานเพื่อให้สามารถอ่านข้อมูลได้

วงจรรวม MC 14534 จะนับพัลส์ได้เต็มที่ 5 หลัก เมื่อเกิน 99999 จะมีการทดไปที่ขา 13 เกิดเป็นพัลส์แคบๆ 1 ลูก ซึ่งใช้เป็นสัญญาณไปปิดเกทไม่ให้มีการนับต่อ หรือในกรณีที่เปิดอ่านข้อมูลที่ LED ขา 4 ของ MC 14511 ต้องเปลี่ยนจาก "0" ไป "1" การเปลี่ยนสถานะจาก "0" ไป "1" นี้จะใช้เป็นสัญญาณไปปิดเกทให้หยุดนับได้ รูป 4.15 เป็นวงจรควบคุมการหยุดนับและหยุดบันทึกเวลา



รูป 4.15 วงจรควบคุมการหยุดนับและหยุดบันทึกเวลา

เมื่อสวิทช์หรีดรีเลย์ RR_1 ปิด ขา 2 ของ MC 14534 และขา S ของ MC 4013 ได้รับสัญญาณ one shot จากวงจรโมโนสเตเบิล ทำให้ขา 13 ของ MC 14534 ทั้งสองจะเกิดสัญญาณ one shot ด้วยและจะผ่านสัญญาณ one shot ไปที่ขา CL ของ MC 14013 ด้วย ในขณะที่ขา S เป็น "1" ของ one shot ขา Q จะเป็น "1" ทำให้สัญญาณของวงจรขยายและความถี่ฐานเวลา 0.027 Hz ผ่าน AND Gate เข้าวงจรนับและวงจรบันทึกเวลาตามลำดับ เมื่อหรีดรีเลย์ RR_2 ปิดหรือเกิดการนับเกินจะทำให้ขา CL ของฟลิปฟลอปเปลี่ยนจาก "0" ไป "1" อีกครั้ง Q จะเปลี่ยนจาก "1" ไป "0" ทำให้ AND Gate ปิดวงจรนับและวงจรบันทึกเวลาหยุดทำงาน



รูป 4.16 แผนภาพทางเวลาแสดงการทำงานของวงจรรูป 4.15

จะเห็นได้ว่าวงจรนับรังสีและวงจรบันทึกเวลาจะเริ่มทำงานที่เวลา t_1 และจะหยุดทำงานต่อเมื่อขา CL ของ MC 14013 เปลี่ยนสถานะจาก "0"ไป "1"อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะทำให้สัญญาณเปลี่ยนจาก "0"ไป "1"

วงจรควบคุมการแสดงผลของ LED 7 ส่วน

สัญญาณที่แสดงว่าวงจรเริ่มทำงานตามปกติ จะใช้จุดทศนิยมบนหลักร้อย (dP_3) เป็นตัวชี้บอกโดยจุด dP_3 จะสว่างตามช่วงเวลาของสัญญาณ one shot และต้องการให้จุด dP_3 สว่างขึ้นอีกครั้งในจังหวะที่แสดงข้อมูลของการบันทึกเวลา เพื่อให้การออกแบบสะดวกขึ้นสัญญาณขาเข้าที่เกี่ยวข้องมีสัญญาณ one shot สัญญาณปิดเปิดของหรีดรีเลย์ที่ขา 4 ของ MC 14511 และสัญญาณ 0.2 Hz จากวงจรสร้างฐานเวลา ซึ่งจะกำหนดช่วงเวลาสลับข้อมูลจำนวนนับและเวลาให้เป็น A, B และ C ตามลำดับ ส่วนสัญญาณขาออกให้เป็น Y โดยต่อเข้าจุด dP_3 โดยจะสว่างในจังหวะที่มีการสแกนความถี่ผ่านขา common 3 การออกแบบจะเป็น positive logic คือสถานะ "0" และ "1" หมายถึง 0 โวลต์ และ 7.5 โวลต์ ตามลำดับ

สัญญาณขาออก Y จะสว่างหรือดับขึ้นกับสัญญาณขาเข้า A, B, C ซึ่งสามารถแจงตารางตรรกในตาราง 4.1

A	B	C	Y	
0	0	0	1	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	1		
1	1	0		เงื่อนไขของสัญญาณขาเข้าซึ่ง
1	1	1		จะไม่เกิดขึ้น

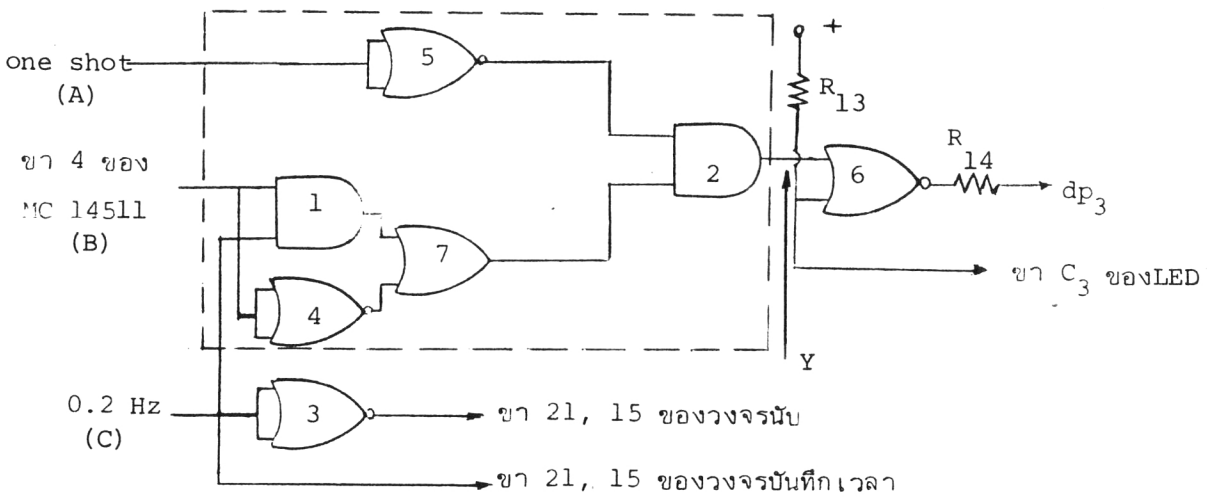
ตาราง 4.1 ตารางตรรกแสดงการทำงานของวงจรควบคุมการแสดงผล

$$\therefore \quad Y = \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{B}C + \bar{A}BC$$

$$= \bar{A}\bar{B} + \bar{A}BC$$

$$= \bar{A}\bar{B} + \bar{A}BC$$

$$= \bar{A}(\bar{B} + BC)$$



รูป 4.17 วงจรควบคุมการแสดงผลของ LED 7 ส่วน

เมื่อขา 4 ของ MC 14511 ยังเป็น "0" จะทำให้เอาท์พุทของ OR Gate (7) เป็น "1" ดังนั้นสัญญาณ one shot จะผ่านเกท 5 ซึ่งต่อเป็นอินเวอร์ตเตอร์เกท และผ่าน AND Gate (2) และ NOR Gate ซึ่งเป็นเกทที่ควบคุมการสแกนไปยังจุด dP_3 เมื่อต้องการอ่านข้อมูล สวิทช์ RR_2 ปิด ทำให้ขา 4 ของ MC 14511 เป็นสถานะจาก "0" ไป "1" ทำให้สัญญาณความถี่ 0.2 Hz ผ่านถึง AND Gate (2) ซึ่งขาเข้าอีกข้างของ AND Gate (2) อยู่ในสถานะ "1" สัญญาณความถี่ 0.2 Hz จะปรากฏที่จุด dP_3 ทำให้ จุด dP_3 สว่างและดับตามจังหวะ 0.2 Hz ส่วนขา 21, 15 เป็นขาควบคุมเกทสามสถานะในวงจรรวม MC 14534 ถ้าขา 21, 15 ของวงจรบันทึกเวลาเป็น "0" ขา 21, 15 ของวงจรนับจะเป็น "0" ทำให้ข้อมูลของเวลาจะปรากฏในจังหวะที่จุด dP_3 สว่างบน LED 7 ส่วน ดังนั้นข้อมูลของเวลาจะเป็น 5 หลัก ทศนิยม 2 ตำแหน่ง ส่วนข้อมูลจำนวนนับ

จะเป็นจำนวนเต็ม 5 หลัก

4.3 การออกแบบโครงสร้างทางกลของเครื่องวัดกาซเรดอน

เครื่องวัดกาซเรดอนที่ใช้ในงานภาคสนามจะใช้ในลักษณะฝังอยู่บนผิวดิน ในที่นี้จึงใช้โครงสร้างเป็นรูปทรงกระบอกยาวโดยปลายด้านล่างเป็นด้านหัววัดรังสีแอลฟา ส่วนปลายด้านบนเป็นตำแหน่งที่ใช้อ่านข้อมูล ช่วงกลางกระบอกเป็นที่บรรจุแบตเตอรี่และแผ่นวงจรพิมพ์ของภาคขยาย และภาคนับรังสียึดติดขนาบ 2 ข้างกับแผ่นอลูมิเนียมซึ่งใช้เป็นแกนของทรงกระบอก ปลายด้านล่างมีกระบอกอลูมิเนียมกลึงเกลียวในขันมาเชื่อมกับกระบอกอลูมิเนียมที่ใช้หุ้มชิ้นส่วนอิเลคทรอนิคส์ด้วย Oring ซึ่งคอยกันความชื้น ปลายด้านบนเป็นฝาอะคริลิคใสขันอัดครอบกับขอบกระบอกอลูมิเนียมด้วยน๊อต

โครงสร้างรายละเอียดทางกลแสดงในรูป 4.18

ส่วนหัววัดรังสีแอลฟา

A_1 ฐานประกอบซุปเปอร์ไนลอน บรรจุแว่นผลึกของหัววัดอยู่ภายใน

A_2 ขั้วต่อ BNC

A_3 กระบอกอลูมิเนียมกลึงเกลียวใน ใช้ขันเข้ากับ A_4 ครอบปิดหัววัด

A_4 แท่นกระบอกกลวง PVC กลึงกินเกลียวกับ A_3 ใช้เป็นส่วนเชื่อมอัดระหว่างกระบอก A_3 กับกระบอก B_8 และเป็นแท่นยึดแกนแผ่นอลูมิเนียม B_{11}

A_5 Oring ใช้เป็นที่รับการอัดเมื่อขันน๊อต C_5 อัดกระบอก B_8 เข้ากับกระบอก A_3

A_6 น๊อตยึดแกนแผ่นอลูมิเนียม B_{11} เข้ากับแท่น A_4

ส่วนบรรจุอุปกรณ์อิเลคทรอนิคส์

B_1 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคนับรังสี

B_2 แผ่นวงจรพิมพ์ภาคขยาย

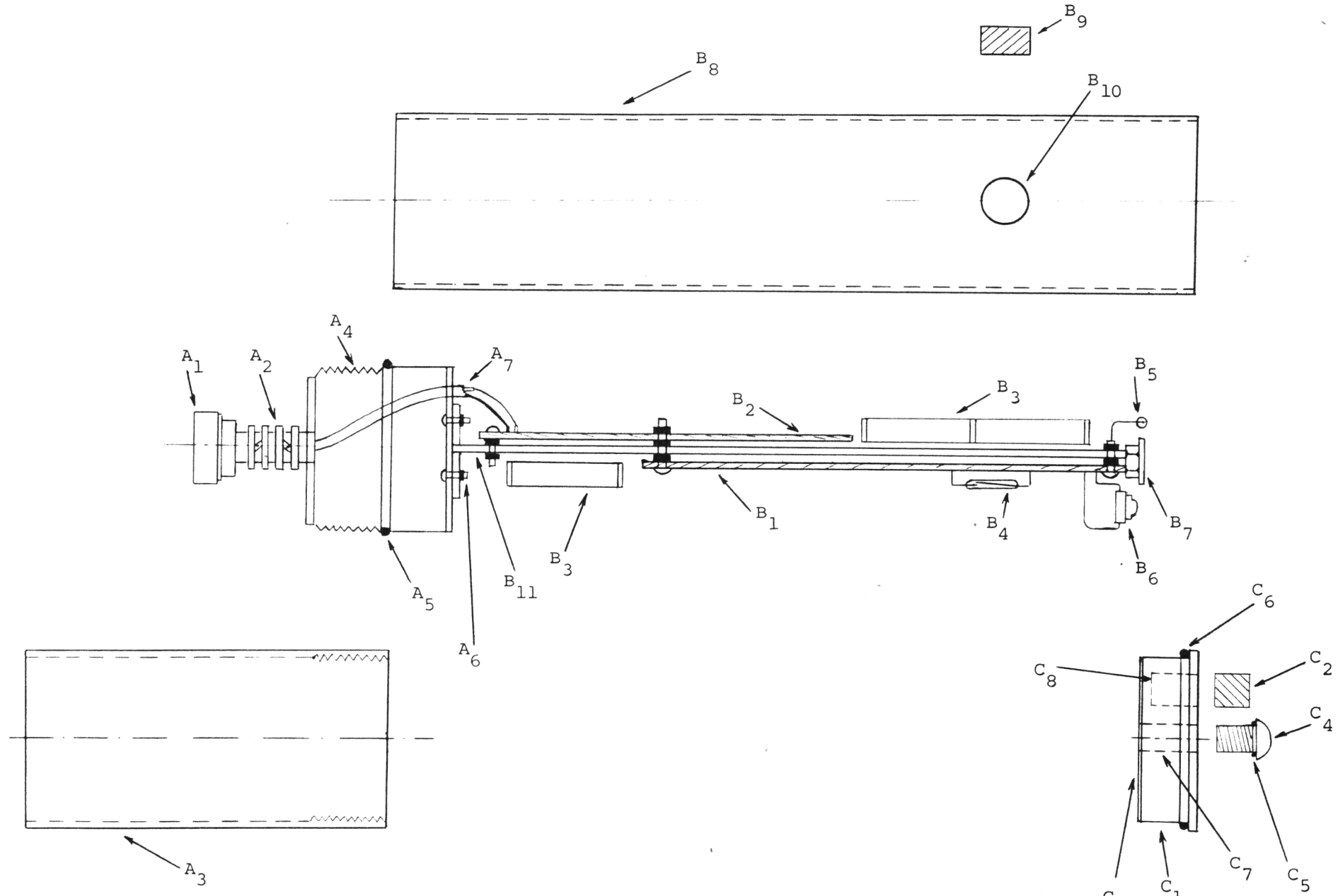
B_3 ตลับแบตเตอรี่

B_4 สวิทช์หรีดรีเลย์ RR_2 ด้านข้างกระบอกใช้เปิดปิดอ่านข้อมูล

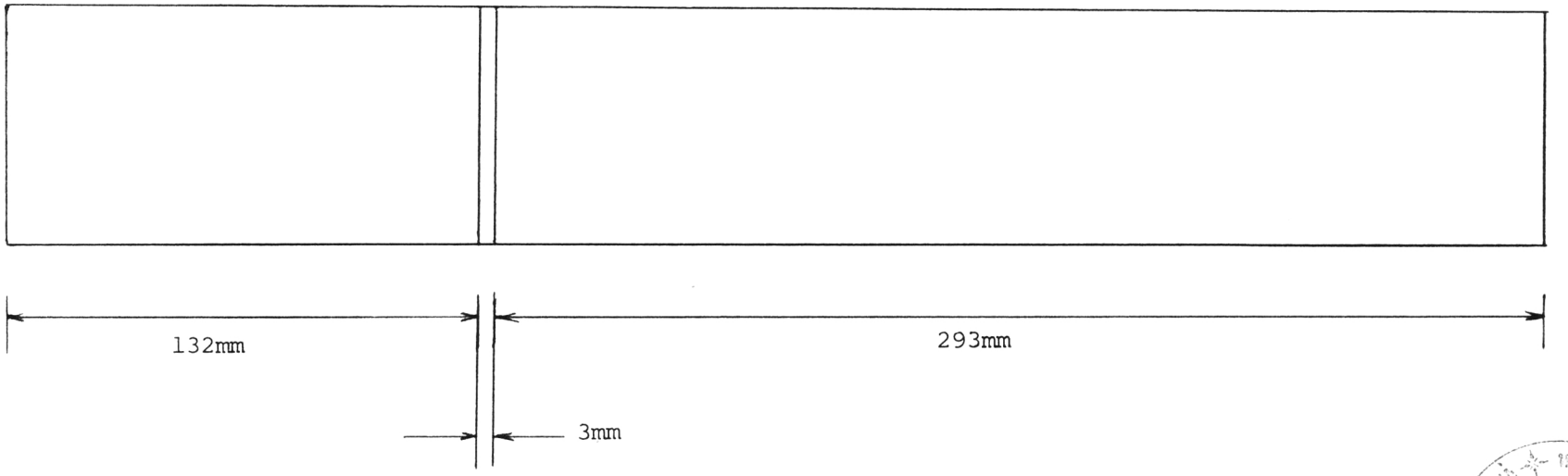
B_5 สวิทช์หรีดรีเลย์ RR_1 ด้านปลายบนใช้ปิดเปิดแบตเตอรี่

B_6 ชุด LED 7 ส่วนขนาดเล็ก 5 หลัก หันออกปลายด้านบน

B_7 น๊อตรองรับ น๊อต C_4 เพื่ออัด Oring A_5, C_5 และ C_6



รูป 4.18 รูปแสดงรายละเอียดของโครงสร้างทางกลของเครื่องวัด



รูป 4.19 ขนาดรูปร่างของเครื่องวัดกาซเรดอน

B_8 กระบอกอลูมิเนียมหุ้มชิ้นส่วนอิเลคทรอนิคส์

B_9 แท่งแม่เหล็กถาวรแตะเข้ากับ B_4

B_{10} ตำแหน่งที่จะต้องวาง B9 เมื่อต้องการอ่านข้อมูล

B_{11} แผ่นแกนอลูมิเนียมใช้ยึดติดแผ่นวงจรพิมพ์ และใช้เป็นแกนของกระบอก B_8

ส่วนฝาครอบด้านบน

C_1 ฝาอะคริลิคโปรงใสทำเป็นบ่าสำหรับขันอัด Oring เข้ากับกระบอก B_8 และเจาะรูทะลุให้น็อต C_4 ผ่าน

C_2 แท่งแม่เหล็กถาวรใช้วางลงบนร่อง C_8 เพื่อดูดให้สวิทช์ B_5 ปิดตอนเริ่มต้นนับ

C_3 แผ่นกรองแสงบางๆ ปะติดกับแผ่น C_1 ทำให้ตัวเลขที่อ่านคมชัดยิ่งขึ้นไม่ผิดพลาด

C_4 น็อตขันเข้ากับ B7 เพื่อปิดและทำให้ Oring ทุกตัวทำหน้าที่กันความชื้นได้

C_5 Oring

C_6 Oring

C_7 รูทะลุให้น็อต C_4 ผ่าน

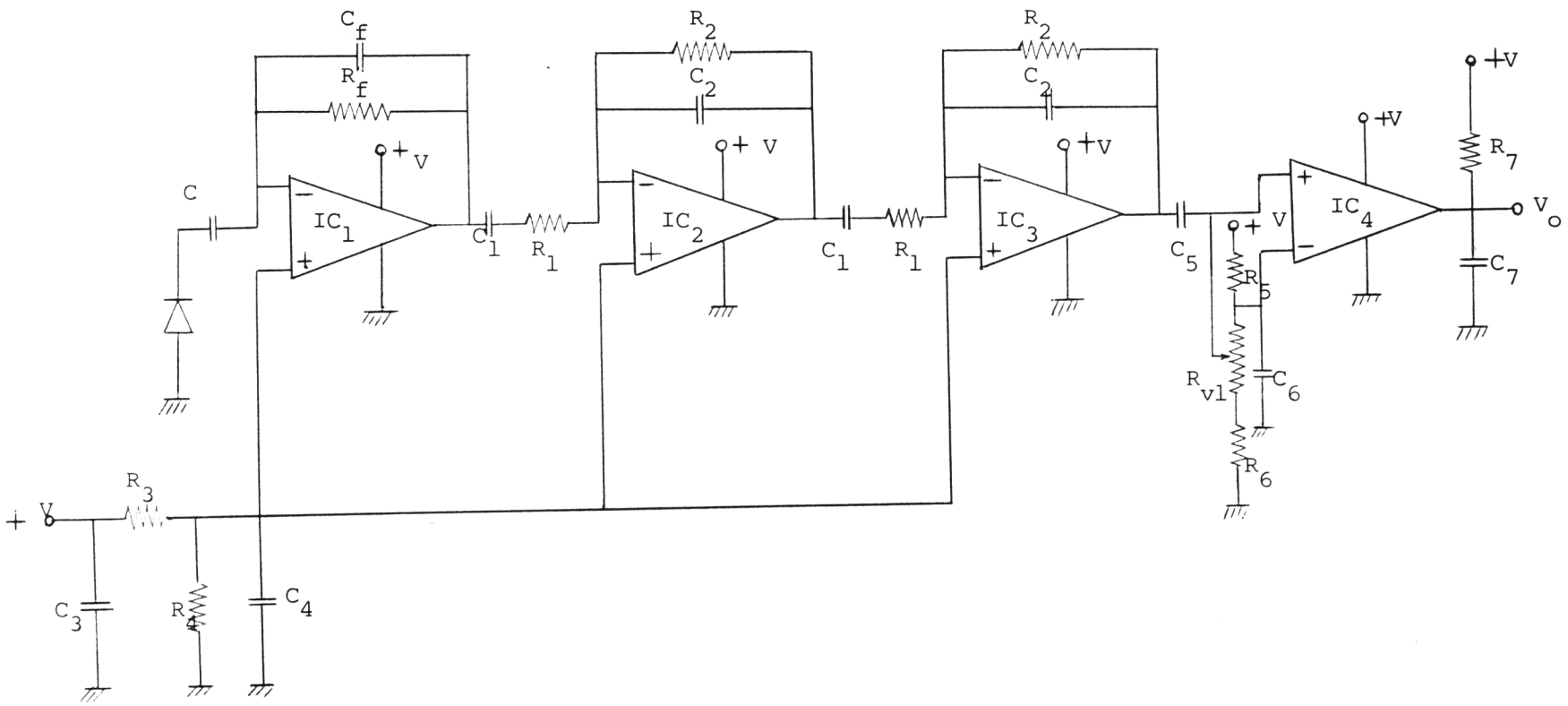
C_8 ร่องวางแท่งแม่เหล็ก C_2

4.4 หลักการทำงานของวงจร

หลักจากการดูดกลืนพลังงานจากรังสีแอลฟาในหัววัดรังสี จะก่อให้เกิดคู่อิเลคตรอน-โฮลขึ้น กำเนิดเป็นพัลส์ของประจุไฟฟ้า พัลส์ดังกล่าวจะต่อเข้ากับภาคขยายสัญญาณเพื่อแต่งรูปสัญญาณให้เป็นพัลส์ลอจิกส่งไปยังภาคนับรังสี ในขณะเดียวกันจะบันทึกเวลาตั้งแต่ระบบของเครื่องเริ่มทำงาน เมื่อวางแม่เหล็กถาวรดูดสวิทช์ RR_2 ให้ปิด LED 5 หลักจะแสดงข้อมูลของจำนวนนับสลับกับเวลาที่บันทึกได้ ขณะอ่านข้อมูลวงจรของภาคนับรังสีจะหยุดนับ และหยุดบันทึกเวลา นอกจากนี้เมื่อเกิดกรณีนับเกิน 99999 หรือบันทึกเวลาได้มากกว่า 999.99 ชั่วโมง วงจรของภาคนับรังสีจะหยุดนับและหยุดบันทึกเวลาด้วย

4.4.1 หลักการทำงานของภาคขยายสัญญาณและตัดสัญญาณรบกวน

วงจรทั้งหมดของภาคขยายและตัดสัญญาณรบกวน แสดงในรูป 4.20 ซึ่งประกอบด้วยวงจรขยายส่วนหน้าชนิดไวต่อประจุ วงจรขยายหลัก 2 ภาคต่อเนื่อง และวงจรตัดสัญญาณรบกวน พัลส์ของประจุไฟฟ้าที่เกิดจากคู่ของอิเลคตรอนและโฮลจะถูกรวบรวมที่ C_f และคายประจุผ่านความต้านทาน R_f ของวงจรขยายส่วนหน้าชนิดไวต่อประจุ ทำให้เกิดเป็นพัลส์ของสัญญาณขึ้น

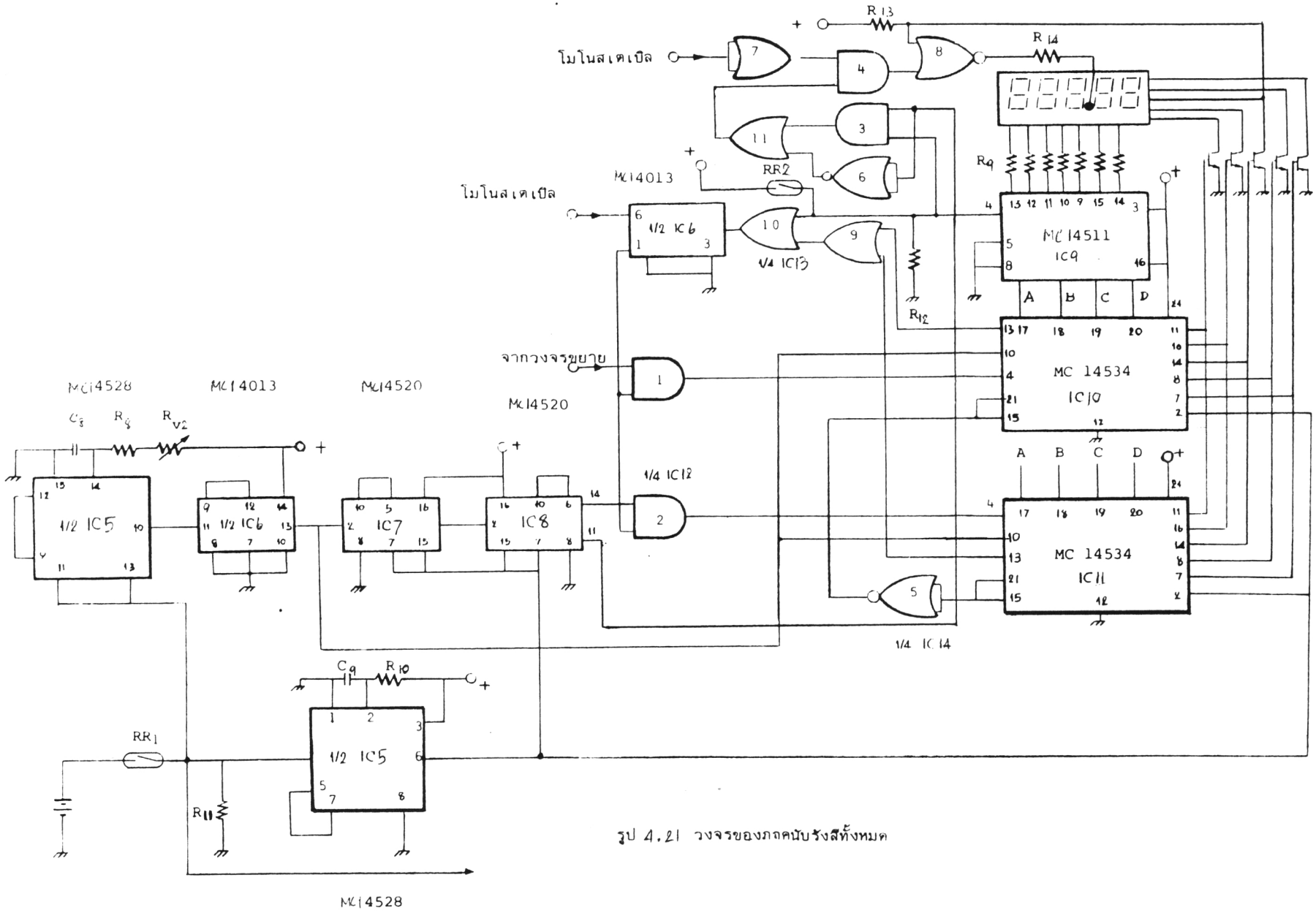


รูป 4.20 ภาคขยายสัญญาณและตัดสัญญาณรบกวน

ที่ขาออกของวงจรขยายส่วนหน้าป้อนเข้าวงจรขยายหลักซึ่งมีการจำกัดช่วงความถี่ของสัญญาณที่ปะปนเข้ามากับพัลส์ของสัญญาณวงจรขยายหลักจะต่อเป็น CR-RC ดิฟเฟอเรนชิเอเตอร์-อินทิเกรเตอร์ เพื่อเพิ่มช่วงเวลาขาขึ้นและลดช่วงเวลาขาลงของพัลส์สัญญาณขาเข้า ทำให้สัญญาณขาออกที่ได้จากวงจรขยายหลักจะเป็นรูปคลื่นใกล้เคียงเกาส์เซียน แต่อย่างไรก็ตามสัญญาณรบกวนซึ่งไม่ได้เกิดจากรังสีแอลฟา และมีความถี่ในช่วงความถี่กลางจะไม่ถูกแต่งให้เป็นรูปเกาส์เซียน ดังนั้นสัญญาณที่ไม่ต้องการดังกล่าวสามารถตัดทิ้งได้ด้วยวงจรดิสคริมิเนเตอร์ IC_4 ซึ่งระดับดิสคริมิเนชั่นจะเป็นผลต่างของแรงดันไบแอสที่ขาเข้าทั้ง 2 ของ IC_4 การทำงานของ IC_4 จะเป็นวงจรเปรียบเทียบและให้สัญญาณขาออกเป็นพัลส์ลอจิกโดยใช้ R_7 เป็น Pull up Resistance ให้มีค่า +V ที่ลอจิก "1" และ 0 โวลต์ ที่ลอจิก "0" สัญญาณขาออกของวงจรรูป 4.20 V_o ซึ่งจะเป็นพัลส์ที่ส่งเข้าวงจรนับรังสี

4.4.2 <u>หลักการทำงานของภาคนับรังสี</u>

รูป 4.21 เมื่อวางแม่เหล็กถาวรให้สวิทช์ RR_1 ปิด วงจรทั้งหมดจะได้รับไฟเลี้ยงจากแบตเตอรี่ ข้อมูลเดิมใน IC_7, IC_8, IC_6, IC_{10} และ IC_{11} จะถูกเคลียร์ด้วยสัญญาณ one shot ทำให้จุดทศนิยม dp_3 สว่างตาม จากนั้น IC_{10} และ IC_{11} จะนับรังสีและบันทึกเวลาจากพัลส์ของวงจรขยาย และสัญญาณความถี่ 0.027 Hz ตามลำดับ สัญญาณทั้งสองจะเข้าที่ขา 4 ของ IC_{10} และ IC_{11} โดยผ่าน AND Gate (1) และ (2) ซึ่งถูกควบคุมการปิดเปิดด้วยสัญญาณที่ขา 1 ของ IC_6 เมื่อต้องการอ่านข้อมูลแม่เหล็กถาวรจะดูดให้สวิทช์ RR_2 ปิด ทำให้ขา 1 ของ IC_6 เปลี่ยนจาก "0" ไป "1" อีกครั้ง AND Gate (1) และ (2) จะถูกปิดทำให้สัญญาณทั้งสองเข้า IC_{10} และ IC_{11} ไม่ได้ ข้อมูลที่ปรากฏที่ LED 7 ส่วน เป็นข้อมูลของจำนวนนับและเวลาสลับกันตามจังหวะของความถี่ 0.2 Hz โดยที่ข้อมูลทางเวลาจะมีทศนิยม 2 ตำแหน่ง กรณีที่มีการนับเกิน 99999 หรือบันทึกเกิน 999.99 ชั่วโมง ขา 13 ของ IC_{10} หรือ IC_{11} จะมีสัญญาณพัลส์ 1 ลูก ทำให้ขา 1 เปลี่ยนจาก "0" ไป "1" AND Gate (1) และ (2) จะปิดไม่ให้สัญญาณผ่านเข้า IC_{10} และ IC_{11}



รูป 4.21 วงจรของภาคนับรังสีทั้งหมด