หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

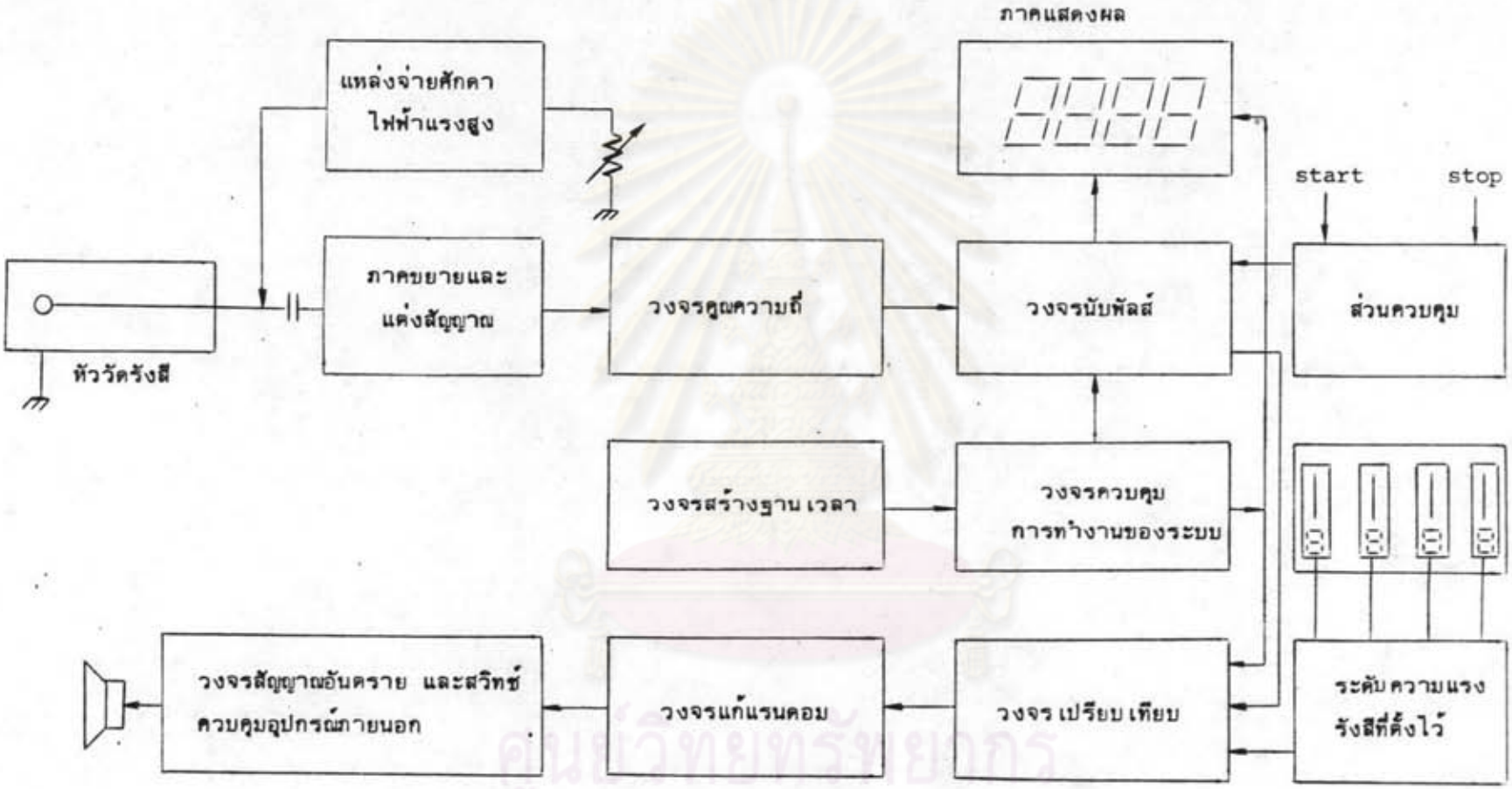
เครื่องไมนิเตอร์บริเวณรังสีเอ็กซ์

เครื่องไมนิเตอร์บริเวณรังสีเอ็กซ์ เป็นอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นให้ทำงานด้วยระบบอิเลคทรอนิคส์ เพื่อใช้ในการตรวจวัดบริเวณที่ปฏิบัติงานเกี่ยวกับรังสี ค่าที่วัดได้เป็นค่าของความแรงรังสี (radioactivity) ซึ่งเปรียบเทียบในหน่วยจำนวนนับ/นาที (count/min) ส่วนประกอบที่สำคัญมีดังนี้ : หัววัดรังสีแบบบรรจุก๊าซ แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูงแบบปรับค่าได้ ภาคขยายและแต่งรูปสัญญาน วงจรกูณความถี่ วงจรนับและภาคแสดงผล วงจรเปรียบเทียบ วงจรแก้แรนดอมภาคสัญญานเตือนอันตราย วงจรสร้างความถี่มาตรฐานเพื่อควบคุมกระบวนการทำงานของระบบและแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงต่ำ ซึ่งระบบการทำงานภาคต่าง ๆ มีความสัมพันธ์เชื่อมโยงดังแสดงในรูป 2.1

2.1 หัววัดรังสีแบบไกเกอร์ (Geiger Muller Tube)

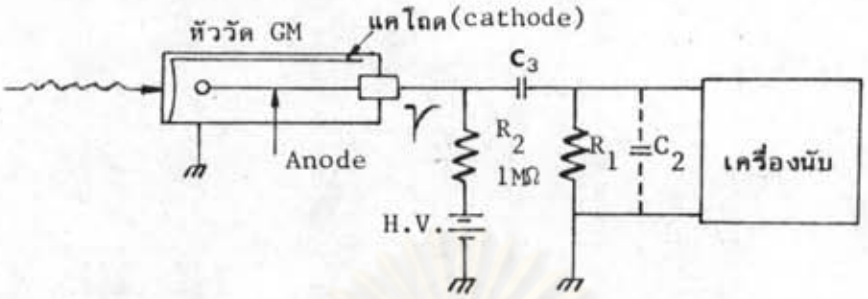
เป็นหัววัดแบบบรรจุก๊าซซึ่งใช้กันมานานแล้ว ก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในเป็นพวกก๊าซเฉื่อย หัววัดแบบนี้จะมีราคาค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับหัววัดชนิดอื่น การบำรุงรักษาง่าย เหมาะสำหรับใช้วัดความแรงรังสีที่ไม่ต้องการความไวในการวัดมากนัก โดยมีลักษณะโครงสร้างและวงจรหัววัดดังรูป 2.2

การเกิดสัญญานพัลส์ (pulse) ในหัววัดแบบ G.M. ขึ้นอยู่กับปริมาณของศักดาไฟฟ้าแรงสูงที่ให้กับขั้วหลอด และความสามารถในการเคลื่อนที่ (mobility) ของไอออน (ion) ด้วย การดูดกลืนพลังงานที่ผ่านหัววัด จะทำให้เกิดการไอออนไนเซชั่น (ionization) ของก๊าซภายในหัววัดเป็นไอออนบวกและอิเลคตรอน ซึ่งจะวิ่งไปยังขั้วแคโธด (cathode) และแอโนด (anode) ตามลำดับ เป็นผลทำให้เกิดพัลส์ของกระแสไฟฟ้าขึ้น



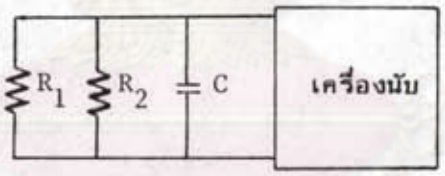
รูป 2.1 แผนภาพการทำงานของ เครื่องไบนิ เดอร์บริเวณรังสี เอ็กซ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป 2.2 อินพุทของเครื่องนับ (counter)และหัววัดไกเกอร์

จากรูป 2.2 แสดงถึง วงจรของหัววัดแบบ G.M.จะเห็นว่าเนื่องจาก C_3 มีค่ามากในการคำนวณสามารถจะแทน C_3 ด้วยการลัดวงจร โดยพิจารณาในลักษณะวงจร AC เมื่อจำนวนพัลส์มีค่าสูงขึ้น และวงจรทางเข้าของเครื่องนับสามารถแทนด้วยวงจรดังรูปที่ 2.3

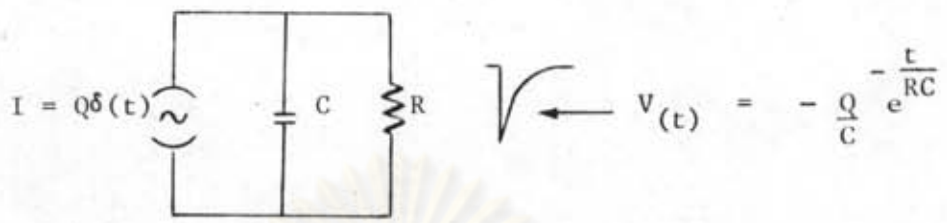


รูป 2.3 วงจรเทียบเท่าของอินพุทของเครื่องนับในรูป 2.2

จากรูป 2.3 ค่า C = ผลรวมของ C_2 และความจุของหัววัด

ค่า R_1 และ R_2 สามารถรวมเข้าเป็น R รวม = $\frac{R_1 R_2}{R_1+R_2}$

พัลส์ของกระแสที่ได้จากหัววัดจะมีค่าคงตัวเวลา (time constant) $\tau = RC$ และในการคำนวณนั้น หัววัดรังสีแบบ G.M. สามารถแทนด้วยต้นกำเนิดกระแส (current source) ที่ให้กระแสเป็นพัลส์ในรูปไดแรค เดลตา ฟังชั่น (dirac delta function) ($Q\delta(t)$) ไหลผ่านความจุ C โดยมีความต้านทาน R ต่อขนานดังรูป 2.4



รูป 2.4 การกำเนิดพัลส์ในหัววัดรังสี

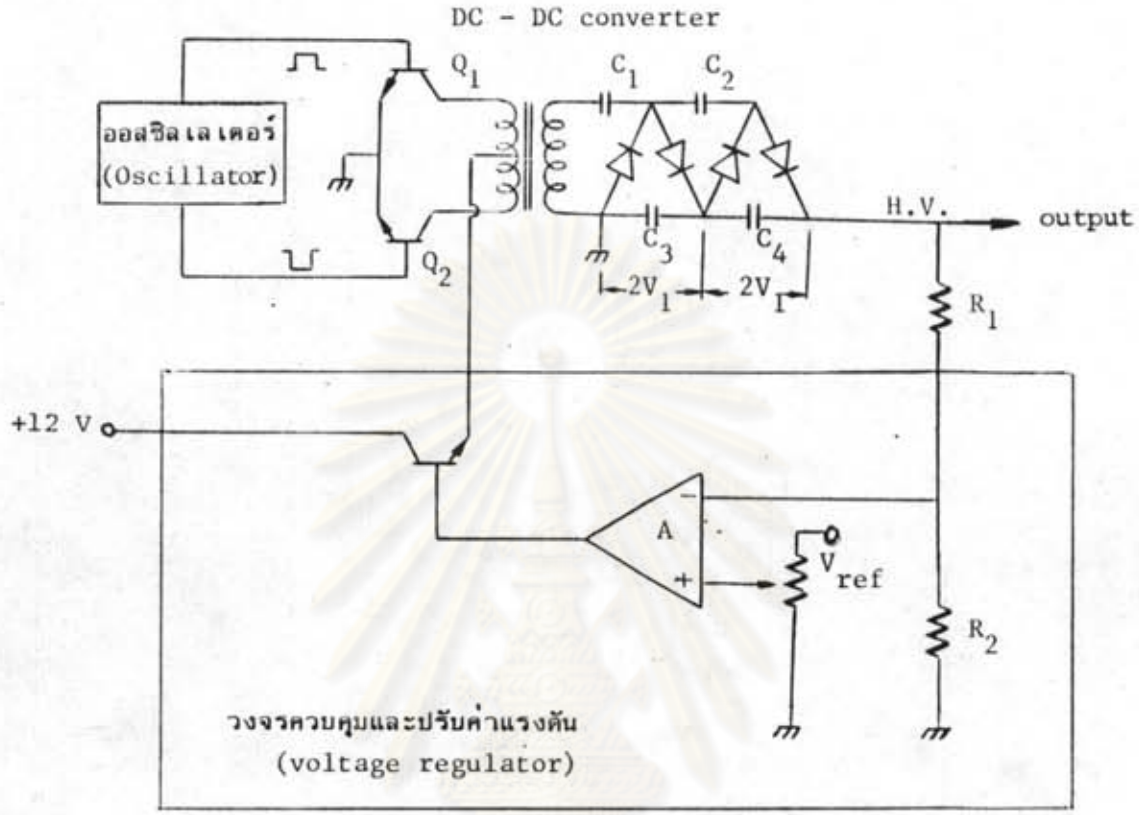
จากวงจรในรูปที่ 2.4 จะได้ว่าค่าศักดาไฟฟ้าที่ปรากฏบนความจุ C สามารถเขียนได้ดังนี้

$$V(t) = -\frac{Q}{C} e^{-\frac{t}{RC}}$$

2.2 <u>แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง</u> (High voltage power supply)

หัววัดรังสีแบบบรรจุก๊าซทุกชนิด ในการใช้งานจะต้องจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง เพื่อสร้างสนามไฟฟ้าให้กับขั้วอิเลคโตรด (electrode) ในการสร้างพัลส์ของประจุภายในหลอด ซึ่งค่าศักดาไฟฟ้าแรงสูงนี้เรียกว่า ดีเทคเตอร์ไบอัส (detector bias) สำหรับหัววัดรังสีแบบ G.M. สามารถวัดค่าความแรงรังสีได้ในอัตราสม่ำเสมอ เมื่อค่าศักดาไฟฟ้าที่ให้กับหัววัดอยู่ระหว่าง 750-900 โวลท์ ซึ่งเป็นช่วงพลาได (plateau) ของหัววัดแบบ G.M. ดังนั้นแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูงดังกล่าว จึงจำเป็นต้องปรับได้คงที่ทุก ๆค่าในช่วงนี้ โดยค่า H.V. ในระดับนี้ เราไม่สามารถสร้างโดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าธรรมดา ที่ใช้กับไฟสลับ 220 โวลท์ 50 Hz ได้ เนื่องจากเกิดการสูญเสียในลักษณะต่าง ๆ ภายในหม้อแปลงและยากต่อการกรองริปเปิล (ripple) นอกจากนี้ยังควบคุมระดับศักดาไฟฟ้าทางด้านเอาท์พุท (output) ให้คงที่ได้ยาก เมื่อโหลด (load) มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูงจากไฟฟ้ากระแสตรง โดยอาศัยวงจรดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ (DC-DC converter) ซึ่งประกอบด้วยวงจรดีซี-เอซี คอนเวอร์เตอร์ (DC-AC converter) โดยใช้หม้อแปลงที่ออกแบบสำหรับความถี่สูงร่วมด้วยวงจรทวีแรงดัน (voltage multiplier) และวงจรควบ

ควบคุมและปรับค่าระดับแรงดัน (voltage regulator) ดังรูป 2.5



รูป 2.5 ลักษณะโครงสร้างของวงจรแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงสูง

2.2.1 <u>วงจรดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์</u> (DC-DC Converter)

ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ เป็นวงจรสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าสูง จากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงต่ำ ซึ่งประกอบด้วยวงจร ดีซี-เอซี คอนเวอร์เตอร์ ต่อร่วมกับวงจรทวีแรงดัน (voltage multiplier) ดังรูป 2.5

วงจร ดีซี-เอซี คอนเวอร์เตอร์ ที่ใช้เป็นแบบ driven type ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ (transistor) 2 ตัว ต่อแบบพุช พูล (push-pull) คือ Q_1 และ Q_2 ทำหน้าที่เป็นตัวขับ (driver) โดยมีวงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ (astable multivibrator) ทำหน้าที่เป็น ออสซิลเลเตอร์ (oscillator) ป้อนพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่มีความถี่ 5 KHz เข้าที่เบส (base) ของทรานซิสเตอร์ Q_1 และ Q_2 สลับกัน คือในขณะที่ Q_1 อยู่ในสภาวะเปิด Q_2 จะปิดทำให้มีศักดาไฟฟ้าสลับป้อนเข้าทางขดลวดด้านปฐมภูมิ (Tp) ของทรานสฟอร์เมอร์

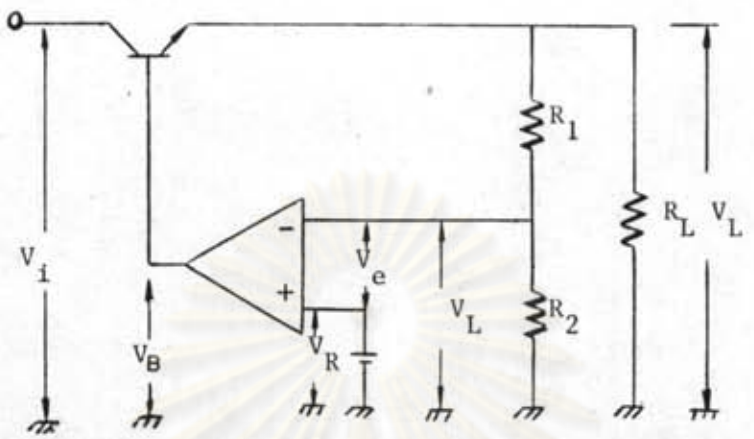
(transformer) T_1 เป็นทรานสฟอร์เมอร์ที่ใช้แกนเฟอร์ไรท์ (ferrite) ออกแบบไว้สำหรับความถี่ 5KHz ซึ่งขดลวดที่พันรอบแกนทรานสฟอร์เมอร์จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดศักดาไฟฟ้าสลับรูปสี่เหลี่ยมขึ้นทางด้านทุติยภูมิ (Ts) ตามอัตราส่วนของจำนวนรอบทางด้านปฐมภูมิ และทุติยภูมิดังสมการ

$$\frac{Tp}{Ts} = \frac{Vin}{Vout} \qquad \ldots\ldots (2.1)$$

เนื่องจากศักดาไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ได้จากขดลวดทางด้านทุติยภูมิถูกจำกัดด้วยสาเหตุหลายอย่าง เช่น ฉนวนและการสูญเสียต่าง ๆ ดังนั้นจึงไม่สามารถออกแบบให้ได้ค่าศักดาไฟฟ้ามีค่าสูงตามที่ต้องการได้ จึงต้องมีวงจรอีกส่วนหนึ่ง ทำการทวีคูณค่าศักดาไฟฟ้านี้ขึ้นเป็นจำนวนเท่า ซึ่งเรียกว่าวงจรทวีแรงดัน (voltage multiplier) ประกอบด้วย ไดโอด (diode) และคาปาซิเตอร์(capacitor) ต่อแบบคาสเคด (cascade) กันเป็นจำนวนเท่าของศักดาไฟฟ้า ตามที่ต้องการ ซึ่งจากรูป 2.5 จะได้ค่าศักดาไฟฟ้ากระแสตรงเป็น 4 เท่า ของศักดาไฟฟ้าทางด้านทุติยภูมิ โดยคาปาซิเตอร์ด้านที่ต่อขนานกันจะทำการเก็บประจุและคาปาซิเตอร์ด้านที่ต่ออนุกรมจะคายประจุออกมา ทำให้ได้ค่าศักดาไฟฟ้าเป็น 2 เท่าของ V_1 บน C_3 และ C_4 ดังนั้นศักดาไฟฟ้าทางด้านเอาท์พุทจึงมีค่าเท่ากับ 4 V_1

2.2.2 <u>วงจรควบคุมและปรับค่าแรงดัน</u> (Voltage Regulator)

เนื่องจากแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากวงจร dc-dc converter มักจะมีสิ่งรบกวนทำให้ค่าของระดับแรงดันที่ได้มีค่าไม่คงที่ เมื่อโหลดมีค่าเปลี่ยนแปลง นอกจากนั้น การขึ้นลงและการเกิดลักษณะ transients จากแหล่งจ่ายไฟเอซี ก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ระดับแรงดันไฟตรงที่ได้มีค่าไม่คงที่ เพื่อขจัดปัญหาเหล่านี้จึงจำเป็นต้องมีวงจรอีกส่วนหนึ่งช่วยในการควบคุมให้ระดับแรงดันคงที่ตลอดเวลา ซึ่งวงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นวงจรปิดด้วยการ sampling ค่าศักดาไฟฟ้าทางด้านเอาท์พุทมาเปรียบเทียบกับค่าคงที่เพื่อสร้างค่าชดเชยให้กับวงจร ดีซี-ดีซี คอนเวอร์เตอร์ ให้ทำงานได้ค่าศักดาไฟฟ้าทางออกคงที่



รูป 2.6 วงจรปรับแต่งแรงดันแบบอนุกรม (Series regulator circuit)

รูปที่ 2.6 ประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ต่อแบบอนุกรมระหว่างอินพุท (Vi) และเอาท์พุท (V_L) ซึ่งถูกควบคุมด้วยส่วนขยายสัญญาณ (amplifier) โดยอินพุทของส่วนขยายจะรับความแตกต่างระหว่างแรงดันเอาท์พุทที่ต้องการปรับแต่งกับแรงดันอ้างอิงที่มีค่าคงที่(Vr) ซึ่งค่าที่เปลี่ยนแปลงไปของเอาท์พุทนี้จะถูกขยายเพื่อไปควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์เพื่อปรับให้ระดับแรงดันเริ่มแรกทางด้านอินพุทเพิ่มขึ้นหรือลดลง เพื่อชดเชยแรงดันทางด้านเอาท์พุท

เนื่องจากแรงดันไฟดีซีทางด้านอินพุทที่ยังไม่ได้ปรับแต่งมีค่ามากกว่าแรงดันที่ตกคร่อมโหลดทางด้านเอาท์พุทเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมื่อใช้ทรานซิสเตอร์ต่อแบบอิมิตเตอร์ฟอลโลเวอร์ (emitter follower) ร่วมในวงจรจะทำให้ได้ค่ากำลังขยายแรงดัน (voltage gain) มีค่าเข้าใกล้ 1 และทำให้ความต้านทานเอาท์พุทมีค่าต่ำด้วย ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$V_L \simeq V_B \quad \ldots\ldots (2.2)$$

และ $$V_L = AV_e \quad \ldots\ldots (2.3)$$

แต่ $$V_e = V_R - \beta V_L$$

ดังนั้น $$V_L = A(V_R - \beta V_L) \quad \ldots\ldots (2.4)$$

เมื่อ A = กำลังขยายของดีซีแอมปลิฟายเออร์

V_e = ค่าที่แตกต่างกันระหว่างแรงดันเอาท์พุทที่ต้องการปรับแต่งกับแรงดันอ้างอิงคงที่

V_R = แรงดันอ้างอิงคงที่

β = แฟคเตอร์ของส่วนควบคุมย้อนกลับ

$$\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \ldots\ (2.5)$$

จากสมการ (2.4) จะได้ว่า

$$V_L = \frac{V_R A}{1 + \beta A} \quad \ldots\ (2.6)$$

เมื่อค่า A มีค่ามากจะได้

$$V_L = \frac{V_R}{\beta} \simeq V_R \frac{(R_1 + R_2)}{R_2}$$

$$= V_R \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \quad \ldots\ (2.7)$$

จะเห็นว่า ค่าของเอาท์พุท(V_L) จะถูกชดเชยด้วยค่าแรงดันนี้ คิดจากอัตราส่วนของ R_1 และ R_2 ตลอดเวลา

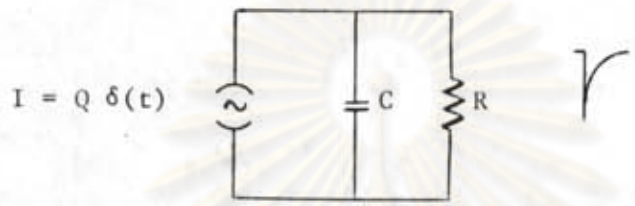
2.3 <u>วงจรขยายและแต่งรูปสัญญาน</u> (Amplifier and Square Pulse Shaping)

เนื่องจากเอาท์พุทที่ออกมาจากหัววัดรังสีเป็นสัญญานพัลส์ที่เกิดขึ้นตามรังสีที่ได้รับในลักษณะไม่เป็นระเบียบ ทางสถิติ (random) ซึ่งสัญญานที่เกิดขึ้นแต่ละตัวจะต้องนำไปเข้าเครื่องนับให้เร็วที่สุด แต่สัญญานอินพุทที่จะเข้าเครื่องนับจะต้องเป็นรูปสี่เหลี่ยม ดังนั้นวงจรส่วนนี้จะทำหน้าที่ขยายและแต่งรูปสัญญานพร้อมกันไปด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

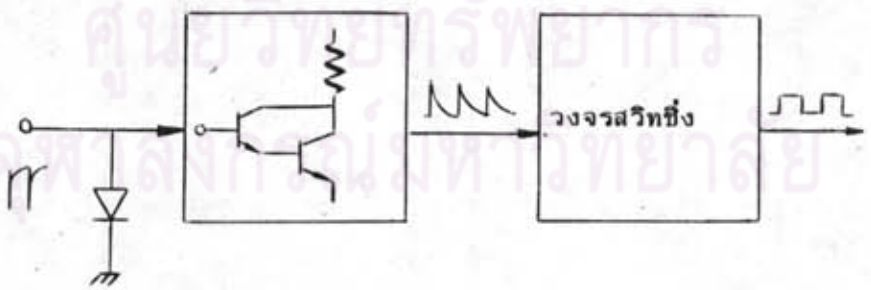
สำหรับหัววัดแบบ G.M. พัลส์ที่ได้จากหัววัดจะสามารถแทนได้ด้วยต้นกำเนิดกระแสที่ให้กระแสเป็นพัลส์ $Q\delta(t)$ ไหลผ่านความจุ C โดยมีความต้านทาน R ต่อขนาน ซึ่งเป็นวงจรอินพุทของเครื่องนับพัลส์ของศักดาไฟฟ้าที่ปรากฏบนความจุ C จะอยู่ในลักษณะ

$$V(t) = \frac{-Q\, e^{-\frac{t}{RC}}}{C}$$



รูป 2.7 วงจรเทียบเท่าของหัววัดรังสี

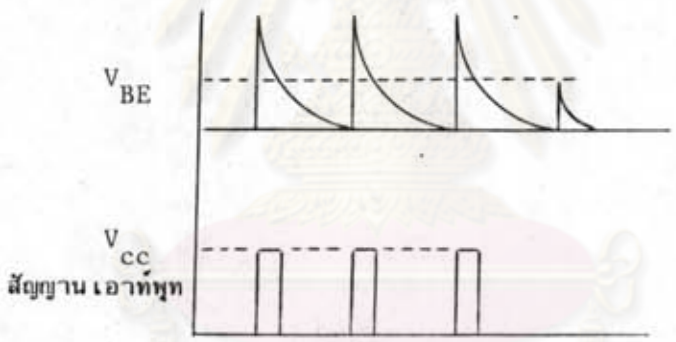
เนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่ได้จากหัววัดแบบ G.M. มีระดับสัญญาณสูงวงจรขยายส่วนนี้จึงมีหน้าที่เพียงแค่เพิ่มอัตราขยายกระแส (current gain) และเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสัญญาณ เพื่อให้ได้สัญญาณทางลอจิก (logic) ไปเข้าเครื่องนับ ซึ่งแผนภาพของการทำงานแสดงดังในรูป 2.8



รูป 2.8 แผนภาพของส่วนขยายและแต่งสัญญาณ

ประกอบด้วยวงจรขยายสองส่วน ส่วนแรกเป็นวงจรขยายแบบดาร์ลิงตัน (Darlington) เพื่อเพิ่มอัตราการขยายกระแสและมีค่าอินพุทอิมพีแดนซ์ (input impedance) ค่อนข้างสูง ส่วนที่สองเป็นวงจรทรานซิสเตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เป็นอินเวอร์เตอร์ (inverter) เพื่อเปลี่ยนสัญญานหรือสลับลูกคลื่นสัญญานให้ได้เอาท์พุทมีขนาดและรูปร่างตามต้องการ นอกจากนี้วงจรส่วนที่สองยังทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ (buffer) ให้กับวงจรนับ ซึ่งวงจรทั้งสองส่วนนี้จะถูกส่งผ่านสัญญานด้วยวงจรอาร์ซี (RC) โดยพัลส์จะถูกเปลี่ยนให้เป็นพัลส์บวก (positive pulse) ที่ส่วนขยายส่วนแรก

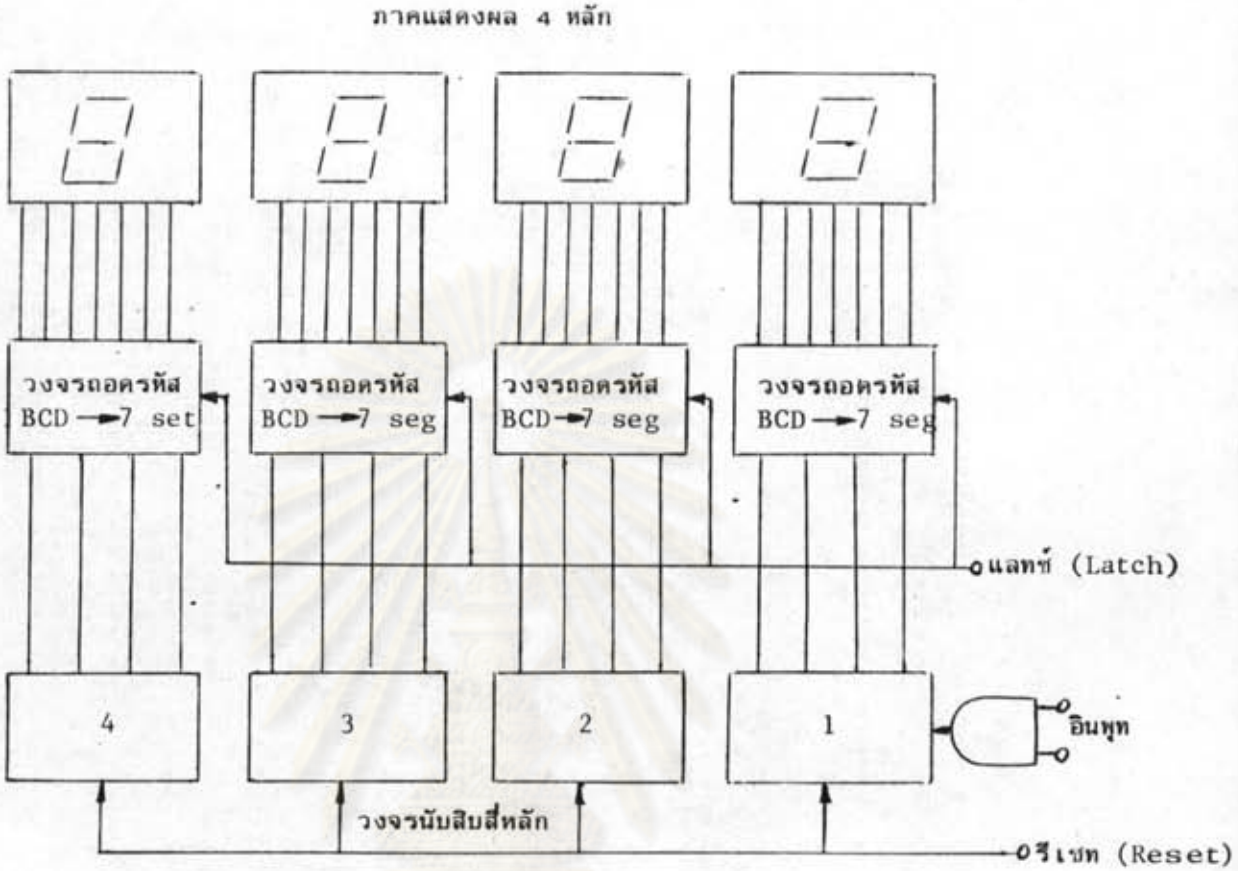
ในการแต่งสัญญานให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมนั้น ความกว้างของพัลส์จะถูกกำหนดด้วยค่า V_{BE} ซึ่งได้จากแรงดันอินพุทที่ป้อนเข้าที่เบสของวงจรส่วนที่สอง ดังรูป 2.9



รูป 2.9 ลักษณะการทำงานของวงจรแต่งรูปสัญญาน

2.4 ภาคนับรังสี

เนื่องจากสัญญานที่ได้จากหัววัดเมื่อผ่านส่วนขยายและวงจรแต่งรูปสัญญานแล้ว จะได้สัญญานรูปสี่เหลี่ยมที่เรียกว่าลอจิกพัลส์ (logic pulse) การเกิดพัลส์มากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับความแรงของรังสีที่ทำให้เกิดการแตกตัวของก๊าซภายในหัววัด ซึ่งสามารถทราบได้โดย การนับจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้นต่อช่วงเวลาที่กำหนดให้ด้วยสเกลเลอร์ (scaler) อุปกรณ์ส่วนนี้ประกอบด้วยวงจรนับสิบ 4 หลัก ตัวถอดรหัส (decoder) ภาคแสดงผล (display) กระบวนการนับ และแสดงผลขึ้นกับสัญญานควบคุม ช่วงเวลาภายในระบบ ได้แก่ สัญญานแลทช์(latch) และ รีเซท (reset)โดยมีแผนภาพการทำงานของวงจรส่วนต่าง ๆ ดังรูป 2.10



รูป 2.10 แผนภาพการทำงานของสเกลเลอร์ (scaler)

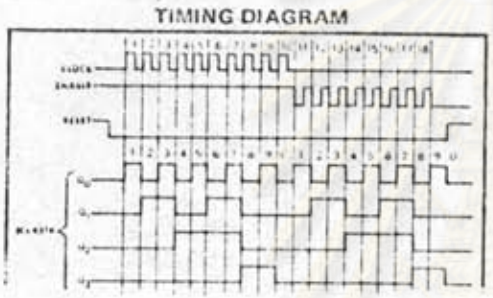
2.4.1 <u>วงจรนับสิบ</u> (Decade Counter)

เป็นวงจรที่ใช้นับจำนวนลอจิกพัลส์จากภาคขยายโดยแต่ละหลักจะมีขนาด 4 บิท (bit) ซึ่งประกอบด้วยฟลิปฟลอป (flip-flop) 4 ตัว (ซึ่งสามารถนับได้ตั้งแต่ 0-15) โดยให้ทำการนับตั้งแต่ 0-9 หรือจาก 0000 ถึง 1001 แล้วกลับมาเป็น 0 ใหม่ การทำให้วงจรนับหยุดนับ เมื่อนับถึงค่าที่เราต้องการทำได้โดยการเคลียร์(clear)ฟลิปฟลอป โดยให้กระโดดข้ามสถานะที่เหลือไปอยู่ที่ 0 ใหม่ นั่นคือต้องมีการถอดรหัสค่าจากวงจรนับ ว่าถึงค่าที่เราต้องการแล้วหรือยัง เมื่อถึงแล้วจึงทำการเคลียร์ฟลิปฟลอปแล้วเริ่มนับใหม่

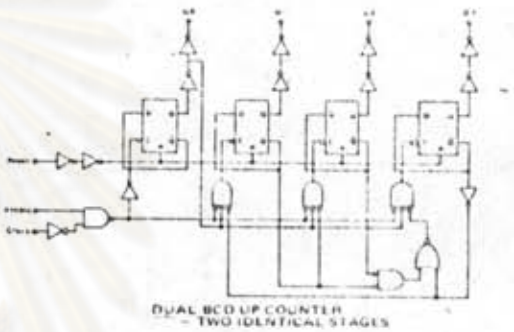
วงจรรวมที่ใช้ในวงจรนับสิบดังกล่าวเป็นไอซีตระกูลซีมอส (CMOS)ซึ่งเป็นวงจรรวมนับสิบแบบนับเพิ่ม (count up) โดยเอาท์พุทที่ได้เป็นเลข BCD (binary coded decimal) ดังรูป 2.11 (a)

011291

วงจรรวมนี้ 1 ตัว จะประกอบด้วยวงจรนับสิบ 2 ส่วน วงจรภายในของแต่ละส่วนจะประกอบด้วยดี ฟลิปฟลอป (D flip-flop) 4 ตัว ซึ่งเอาท์พุทของฟลิปฟลอปทั้ง 4 ตัวจะเป็นเลข BCD 4 บิท ตั้งแต่ 0-9 วงจรรวมแบบนี้จะทำงานที่ขอบขาลงของพัลส์ที่เข้ามาหมายถึงจะเกิดการเปลี่ยนแปลงที่เอาท์พุทเมื่อพัลส์อินพุท เปลี่ยนสถานะจากลอจิก "1" เป็น "0" และฟลิปฟลอปทั้ง 4 ตัว จะให้เอาท์พุทเป็น "0" เมื่อทำให้ขารีเซท (reset) อยู่ในสภาวะลอจิก "1"



รูป 2.11(a)แผนภาพแสดงคาบเวลาของวงจรรวมนับสิบ



รูป 2.11(b) วงจรลอจิก

2.4.2 <u>วงจรถอดรหัสและภาคแสดงผล</u>(Decoder and Display)

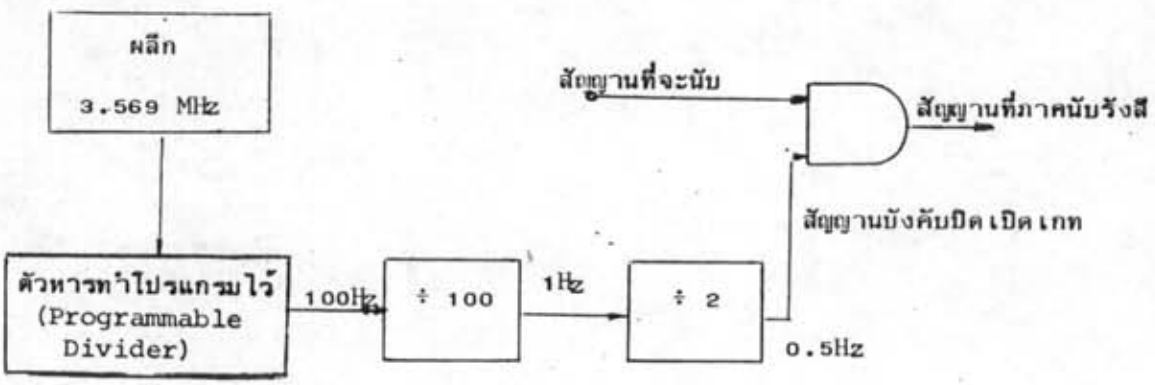
เนื่องจากเอาท์พุทที่ได้จากวงจรนับเป็นสัญญาณทางดิจิตอลที่อยู่ในรูป BCD หรือตัวเลขในระบบฐานสอง ซึ่งไม่สะดวกต่อการอ่านค่า ดังนั้นจึงจำต้องมีวงจรเปลี่ยนเลข BCD ให้เป็นเลขฐานสิบลักษณะของวงจรที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงข้อมูลดังกล่าวนี้เรียกว่า ตัวถอดรหัส (decoder) ซึ่งจะทำหน้าที่ถอดรหัสจากเลข BCD ให้อยู่ในรูปที่ใช้กับภาคแสดงผลตัวเลข 7 ส่วนของแอล อี ดี (L E D : Light Emitter Diode) ได้ ซึ่งจะแสดงตัวเลขฐานสิบตั้งแต่ 0-9 การสว่างของภาคแสดง 7 ส่วน ขึ้นอยู่กับวงจรขับ (driver) ซึ่งทำหน้าที่จ่ายกระแสให้กับ LED มากเท่าที่ต้องการ ปัจจุบันมีวงจรรวมซึ่งทำหน้าที่ถอดรหัสและมีวงจรขับร่วมด้วยในตัวเดียวกัน เรียกว่า BCD-to-7-segment decoder/driver ซึ่งมีลักษณะการทำงานจากตารางความจริง (truth table) ในรูป 2.12

INPUTS							OUTPUTS							
LE	BI	LT	D	C	B	A	a	b	c	d	e	f	g	DISPLAY
X	X	0	X	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	8
X	0	1	X	X	X	X	0	0	0	0	0	0	0	
0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	2
0	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	3
0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	4
0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	5
0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	6
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	7
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8
0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	9
0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	
1	1	1	X	X	X	X								

รูปที่ 2.12 ภาคแสดง 7 ส่วนและตารางตรรกของวงจรถอดรหัส

2.5 ภาคควบคุมกระบวนการทำงานของระบบ

เนื่องจากการทำงานของส่วนต่าง ๆ ในวงจรมีความสัมพันธ์กันและใช้เวลาคงที่ ดังนั้นการกำหนดช่วงเวลาในการนับจำนวนพัลส์ของวงจรนับ และการใช้สัญญานแลทช์และสัญญานรีเซท ในวงจรนับสิบดังกล่าวข้างต้น จำเป็นต้องมีเวลาอ้างอิงมาตรฐาน (time base) เพื่อควบคุมการเริ่มนับและหยุดนับของวงจรนับสิบ โดยใช้เกท(gate) ปิดเปิดให้สัญญานผ่านเข้าเครื่องนับเป็นช่วง ๆ ละ 1 วินาที การสร้างฐานเวลา 1 วินาที ดังกล่าว สามารถทำได้โดยการหารความถี่ที่ออกมาจากผลึก (crystal) เป็นช่วง ๆ ดังรูป 2.13

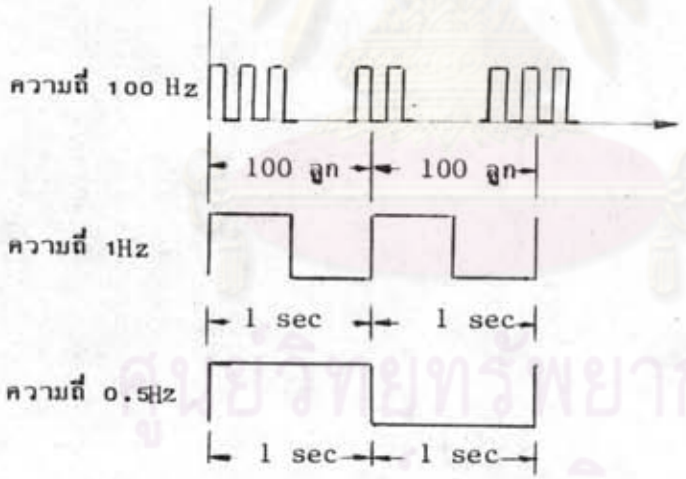


รูป 2.13 แผนภาพการทำงานของระบบเวลา

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.1 วงจรสร้างฐานเวลา (Time Base)

จากแผนภาพการทำงานของระบบเวลาดังรูป 2.13 เป็นระบบเวลาที่สามารถสร้างเวลาอ้างอิงมาตรฐานได้โดยใช้ผลึก (Crystol) ซึ่งเป็นอุปกรณ์สร้างความถี่ของสัญญาณนาฬิกามีค่า 3.569 MHz ต่อร่วมกับวงจรรวม ซึ่งมีชื่อเรียกตามลักษณะการทำงานว่า programable oscillator/divider ความถี่ที่ผลึกสร้างขึ้นนี้จะถูกหารเป็นส่วน ๆ ได้ความถี่เอาท์พุทออกมาเท่ากับ 100 Hz ซึ่งความถี่ 100 Hz ที่ได้นี้จะถูกหารต่อด้วยวงจรหารร้อย (÷ 100) เอาท์พุทที่ออกจากวงจรหารส่วนนี้จะมีความถี่ลดลง 100 เท่า โดยจะเหลือเพียง 1 Hz ซึ่งเป็นค่าความถี่มาตรฐานที่ต้องการ แล้วจึงป้อนสัญญาณที่มีความถี่ 1Hz นี้ไปเข้าฟลิปฟลอปหรือวงจรหารสอง (÷ 2) เพื่อให้ฟลิปฟลอปแสดงสภาวะลอจิก "1" เป็นเวลา 1 วินาที และลอจิก "0" อีก 1 วินาที ก็จะได้สัญญาณที่มีความถี่ 0.5 Hz เพื่อนำไปควบคุมการปิดเปิดของเกท ให้สัญญาณที่ต้องการนับ ผ่านเข้าเครื่องนับตามช่วงเวลา 1 วินาทีตามต้องการ

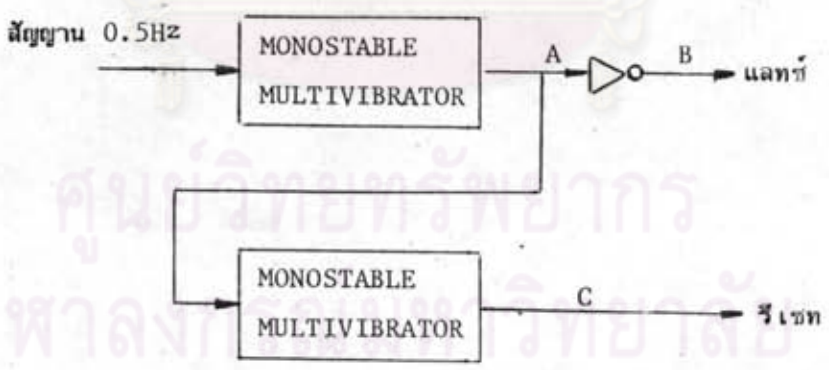


รูป 2.14 แสดงผังเวลาของสัญญาณในการสร้างฐาน เวลา 1 วินาที

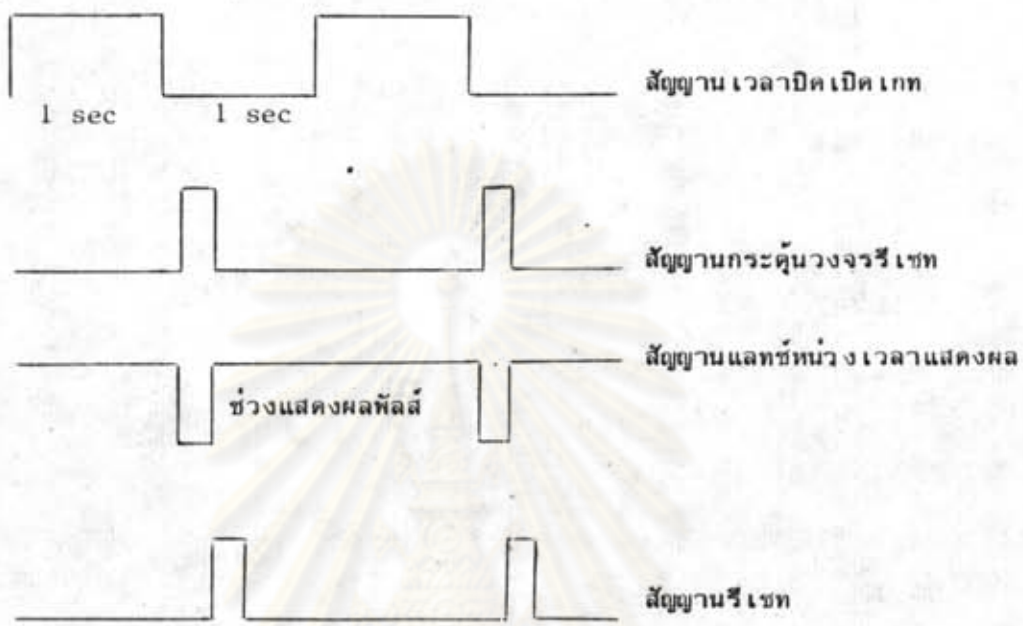
2.5.2 วงจรสร้างสัญญาณแลทช์ (latch) และรีเซท (reset)

ในวงจรนับได้มีการกำหนดช่วงเวลาในการนับและแสดงผล โดยการสร้างสัญญานควบคุมการเปิดเกท (gate) ให้พัลส์ผ่านเข้ามายังวงจรนับทุก ๆ 1 วินาที ช่วงเวลาที่ใช้ในการเปิดเกทเท่ากับ 1 วินาที ซึ่งข้อมูลที่นับได้จะถูกส่งไปยังวงจรถอดรหัสและภาคแสดงผล ในการเคลียร์วงจรนับให้เอาท์พุทเป็น 0 เมื่อหมดช่วงเวลา 1 วินาทีที่กำหนดให้และรีเซทวงจรนับให้เริ่มนับใหม่ทำได้โดยการป้อนสัญญานลอจิก "1" ให้กับขารีเซทของวงจรรวม ซึ่ง

เป็นวงจรนับ นอกจากนั้นการกระพริบของตัวเลขบนภาค 7 ส่วน และเมื่อวงจรนับถูกเคลียร์ศูนย์ ตัวเลขบนภาคแสดง 7 ส่วนก็จะหายไปด้วย ทำให้ยากต่อการสังเกตและจดบันทึก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องแสดงตัวเลขค้างไว้ชั่วระยะหนึ่ง ซึ่งในขณะนี้วงจรนับกำลังทำการนับจำนวนพัลส์ที่เข้ามาในช่วงวินาทีถัดไป แต่ตัวเลขที่แสดงไว้จะเป็นจำนวนนับของวินาทีก่อนหน้านั้น สามารถทำได้โดยการป้อนสัญญาน "1" ให้กับขาแลทช์ (latch) ของวงจรรวม ซึ่งทำหน้าที่ถอดรหัสและขับภาคแสดง 7 ส่วน สัญญานลอจิก "1" ดังกล่าว ได้จากวงจรไบไนสเตเบิ้ลมัลติไวเบรเตอร์ (monostable multivibrator) 2 ส่วน โดยวงจรที่หนึ่งจะรับสัญญานกระตุ้นจากวงจรสร้างฐานเวลา 1 วินาทีก่อนเข้าเกท วงจรรวมไบไนสเตเบิ้ล ทั้งสองส่วนนี้จะทำงานที่ขอบขาลงของสัญญานกระตุ้นโดยมีความต้านทานและคาปาซิเตอร์ (capacitor) เป็นตัวกำหนดคาบเวลาของสัญญานเอาท์พุทที่ได้ ซึ่งเอาท์พุทที่ออกจากวงจรส่วนที่หนึ่ง จะถูกส่งผ่านอินเวอร์เตอร์ (inverter) เพื่อกลับเฟสของสัญญานแล้วไปเข้าขาแลทช์ของวงจรถอดรหัส ส่วนวงจรที่สองจะรับสัญญานกระตุ้นจากเอาท์พุทของวงจรที่หนึ่ง ดังนั้นสัญญานซึ่งเปรียบเสมือนคำสั่งแลทช์และรีเซทจะเกิดขึ้นพร้อมกัน แต่ช่วงเวลาต่างกันโดยมีแผนภาพของเวลาดังรูป 2.16



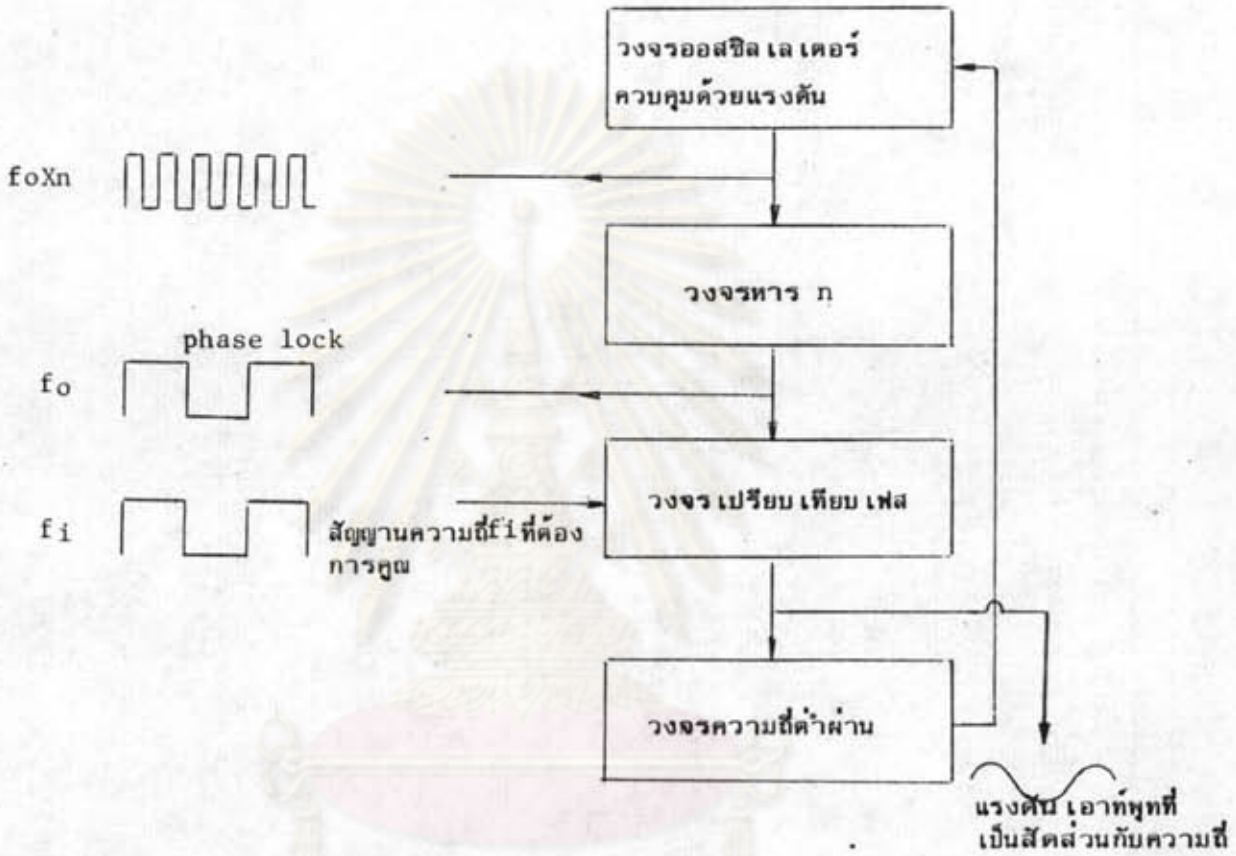
รูป 2.15 วงจรสร้างสัญญานแลทช์และรีเซท



รูป 2.16 คาบเวลาของสัญญานแลทช์และรีเซท

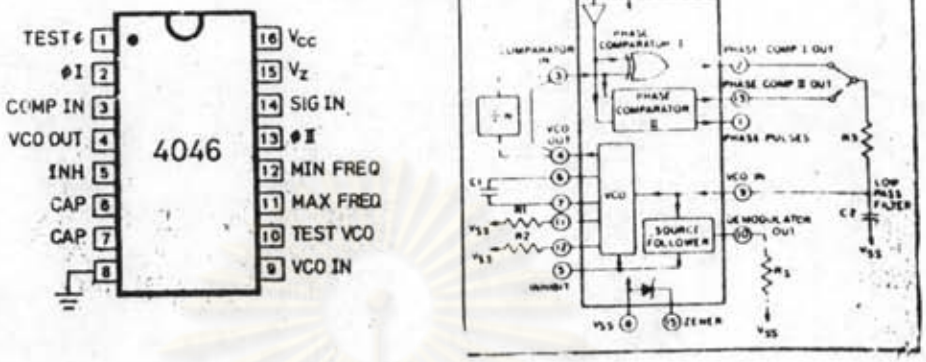
2.6 วงจรคูณความถี่

ในการใช้เครื่องไมนิเตอร์บริเวณรังสีเอ็กซ์ เพื่อตรวจวัดบริเวณรังสี จำเป็นต้องให้ผู้ทำงานภายในบริเวณนั้นทราบจำนวนปริมาณรังสีในระยะเวลาสั้น เพื่อความปลอดภัยดังได้กล่าวแล้ว แต่ค่าความแรงรังสีจะถูกวัดออกมาเป็นค่าจำนวนนับต่อนาที เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามิลลิเรม/ชม. จากเซอร์เวย์มิเตอร์ (servey meter) ซึ่งเวลา 1 นาทีนั้นนานเกินไปในการรอผลของการตรวจวัด ดังนั้นเมื่อต้องการทราบจำนวนพัลส์ใน 1 วินาที โดยให้เครื่องนับใช้เวลาในการนับเพียง 1 วินาที ก็สามารถทำได้โดยกำหนดช่วงเวลาในการนับของวงจรนับสิบดังกล่าวข้างต้นเพียง 1 วินาที แล้วจึงคูณความถี่ของพัลส์อินพุท ก่อนเข้าเครื่องนับ ด้วย 60 ซึ่งวงจรที่ใช้ในการคูณความถี่ดังกล่าวใช้วงจรรวมแบบเฟสล็อกลูป (phase lock loop) โดยมีแผนภาพการทำงานดังรูป 2.17



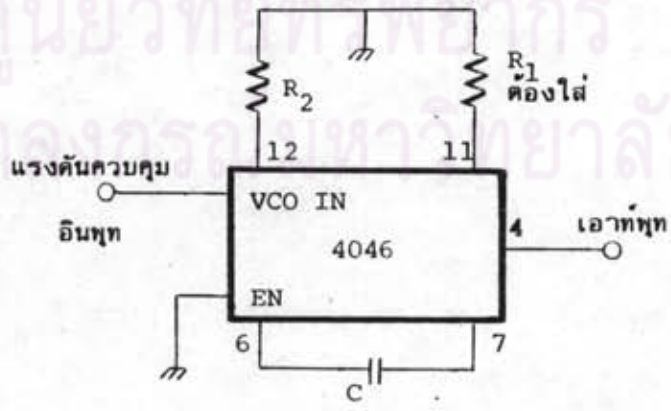
รูป 2.17 แผนภาพการทำงานของเฟสล็อกลูป

เฟสล็อกลูปเป็นหลักการล็อก (lock) ความถี่ที่กำเนิดขึ้นกับความถี่ที่ป้อนจากภายนอก ด้วยวิธีเฟสซิงโครไนซ์ (phase synchronize) วงจรรวม ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรเฟสล็อกลูป คือวงจรรวมเบอร์ SCL 4046 B ในตระกูลซีมอส (CMOS) มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ วงจรกำเนิดความถี่ซึ่งควบคุมด้วยแรงดันหรือวงจรวีซีโอ (VCO : voltage controlled oscillator) ซึ่งสามารถทำงานให้เอาท์พุทได้ตั้งแต่ความถี่ต่ำจนถึง 1 MHz ส่วนอีกวงจรหนึ่ง คือวงจรเฟสดีเทคเตอร์หรือวงจรเปรียบเทียบเฟส และวงจรกรองความถี่ต่ำ นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มเติมวงจรหาร เข้าไปเพื่อผลในการสร้างความถี่ทวีคูณจากหลักการทำงานของเฟสล็อกลูปได้ด้วย ดังรูป 2.18



รูป 2.18 ลักษณะวงจรภายในของวงจรรวม 4046

จากแผนภาพการทำงานของวงจรเฟสล็อกลูปในรูป 2.17 จุดสำคัญอยู่ที่การอินเฟสของความถี่ที่กำเนิดขึ้น กับความถี่ภายนอกที่อินพุททั้งสองของวงจรเฟสดีเทคเตอร์ ซึ่งจะทำหน้าที่เปรียบเทียบเฟสของความถี่เพื่อนำผลต่างของเฟสทั้งสอง ไปสร้างแรงดันผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ แรงดันที่สร้างขึ้นนี้จะถูกส่งไปควบคุมวงจรกำเนิดความถี่ (VCO) ซึ่งมีลักษณะการต่อวงจรดังรูป 2.19



รูป 2.19 วงจรออสซิเลเตอร์ควบคุมด้วยแรงดัน

วงจรวี ซี ไอ ในรูป 2.19 เป็นวงจรซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนแรงดันให้เป็นความถี่ (V/F) สามารถสร้างความถี่แปรค่าได้ตามการเปลี่ยนแปลงของแรงดัน อินพุทจาก V_{SS} ถึง V_{DD} โดยมีค่าตัวเก็บประจุ C และค่าความต้านทาน R_1 เป็นตัวกำหนดความถี่ของวงจร ซึ่งแรงดันควบคุมที่อินพุทของวงจรวีซีไอ จะได้จากวงจรเปรียบเฟส โดยในสภาวะปกติ เมื่อไม่มีสัญญานความถี่ที่อินพุทของวงจรเฟสดีเทคเตอร์ ทางด้านเอาท์พุท จะมีระดับแรงดันเอาท์พุทเป็นศูนย์ ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ ทำให้วงจรวีซีไอ หยุดกำเนิดความถี่ หรือ $f_0 = 0$ เมื่อมีความถี่อินพุท f_i ป้อนที่วงจรเฟสดีเทคเตอร์ พัลส์ลูกแรกซึ่งถูกเปรียบเทียบเฟสกับ 0 จะถูกสร้างเป็นสัญญานแรงดันควบคุม ผ่านวงจรกรองความถี่ต่ำ กระตุ้นให้วงจรวีซีไอ สร้างความถี่ให้มีความถี่เท่ากับ f_i นั่นหมายถึง $f_0 = f_i$ หรืออินเฟสกับความถี่ f_i ที่วงจรเฟสดีเทคเตอร์ ในกรณีที่วงจรหาร ลัดวงจรหรือ n มีค่าเท่ากับ 1 หรือหมายความว่าวงจรเฟสดีเทคเตอร์ทำการเปรียบเทียบเฟสของสัญญานทีละลูก ถ้าในกรณีที่วงจรวีซีไอ สร้างความถี่ผ่านวงจรหาร n ($n > 1$) f_i จะเท่ากับ f_0 ก็ต่อเมื่อวงจรวีซีไอ สร้างความถี่มีค่า $f_0 \times n$ จากผลการทำงานนี้ ทำให้เราสามารถดึงเอาท์พุทออกได้สองทาง คือ เอาท์พุทของวงจรวีซีไอ ซึ่งความถี่ของสัญญานที่ได้รับ = foXn และเอาท์พุท f_0

2.7 วงจรเปรียบเทียบ (Comparator)

เป็นวงจรที่ใช้ในในการเปรียบเทียบระหว่างค่าจำนวนพัลส์ของรังสีที่นับได้ กับจำนวนตัวเลขซึ่งเป็นค่าระดับรังสีที่ไม่ปลอดภัยที่ถูกตั้งไว้ ในระบบเลขฐานสอง หรือเลข BCD ในการเปรียบเทียบอาจเป็นไปในลักษณะ มากกว่า น้อยกว่า หรือเท่ากับ แล้วแต่ความจำเป็นของลักษณะงาน วงจรรวมตระกูลซีมอส (CMOS) ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเทียบดังกล่าว คือ MM74C85N (4 bit magnitude comparator) เป็นวงจรรวมที่ใช้เปรียบเทียบค่าของตัวเลขฐานสองขนาด 4 บิท ซึ่งวงจรภายในประกอบด้วยส่วนที่ใช้ในการเปรียบเทียบ 8 อินพุท (A_0, A_1, A_2, A_3, B_0, B_1, B_2, B_3) และส่วนที่ใช้ต่อกับหลักต่อไปอีก 3 อินพุท ($A > B$, $A < B$, $A = B$) ซึ่งเอาท์พุทที่ได้จะมี 3 เงื่อนไข คือ มากกว่า น้อยกว่า และเท่ากับ ($A > B$, $A < B$, $A = B$) แล้วแต่จะเลือกใช้ A หรือ B เป็นค่าที่ตั้งไว้สำหรับเปรียบเทียบโดยใช้ทัมบ์วีลสวิทช์ (thumbwheel switch) ซึ่งในการเปรียบเทียบตัวเลขฐานสิบ 4 หลัก จำเป็น

ต้องใช้วงจรรวมดังกล่าว 4 ตัว ต่อกันดังรูป 2.20 (C) โดยวงจรรวมตัวแรกที่ใช้เปรียบเทียบหลักหน่วยจะต้องให้ค่าลอจิก "1" สำหรับขาอินพุท A = B และลอจิก "0" สำหรับขาอินพุท A > B และ A < B

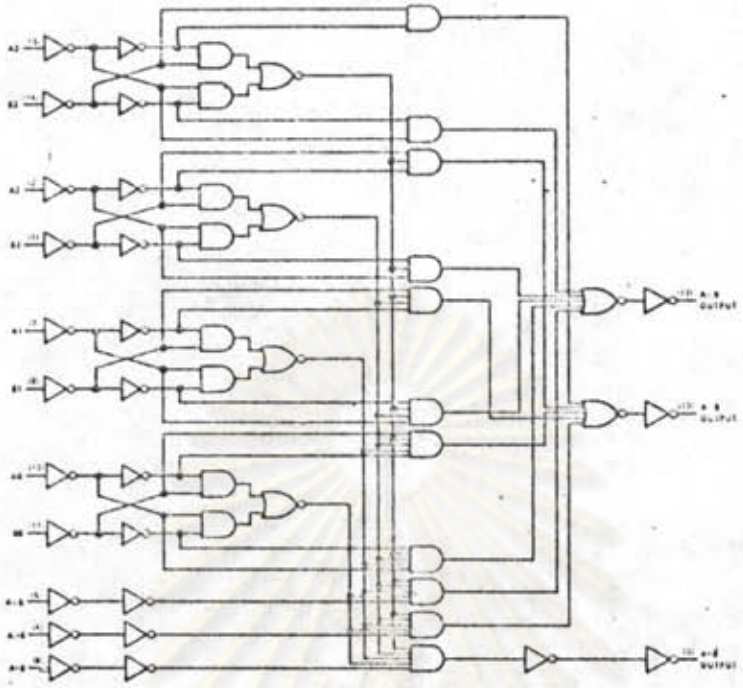
COMPARING INPUTS				CASCADING INPUTS			OUTPUTS		
A3, B3	A2, B2	A1, B1	A0, B0	A > B	A < B	A = B	A > B	A < B	A = B
A3 > B3	X	X	X	X	X	X	H	L	L
A3 < B3	X	X	X	X	X	X	L	H	L
A3 = B3	A2 > B2	X	X	X	X	X	H	L	L
A3 = B3	A2 < B2	X	X	X	X	X	L	H	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 > B1	X	X	X	X	H	L	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 < B1	X	X	X	X	L	H	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 > B0	X	X	X	H	L	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 < B0	X	X	X	L	H	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	H	L	L	H	L	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	L	H	L	L	H	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	L	L	H	L	L	H
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	L	H	H	L	H	H
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	H	L	H	H	L	H
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	H	H	H	H	H	H
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	H	H	L	H	H	L
A3 = B3	A2 = B2	A1 = B1	A0 = B0	L	L	L	L	L	L

H = High Level, L = Low Level, X = Irrelevant

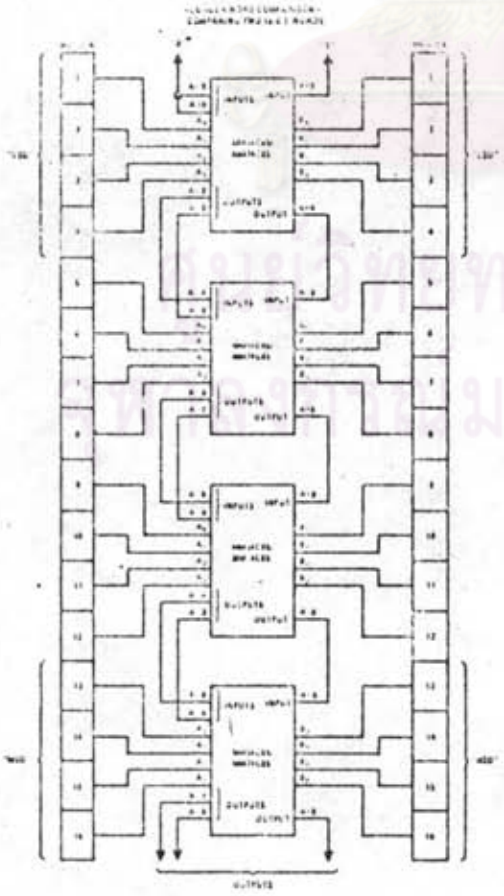
รูป 2.20 (a) ตารางตรรก วงจรรวม 74C85N

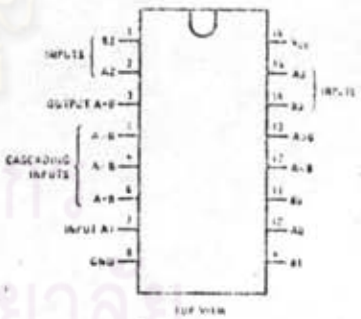
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

logic diagram.



รูป 2.20(b) วงจรลอจิกของวงจรรวม 74C 85N

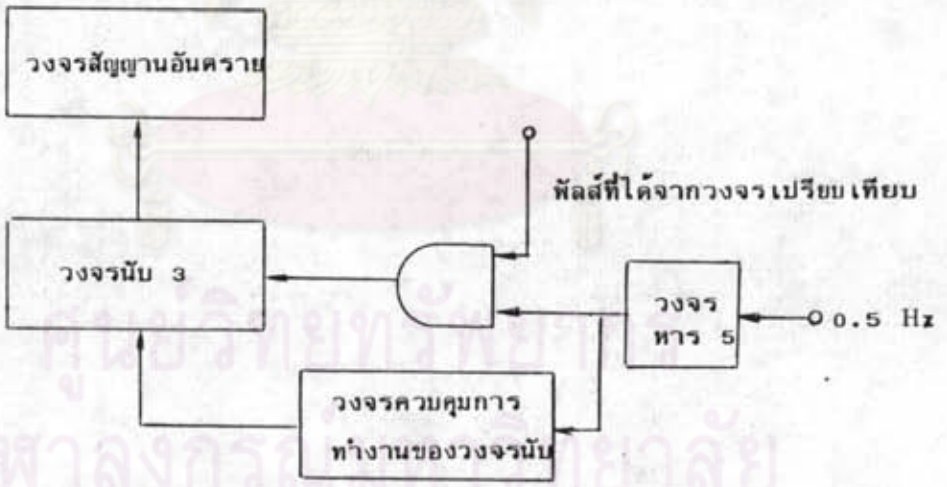




รูป 2.20(c) การต่อวงจรรวม 74C 85N ในการเปรียบเทียบ 4 หลัก

2.8 วงจรแก้แรนดอม (Random Correction Circuit)

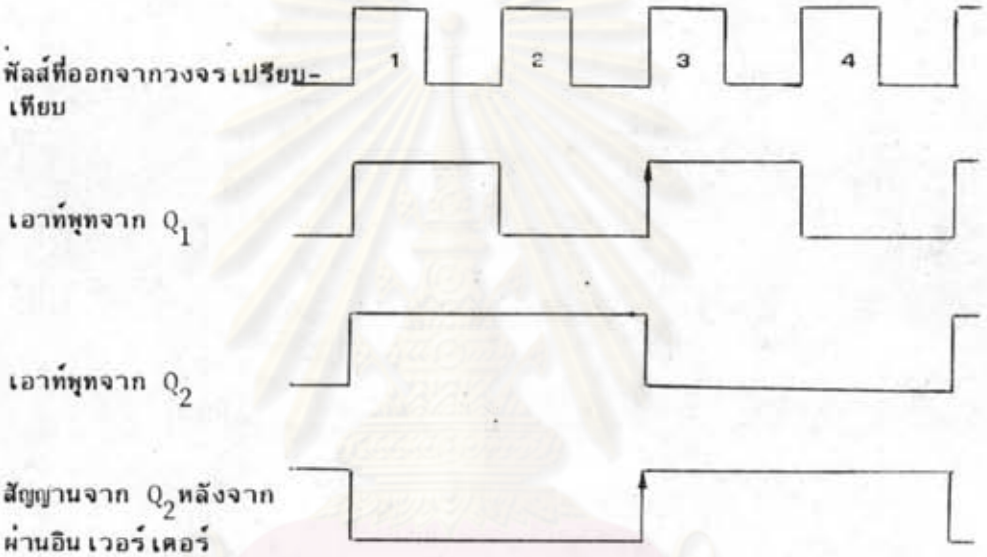
เนื่องจากจำนวนรังสีที่สะท้อนมาเข้าหัววัด จะเป็นไปในลักษณะแรนดอม ซึ่งจำนวนพัลส์ของรังสีที่เกิดขึ้นในหัววัด เครื่องนับอาจจะนับได้ถึงค่าที่ตั้งไว้ว่าจะไม่ปลอดภัยในบางครั้ง ซึ่งอาจเป็นค่าที่เชื่อถือไม่ได้ ดังนั้นเพื่อให้เกิดความแน่ใจว่าระดับรังสีถึงขีดที่ไม่ปลอดภัยจริง ๆ ก็ต่อเมื่อเครื่องนับสามารถนับพัลส์ที่เกิดขึ้นในหัววัดได้ค่ามากกว่าค่าที่ตั้งไว้ที่วงจรเปรียบเทียบหลายครั้งติด ๆกันภายในช่วงเวลาสั้น ๆที่กำหนดไว้ จึงจำเป็นต้องมีวงจรส่วนหนึ่ง ทำหน้าที่นับจำนวนพัลส์ที่ออกมาจากวงจรเปรียบเทียบ โดยกำหนดว่าวงจรสัญญาณอันตรายจะทำงานก็ต่อเมื่อวงจรแก้แรนดอมส่วนนี้ ทำการนับพัลส์ที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบเป็นจำนวนไม่ต่ำกว่า 3 ลูกภายในเวลา 9 วินาที โดยมีวงจรสร้างเวลามาตรฐาน 9 วินาที เพื่อใช้ในการปิดเปิดเกทร่วมด้วย ดังรูป 2.21



รูป 2.21 แผนภาพการทำงานของวงจรแก้แรนดอม

จากแผนภาพการทำงานของวงจรแก้แรนดอมดังรูป 2.21 วงจรหาร 5 ทำการหารความถี่ 0.5 Hz ซึ่งเป็นความถี่ของสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรนับสิบข้างต้น เอาท์พุทที่ออกจากวงจรหาร 5 ส่วนนี้ จะแสดงค่าลอจิก "1" เป็นเวลา 9 วินาที และลอจิก "0" เป็นเวลา 1 วินาที นอกจากนี้ยังมีวงจรที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของวงจรนับ 3 โดย

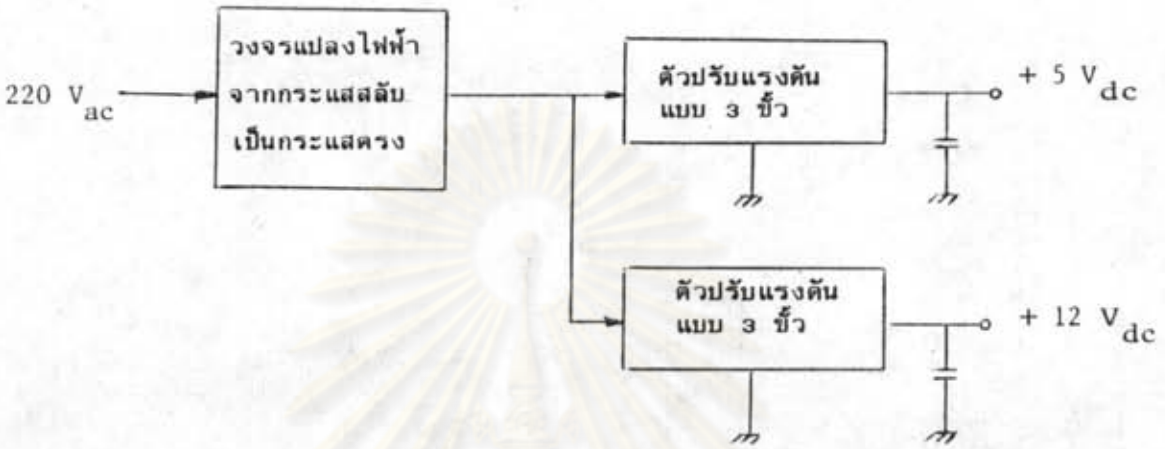
จะทำการรีเซทวงจรนับ 3 ทุก ๆ 9 วินาที ซึ่งวงจรนับ 3 ดังกล่าวนี้จะใช้ เจ เค ฟลิปฟลอป (J-K flip-flop) 2 ตัว ทำหน้าที่หารความถี่ที่เข้ามาโดยนำสัญญาณเอาท์พุท ที่ได้จากฟลิปฟลอปตัวที่ 1 (Q_1) ไปเข้าแอนเกท (AND gate) ชนิด 2 อินพุท โดยอินพุทอีกข้างหนึ่งจะรับสัญญาณเอาท์พุทจากฟลิปฟลอปตัวที่ 2 (Q_2) หลังจากผ่านอินเวอร์เตอร์แล้ว ดังนั้น เอาท์พุทที่ออกจากแอนเกท จะแสดงค่าลอจิก "1" เมื่อพัลส์ลูกที่ 3 เข้ามายังวงจรนับดังรูป 2.22



รูป 2.22 แสดงความสัมพันธ์ของสัญญาณอินพุทและเอาท์พุทของวงจรนับ 3

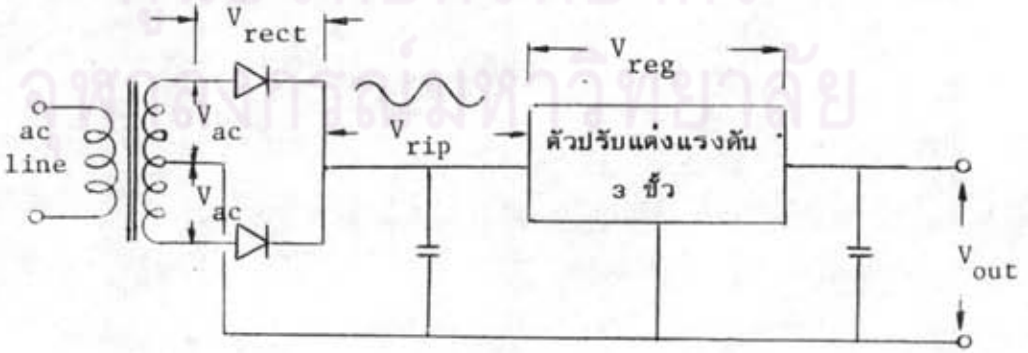
2.9 <u>แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงต่ำ</u> (Low voltage power supply)

ในวงจรอิเลคทรอนิคส์ส่วนใหญ่จำเป็นต้องมีไฟฟ้ากระแสตรงเลี้ยงวงจร ไฟฟ้ากระแสตรงนี้ สามารถนำมาจากแบตเตอรี่ หรือถ่านไฟฉายได้ แต่ก็มีข้อจำกัดเกี่ยวกับปริมาณพลังงานที่สะสมไว้ ดังนั้นการแปลงไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง จึงเป็นวิธีที่เหมาะสม เพราะสามารถใช้ได้สะดวก และเนื่องจากในวงจรแทบทุกส่วนทางอิเลคทรอนิคส์ จะสามารถทำงานได้อย่างมีเสถียรภาพ เมื่อได้รับไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าคงที่ตลอดเวลา ดังนั้น แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงจำเป็นต้องมีส่วนที่ทำหน้าที่ปรับแต่งระดับแรงดันต่อร่วมด้วย คือ ตัวปรับแต่งแรงดันแบบ 3 ขั้ว (three-terminal voltage regulator) ดังรูป 2.23



รูป 2.23 แผนภาพการทำงานของแหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าแรงต่ำ

จากรูป 2.23 ส่วนที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นกระแสตรงประกอบด้วย หม้อแปลง วงจรเรคติฟายเออร์ (rectifier) แบบฟูลเวฟเซ็นเตอร์แท็ป (full wave center-tapped) และวงจรฟิลเตอร์ (filter) ซึ่งใช้ตัวเก็บประจุ (capacitor) ทำหน้าที่กรองแรงดัน ซึ่งมีลักษณะวงจรดังรูป 2.24



รูป 2.24 วงจรปรับแต่งแรงดันแบบฟูลเวฟเซ็นเตอร์แทป (full wave center-tapped)

จากวงจรในรูป 2.24 หักค่าไฟฟ้าเอซีทางด้านขดทุติยภูมิของหม้อแปลง สามารถคำนวณหาค่าได้จากสูตร

$$Vac = \frac{(Vout + Vreg + Vrect + Vrip)}{0.92} \times \frac{Vnom}{Vlow\ line} \times \frac{1}{\sqrt{2}}$$

เมื่อ Vreg = 3 โวลท์ดีซีหรือมากกว่า

Vrect = 1.25 โวลท์ดีซี

Vripple = 10% ของค่า พีค (peak) ดีซีโวลเตจ ที่ฟูลโหลด (Full Load)

0.92 = ประสิทธิภาพของวงจรเรคติฟายเออร์ (rectifier)

Vnom = ระดับแรงดันปกติ

Vlow line = ระดับแรงดันขณะไฟตก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย