



### บทที่ 3

#### การดำเนินการวิจัย

#### 3.1 ข้อมูลพื้นฐานของการพัฒนาระบบควบคุมความหนาของแถบโลหะแบบรีดเย็น

ก. ข้อมูลพื้นฐานจากการศึกษาสมรรถนะของเครื่องรีดแถบโลหะแบบรีดเย็นรุ่นเก่าพบว่าระบบลูกรีดของเครื่องรีดเย็นแบบ four high mill และระบบควบคุมความหนาเป็นระบบสกรูดาวนแบบเฟืองขับซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กำลัง โดยอาศัยการควบคุมด้วยคนงาน มีความเร็วปรกติในการรีดแถบโลหะ 25 เมตรต่อนาที และสามารถเพิ่มความเร็วสูงสุดได้ถึง 100 เมตรต่อนาที แต่เนื่องจากเครื่องผ่านการใช้งานมานานจึงทำให้มีค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักรกลสูงมาก ผลผลิตที่ได้มีความหนาไม่สม่ำเสมอ จากการตรวจวัดความหนาของแถบโลหะที่ผลิตได้ขนาด 0.25 และ 0.49 มิลลิเมตร พบว่ามีความคลาดเคลื่อนมากกว่า  $\pm 0.02$  mm ทางโรงงานผลิตต้องการควบคุมความหนาให้มีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน  $\pm 0.01$  mm

ข. ลักษณะของแถบโลหะที่รีดเย็นเป็นประจำเป็นแถบโลหะประเภททองเหลืองหน้ากว้าง 4 ถึง 6 นิ้ว ความหนาในช่วง 0.1 ถึง 0.5 มิลลิเมตรโดยแถบโลหะมีส่วนผสมของธาตุ Cu เป็นธาตุหลัก และ Zn เป็นธาตุรอง ดังผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุชนิดสปาร์ค (spark emission spectrometer) ของ Spectro LAB รุ่น M7 ได้ปริมาณสัดส่วนของโลหะผสมดังนี้ Cu = 67.34 % และ Zn = 32.22 % ที่เหลือเป็นธาตุอื่น ๆ (ดังผลวิเคราะห์ในภาคผนวก ง.)

#### 3.2 การพัฒนาเครื่องวัดความหนาของแผ่นโลหะสำหรับควบคุมเครื่องรีดโลหะ

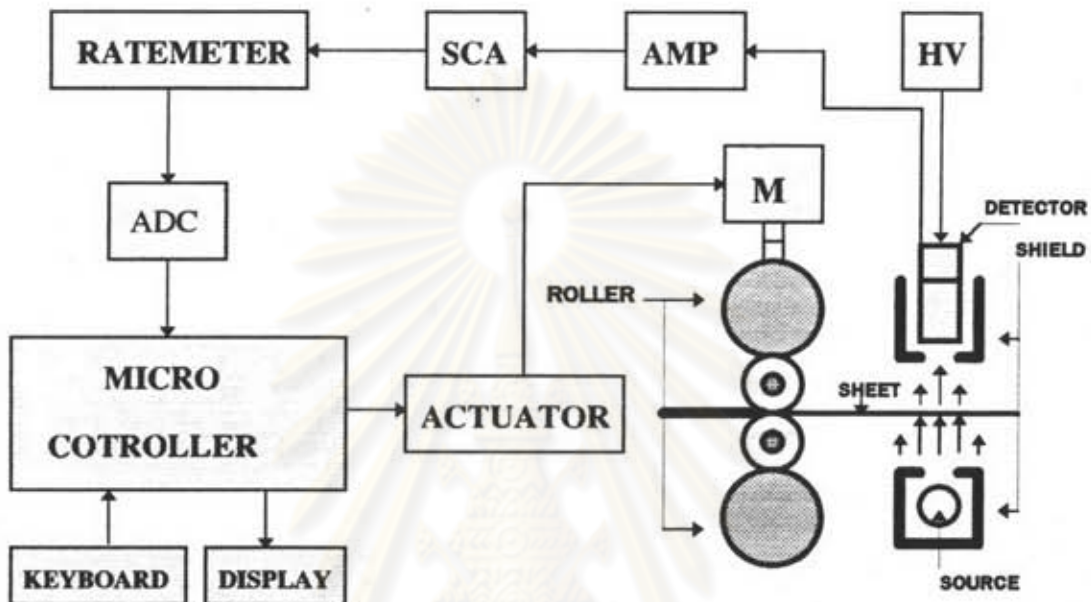
จากข้อมูลพื้นฐานของเครื่องรีดโลหะในข้อ 3.1 ผนวกกับการศึกษาด้านเทคนิคในการออกแบบระบบวัดและควบคุม สามารถกำหนดแนวทางในการปรับสมรรถนะของเครื่องรีดโลหะแบบรีดเย็นให้เป็นระบบควบคุมความหนาอัตโนมัติได้ดังนี้

ก. ติดตั้งอุปกรณ์วัดความหนาเพิ่มเติมเข้าไปกับเครื่องรีดแถบโลหะโดยใช้เทคนิคการวัดแบบส่งผ่านรังสีแกมมาด้านทางออกของแผ่นโลหะรีดเย็น

ข. เชื่อมโยงระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ เข้ากับระบบสกรูดาวนลูกรีดผ่านทางสวิทช์ควบคุมซึ่งเดิมใช้คนงานควบคุมอยู่ เพื่อให้ระบบเดิมสามารถวัดและควบคุมความหนาได้ต่อเนื่อง

ค. ประยุกต์ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของระบบอิเล็กทรอนิกส์โดยออกแบบโปรแกรมสนับสนุนการทำงานเพื่อลดความซับซ้อนของวงจรอิเล็กทรอนิกส์

จากแนวความคิดในการจัดอุปกรณ์วัดและควบคุมเพิ่มเติมเข้าไปในระบบเดิมสามารถออกแบบโครงสร้างของระบบวัดและควบคุมความหนาของแผ่นโลหะแบบรีดเย็นได้ดังแผนภาพรูปที่ 1



รูปที่ 3.1 แผนภาพการทำงานของระบบวัดและควบคุมความหนาของแผ่นโลหะ

โครงสร้างของระบบวัดและควบคุมความหนาประกอบด้วยส่วนสำคัญต่างๆ 5 ส่วน ดังนี้

1. อุปกรณ์วัดรังสีส่วนหน้า (radiation source and detector) ได้แก่ ต้นกำเนิดรังสีแกมมาบรรจุภายในภาชนะกำบังรังสี ซึ่งบังคับลำรังสีให้มีช่องทางออกขนาด 2.5 มิลลิเมตร และหัววัดรังสีแกมมาซึ่งเปิดช่องรับลำรังสีขนาด 6 มิลลิเมตร
2. ระบบวัดปริมาณรังสี (measuring system) ประกอบด้วยวงจรย่อย ๆ ได้แก่ แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง วงจรขยายสัญญาณพัลส์ วงจรวิเคราะห์พลังงานแบบช่องเดียวและเรตมิเตอร์
3. ระบบเชื่อมโยงสัญญาณวัด (data interface) ได้แก่ วงจรเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขและวงจรควบคุมสัญญาณลอจิก
4. ระบบประมวลผลข้อมูลวัด (data processing) ที่ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
5. ระบบควบคุมกลไกการรีดโลหะ (actuator) ได้แก่ วงจรขับรีเลย์ และวงจรแสดงทิศทางของระบบสกรูควาน์



จากแผนภาพรูปที่ 3.1 เครื่องวัดและควบคุมความหนาของแผ่นโลหะแบบรีดเย็นมีการทำงานของระบบตามขั้นตอนดังนี้

1. อุปกรณ์วัดส่วนหน้าซึ่งประกอบด้วยต้นกำเนิดรังสีเบตาอยู่ในภาชนะกำบังรังสีที่บังคับลำรังสีให้ออกเฉพาะทิศทางที่ต้องการ และหัววัดรังสีแบบเรอริงส์จัดรูปแบบการวัดแบบส่งผ่านรังสี (transmission geometry) เมื่อหัววัดรังสีได้รับไบอัสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงที่เหมาะสมจะเกิดกระบวนการวัดรังสีที่ตกกระทบหัววัดรังสีโดยรังสีจะทำอันตรกิริยากับผลึกเรอริงส์ (scintillator) เกิดประกายแสงที่มีความสว่างเป็นสัดส่วนกับพลังงานของรังสี ปริมาณแสงที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ และได้รับการทวีปริมาณอิเล็กทรอนิกส์ด้วยหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (PMT) เกิดเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีความสูงเป็นสัดส่วนกับระดับพลังงานของรังสีส่งไปวัดปริมาณรังสีในระบบวัดรังสี

2. ระบบวัดปริมาณรังสี จะทำหน้าที่รับสัญญาณพัลส์จากอุปกรณ์วัดส่วนหน้ามาขยายให้ได้สัญญาณที่มีอัตราส่วนของสัญญาณพัลส์สูงกว่าสัญญาณรบกวน (S/N) ด้วยการขยายพร้อมการแต่งรูปสัญญาณในวงจรขยายสัญญาณพัลส์ สัญญาณพัลส์ที่มีขนาดความสูงของพัลส์เป็นสัดส่วนกับระดับพลังงาน จะได้รับการวิเคราะห์พลังงานด้วยวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ซึ่งตั้งค่าศักดาไฟฟ้าอ้างอิงของช่องวิเคราะห์พลังงานไว้เฉพาะค่าที่ต้องการ สัญญาณลอจิกที่ผ่านออกมาจากช่องวิเคราะห์พลังงานจะถูกนับอัตราพัลส์ด้วยวงจรถมิตเตอร์ ในรูปของศักดาไฟฟ้าเฉลี่ยเทียบเท่ากับอัตรานับรังสีซึ่งแปรผันตามความหนา

3. ระบบเชื่อมโยงสัญญาณวัดจะมีระบบแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข ทำหน้าที่แปลงศักดาไฟฟ้าจากเรตมิเตอร์ให้เป็นข้อมูลเชิงตัวเลขของปริมาณรังสีส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทางพอร์ตขาเข้า (input port) เพื่อทำการประมวลผลข้อมูลวัดปริมาณรังสี

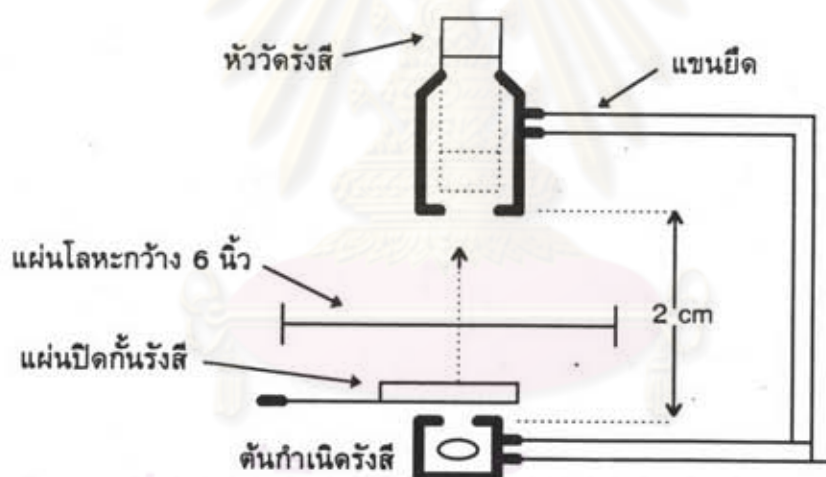
4. ระบบประมวลผลข้อมูลวัด ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่ควบคุมการอ่านข้อมูล การคำนวณค่าความหนา และเปรียบเทียบผลการวัดความหนาจากระบบวัดรังสีกับค่าความหนาอ้างอิง และส่งสัญญาณปรับแก้ระยะสกรูดาวนให้กับอุปกรณ์กำลังของเครื่องรีดโลหะ

5. ระบบควบคุมกลไกการรีดโลหะจะทำหน้าที่ควบคุมระบบสกรูดาวนโดยรับสัญญาณปรับแก้ทิศทางจากการติดต่อของหน้าสัมผัสรีเลย์ซึ่งเชื่อมโยงกับสวิทช์ควบคุมเดิมที่ใช้คนงานควบคุม เมื่อมีการตรวจวัดพบความคลาดเคลื่อนของความหนา

### 3.3 การออกแบบระบบวัดและควบคุมความหนา

#### 3.3.1 ต้นกำเนิดรังสีและหัววัดรังสี

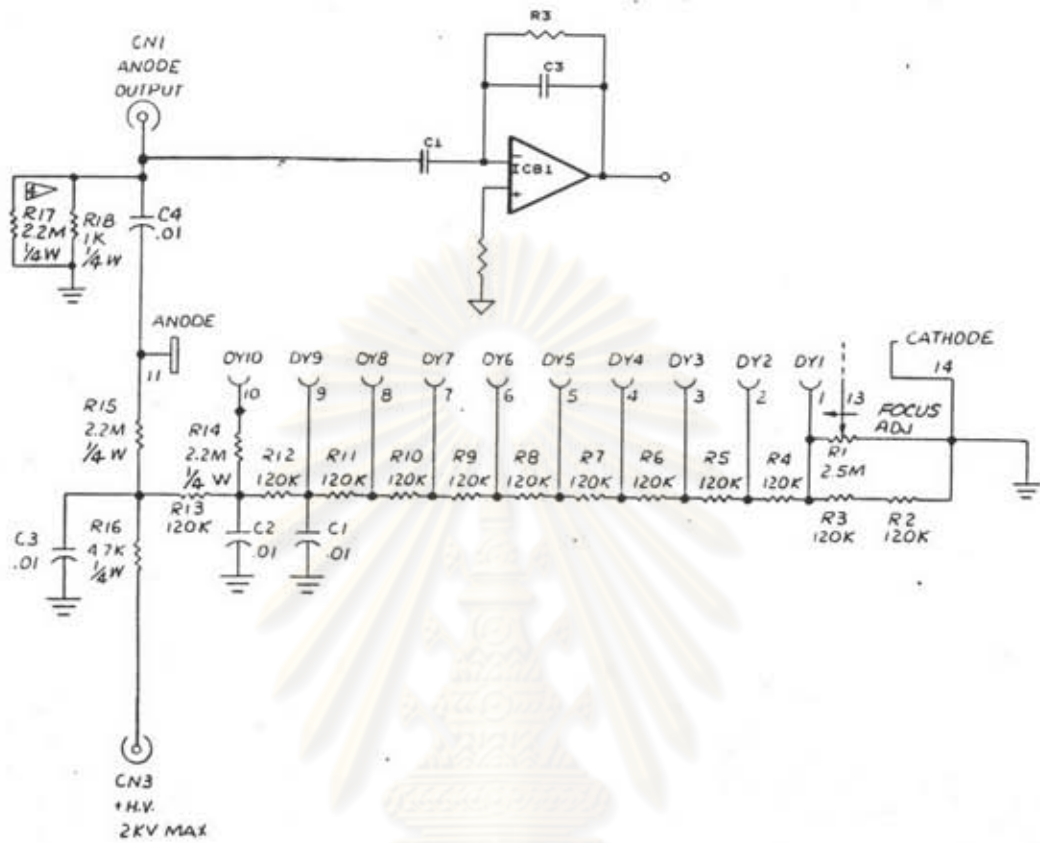
งานวิจัยนี้เลือกใช้ต้นกำเนิดรังสีอะเมริเซียม-241 ซึ่งให้รังสีแกมมาพลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ความแรงรังสี  $3.7 \times 10^9$  เบคเคอเรล และหัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ขนาด  $1" \times 1"$  จัดรูปแบบการวัดแบบส่งผ่านรังสีโดยยึดบนแขนวัดรูปตัว "C" ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ต้นกำเนิดรังสีบรรจุในภาชนะกำบังรังสีทำด้วยทองเหลือง เจาะช่องบังคับลำรังสีทางออกขนาด 2.5 มิลลิเมตร ในขณะที่หัววัดรังสีกำบังรังสีด้วยตะกั่วหนา 5 มิลลิเมตร และเจาะช่องรับรังสีขนาด 6 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างแผ่นหน้าของหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสีห่างกัน 2 เซนติเมตร ที่ช่องทางออกของลำรังสีออกแบบแผ่นปิดกันรังสี (shutter) ขณะที่ไม่ใช้งาน ให้ผู้ใช้งานสามารถเลื่อนเข้า-ออกได้



รูปที่ 3.2 การติดตั้งหัววัดและต้นกำเนิดรังสี

จากการทดลองวัดค่าสัมประสิทธิ์การลดทอนปริมาณรังสีของแผ่นทองเหลืองที่ผลิตจากเครื่องรีดโลหะที่พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ พบว่ามีค่า  $\mu = 1.209^{-1} \text{ mm}$  เมื่อคำนวณหาพลังงานที่เหมาะสมตามสมการที่ 33 และ 34 จะได้  $\mu x$  จะอยู่ในช่วง 0.2-0.6 ซึ่งต่ำกว่าช่วงการใช้งานตามทฤษฎี แต่เนื่องจากอะเมริเซียมมีครึ่งชีวิตยาวจึงเลือกใช้ต้นกำเนิดรังสีในการวิจัยนี้

หัววัดรังสีโซเดียมไอโอไดด์ (ทัลเลียม) ใช้หลอดทริคูแอนอิเล็กตรอนของ RCA เบอร์ 6432 ซึ่งมีโฟโตแคโทดแบบ S-11 และมีอัตราขยาย  $0.55 \times 10^6$  เท่าที่ศักดาไฟฟ้าสูง 1.5 kV จัดวงจรของฐานหลอด ดังในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 วงจรของฐานหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน

จากคุณสมบัติของหลอดทวีคูณอิเล็กตรอนสามารถคำนวณขนาดของสัญญาณพัลส์ที่พลังงาน 60 กิโลอิเล็กตรอนโวลต์ ได้จาก<sup>(5)</sup>

$$V_c = \frac{Q_o}{c_i} \dots\dots\dots(1)$$

$$Q_o = \frac{E}{70} \times P_{ceff} \times P/Pa \times G \times q \dots\dots\dots(2)$$

- เมื่อ  $Q_o$  คือ ปริมาณประจุที่วัดได้ coulomb
- $E$  คือ พลังงานของรังสีที่ตกกระทบหัววัดรังสี eV
- $P/Pa$  คือ ประสิทธิภาพของผลึกวัดเทียบกับผลึกแอนทราซีน
- $G$  คือ อัตราขยายของหลอดทวีคูณอิเล็กตรอน
- $q$  คือ ประจุอิเล็กตรอน  $1.6 \times 10^{-19}$  coulomb



$P_{cell}$  คือ ประสิทธิภาพโฟโตคาโทด (10%)

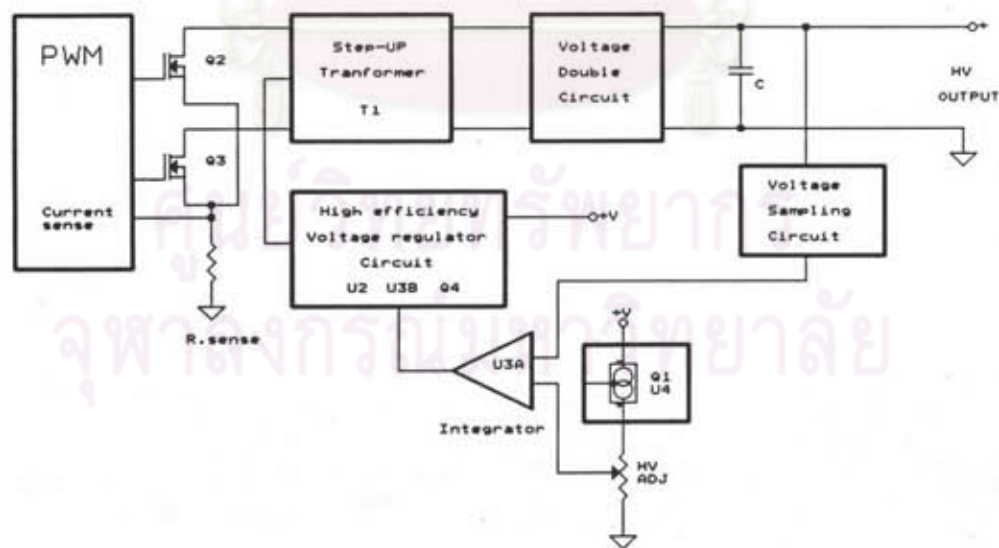
$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น } Q_0 &= \frac{60 \times 10^3}{70} \times 0.1 \times 2.4 \times 0.55 \times 10^6 \times 1.6 \times 10^{-19} \\ &= 1.81 \times 10^{-11} \text{ coulomb} \end{aligned}$$

จากวงจรในรูปที่ 3.3 ประจุที่เกิดจากหัววัดรังสีเกิดบนคาปาซิเตอร์ C3 มีค่า 33 pF ดังนั้นพัลส์ศักดาไฟฟ้าที่พลังงาน 60 keV และศักดาไฟฟ้าสูงที่ไบอัสหัววัดรังสีเท่ากับ 1500 โวลต์ มีค่า

$$V = \frac{Q_0}{c} = \frac{1.81 \times 10^{-11}}{33 \times 10^{-12}} = 0.548 \text{ V}$$

### 3.3.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าคักดาสูง

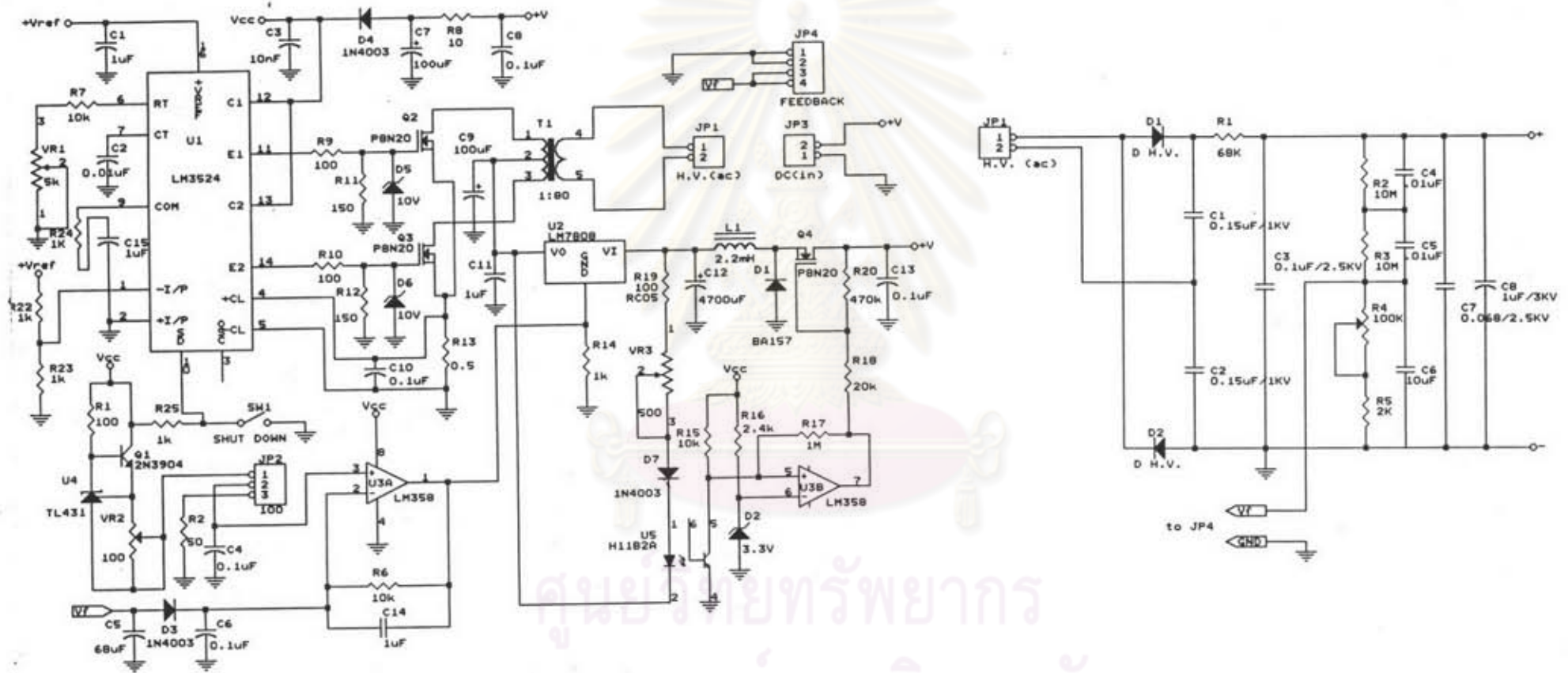
แหล่งจ่ายไฟฟ้าคักดาสูงใช้สำหรับจ่ายให้กับหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ของหัววัดรังสีออกแบบให้จ่ายกระแสได้ถึง 1.2 มิลลิแอมป์ ที่ 1200 โวลต์ ดังแสดงในแผนภาพการทำงานของวงจรรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แผนภาพการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้าคักดาสูง

จากแผนภาพในรูปที่ 3.4 ได้นำมาออกแบบวงจรดังในรูปที่ 3.5 โดยเลือกใช้ไอซี LM3524 (Pulse Width Modulation, PWM) U1 ในการสร้างสัญญาณพัลส์ความถี่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ เพื่อควบคุม MOS-FET<sup>(6)</sup> Q2 และ Q3 (P8N20) ให้ขับหม้อแปลงไฟฟ้าแบบพุก-พุล ในลักษณะความกว้างของพัลส์คงที่เพื่อลดปัญหาเรื่องการกระเพื่อมของศักดาไฟฟ้าสูง และมี Rsense (R13) ทำหน้าที่ป้องกันการขับกระแสเกินความจำเป็น ในส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า T1 ใช้แกนเฟอร์ไรท์<sup>(7)</sup> ออกแบบหม้อแปลงให้ทำงานแบบสเต็ปอัพ (step up) มีอัตรารอบ 1 : 80 และใช้วงจรทวิตักดาแบบเต็มคลื่น 2 เท่า ประกอบด้วย D1, D2, D3 และ C2 ทวิตักดาไฟฟ้าสูงและกรองกระแสอีกครั้งด้วย R1 และ C3 ขนาดความจุ 1 ไมโครฟารัด เพื่อลดศักดาแรงลอคคลื่นให้ต่ำกว่า 10 มิลลิโวลต์ การป้องกันกลับของศักดาไฟฟ้าเพื่อควบคุมการกำเนิดศักดาไฟฟ้าทางออกให้คงที่ ใช้วงจรสุมศักดาไฟฟ้าแบบแบ่งแรงดัน โดยสัญญาณนี้จะนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ตั้งไว้ด้วยตัวต้านทาน VR<sub>2</sub> (HV ADJ.) ผ่านวงจรอินทิเกรเตอร์เพื่อขับวงจรโวลเตจเรกูเรเตอร์ชนิดประสิทธิภาพสูงแบบสวิตซิง<sup>(8,9,10)</sup> ซึ่งประกอบด้วย U2, U3B, U5, C12, L1, Q4, D1 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงนี้ทำงานด้วยศักดาไฟฟ้าทางเข้า 18 โวลต์ และมีวงจรตัดการทำงานของแหล่งจ่ายไฟฟ้า เมื่อเกิดความผิดพลาดในการปรับไบอัส หรือเกิดความผิดปกติในการทำงานของวงจรไบอัสที่ SW1 (shutdown switch)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



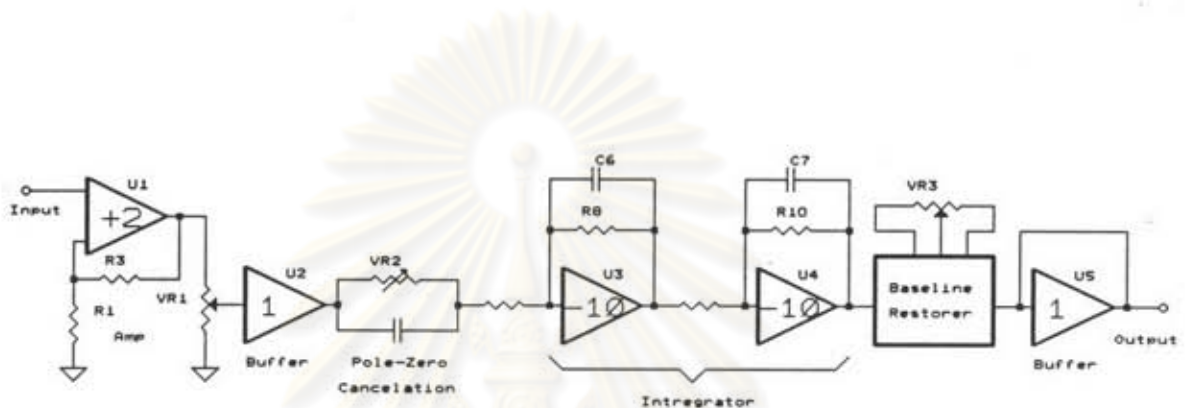
ศูนย์วิทยุพยากรณ์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าคักดาสสูง



### 3.3.3 วงจรขยายสัญญาณพัลส์

วงจรขยายสัญญาณพัลส์ทำหน้าที่ขยายและปรับแต่งรูปสัญญาณพัลส์จากหัววัดรังสีให้เหมาะสมกับการใช้งานในส่วนวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดียว มีแผนภาพการทำงานดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนภาพการทำงานของวงจรขยายสัญญาณพัลส์

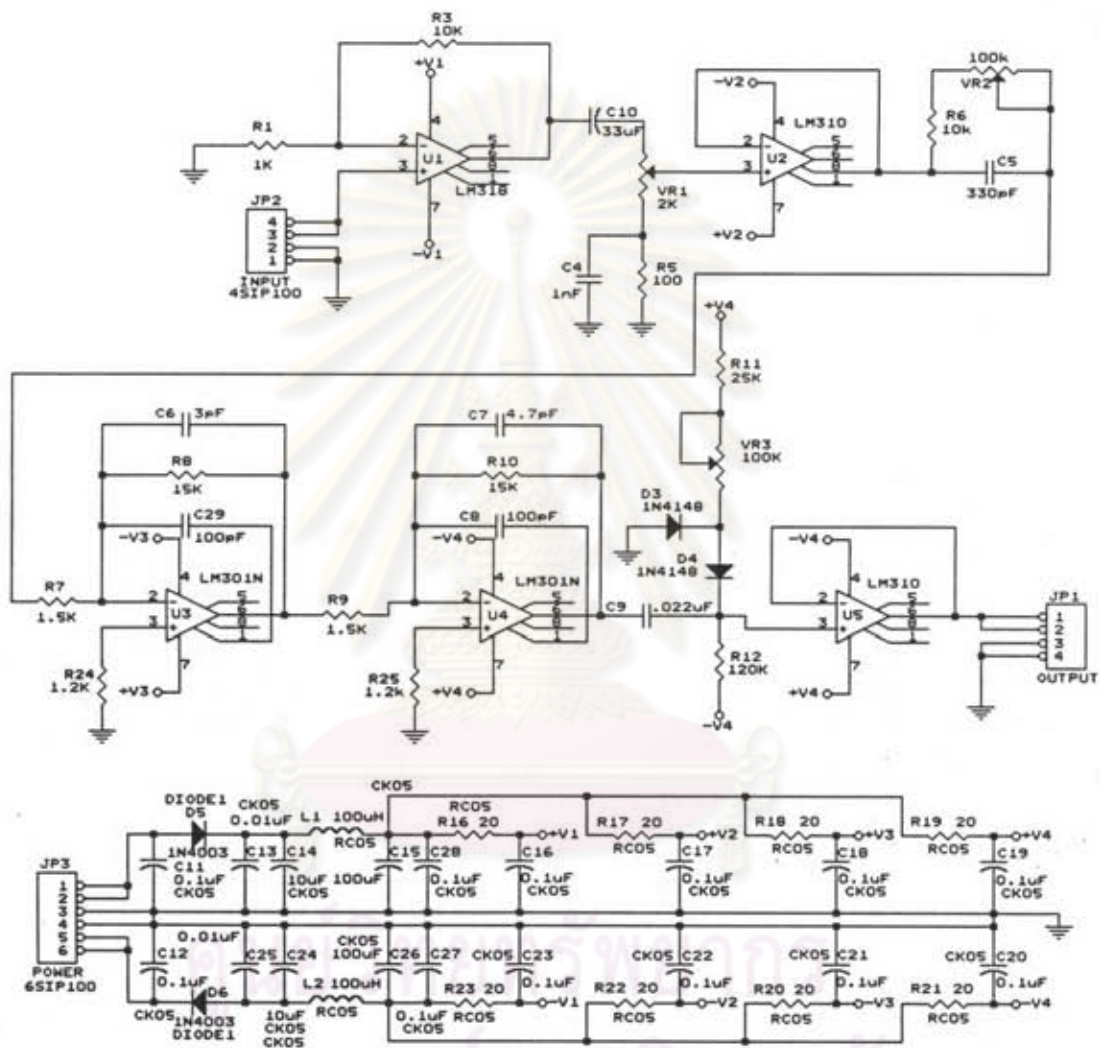
จากแผนภาพในรูปที่ 3.6 สามารถออกแบบวงจรขยายสัญญาณพัลส์ในรูปที่ 3.7 โดย U1 เป็นวงจรขยายส่วนหน้าจัดการทำงานแบบนอนอินเวตติงรับสัญญาณพัลส์บวกโดยมี  $R_3$  และ  $R_1$  เป็นวงจรป้อนกลับและใช้คาปาซิเตอร์  $C_1$  คัปปลิงสัญญาณจากหัววัดรังสีมายังขานอนอินเวตติงทางออกสัญญาณของ U1 เป็นพัลส์บวกมีรูปร่างเป็นเอ็กซ์โพเนนเชียลที่มีค่าคงตัวเวลาการสลายตัวเท่ากับ 10.89 ไมโครวินาที

สัญญาณที่ได้จากวงจรถ่ายส่วนหน้าสามารถลดทอนความสูงของสัญญาณได้ถึง 20:1 เท่าโดยการปรับ VR2 U2 ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ระหว่างวงจรถ่ายส่วนหน้ากับวงจรลบลงโพล-ซีโร (pole-zero cancellation) ที่มีค่าคงตัวเวลา 0.473 ไมโครวินาทีเพื่อลดอันเดอร์ชูท (undershoot)

วงจรถ่ายหลักทั้งสองวงจร (U3, U4) จัดรูปวงจรแบบอินเวตติงอินทิเกรเตอร์ ซึ่งแต่ละวงจรมีอัตราขยาย 10 เท่า วงจรถ่ายแรก(U3) มีค่าคงตัวเวลา 0.075 ไมโครวินาที ( $5 \text{ pF} \times 15 \text{ k}\Omega$ ) และวงจรถ่ายวงจรที่สอง (U4) มีค่าคงตัวเวลา 0.705 ไมโครวินาที ( $47 \text{ pF} \times 15 \text{ k}\Omega$ ) ทำให้ได้สัญญาณพัลส์ทางออกของ U4 มีรูปร่างสัญญาณแบบยูนิโพลาร์ มีความกว้างประมาณ 1.0 ไมโครวินาที ซึ่งการตอบสนองสัญญาณทางออกสามารถวิเคราะห์ได้ตั้งในภาคผนวก ก.

วงจรปรับเบสไลน์กลับสู่ศูนย์ (baseline restorer)<sup>(4)</sup> เนื่องจากสัญญาณพัลส์ที่ออกจาก U4 อาจมีตักคาไฟฟ้ากระแสตรงร่วมอยู่ด้วย ซึ่งมีผลกระทบมากในการวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ จึงจำ

เป็นต้องปรับเบสไลน์ให้กลับสู่ศูนย์ ซึ่งสามารถทำได้โดยการปรับ VR3 และเพื่อไม่ให้งจรในส่วนถัดไปมีผลกระทบด้านการโหลดสัญญาณจึงให้ U5 เป็นวงจรมัฟเฟอร์เพื่อขับวงจรภายนอก

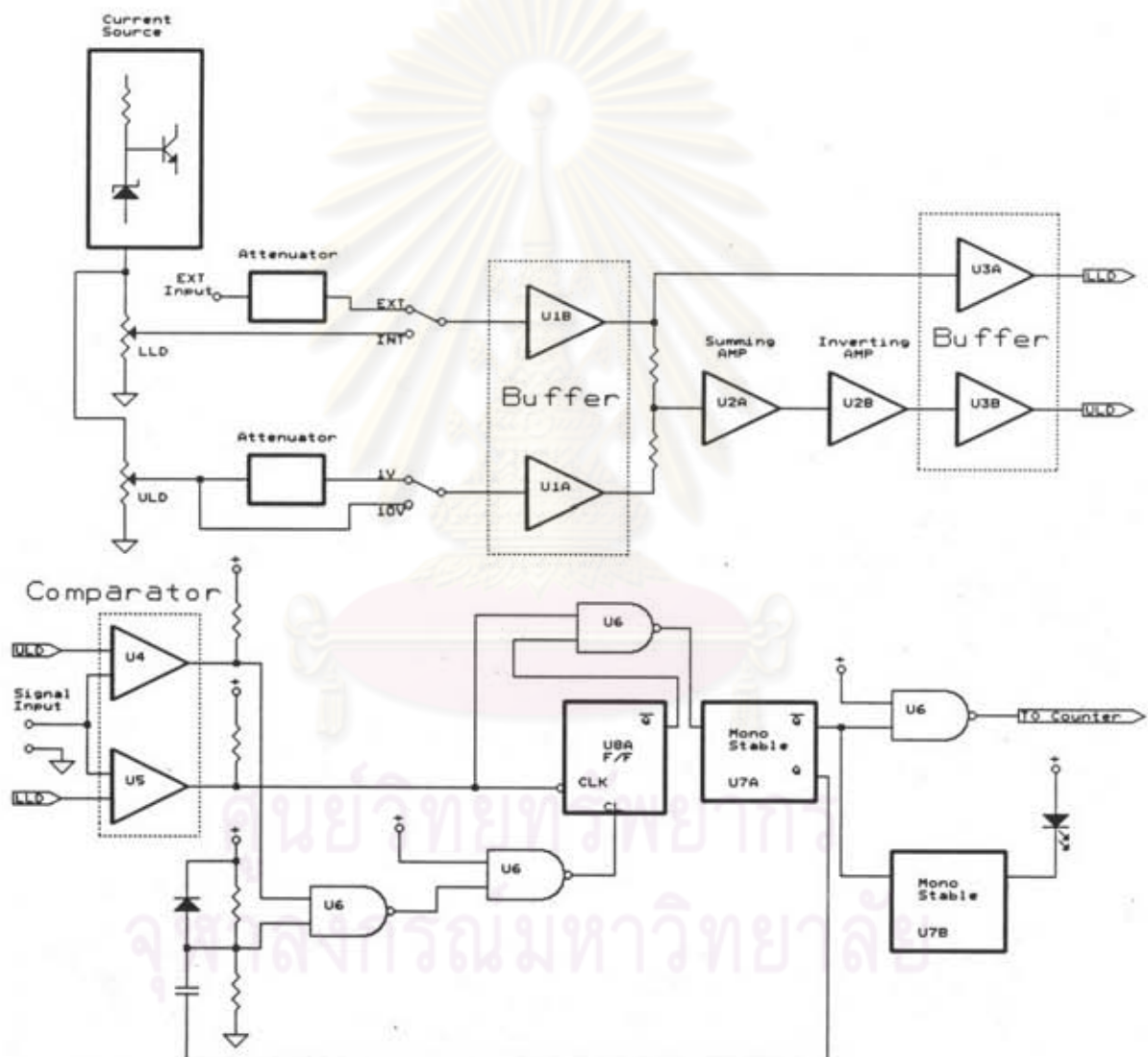


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.7 วงจรขยายสัญญาณพัลส์

### 3.3.4 วงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์แบบช่องเดี่ยว

วงจรวัดความสูงของพัลส์ (Pulse height analyzer) ทำหน้าที่วิเคราะห์ความสูงของพัลส์ที่ได้จากวงจรขยายหลักและเปลี่ยนรูปสัญญาณพัลส์นิวเคลียร์เป็นสัญญาณลอจิกพัลส์ที่มีความกว้าง 0.5 ไมโครวินาทีเพื่อป้อนให้กับวงจรเรจิสเตอร์มีแผนภาพการทำงานดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แผนภาพการทำงานของวงจรวัดความสูงของพัลส์



วงจรที่ออกแบบในรูปแบบที่ 3.9 ประกอบด้วย ไอซี U4 และ U5 เป็นวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าอ้างอิง (voltage comparator)<sup>(11)</sup> ทำหน้าที่เปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าอ้างอิงกับศักดาไฟฟ้าของสัญญาณพัลส์ที่ต้องการวิเคราะห์ โดยช่วงพลังงานที่ต้องการวิเคราะห์ถูกกำหนดด้วยศักดาไฟฟ้าอ้างอิงระดับล่าง (low level discriminator) และศักดาไฟฟ้าอ้างอิงระดับบน (upper level discriminator) ซึ่งศักดาไฟฟ้าทั้งสองนี้สามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10 โวลต์ ผลต่างของศักดาอ้างอิงในการวิเคราะห์พลังงาน เรียกว่า “ช่องวิเคราะห์พลังงาน หรือหน้าต่างพลังงาน,  $\Delta E$ ” ( $\Delta E = ULD - LLD$ )

วงจรกำเนิดศักดาไฟฟ้าอ้างอิงออกแบบให้ทำงานแบบ window mode โดยไอซี U3 และ Q1 เป็นวงจรจ่ายกระแสที่ทำให้ตัวต้านทานปรับค่าได้ VR1 และ VR2 กำเนิดศักดาอ้างอิง LLD และ  $\Delta E$  ขนาด 0 ถึง 10 โวลต์ จากผลคูณของกระแสและความต้านทานทำให้ค่าศักดาอ้างอิงเที่ยงตรงมาก ศักดาไฟฟ้าอ้างอิง  $\Delta E$  สามารถเลือกค่าเต็มสเกล 10 โวลต์ หรือศักดาลดทอน 1 โวลต์ได้ ศักดาอ้างอิงดังกล่าวจะส่งผ่านวงจรบัฟเฟอร์ U1A และ U1B เพื่อป้องกันผลกระทบของการโหลดศักดาไฟฟ้า ศักดาไฟฟ้าจาก U1B เป็นศักดาอ้างอิง LLD จะส่งไปยังวงจรบัฟเฟอร์ U3A เพื่ออ้างอิงให้กับวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าระดับล่าง U4 ในขณะที่ศักดาอ้างอิงจาก U1A จะรวมกับศักดาอ้างอิงจาก U1B ที่วงจรรวมสัญญาณ (summing amplifier)<sup>(12)</sup> แบบกลับสัญญาณทำให้ได้ศักดาอ้างอิง  $\Delta E + LLD$  หรือ ULD ส่งผ่านวงจรบัฟเฟอร์ U3B เพื่ออ้างอิงให้กับวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าระดับบน U5

การวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ในวงจรเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าเริ่มจาก สัญญาณความสูงของพัลส์ที่ต้องการวิเคราะห์ถูกป้อนให้ทางเข้าสัญญาณ (input signal) ของ U4 และ U5 ซึ่งมีศักดาไฟฟ้าอ้างอิง LLD ป้อนที่ U5 และศักดาไฟฟ้าอ้างอิง ULD ป้อนที่ U4 สภาวะที่วิเคราะห์จะเป็นดังนี้

กรณีแรกเมื่อ  $LLD \leq \text{input signal} < ULD$  ศักดาไฟฟ้าที่ทางออกสัญญาณของ U5 จะเปลี่ยนจากลอจิก “1” เป็น “0” ฟลิปฟลอป U8A จะถูกเซตให้เป็นลอจิก “1” ทำให้สัญญาณทางออกของ U6D เปลี่ยนเป็นลอจิก “0” วงจรโมโนสเตเบิล U7A ถูกกระตุ้นให้ทำงานด้วยขอบขาของ U6D ทำให้ได้สัญญาณพัลส์บวกขนาดความกว้าง 0.5 ไมโครวินาทีที่ทางออกสัญญาณของ U6A ในขณะเดียวกัน U7B ทำงานทำให้ไดโอดเปล่งแสงติดสว่างขึ้น หลังจากนั้นโมโนสเตเบิล U7A จะกลับสู่สภาวะเดิม ขา Q ของ U7A เปลี่ยนจาก “1” เป็น “0” ทำให้ฟลิปฟลอป U8A ถูกรีเซต

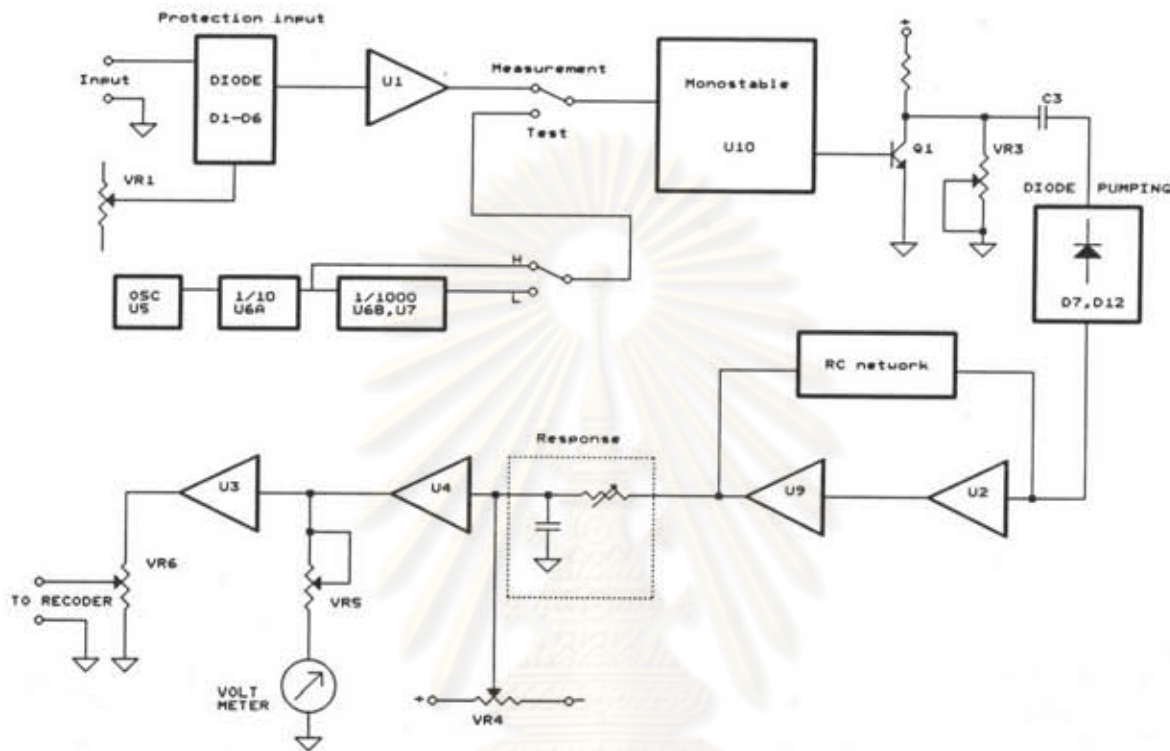
กรณีที่สอง เมื่อ  $LLD < \text{input signal} > ULD$  ในช่วงเวลาที่  $\text{input signal} \geq LLD$  ทางออกสัญญาณของ U5 จะเป็นลอจิก “0” ฟลิปฟลอป U8A ถูกเซตให้ Q เป็นลอจิก “1” และช่วงที่  $\text{input signal} \geq ULD$  ทางออกสัญญาณของ U4 เป็นลอจิก “0” ฟลิปฟลอป U8A ถูกรีเซตให้ Q เป็นลอจิก “0” ก่อนที่สัญญาณทางออกของ U5 จะเปลี่ยนจากลอจิก “0” เป็น “1” ในช่วงเวลาที่  $\text{input signal} \leq LLD$  ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่ทางออกสัญญาณของ U6D จึงไม่มีการกระตุ้นให้โมโนสเตเบิล U7A และ U7B ทำงาน ดังนั้นที่ทางออกสัญญาณของ U6A จะไม่ปรากฏสัญญาณพัลส์ออกไป

จากการทำงานที่กล่าวมาข้างต้นทั้งสองกรณี สรุปได้ว่าการทำงานของวงจรวิเคราะห์ความสูงของพัลส์ จะให้สัญญาณพัลส์ออกมาเมื่อสัญญาณพัลส์จากวงจรขยายหลักมีความสูงมากกว่าหรือเท่ากับระดับศักดาไฟฟ้าอ้างอิง LLD แต่น้อยกว่าศักดาไฟฟ้าอ้างอิง ULD และในสภาวะนอกเหนือไปจากนี้จะไม่มีการเกิดสัญญาณพัลส์ใด ๆ ปรากฏที่ทางออกสัญญาณ (SCA out)





3.3.5 วงจรเรตมิเตอร์ ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณลอจิกพัลส์เป็นค่าศักดาไฟฟ้าเฉลี่ยเพื่อใช้สำหรับอ่านค่าการวัดอัตราเฉลี่ยของพัลส์ต่อเนื่องโดยมีการทำงานดังแผนภาพรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผนภาพการทำงานของวงจรวจรเรตมิเตอร์

จากแผนภาพรูปที่ 3.10 นำมาออกแบบวงจรของเรตมิเตอร์ได้ดังรูปที่ 3.11 ขบวนการสัญญาณพัลส์ที่ป้อนเข้าที่ทางเข้าสัญญาณของวงจรวจรเรตมิเตอร์ ผ่านวงจรป้องกันทางด้านทางเข้าสัญญาณ ซึ่งจัดไว้เพื่อป้องกันการกลับขั้วและความสูงของสัญญาณพัลส์ที่เกินกว่ากำหนด อันจะเป็นอันตรายต่อไอซี U1 ประกอบด้วย ไดโอด D1-D6 มี VR1 เป็นตัวช่วยในการตัดสัญญาณรบกวนที่มาพร้อมกับขบวนการสัญญาณพัลส์ซึ่งจะช่วยให้การทำงานของวงจรมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

เพื่อความสะดวกในการใช้งานได้ออกแบบวงจรถูกกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่มีค่าความถี่ต่ำและสูงที่ 100 เฮิรตซ์ (L) และ 100 กิโลเฮิรตซ์ (H) เพื่อใช้ในการตรวจสอบการทำงานของวงจรวจรเรตมิเตอร์เองโดยความถี่ 100 เฮิรตซ์ใช้สำหรับสเกลที่อัตรานับต่ำและความถี่ 100 กิโลเฮิรตซ์สำหรับสเกลอัตรานับสูง ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องกำเนิดสัญญาณพัลส์จากภายนอกมาทำการทดสอบการทำงานของวงจรวจรเรตมิเตอร์

วงจรมอนอสเตเบิล (U10) ทำหน้าที่รักษาความกว้างของพัลส์ให้คงที่ที่ 4.0 ไมโครวินาทีเพื่อป้อนต่อไปที่ Q1 โดยความสูงของพัลส์ถูกกำหนดโดย VR3 ที่จะถูกส่งผ่านไปยัง C3 และวงจรถูกปั๊ม (diode pump)



วงจรกำเนิดสัญญาณขั้นบันได (staircase generator) ประกอบด้วยการทำงานร่วมกันของคาปาซิเตอร์ C3 ไดโอด D7, D12 ไอซี U2 U9 และ วงจร RC การทำงานเริ่มจากขบวนของสัญญาณพัลส์ ( $V_i$ ) ที่มีขนาดความกว้างและความสูงคงที่ถูกป้อนไปยังคาปาซิเตอร์ C3 และเข้าสู่วงจรไดโอดบีมป์ (D7, D12) ที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณพัลส์ไดโอด D12 นำกระแส C3 อัดประจุจนมีศักดาไฟฟ้าเท่าสัญญาณพัลส์ที่ป้อนเข้ามาและที่ขอบขาลงของสัญญาณพัลส์ D12 ได้รับไบอัสกลับ D7 นำกระแส C3 คายประจุไปยังวงจร RC ( $Q = C3 V_i$ ) เมื่อวงจร RC อัดประจุเรียบร้อยแล้วจะได้ศักดาไฟฟ้าที่ทางออกสัญญาณของ U9 ดังนี้ (ดังรายละเอียดจากวงจรในรูป 3.11)

$$\delta V_o = \frac{Q_f}{C_f} = \frac{Q_i}{C_f} = V_i \frac{C_3}{C_f} \dots\dots\dots(3)$$

$R_f C_f$  คือ ค่าคงที่เวลาในวงจร RC

ในการทำงานของวงจร RC  $R_f$  และ  $C_f$  ต่อขนานกันทำให้ประจุบน  $C_f$  ถูกคายประจุตลอดเวลาด้วย  $R_f$  ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่าน  $R_f$  (if) จะมีค่าเท่ากับประจุทางอินพุตหารด้วยเวลา ( $Q/t$ ) ค่าของ  $V_o$  จะคำนวณได้ดังนี้

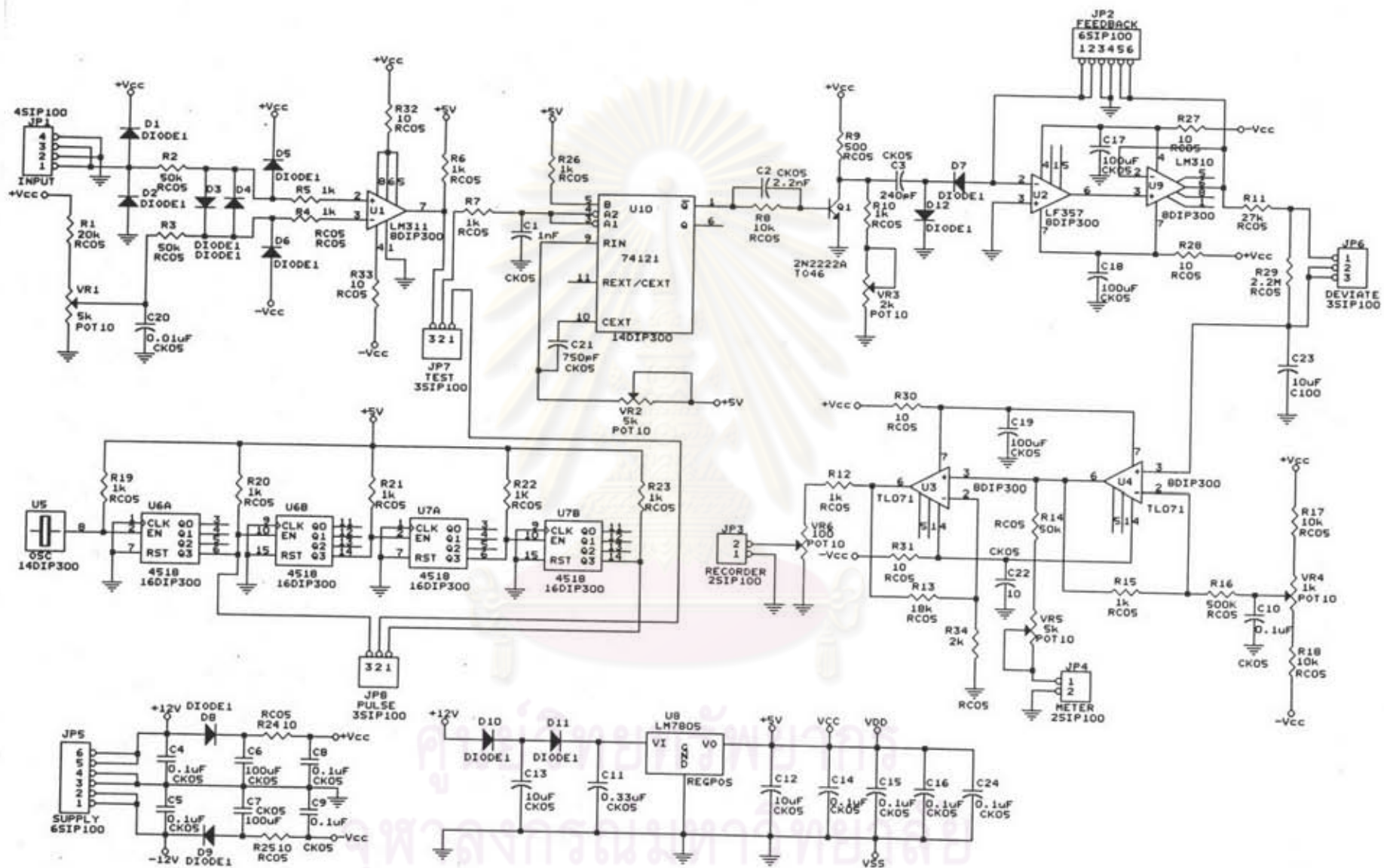
$$V_o = i_f R_f = V_i C_f \text{ fin } R_f \dots\dots\dots(4)$$

fin คือ ความถี่ของขบวนพัลส์ที่ป้อนให้กับ C3

ถ้าค่าของ  $V_i$  มีขนาดความกว้างและความสูงของสัญญาณคงที่  $V_o$  จะแปรผันตามความถี่ fin

จากวงจรกำเนิดสัญญาณขั้นบันไดสัญญาณเอาพุตที่ได้ถูกส่งต่อไปยังวงจรเลือกค่าคงที่เวลาเพื่อปรับเวลาการตอบสนองการเฉลี่ยค่า  $V_o$  ซึ่งในส่วนนี้สามารถปรับได้อย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ 0.05 ถึง 3 วินาที และสัญญาณนี้จะผ่านเข้าไปยังวงจรมอนิเตอร์อินพุตคิง (U4) เพื่อใช้แสดงผลที่มีเตอร์และต่อไปยังวงจรมอนิเตอร์อินพุตคิง (U3) เพื่อใช้สำหรับต่อกับอุปกรณ์บันทึกข้อมูลแบบ X-Y (X-Y recorder)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.11 วงจรเรดมิเตอร์

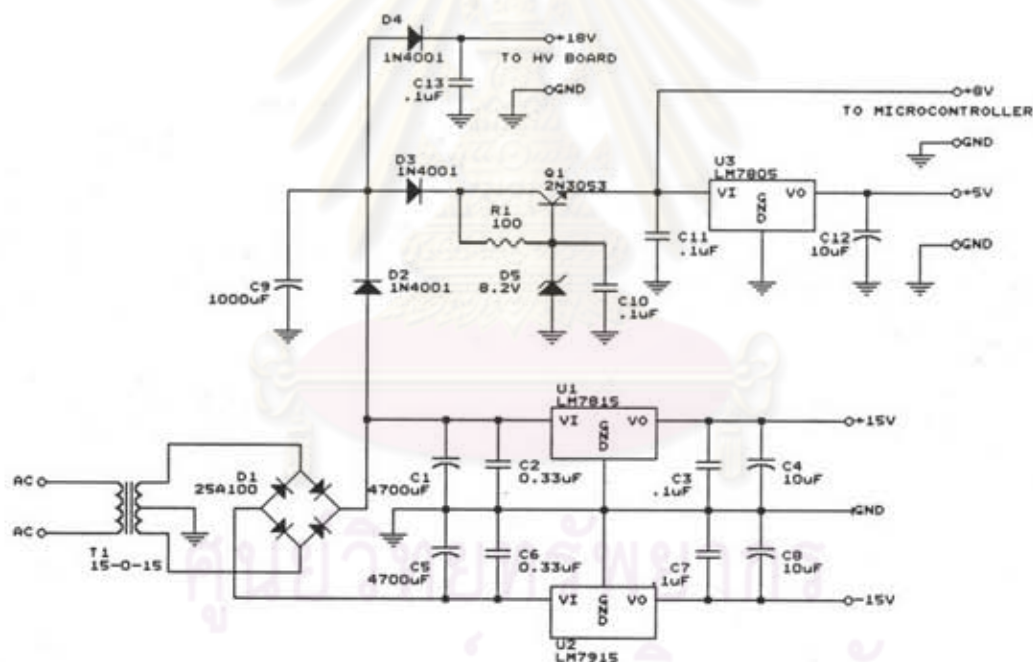




### 3.3.6 แหล่งจ่ายไฟฟ้าคัดต่ำ

วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าคัดต่ำในรูปที่ 3.12 ประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 4 ชุด ดังนี้

- ก. คัดต่ำไฟฟ้า 18 โวลต์ 2 แอมแปร์สำหรับจ่ายให้วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าคัดต่ำสูง
- ข. คัดต่ำไฟฟ้า  $\pm 15$  โวลต์ 1.5 แอมแปร์ สำหรับจ่ายให้วงจรขยายสัญญาณพัลส์และวงจรที่ใช้ไอซีประเภทลีนีเยร์
- ค. คัดต่ำไฟฟ้า 5 โวลต์ 1.5 แอมแปร์ สำหรับจ่ายให้วงจรวิเคราะห์พลังงานช่องเดียวและวงจรที่ใช้ไอซีประเภท TTL
- ง. คัดต่ำไฟฟ้า 8 โวลต์ 1.0 แอมแปร์สำหรับจ่ายให้แผ่นวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.12 แหล่งจ่ายตัดต่ำไฟฟ้า

### 3.4 การออกแบบระบบประมวลผล

ระบบประมวลผลของเครื่องวัดและควบคุมความหนาซูดนี้เลือกใช้แผ่นวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ รุ่น CPAT32 ดังรายละเอียดของโครงสร้างและการใช้งานในภาคผนวก ก.3 ซึ่งมีพอร์ตเนกประสงค์สำหรับการใช้งานและสามารถต่อเชื่อมโยงกับไมโครคอมพิวเตอร์ได้โดยผ่านทางพอร์ตมาตรฐาน RS-232C โดยมีโปรแกรมใช้งาน (Utility program) ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเขียนโปรแกรมใช้งานสำหรับระบบประมวลผลที่ออกแบบขึ้นนี้มีการกำหนดตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ตทางเข้าและออกของสัญญาณวัดและควบคุมดังนี้

#### 3.4.1 รายละเอียดของการตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ต

ตำแหน่งแอดเดรสทางเข้าและออกของสัญญาณต่าง ๆ กำหนดไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ต

ชื่อและหมายเลขพอร์ต	คำอธิบาย
EXP 2 #0E08H	ไม่ได้ใช้งาน
EXP3 #0E0AH	ใช้ควบคุมการทำงานของ ACTUATOR และ ALARM
EXP4 #0E0CH	ใช้รับข้อมูลจาก ADC
LCD #0E06H	สำหรับส่วนแสดงผลแบบ LCD
EXP5 -	สำหรับใช้งานกับ keyboards

### 3.4.2 การติดต่อสัญญาณระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และระบบภายนอก

#### ก. การรับสัญญาณจากวงจร ADC (Analog to digital converter)



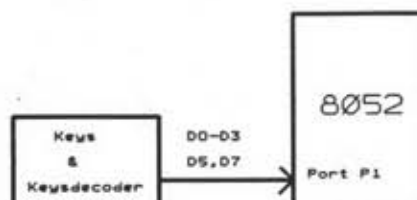
รูปที่ 3.13 แผนภาพการต่อใช้งานของพอร์ต EXP4

#### ข. การส่งสัญญาณควบคุมความหนาไปยัง ACTUATOR



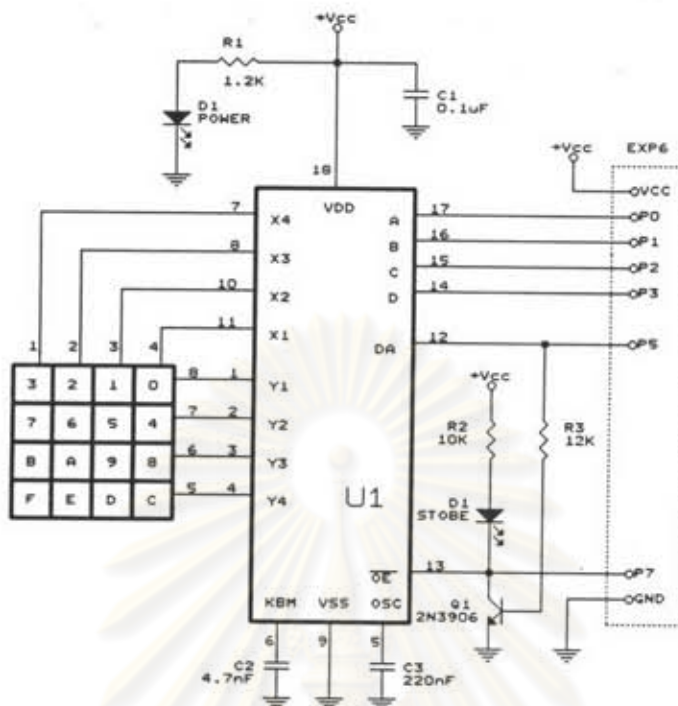
รูปที่ 3.14 แผนภาพการต่อพอร์ต EXP3 เพื่อควบคุมลูกรีด

ค. การติดต่อสื่อสารกับคีย์บอร์ด ซึ่งส่วนของคีย์บอร์ดจะถูกถอดรหัสด้วย U1 ทำให้รหัสไบนารีจากการกดคีย์ถูกเปลี่ยนเป็นรหัส BCD ซึ่งกำหนดหน้าที่คำสั่งเฉพาะงานไว้ ทำให้การติดต่อสื่อสารสะดวกและรวดเร็วขึ้น รายละเอียดของวงจรถอดรหัสคีย์บอร์ดแสดงในแผนภาพที่ 3.15 และวงจรในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.15 แผนภาพการต่อวงจรคีย์บอร์ดเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

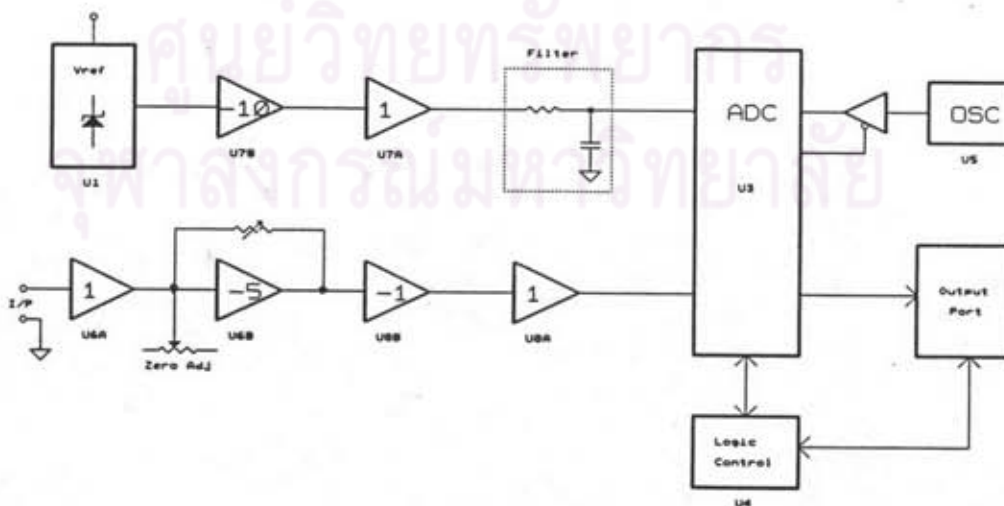




รูปที่ 3.16 วงจรถอดรหัสคีย์บอร์ด

### 3.5 การออกแบบระบบเชื่อมโยงสัญญาณ

3.5.1 ระบบเชื่อมโยงสัญญาณวัดรังสี ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอนาลอกจากวงจรเรตมิเตอร์ให้เป็นสัญญาณเชิงตัวเลขส่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลข้อมูลวัดรังสี ดังแสดงการทำงานในแผนภาพรูปที่ 3.17 และวงจรในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 แผนภาพการทำงานของวงจร ADC

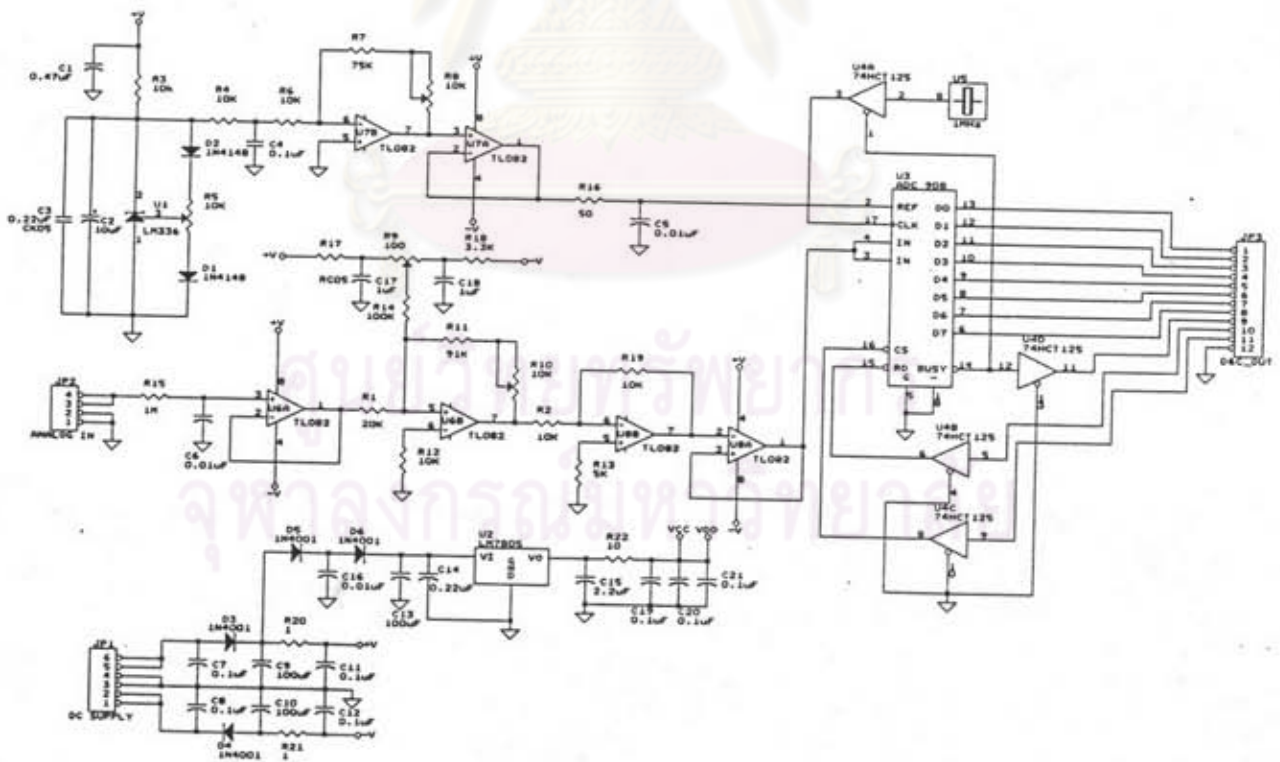
วงจรหลักในระบบเชื่อมโยงสัญญาณวัดรังสีคือวงจรแปลงสัญญาณเชิงตัวเลขประกอบด้วยวงจรสำคัญ 4 ส่วน คือ

ก. แหล่งจ่ายศักดาไฟฟ้าอ้างอิง (voltage reference) (U1, U7A, U7B) ที่ทำหน้าที่สร้างศักดาไฟฟ้าอ้างอิง -10 โวลต์ สำหรับจ่ายให้กับไอซีเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (U3) ขนาด 8 บิต ซึ่งในส่วนของวงจรมีวงจรโลพาสฟิลเตอร์ (low pass filter) เป็นส่วนป้องกันความถี่สูงที่อาจเข้าไปรบกวนการทำงานของไอซี ADC เพื่อช่วยเพิ่มเสถียรภาพการทำงานของวงจรให้ดีขึ้น

ข. วงจรปรับเปลี่ยนสัญญาณ (signal condition) ประกอบด้วยวงจรบัฟเฟอร์ (U6A) ที่ช่วยเพิ่มอินพุตอิมพีแดนซ์ให้กับวงจร วงจรปรับเปลี่ยนความชันและจุดตัดแกนศูนย์ (U6B และ U8B) ของสัญญาณทางเข้า และมี U8A เป็นบัฟเฟอร์ระหว่างวงจรปรับเปลี่ยนความชันและจุดตัดแกนศูนย์กับไอซี ADC

ค. ไอซีเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (analog to digital converter) หรือ U3 เป็นไอซีแบบ 8 บิต ที่สามารถรับสัญญาณทางเข้าเป็นอนาลอกได้ตั้งแต่ 0 ถึง 10 โวลต์ มีความเร็วในการแปลงสัญญาณสูง กล่าวคือ ใช้เวลาในการแปลงสัญญาณไม่เกิน 6 ไมโครวินาที

ง. วงจรควบคุมทางลอจิก (U4) เลือกพอร์ตเพื่อใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และเป็นตัวควบคุมสัญญาณการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.18 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณข้อมูลวัดรังสี

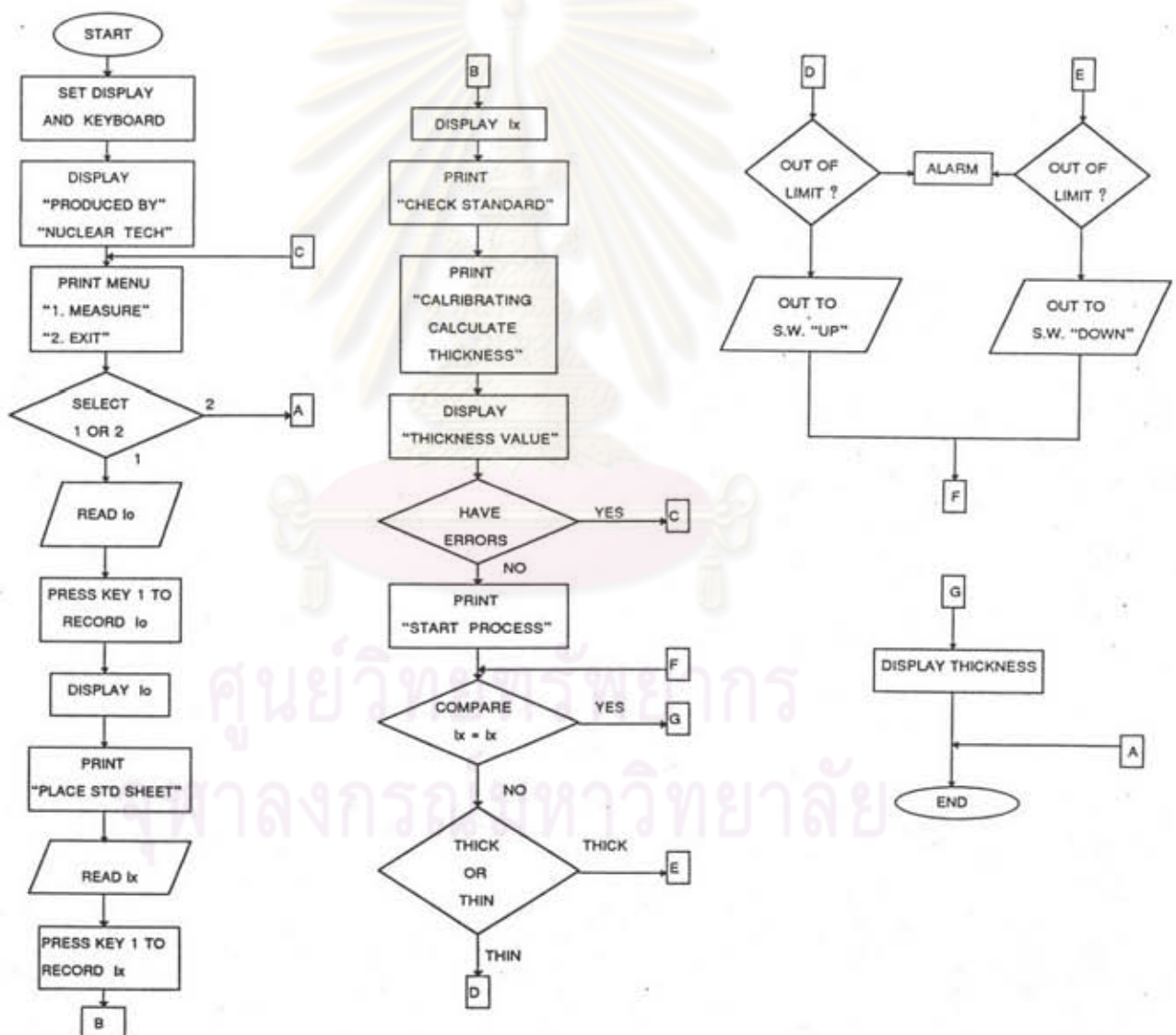




### 3.6 การออกแบบโปรแกรม

ลำดับขั้นการทำงานของระบบวัดและควบคุมความหนาของแผ่นโลหะซึ่งควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำงานด้วยโปรแกรมที่ออกแบบให้สอดคล้องกับการกำหนดสัญญาณติดต่อทางพอร์ตทางเข้าและออก ดังแสดงในไฟลชาร์ตรูปที่ 20

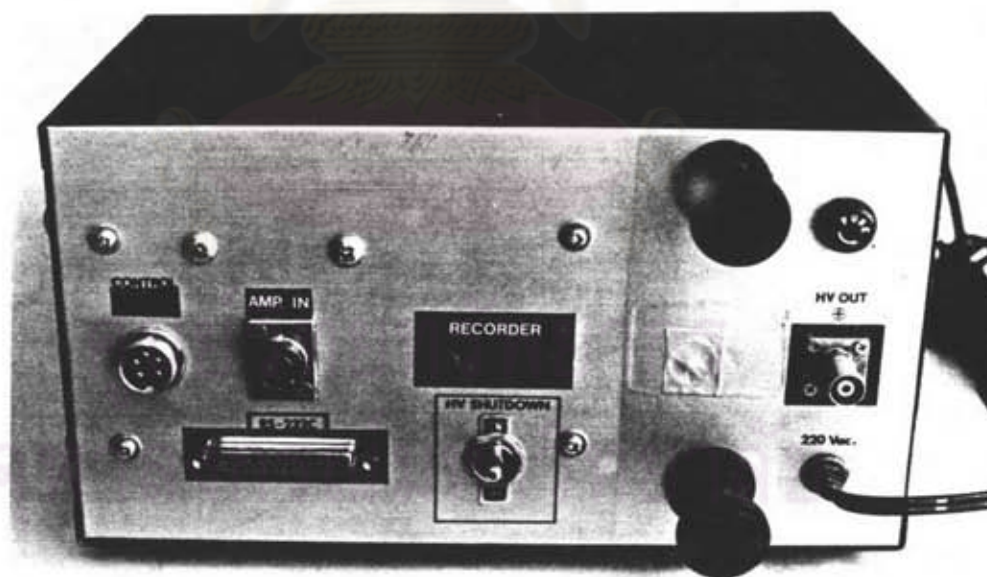
การเขียนโปรแกรมควบคุมและสนับสนุนการทำงานของระบบใช้ภาษาแอสเซมบลีและเบสิก (MCS-BASIC-52) ซึ่งทำงานบนแผ่นไมโครคอนโทรลเลอร์จากไฟลชาร์ตในรูปที่ 20 สามารถเขียนโปรแกรมของระบบและบันทึกลงหน่วยความจำถาวร (ROM) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข.



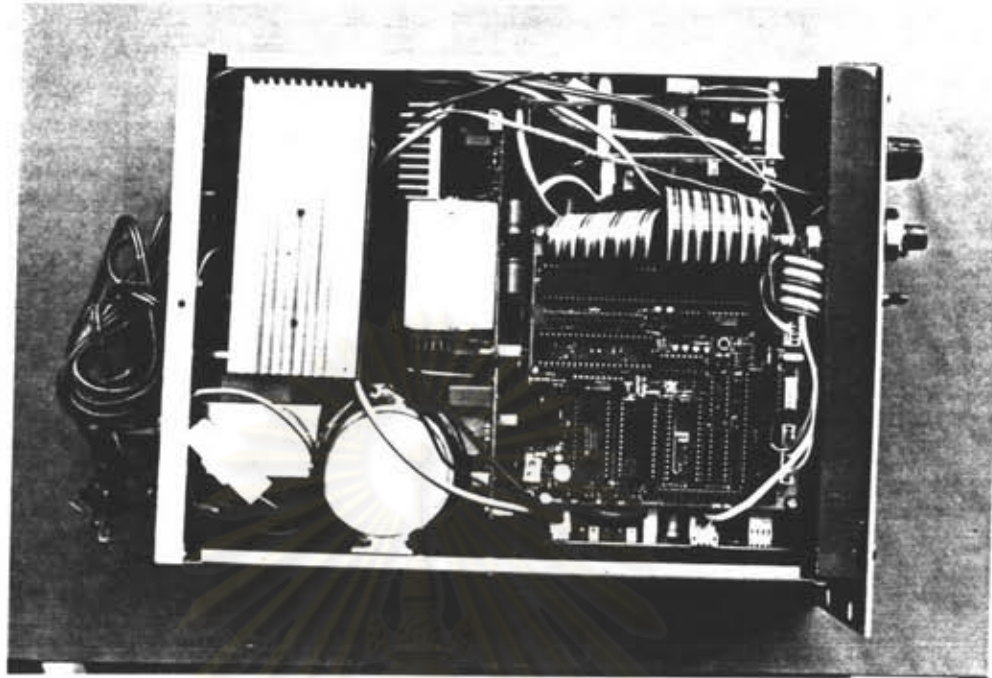
รูปที่ 3.20 ไฟลชาร์ตขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม



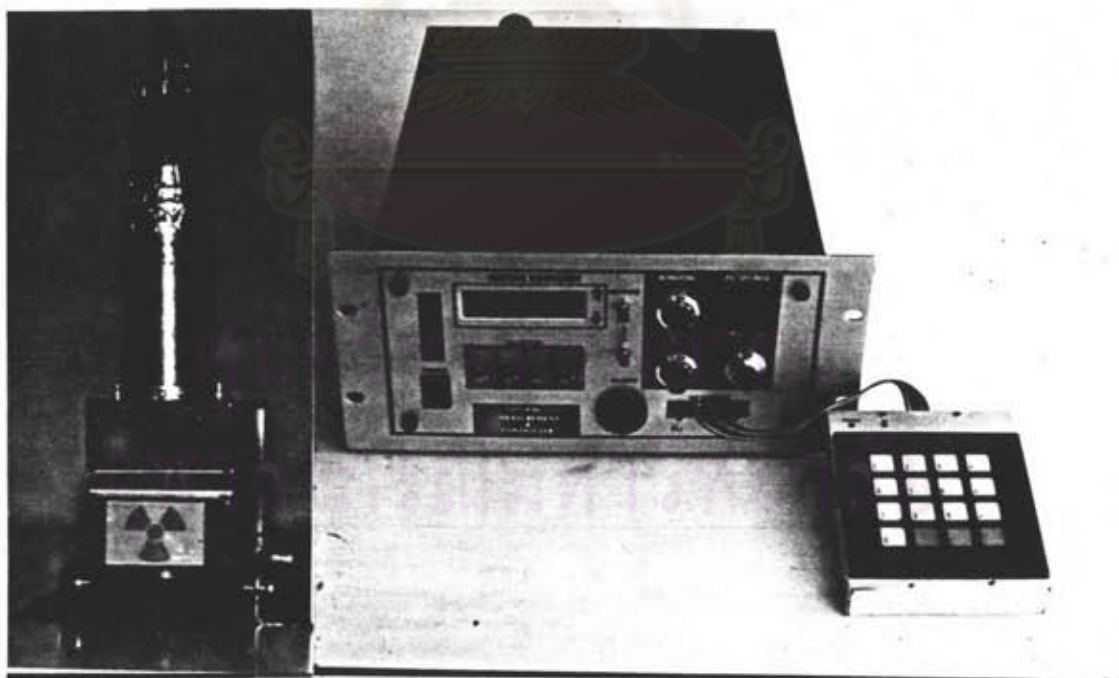
รูปที่ 3.21 ภาพถ่ายด้านหน้าของเครื่องวัดและควบคุมความหนา  
ของแผ่นโลหะที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.22 ภาพถ่ายด้านหลังของเครื่องวัดและควบคุมความหนา  
ของแผ่นโลหะที่พัฒนาขึ้น



รูปที่ 3.23 การติดตั้งอุปกรณ์และแผงวงจรภายในเครื่อง



รูปที่ 3.24 ชุดเครื่องวัดและควบคุมความหนาของแผ่นโลหะ