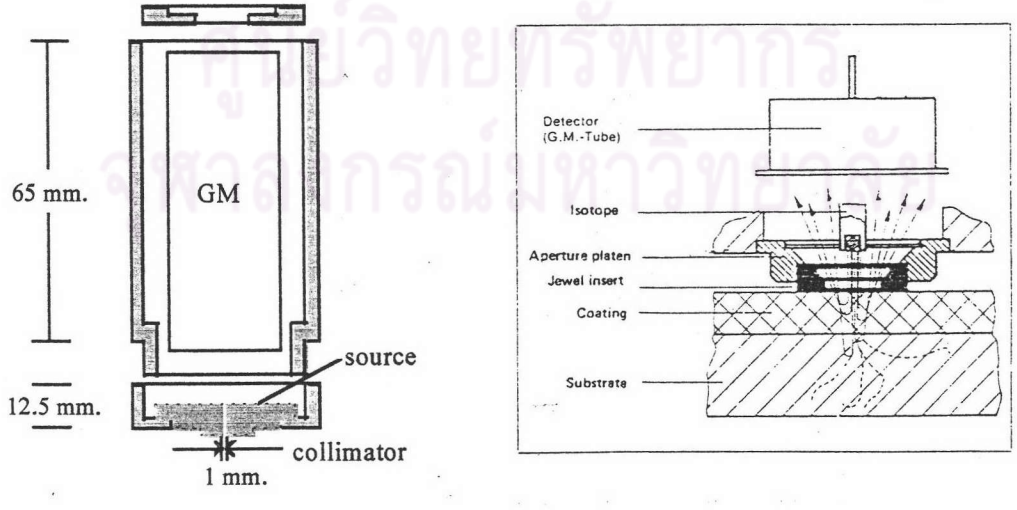
บทที่ 3

การพัฒนาระบบสแกนข้อมูลการกระเจิงกลับของรังสีบีตาเพื่อสร้างภาพสองมิติ

ระบบสแกนข้อมูลการกระเจิงกลับของรังสีบีตาเพื่อสร้างภาพสองมิตินี้ ต้องการออกแบบให้สามารถเคลื่อนย้ายไปใช้ในงานภาคสนามได้ มีความสามารถในการสร้างภาพฉายสองมิติจากอันตรกิริยากระเจิงกลับของรังสีบีตา ด้วยการนำข้อมูลเชิงตัวเลขจากการวัดความเข้มรังสีกระเจิงกลับ ณ ตำแหน่งโคออดิเนต (co-ordinate; X_n-Y_n) ไปแสดงเป็นภาพตามความละเอียดของจำนวนจุดภาพ และระดับความเปรียบต่างของรังสีกระเจิงกลับบนจอภาพโทรทัศน์

3.1 ข้อมูลพื้นฐานของระบบสแกนข้อมูลการกระเจิงกลับของรังสีเพื่อสร้างภาพสองมิติ

งานวิจัยนี้เลือกใช้ต้นกำเนิดรังสีบีตาไอโซโทป Pm-147 ซึ่งให้พลังงาน 0.223 MeV ความแรง 3.85 MBq เป็นต้นกำเนิดรังสีที่บรรจุในภาชนะที่ออกแบบไว้สำหรับวัดความหนาของผิวเคลือบโลหะของบริษัท Fisher มาประกอบกับหัววัดไกเกอร์ (Geiger-Mueller detector; GM) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร เพื่อสร้างโปรบวัดรังสีกระเจิงกลับสำหรับข้อมูลภาพสองมิติดังแสดงในแผนภาพรูปที่ 3.1 และกำหนดลักษณะเฉพาะของระบบสแกนข้อมูลภาพไว้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของโปรบวัดที่ใช้ต้นกำเนิดรังสี Pm - 147

3.1.1 ระบบสแกนเพื่อเก็บข้อมูลภาพ เป็นระบบทางกลขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์สเต็ปปิงให้เคลื่อนที่บนระนาบพื้นที่ 40x30 ตารางเซนติเมตร สามารถให้ความละเอียดของจุดภาพ 400x300 จุด

3.1.2 การแสดงผลทางจอโทรทัศน์ในระบบสแกนแบบเรียงเส้น (non-interlace) 300 เส้น และให้ระดับความเปรียบต่างของภาพ 256 ระดับ

3.1.3 ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ CP-AT32 ควบคุมการทำงานของระบบสแกน เพื่อขับเคลื่อนโปรบวัดรังสี การเก็บข้อมูลภาพจำนวน 2 ภาพ และการแสดงภาพทางจอโทรทัศน์

3.1.4 สามารถถ่ายโอนข้อมูลโปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อปรับปรุงคุณภาพของภาพ ด้วยการส่งสัญญาณแบบอนุกรมมาตรฐาน RS-232

3.2 การออกแบบระบบสแกนข้อมูลการกระเจิงกลับของรังสีเพื่อสร้างภาพสองมิติ

จากข้อมูลพื้นฐานดังกล่าวข้างต้น สามารถออกแบบระบบสแกนของมูลการกระเจิงกลับของรังสีบีตาเพื่อสร้างภาพบนระนาบสองมิติ ดังโครงสร้างในรูปที่ 3.2 ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังนี้

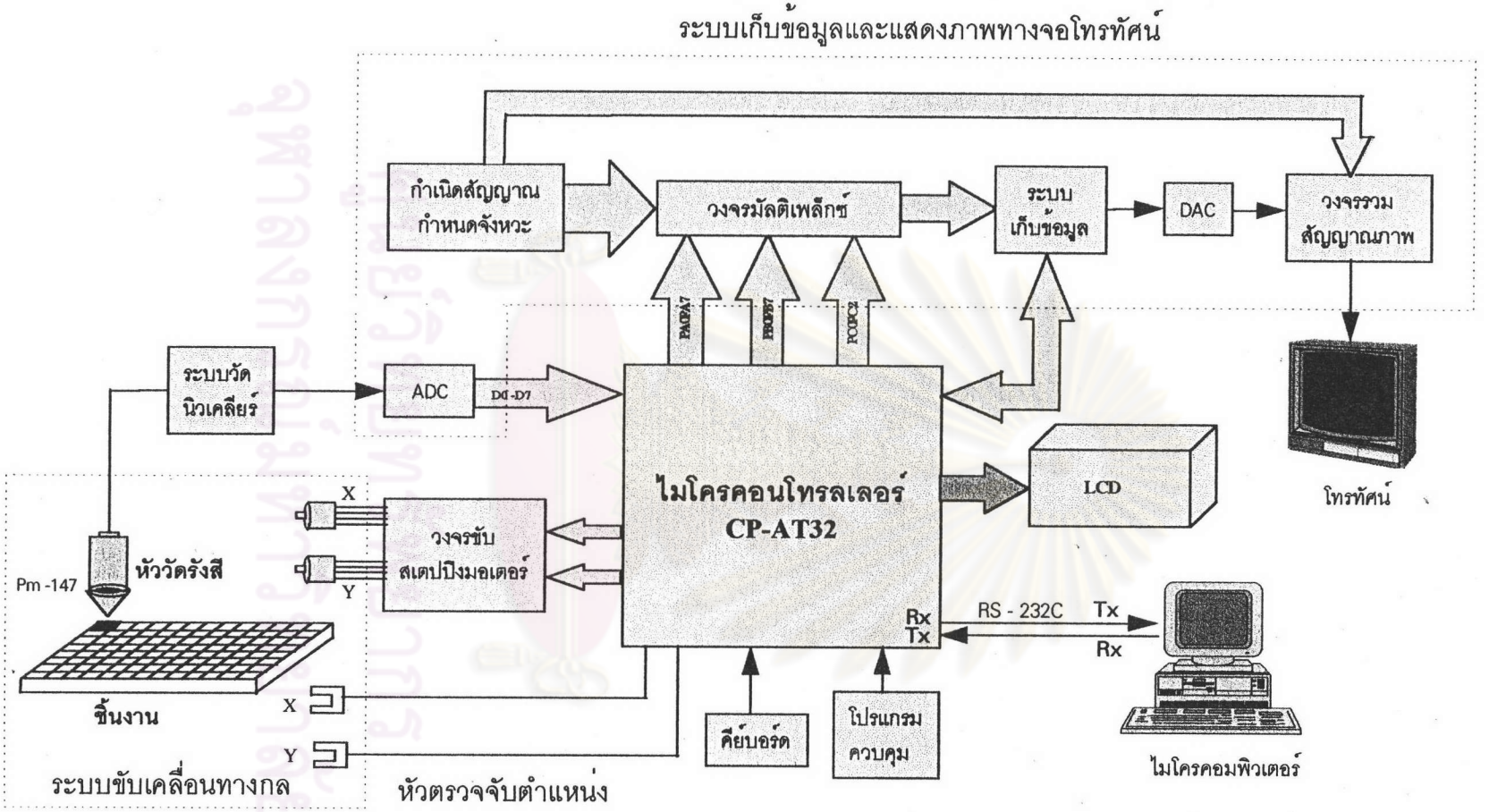
ก. โปรบวัดรังสีกระเจิงกลับ ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณข้อมูลภาพจากอันตรกิริยากระเจิงกลับของรังสีบีตาโดยใช้ต้นกำเนิดรังสี Pm-147 และหัววัดไกเกอร์ของบริษัท Philips เบอร์ ZP 1430 ซึ่งมีช่วงพลาโต (plateau range) 450-575 โวลต์

ข. ระบบวัดนิวเคลียร์ ทำหน้าที่ส่งศักดาไฟฟ้าสูงเพื่อไบอัสหัววัดไกเกอร์และสร้างสัญญาณพัลส์จากรังสีกระเจิงกลับส่งกลับมาขยายสัญญาณและปรับแต่งสัญญาณให้เหมาะสมก่อนส่งอัตราสัญญาณพัลส์ไปแปลงเป็นสัญญาณศักดาไฟฟ้า (Frequency to Voltage converter : F/V) ด้วยเรตมิเตอร์ ซึ่งมีค่าแปรเปลี่ยนเป็นสัดส่วนกับปริมาณรังสีที่ได้รับจากหัววัดรังสี

ค. ระบบเก็บข้อมูลและแสดงภาพทางจอโทรทัศน์ ทำหน้าที่เก็บสัญญาณภาพเชิงตัวเลขที่ได้จากการแปลงอัตรานับรังสีด้วยเรตมิเตอร์ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำที่กำหนดไว้สำหรับขนาดภาพความละเอียด 400x300จุดภาพ และส่งสัญญาณภาพแสดงบนจอโทรทัศน์ในเวลาเดียวกัน

ง. ระบบขับเคลื่อนทางกล ทำหน้าที่ขับเคลื่อนหัววัดรังสีและต้นกำเนิดรังสี (โปรบวัดรังสีกระเจิงกลับ) เพื่อสร้างข้อมูลภาพจากชิ้นงานบนระนาบ X-Y ที่กำหนดตำแหน่งโคออดิเนตจากไมโครคอนโทรลเลอร์

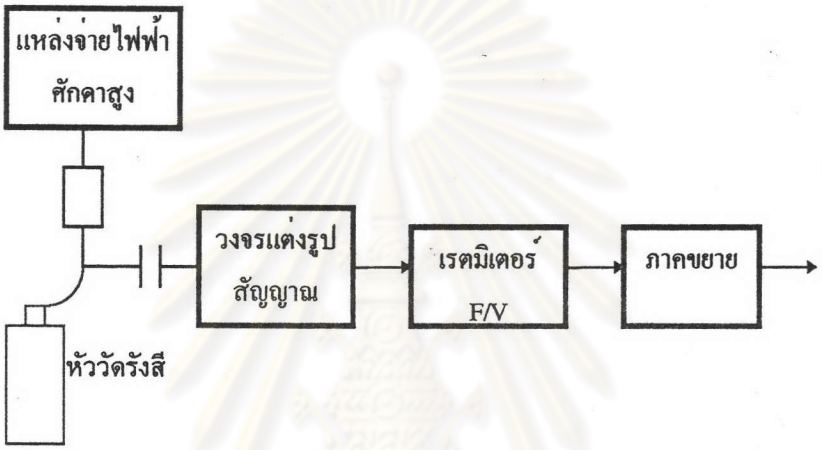
จ. ระบบเชื่อมโยงสัญญานมาตรฐาน RS- 232 ทำหน้าที่ถ่ายโอนข้อมูลจากระบบเก็บข้อมูลภาพไปยังไมโครคอมพิวเตอร์



รูปที่3.2 แผนภาพของระบบสแกนรังสีกระเจิงกลับเพื่อสร้างภาพสองมิติ

3.3 การออกแบบระบบวัดนิวเคลียร์

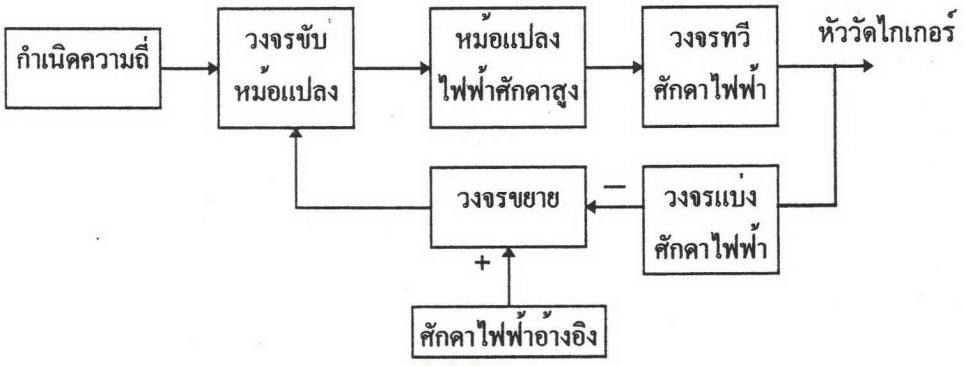
ระบบวัดนิวเคลียร์ที่ใช้กับระบบสแกนข้อมูลกระเจิงกลับ เป็นระบบแบบนับรวมทุกพลังงาน (integral counting) ใช้หัววัดไกเกอร์และต้องการสัญญาณทางออกแบบอัตรานับรังสีในรูปสัญญาณศักดาไฟฟ้า สามารถจัดระบบวัดได้ดังแผนภาพในรูปที่ 3.3 ประกอบด้วยแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง วงจรแต่งรูปสัญญาณ วงจรเรตมิเตอร์และวงจรขยายสัญญาณ



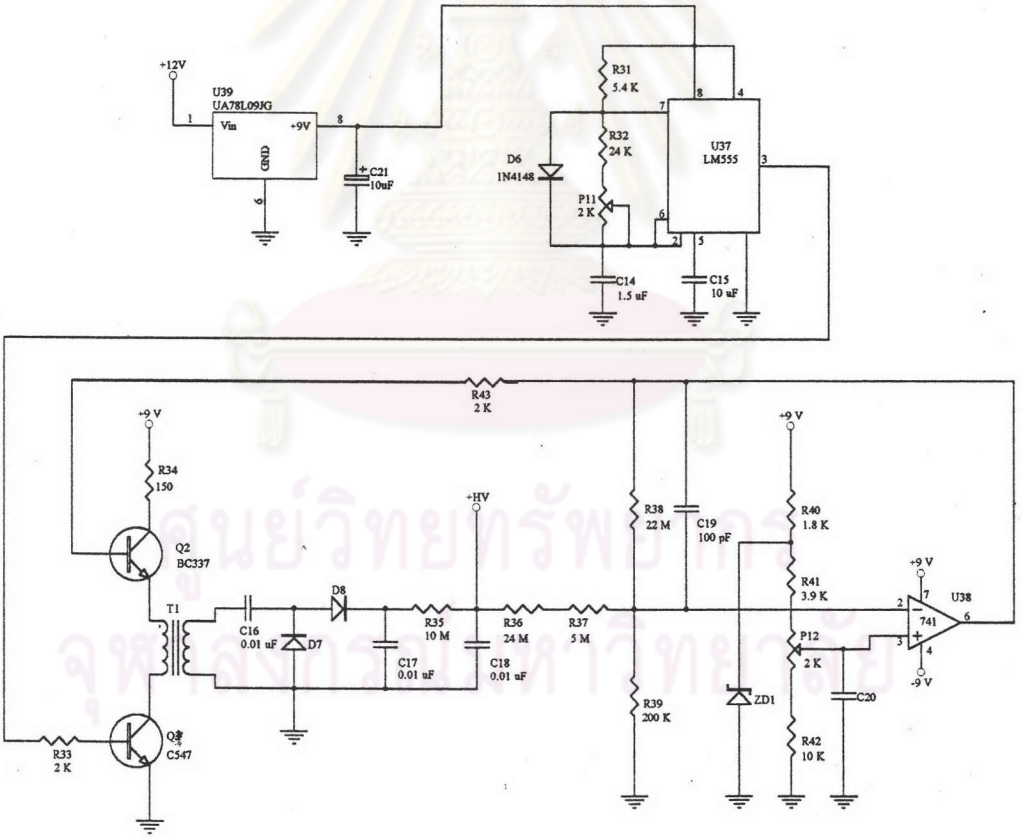
รูปที่ 3.3 แผนภาพส่วนประกอบของระบบวัดนิวเคลียร์

3.3.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงนี้ จะคำนึงถึงการใช้งานในภาคสนามเป็นหลัก ซึ่งจำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟสำรอง จึงออกแบบให้ระบบทำงานที่ศักดาไฟฟ้า 12 โวลต์ สามารถจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงได้คงที่ ในขณะศักดาไฟฟ้าของแหล่งจ่ายอยู่ในช่วง 9 ถึง 12 โวลต์ และสามารถปรับค่าไฟฟ้าศักดาสูงได้จาก 400-700 โวลต์ ที่กระแส 10 ไมโครแอมแปร์ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูงต่ำมาก จึงเลือกการกำเนิดไฟฟ้าศักดาสูงแบบดริฟเวน (driven type) ที่ใช้ทรานซิสเตอร์ขับหม้อแปลงเดี่ยว ทำงานที่ความถี่ 16 กิโลเฮิรตซ์ ดังแสดงแผนภาพของวงจรแหล่งจ่ายศักดาไฟสูง ในรูปที่ 3.4 และวงจรในรูปที่ 3.5 ตามลำดับ การออกแบบหม้อแปลงไฟฟ้า T_1 แสดงในภาคผนวก ก.



รูปที่ 3.4 แสดงแผนภาพส่วนประกอบของแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

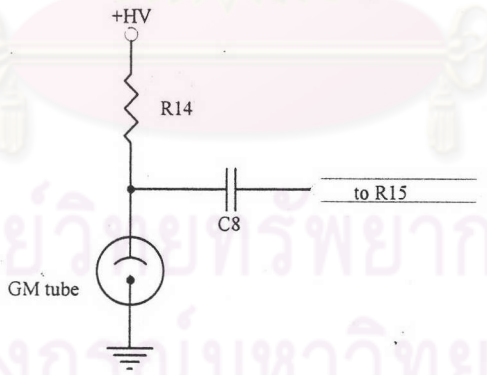


รูปที่ 3.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง

จากวงจรในรูปที่ 3.5 ไอซี U_{37} เบอร์ NE555 จัดเป็นวงจรกำเนิดความถี่ ซึ่งค่าความถี่กำหนดโดย R_{31} , R_{32}, P_{11} และ C_{14} สามารถปรับคาบเวลาได้ด้วยตัวต้านทาน P_{11} สัญญาณรูปเหลี่ยมจากขา 3 จะส่งผ่าน Q_3 ไปขับหม้อแปลงไฟฟ้าศักดาสูง ในขณะที่ Q_2 จะทำหน้าที่ควบคุมศักดาไฟฟ้าที่จ่ายให้ขดลวดปฐมภูมิของ T_1 และรักษาระดับศักดาไฟฟ้าสูงด้านทางออกให้คงที่ด้วยการเปรียบเทียบศักดาไฟฟ้าที่ U_{38} กับศักดาไฟฟ้าอ้างอิงที่กำหนดขึ้นด้วย ZD_1, R_{40}, R_{41}, P_{12} และ R_{42} ที่ขา 3 ของ U_{38} และศักดาไฟฟ้าทางออกจากวงจรแบ่งศักดาไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วย R_{38} และ R_{39} ผลความคลาดเคลื่อนจะป้อนกลับไปควบคุม Q_2 วงจรนี้จะสามารถปรับศักดาไฟฟ้าสูงทางออกด้วยการปรับค่าศักดาอ้างอิงศักดาไฟฟ้ากระแสสลับที่ขดลวดทุติยภูมิจะได้รับการทวีคูณเป็น 2 เท่าจากวงจรทวีศักดาไฟฟ้า C_{16} , D_7, D_8 และ C_{17} และกรองกระแสให้เรียบด้วย C_{17}, R_{35} และ C_{18} สร้างเป็นศักดาไฟฟ้าสูงจ่ายให้หัววัดรังสี

3.3.2 วงจรหัววัดรังสี

การทำงานของหัววัดไกเกอร์จะต้องประกอบด้วย ตัวต้านทานจำกัดกระแส R_{14} ขณะได้รับไบอัสจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาสูง และตัวเก็บประจุ C_8 ทำหน้าที่ส่งผ่านเฉพาะสัญญาณพัลส์ลบไปยังวงจรแต่งรูปสัญญาณ ดังแสดงวงจรหัววัดรังสีในรูปที่ 3.6 สัญญาณทางออกจะมีรูปสัญญาณสลายตัวแบบเอกซ์โปเนนเชียล (decay exponential pulse)

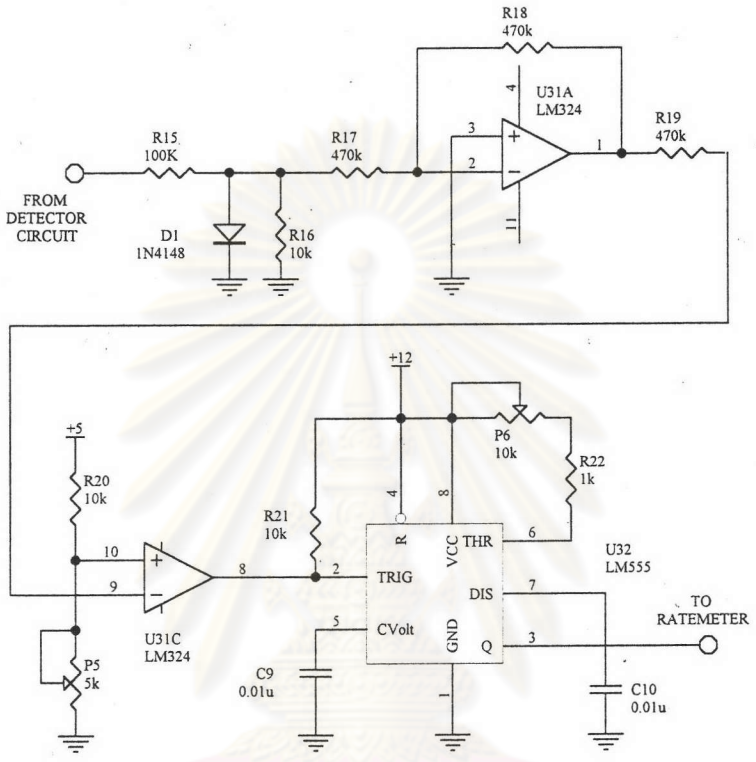


รูปที่ 3.6 วงจรหัววัดรังสี

3.3.3 วงจรแต่งรูปสัญญาณ

เพื่อให้สัญญาณพัลส์จากหัววัดรังสีมีลักษณะเหมาะสมกับการแปลงอัตรานับรังสีด้วยเรตมิเตอร์ สัญญาณสลายตัวแบบเอกซ์โปเนนเชียลที่มีขนาดต่างๆกัน จะต้องได้รับการแต่งรูปเป็นสัญญาณลอจิกที่มีความกว้างของพัลส์ (pulse width) เท่ากัน ทั้งนี้เพื่อรักษาปริมาณประจุไฟฟ้าของพัลส์แต่ละลูกให้เท่ากัน เพื่อเรตมิเตอร์จะสามารถทำงานได้ถูกต้อง และเนื่องจากสัญญาณ

พัลส์จากหัววัดไกเกอร์มีขนาดสัญญาณโตมาก จึงไม่ต้องการอัตราขยายศักดาไฟฟ้าดังนั้นวงจรส่วนนี้จึงประกอบด้วยวงจรขยายส่วนหน้าชนิดกลับสัญญาณ มีอัตราขยายศักดาไฟฟ้าเป็น 1 วงจรตัดสัญญาณรบกวนและวงจรโมโนสเตเบิล (monostable multivibrator) แสดงในรูปที่ 3.7



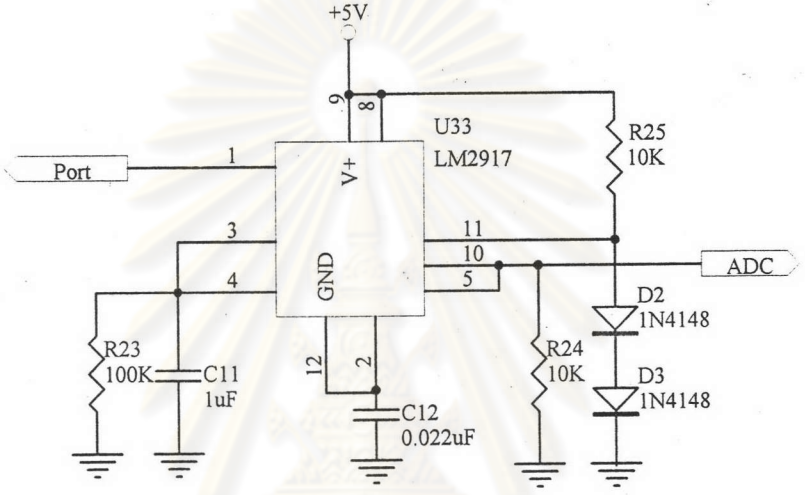
รูปที่ 3.7 วงจรแต่งรูปสัญญาณ

จากวงจรในรูปที่ 3.7 ไดโอด D_1, R_{15} และ R_{16} จัดเป็นวงจรคลิปปิง (clipping) และวงจรลดทอนสัญญาณ ทำหน้าที่จำกัดสัญญาณด้านบวกและลดทอนสัญญาณด้านลบลงในอัตรา 10:1 ก่อนผ่านวงจรตัดสัญญาณรบกวน U_{31C} ซึ่งตั้งค่าเทรสโฮลด์ (threshold)ได้ด้วยตัวต้านทาน P_5 สัญญาณที่ผ่านการคัดเลือกจากวงจรนี้จะส่งไปกระตุ้นวงจรโมโนสเตเบิล ซึ่งเลือกใช้ไอซี U_{35} เบอร์ NE555 จัดวงจรสร้างพัลส์ลอจิกที่มีเวลาขาออกคงที่ด้วยการทำงานของ R_{21}, R_{22}, C_{10} และ P_6 ซึ่งสามารถปรับค่าเวลาได้ในช่วง 10 ถึง 110 ไมโครวินาที

3.3.4 วงจรเรตมิเตอร์

วงจรเรตมิเตอร์ทำหน้าที่แปลงความถี่ของสัญญาณลอจิกหรืออัตรานับรังสีให้เป็นสัญญาณศักดาไฟฟ้า โดยที่สัญญาณศักดาไฟฟ้าจะแปรตามอัตรานับรังสีที่คัดเลือกจากวงจรตัด

สัญญาณรบกวน วงจรที่ออกแบบแสดงในรูปที่ 3.8 เลือกไอซีU_{33} เบอร์ LM2917 (F/V) จัดเป็นวงจรเรตมิเตอร์ ที่ให้สัญญาณทางออกเต็มสเกล 0-100 มิลลิโวลต์ สัมพันธ์กับอัตรานับซึ่งปรับค่าเต็มสเกลการนับได้ด้วยคาบเวลาของโมโนสเตเบิลในวงจรแต่งรูปสัญญาณ ในวงจร R_{23} และ C_{11} ทำหน้าที่ รักษาค่าคงที่ในการคายประจุจาก C_{11} หรือการตอบสนองอัตรานับรังสีในรูปของเปอร์เซนต์เบี่ยงเบนอัตรานับรังสี สัญญาณทางออกจากวงจรนี้จะส่งไปขยายสัญญาณ เพื่อให้ได้ขนาดสัญญาณเต็มสเกลตามพิกัดของวงจรแปลงสัญญาณเชิงตัวเลขขนาด 8 บิต



รูปที่ 3.8 วงจรเรตมิเตอร์ใช้ไอซี LM2917

3.3.5 วงจรขยายสัญญาณ

เนื่องจากพิกัดของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขมีพิกัดศักดาไฟฟ้าทางเข้าเต็มสเกล 5 โวลต์ ดังนั้นสัญญาณศักดาไฟฟ้าจากเรตมิเตอร์ที่ค่าเต็มสเกล 100 มิลลิโวลต์ จึงต้องการอัตราขยายสัญญาณดังนี้

$$A_v = \frac{V_0}{V_i} = \frac{5000}{100} = 50 \text{ เท่า}$$

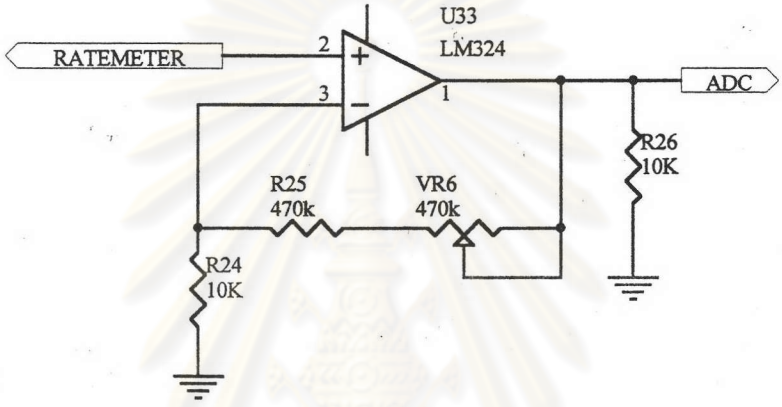
ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ LM324 จัดวงจรแบบไม่กลับสัญญาณ (noninverting amplifier) ดังวงจรในรูปที่ 3.9 ใช้ R_i = 10 kΩ และเพื่อให้สามารถปรับอัตราขยายได้กว้างจึงเผื่ออัตราขยายเป็น 100 เท่า ดังนั้นค่าความต้านทาน R_f จึงแบ่งเป็นความต้านทานคงที่ R_{27} และ P_7 ปรับค่าได้รวมกัน โดยค่า R_f คำนวณได้จาก

$$A_v = 1 + \frac{R_f}{R_i}$$

$$R_f = R_i(A_v - 1)$$

$$= 10k\Omega(100 - 1) = 990k\Omega$$

เลือกค่าความต้านทานที่หาได้ตามมาตรฐานจะได้ R_{27} = 470 kΩ และความต้านทานปรับค่าได้มีค่า 470 kΩ



รูปที่ 3.9 วงจรขยายสัญญาณศักดาไฟฟ้า

3.4 การออกแบบระบบเก็บข้อมูลและแสดงภาพทางจอโทรทัศน์

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้ระบบเก็บข้อมูลภาพด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ให้มีความสามารถในการเก็บข้อมูลภาพตามข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบ ดังนี้

ก. กำหนดให้มีความละเอียดในการเก็บภาพขนาด 400 x 300 จุดภาพ จำนวน 2 ภาพ

ข. ความเปรียบต่างของสัญญาณเชิงเลข 256 ระดับ หรือ 8 บิต

การออกแบบระบบเก็บภาพนั้น จำเป็นต้องจัดการช่วงเวลาของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขต่อหนึ่งเส้นภาพ รวมทั้งช่วงเวลาในการเขียนและอ่านข้อมูลของหน่วยความจำให้เป็นไปตามมาตรฐานของระบบสัญญาณภาพโทรทัศน์ได้ดังนี้

จากความถี่ของสัญญาณเข้าจังหวะแนวนอน = 15625 Hz

คิดเป็นคาบเวลาของหนึ่งเส้นภาพ (H) = 1/15625 s

= 64×10^{-6} s

= 64 μs

และสัญญาณเข้าจังหวะแนวนอนมีความกว้างของสัญญาณ = 0.08 H

รวมกับ ฟรอนท์พอร์ชมีความกว้างของสัญญาณ = 0.02 H

และ แบคพอร์ชมีความกว้างของสัญญาณ = 0.06 H

นั่นคือ

ช่วงเวลาที่ลำอิเล็กตรอนสบัดกลับในแนวนอน =(0.08 + 0.02 + 0.06) = 0.16H = 10.24 μs

และช่วงเวลาที่ลำอิเล็กตรอนสแกนบนจอโทรทัศน์ =(1 - 0.08 - 0.02 - 0.06) H

= 0.84 H

= 53.76 μs

ดังนั้น จุดภาพหนึ่งจุด ใช้เวลาทั้งสิ้น = 53.76/400 μs/pixel

= 134.4 ns/pixel

จากการคำนวณ จะเห็นว่า วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขและหน่วยความจำ (RAM) จะต้องมีความรวดเร็วในการแปลงสัญญาณน้อยกว่า 134.4 นาโนวินาที นอกจากนี้ ในส่วนของหน่วยความจำนั้น จะต้องทราบถึงความจุของหน่วยความจำเพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลภาพได้ครบทุกจุด ซึ่งสามารถคำนวณความจุของหน่วยความจำได้จาก

ความจุของหน่วยความจำต่อหนึ่งภาพ =จำนวนจุดต่อหนึ่งเส้นภาพxจำนวนเส้นภาพต่อหนึ่งภาพ

= 300 x 400 จุดต่อหนึ่งภาพ

= 120,000 จุดต่อหนึ่งภาพ

ความจุของหน่วยความจำต่อสองภาพ = 240,000 จุด

จากการคำนวณนี้ทำให้ทราบว่าระบบเก็บภาพจะต้องใช้ขนาดของหน่วยความจำที่สามารถอ้างตำแหน่ง ความจุเท่ากับ 240,000 ไบต์ ส่วนการแสดงภาพทางโทรทัศน์นั้น ใช้การสแกนลำอิเล็กตรอนแบบเรียงเส้น (non-interlace scanning) ทำให้ลดความซับซ้อนในการออกแบบวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์สำหรับสแกนสอดแทรกลง

จากความต้องการดังกล่าว ระบบเก็บข้อมูลและแสดงภาพทางจอโทรทัศน์ สามารถออกแบบได้ดังแผนภาพในรูปที่ 3.10 ประกอบด้วยวงจรต่างๆดังนี้

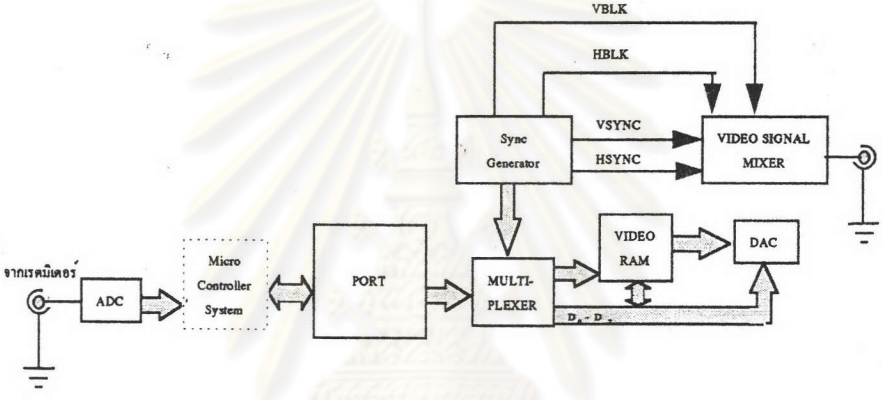
ก. วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข

ข. วงจรแปลงสัญญาณเชิงตัวเลขเป็นสัญญาณอนาลอก

ค. วงจรกำเนิดสัญญาณเข้าจังหวะ

ง. วงจรหน่วยความจำ

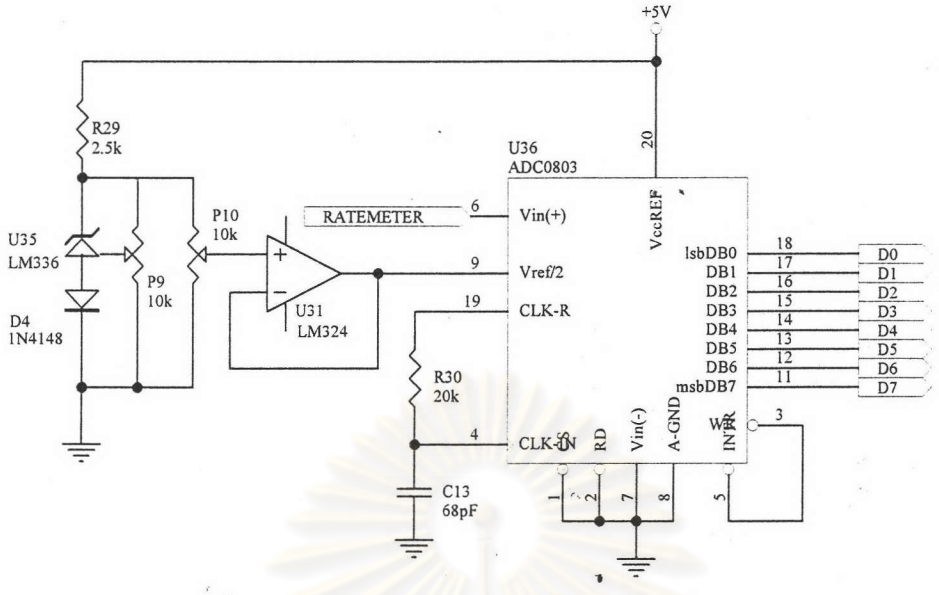
จ. วงจรรวมสัญญาณภาพโทรทัศน์



รูปที่ 3.10 แผนภาพของระบบเก็บข้อมูลและแสดงภาพทางจอโทรทัศน์

3.4.1 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (ADC)

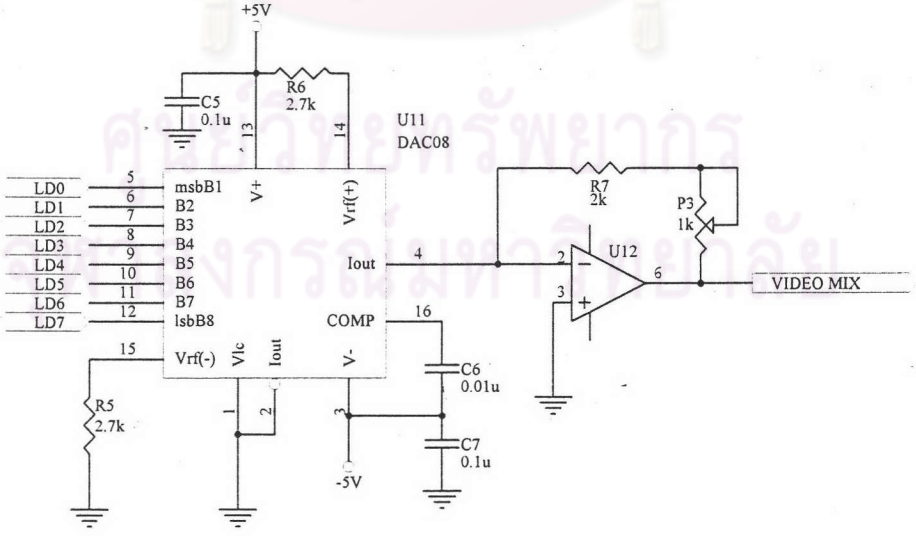
วงจรนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณส่องสว่างให้เป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (digital signal) เพื่อนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ (RAM) ที่จัดไว้ เลือกใช้ไอซีเบอร์ ADC 0803 ซึ่งทำงานภายในแบบซักเซสซีพแอพพรอกซิเมชัน (SA) ขนาดความละเอียด 8 บิต การจัดวงจรภายนอกเลือกจัดแบบทำงานอิสระ (free-running mode) ที่ความถี่ 600 กิโลเฮริตซ์ ดังวงจรในรูปที่ 3.11 U_{37} เป็นไอซี ADC 0803 และ U_{36} กับ U_{35} ร่วมกันสร้างศักดาอ้างอิงขนาด 2.5 โวลต์จ่ายให้กับไอซี U_{36} ที่ขา 9 เพื่อจัดสเกลสูงสุด ในการแปลงผันสัญญาณเชิงตัวเลขมีค่า $(11111111)_2$ หรือ $(255)_{10}$ เมื่อได้รับสัญญาณจากเรตมิเตอร์เต็มสเกล 5 โวลต์



รูปที่ 3.11 วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข

3.4.2 วงจรแปลงสัญญาณเชิงตัวเลขเป็นสัญญาณอนาลอก (DAC)

วงจรนี้ทำหน้าที่แปลงสัญญาณภาพเชิงตัวเลขจากหน่วยความจำ ให้เป็นสัญญาณภาพอนาลอก เพื่อนำข้อมูลภาพที่เก็บไว้ในหน่วยความจำไปสร้างภาพให้ปรากฏบนจอโทรทัศน์ จำเป็นต้องใช้วงจรแปลงสัญญาณที่มีความรวดเร็วสูง จึงเลือกใช้ไอซีเบอร์ DAC 08 มีความเร็วในการแปลงสัญญาณ 100 นาโนวินาที จัดวงจรดังในรูปที่ 3.12



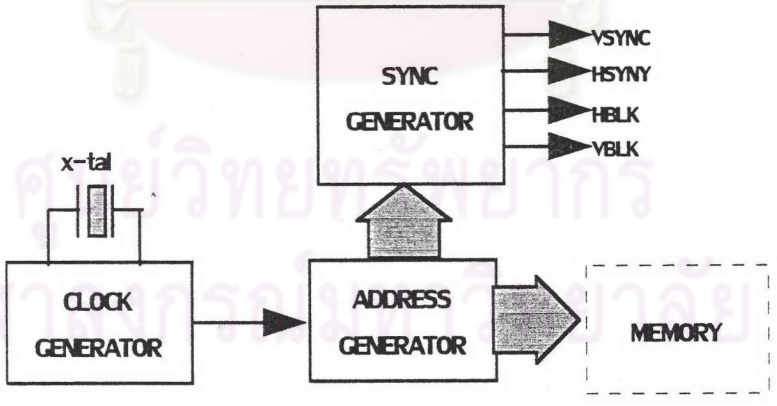
รูปที่ 3.12 วงจรแปลงสัญญาณเชิงตัวเลขเป็นสัญญาณอนาลอก

จากรูปที่ 3.12 U_{11} ทำหน้าที่แปลงสัญญาณเชิงตัวเลขเป็นสัญญาณภาพ มีความละเอียดในการแปลงสัญญาณเชิงตัวเลขขนาด 8 บิต ในงานวิจัยนี้ได้กำหนด กระแสอ้างอิงของ U_{11} ที่ระดับ 1.85 มิลลิแอมแปร์ และจัดวงจรให้ทำงานแบบอิมพีแดนซ์ขาออกต่ำ (low impedance output) โดยใช้ U_{12}, R_7 ประกอบเป็นวงจรแปลงกระแสที่เกิดจาก U_{11} ให้เป็นศักดาไฟฟ้าทำให้เกิดสัญญาณภาพขนาด 0-5 โวลต์ที่ขา 6 ของ U_{12} วงจรนี้จะแปรเปลี่ยนค่าสัญญาณเชิงตัวเลขจาก $(00000000)_2$ ถึง $(11111111)_2$

3.4.3 วงจรกำเนิดสัญญาณเข้าจังหวะ (sync generator)

เลือกระบบสแกนของลำอิเล็กตรอนเป็นแบบเรียงเส้น (non-interlace scanning) กล่าวคือ เป็นสัญญาณเพียงฟิลด์เดียว ซึ่งแตกต่างจากมาตรฐานการสแกนในระบบโทรทัศน์ที่ให้ภาพเคลื่อนไหวของ CCIR ที่มี 2 ฟิลด์ต่อภาพ อย่างไรก็ตามในการออกแบบองค์ประกอบของสัญญาณภาพ จำเป็นต้องสร้างคาบเวลาให้มีค่าใกล้เคียงกับระบบมาตรฐานให้มากที่สุด

เนื่องจากการกำเนิดสัญญาณเข้าจังหวะนี้ จะต้องสัมพันธ์กับสัญญาณข้อมูลเชิงตัวเลขจากหน่วยความจำอย่างถูกต้อง ดังนั้นจึงใช้วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา (clock generator) ที่ควบคุมด้วยผลึกความถี่(crystal) เพื่อสร้างสัญญาณเข้าจังหวะให้สอดคล้องกับการเลือกข้อมูลในตำแหน่งของหน่วยความจำ ดังแผนภาพในรูปที่ 3.13 และ 3.14

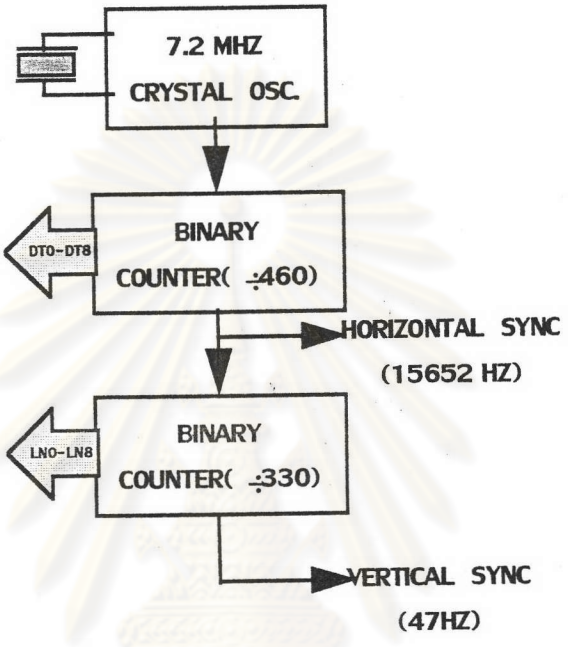


รูปที่ 3.13 แผนภาพการกำเนิดสัญญาณเข้าจังหวะ

สำหรับฐานความถี่ของสัญญาณนาฬิกานั้น จะต้องกำหนดให้เหมาะสมกับการทำงานของหน่วยแปลงสัญญาณเชิงตัวเลขเป็นสัญญาณอนาลอก (DAC) เพื่อให้คาบเวลาสอดคล้องกับมาตรฐานสัญญาณเข้าจังหวะในระบบโทรทัศน์ แต่เนื่องจากผลึกควบคุมความถี่ไม่สามารถหาค่า

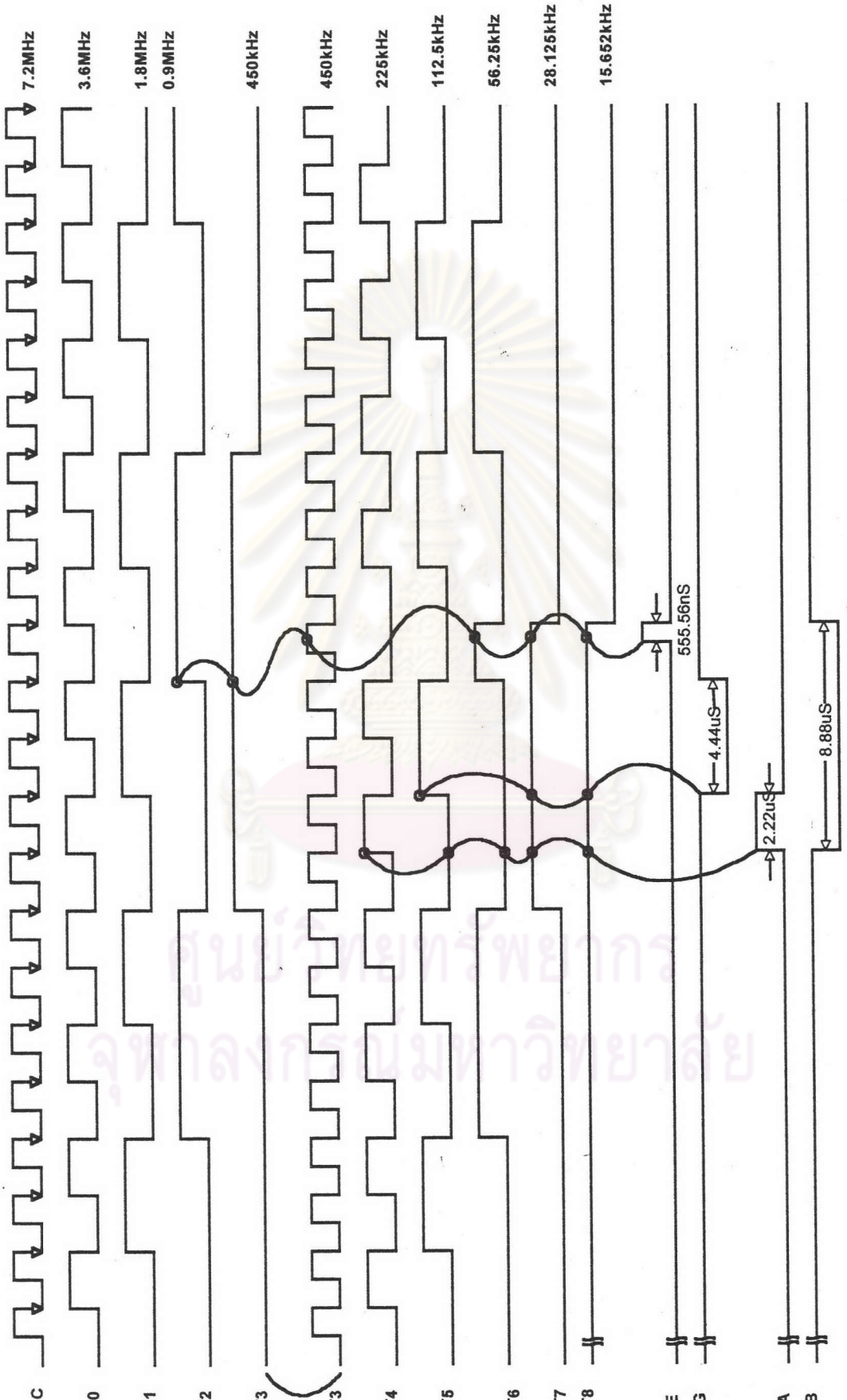
i 17129709

ตรงกับความต้องการได้ จึงใช้ค่าใกล้เคียงแทน พบว่าสามารถใช้ผลึกความถี่ขนาด 7.2 MHz มาเป็นฐานเวลาได้ และหารด้วยวงจรหารแบบต่างๆ ดังแผนภาพดังรูปที่ 3.14 จะได้ฐานเวลาใกล้เคียงกับมาตรฐานของสัญญาณเข้าจังหวะ และนำไปสร้างคาบเวลาของสัญญาณภาพพร้อมองค์ประกอบดังแผนภาพเวลาในรูปที่ 3.15 และ 3.16



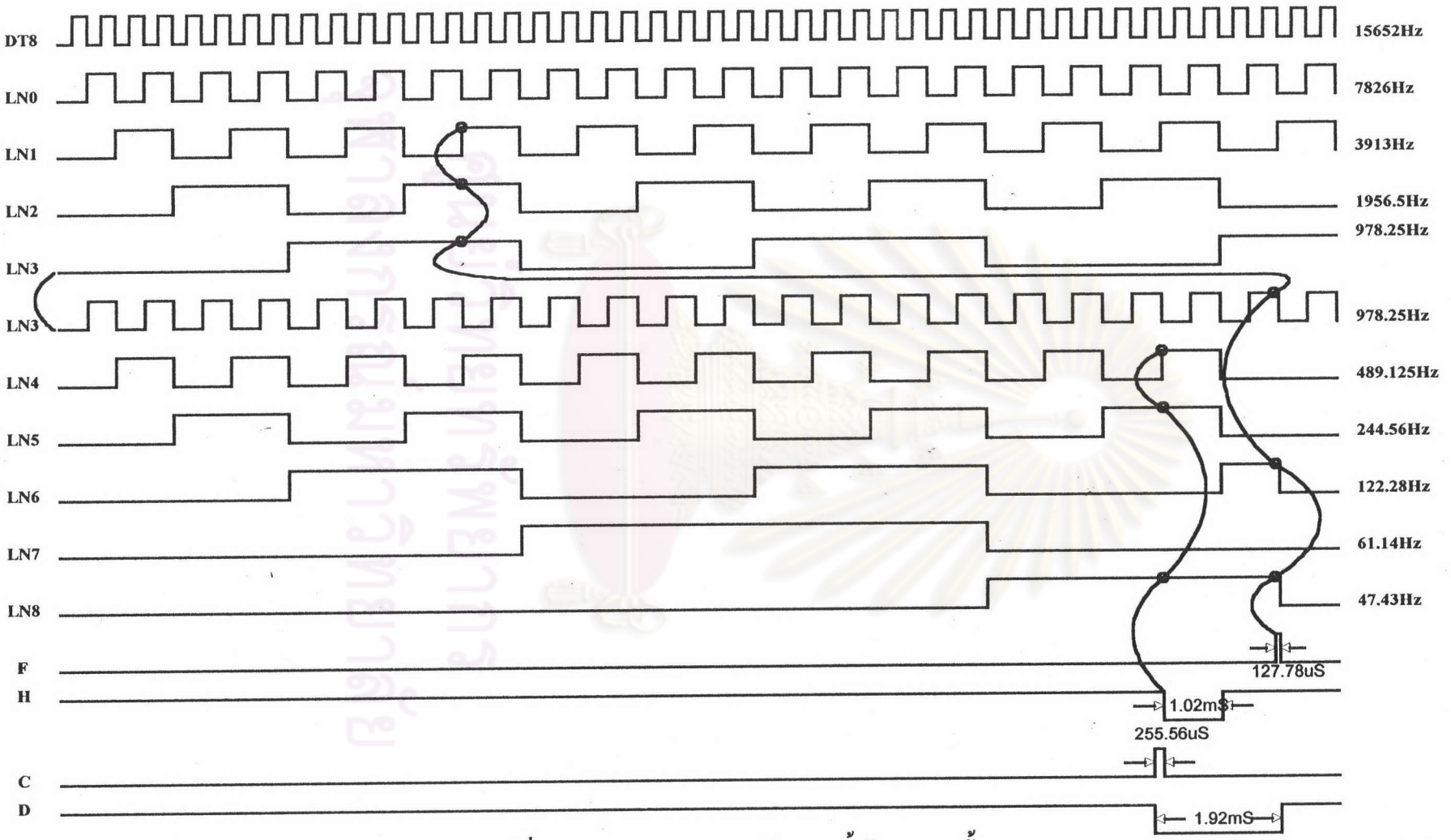
รูปที่ 3.14 แผนภาพของการกำเนิดความถี่ของสัญญาณเข้าจังหวะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.15 แผนภาพเวลาของสัญญาณเข้าจังหวะแนวนอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.16 แผนภาพเวลาของสัญญาณเข้าจังหวะแนวตั้ง

จากแผนภาพเวลาในรูปที่ 3.15 และ 3.16 สามารถออกแบบวงจรเกตเชิงตัวเลข (logic gate) ของสัญญาณในวงจรได้ดังนี้

สัญญาณที่จุด E $= DT9 \cdot DT8 \cdot DT7 \cdot DT4 \cdot DT3$

สัญญาณที่จุด G $= \overline{DT9 \cdot DT8 \cdot DT6}$

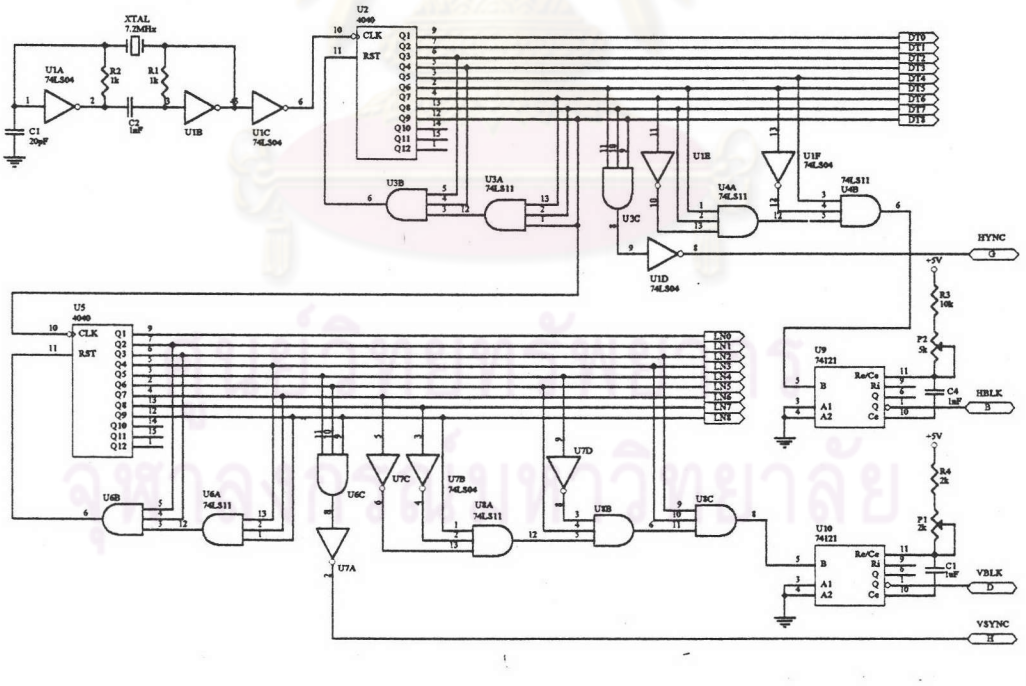
สัญญาณที่จุด A $= \overline{DT9 \cdot DT8 \cdot \overline{DT7} \cdot \overline{DT6} \cdot DT5}$

สัญญาณที่จุด F $= LN9 \cdot LN7 \cdot LN4 \cdot LN3 \cdot LN2$

สัญญาณที่จุด H $= \overline{LN9 \cdot LN6 \cdot LN5}$

สัญญาณที่จุด C $= LN9 \cdot \overline{LN8} \cdot \overline{LN7} \cdot LN6 \cdot \overline{LN5} \cdot LN4 \cdot LN3$

ส่วนสัญญาณที่จุด B และ D นั้น ได้จากการจัดวงจรกำเนิดคาบเวลาคงที่โดยใช้โมโนสเตเบิล (monostable) สร้างคาบเวลา 8.88 ไมโครวินาที และ 1.92 มิลลิวินาที ดังวงจรกำเนิดสัญญาณเข้าจังหวะแสดงในรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 วงจรกำเนิดสัญญาณเข้าจังหวะสำหรับสัญญาณภาพ

วงจรในรูปที่ 3.17 ไอซี U_{1A}, U_{1B} และ Crystal 7.2 MHz ถูกจัดเป็นวงจรกำเนิดความถี่แบบควบคุมด้วยผลึก (crystal controlled oscillator) แล้วป้อนเข้า U_2 ซึ่งเป็นวงจรนับฐาน

สอง (binary counter) หรือวงจรหารสอง โดยจัดวงจรให้วนรอบนับใหม่ (reset circuit) เมื่อนับถึง 460 หรือวงจรหาร 460 ประกอบด้วย U_{3A} และ U_{3B} ทำหน้าที่ถอดรหัสรีเซต สัญญาณ DT_0 ถึง DT_8 ที่ได้จากการหารนี้ เป็นสัญญาณเวลาจุด (dot clock) จากนั้นสัญญาณ DT_8 จะป้อนสู่วงจรหารสอง ซึ่งจะจัดให้เริ่มต้นนับใหม่เมื่อนับถึง 330 หรือวงจรหาร 330 ประกอบด้วย U_5 , U_{6A} และ U_{6B} ทำให้ได้สัญญาณ LN_0 ถึง LN_8 หรือสัญญาณเวลาเส้นสแกน (line clock) สัญญาณ DT_0 ถึง DT_8 และ LN_0 ถึง LN_8 จะใช้เป็นสัญญาณที่กำหนดตำแหน่งภายในหน่วยความจำของข้อมูลทั้ง 2 ภาพ ซึ่งมีขนาด 320 กิโลไบต์ และเนื่องจากสัญญาณเข้าจังหวะนั้น จะต้องมีช่วงเวลาที่สอดคล้องกับเวลาของสัญญาณ DT_0 ถึง DT_8 และ LN_0 ถึง LN_8 จึงจำเป็นต้องใช้วงจรเกตเพื่อสร้างสัญญาณต่างๆ คือ

ก. สัญญาณกำหนดการเข้าจังหวะทางแนวนอนหรือสัญญาณที่จุด G กำเนิดโดยไอซี U_{3C} และ U_{1D} ทำให้ได้สัญญาณพัลส์ low ที่มีช่วงเวลา 4.44 ไมโครวินาที และจะเกิดทุกครั้งที่สัญญาณเวลาจุดภาพนับถึง 416

ข. สัญญาณที่จุด A เป็นสัญญาณที่ใช้อ้างตำแหน่งเพื่อให้เกิดสัญญาณที่จุด B โดยกำเนิดจากไอซี U_1 และ U_4 ซึ่งมีลักษณะเป็นพัลส์ ที่ให้สถานะ high ที่มีช่วงเวลา 2.22 ไมโครวินาที และจะเกิดทุกครั้งเมื่อสัญญาณเวลาจุดภาพนับถึง 400

ค. สัญญาณที่จุด B หรือช่วงเวลาในการสบัดกลับของลำอิเล็กตรอนในแนวนอน เป็นสัญญาณพัลส์ ที่ให้สถานะ low มีช่วงเวลา 8.88 ไมโครวินาที ซึ่งเกิดจากไอซี U_9 ซึ่งจัดวงจรกำเนิดคาบเวลาแบบ โมโนสเตเบิล ได้รับสัญญาณกระตุ้นขาขึ้นจาก U_{4B} สามารถปรับช่วงเวลาด้วย R_3, P_2 และ C_4

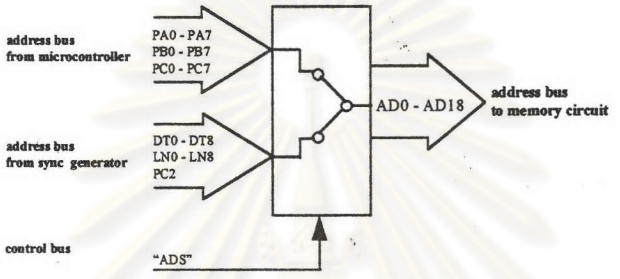
ง. สัญญาณกำหนดการเข้าจังหวะทางแนวตั้งหรือสัญญาณที่จุด H เกิดจากไอซี U_{6C} และ U_{7A} ทำให้ได้เป็นสัญญาณพัลส์สถานะ low ที่มีความกว้าง 1.02 มิลลิวินาที โดยจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อนับสัญญาณสแกนเส้นได้ 304 ครั้ง

จ. สัญญาณที่จุด C เป็นสัญญาณที่ใช้กระตุ้นวงจรเพื่อสร้างสัญญาณที่จุด D ลักษณะเป็นพัลส์สัญญาณ สถานะ high ที่มีช่วงเวลา 255.56 ไมโครวินาที เกิดจากการทำงานของไอซี U_7 และ U_8 เมื่อนับสัญญาณสแกนเส้นได้ 300

ฉ. สัญญาณที่จุด D หรือช่วงเวลาในการสบัดกลับของลำอิเล็กตรอนในแนวตั้ง เกิดจากไอซี U_{10} วงจรกำเนิดคาบเวลาแบบโมโนสเตเบิล เช่นเดียวกับสัญญาณที่จุด B แต่มีช่วงเวลาที่กว้างกว่าคือ 1.92 มิลลิวินาที

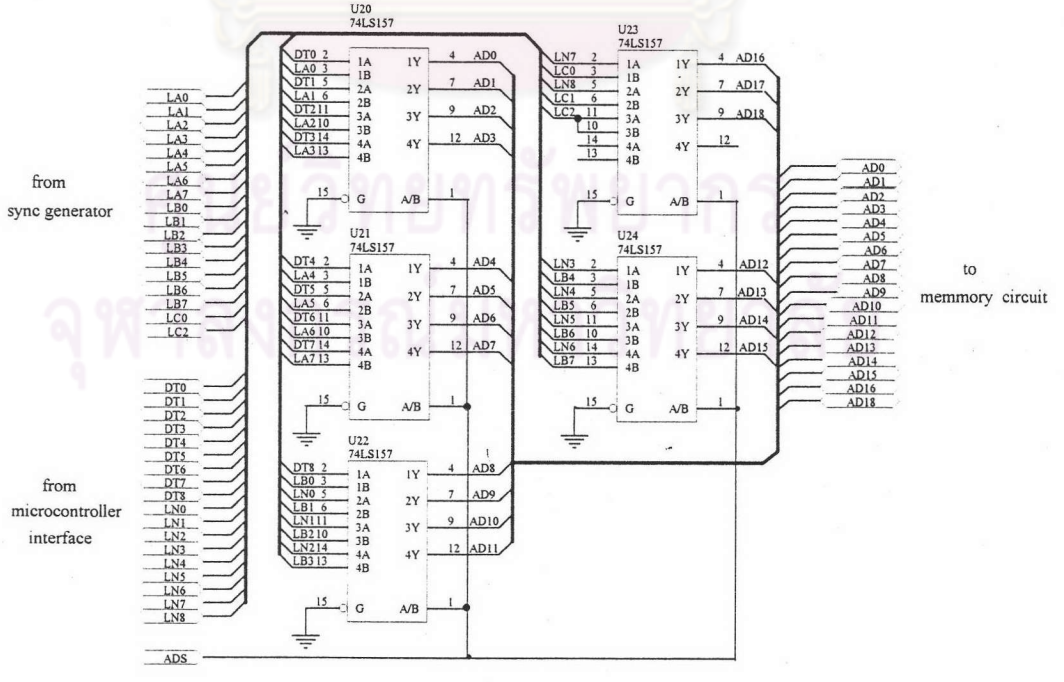
3.4.4 วงจรเลือกสัญญาณกำหนดตำแหน่ง (Multiplexer)

การเก็บข้อมูลภาพเชิงตัวเลขที่สามารถแสดงภาพได้อย่างทันทีนั้น (real time) นอกจากจำเป็นต้องมีหน่วยความจำในการเก็บข้อมูลแล้ว จะต้องมีความสามารถในการเชื่อมโยงหน่วยความจำกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อทำการเก็บข้อมูลภาพ ในขณะเดียวกันจะต้องสามารถอ่านข้อมูลภาพบนหน่วยความจำให้สอดคล้องกับสัญญาณเข้าจังหวะ (sync pulse) อีกด้วย จากหลักการดังกล่าวสามารถแสดงด้วยแผนภาพในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 แสดงหลักการเลือกสัญญาณกำหนดตำแหน่ง

จากแผนภาพในรูปที่ 3.18 สามารถออกแบบวงจรควบคุมการเลือกสัญญาณกำหนดตำแหน่งโดยใช้ไอซีเลือกข้อมูล (data selectors) ได้ดังวงจรในรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 วงจรเลือกสัญญาณกำหนดตำแหน่ง

วงจรในรูปที่ 3.19 ประกอบด้วยไอซี U_{20}, U_{21}, U_{22}, U_{23} และ U_{24} ทำงานพร้อมกันเป็นวงจรเลือกข้อมูลขนาด 19 บิต โดยที่สัญญาณขาออก AD_0-AD_{18} เกิดจากการควบคุมด้วยสัญญาณเลือกกลุ่มแอดเดรสตำแหน่ง"ADS" ให้เลือกข้อมูลทางด้านขาเข้า 2 กลุ่มในการอ่านและเขียนข้อมูลในหน่วยความจำ กล่าวคือ ถ้าสภาวะของสัญญาณ "ADS" เป็น low สัญญาณ AD_0-AD_{18} จะมีสภาวะเดียวกันกับกลุ่มสัญญาณจากวงจรกำเนิดสัญญาณเข้าจังหวะ ในทางตรงข้ามสัญญาณ AD_0-AD_{18} จะมีสภาวะเดียวกันกับกลุ่มสัญญาณจากไมโครคอนโทรลเลอร์ หากสัญญาณ "ADS" สภาวะ high

3.4.5 วงจรหน่วยความจำ

หน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บข้อมูลภาพที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข จะต้องเป็นหน่วยความจำที่สามารถเก็บข้อมูลภาพความละเอียด 400 x 300 จุด ขนาด 8 บิต นั่นคือ การเก็บข้อมูลเชิงตัวเลขต่อหนึ่งภาพ จะต้องใช้หน่วยจำขนาดความจุ 120,000 ไบต์ และมีความเร็วในการเขียนและอ่านข้อมูลได้ไม่ต่ำกว่า 134.4 นาโนวินาที ในทางปฏิบัติการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำ นิยมใช้การกำหนดตำแหน่งเป็นแบบเมตริกซ์ (matrix) ซึ่งประกอบด้วยแถว (row) และคอลัมน์ (column) เพื่อระบุพื้นที่ในการเขียนและอ่านข้อมูลของหน่วยความจำ ซึ่งการเก็บข้อมูลในแต่ละภาพสามารถคำนวณจำนวนแถว และคอลัมน์ได้ตามสมการ

$$\text{จำนวนจุดภาพในแต่ละเส้นภาพ} = 2^{\text{หลัก}}$$

$$\text{จำนวนเส้นในหนึ่งจอภาพ} = 2^{\text{แถว}}$$

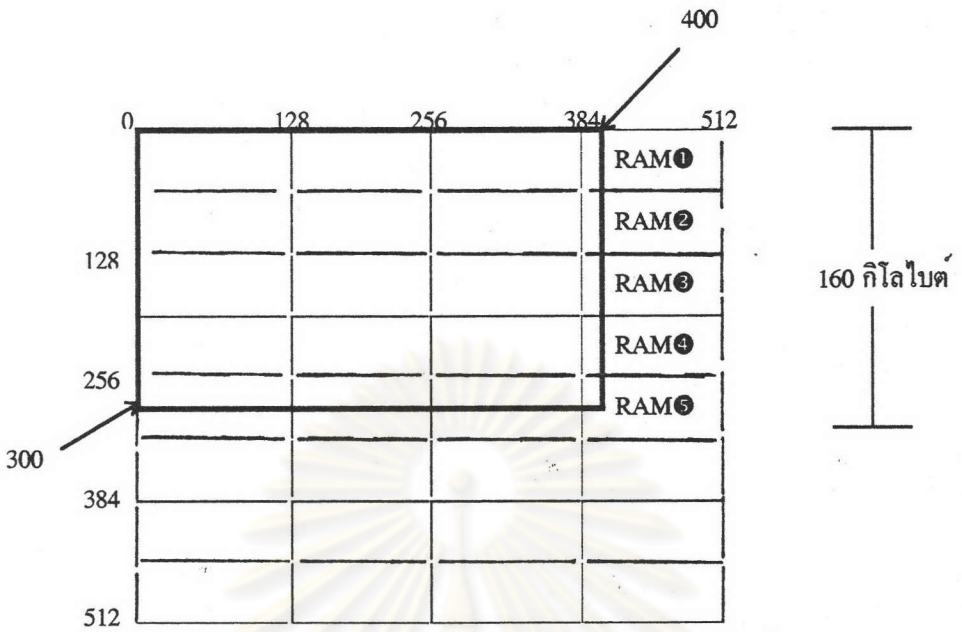
ดังนั้นการเก็บข้อมูลภาพขนาด 400x300 จุดภาพ จะได้จำนวนคอลัมน์และแถวดังนี้คือ

$$\text{คอลัมน์} = \frac{\log 400}{\log 2} = 8.64 \simeq 9 \text{ หลัก}$$

$$\text{แถว} = \frac{\log 300}{\log 2} = 8.22 \simeq 9 \text{ หลัก}$$

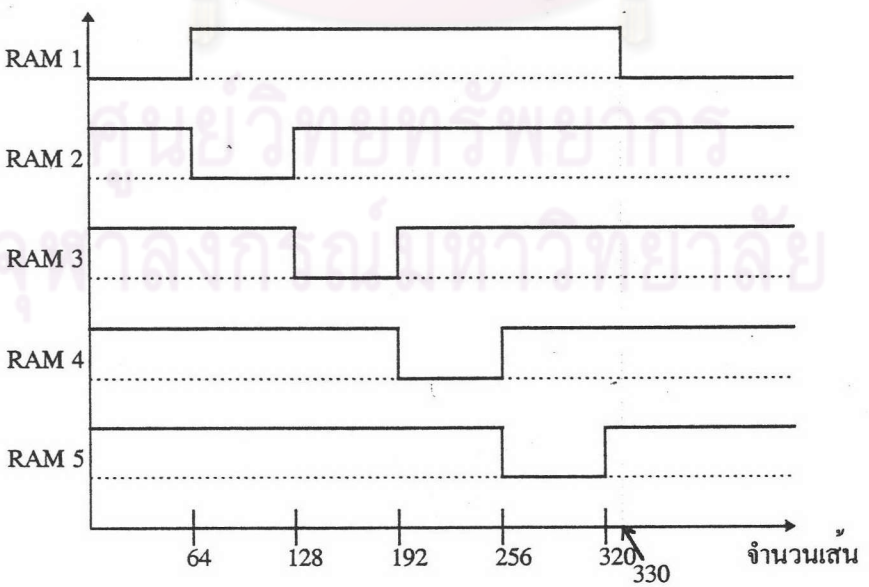
จากการคำนวณดังกล่าวข้างต้น จะเห็นว่า การอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำขนาด 400x300 จุดภาพนั้นต้องใช้สายสัญญาณในการกำหนดตำแหน่งทั้งหมด 18 เส้น เป็นผลทำให้ต้องใช้หน่วยความจำทั้งหมดขนาด 2^{18} หรือ 256 กิโลไบต์ ต่อหนึ่งจอภาพ ซึ่งเป็นการใช้หน่วยความจำขนาดความจุสูงพอสมควร ดังนั้น เพื่อลดปริมาณหน่วยความจำให้น้อยลง จึงจำกัดบริเวณข้อมูลให้เก็บเฉพาะที่ปรากฏบนจอโทรทัศน์เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



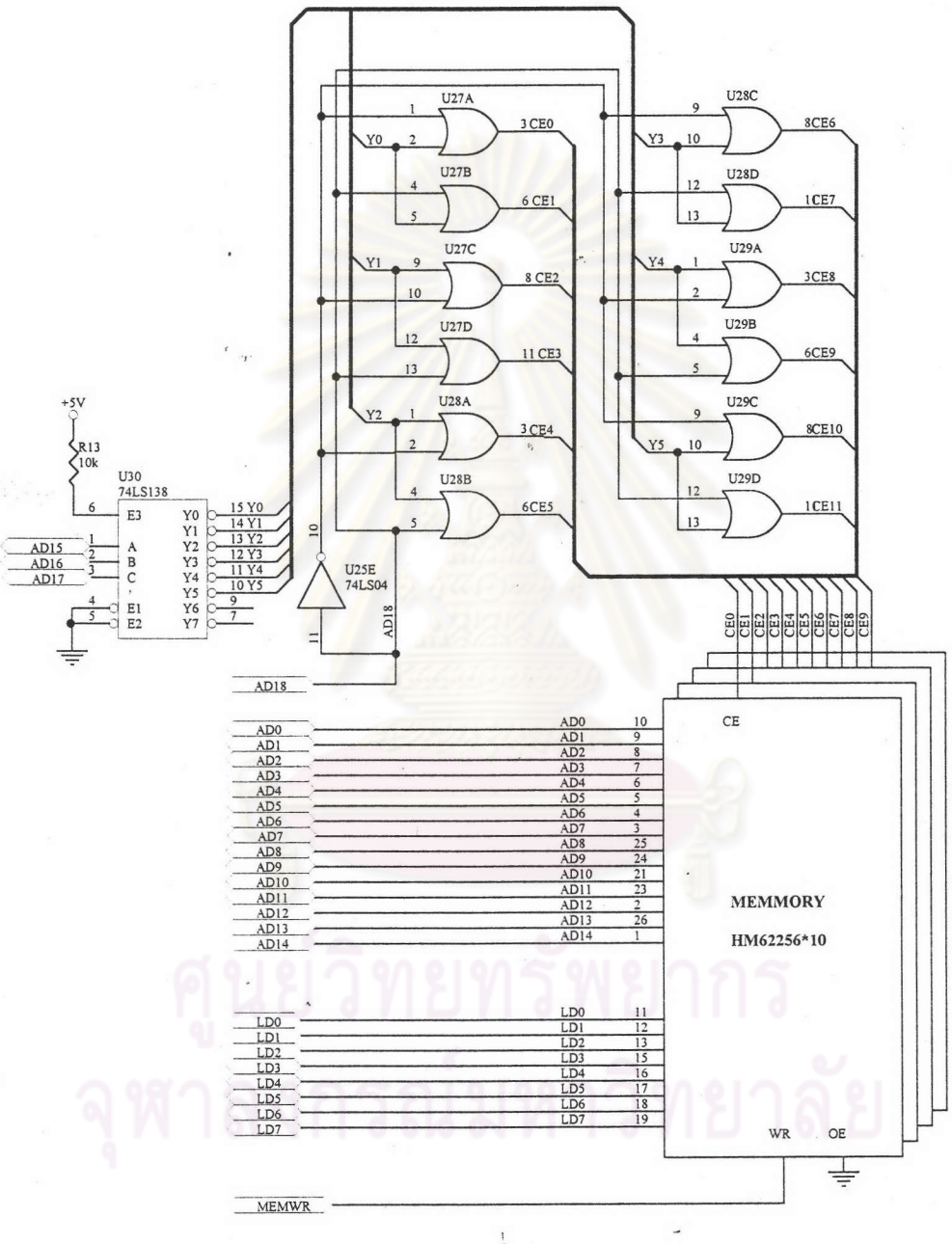
รูปที่ 3.20 แผนภาพตำแหน่งของข้อมูลเชิงตัวเลขในหน่วยความจำเพื่อแสดงภาพบนจอโทรทัศน์

จากการออกแบบการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำในรูป 3.18 จึงใช้หน่วยความจำแบบสถิตย์ (static RAM) เบอร์ HM62256 ขนาด 32 กิโลไบต์ 8 บิต จำนวณ 5 ตัว ประกอบเป็นหน่วยความจำขนาดความจุรวม 160 กิโลไบต์ โดยอาศัยการเลือก chip enable ในการติดต่อกับหน่วยความจำแต่ละตัว ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุมการทำงานของหน่วยความจำแต่ละตัวให้ทำงานสอดคล้องกันดังแผนภาพเวลาในรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 แผนภาพเวลาการทำงานของหน่วยความจำแต่ละตัว

จากแผนภาพเวลาในรูปที่ 3.21 สามารถออกแบบวงจรเลือกหน่วยความจำทั้ง 5 ตัว ต่อเนื่องกัน ได้ดังรูปที่ 3.22



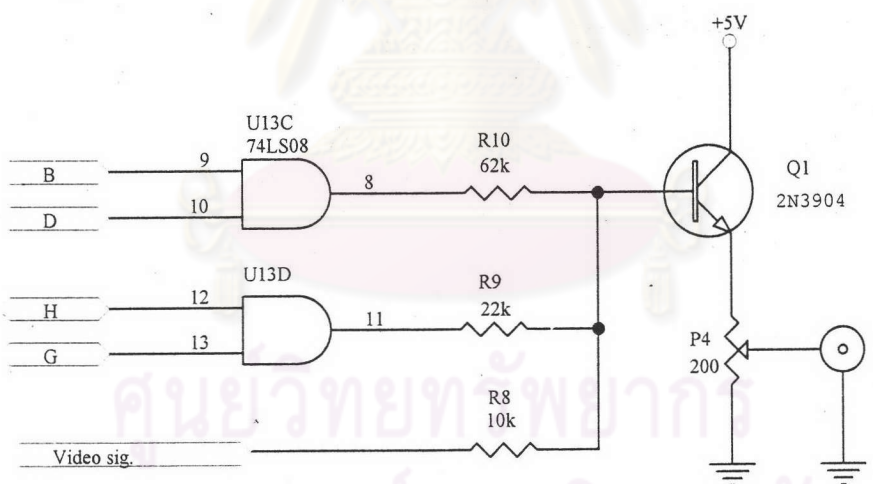
รูปที่ 3.22 วงจรหน่วยความจำและวงจรเลือกหน่วยความจำ

จากวงจรในรูปที่ 3.22 ไอซี U_{27}, U_{28}, U_{29} ประกอบเป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมการทำงานของหน่วยความจำแต่ละตัวโดยอาศัยสัญญาณกำหนดตำแหน่ง (address bus) AD_{15} ถึง

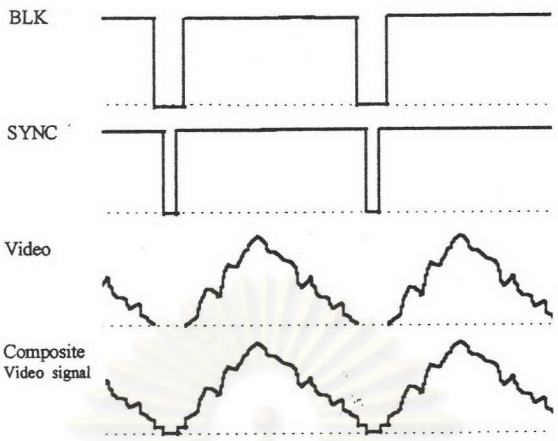
AD_{17} ส่วนสัญญาณ AD_{18} เป็นตัวเลือกการเขียนหรืออ่านข้อมูลภาพ ในภาพที่หนึ่งหรือภาพที่สอง สำหรับการเขียนหรืออ่านข้อมูลในหน่วยความจำ สามารถกำหนดจากสัญญาณ MEMWR กล่าวคือ ทำการอ่านข้อมูล (read cycle) เมื่อ MEMWR มีสถานะลอจิก low และ ทำการเขียนข้อมูล (write cycle) ลงในหน่วยความจำ เมื่อ MEMWR มีสถานะลอจิก high

3.4.6 วงจรสร้างสัญญาณภาพพร้อมองค์ประกอบ

สัญญาณภาพที่นำไปแสดงภาพบนจอโทรทัศน์ จะต้องประกอบด้วยสัญญาณต่างๆ ได้แก่ สัญญาณภาพจากวงจรแปลงสัญญาณเชิงตัวเลขเป็นอนาลอก (DAC) สัญญาณเข้าจังหวะทั้งในแนวตั้งและแนวนอน สัญญาณแบลงค์ สำหรับการกำหนดแบคพอร์ช และฟรอนท์พอร์ช เป็นต้น ดังนั้น จึงต้องทำการรวมสัญญาณ ดังกล่าวทั้งหมดเข้าด้วยกัน ตามมาตรฐานสัญญาณภาพโทรทัศน์ ดังแสดงวงจรในรูปที่ 3.23 และแผนภาพในรูปที่ 3.24



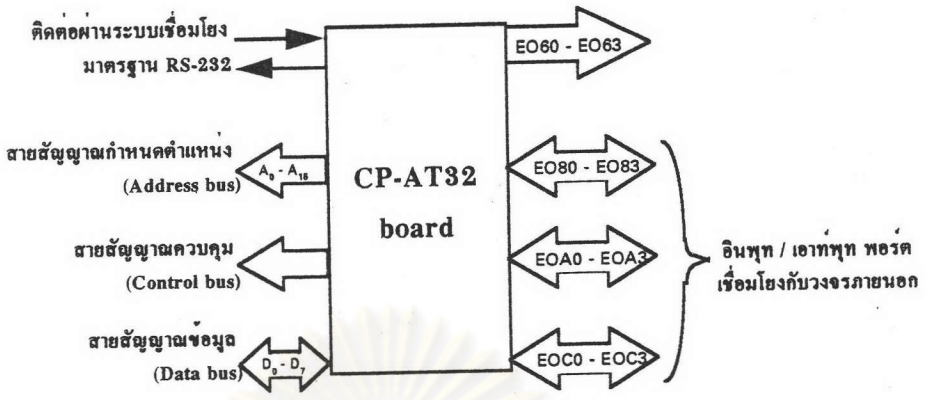
รูปที่ 3.23 วงจรรวมสัญญาณภาพโทรทัศน์



รูปที่ 3.24 แผนภาพเวลาจากวงจรรวมสัญญาณภาพโทรทัศน์

3.5 การออกแบบวงจรเชื่อมโยงสัญญาณข้อมูลภาพและสัญญาณควบคุมกับไมโครคอนโทรลเลอร์

การเชื่อมโยงสัญญาณกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมระบบสร้างภาพนั้น จะต้องพิจารณาสมรรถนะทั้งด้านฮาร์ดแวร์ (hardware) และซอฟท์แวร์ (software) ของไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย ในงานวิจัยนี้เลือกใช้แผ่นวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ CP-AT32 ของบริษัท อีทีที โดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ (CPU) เบอร์ 83C154 มีสมรรถนะการทำงานใกล้เคียงกับไมโครโปรเซสเซอร์ หมายเลข 80C52 ดังแสดงข้อแตกต่างในภาคผนวก ง ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ ออกแบบให้ทำงานที่ความถี่ 11.059 MHz ทำให้สามารถเชื่อมโยงกับวงจรภายนอกได้ด้วยความเร็วสูง สำหรับซอฟท์แวร์นั้นสามารถพัฒนาโปรแกรมทำงานได้ทั้งภาษาเบสิก (basic) และภาษาแอสเซมบลี (assembly) อีกทั้งยังมีพอร์ตสนับสนุนการเชื่อมโยงกับวงจรต่างๆ โดยกำหนดตำแหน่ง (decode port) จากโปรแกรมได้อีกด้วย รายละเอียดการเชื่อมโยงพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ CP-AT32 กับวงจรภายนอกต่างๆ แสดงในรูปที่ 3.25



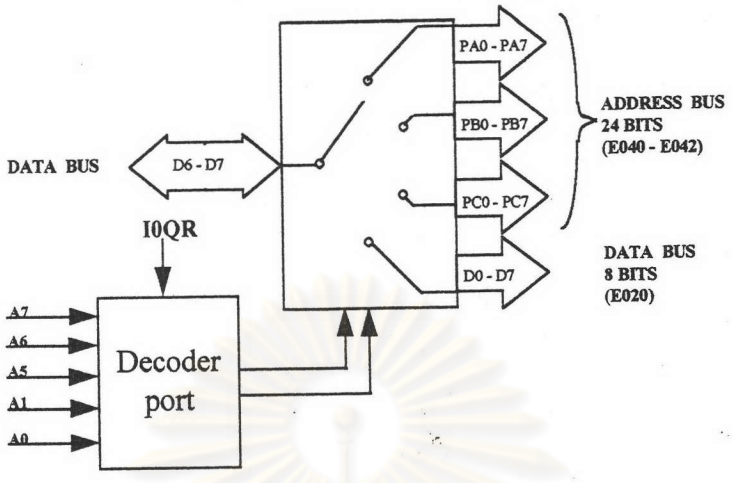
รูปที่ 3.25 แสดงรายละเอียดการเชื่อมโยงสัญญาณของไมโครคอนโทรลเลอร์

การนำไมโครคอนโทรลเลอร์มาประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลภาพขนาด 400x300 จุดภาพ จำนวน 2 ภาพ จะต้องสามารถอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำทั้งหมด 320 กิโลไบต์ แต่ไมโครโปรเซสเซอร์ (CPU) ขนาด 8 บิต จะมีสายสัญญาณกำหนดตำแหน่ง (address bus) A_0-A_{15} ทั้งหมด 16 เส้น ซึ่งสามารถคำนวณ ตำแหน่งในการเชื่อมโยงไมโครคอนโทรลเลอร์จากสมการ

$$\text{address} = 2^{\text{address bus}}$$
$$= 2^{16}$$
$$= 65536 \text{ ตำแหน่ง}$$

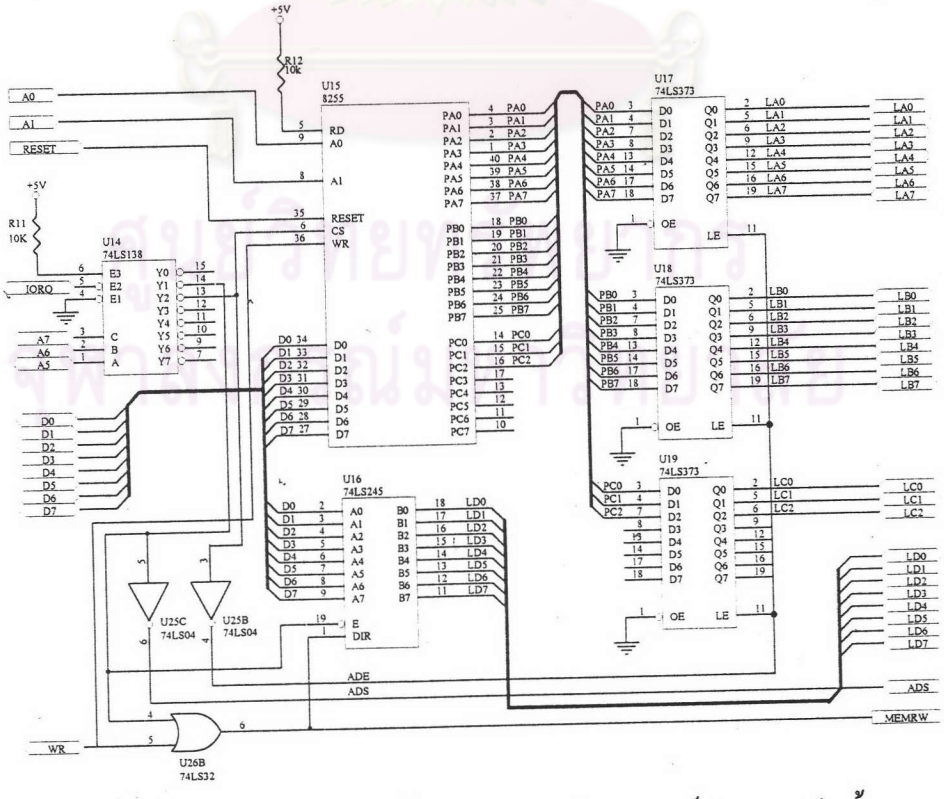
หรือสามารถติดต่อกับหน่วยความจำรวมเท่ากับ 64 กิโลไบต์

จะเห็นว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ CP-AT32 นั้นสามารถติดต่อกับหน่วยความจำได้เพียง 64 กิโลไบต์ จึงจำเป็นต้องสร้างสัญญาณกำหนดตำแหน่งขึ้นมาใหม่จำนวน 18 บิต เพื่อให้สามารถเชื่อมโยงกับหน่วยความจำทั้ง 320 กิโลไบต์ โดยอาศัยการส่งข้อมูลผ่านพอร์ตขนาด 8 บิต จำนวน 3 ครั้ง ด้วยการสร้างสัญญาณกำหนดตำแหน่งขนาด - 24 บิต ดังแสดงหลักการในรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 หลักการสร้างสัญญาณกำหนดตำแหน่งขนาด 24 บิต

เนื่องจากสายสัญญาณกำหนดตำแหน่ง (address bus) ถูกสร้างจากสายสัญญาณข้อมูล (data bus) เพื่อไม่ให้เกิดการสับสนในการเลือกสายสัญญาณ จึงกำหนดตำแหน่งของพอร์ตในการเชื่อมโยงกับสายสัญญาณกำหนดตำแหน่ง $(E040)_{16}$ ถึง $(E042)_{16}$ และสายสัญญาณข้อมูลไว้ที่ตำแหน่ง $(E020)_{16}$ โดยอาศัยวงจรเชิงตัวเลข (digital circuit) ดังแสดงในรูป 3.27



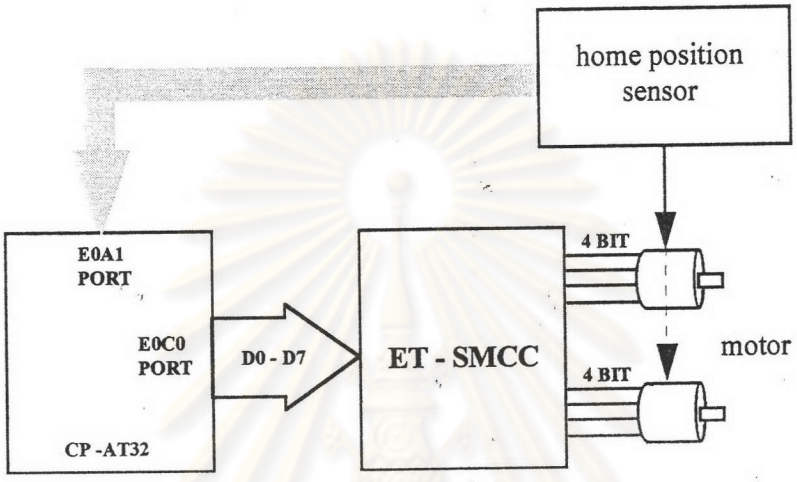
รูปที่ 3.27 วงจรเชื่อมโยงสัญญาณระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบเก็บข้อมูลภาพ

จากวงจรในรูปที่ 3.27 ไอซี U_{14} ทำหน้าที่กำหนดหมายเลขพอร์ตของไอซี U_{16} ให้ทำงานที่ตำแหน่ง $(E020)_{16}$ กล่าวคือ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์อ้างตำแหน่งที่ $(E020)_{16}$ ทำให้เกิดสภาวะlow ที่ขา 14 ของ U_{14} ซึ่งสัญญาณที่ขา 14 นี้จะถูกส่งออกไปสองส่วนคือ ส่วนแรกจะถูกกลับสัญญาณเป็นสภาวะ high ด้วย U_{25C} เกิดเป็นสัญญาณ "ADS" ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมการเลือกสายสัญญาณกำหนดตำแหน่งของระบบเก็บข้อมูลภาพ สัญญาณส่วนที่สอง จะนำไป OR กับสัญญาณ "$\overline{WR}$" เกิดเป็นสัญญาณ "$\overline{MEMRW}$" ที่ ขา 6 ของ ไอซี U_{26B} ซึ่งสัญญาณ "$\overline{MEMRW}$"นี้จะเป็นตัวกำหนดทิศทางการส่งผ่านข้อมูล D_0-D_7 ถ้า "$\overline{MEMRW}$" มีสภาวะ high เป็นการส่งผ่านข้อมูลจากหน่วยความจำไปสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ ในทางตรงกันข้ามหาก "$\overline{MEMRW}$" มีสภาวะ low แสดงว่าเป็นการส่งผ่านข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ลงสู่หน่วยความจำของระบบเก็บภาพนั่นเอง ส่วนไอซี U_{15} เป็นพอร์ตสำหรับการรับส่งข้อมูลแบบขนานระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานของพอร์ต จากการควบคุมด้วยโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตำแหน่งของพอร์ตไว้ที่ตำแหน่ง $(E040)_{16}$ ถึง $(E042)_{16}$ โดยที่ตำแหน่ง $(E043)_{16}$ เป็นการควบคุมการทำงานของพอร์ตจากโปรแกรม ดังนั้น หลังจากโปรแกรมกำหนดลักษณะการทำงานของพอร์ต $(E043)_{16}$ ให้ทำงานในลักษณะการส่งข้อมูลเพียงอย่างเดียว เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์อ้างตำแหน่งที่ $(E040)_{16}$ ถึง $(E042)_{16}$ เป็นผลทำให้เกิดสภาวะ low ที่ขา 13 ของไอซี U_{14} ซึ่งสัญญาณที่ขา 13 นี้จะถูกแบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกจะเชื่อมโยงกับไอซี U_{15} ที่ขา CS (chip select) เพื่อกำหนดให้ไอซี U_{15} ทำงานส่งข้อมูลผ่านพอร์ต Pa, Pb และ Pc สัญญาณส่วนที่สองจะถูกนำไปกลับสภาวะ high ด้วยไอซี U_{25B} ที่ขา 4 เกิดเป็นสัญญาณ "ADE" เพื่อควบคุมการทำงานของไอซี U_{17},U_{18} และ U_{19} ให้ทำการค้างสภาวะด้านขาออกของสัญญาณทั้ง 3 กลุ่มคือ สัญญาณ LA_0-LA_7, LB_0-LB_7, LC_0-LC_2 รวมเป็นสัญญาณกำหนดตำแหน่งขนาด 19 บิต ในการเก็บข้อมูลเชิงเลขจำนวน 2 ภาพลงในหน่วยความจำ

3.6 การเชื่อมโยงไมโครคอนโทรลเลอร์กับระบบขับเคลื่อนทางกล

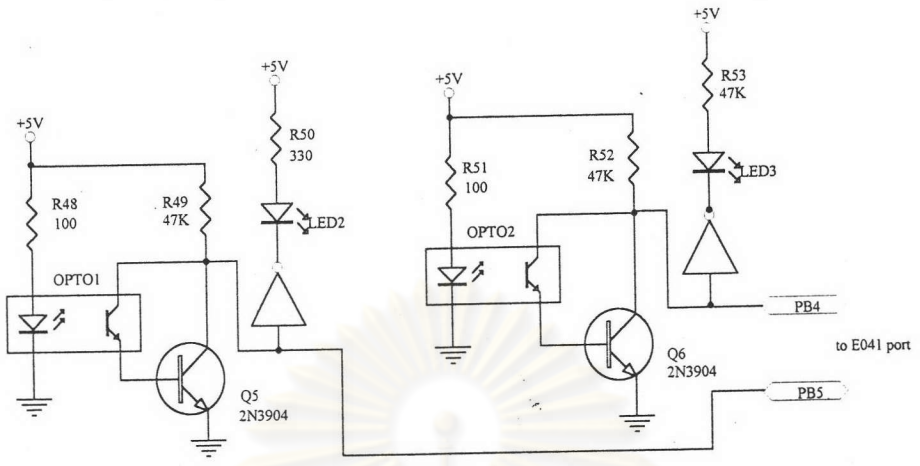
ระบบขับเคลื่อนทางกลที่ออกแบบนั้น สามารถขับเคลื่อนโปรปวัดรังสีส่วนหน้าซึ่งมีน้ำหนักรวมประมาณ 250 กรัม ให้สามารถสแกนภาพชิ้นงาน ในระนาบสองมิติบนพื้นที่ 40x30 ตารางเซนติเมตร ระบบขับเคลื่อนนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นส่วนของอุปกรณ์ทางกล ได้แก่ สเต็ปปิงมอเตอร์ (stepping motor) และโครงสร้างทางกล ซึ่งแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ค ส่วนที่สอง เป็นส่วนของอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งประกอบด้วย วงจรควบคุม

การทำงานของสเต็ปปิงมอเตอร์ และวงจรควบคุมจุดเริ่มของมอเตอร์ ส่วนนี้เป็นส่วนที่ต้องทำงานให้สอดคล้องกับระบบเก็บข้อมูลภาพ โดยเชื่อมโยงกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านแผ่นวงจรควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์ (ET-SMCC) ของบริษัท อีทีที ดังแสดงแผนภาพการเชื่อมโยงของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในรูปที่ 3.28 และวงจรควบคุมจุดเริ่มต้นในรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.28 แผนภาพการเชื่อมโยงระบบขับเคลื่อนทางกลกับไมโครคอนโทรลเลอร์

จากแผนภาพในรูปที่ 3.28 เป็นการเชื่อมโยงแผ่นวงจรควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์ที่พอร์ต $(E0C0)_{16}$ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยการส่งผ่านข้อมูลขนาด 8 บิต (D_0-D_7) ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกแบ่งเป็นสองส่วนคือ ข้อมูล 4 บิตแรกจะควบคุมการหมุนของสเต็ปปิงมอเตอร์ในแกน X ส่วนข้อมูลที่เหลืออีก 4 บิต จะควบคุมสเต็ปปิงมอเตอร์ในแกน Y สำหรับการหมุนของมอเตอร์ทั้งสองตัวจะทำงานด้วยโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์ ด้วยการส่งผ่านข้อมูลออกเพียงอย่างเดียว จึงทำให้ไม่สามารถตรวจสอบพิกัดของการเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการควบคุมให้มอเตอร์แต่ละแกนเริ่มต้นที่พิกัด X=0 และ Y=0 หรือจุดเริ่มต้น (home position) ด้วยวงจรดังในรูปที่ 3.29

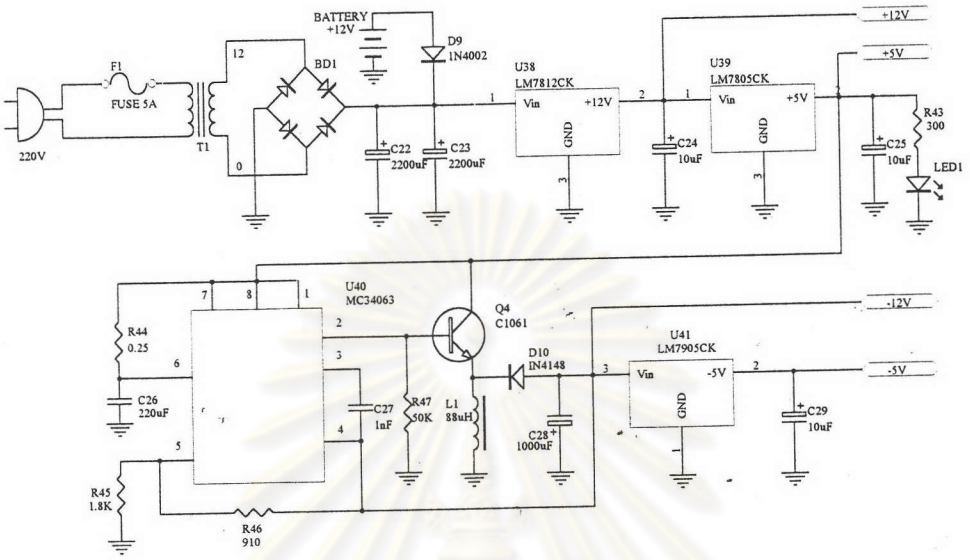


รูปที่ 3.29 วงจรควบคุมจุดเริ่มต้นของมอเตอร์

จากรูปที่ 3.29 เป็นการนำอุปกรณ์ตรวจสอบตำแหน่งด้วยแสง (opto sensor) เพื่อควบคุมให้มอเตอร์สามารถเคลื่อนโปรปวัดรังสีมายังพิกัด (0,0) โดย Opto1 และ Opto2 เป็นตัวตรวจสอบจุดเริ่มต้น (home position) ในแกน X และ Y ทุกครั้งที่เริ่มทำงาน สเต็ปปิงมอเตอร์นำโปรปวัดเคลื่อนมายังตำแหน่ง (0,0) จะเป็นผลทำให้ขาคอลเลคเตอร์ของ Q_5 และ Q_6 เปลี่ยนสภาวะจาก high เป็นสภาวะ low และถูกส่งผ่าน PB_4 และ PB_5 เข้าสู่ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ส่วน LED_2 และ LED_3 เป็นไดโอดแบบเปล่งแสง (LED) ใช้แสดงตำแหน่งของโปรบวัดรังสีเมื่ออยู่ในตำแหน่ง X=0 และ Y=0 ตามลำดับ

3.7 การออกแบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ

แหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำของทั้งระบบได้ออกแบบให้สามารถจ่ายไฟฟ้า ให้แก่วงจรต่างๆ ทั้งวงจรอนาลอกและเชิงตัวเลข พร้อมทั้งออกแบบให้สามารถสำรองแหล่งจ่ายพลังงานจากแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ จึงจัดแหล่งจ่ายศักดาไฟต่ำนี้ให้ ประกอบด้วยวงจรแบบศักดาไฟฟ้าคงที่ +12, +5, -12 และ -5 โวลต์ ดังแสดงวงจรในรูปที่ 3.30



รูปที่ 3.30 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้าศักดาต่ำ

จากวงจรรูปที่ 3.30 T_1 เป็นหม้อแปลงศักดาไฟฟ้า ทำหน้าที่ ลดระดับศักดาไฟฟ้ากระแสสลับจาก 220 โวลต์ ให้เหลือ 12 โวลต์ เรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์ (Bridge rectifier) ทำให้เกิดศักดาไฟฟ้ากระแสตรงที่ C_{23} เท่ากับ $12\sqrt{2}$ หรือ 17 โวลต์ ส่งผ่านเข้าสู่ U_{38} และ U_{39} ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมศักดาไฟฟ้าทางออกให้คงที่ที่ระดับ 12 โวลต์ หรือ 5 โวลต์ตามลำดับ ในขณะเดียวกัน LED จะสว่างเมื่อได้รับศักดาไฟตรง 5 โวลต์บนคาปาซิเตอร์ C_{25} ส่วนไอซี U_{40} ถูกจัดเป็นวงจรแปลงศักดาไฟฟ้า (voltage inverting converter) ทำหน้าที่แปลงศักดาไฟกระแสตรง +5 โวลต์ เป็น -12 โวลต์ และส่งผ่านให้ U_{41} สร้างศักดาไฟฟ้าคงที่ -5 โวลต์ บน C_{29}

3.8 ระบบเชื่อมโยงสัญญาณมาตรฐาน RS - 232C

การส่งข้อมูลภาพจากหน่วยความจำสำรอง ไปยังไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อจัดการด้านกระบวนการทางภาพนั้น จัดในลักษณะข้อมูลอนุกรมมาตรฐาน RS-232C อัตราความเร็วในการส่งข้อมูล (baud rate) ในกรณีที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ เบอร์ 83C154 จะมีระบบส่งข้อมูลในตัวเอง เมื่อเลือกให้ริจิสเตอร์ Timer1 (TH1) ทำงานในโหมด 2 จะสามารถกำหนดอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลได้จากสมการ[10]

$$\text{baud rate} = \frac{2^{SMOD}}{32} \times \frac{oscillator\ frequency}{12 \times [256 - (TH1)]} \quad \text{.....(3.1)}$$

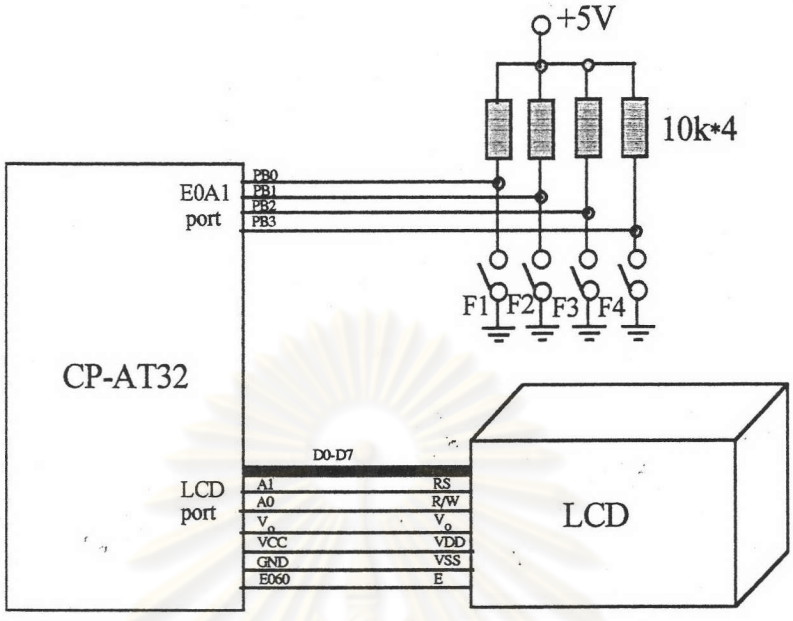
หรือสามารถกำหนดได้จากตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การกำหนด Timer 1 ในการสร้างอัตราความเร็วของการส่งข้อมูล

Baud Rate	fosc	SMOD	Timer1		
			C/T	Mode	reload value
Mode 0 Max : 1 MHz	12 MHz	X	X	X	X
Mode 2 Max : 375 kHz	12 MHz	1	X	X	X
Mode 1,3 : 6.25kHz	12 MHz	1	0	2	FFH
19.2 kHz	11.059 MHz	1	0	2	FDH
9.6 kHz	11.059 MHz	0	0	2	FDH
4.8 kHz	11.059 MHz	0	0	2	FAH
2.4 kHz	11.059 MHz	0	0	2	F4H
1.2 kHz	11.059 MHz	0	0	2	E8H
137.5 Hz	11.059 MHz	0	0	2	1DH
110 Hz	6 MHz	0	0	2	72H
110 Hz	12 MHz	0	0	1	FEE8H

3.9 ระบบรับคำสั่งจากคีย์บอร์ดและแสดงผลบนจอผลึกเหลว(LCD)

ระบบสแกนข้อมูลภาพนี้ออกแบบให้ทำงานในโหมดต่างๆ เช่นโหมดการเก็บข้อมูลภาพ การลบข้อมูล และการโอนถ่ายข้อมูลให้กับไมโครคอมพิวเตอร์ รวมทั้งสามารถเลือกการเก็บข้อมูลเชิงตัวเลขในภาพที่ 1 หรือภาพที่ 2 ได้อีกด้วย ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ที่ติดต่อกับผู้ใช้ เพื่อที่จะสามารถควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ให้ทำงานตามต้องการ โดยส่งข้อมูลผ่านคีย์บอร์ด (keyboard) ขนาด 4 แป้นพิมพ์ และแสดงผลด้วยจอแบบผลึกเหลว (Liquid Crystal Display :LCD) ชนิด dot matrix ขนาด 4x16 ตัวอักษร ดังแสดงการเชื่อมโยงอุปกรณ์ทั้งสองกับไมโครคอนโทรลเลอร์ในแผนภาพรูปที่ 3.31

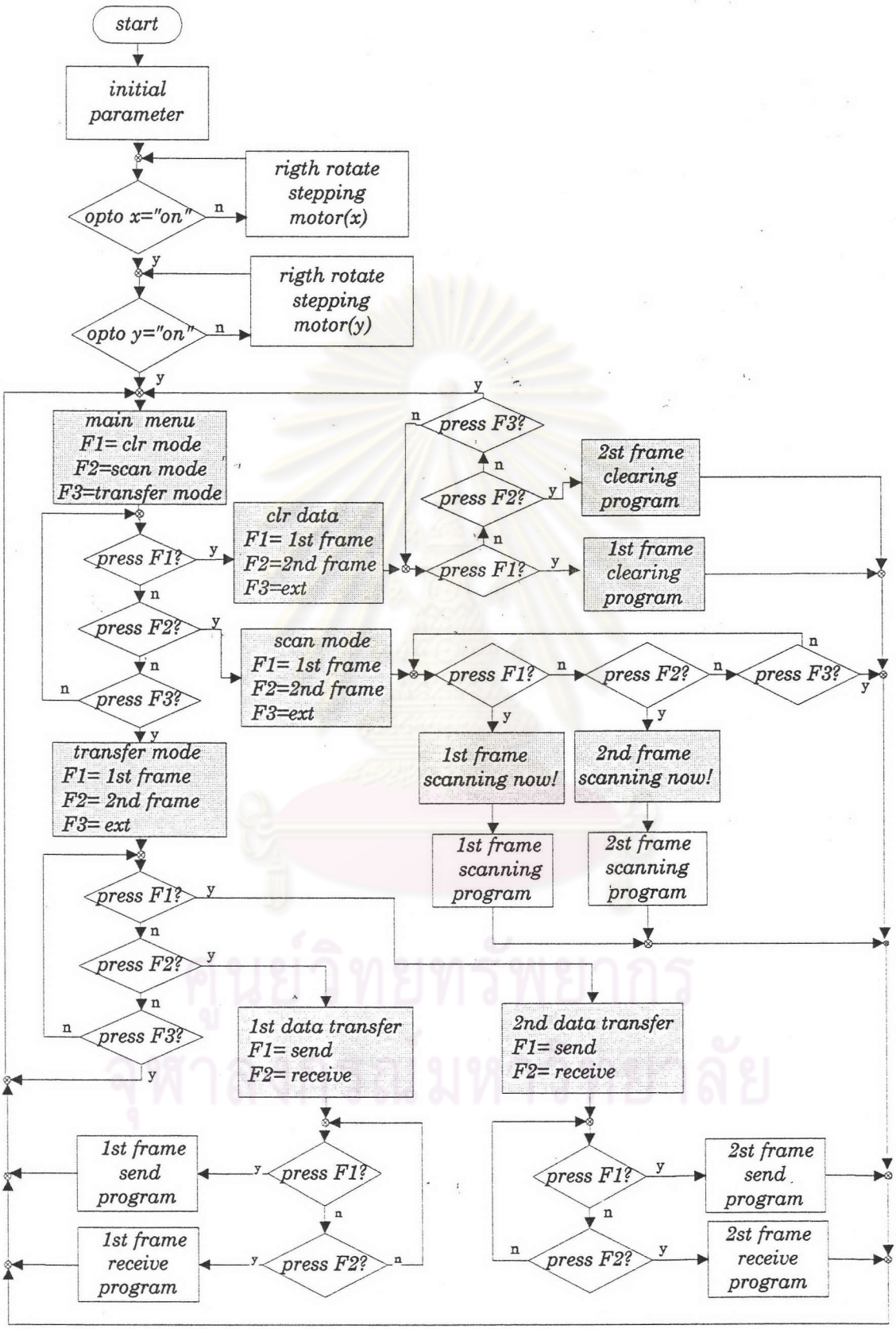


รูปที่ 3.31 แผนภาพการเชื่อมโยงอุปกรณ์แสดงผลและแป้นกดเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์

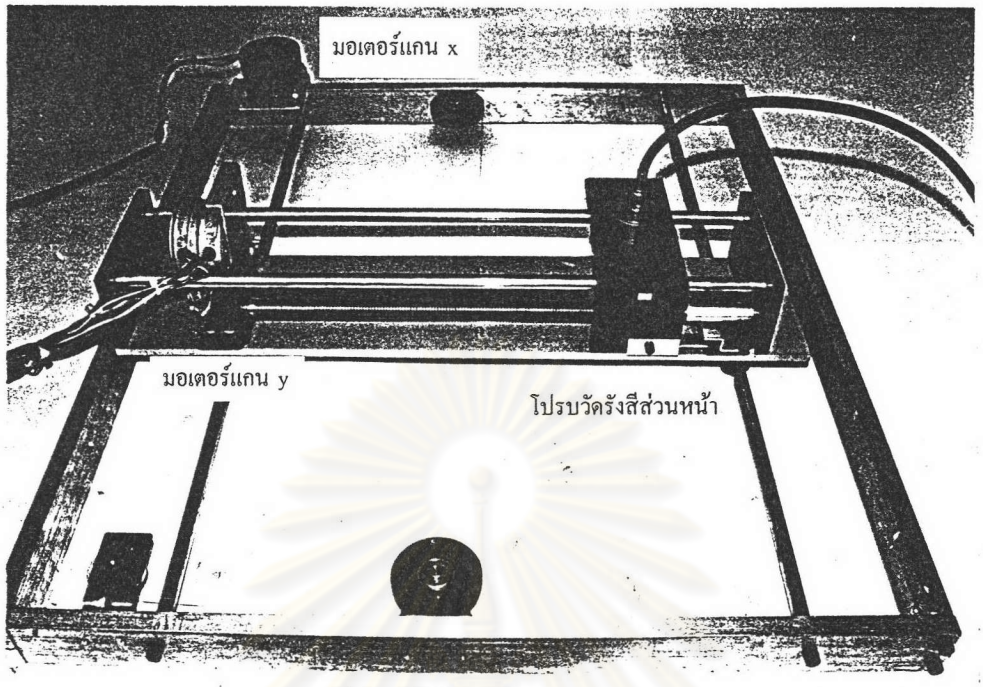
ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะรับการเชื่อมโยงคีย์บอร์ด F1ถึง F4 เข้าทางพอร์ต ($E0A1_{16}$ และจะทำงานเมื่อกดแป้นใดแป้นหนึ่ง ให้ได้รับสัญญาณลอจิก low ที่ PB_0-PB_3จากการกด F1-F4 ตามลำดับ ส่วนอุปกรณ์แสดงผลทางจอแบบผลึกเหลวจะเชื่อมโยงเข้ากับพอร์ต $(E060)_{16}$ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ CP-AT32 ซึ่งได้ออกแบบให้สามารถเชื่อมโยงกับ LCD สำเร็จรูปซึ่งควบคุมการทำงานด้วยไอซี HD4478 ได้โดยตรง และสามารถควบคุมคอนทราสต์ (contrast) ของจอ LCD ได้ด้วยการปรับศักดาไฟฟ้าที่ขา V_0 รายละเอียดของ LCD แสดงในภาพผนวก จ

3.10 การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสแกนข้อมูลภาพ

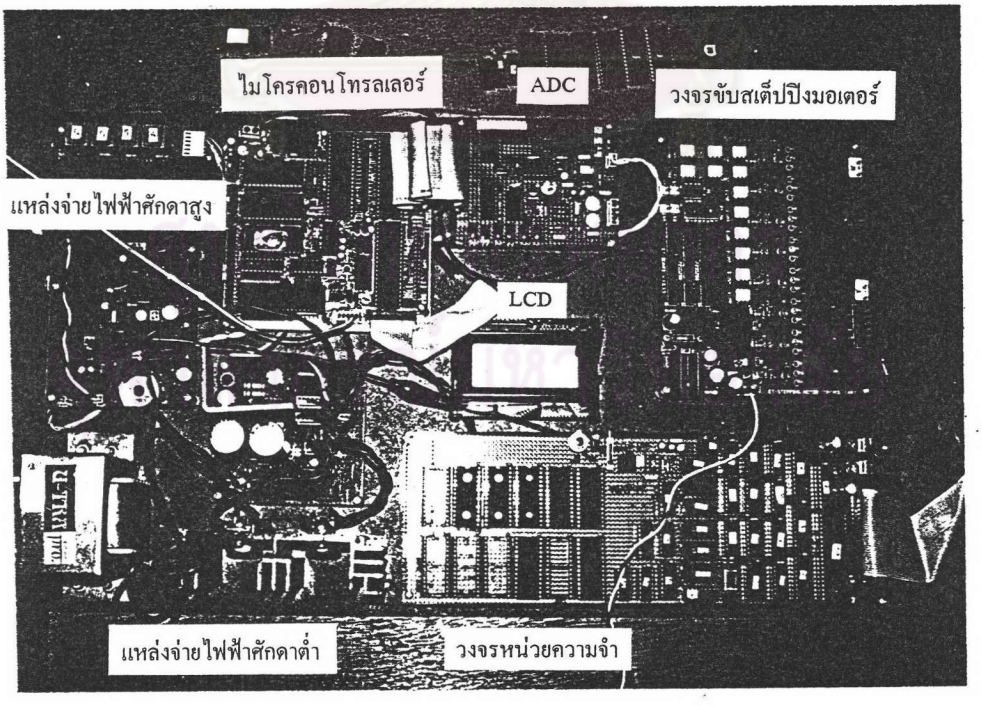
โปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบควบคุมการทำงานในโหมดการเก็บของข้อมูล การลบข้อมูล และการโอนถ่ายข้อมูล เขียนด้วยภาษาแอสเซมบลีและภาษาเบสิก มีขนาด 5925 ไบต์ มีโฟลวชาร์ตการทำงานดังในรูปที่ 3.32 และโปรแกรมในภาคผนวก ฉ



รูปที่ 3.32 โฟลวชาร์ตของโปรแกรมควบคุมการทำงานของระบบสแกนภาพ



รูปที่ 3.33 ภาพถ่ายระบบขับเคลื่อนโปรบวัดรังสี



รูปที่ 3.34 ภาพถ่ายระบบสแกนข้อมูลภาพ