บทที่ 4

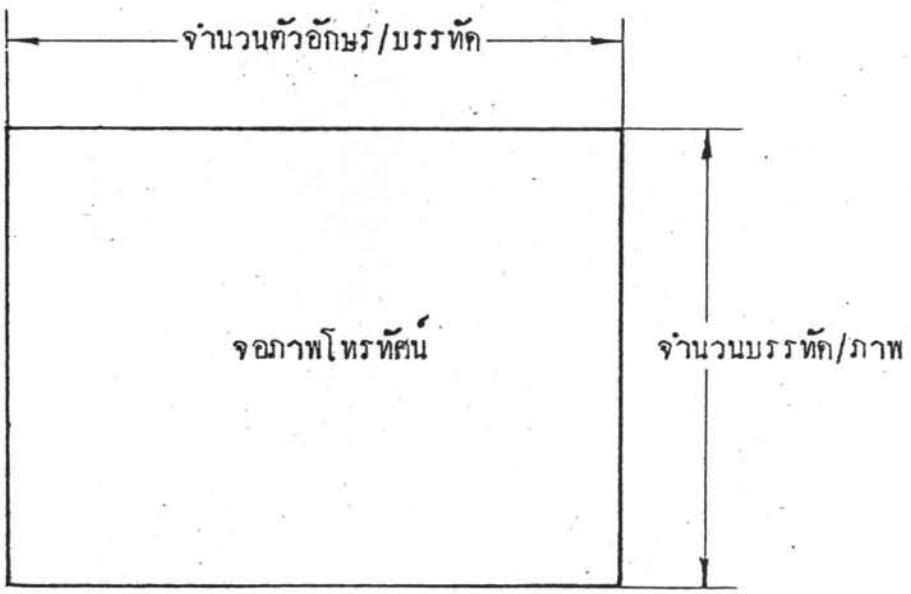
การออกแบบและสร้างวงจรแสดงผลตัวอักษร

4.1 รูปแบบที่ต้องการแสดงบนจอโทรทัศน์

ในการออกแบบวงจรแสดงผลตัวอักษรนั้น ต้องทราบความต้องการต่าง ๆ เกี่ยวกับรูปแบบการแสดงผล เช่น

- จำนวนตัวอักษรต่อหนึ่งบรรทัด
- จำนวนบรรทัดต่อหนึ่งภาพ
- จำนวนจุดตามความกว้างของตัวอักษร
- จำนวนจุดตามความสูงของตัวอักษร
- ตำแหน่งของหน่วยความจำที่ต้องการแสดงผล

สมมุติว่า ต้องการให้หนึ่งภาพมีตัวอักษร 16 บรรทัด บรรทัดละ 64 ตัวอักษร ตัวอักษรหนึ่ง ๆ กว้าง x สูง = 5 x 7 จุด ดังนั้นคาร์แรคเตอร์เจนเนอร์เรเตอร์ ควรใช้เบอร์ 2513 ก็เพียงพอเพราะคุณสมบัติของไอซีเบอร์ 2513 มีขนาดตัวอักษร 5 x 7 จุดตามต้องการ



รูปที่ 4.1 แสดงจำนวนตัวอักษรที่แสดงออกมาทางจอโทรทัศน์

4.2 การคำนวณหาความถี่จะป้อนให้กับวงจรแสดงผลตัวอักษร

ก่อนที่ จะคำนวณหาความถี่ของจุด (dot clock) บนจอโทรทัศน์ได้ ต้องทราบความต้องการอื่น ๆ เสียก่อนได้แก่

- เวลาในการสะแกน 1 เส้น = 54 ไมโครวินาที
- ความกว้างของตัวอักษร ขึ้นอยู่กับคาร์แรคเตอร์เจนเนอร์เรเตอร์ในที่นี้ใช้เบอร์ 2513 ซึ่งตัวอักษรมีขนาด 5 x 7 จุด คือมีความกว้างทางแนวนอน 5 จุด แต่เพื่อความสวยงาม ควรบวกช่วงห่างระหว่างตัวอักษรไว้ด้วย ในที่นี้ต้องการให้มีช่องว่าง 4 จุด ดังนั้นความกว้างของตัวอักษรคือ 9 จุด
- จำนวนตัวอักษรใน 1 บรรทัด ในที่นี้ต้องการ 64 ตัวอักษรต่อบรรทัด

เมื่อ ทราบความต้องการต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว สามารถคำนวณหาความถี่ของจุดได้จากสูตรต่อไปนี้ (3)

$$\text{ความถี่ } f = \frac{1}{T} \quad \text{เฮิทซ์}$$

T = ช่วงเวลาที่ใช้สะแกน 1 จุด

$$\text{ดังนั้น } T = \frac{\text{ช่วงเวลาในการสะแกน 1 เส้น}}{\text{จำนวนจุดที่สะแกน 1 เส้น}} \quad \text{ไมโครวินาที}$$

$$T = \frac{54}{9 \times 64} \quad \text{ไมโครวินาที}$$

$$\text{ดังนั้นความถี่จุด (dot freq.)} = \frac{9 \times 64}{54} \quad \text{เม็กกะเฮิทซ์}$$

$$= 10.66 \quad \text{เม็กกะเฮิทซ์}$$

(ในทางปฏิบัติใช้ความถี่ จุด = 10.5 เม็กกะเฮิทซ์)

เมื่อ คำนวณหาความถี่ของจุด (dot frequency) ได้แล้ว สามารถหาความถี่ของตัวอักษร (Character frequency)

$$\text{ความถี่ของตัวอักษร} = \frac{\text{ความถี่ของจุด}}{\text{จำนวนจุดต่อตัวอักษร}} \quad \text{เม็กกะเฮิทซ์}$$

$$= \frac{10.66}{9} \quad \text{เม็กกะเฮิทซ์}$$

ความถี่ตัวอักษร = 1.185 เมกกะเฮิทซ์

การคำนวณหาจำนวนบรรทัดบนจอโทรทัศน์

เนื่องจากการควบคุมการสะแกนของไอซีเบอร์ 8275 เป็นแบบนอนอินเตอร์เลซสะแกนนิ่ง[2] (Non-Interlace Scaning) ดังนั้นจำนวนเส้นที่สะแกนออกมาทางจอโทรทัศน์จะมีเพียง 312.5 เส้น เท่านั้น สำหรับไอซีเบอร์ 8275 นี้ สามารถโปรแกรมให้สะแกนจำนวนบรรทัดได้ตั้งแต่ 1 ถึง 64 บรรทัด ต่อหนึ่งภาพ เว้นบรรทัดหรือไม่เว้นบรรทัดก็ได้ จำนวนเส้นต่อบรรทัดก็ยังโปรแกรมได้ตั้งแต่ 1 ถึง 16 เส้นต่อบรรทัด

ถ้าเราต้องการใช้ 8 เส้น ต่อบรรทัดและเว้นบรรทัด จะได้จำนวนเส้นใน 1 บรรทัด (รวมบรรทัดที่เว้นด้วย) เท่ากับ 16 เส้น

$$\therefore \text{หนึ่งภาพจะได้จำนวนบรรทัด} = \frac{\text{จำนวนเส้นในหนึ่งภาพ}}{\text{จำนวนเส้นในหนึ่งบรรทัด}}$$

$$= \frac{312.5}{16}$$

$$= 19.5 \text{ บรรทัด}$$

เมื่อ ได้จำนวนบรรทัดเท่ากับ 19 บรรทัดต่อหนึ่งภาพ ต้องเหลือบรรทัดไว้เพื่อการสะบัดกลับทางแนวตั้งอีก 1 ถึง 4 บรรทัดในที่นี้ใช้ 3 บรรทัด ดังนั้นจำนวนบรรทัดที่ใช้ได้จริง ๆ คือ 16 บรรทัดตามที่ ต้องการ

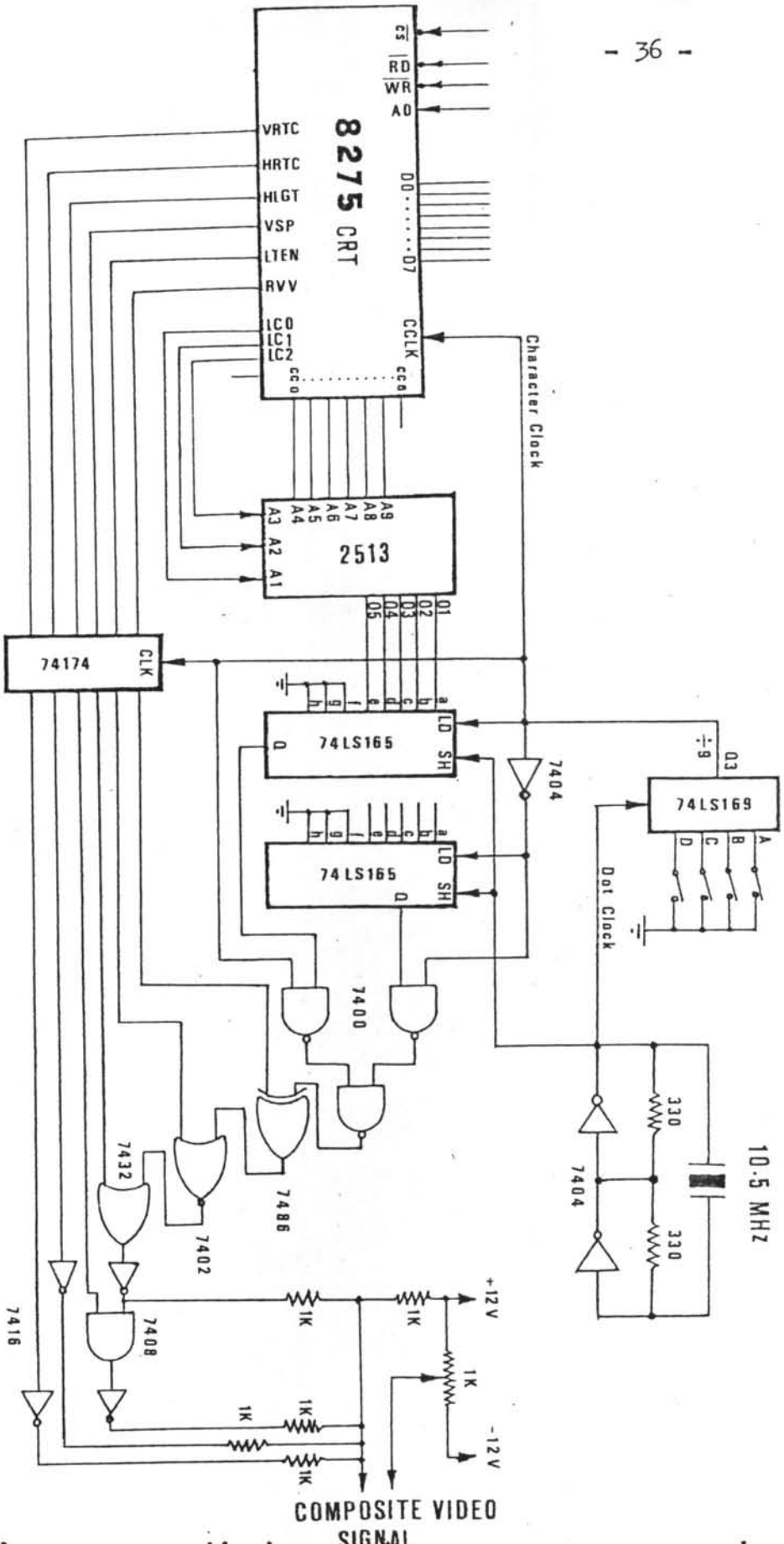
4.3 การออกแบบวงจรเชื่อมต่อระหว่างวงจรแสดงผลตัวอักษรกับวงจรโทรทัศน์[4]

ไอซีเบอร์ 8275 มีสัญญาณควบคุมการสะแกนของโทรทัศน์อยู่พร้อมแล้ว คือ

- สัญญาณชิงค์ทางแนวนอนคือสัญญาณ HRTC (Horizontal retrace)
- สัญญาณชิงค์ทางแนวตั้งคือสัญญาณ VRTC (Vertical retrace)
- สัญญาณแบล็งค์ทางแนวนอนและแนวตั้งคือสัญญาณ VSP (Video Suppress)
- สัญญาณภาพในแต่ละเส้นคือ สัญญาณจาก CC_0-CC_6 และ LC_0-LC_3

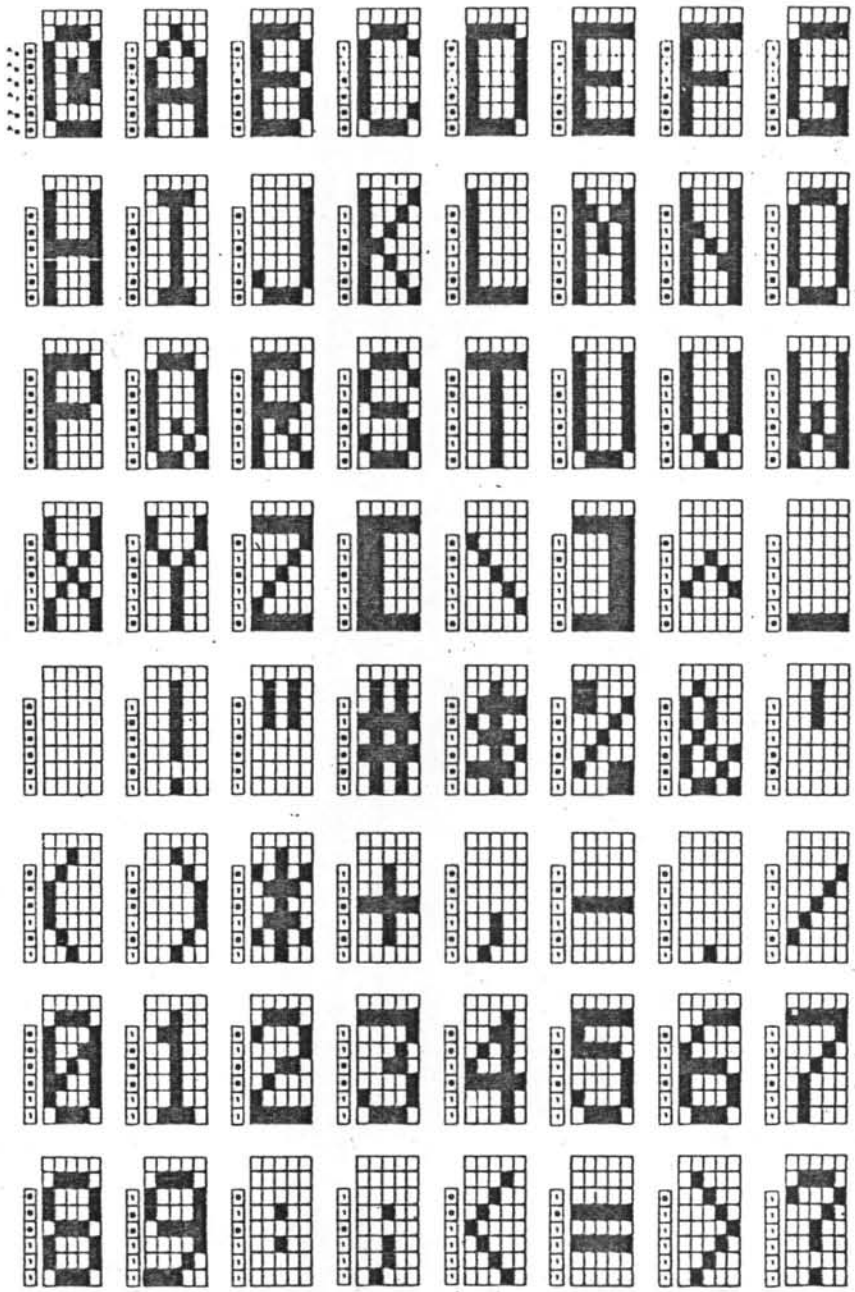
สัญญาณต่าง ๆ ข้างบนนี้จะออกจากตัวไอซีเบอร์ 8275 ตามเวลาที่ถูกต้อง

i 17912817



รูปที่ 4.2 แสดงวงจรที่ต่อเพิ่มเติมระหว่างวงจรควบคุมการสะแกนกับเครื่องรับโทรทัศน์

เนื่องจากสัญญาณออกจากไอซีเบอร์ 8275 มี CC_0-CC_6 ทั้งหมด 7 เส้น เพื่อป้อนให้คาร์แรคเตอร์เจนเนอร์เรเตอร์ แต่คาร์แรคเตอร์เจนเนอร์เรเตอร์เบอร์ 2513 รับได้เพียง 6 เส้นเท่านั้น คือ A_4-A_9 ดังนั้นสัญญาณ CC_6 จะถูกปล่อยให้ว่างไว้ ดังนั้นตัวอักษรที่แสดงบนจอโทรทัศน์เมื่อใช้คาร์แรคเตอร์เจนเนอร์เรเตอร์เบอร์ 2513 จะมีเพียง 64 ชนิดเท่านั้น และจะไม่สามารถแสดงผลตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กได้ ดังรูปที่ 4.3

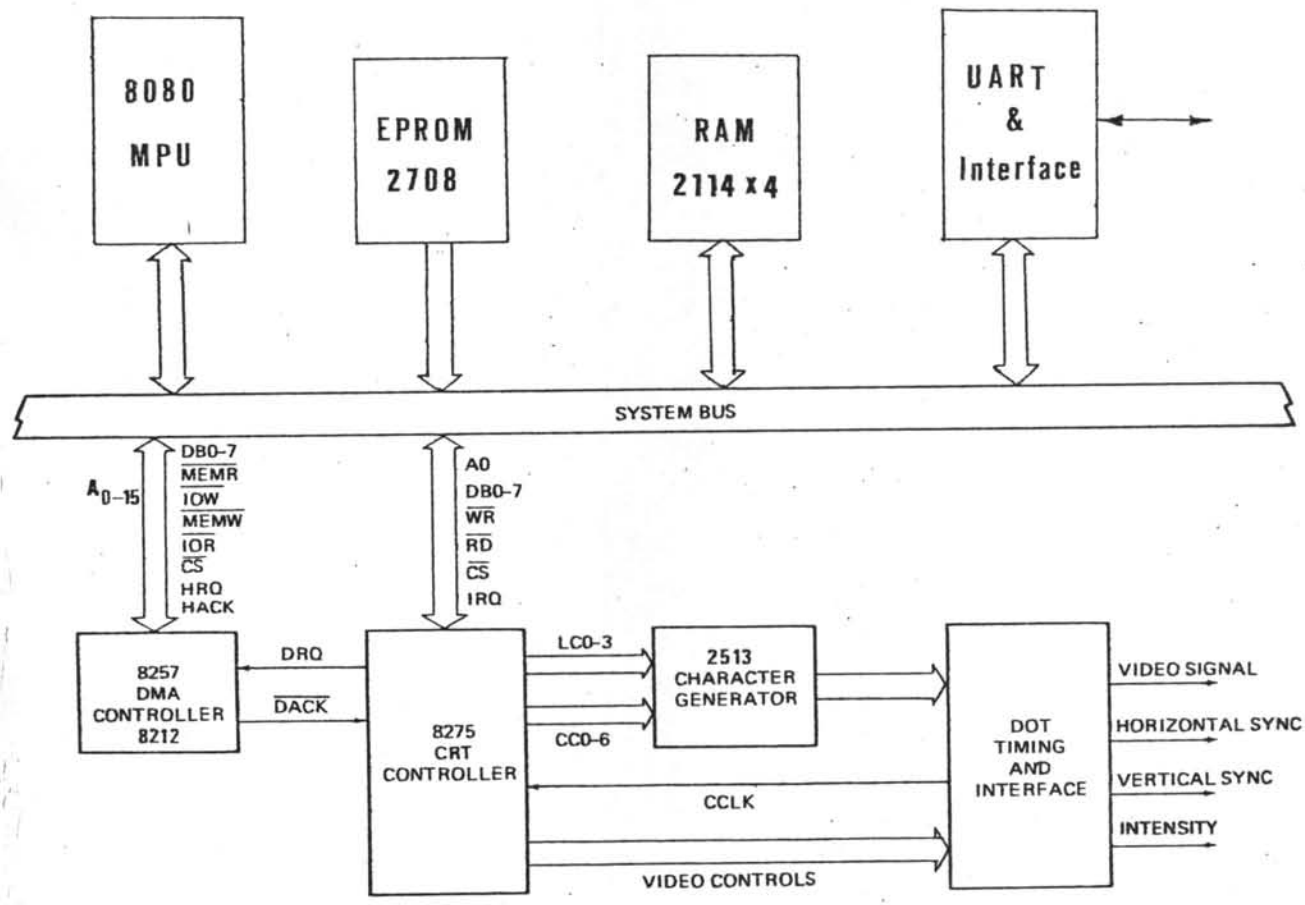


รูปที่ 4.3 แสดงรูปแบบของตัวอักษรบนจอโทรทัศน์เมื่อใช้คาร์แรคเตอร์เจนเนอร์เรเตอร์เบอร์2513

ในทำนองเดียวกันสัญญาณ LC_0–LC_3 ของไอซีเบอร์ 8275 ป้อนให้กับ A_1–A_3 ของคาร์แรคเตอร์เจนเนอร์เรเตอร์ 2513 ดังนั้นจะเหลือ LC_3 ไว้ ทำให้จำนวนเส้นสะแกนต่อบรรทัดเป็นไปได้จาก 1 – 8 เส้นต่อบรรทัดเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ การออกแบบรูปแบบของบรรทัดจึงต้องเจนบรรทัดเพื่อให้ช่องห่างระหว่างบรรทัดเป็น 9 เส้น ดังนั้น จะได้จำนวนเส้นต่อบรรทัดที่แท้จริงเท่ากับ 16 เส้นด้วย

4.4 การออกแบบวงจรเชื่อมต่อระหว่างวงจรแสดงผลกับระบบไมโครโปรเซสเซอร์

การใช้ไอซีเบอร์ 8257 เป็นตัวควบคุมการสะแกนของโทรทัศน์นั้นการที่จะนำมาต่อกับระบบหน่วยความจำ ต้องต่อผ่านไอซีเบอร์ 8257 ซึ่งเป็นตัวควบคุมการนำข้อมูลเข้าออกหน่วยความจำของระบบไมโครโปรเซสเซอร์ 8080 ดังรูปที่ 4.4



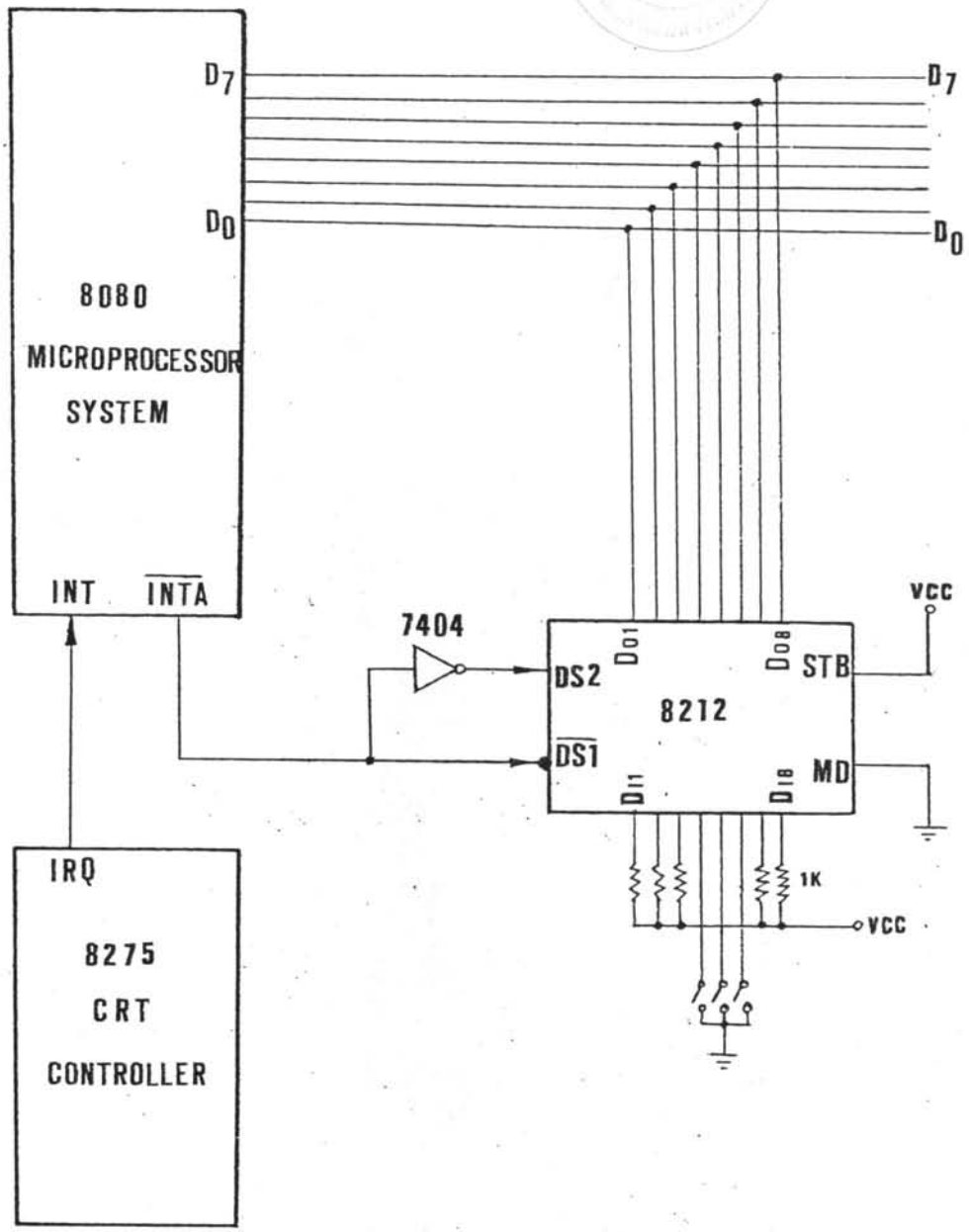
รูปที่ 4.4 แสดงการต่อวงจรระหว่างวงจรแสดงผลตัวอักษรกับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ 8080

ไอซีเบอร์ 8275 และ 8257 ทั้งสองตัวนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อ ป้อนโปรแกรมให้หลังจากเปิดสวิทช์จ่ายไฟให้ เรียบร้อยแล้ว สำหรับเบอร์ 8275 เมื่อ แสดงผลตัวอักษรเกือบจะครบ 1 ภาพ จะมีสัญญาณ IRQ (Interrupt request) ออกไปบอกไมโครโปรเซสเซอร์ให้ตั้งโปรแกรมสั่งให้ 8257 ทำการดึงข้อมูลตามตำแหน่งที่ต้องการให้กับ 8275 ดังนั้น 8275 จะส่งสัญญาณอินเตอร์รัพท์รีเควสท์ไปยังระบบไมโครโปรเซสเซอร์ทุก ๆ ภาพ ($\frac{1}{50}$ วินาที)

ในการส่งสัญญาณอินเตอร์รัพท์รีเควสท์ไปนั้นระบบไมโครเซสเซอร์จะตอบสนองทุกครั้ง นั่นคือระบบไมโครโปรเซสเซอร์จะหยุดการทำงานในโปรแกรมหลัก (Main program) ชั่วคราว เพื่อไปให้บริการในโปรแกรมของอินเตอร์รัพท์รูทีน (Interrupt routine) เมื่อเสร็จจากการบริหารในอินเตอร์รัพท์รูทีนแล้วไมโครโปรเซสเซอร์จะกลับไปสู่โปรแกรมหลักเองด้วยคำสั่ง RET (Return) ที่อยู่ตอนท้ายสุดของอินเตอร์รัพท์รูทีน

ในระบบไมโครโปรเซสเซอร์ 8080 การอินเตอร์รัพท์เป็นแบบเวคเตอร์อินเตอร์รัพท์ (Vector Interrupt) เมื่อเกิดการอินเตอร์รัพท์แล้ว ไมโครโปรเซสเซอร์ยอมรับการอินเตอร์รัพท์นั้น ไมโครโปรเซสเซอร์จะส่งสัญญาณอินเตอร์รัพท์แอคโนว์เลดจ์ ($\overline{\text{IACK}}$) ออกไปและจะรับข้อมูลจากบัสข้อมูล (Data bus) มา 1 ไบท์ ข้อมูล 1 ไบท์นี้จะบอกตำแหน่งเริ่มต้นของอินเตอร์รัพท์รูทีน ดังนั้นไมโครโปรเซสเซอร์จะกระโดดไปทำงานยังอินเตอร์รัพท์รูทีนทันที (รายละเอียดของโปรแกรมอยู่ในบทถัดไป)

ดังนั้นวงจรส่วนที่ต้องสร้างเพิ่มเติมอีกก็คือวงจรป้อนคำสั่ง 1 ไบท์ให้กับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ในช่วงเวลาที่ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ได้รับสัญญาณอินเตอร์รัพท์



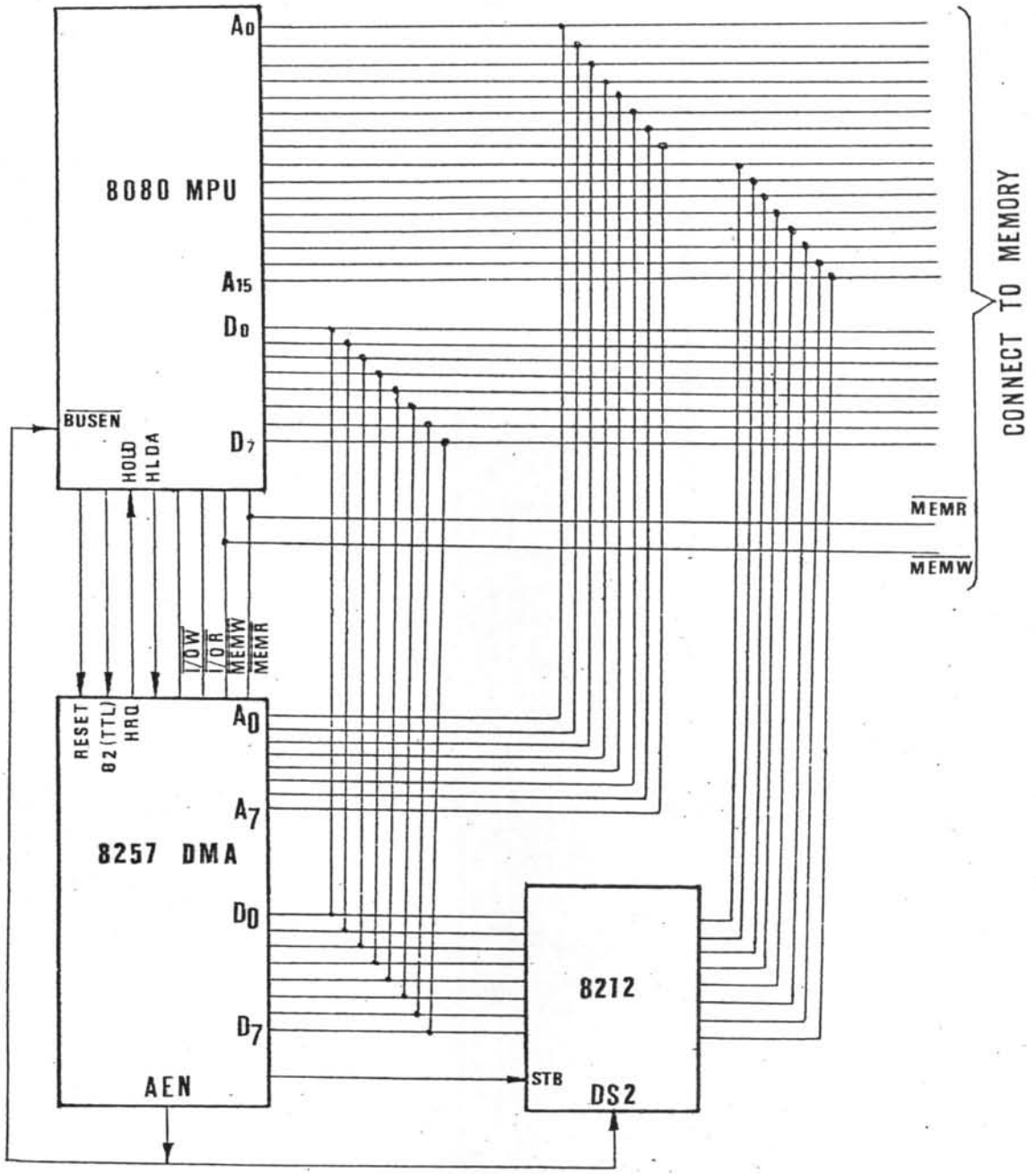
รูปที่ 4.5 แสดงการต่อวงจรสำหรับการทำอินเตอร์รัพท์

4.4.1 การต่อวงจรดีเอ็มเอ (Direct Memory Access) เข้ากับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ เนื่องจากไอซีเบอร์ 8257 ซึ่งเป็นส่วนควบคุมการนำข้อมูลเข้าหรือออกหน่วยความจำ จะต้องตั้งโปรแกรมเริ่มต้น (Initialize) ให้กับไอซีเบอร์ 8257 เสียก่อน ข้อมูลที่จำเป็นต้องป้อนในโปรแกรมนี้คือ

- ที่อยู่เริ่มต้น (Starting address) ที่จะทำการดีเอ็มเอ
- จำนวนไบท์ในการทำดีเอ็มเอ (Terminal count)
- ตั้งโมดเซท (Mode set) ว่าจะทำดีเอ็มเอในชันแนลใด (Channel)

ในที่นี้ใช้เพียงชันแนลเดียวคือชันแนลศูนย์ (Channel 0) ข้อมูลทั้งสามชนิดนี้จะต้องป้อนเรียงตามลำดับลงมา และจะต้องป้อน (Initialize) ให้กับอีเอ็มเอทุก ๆ ภาพ นั่นคือโปรแกรมการป้อนข้อมูลให้กับดีเอ็มเอนี้จะต้องอยู่ในอินเตอร์รัพท์รูทีน

การต่อวงจรดีเอ็มเอเข้ากับระบบหน่วยความจำของระบบไมโครโปรเซสเซอร์นั้น จะต้องมีวงจรอื่นมาประกอบอีกคือไอซีเบอร์ 8212 เพราะเนื่องจาก 8257 มีขาชี้ตำแหน่งที่อยู่ (address bus) ของหน่วยความจำเพียง 8 เส้น (A_0-A_7) เท่านั้น ส่วนอีก 8 เส้น (A_8-A_{15}) จะออกมาทางบัสข้อมูล (data bus) ดังนั้นจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีไอซีเบอร์ 8212 มาช่วยในการแยกบัสที่อยู่อีก 8 เส้น (A_8-A_{15}) ออกจากบัสข้อมูล เพื่อให้สามารถชี้ตำแหน่งที่อยู่ของหน่วยความจำให้ครบทั้ง 64 กิโลไบท์ ตามรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงการต่อวงจรดีเอ็มเอเข้ากับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ 8080

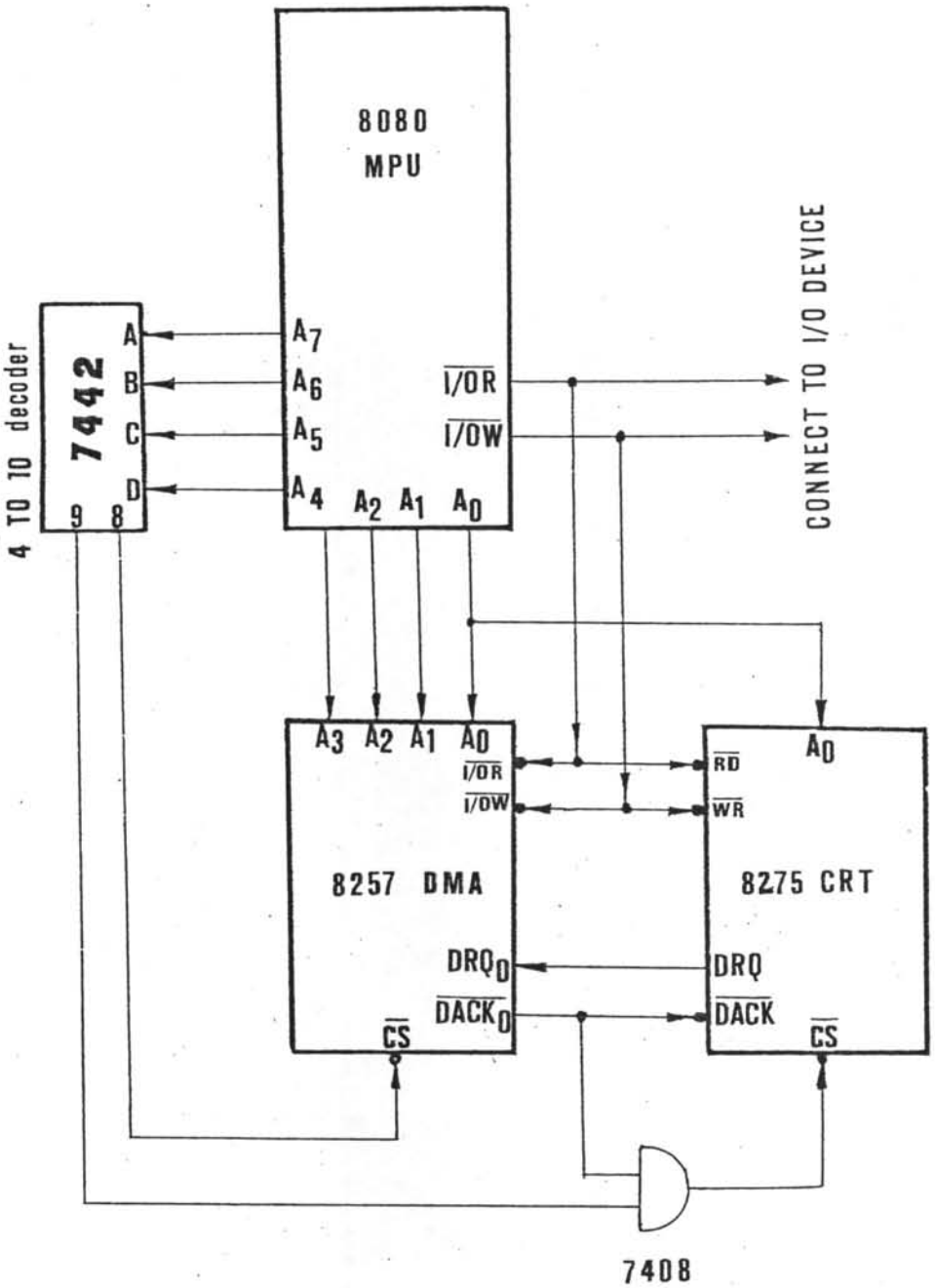
4.4.2 การจัดสัญญาณควบคุม

การจัดสัญญาณควบคุมจากระบบไมโครโปรเซสเซอร์ให้แก่วงจรดีเอ็มเอ (8257) และวงจรควบคุมการสะแกนภาพ (8275)

1. สัญญาณอ่านไอโอ (I/O READ)
2. สัญญาณเขียนไอโอ (I/O WRITE)
3. สัญญาณเลือกอุปกรณ์ $\overline{CS}$ (Chip select)

สัญญาณอ่านไอโอและสัญญาณเขียนไอโอของ 8257 และ 8275 นั้นสามารถต่อเข้ากับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ได้โดยตรง ส่วนสัญญาณเลือกอุปกรณ์ (Chip Select) นั้น ต้องถอดรหัส (decode) มาจากบัสที่อยู่ (A_0-A_7) ในที่นี้ใช้ A_4-A_7 เท่านั้น เพราะ A_0-A_3 ถูกตัวดีเอ็มเอใช้ในการเลือกรีจิสเตอร์ (Register) ภายใน ดังนั้นจึงใช้ไอซีเบอร์ 7442 เป็นตัวถอดรหัส ดังวงจรรูป 4.7 ซึ่งเป็นวงจรที่แสดงให้เห็นถึงการที่วงจรควบคุมดีเอ็มเอถูกควบคุมด้วยระบบไมโครโปรเซสเซอร์ (Slave Mode) โดยระบบไมโครโปรเซสเซอร์จะติดต่อกับดีเอ็มเอก็จะติดต่อผ่านพอร์ท $8X_{16}$ (Port 8X) ตัวอักษร X นั้นหมายถึงข้อมูลที่ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ส่งไปกำหนดว่าจะติดต่อกับรีจิสเตอร์ตัวใด ๆ ภายใน 8257 โดยสั่งผ่าน A_0-A_3 ถ้าเป็นพอร์ท 80_{16} หมายถึงรีจิสเตอร์ที่อยู่ (address register) ของดีเอ็มเอช่องที่ 0 (DMA Channel 0) ถ้าเป็นพอร์ท $81_{(16)}$ หมายถึงรีจิสเตอร์ของการนับจำนวนไบท์ (Terminal count register) ของดีเอ็มเอช่องที่ 0 ส่วนพอร์ท $88_{(16)}$ หมายถึงโมดเซทรีจิสเตอร์ (Mode set register) ของทั้ง 4 ช่อง (ช่อง 0 – 3) เช่นจะให้ใช้ช่องที่ 0 ก็ตั้งค่าที่รีจิสเตอร์ตัวนี้ได้ ส่วนเลข "8" คือเลขตัวหน้านั้นจะผ่านวงจรถอดระหัสแล้วจะได้สัญญาณลอจิค "0" (logic "0") ออกมาเข้าที่ขา $\overline{CS}$ (Chip select) ซึ่งหมายถึงเลือกควบคุมไอซีเบอร์ 8257 นั่นเอง

ส่วนพอร์ท 9X ซึ่งเป็นพอร์ทที่ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ติดต่อกับวงจรส่วนควบคุมการสะแกนภาพ เลข 9 ผ่านวงจรถอดรหัสก็จะได้รอจิค "0" เข้าที่ขา $\overline{CS}$ ของ 8275 ส่วน X หมายถึง A_0 เพียงบิท (bit) เดียว ถ้า A_0 = 1 (Port 91) หมายถึงระบบไมโครโปรเซสเซอร์ต้องการติดต่อกับคอมมานด์รีจิสเตอร์ (Command register) ของ 8275 ถ้า A_0 = 0 (Port 90) หมายถึง ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ต้องการติดต่อกับพารามิเตอร์รีจิสเตอร์ (Parameter Register) ของ 8275 ระบบไมโครโปรเซสเซอร์จะติดต่อกับไอซีเบอร์ 8257 และ 8275 จะต้องติดต่อด้วยคำสั่ง



รูปที่ 4.7 แสดงการต่อสัญญาณควบคุมจากระบบไมโครโปรเซสเซอร์ 8080 ให้แก่วงจรดีเอ็มเอและวงจรควบคุมการสะแกน

"IN" (I/O READ) หรือคำสั่ง "OUT" (I/O WRITE) เท่านั้น

4.5 การทำงานของวงจรแสดงผลตัวอักษร

เมื่อนำวงจรควบคุมการสะแกนและวงจรดีเอ็มเอต่อเข้ากับระบบไมโครโปรเซสเซอร์เรียบร้อยแล้ว เราจะได้เป็นวงจรแสดงผลตัวอักษรเพื่อป้อนให้กับเครื่องรับโทรทัศน์ตามความต้องการของเราเรียบร้อยแล้ว ส่วนที่ยังขาดอยู่คือส่วนของโปรแกรมการนำค่าเริ่มต้นต่าง ๆ (Initialize Program) ป้อนให้กับวงจรแสดงผลทั้งหมดโปรแกรมต่าง ๆ เหล่านั้นจะแสดงรายละเอียดในบทถัดไป ในที่นี้สมมุติว่าเราได้ใส่โปรแกรมให้แก่วงจรเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นวงจรจะเริ่มทำงานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.5.1 วงจรจะส่งสัญญาณควบคุมการสะแกนไปบังคับให้วงจรโทรทัศน์สะแกนตามรูปแบบที่ถูกออกแบบไว้ในส่วนของโปรแกรมเริ่มต้นจนครบ 1 ภาพ แต่ก่อนที่จะมีการสบัดกลับทางแนวตั้ง จะมีสัญญาณ IRQ (Interrupt request) ออกมาจากตัวไอซีเบอร์ 8275 ไปบอกระบบไมโครโปรเซสเซอร์ว่าขณะนี้ไอซีเบอร์ 8275 ต้องการข้อมูลชุดใหม่เพื่อการสะแกนภาพใหม่ สิ่งที่จะให้ข้อมูลในภาพใหม่แก่วงจรควบคุมการสะแกนนั้นคือวงจรดีเอ็มเอ ดังนั้นระบบไมโครโปรเซสเซอร์จะต้องส่งค่าที่อยู่เริ่มต้น (Starting address) ให้กับวงจรดีเอ็มเอเสียก่อน

4.5.2 เมื่อเกิดการอินเตอร์รัพท์ขึ้น ระบบไมโครโปรเซสเซอร์จะกระโดดไปทำงานในส่วนของโปรแกรม อินเตอร์รัพท์รูทีนเพื่อบอกที่อยู่ของข้อมูลภาพใหม่ที่จะป้อนให้กับวงจรควบคุมการสะแกน ข้อมูลดังกล่าวนี้ตัวดีเอ็มเอจะคอยจัดการดึงจากหน่วยความจำป้อนให้กับวงจรควบคุมการสะแกนตามเวลาที่ถูกต้องต่อไป

4.5.3 หลังจากวงจรดีเอ็มเอถูกโปรแกรมค่าต่าง ๆ ให้เรียบร้อยแล้ว วงจรดีเอ็มเอจะยอมให้วงจรควบคุมการสะแกนขอการทำดีเอ็มเอได้ โดยวงจรควบคุมการสะแกน (ไอซีเบอร์ 8275) จะส่งสัญญาณ DRQ (DMA request) มาบอกวงจรดีเอ็มเอว่าขณะนี้วงจรควบคุมการสะแกนต้องการข้อมูลไปใส่ในโรบัฟเฟอร์ (Row Buffer) ให้ครบ 1 บรรทัด ลักษณะการขอดีเอ็มเอของไอซีเบอร์ 8275 อาจจะขอทีละ 1 ไบท์ ถึง 8 ไบท์ ก็ได้แล้วแต่ความต้องการตอนตั้งโปรแกรมที่แรก สมมุติว่า

ขอทำดีเอ็มเอครั้งละ 8 ไบท์ และความยาวของบรรทัดเท่ากับ 64 ตัวอักษร (ไบท์) ในการสะแกน 1 บรรทัด จะมีการขอทำดีเอ็มเอ 8 ครั้ง เป็นต้น

รูปที่ 4.8 วงจรแสดงผลตัวอักษร

4.5.4 ในขณะที่วงจรคีเอ็มนำข้อมูลของบรรทัดแรกมาใส่ในโรบัฟเฟอร์ (Row Buffer) ตัวแรกนั้นเป็นเวลาเดียวกันกับวงจรควบคุมการสะแกนกำลังอยู่ในช่วงเวลาของการสะบัดกลับทางแนวตั้งอยู่ ในเวลานี้ จะมองไม่เห็นเส้นสะแกนออกทางจอโทรทัศน์เพราะมีสัญญาณ VSP (Video Suppression) ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นสัญญาณแบล็งค์กิงทางแนวตั้งมากคสัญญาณภาพให้เป็นลักษณะสีดำจน มองไม่เห็นเส้นสะแกนสะบัดกลับทางแนวตั้งนั้น

4.5.5 เมื่อวงจรคีเอ็มเติมข้อมูลในบรรทัดแรกจนเต็มโรบัฟเฟอร์แล้ว วงจรควบคุมการสะแกนจะนำข้อมูลจากโรบัฟเฟอร์บรรทัดแรกไปสะแกนออกทางจอโทรทัศน์ โดยสัญญาณรหัสของตัวอักษรจะผ่านออกทางขา CC_0-CC_6 และมีสัญญาณ LC_0-LC_3 เป็นตัวกำหนดว่ากำลังสะแกนเส้นที่เท่าไรของบรรทัดนั้นอยู่ ในขณะที่วงจรควบคุมการสะแกนนำข้อมูลจากโรบัฟเฟอร์ตัวแรกไปสะแกนอยู่นี้โรบัฟเฟอร์ตัวที่สองจะถูกเติมด้วยข้อมูลของบรรทัดที่ 2 จนครบ 64 ไบท์ จนกระทั่งวงจรควบคุมการสะแกน สะแกนบรรทัดแรกเสร็จ จึงเริ่มสะแกนข้อมูลจากโรบัฟเฟอร์ตัวที่ 2 ออกทางจอโทรทัศน์เป็นบรรทัดที่ 2 อีก และโรบัฟเฟอร์ตัวแรกจะถูกเติมด้วยข้อมูลของบรรทัดที่สามอีก เรื่อยไปจนครบ 1 ภาพ หรือ 16 บรรทัด ก็จะมีสัญญาณ IRQ ออกจากวงจรควบคุมการสะแกนไปบอกระบบไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อให้โปรแกรมคำที่อยู่ของการทำคีเอ็มเอในภาพต่อไปเรื่อย ๆ ในอัตราความเร็ว 50 ภาพต่อวินาที จน มองเห็นภาพที่ปรากฏทางจอโทรทัศน์เป็นลักษณะภาพนิ่งตามที่ ต้องการ

4.5.6 การวางตำแหน่งของเคอร์เซอร์ (Cursor) บนจอโทรทัศน์ ทำในลักษณะของการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น ในภาพแรก อาจวางตำแหน่งของเคอร์เซอร์ไว้ที่บรรทัดแรกในตำแหน่งตัวอักษรตัวแรกแต่ในภาพต่อ ๆ ไป อาจจะเลื่อนตำแหน่งของเคอร์เซอร์ไปทางขวาอีกตำแหน่งหนึ่งก็ได้ โดยการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเคอร์เซอร์ในอินเตอร์รัพท์รูทีน เพราะว่าในอินเตอร์รัพท์รูทีนเราจะถามหาตำแหน่งเคอร์เซอร์ไปยังระบบไมโครโปรเซสเซอร์ โดยกำหนดว่ารีจิสเตอร์ B ของไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวบอกตำแหน่งบรรทัดของเคอร์เซอร์และรีจิสเตอร์ C ของไมโครโปรเซสเซอร์เป็นตัวบอก ตำแหน่งตัวอักษรของเคอร์เซอร์ถ้าในช่วงเวลาของภาพในที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเคอร์เซอร์ก็จะอยู่ที่เดิม ตำแหน่งของเคอร์เซอร์นี้จะถูกเปลี่ยนแปลงตำแหน่งโดยวงจรแป้นกดตัวอักษร

4.5.7 จะเห็นว่าสัญญาณต่าง ๆ ที่ออกจากวงจรควบคุมการสะแกนเพื่อรวมเป็นสัญญาณภาพรวม(Composite video signal) มีสัญญาณ CC_0-CC_6 เป็นสัญญาณรหัสของตัวอักษร สัญญาณ

LC_0-LC_3 เป็นสัญญาณบอกเส้นในการสะแกน สัญญาณ CC และ LC นี้จะถูกป้อนผ่านตัวคาร์แรคเตอร์เจนเนอร์เรเตอร์เพื่อเป็นสัญญาณภาพของโทรทัศน์ในแต่ละเส้น เมื่อการสะแกนครบเส้นแล้วจะมีสัญญาณที่บังคับให้สะบัดกลับทางแนวนอนคือสัญญาณ HRTC (Horizontal retrace) สัญญาณนี้จะเป็นสัญญาณซิงค์ทางแนวนอนด้วย และในเวลาของการสะบัดกลับทางแนวนอนนี้จะมีสัญญาณ VSP ซึ่งทำหน้าที่เป็นสัญญาณแบล็งค์ทางแนวนอนและแนวตั้งด้วย และสัญญาณ VSP นี้ยังทำหน้าที่ใช้ให้เกิดการกระพริบขึ้นตามความต้องการได้ และเมื่อการสะแกนครบภาพแล้วจะมีสัญญาณ VRTC (Vertical retrace) ไปบังคับให้เกิดการสะบัดกลับทางแนวตั้งเพื่อเริ่มต้นสะแกนภาพใหม่ได้อีก

4.5.8 สัญญาณควบคุมต่าง ๆ ที่กล่าวมาในข้อ 4.5.7 จะถูกรวมเข้าด้วยกันด้วยวงจรกรรก (Logic circuit) ต่าง ๆ ดังรูป 4.8 จะทำให้สัญญาณต่าง ๆ เหล่านั้นออกไปตามเวลาที่ถูกต้อง และเป็นสัญญาณภาพรวม (Composite video signal) ตามความต้องการของวงจรโทรทัศน์

4.5.9 ในช่วงเวลาที่ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ได้รับสัญญาณ IRQ (Interrupt request) จากวงจรควบคุมการสะแกนนั้นเราจะต้องสร้างวงจรป้อนคำสั่ง 1 ไบท์ให้กับระบบไมโครโปรเซสเซอร์ โดยค่า 1 ไบท์นี้จะเป็นค่าที่บอกให้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์ไปทำงานในอินเตอร์รัพท์รูทีนที่ต้องการได้ ในการสร้างวงจรนี้ ใช้ไอซีเบอร์ 8212 เป็นตัวบอกค่า 1 ไบท์นั้น การทำงานของวงจรนี้จะทำงานก็ต่อเมื่อระบบไมโครโปรเซสเซอร์ได้รับสัญญาณ IRQ แล้วระบบไมโครโปรเซสเซอร์จะส่งสัญญาณตอบรับ $\overline{\text{IACK}}$ (Interrupt acknowledge) ออกมาบอกไอซีเบอร์ 8212 ให้ส่งค่า 1 ไบท์นั้นให้กับบัสข้อมูล (Data bus) และระบบไมโครโปรเซสเซอร์จำทำการแปลคำสั่ง 1 ไบท์นั้นว่าให้ไปทำงานที่โปรแกรมส่วนใดในหน่วยความจำในที่นี้ให้ไปทำงานที่ตำแหน่งที่อยู่ (address) ที่ 0030_{16} ซึ่งเป็นตำแหน่งที่อยู่ (address) ของอินเตอร์รัพท์รูทีน ตำแหน่งที่อยู่ 0030_{16} นี้อยู่ในหน่วยความจำชนิดที่เป็น EPROM 2708 (รายละเอียดของโปรแกรมอินเตอร์รัพท์ รูทีน อยู่ในบทที่ 5) ซึ่งทำหน้าที่เก็บโปรแกรมอินนิเชียล (Initial program) และอินเตอร์รัพท์รูทีนไว้ ท้ายสุดของอินอินเตอร์รัพท์รูทีนจะต้องมีคำสั่ง RET (return) เพื่อสั่งให้ระบบไมโครโปรเซสเซอร์กลับไปทำงานในโปรแกรมที่กำลังทำอยู่ได้ถูกต้อง การอินเตอร์รัพท์นี้จะเกิดขึ้นทุก ๆ $\frac{1}{50}$ วินาที

4.5.10 วงจรแสดงผลตัวอักษรใช้สัญญาณนาฬิกา 2 ความถี่ สัญญาณนาฬิกาสัญญาณแรกได้มา

จากระบบไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อนำมาควบคุมการทำงานของวงจรคีเอ็มเอ สัญญาณนี้ ใช้สัญญาณนาฬิกา ϕ_2 TTL ที่มีระดับของสัญญาณ 5 โวลท์สัญญาณนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตั้งแต่ 1 ถึง 2.2 เม็กกะเฮิทซ์ ส่วนสัญญาณนาฬิกาอีกสัญญาณหนึ่งเป็นสัญญาณควบคุมการสะแกนสัญญาณความถี่จุด (dot clock)

ใช้ความถี่ 10.5 เม็กกะเฮิทซ์ โดยใช้คริสตอล (Crystal) ความถี่ 10.5 เม็กกะเฮิทซ์ต่อร่วมกับไอซีเบอร์ 7404 ซึ่งเป็นเกท (gate) ชนิดนอตเกท (NOT gate) ก็จะได้สัญญาณความถี่จุดความถี่ 10.5 เม็กกะเฮิทซ์ตามต้องการ สัญญาณความถี่จุดใช้ควบคุมการเลื่อน (Shift)ข้อมูลที่เก็บอยู่ในวงจรชิฟท์รีจิสเตอร์(Shift register) ของไอซีเบอร์ 74LS165 ให้ออกเป็นสัญญาณภาพในลักษณะอนุกรม (Serial) จำนวนจุดต่อตัวอักษรเท่ากับ 9 จุดต่อตัวอักษร ดังนั้นเมื่อ เลื่อนข้อมูลของจุดออกไป 9 จุด เราจะต้องใส่ข้อมูลของตัวอักษรตัวใหม่เข้าไปเก็บไว้ในชิฟท์รีจิสเตอร์ ดังนั้นจะต้องมีสัญญาณอีกสัญญาณหนึ่งมาควบคุมการนำข้อมูลตัวใหม่เข้าเก็บนี้ สัญญาณนี้ เรียกว่าสัญญาณความถี่ตัวอักษร (Character clock) ซึ่งมีความถี่ต่ำกว่าความถี่จุด 9 เท่า ดังนั้นความถี่ตัวอักษรเท่ากับ 1.166 เม็กกะเฮิทซ์ ความถี่นี้จะถูกป้อนให้กับไอซีเบอร์ 8275 ด้วยวงจรหารความถี่จุดให้เป็นความถี่ตัวอักษร ใช้ไอซีเบอร์ 74169 เป็นวงจรหารความถี่