หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การออกแบบส่วนประกอบของเครื่องวัดการรับรังสีของดวงอาทิตย์

ความรู้ทั่วไป

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงเทคนิคการออกแบบส่วนประกอบต่างๆที่สำคัญตลอดจนการทำงานอย่างละเอียดภายในระบบ เนื่องจากส่วนประกอบต่างๆภายในระบบนี้ส่วนใหญ่หรืออาจจะเรียกได้ว่าเกือบทั้งหมดนั้นประกอบด้วยดิจิตอลไอซีหลายชนิดด้วยกัน เพราะฉนั้นในการเลือกดิจิตอลไอซีเหล่านั้นมาใช้ควรคำนึงถึงลักษณะคุณสมบัติของดิจิตอลไอซีแต่ละชนิดนั้นด้วย ดิจิตอลไอซีอาจแบ่งตามขนาดความยุ่งยากของวงจรโดยนับเป็นจำนวนเทียบเท่าของเกทได้เป็น SSI,MSI และ LSI

SSI (Small Scale Integrated Circuit) จะมีจำนวนเกทไม่เกิน 9 ได้แก่วงจรดิจิตอลเกทต่างๆและฟลิบฟลอป

MSI (Medium Scale Integrated Circuit) เป็นวงจรที่มีจำนวนเทียบเท่าของเกทตั้งแต่ 10 ถึง 99 ได้แก่พวกวงจรแปลงรหัส (Encoder และ Decoder) วงจรนับ (Counter) มัลติเพลคเซอร์ (Multiplexers) และวงจรอื่นๆที่มีความยุ่งยากพอๆกัน จะเห็นได้ว่าส่วนใหญ่ของเครื่องหมายวงจรที่ใช้ในลอจิคไดอะแกรมอาจแทนได้ด้วย SSI หรือ MSI

LSI (Large Scale Integrated Circuit) ได้แก่วงจรที่มีความยุ่งยากมาก จำนวนเทียบเท่าของเกทมากกว่า 99 ขึ้นไป LSIส่วนใหญ่เป็นระบบที่ใช้สำหรับงานเฉพาะอย่าง เช่น นาฬิกาดิจิตอล, เครื่องคิดเลขไฟฟ้า, ดิจิตอลมิเตอร์ ฯ เป็นต้น

ที่ใช้งานได้กว้างขวางได้แก่ ไมโครโปรเซสเซอร์ และพวกหน่วยความจำ ROM หรือ RAM ปัจจุบันวงจร LSI มีจำนวนเทียบเท่าของเกทสูงมากอาจสูงถึง 10,000 จึงอาจเห็นศัพท์ใหม่สำหรับวงจรยุ่งยากขั้นนี้ เช่น VLSI (Very Large Scale Integrated Circuit).

หากแบ่งดิจิตอลไอซีตามประเภทของ active elements ที่ใช้ประกอบเป็นวงจร แล้วอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ Unipolar Transistor อันได้แก่ MOS (Metal Oxide Semiconductor) และ Bipolar Transistors ซึ่งส่วนใหญ่เป็น npn ทรานซิสเตอร์ MOS จะมีความหนาแน่นสูงกว่า Bipolar มากจึงเหมาะสำหรับที่จะนำมาทำ LSI วงจรที่ทำด้วยทรานซิสเตอร์จะถือว่ามีคุณภาพสูงกว่าและใช้กับวงจรที่มีความเร็วสูง แต่เนื่องจากใช้กำลังไฟฟ้ามากความร้อนเกิดขึ้นสูง จึงไม่เหมาะสำหรับวงจรที่มีความยุ่งยากและความหนาแน่นสูง นอกจากนี้ Bipolar ชนิด I^2L (Integrated Injection Logic ซึ่งเป็นวงจรที่คิดค้นขึ้นใหม่เมื่อ ค.ศ. 1973 โดยใช้หลักการของ RTL (Resistor - Transistor Logic) แต่ใช้หน่วยกระแสคงที่แทนความต้านทาน ทำให้วงจรมีขนาดเล็กลงมากและอาจออกแบบให้ใช้กำลังไฟน้อย การผลิตง่ายคล้ายกับการผลิตวงจร MOS มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับวงจร MOS แต่มีความเร็วสูงเช่นเดียวกับแบบ Bipolar ชนิดอื่นๆ เป็นที่คาดกันว่าวงจรแบบ I^2L นี้จะแพร่หลายขึ้นมากและอาจใช้แทน MOS ได้

Series ของลอจิค (Logic Series) สำหรับวงจร SSIและ MSIซึ่งได้กล่าวมาแล้วนั้น ชนิดของวงจรที่นิยมใช้กันคือ TTL, CMOS, ECL, HTL ส่วนลอจิคอื่นๆ เช่น RTL,DTL หรือ DL ไม่นิยมใช้กันนอกจากในบางครั้งอาจสร้างขึ้นจากชิ้นส่วนของไดโอดและทรานซิสเตอร์

วงจรชนิดเดียวกันแต่ต่าง series กันอาจผิดกันเพื่อให้มีส่วนดีด้านใดด้านหนึ่งโดยเฉพาะ เช่น วงจรลอจิคชนิด CMOS ของบริษัท RCA เป็นรุ่น series 4000 ของบริษัท NS เป็น series 74C ซึ่งวงจรทั้งสอง series ต่างก็เป็นซีมอสเหมือนกัน แต่รายละเอียดภายในวงจรจะผิดกันและอาจมีคุณสมบัติแตกต่างกันมาก ดังนั้นบาง series ที่ – บริษัทหนึ่งผลิตขึ้นมาอาจได้รับความนิยมใช้กันมากในขณะที่บาง series อาจไม่ได้รับความนิยมเลย ใน series หนึ่งๆจะประกอบด้วยวงจรหลายๆอย่างซึ่งมีฟังก์ชั่นต่างๆกันคือ มีทั้งแบบเกทชนิดต่างๆ วงจรนับ ฟลิปฟลอป ฯลฯ เป็นต้น แต่ละอย่างจะมีเบอร์เพื่อให้ทราบว่า

เป็นวงจรอะไร เช่นเบอร์ CD 4002 บ่งว่าเป็น Dual 4 Input NOR Gates series ที่ได้รับความนิยมมากจะมีวงจรมากฟังก์ชั่นให้เลือกใช้ เช่น series 4000 ของบริษัท RCA มีให้เลือกถึงร้อยกว่าประเภท series ที่ได้รับความนิยมมากจะมีหลายบริษัทผลิตออกมาโดยใช้เบอร์เหมือนกัน คุณสมบัติอาจต่างกันเล็กน้อยแต่โดยทั่วๆไปแล้วจะใช้แทนกันได้โดยตรง เช่น series 7400 ของบริษัท TEXAS INSTRUMENTS ใช้เบอร์ SN 7400 , บริษัท MOTOROLA ใช้เบอร์ MC 7400 , บริษัท NATIONAL SEMICONDUCTOR ใช้เบอร์ NS 7400 ซึ่งทั้งหมดนี้ต่างก็เป็น Quad 2 Input NAND ชนิด TTL เหมือนกันและใช้แทนกันได้โดยตรง แต่อาจมีข้อแตกต่างกัน เช่น ข้อมูลตัวเลขที่บริษัทผู้ผลิตระบุไว้ในหนังสือคู่มือการใช้งานซึ่งอาจได้จากการทดสอบที่มีข้อแม้ต่างกัน ตัวเลขที่ระบุไว้จากการทดสอบผิดกันอาจทำให้ผู้ใช้เข้าใจผิดได้ ตัวเลขที่บริษัทระบุไว้ในหนังสือคู่มือการใช้งานนั้นส่วนมากบริษัทไม่ได้วัดค่าออกมาจริงๆ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการทดสอบสูงมากจึงมักบอกไว้เป็นค่า Typical value กับ Minimum หรือ Maximum (แล้วแต่ว่าค่าใดสำคัญ) เช่น บอกว่าค่า Propagation Delay ของ SN 7420 NAND Gate เป็น T_{PLH}(max.) = 22 nSec., T_{PLH}(Typ) = 12 nSec. โดยกำหนดข้อแม้ในการทดสอบว่า V_{cc} = 5 V. T_A = 25 ^{o}C และ C_L = 15 pF, R_L = 400 และอาจมีรูปแสดงว่าเมื่อข้อแม้ในการทดสอบเปลี่ยนค่าไป ค่าที่กำหนดไว้นั้นจะเปลี่ยนไปอย่างไร ข้อมูลที่กำหนดบอกค่าสำหรับ SN 7420 เมื่อใช้งานตามข้อแม้ที่กำหนดไว้จะมีค่า Propagation Delay ประมาณ 12 nSec และจะไม่เกิน 22 nSec ดังนั้นในการออกแบบวงจรโดยใช้ SN 7420 เมื่อเห็นว่า V_{cc}, T_A, C_L และ R_Lไม่เปลี่ยนไปจากค่าที่บริษัทกำหนดมากนักก็อาจเลือกให้ 7420 ทำงานโดยคิดว่าค่า Propagation Delay ของมันมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 22 nSec เพื่อความปลอดภัยในการออกแบบ

คุณสมบัติที่สำคัญของชนิดของลอจิคที่แสดงเปรียบเทียบคือ ความเร็ว ความต่อต้านต่อคลื่นรบกวน (Noise Immunity) กำลังไฟฟ้าที่ใช้ และความสะดวกในการใช้งาน

ความเร็วของลอจิคเกทนับโดย Propagation Time Delay คือเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนสเตจ ซึ่งขึ้นกับโหลดซึ่งต่อที่ขั้วออกของเกท สำหรับวงจรดิจิตอล series

หนึ่งๆนิยมบอกเป็น Maximum Rate of Toggles ซึ่งหมายถึง ความถี่สูงสุดของสัญญาน ที่ clock input ของฟลิบฟลอปหนึ่งตัว สำหรับวงจรทั่วไปประกอบด้วยฟลิบฟลอปและเกท หลายๆตัวจะต้องใช้ความถี่ของ clock ต่ำกว่าค่านี้มากขึ้นอยู่กับการออกแบบวงจร การใช้ วงจรแบบ synchronous จะได้ความเร็วสูงสุดแต่ต้องใช้วงจรเกทมากทำให้สิ้นเปลือง การออกแบบเป็น asynchronous หรือ pseudo synchronous เป็นที่นิยมกว่า สำหรับ ซีมอสซึ่งอาจใช้กับแหล่งจ่ายไฟตั้งแต่ 3 โวลท์ถึง 15 โวลท์ ค่า Maximum Toggle Rate จะขึ้นกับแรงดันของแหล่งจ่ายไฟ ที่แรงดัน 5 โวลท์จะมีค่าเป็น 3 MHz แต่ถ้าใช้ แรงดัน 15 โวลท์จะมีค่าถึง 10 MHz ดังนั้นซีมอสจึงสามารถเลือกใช้แรงดันได้ตามความ เร็วที่ต้องการ HTL ใช้สำหรับงานที่ต้องการความต้านทานคลื่นรบกวนสูงสุด ซึ่งมักไม่ ต้องการความเร็วสูง กำลังไฟฟ้าที่ใช้จะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับความเร็วสำหรับ ECL และ HTL TTL จะใช้กำลังไฟฟ้าเกือบคงที่จนกระทั่งที่ความเร็วสูงประมาณ 5 MHz กระแสไฟฟ้าจะเพิ่ม ขึ้นเกือบเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความถี่ วงจรซีมอสประกอบด้วย Complementary MOS ซึ่งจะทำให้กินกระแสไฟฟ้าต่ำมาก เนื่องจากเมื่อมอสตัวหนึ่ง ON อีกตัวหนึ่งจะ OFF กระแสที่ใช้เป็นกระแสที่ชาร์จและดิสชาร์จแคบแพคซิแตนซ์ของโหลด กำลังไฟฟ้าที่ใช้จะเป็น สัดส่วนโดยตรงกับความถี่ของ clock และเป็นสัดส่วนกำลังสองกับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ ที่แรง- ดันเป็น 5 โวลท์ฟลิบฟลอปแบบซีมอสจะใช้กำลังเพียง 10 ไมโครวัตต์เมื่อใช้ความถี่ 1 KHz แต่ที่ความถี่ 2 MHz จะใช้กำลังไฟฟ้าถึง 2 มิลลิวัตต์ ในขณะที่ฟลิบฟลอปแบบ TTL ใช้กำลัง ไฟฟ้าประมาณ 10 มิลลิวัตต์

ความสะดวกในการใช้งานในที่นี้วัดด้วย Dot AND/OR และ Fan out

Dot AND/OR หมายถึงขั้วออกของเกทสองชุดสามารถต่อเข้ากันโดยตรงเพื่อให้ ผลเป็นฟังก์ชั่นของเกทสองชุดนั้น เช่น ขั้วออกของ ECL จะต่อร่วมกันได้โดยตรง ผลจะเป็น ฟังก์ชั่น AND ของเกทสองชุดนั้น วงจรออกของ TTL มีอยู่ 3 แบบคือ Active Pull Up, Open Colléctor และ Tristate แบบ Open Collecter ขั้วออกของเกท จะต่อเข้าด้วยกันเพื่อดึงกระแสจากความต้านทานตัวเดียวกัน ผลของการต่อจะเป็นเหมือนกับ ว่าเป็น AND ของเกทสองชุดนั้นโดยไม่ต้องใช้วงจรเกทอีก วงจร TTL ส่วนมากเป็นแบบ

Active Pull Up(Totem Pole) ซึ่งมีความเร็วสูงกว่าและมีเอาท์พุทอิมพีแดนซ์ต่ำ แต่ไม่สามารถต่อขั้วออกเข้าด้วยกันได้ แบบที่เป็น Tristate (ขั้วออกเป็น Tristate) นิยมใช้กับวงจรมัลติเพลคเซอร์ และหน่วยความจำ เพื่อใช้ขั้วออกจำนวนมากสามารถต่อเข้าด้วยกันได้

Fan out หมายถึง จำนวนขั้วเข้าของวงจรชนิดเดียวกันที่สามารถต่อเข้ากับขั้วออกขั้วหนึ่งได้โดยกระแสรวมทั้งหมดไม่ทำให้แรงดันที่ขั้วออกผิดไป Fan out มากทำให้ประหยัดเกทหรือบัฟเฟอร์เมื่อต้องการต่อขั้วออกขั้วหนึ่งเข้ากับเกทหลายตัว Fan out ของ TTL เท่ากับ 10 หมายความว่า ขั้วออกของ TTL สามารถต่อเข้ากับขั้วเข้า(ปกติ)ของ TTL ได้ 10เกท. เมื่อต่อลอจิคต่าง series เข้าด้วยกันจะต้องเข้าใจถึงวงจรเข้าและวงจรออก เช่น ซีมอสจะต่อเข้ากับขั้วเข้าของ TTL ได้เพียง 1 ตัว

ความต้านทานต่อคลื่นรบกวนแบ่งเป็นภายในและภายนอก คลื่นรบกวนภายในเกิดจากตัวลอจิคเอง TTL จะใช้กระแสผิดกันมากเมื่ออยู่ที่สเตจ "0" และที่สเตจ "1" กระแสในสายจากแหล่งจ่ายไฟอาจทำให้แรงดันผิดไป ทำให้ลอจิคเปลี่ยนสเตจได้ทั้งๆที่ไม่ต้องการ ดังนั้นสำหรับ TTL จึงต้องใช้ตัวเก็บประจุชนิดดิสค์เซรามิคซึ่งมีค่าประมาณ 0.01 ไมโครฟารัดต่อคร่อมสายจ่ายไฟทั้งสองเส้นเพื่อลดการเปลี่ยนแรงดัน ตามปกติจะใช้ตัวเก็บประจุหนึ่งตัวต่อ TTLประมาณ 5-10 ตัว คลื่นรบกวนภายนอกอาจเกิดจากคลื่นรบกวนภายในเครื่องหรือจากที่อื่น เช่น จากรีเลย์ จากมอเตอร์ และสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งอาจเกิดจาก Transmission Line Impedance Matching ซึ่งเป็นเรื่องใหญ่สำหรับวงจรความเร็วสูง ค่าความต้านทานคลื่นรบกวนขึ้นกับผลต่างของ Threshold Voltages กับ Output Voltages และขึ้นกับ Output impedance ของลอจิค

<u>การเลือกใช้ดิจิตอลไอซี</u> สำหรับวงจร SSI และ MSI มีอยู่ไม่กี่ชนิดที่นิยมใช้กันมากจนเป็นมาตรฐาน ที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือ TTL 74 Series นอกจากนั้นยังมี series อื่นๆอีกซึ่งเป็น TTL ซึ่งออกแบบให้มีส่วนดีต่างกัน เช่น 74L ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า 74 ถึงสิบเท่าแต่มีความเร็วต่ำ 74S เป็น TTL ซึ่งใช้ Scottky Diode Clamped ทำให้มีความเร็วสูงขึ้นมากถึง 125 MHz แต่ใช้กำลังไฟสูง 74LS เป็น Low Power -

Scottky Clamed คล้ายกับ 74S แต่ออกแบบให้ใช้กำลังไฟน้อยลง คาดกันว่าต่อไป series74 จะได้รับความนิยมน้อยลง ที่มาแทนอาจเป็น 74LS หรือเป็นซีมอส ซีมอสใช้กำลังไฟฟ้าต่ำมากเมื่อทำงานที่ความเร็วต่ำ ทำให้เหมาะสำหรับวงจรกระเป๋าหิ้วที่ใช้แบตเตอรี่ซึ่งมีแรงดันไฟไม่คงที่ เช่น นาฬิกาข้อมือ เครื่องคิดเลข. ข้อเสียคือ ซีมอสใช้งานที่ความเร็วต่ำกว่า 74 series เทคนิคใหม่ๆอาจทำให้ซีมอส์มีความเร็วเพิ่มขึ้น แต่ที่สำคัญอีกอย่างก็คือ ราคาของมันมีราคาสูงกว่า 74 series วงจรแบบ HTL (High Threshold Logic) คล้ายกับ TTL แต่ทำงานที่แรงดันสูงและออกแบบให้มีความต้านทานคลื่นรบกวนสูง เช่น ในโรงงานที่มีการเปิดปิดไฟกำลังมากๆ ECL จะมีความเร็วสูงสุดเมื่อต้องการความเร็วสูงมากจนวงจรอื่นใช้ไม่ได้ก็ต้องใช้ ECL การใช้ ECL มีปัญหามากเพราะกินกำลังไฟฟ้าสูงต้องทำแหล่งจ่ายไฟแพงขึ้น

เราพอจะสรุปถึงคุณสมบัติต่างๆของไอซีแต่ละชนิดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เพื่อเปรียบเทียบให้เห็นถึงข้อดีข้อเสียของดิจิตอลไอซีแต่ละชนิดดังนี้

ก. เมื่อต้องการให้ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยที่สุด เช่น ในวงจรที่ทำงานด้วยแบตเตอรี่ ควรใช้ซีมอสเพราะที่ความถี่ต่ำ (1 KHz) ฟลิบฟลอปชนิดซีมอสจะใช้กระแสเพียง 1 ไมโครแอมป์ เมื่อเทียบกับ TTLใช้10 มิลลิแอมป์ (10^4 เท่า) ซีมอสทำงานได้ในช่วงแหล่งจ่ายไฟตั้งแต่ 3 ถึง 15 โวลท์ ซึ่งอาจจำเป็นเพราะแบตเตอรี่จะมีแรงดันไม่คงที่ แต่กระแสไฟฟ้าที่ใช้จะเพิ่มขึ้นเมื่อทำงานที่ความถี่สูงขึ้น ซีมอสจะทำงานที่ความถี่ต่ำกว่า TTL

ข. เมื่อต้องการใช้ในที่ที่มีคลื่นรบกวนสูง เช่น เครื่องควบคุมในโรงงาน จำเป็นต้องใช้ HTL ซึ่งมีความต้านทานคลื่นรบกวนดีที่สุด ซีมอสเมื่อใช้ที่แหล่งจ่ายไฟมีค่าสูงก็มีความต้านทานคลื่นรบกวนได้สูงพอใช้

ค. เมื่อต้องการใช้ในวงจรที่มีความถี่สูงที่สุด เช่น ในวงจร Central Processor ในคอมพิวเตอร์ ลอจิคอื่นไม่สามารถที่จะใช้ได้นอกจาก ECL แต่การใช้ ECL จะมีปัญหามาก ถ้าสามารถใช้ 74S ซึ่งมีความถี่ 125 MHz ได้ก็จะทำให้สะดวกขึ้น

ง. เมื่อต้องการให้ราคาถูกที่สุดที่ความถี่พอสมควร ควรใช้ Standard TTL 74 เลือกใช้ 74S เมื่อต้องการความเร็วสูง 74L เมื่อต้องการประหยัดกำลังไฟ ทั้ง 74,74S

74L, 74LS สามารถใช้ต่อร่วมกันได้โดยตรง

ในการออกแบบเครื่องวัดค่าการรับรังสีดวงอาทิตย์นี้ ได้เลือกใช้ดิจิตอลไอซีชนิดซีมอส และชนิด TTL บางชนิด เช่น 74LS เนื่องจากดิจิตอลไอซีทั้งสองชนิดนี้กินกำลังไฟต่ำและสามารถหาซื้อได้ง่าย ราคาก็ไม่แพงจนเกินไปนัก แต่การใช้งานร่วมกันระหว่างไอซีทั้งสองชนิดนี้จำเป็นต้องมีบัฟเฟอร์มาคั่น ดังจะได้เห็นในการออกแบบต่อไป

<u>การออกแบบเครื่องวัดการรับรังสีของดวงอาทิตย์</u>

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ว่า เครื่องมือนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบใหญ่ๆถึง 14 ส่วนด้วยกัน โดยในส่วนประกอบใหญ่นั้นต่างก็มีส่วนย่อยๆอีกมากมายซึ่งต่างก็ทำงานสัมพันธ์กัน สำหรับในการอธิบายถึงลักษณะการออกแบบนี้จะได้เรียงลำดับวงจรที่มีความยุ่งยากซับซ้อนจากง่ายที่สุดไปหายากที่สุด เพื่อให้มีความเข้าใจถึงลักษณะของวงจรต่างๆ การควบคุม ตลอดจนการทำงานอย่างละเอียด สำหรับส่วนที่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะไม่ขอนำมากล่าวในบทนี้ เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้เป็นเซลล์ที่มีอยู่ก่อนแล้วซึ่งจะนำมาใช้ได้เลย

ก. <u>วงจรถอดรหัส (Decoder) และวงจรแสดงผล (Display)</u>

<u>หน้าที่</u> วงจรถอดรหัสมีหน้าที่ในการรับเอาอินพุทเลขฐานสองเข้ามาแล้วทำการถอดรหัส แล้วจึงส่งผลเอาท์พุทที่ได้ไปยังตัวแสดงผล

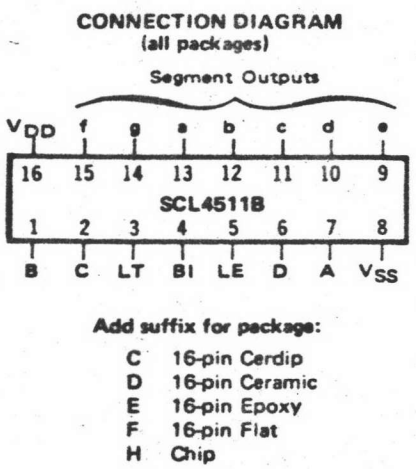
<u>ลักษณะที่สำคัญ</u> 1. สามารถเปลี่ยนเลข BCD ให้ออกมาเป็นเลขฐานสิบโดยแสดงบนแผงตัวเลข

2. ต้องมีวงจรแลทช์ (Latch) เพื่อทำให้เอาท์พุทแสดงผลที่เวลานั้นๆยังคงค้างไว้ เนื่องจากผลของตัวเลขอาจจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

<u>อุปกรณ์ที่ใช้</u> ไอซีเบอร์ SCL 4511B สำหรับตัวถอดรหัส และแผงแสดงตัวเลข ส่วน ใช้เบอร์ MAN 4740 A

ไอซีเบอร์ 4511 นี้มีชื่อเรียกว่า BCD - To - 7 Segment Latch / Decoder/Driver เป็นชนิดซีมอสซึ่งกินกำลังไฟต่ำ ทำหน้าที่เป็นตัวถอดรหัสและตัวขับ ลักษณะของไอซีเบอร์นี้แสดงในรูปที่ 4.1 จะเห็นว่ามีขั้วอินพุทข้อมูล BCD 4 ขั้ว (A, B C,D) กับเอาท์พุทอีก 7 ขั้วมีชื่อตั้งแต่ a ไปถึง g ซึ่งจะสัมพันธ์กับแต่ละเซ็คเมนท์ของแผงตัวเลขชนิด 7 ส่วน ไอซีเบอร์นี้สามารถใช้ร่วมกับแผงตัวเลข 7 ส่วนได้หลายชนิด เช่น ใช้กับแผงตัวเลขแบบทั้งที่เป็น common anode และ common cathode และอื่นๆ

จากตารางตรรก (Truth Table) จะเห็นว่าอินพุทที่สัมพันธ์กับเลขฐานสิบตั้งแต่ 10 ถึง 15นั้นจะให้เอาท์พุทที่เป็นศูนย์ (LOW) ออกมาทั้งหมด ดังนั้นสำหรับเลข 10 ถึง15 นี้จึงไม่มีเซ็คเมนท์ใดๆของแผงตัวเลขเปล่งแสงออกมาเลย



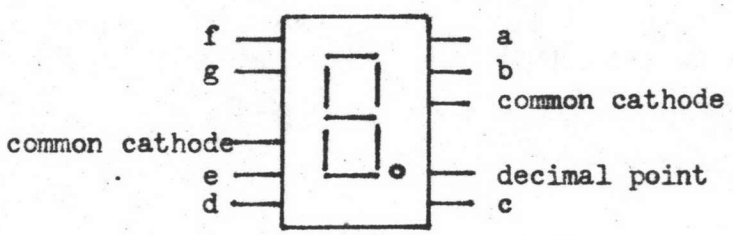
รูปที่ 4.1 Connection diagramของไอซีเบอร์ 4511

สำหรับอินพุท LT(Lamp Test) นั้นใช้ตรวจสอบดูว่าเซ็คเมนท์แต่ละเซ็คเมนท์ในจำนวน 7 เซ็คเมนท์นั้นมีอะไรบกพร่องหรือไม่ โดยใช้อินพุทตัวนี้กล่าวทดสอบเพียงขั้วเดียวเท่านั้นก็ทราบได้ กล่าวคือเมื่ออินพุทนี้เป็น LOW เซ็คเมนท์ทั้ง 7 ขั้วจะต้องติดสว่าง ถ้าหากขั้วใดขั้วหนึ่งเกิดไม่ติดก็แสดงว่าเกิดการบกพร่องขึ้นแล้วไม่ที่ตัวถอดรหัสก็ที่ตัวแสดงผล

อินพุท BI มีไว้เพื่อเวลาไม่ต้องการดูผลที่แสดงหรือเพื่อเป็นการประหยัดไฟในวงจร ทั้งนี้ทำได้โดยทำให้อินพุท BI เป็น LOW เซ็คเมนท์ทั้ง 7 ชิ้นจะดับหมดแต่การแสดงผลหรือวงจรแสดงผลก็ยังคงทำงานเป็นปกติอยู่

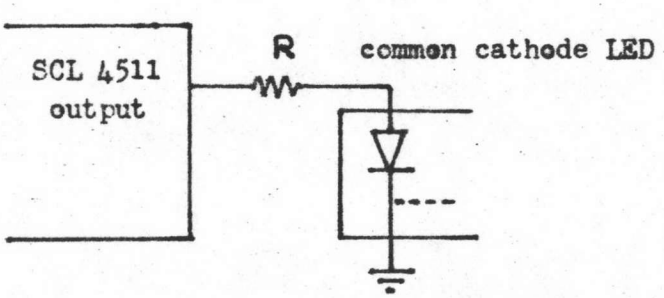
อินพุท LE(Latch Enable) มีเพื่อให้สามารถแสดงเอาท์พุทได้นานเท่าที่เราต้องการ โดยภายในไอซีเบอร์นี้จะมีวงจรแลทช์เพื่อเก็บเอาท์พุทเอาไว้ ส่วนการใช้แลทช์นั้นดูจากตารางตรรก(จากภาคผนวก)

ส่วนแผงแสดงตัวเลข 7 ส่วนเบอร์ MAN 4740A นั้นมีลักษณะดังรูปที่ 4.2



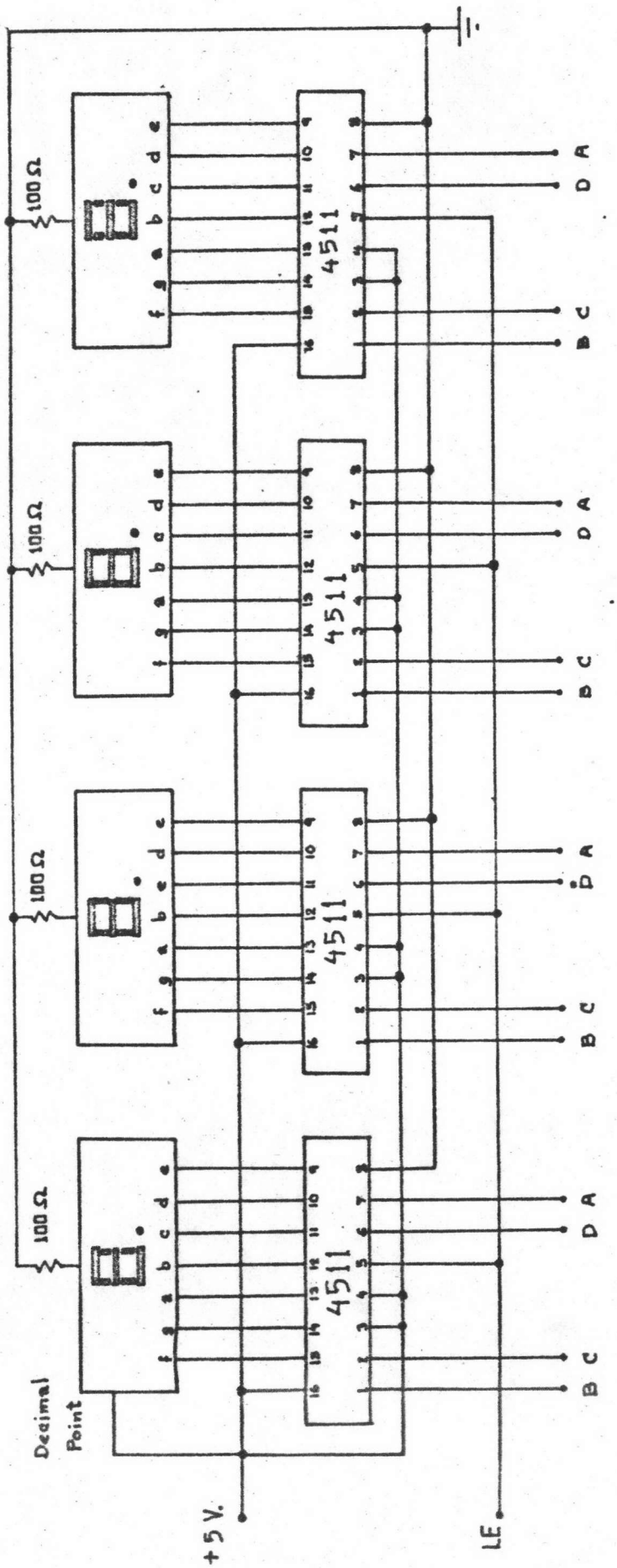
รูปที่4.2 แสดงลักษณะของแผงแสดงตัวเลข 7 ส่วน

<u>การออกแบบ</u> เนื่องจากต้องการแสดงผลเป็นตัวเลข 4 หลัก ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวถอดรหัส 4 ตัวต่อเข้ากับแผงตัวเลข 7 ส่วน 4 ตัวด้วย การต่อวงจรจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.4 โดยต่อเซ็คเมนท์ a ถึง g ของตัวถอดรหัสเข้ากับเซ็คเมนท์ a ถึง g ของแผงตัวเลข ขาอินพุท BI และ LT ของไอซี 4511 ทั้งหมดต่อเข้ากับลอจิค 1 (5 โวลท์) ตามปกติการต่อเอาท์พุทของ 4511 เข้ากับแผงแสดงตัวเลขนั้นต้องใช้ตัวต้านทานต่ออนุกรมเข้าไปด้วยเพื่อจำกัดกระแสไฟฟ้า โดยตัวต้านทานหนึ่งตัวต่อหนึ่งเซ็คเมนท์ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3การต่อเอาท์พุทของ4511
เข้ากับ LEDแบบ Common cathode

จะเห็นว่าการต่อวงจรแบบนี้ต้องใช้ตัวต้านทานถึง 7 ตัวสำหรับแผงตัวเลขหนึ่งแผงซึ่งเป็นการไม่สะดวกในการต่อวงจร ดังนั้นจึงใช้ตัวต้านทานเพียงตัวเดียวไปต่อที่ขาร่วมคาโถดก่อนที่จะลงกราวน์ สำหรับค่าความต้านทานที่ใช้จะมีค่าประมาณ 100-180 โอห์ม สำหรับขาอินพุททั้ง 16 ขา (แต่ที่ใช้จริงๆเพียง 14 ขาโดยตัดขา C และ D ของเลขหลักพันออก) จะต่อเข้ากับหน่วยความจำซึ่งมีขนาด 14 บิท เพื่อแสดงผลข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ



รูปที่ 4.4 วงจรถอดรหัสและวงจรแสดงผล

ข. วงจรหน่วยความจำ

หน้าที่ เก็บสะสมข้อมูล

ลักษณะที่สำคัญ 1. ต้องสามารถเขียนและอ่านข้อมูลได้

2. สามารถใช้กับแรงดันไฟฟ้าขนาด 5 โวลท์

อุปกรณ์ที่ใช้ ไอซี MOS RAMS เบอร์ 2102

การออกแบบ สำหรับไอซีเบอร์นี้มีขนาด 1 k x 1 เป็นแรมชนิดสแตติคมอสเอ็นแชนเนล ที่ใช้ไฟเลี้ยงเพียง 5 โวลท์ เอาท์พุทต่อโดยตรงกับ TTL ได้ ลักษณะการจัดขาและ switching time waveforms ของไอซีเบอร์นี้แสดงในรูปที่ 4.5 สัญญลักษณ์ A_0 ถึง A_9 เป็นตำแหน่งของแอดเดรส ในการเลือกตำแหน่งของแอดเดรสนั้นทำได้โดยการทำให้สัญญานลอจิคที่ขาแอดเดรสนั้นเป็น 1 เช่น สมมติว่าต้องการเลือกแอดเดรสที่ (เมื่ออยู่ในเลขฐานสองจำนวน 10 บิทจะเท่ากับ 0000000101 ก็ป้อนสัญญานลอจิค 1 ให้กับขา A_0, A_2 นอกนั้นป้อนสัญญานลอจิค 0 เข้ากับขาที่เหลือ

สำหรับวิธีการเขียนและอ่านข้อมูลสามารถทำได้ดังนี้ (ดูรูปที่ 4.5 ประกอบ)

ในกรณีต้องการเขียน "0" ลงในแต่ละเซลล์ของหน่วยความจำ

1. เลือกแอดเดรสที่ต้องการ แล้วทำให้ขาแอดเดรสนั้นเป็น 1
2. กำหนดให้ขา enable เป็น "0" ($\overline{CE}$)
3. ให้ข้อมูลอินพุทเป็น "0"
4. ขา R/$\overline{W}$ ต้องเป็น "0"

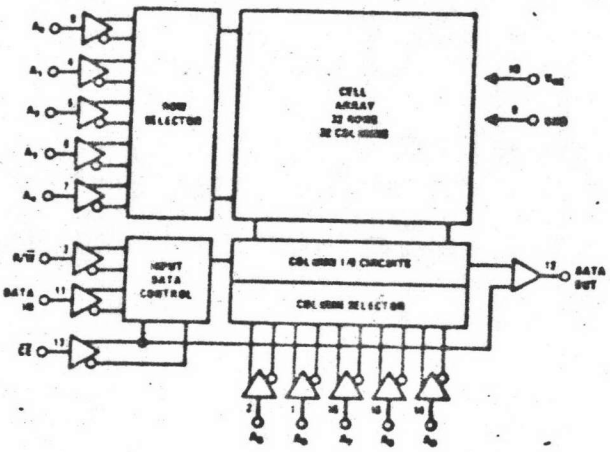
ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูล

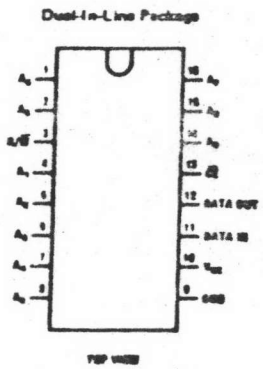
1. เลือกแอดเดรสที่ต้องการ แล้วทำให้ขาแอดเดรสนั้นเป็น 1
2. กำหนดให้ขา enable เป็น "0"
3. ขา R/$\overline{W}$ เป็น "1"

เนื่องจากเรามีข้อมูลอยู่ทั้งหมด 14 บิท ดังนั้นจึงต้องต่อหน่วยความจำให้มีขนาดเป็น 1 k x 14 ซึ่งสามารถทำได้โดยการต่อวงจรในรูปที่ 4.6 โดยนำขาแอดเดรสที่เหมือนกันมาต่อร่วมกัน ส่วนขา R/$\overline{W}$ และ $\overline{CE}$ นั้นก็ทำเช่นเดียวกัน

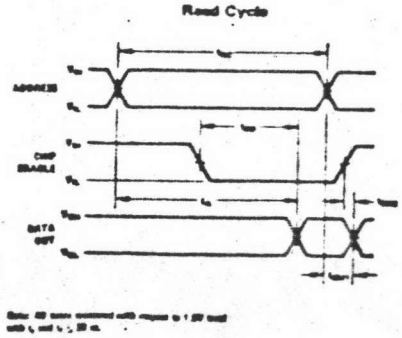
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

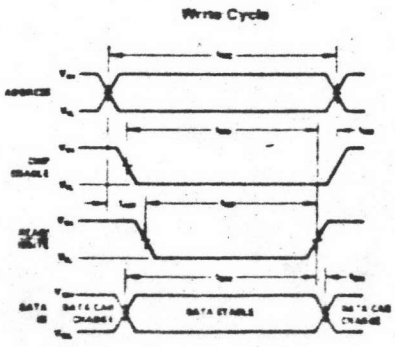
block and connection diagrams





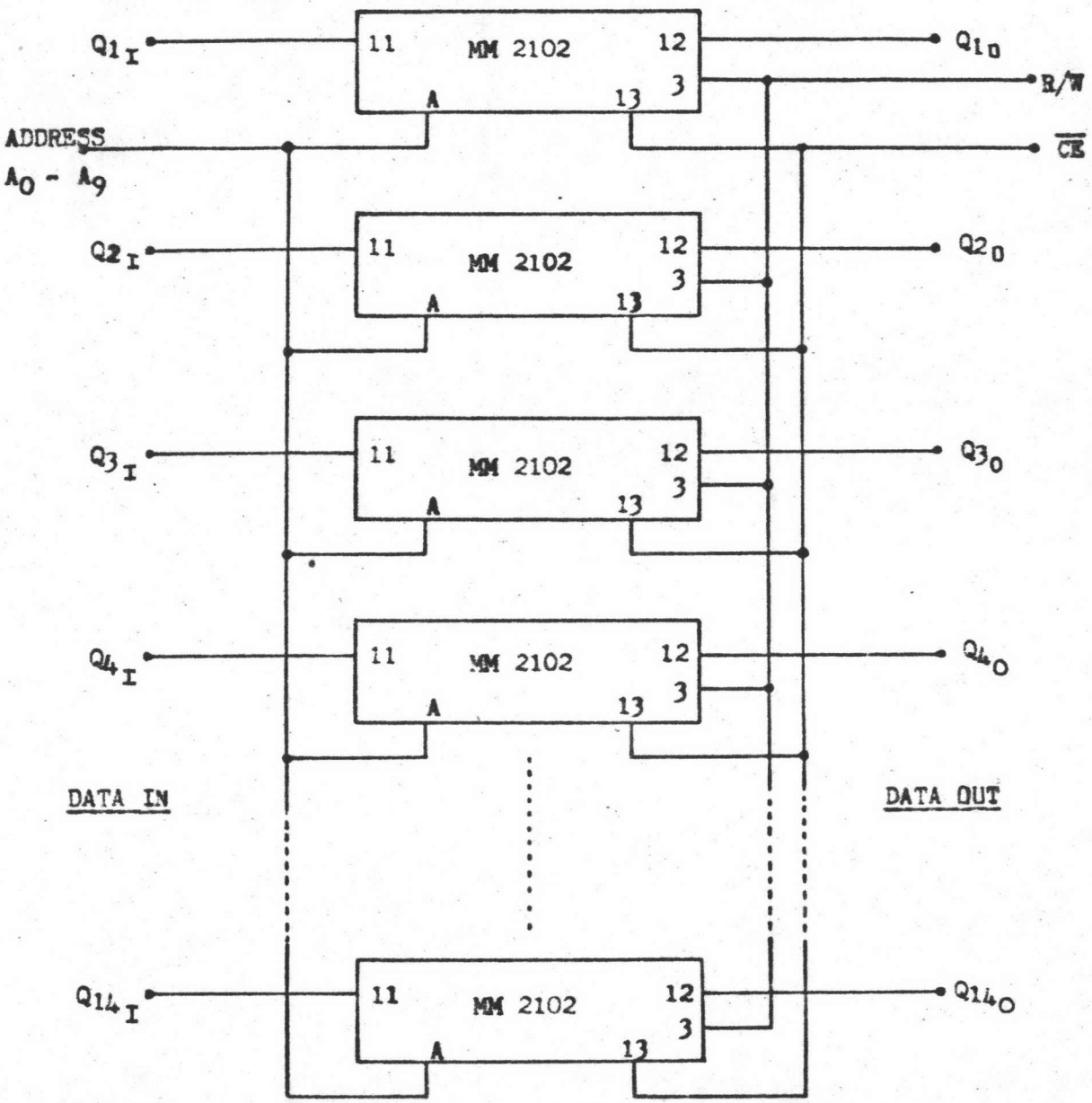
switching time waveforms





รูปที่ 4.5 ลักษณะการจัดขาไอซีและ Switching time waveforms

ของ MM 2102 AN



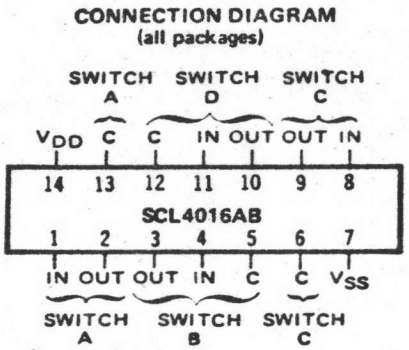
รูปที่ 4.6 แสดงการต่อวงจรหน่วยความจำ

ค. สวิทช์เลือกข้อมูล

หน้าที่ สวิทช์นี้ทำหน้าที่รับเอาข้อมูลจากวงจรนับ 2 และข้อมูลจากวงจรหาค่าเฉลี่ยไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ

ลักษณะที่สำคัญ เป็น analog switch

อุปกรณ์ที่ใช้ ไอซีเบอร์ 4016 ซึ่งเป็น CMOS QUAD ANALOG SWITCH มีลักษณะดังรูปที่ 4.7

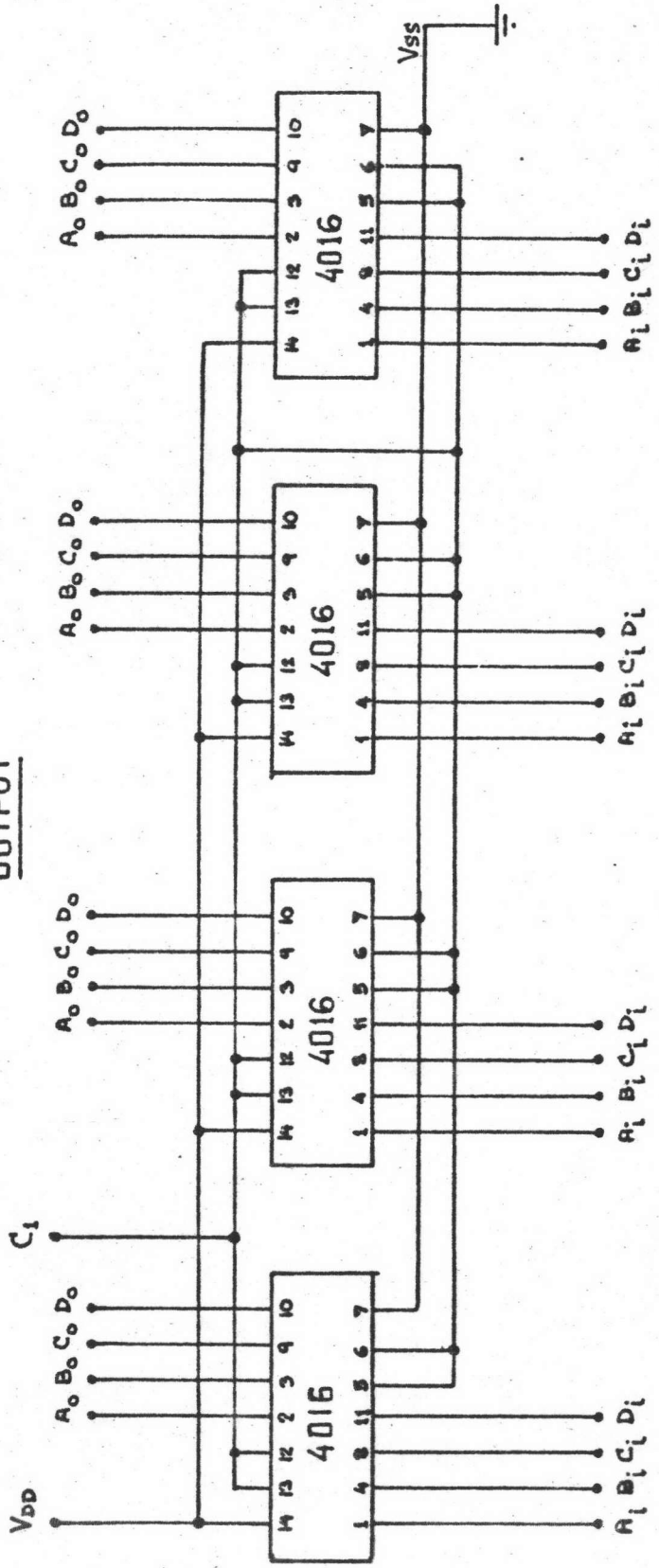


รูปที่ 4.7 Connection diagram ของไอซีเบอร์ 4016

จะเห็นว่าไอซีเบอร์นี้มีสวิทช์ทั้งหมด 4 ตัว สวิทช์แต่ละตัวจะมีขาควบคุมเฉพาะตัวไป วิธีใช้ก็เพียงแต่ควบคุมขาควบคุม(C)เหล่านี้ เช่น ถ้าต้องการให้สวิทช์ A ทำงาน ก็ป้อนสัญญานลอจิค "1" เข้าที่ขา 13 ขาที่ 1 และขาที่ 2 ก็จะต่อเชื่อมถึงกันได้ และถ้าต้องการให้เปิดวงจรระหว่างขา 1 และขา 2 ก็ป้อนลอจิค "0" เข้าที่ขา 13

การออกแบบ เนื่องจากข้อมูลมีทั้งหมด 14 บิท เพราะฉนั้นจำเป็นต้องใช้สวิทช์ทั้งหมด 28 ตัว โดยแบ่งออกเป็นสองกลุ่มๆละ 14 ตัว โดยแต่ละกลุ่มจะต่อขาควบคุมเข้าหากันหมดเพื่อใช้ควบคุมสวิทช์ของแต่ละกลุ่ม วงจรจะมีลักษณะดังรูปที่ 4.8

I16822432



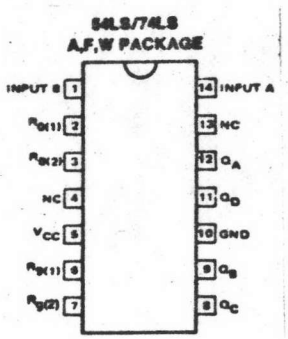
รูปที่ 4.8 แสดงการต่อวงจรของสวิทช์เลือกชนิด

ง. วงจรนับ 2

หน้าที่ วงจรนับ 2 มีหน้าที่นับจำนวนพัลส์ที่เข้าไปยังวงจรนับ 1 (เพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้ารูปขั้นบันได) โดยค่าที่นับได้จะเป็นค่าของการรับรังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งจะอยู่ในรูปของเลขฐานสองจำนวน 14 บิท

ลักษณะที่สำคัญ เป็นวงจรนับสิบ

อุปกรณ์ที่ใช้ ไอซีเบอร์ 74LS90 ซึ่งเป็น Decade Counter ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 4.9

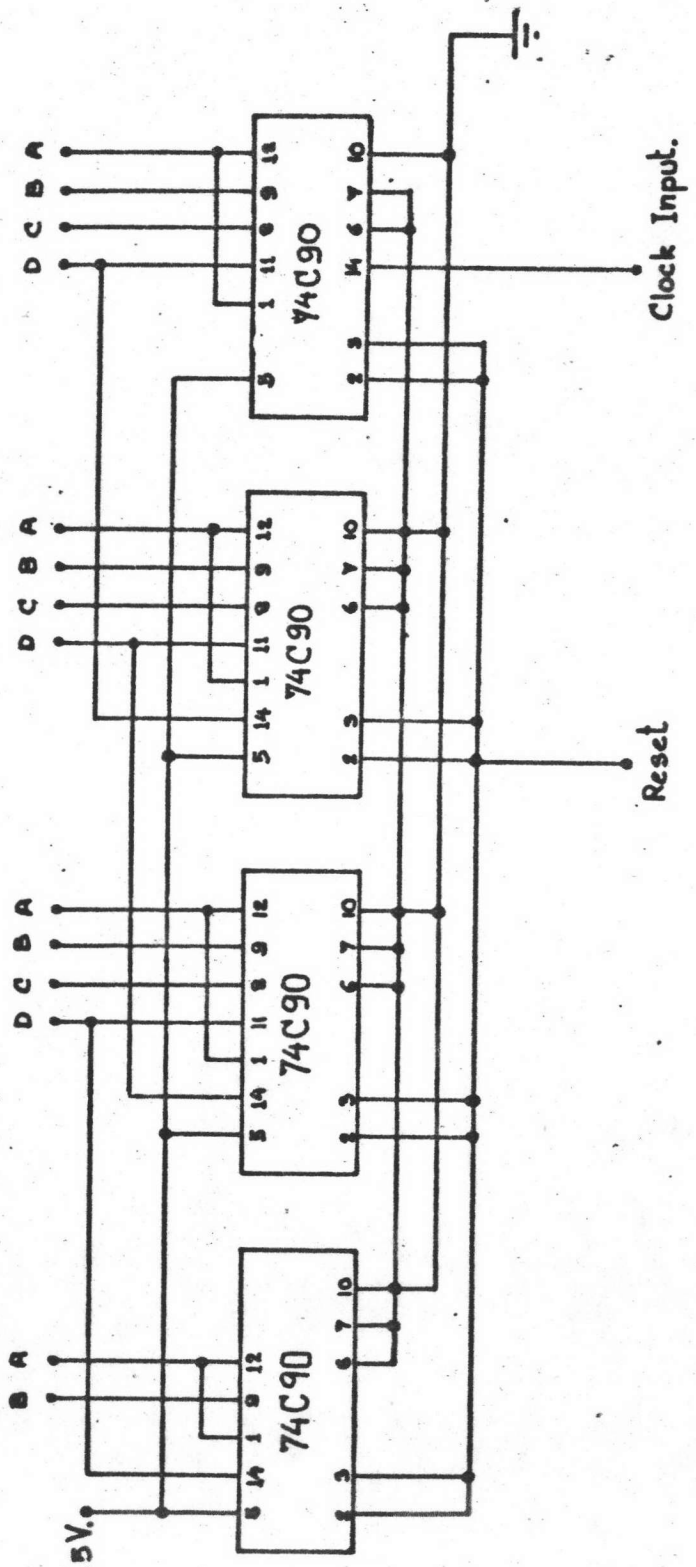


รูปที่ 4.9 แสดงลักษณะของไอซีเบอร์ 74LS90

การออกแบบ เนื่องจากไอซีเบอร์นี้สามารถนับได้ทั้งแบบ BCD count และ Bi-quinary count ซึ่งขึ้นอยู่กับการจัดวงจร สำหรับในที่นี้ต้องการให้นับเป็นแบบ BCD count ซึ่งทำได้โดยนำ Q_A ต่อเข้ากับอินพุท B (ขา 1) การป้อนอินพุทจะป้อนเข้าทางขาอินพุท A (ขา 14) และทุกครั้งที่สัญญาณนาฬิกาเปลี่ยนจากลอจิก 1 ไปเป็น 0 จะทำให้เอาท์พุททั้งสี่ตัวคือ Q_A, Q_B, Q_C, Q_D เปลี่ยนไป นั่นคือเมื่อพัลส์แรกผ่านไปเอาท์พุทก็จะแสดงค่า 0001 (Q_D, Q_C, Q_B, Q_A) และพัลส์ต่อๆมาก็จะแสดงค่าเป็น 0010,0011 จนถึง 1111 และจะกลับมาที่ 0000 อีกครั้งหนึ่ง

สำหรับขา 2,3,6 และขา 7 ถูกจัดเป็นขาสำหรับการรีเซ็ท โดยถ้าป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา 14 แล้วขณะที่ขา 2,3,6 และ 7 ยังคงมีลอจิก 1 อยู่นั้นจะไม่เกิดการนับขึ้น ตราบเมื่อใดที่ขา 2,3,6 และ 7 มีสัญญาณลอจิก 0 เอาท์พุทก็จะแสดงการนับตามสัญญาณอินพุททันที สำหรับการต่อวงจรเพื่อใช้งานนั้นจะต่อขา 6 และ 7 ลงกราวนด์

ไว้ ส่วนขา 2 และ 3 จะต่อรวมกันเพื่อใช้เป็นขารีเซ็ท เนื่องจาก 74LS90 จำนวนหนึ่งตัวจะแทนตัวเลขได้หนึ่งหลัก ดังนั้นจึงต้องใช้ 74LS90 จำนวนสี่ตัวเพื่อแสดงผลเป็นเลขสี่หลัก สำหรับหลักสุดท้ายนั้นจะตัดออก 2 บิท เพราะจากการทดลองวัดค่าการรับรังสี ดวงอาทิตย์ปรากฏว่าจะมีค่าสูงสุดไม่เกินค่า 3000 ดังนั้นสำหรับหลักสุดท้ายจึงเลือกแค่สองบิท(นับแค่เลขสาม) ซึ่งถือว่าพอเพียงแล้วและเพื่อความสะดวกในการต่อวงจรด้วย สำหรับการนำ 74LS90 มาใช้นั้นจะต่ออนุกรมกันโดยขา Q_D (ขา 11) ของตัวที่หนึ่งจะเป็นอินพุทให้กับ 74LS90 ของตัวที่สอง ส่วน Q_D ของตัวที่สองก็จะเป็นอินพุทของตัวที่สามดังนี้ไปเรื่อยๆ วงจรทั้งหมดแสดงไว้ในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงการต่อวงจรนับ 2

จ. วงจรหาค่าเฉลี่ย

หน้าที่ วงจรนี้จะทำการหาค่าเฉลี่ยของการรับรังสีควงอาทิตย์ที่วัดได้ภายในเวลาหนึ่งชั่วโมง

ลักษณะที่สำคัญ วงจรนี้ประกอบด้วยวงจรหาร 120 และวงจรนับ ซึ่งอินพุทที่เข้ามาจะอยู่ในรูปของพัลส์ของสัญญาณนาฬิกา อินพุทนี้จะถูกหารลงด้วยค่า 120 (เนื่องจากจำนวนข้อมูลที่ได้ภายในหนึ่งชั่วโมงเท่ากับ 120) จากนั้นจะนำพัลส์ที่ถูกหารแล้วมานับอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ย

อุปกรณ์ที่ใช้ 1. ไอซี 4024 (7- Stage Binary Counter)

2. ไอซี 4518 (Dual BCD Decade up Counter)

3. ไอซี 4069 (Hex Inverter)

4. ไอซี 4011 (Quad 2 Input NAND Gate)

5. ไดโอด 1N 914

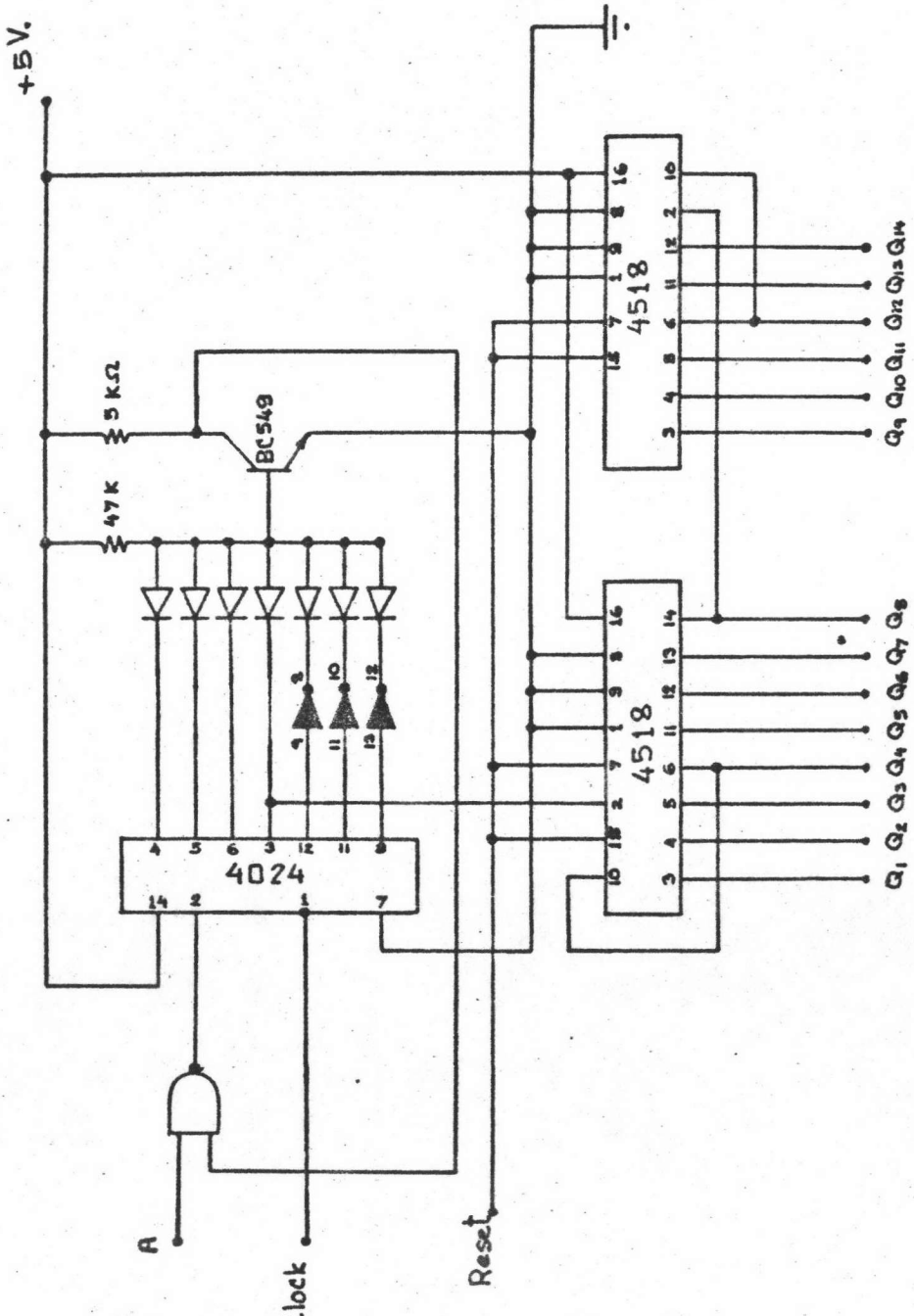
6. ทรานซิสเตอร์ BC 549

5. ตัวต้านทานขนาด 5 และ 47 กิโลโอห์ม

การออกแบบ วิธีที่ง่ายที่สุดในการหาค่าเฉลี่ยก็คือ การนำเอาจำนวนพัลส์ที่ไปเข้ายังวงจรนับ 2 (ซึ่งเป็นค่าของการรับรังสี) นั้นมาทำการหารลงด้วยค่า 120 ก่อน ผลที่ได้จากการหารนั้นก็จะนำมานับด้วยวงจรนับอีกครั้งหนึ่ง โดยจะทำการนับต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆจนครบ 120 ครั้งเมื่อไรก็จะมีการรีเซ็ทครั้งหนึ่ง การออกแบบวงจรได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.11แล้ว โดยใช้ไอซีเบอร์ 4024 ซึ่งเป็น 7 - Stage Binary Counter โดยเมื่อป้อนอินพุทซึ่งเป็นสัญญาณนาฬิกาเข้าไปแล้ว วงจรนับนี้ก็จะทำการนับตั้งแต่ "0" ไปจนถึง "128" แล้วจะนับวนกลับมาที่ "0"ใหม่เป็นดังนี้ไปเรื่อยๆ ทางด้านเอาท์พุททั้ง 7 จะถูกต่อเป็นวงจรหาร 120 โดยใช้วิธีที่ว่าเลข 120 นี้เมื่ออยู่ในระบบเลขฐานสองจะมีค่าเท่ากับ 1111000 ซึ่งสามบิทสุดท้ายจะเป็นเลขศูนย์ ดังนั้นจึงต่อสามบิทสุดท้ายของ 4024 โดยผ่านอินเวอเตอร์(ไอซี 4069) เพื่อที่ว่าเมื่อใดก็ตามที่ 4024 นี้นับมาจนถึงเลข 120 แล้วจะให้เอาท์พุทใหม่ซึ่งแต่ละบิทมีค่าเป็น

หนึ่งทั้งหมด จากเอาท์พุททั้ง 7 นี้จะต่อร่วมกับไดโอดและทรานซิสเตอร์ ตัวต้านทาน โดยมีลักษณะการต่อเป็นแบบ NAND เกท เอาท์พุทของวงจรนี้จะถูกต่อออกมาจากขาคอลเลคเตอร์ของทรานซิสเตอร์ จากนี้จะเห็นว่าเมื่อใดก็ตามที่ไอซี 4024 นี้นับถึงเลขใดก็ตามที่ไม่ใช่ค่า 120 เอาท์พุทที่ได้จะมีค่าเป็นหนึ่งเสมอ แต่เมื่อใดที่นับถึงเลข 120แล้ว เอาท์พุทจะมีค่าเป็นศูนย์ทันที ขณะเดียวกันก็จะรีเซ็ทตัวเองลงเป็นศูนย์ด้วยโดยการนำสัญญานที่ได้จากขาคอลเลคเตอร์มา NAND กับสัญญาน A (ซึ่งสัญญาน A นี้ต้องมีค่าเป็นหนึ่งขณะทำการวัด) ซึ่งจะไปรีเซ็ทด้วยลอจิค "1"ที่ขา 2 ของ 4024 เพื่อตั้งต้นรับสัญญานอีก 120 พัลส์ใหม่เข้ามา จากนี้จะเห็นได้ว่าทุกๆ 120 พัลส์ที่เข้ามานั้นจะให้พัลส์ใหม่ทางเอาท์พุท 1 พัลส์ทุกๆครั้งไปซึ่งนั่นก็คือการหาร 120 นั่นเอง จากนั้นก็นำพัลส์ที่หารแล้วมาทำการนับด้วยวงจรนับซึ่งอาจสร้างขึ้นจากไอซีเบอร์ 4518 จำนวนสองชุด ค่าที่ได้จะถูกนับเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ ดังนั้นค่าที่วงจรนี้นับได้ในขั้นสุดท้ายก็คือค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งชุดนี้ซึ่งจะอยู่ในรูป BCD เอาท์พุททั้ง 14(ตัดออก 2 บิท) จะถูกต่อเข้ากับสวิทช์เลือกข้อมูลอีกชุดหนึ่ง เมื่อทำการเฉลี่ยค่าเสร็จแล้วก็จะมีสัญญานมารีเซ็ทไอซี 4518 ทั้งสองตัวพร้อมทั้ง 4024 ด้วย เพื่อให้เริ่มทำการเฉลี่ยข้อมูลในชุดใหม่ถัดไป

สำหรับค่าความต้านทานที่ใช้สามารถคำนวนได้โดยตรง ซึ่งการคำนวนค่าเหล่านี้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. แล้ว



รูปที่ 4.11 แสดงการต่อวงจรนาฬิกาเบื้องต้น

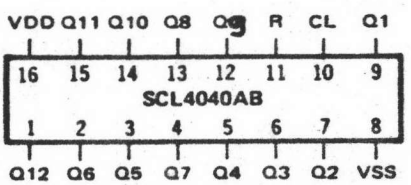
ฉ. วงจรนับ 1

หน้าที่ ทำการนับจำนวนพัลส์ของสัญญานนาฬิกาแล้วส่งผลเอาท์พุทที่ได้ซึ่งเป็นเลขฐานสองไปยังวงจรสร้างสัญญานแรงดันไฟฟ้ารูปขั้นบันได เพื่อให้สร้างสัญญานแรงดันไฟฟ้าขึ้นไปเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

ลักษณะที่สำคัญ ต้องเป็นวงจรนับชนิดริปเปิลและควรมี output - buffering

อุปกรณ์ที่ใช้ ไอซีเบอร์ 4040 ซึ่งเป็น 12-Stage Binary Counter

การออกแบบ สำหรับวงจรนี้เป็นวงจรที่ง่ายประกอบด้วยไอซี 4040 เพียงตัวเดียว การทำงานของไอซีเบอร์จะเป็นแบบ Nagative-going โดยจะเปลี่ยนสถานะตามสัญญานนาฬิกาทุกครั้งที่สัญญานนาฬิกาเปลี่ยนจากลอจิค "1" ไปเป็นลอจิค "0" เอาท์พุททั้ง 12 บิทจะอยู่ในเทอมเลขฐานสอง เอาท์พุททั้งหมดจะถูกต่อเข้ากับวงจรสร้างสัญญานแรงดันรูปขั้นบันได การรีเซ็ท 4040 นี้ทำเช่นเดียวกับ 74LS90 โดยป้อนสัญญานลอจิค "1" ไปยังขารีเซ็ท(ขา 11) สำหรับไอซีเบอร์นี้จะทำการนับตั้งแต่เลข 0 ไปจนถึงเลข 4096 หรือ 2^{12} แล้วจะกลับมาตั้งต้นที่ 0 ใหม่เป็นดังนี้ไปเรื่อยๆ ลักษณะของ 4040 แสดงดังรูปที่ 4.12

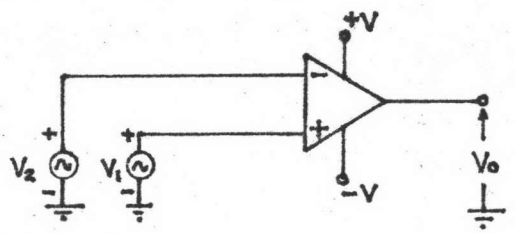


รูปที่ 4.12 Connection diagram ของไอซีเบอร์ 4040

และก่อนที่จะกล่าวถึงการออกแบบวงจรๆต่อไป จำเป็นต้องกล่าวถึงวงจรขยายสัญญานโอเปอร์เรชั่นแนลหรือที่เรียกกันว่าออปแอมป์ เพื่อเป็นพื้นฐานในการที่จะทำความเข้าใจในการออกแบบวงจรต่อไป

<u>คุณสมบัติเบื้องต้นของออปแอมป์</u>

ออปแอมป์ที่ผลิตออกจำหน่ายในรูปวงจรไอซีทั่วๆไป จะมีขั้วสำหรับสัญญานเข้า 2 ขั้ว สำหรับสัญญานออกอีก 1 ขั้ว และสำหรับต่อกับแหล่งจ่ายไฟตรงบวก 1 ขั้ว กับไฟลบอีก 1 ขั้วซึ่งแสดงด้วยสัญญลักษณ์ในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 วงจรออปแอมป์

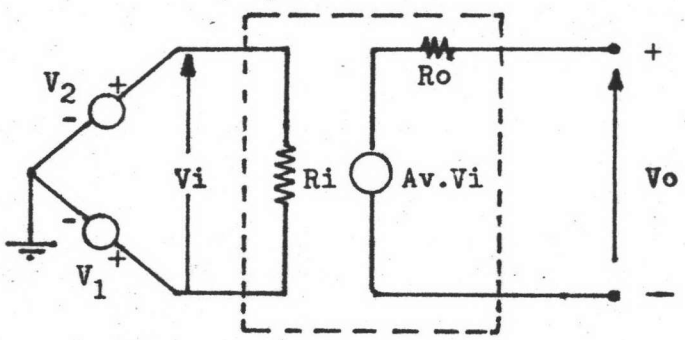
ขั้วสำหรับสัญญานเข้าที่มีเครื่องหมายลบกำกับเรียกว่าขั้วเข้ากลับ (Inverting input) หรือขั้วเข้าลบ ถ้าป้อนแรงดันไฟฟ้า V_2 เข้ามายังที่ขั้วนี้และขั้วดินเพียงแต่สัญญานเดียว($V_1 = 0$)แล้ว สัญญานออก Voจะมีมุมเฟสต่างไปจาก V_2 เป็นมุม 180 องศาซึ่งเป็นการกลับขั้วของสัญญานเข้า

ส่วนขั้วสัญญานเข้าอีกขั้วหนึ่งเรียกว่า ขั้วเข้าไม่กลับ (Non-inverting input) หรือขั้วเข้าบวก ถ้าป้อนแรงดันไฟ V_1 เข้ามายังที่ขั้วนี้และขั้วดินเพียงสัญญานเดียว($V_2 = 0$) จะได้สัญญานออก Vo มีมุมเฟสเท่ากับของ V_1

เมื่อป้อนสัญญานเข้า V_1 และ V_2 เข้าที่ขั้วทั้งสองพร้อมๆกัน ออปแอมป์จะขยายความแตกต่างของสัญญานทั้งสอง

$$Vo = Av (V_1 - V_2) .....(1)$$

เมื่อ Av = อัตราขยายแรงดันของออปแอมป์ ซึ่งโดยทั่วไปจะมีค่าสูงมาก(10^5 เท่า) การที่ออปแอมป์สามารถขยายความแตกต่างของสองสัญญาณเข้านี้ได้เพราะภายในออปแอมป์เป็นวงจรขยายสัญญาณต่าง (Differential amplifier) และถ้าคิดเฉพาะการขยายของสัญญาณต่างแล้ว เราก็สามารถเขียนวงจรสมมูลย์ของ Thevenin สำหรับออปแอมป์ได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่4.14 วงจรสมมูลย์ของออปแอมป์เมื่อคิดเฉพาะสัญญาณต่าง

ในที่นี้ Ri = ความต้านทานขาเข้าของสัญญาณต่าง(Differential input resistant) หรือเรียกว่า ความต้านทานขาเข้า

Ro = ความต้านทานขาออก (Output resistant)

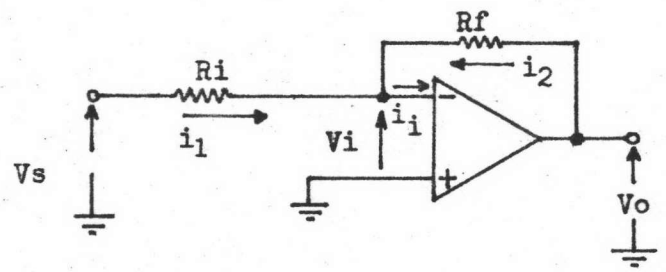
Av = อัตราขยายแรงดันต่างแบบวงรอบเปิด

ออปแอมป์อุดมคติ (Ideal Op.Amp) จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. Ri = ∞
2. Ro = 0
3. Av = $-\infty$
4. Bandwidth = ∞ Hz
5. Ve = 0 เมื่อ $V_1 = V_2$
6. ลักษณะสมบัติไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ

วงจรขยายแบบลบ (Inverting circuit)

วงจรขยายโดยใช้ออปแอมป์ซึ่งเป็นวงจรพื้นฐานได้แก่ วงจรขยายแบบลบ ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.15 วงจรนี้สัญญาณเข้าจะถูกป้อนเข้าที่ขั้วลบ ส่วนขั้วเข้าบวกจะต่อลงดิน การป้อนสัญญาณเข้าจะป้อนผ่านความต้านทาน Ri และมีตัวต้านทาน Rf เป็นตัวป้อนกลับแบบลบ อัตราขยายของวงจรกำหนดได้จากค่าความต้านทานสองตัวนี้



รูปที่ 4.15 วงจรขยายแบบลบที่ใช้ออปแอมป์

จากรูปที่ 4.15 สมการที่ขั้วเข้าลบเป็น

$$i_i = i_1 + i_2$$

หรือ $$i_i = (Vs - Vi)/Ri + (Vo - Vi)/Rf \quad ....(2)$$

โดยที่ Vs = สัญญาณเข้า

Vo = สัญญาณออก

Vi = แรงดันที่ขั้วเข้าลบ แรงดันจะถูกขยายไปเป็น Vo

ดังนั้น Vi = Vo/Av (Av = อัตราขยายวงรอบเปิดของออปแอมป์)

เนื่องจาก Av มีขนาดใหญ่มาก ($Av \rightarrow \infty$)

ดังนั้น Vi = 0 นั่นคือศักย์ไฟฟ้าที่ขั้วเข้าลบจะเท่ากับที่ขั้วเข้าบวกซึ่งเท่ากับศูนย์

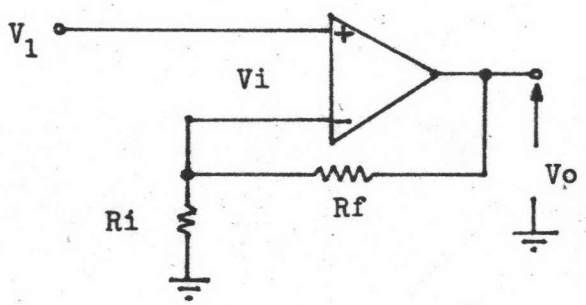
และเนื่องจากออปแอมป์มีความต้านทานขาเข้าสูง ($Ri \rightarrow \infty$) เพราะฉนั้นกระแสจะไหลเข้าออปแอมป์น้อยมาก นั่นคือ $i_i = 0$ สมการที่ 2 จะกลายเป็น

$$Vs/Ri + Vo/Rf = 0$$

$$\text{อัตราการขยาย } A = Vo/Vs$$

$$= - Rf/Ri \quad ....(3)$$

วงจรขยายแบบบวก (Non-inverting Amplifier)



รูปที่ 4.16 วงจรขยายแบบบวกโดยใช้ออปแอมป์

วงจรขยายแบบนี้จะให้สัญญาณออกมีมุมเฟสเท่ากับสัญญาณเข้า และจะมีความต้านทานขาเข้าสูงมาก จากรูปที่ 4.16 แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วบวกได้จากการแบ่งแรงดัน Vo ด้วย Rf และ Ri จึงมีค่าเท่ากับ $\frac{Vo.Rf}{Rf + Ri}$ ผลต่างของแรงดันที่ขั้วเข้าบวกเท่ากับ Vi

นั่นคือ $$V_1 - \frac{Vo.Ri}{Rf + Ri} = Vi$$

แต่ $$Vi = Vo/Av = 0 \quad ; \quad Av = \infty$$

ดังนั้น $$V_1 = \frac{Vo.Ri}{Rf + Ri}$$

$$\text{อัตราขยาย } A = Vo/V_1$$

$$= 1 + Rf/Ri \quad ....(4)$$

วงจรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชั่น (Instrumentation Amplifier)

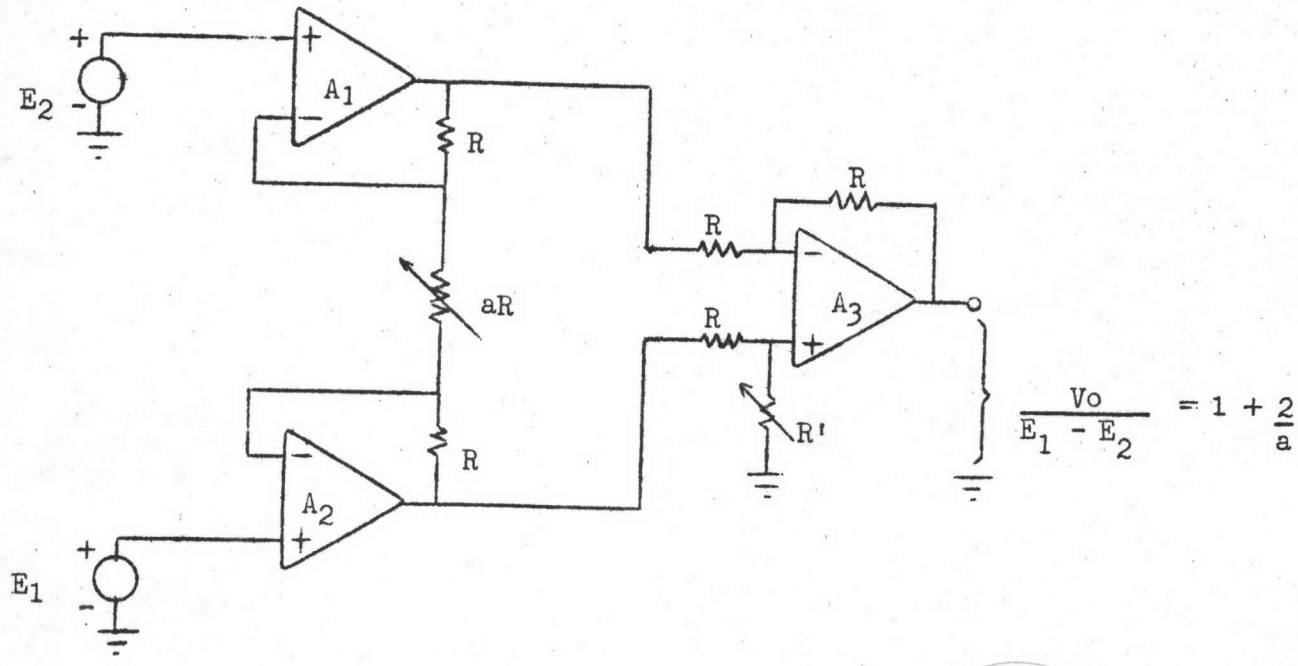
วงจรนี้เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบหนึ่งซึ่งมีประโยชน์มาก มีความแน่นอนและใช้งานได้มากที่สุดแบบหนึ่ง เราอาจต่ออินแอมป์ได้จากออปแอมป์สามตัวและความต้านทานอีก 7 ตัวดังในภาพที่ 4.17 ซึ่งประกอบด้วยวงจรดิฟแอมป์แบบบัฟเฟอร์เป็นภาค

แรก ตามด้วยดิฟแอมป์แบบสัญญานออกเดี่ยวเป็นภาคที่สอง ออปแอมป์ A_3 และความต้านทานอีก 4 ตัวจะทำหน้าที่เป็นดิฟแอมป์แบบมีค่าขยายสัญญานดิฟเฟอร์เรนเชียลเท่ากับหนึ่ง ความต้านทาน R' จะเป็นแบบปรับค่าได้เพื่อที่จะได้ปรับค่าขยายคอมมอนโหมดให้เท่ากับศูนย์ ส่วนค่าขยายจะปรับได้โดยอาศัยโปเทนทิโอมิเตอร์ aR ยังผลให้ค่าขยายศักดาสัญญานเท่ากับ

$$\frac{Vo}{E_1 - E_2} = 1 + \frac{2}{a} \quad ....(5)$$

คุณสมบัติของอินแอมป์จะสรุปได้ดังนี้คือ

1. ค่าขยายสัญญานจากสัญญานเข้าแบบดิฟเฟอเรนเชียลไปเป็นสัญญานออกเดี่ยว จะถูกกำหนดโดยความต้านทานเพียงตัวเดียว
2. ค่าความต้านทานจุดสัญญานเข้าสูงมาก และไม่เปลี่ยนไปตามค่าขยายศักดาสัญญาน
3. Vo จะไม่ขึ้นกับสัญญานเข้าส่วนที่เป็นสัญญานคอมมอนโหมดของ E_1 และ E_2 แต่จะขึ้นกับผลต่างของ E_1 และ E_2 เท่านั้น.



รูปที่ 4.17 วงจรขยายสัญญาณแบบอินสตรูเมนเตชั่น

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ช. วงจรสร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ารูปขั้นบันได

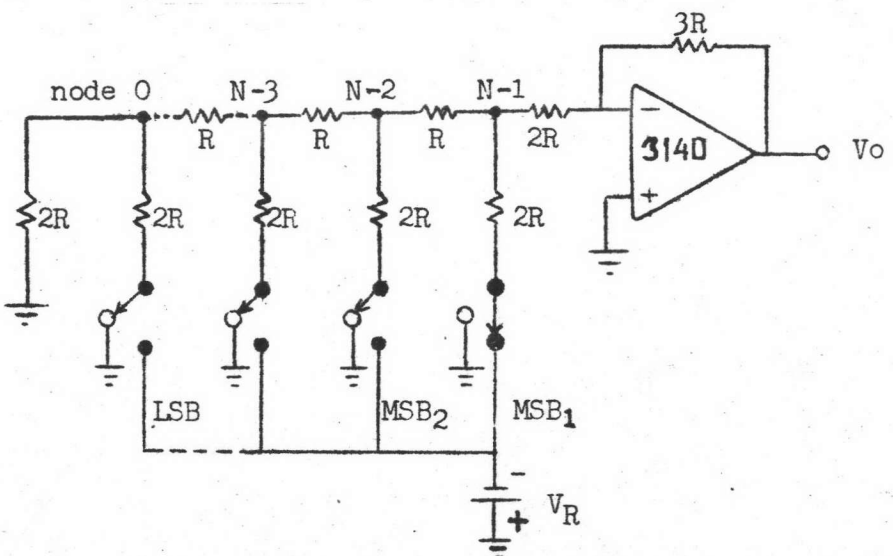
หน้าที่ สร้างสัญญาณแรงดันไฟฟ้ารูปขั้นบันไดเพื่อนำแรงดันที่ได้นี้ไปเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

ลักษณะที่สำคัญ เป็นวงจร Digital-to-Analog Converter โดยใช้วิธี R-2R ladder

อุปกรณ์ที่ใช้ 1. ความต้านทานขนาด 5 และ 10 เมกกะโอห์ม

2. ออปแอมป์เบอร์ CA 3140

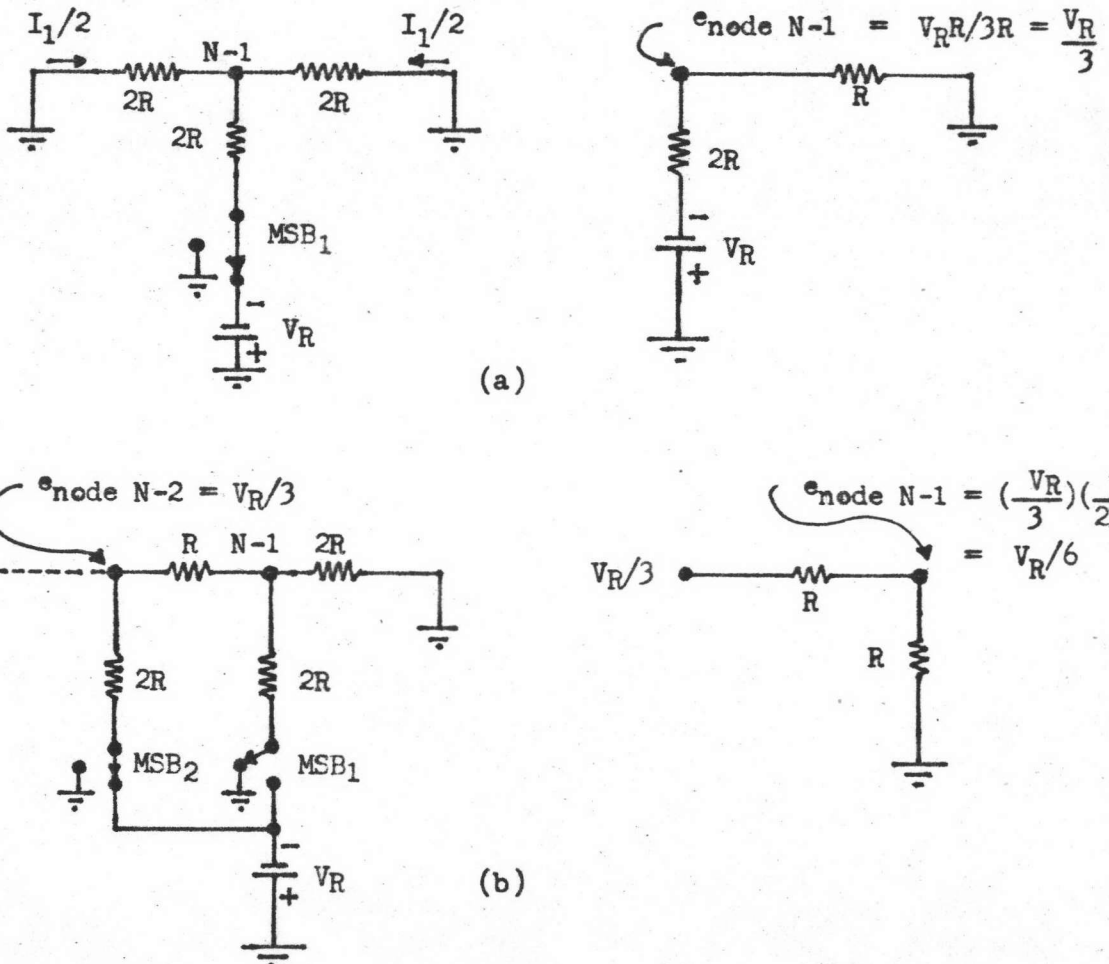
การออกแบบ สำหรับวงจรนี้ได้นำวงจร D/A Converter โดยใช้ความต้านทานที่มีขนาดเท่ากับ R และ 2R ต่อเป็น ladder network มาดัดแปลงเสียใหม่ เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจพิจารณาวงจรรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 วงจร D/A Converter โดยวิธี R-2R ladder

วงจร ladder นี้เป็น current-splitting device ดังนั้นอัตราส่วนของความต้านทานจึงเป็นสิ่งที่สำคัญมากกว่าค่าสัมบูรณ์ของความต้านทาน

จากนี้สังเกตุได้ว่าที่ node ใดๆของ ladder จะมีค่าความต้านทานเท่ากับ 2R ไม่ว่าจะมองไปทางซ้ายหรือทางขวาหรือมองตรงลงมายังสวิทช์ ดังนั้นกระแสจะแยกไปทางซ้ายและทางขวามือเท่าๆกันและจะเป็นดังนี้ไปทุกๆ node พิจารณา node ที่ N-1 และสมมติให้ MSB_1 ปิดวงจร ส่วนของ voltage devider ที่ node N-1 แสดงได้ดังรูปที่ 4.19



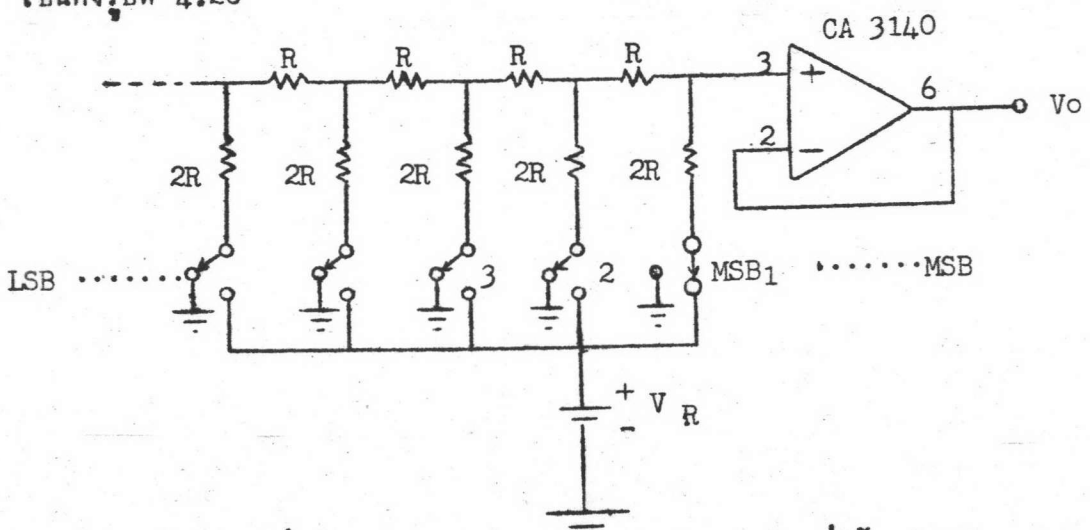
รูปที่ 4.19 วงจรสมมูลย์

(a) Voltage at node,with switch MSB_1 at "ON"

(b) Voltage at node,with switch MSB_2 at "ON"

จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าที่ node N-1 = $-V_R/3$ ซึ่งอัตราการขยายของออป-แอมป์จาก node N-1 เท่ากับ $-\frac{3R}{2R}$ เพราะฉนั้นแรงดันเอาท์พุท Vo ของ MSB_1 จะเท่ากับ $+V_R/2$ เมื่อบิทที่สองของ MSB(MSB_2) ปิดวงจรและบิทอื่นๆเปิดวงจร แรงดันไฟฟ้าที่node N-2 จะเป็น $-V_R/3$ วงจรสมมูลย์จาก node N-2 เมื่อมองไปทางขวามือ (รูปที่ 4.19 b)แสดงให้เห็นว่าแรงดันไฟฟ้าที่node N-1 จะเป็น $\frac{1}{2}$ เท่าของแรงดันไฟฟ้าที่ node N-2 หรือเท่ากับ $V_R/6$ เมื่อคูณกับค่าอัตราการขยายของออปแอมป์แล้วแรงดัน - เอาท์พุท Vo ของ $MSB_2 = V_R/4$ และโดยวิธีการเดียวกันนี้จะได้ว่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทของ MSB_3 จะเท่ากับ $V_R/8$และเป็นดังนี้ไปเรื่อยๆจนถึงบิทสุดท้าย(LSB) ซึ่งจะให้แรงดันเท่ากับ $V_R/2^n$

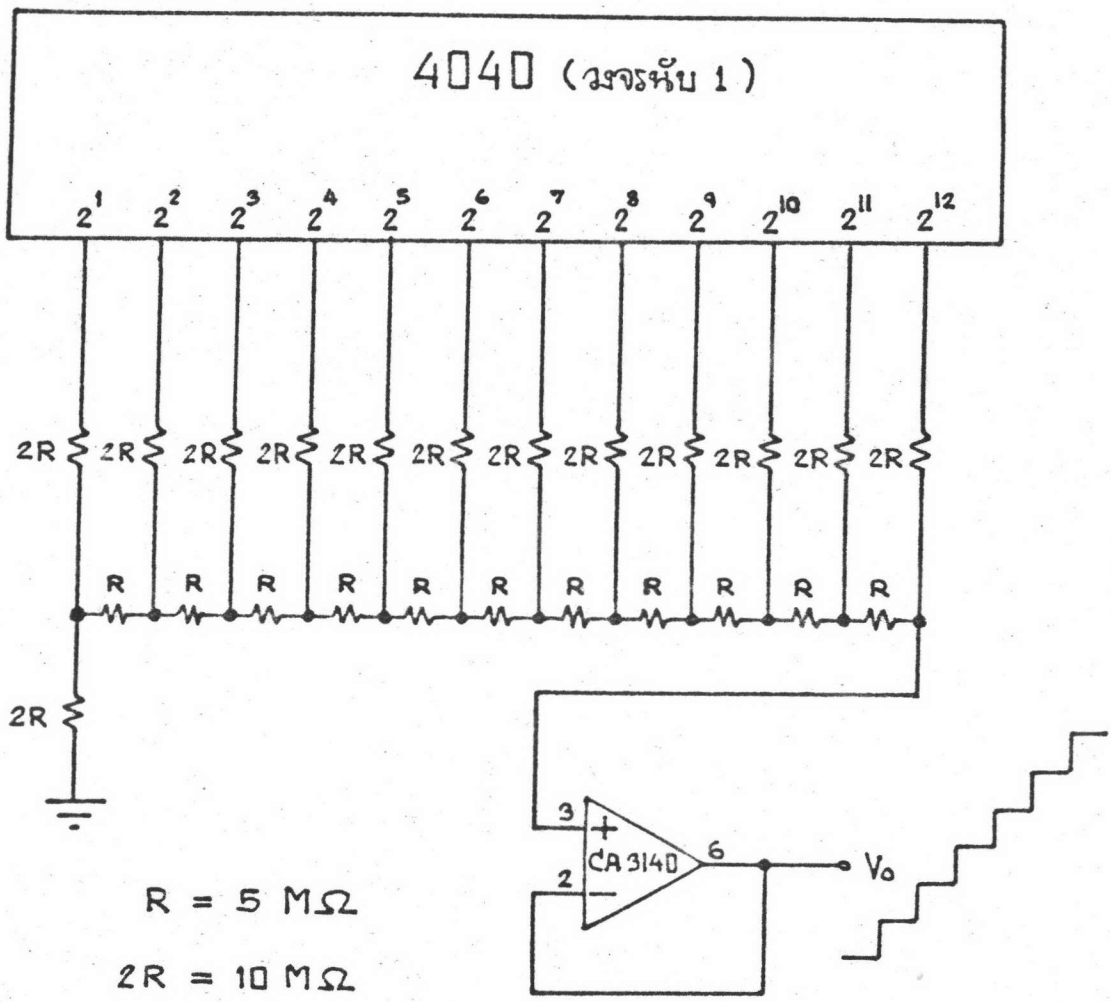
จากวงจรเดิมนี้โดยการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบบางส่วน เราจะได้วงจรใหม่เป็นดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดงวงจร D/A Converter ที่ใช้งานจริง

จากวงจรใหม่นี้จะเห็นว่าออปแอมป์ถูกต่อเป็นแบบ Non-inverting หรือ Buffer Amplifier ซึ่งมีอัตราการขยายเท่ากับหนึ่ง และย้ายตัวต้านทาน 2R (ตัวที่ต่อกับออปแอมป์) ออก ซึ่งก็สามารถพิสูจน์และให้ผลเช่นเดียวกันกับวงจรในรูปที่ 4.18 สำหรับในการใช้งานนั้นเราสามารถแทนสวิทช์ได้ด้วยเลขฐานสอง("1" หรือ "0") โดยการนำเอา Binary counter มาต่อแทนดังในรูปที่ 4.21 ส่วนค่าความต้านทานนั้นตาม

คู่มือการใช้งานของไอซีเบอร์นี้กำหนดไว้ว่าไม่ควรมีค่าต่ำกว่า 896 กิโลโอห์ม ดังนั้น จึงได้เลือกใช้ค่าความต้านทานขนาด 5 และ 10 เมกกะโอห์มชนิด 5 %.



รูปที่ 4.21 วงจรสร้างแรงดันรูปขั้นบันได

ข. วงจรภาคขยายสัญญาณ

หน้าที่ ขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้มีค่าสูงขึ้น เพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าค่าใหม่ที่เรียกว่าค่าแรงดันไฟฟ้าสมมูลย์ของการรับรังสี

ลักษณะที่สำคัญ เป็นวงจรออปแอมป์ ซึ่งมีค่าอินพุทอิมพิแดนซ์สูงและมีค่า input offset voltage ต่ำ นอกจากนั้นยังต้องมีค่า input offset voltage temp. drift น้อยมากด้วย

อุปกรณ์ที่ใช้ 1. ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF 351 N

2. ตัวต้านทาน

การออกแบบ รูปที่ 4.22 แสดงวงจรขยายสัญญาณแบบ non-inverting นั่นคือเครื่องหมายของศักดาสัญญาณออกจะเหมือนกับเครื่องหมายของศักดาสัญญาณเข้า โดยแรงดันไฟฟ้าออก Vo มีค่า

$$Vo = A.Ei$$

เมื่อ A = ค่าขยายสัญญาณแบบวงจรปิด (Closed-loop gain)

$$= (1 + Rf/Ri)$$

สำหรับค่าขยายสัญญาณแบบวงจรปิดนั้นสามารถหาได้ดังนี้ จากค่าอ้างอิงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้กำหนดไว้ว่าถ้าค่าการรับรังสีดวงอาทิตย์เท่ากับ 1000 วัตต์ต่อพื้นที่หนึ่งตารางเมตรแล้ว ค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเท่ากับ 136 มิลลิโวลท์ นั่นก็หมายความว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่า 136 มิลลิโวลท์ ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดนี้จะต้องมีค่าเท่ากับ 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร

จากหัวข้อที่แล้วมาเราทราบว่าระดับความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้นบันไดแต่ละขั้นมีค่าเท่ากับ 1.22 มิลลิโวลท์ เพื่อให้ได้ค่าเท่ากับ 1000 แสดงว่าจะต้องมีพัลส์จำนวน 1000 พัลส์สำหรับจ่ายให้กับวงจรนับ 1 และวงจรนับ 2 ดังนั้นแรงดันที่ได้จากวงจรสร้างสัญญาณแรงดันรูปขั้นบันไดควรจะมีค่าเท่ากับ 1.22 x 1000 = 1220 มิลลิโวลท์ ดังนั้นจึงต้องขยายแรงดันขนาด 136 มิลลิโวลท์ขึ้นไปที่ค่า 1220 มิลลิโวลท์

เพราะฉนั้นอัตราการขยายของออปแอมป์ต้องมีค่าเท่ากับ 1220/136 = 8.97

นั่นคือ $A = 1 + Rf/Ri$

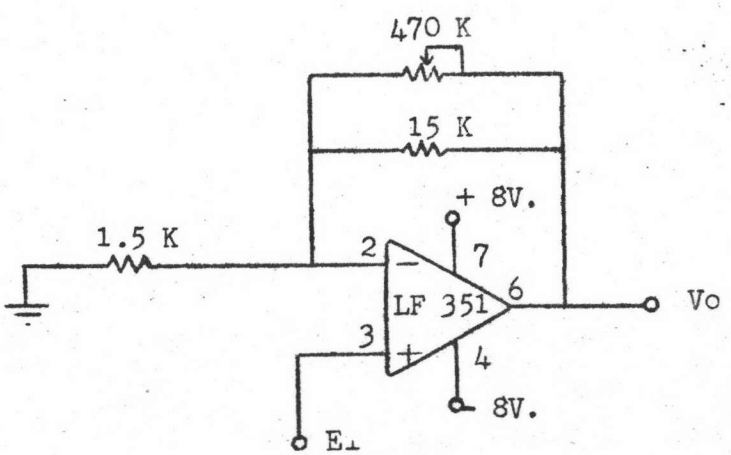
$$\frac{Rf}{Ri} = A - 1 = 8.97 - 1 = 7.97$$

กำหนดค่า Ri = 1.5 กิโลโอห์ม

เพราะฉนั้น Rf = 11.9 กิโลโอห์ม

แต่เนื่องจากค่าความต้านทานขนาด 11.9กิโลโอห์มนั้นไม่มี และเพื่อป้องกันความคลาดเคลื่อนของตัวต้านทานจึงได้ใช้ความต้านทานขนาด 15 กิโลโอห์มต่อแทนโดยมี potentiometer ขนาด 470 กิโลโอห์มต่อขนานกับความต้านทาน 15 กิโลโอห์มเพื่อควบคุมให้ค่าความต้านทานรวมมีค่าประมาณ 11.9 กิโลโอห์ม

ข้อเสียของออปแอมป์อย่างหนึ่งก็คือค่าแรงดันออฟเซท ซึ่งค่าแรงดันออฟเซทนี้จะขึ้นอยู่กับค่าของอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปด้วย ซึ่งค่าแรงดันออฟเซทนี้อาจทำให้ค่าเอาท์พุทที่ได้มีค่าผิดพลาดไปทำให้ค่าที่วัดได้จะเกิดการผิดพลาดไปด้วย สำหรับไอซีออปแอมป์ที่ใช้นี้มีค่า input offset voltage temp. drift ประมาณ 10 uV/°C จากการทดลองวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนไปภายในเวลาหนึ่งชั่วโมง สามารถหาค่าแรงดันออฟเซทที่เพิ่มขึ้นได้ในหนึ่งชั่วโมงมีค่าประมาณ 70 uV.



รูปที่ 4.22 วงจรภาคขยายสัญญาน

ฌ. <u>วงจรเปรียบเทียบสัญญาน</u>

<u>หน้าที่</u> ทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญานที่ได้จากวงจรสร้างสัญญานแรงดันไฟฟ้ารูปขั้นบันไดกับสัญญานที่ได้จากวงจรภาคขยายสัญญาน

<u>ลักษณะที่สำคัญ</u> เป็นวงจรขยายสัญญานแบบอินสตรูเมนเตชั่น

<u>อุปกรณ์ที่ใช้</u> 1. ไอซีออปแอมป์เบอร์ CA 3140

2. ไอซีออปแอมป์เบอร์ LF 351 N

<u>การออกแบบ</u> วงจรเปรียบเทียบนี้ได้ดัดแปลงมาจากวงจรขยายสัญญานแบบอินสตรูเมนเตชั่น แต่ออกแบบให้มีค่าอัตราการขยายสัญญานเท่ากับหนึ่ง โดยใช้ออป-แอมป์เบอร์ CA 3140 เป็นบัฟเฟอร์คั่นระหว่างอินพุททั้งสอง และใช้ออปแอมป์เบอร์ LF 351 N ทำหน้าที่เป็น unity-gain follower ซึ่งวงจรมีลักษณะดังรูปที่ 4.17

จากวงจรขยายสัญญานแบบอินสตรูเมนเตชั่นจะมีค่าขยายศักดาสัญญานเท่ากับ

$$\frac{Vo}{E_1 - E_2} = 1 + 2/a$$

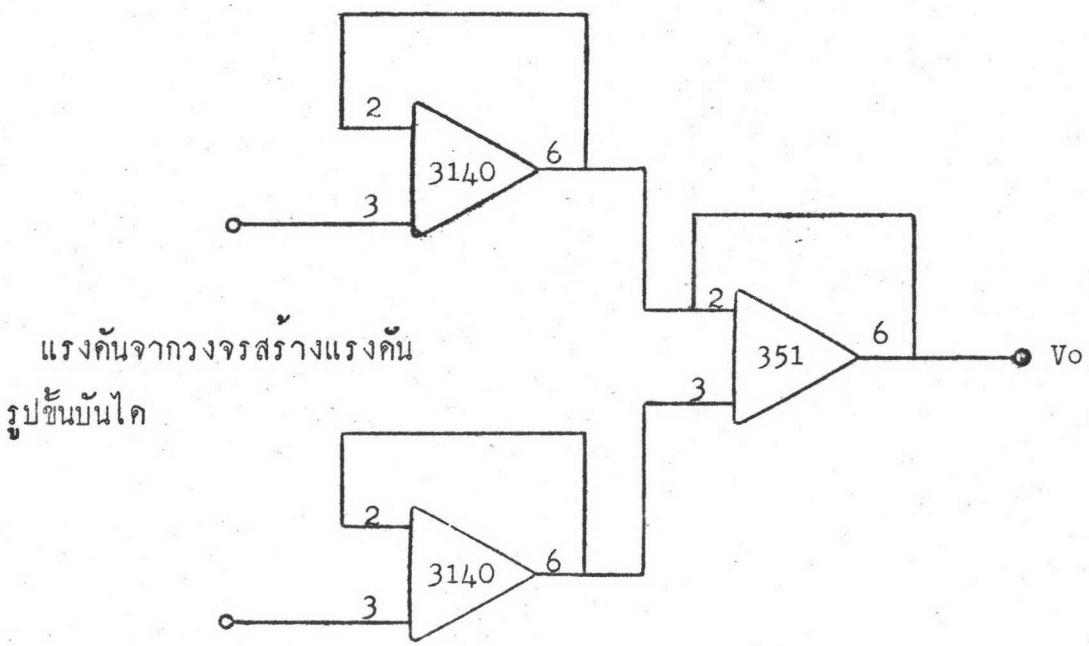
โดยการเปลี่ยนวงจรเสียใหม่เป็นดังรูปที่ 4.23 โดยจะเห็นว่าค่าขยายศักดาสัญญานของวงจรใหม่จะเท่ากับหนึ่งดังนี้

$$\frac{Vo}{E_1 - E_2} = 1 + 2/\infty = 1 \quad ; \quad a = \infty$$

เพราะฉนั้นเมื่อใดก็ตามที่สัญญานทั้งสองของอินพุทมีค่าเท่ากัน เอาท์พุทก็จะมีค่าเป็นศูนย์ ข้อดีของวงจรนี้ก็คือ

1. ค่าของความต้านทานจุดสัญญานเข้ามีค่าสูงมาก(ประมาณ 10^{12} โอห์ม) และไม่เปลี่ยนไปตามค่าขยายศักดาสัญญาน

2. Vo จะไม่ขึ้นกับสัญญานเข้าส่วนที่เป็นสัญญานคอมมอนโหมดของ E_1 และ E_2 แต่จะขึ้นกับผลต่างของ E_1 และ E_2 เท่านั้น



รูปที่ 4.23 วงจรเปรียบเทียบ

ฎ. วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

หน้าที่ ผลิตสัญญาณนาฬิกาเพื่อป้อนให้แก่วงจรนับ 1 และวงจรนับ 2

ลักษณะที่สำคัญ เป็นวงจร Astable Multivibrator

อุปกรณ์ที่ใช้ 1. ไอซีเบอร์ LM 555

2. ตัวเก็บประจุ 0.01 และ 0.005ไมโครฟารัด

3. ตัวต้านทานขนาด 8.2 กิโลโอห์ม

การออกแบบ วงจรนี้ใช้ไอซีเบอร์ LM 555 ต่อเป็นวงจร Astable ดังรูปที่ 4.24 โดยมีค่าต่างๆดังนี้

1. Charge time (output high)

$$t_1 = 0.693(R_A + R_B)C$$

$$= 0.693(8.2 \times 10^3 + 8.2 \times 10^3)0.005 \times 10^{-6}$$

$$= 5.6826 \times 10^{-5} \text{ sec.}$$

2. Discharge time (output low)

$$t_2 = 0.693(R_B)C$$

$$= 0.693 \times 8.2 \times 10^3 \times 0.005 \times 10^{-6}$$

$$= 2.8413 \times 10^{-5} \text{ sec.}$$

3. Total period

$$T = t_1 + t_2$$

$$= 5.6826 \times 10^{-5} + 2.8413 \times 10^{-5}$$

$$= 8.5239 \times 10^{-5} \text{ sec.}$$

4. Frequency of oscillation

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{8.5239 \times 10^{-5}}$$

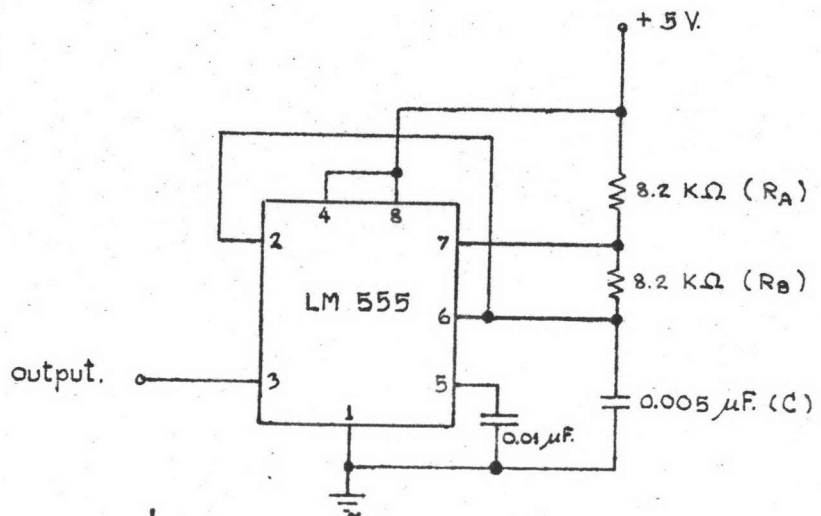
$$= 11.73 \text{ KHz.}$$

5. Duty cycle

$$D = \frac{R_B}{R_A + 2R_B}$$

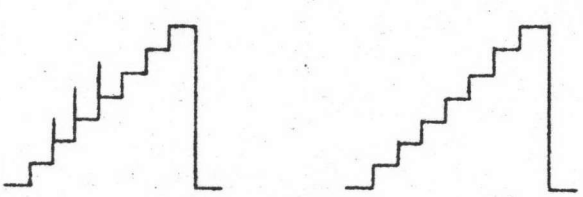
$$= \frac{8.2\ K}{8.2\ K + 2(8.2K)}$$

$$= 0.33 = 33\ \%$$



รูปที่ 4.24 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

สำหรับความถี่ที่เราเลือกใช้นี้ควรระวังไม่ให้มีความถี่สูงจนเกินไปนัก เพราะจะทำให้วงจร A/D เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ดังรูปที่ 4.25 (ซึ่งรูปที่ถูกต้องควรจะเป็นดังรูป ข.) จะเห็นว่ามีส่วนที่ยื่นออกไปตรงขอบของบันไดแต่ละขั้น ที่เป็นเช่นนี้เพราะเกิดจากความแตกต่างระหว่าง propagation times (ของดิจิตอลไอซีที่ใช้) ของช่วงที่เปลี่ยนสเตจจากศูนย์เป็นหนึ่ง และจากสเตจหนึ่งเป็นศูนย์ ซึ่งต่างก็มีค่าไม่เท่ากัน.



4.25 ก. 4.25 ข.

ฎ. วงจรควบคุม 1

หน้าที่ วงจรนี้มีหน้าที่ในการสั่งงานทั้งหมดเกือบทุกส่วนภายในเครื่อง ดังนั้นวงจรนี้จึงมีหน้าที่หลายประการด้วยกัน หน้าที่หลักสำหรับวงจรนี้คือ

1. ควบคุมช่วงเวลาการทำงาน เช่น กำหนดเวลาในการวัดค่าการรับรังสีและการอ่านข้อมูลที่บันทึกไว้ในหน่วยความจำ สำหรับในการวัดค่าการรับรังสีเพื่อหาค่าของพลังงานแสงอาทิตย์นั้นเครื่องมือนี้ถูกกำหนดไว้ด้วย sampling rate เท่ากับ 30 วินาทีต่อหนึ่งข้อมูล และสำหรับการอ่านข้อมูลนั้นกำหนดไว้ที่ความเร็ว 2 วินาทีต่อหนึ่งข้อมูล

2. ควบคุมวงจรสร้างสัญญานนาฬิกา

3. ควบคุมการ set และ reset ของวงจรนับ 1 ,วงจรนับ 2 และวงจรหาค่าเฉลี่ย

4. ควบคุมการทำงานของสวิทช์เลือกข้อมูล โดยจะทำการเลือกว่าเมื่อไรจะรับเอาข้อมูลที่ได้จากวงจรนับ 2 และข้อมูลจากวงจรหาค่าเฉลี่ยไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ

5. ควบคุมการเปลี่ยนแอดเดรสของหน่วยความจำ

เพื่อที่จะทำความเข้าใจต่อไปถึงเรื่องการออกแบบวงจร จะขอกล่าวถึงขั้นตอนอย่างละเอียดของการทำงานของเครื่องมือนี้เสียก่อน โดยแบ่งออกเป็นข้อๆดังนี้

1. เมื่อเครื่องเริ่มทำงานนั้นก่อนที่จะเริ่มต้นทำการวัด ต้องรีเซ็ทภาควงจรนับ 1, วงจรนับ 2,วงจรหาค่าเฉลี่ยและแอดเดรสของหน่วยความจำลงไปที่ศูนย์ก่อน

2. เมื่อเซ็ทให้เครื่องเริ่มทำการวัด วงจรควบคุมจะผลิตสัญญานนาฬิกาออกมาทุกๆ 30 วินาทีต่อหนึ่งพัลส์ พัลส์นี้จะเป็นตัวกำหนดการวัดค่าการรับรังสีในแต่ละครั้ง(โดยอาศัยสภาวะ "1" หรือ "0" เป็นตัวควบคุม) โดยจะปล่อยให้สัญญานนาฬิกาจากวงจรสร้างสัญญานนาฬิกาเข้าไปยังวงจรนับ 1 เพื่อให้วงจร Binary ladder ได้สร้างสัญญานแรงดันไฟฟ้ารูปขั้นบันไดขึ้นมาเปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านภาคขยายสัญญานมาแล้ว

3. เมื่อใดก็ตามที่สัญญานทั้งสองมีขนาดเท่ากัน วงจรเปรียบเทียบก็จะส่งสัญญานเพื่อไปหยุดสัญญานนาฬิกาไว้ จำนวนพัลส์ที่เข้าไปยังวงจรนับ 1 นี้ก็จะถูกนับโดยวงจรนับ 2 และวงจรหาค่าเฉลี่ยด้วย โดยค่าที่นับได้จากวงจรนับ 2 จะเป็นค่าของการรับรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะนั้น ส่วนวงจรหาค่าเฉลี่ยก็จะเริ่มทำการเฉลี่ยค่าไปเรื่อยๆ

4. หน่วยควบคุม 1 จะทำการต่อสวิทช์เลือกข้อมูล เพื่อนำค่าที่ได้จากวงจรนับ 2 (ซึ่งอยู่ในเลขฐานสอง) ไปทำการเก็บไว้ในหน่วยความจำ ซึ่งหน่วยควบคุม 1 จะทำการเลื่อนแอดเดรสไปรอรับข้อมูลอยู่ก่อนแล้ว

5. ในขณะที่หน่วยควบคุมทำการต่อสวิทช์เลือกข้อมูลนั้น ในเวลาเดียวกันก็จะส่งสัญญาน CE ไปดึงเอาข้อมูลไปเก็บไว้ในหน่วยความจำซึ่งขณะเดียวกันก็จะแสดงผลที่ภาคแสดงผลด้วย พร้อมกันนั้นก็จะมีสัญญาน LE ไปทำการแลทช์ภาคแสดงผลไว้เพื่อป้องกันไม่ให้ค่าตัวเลขที่แสดงอยู่ในขณะนั้นเปลี่ยนแปลงไป

6. เมื่อข้อมูลแรกถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำแล้ว หน่วยควบคุม 1 จะรีเซ็ทภาควงจรนับ1, วงจรนับ 2 เพื่อเริ่มต้นวัดค่าการรับรังสีครั้งที่สองต่อไป

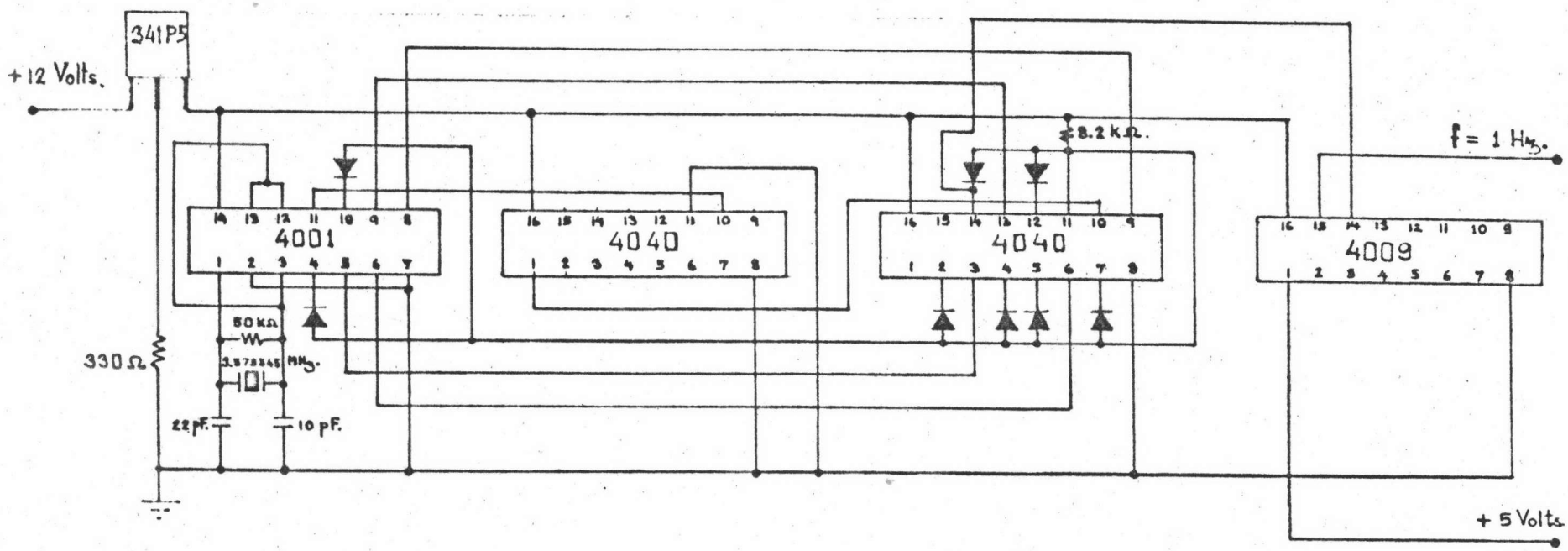
7. การทำงานจะเป็นแบบนี้ไปเรื่อยๆจนครบข้อมูลที่ 120 และเมื่อข้อมูลที่ 120 ถูกนำไปเก็บไว้เรียบร้อยแล้วหน่วยควบคุมจะทำการเลื่อนแอดเดรสของหน่วยความจำไปรอที่ตำแหน่ง 121 ทันที พร้อมกันนี้จะทำการต่อสวิทช์เลือกข้อมูลไปรอรับข้อมูลที่มาจากวงจรเฉลี่ย พร้อมกับส่งสัญญาน CE ไปดึงเอาข้อมูลที่ได้เฉลี่ยแล้วมาเก็บไว้ในหน่วยความจำ เมื่อเก็บค่าไว้ในหน่วยความจำแล้วหน่วยควบคุมก็จะทำการรีเซ็ทวงจรหาค่าเฉลี่ยเพื่อให้เริ่มทำการเฉลี่ยในชั่วโมงต่อไป

ทั้งหมดนี้เป็นขั้นตอนการทำงานของเครื่องวัดนี้ สำหรับการออกแบบวงจรควบคุมจะแบ่งออกเป็นวงจรย่อยๆซึ่งประกอบด้วยวงจรผลิตสัญญานความถี่ 1 เฮิรทซ์, วงจรผลิตสัญญานควบคุม, วงจรควบคุมตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำและวงจรควบคุมหรือระบบควบคุมรวมทั้งหมด

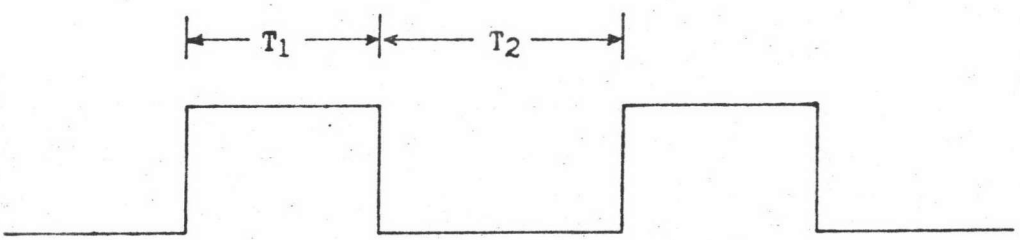
1. วงจรผลิตสัญญานนาฬิกาความถี่ 1 เฮิรทซ์

อุปกรณ์ที่ใช้ 1. ไอซีเบอร์ 4040 (12-Stage Binary Counter)
2. ไอซีเบอร์ 4001 (Quad 2-Input NOR Gate)
3. ไอซีเบอร์ 4009 (Hex Inverter Buffer)
4. Crystal 3.579545 MHz
5. ไอซี recgulator เบอร์ 341 P 5
6. ไดโอด 1N 914
7. ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ

การออกแบบ เนื่องจากวงจรนี้ต้องการความเที่ยงตรงอย่างมากจึงจำเป็นต้องใช้ตัวคริสตอลในการผลิตความถี่ และเนื่องจากคริสตอลแบบนี้หาซื้อได้ง่ายและราคาก็ไม่แพงจนเกินไปจึงเป็นการสะดวกที่จะนำมาใช้ การต่อวงจรกระทำได้โดยต่อตัวคริสตอลร่วมกับ NOR gate สองตัวดังรูปที่ 4.26 คริสตอลจะเกิดการออสซิเลตให้สัญญานความถี่ขนาด 3.579545 เมกกะเฮิรทซ์ออกมา จากนั้นจะนำสัญญานนี้มาหารลงเพื่อให้เหลือความถี่เพียง 1 เฮิรทซ์ สำหรับวงจรหารจะประกอบด้วยไอซีเบอร์ 4040 จำนวนสองตัว โดย 4040 ตัวแรกจะทำการหารลงก่อนด้วยค่าเท่ากับ 4096 เพราะฉนั้นความถี่ที่ออกมาภายหลังจากการหารด้วย 4096 แล้วจะมีค่าเท่ากับ 873.9123535 หรือประมาณ 874 เฮิรทซ์ จากนี้จะนำความถี่ 874 เฮิรทซ์มาทำการหารอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้เหลือเพียง 1 เฮิรทซ์ โดยการใช้ 4040 อีกตัวหนึ่ง ไดโอดและ NOT เกท – ประกอบกันขึ้นเป็นวงจรหารเลข 874 (ซึ่งจะมีลักษณะเป็น AND เกท 10 อินพุท) ดังนั้นเมื่อใดที่ 4040 นับไปจนถึงเลข 874 (ซึ่งเท่ากับ 1101101010 ในระบบเลขฐานสอง) ขาอินพุททั้ง 10 ของ AND เกทจะมีค่าเป็นหนึ่งทั้งหมด ซึ่งจะให้ภาวะเป็นหนึ่งทางเอาท์–พุทด้วยซึ่งจะไปรีเซ็ท 4040 ใหม่เพื่อให้ทำการหารครั้งต่อไป เอาท์พุทความถี่ 1 เฮิรทซ์นี้จะนำออกมาจากขา14 ของ 4040 ซึ่งจะมีลักษณะสัญญานดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.26 วงจรผลิตสัญญาณนาฬิกาความถี่ 1 เฮิรทซ์



$$T_1 = \frac{2^{21} - 3579545}{3579545} = 0.41412889 \text{ Sec.}$$

$$T_2 = 1 - 0.41412889 = 0.585871109 \text{ Sec.}$$

รูปที่ 4.27 ลักษณะของสัญญาณความถี่ 1 เฮิรทซ์

2. วงจรผลิตสัญญานนาฬิกาควบคุม

วงจรผลิตสัญญานนาฬิกาควบคุมนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

ก. วงจรผลิตสัญญานนาฬิกาที่ใช้กำหนดช่วงเวลาของการ sampling ข้อมูล ซึ่งมีความถี่ประมาณ 0.03 เฮิรทซ์หรือทุกๆ 30 วินาทีจะมีพัลส์ขึ้นมาหนึ่งพัลส์ โดยใช้สัญญลักษณ์เป็น P_{30s}.

ข. วงจรผลิตสัญญานนาฬิกาที่ใช้ควบคุมช่วงเวลาการอ่านข้อมูลในหน่วยความจำ ซึ่งจะมีความถี่ประมาณ 0.5 เฮิรทซ์หรือทุกๆ 2 วินาทีจะมีพัลส์ขึ้นมาหนึ่งพัลส์ โดยใช้สัญญลักษณ์เป็น P_{2s}.

สัญญานทั้งสองนี้สร้างขึ้นจากสัญญานนาฬิกาความถี่ 1 เฮิรทซ์ที่ได้กล่าวผ่านมาแล้ว โดยวงจรมีลักษณะดังรูปที่ 4.28

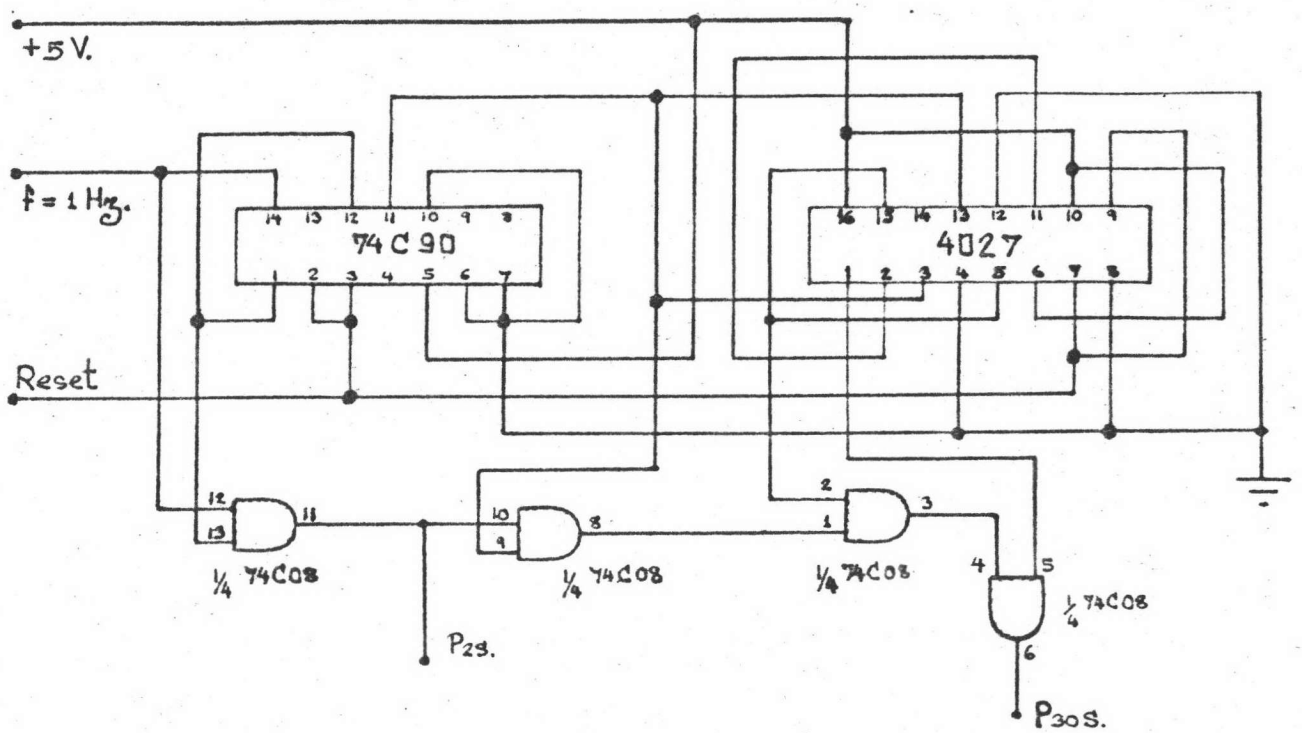
อุปกรณ์ที่ใช้ 1. ไอซีเบอร์ 74C90 (Decade Counter)

2. ไอซีเบอร์ 4027 (Dual JK-Type Flip-Flop)

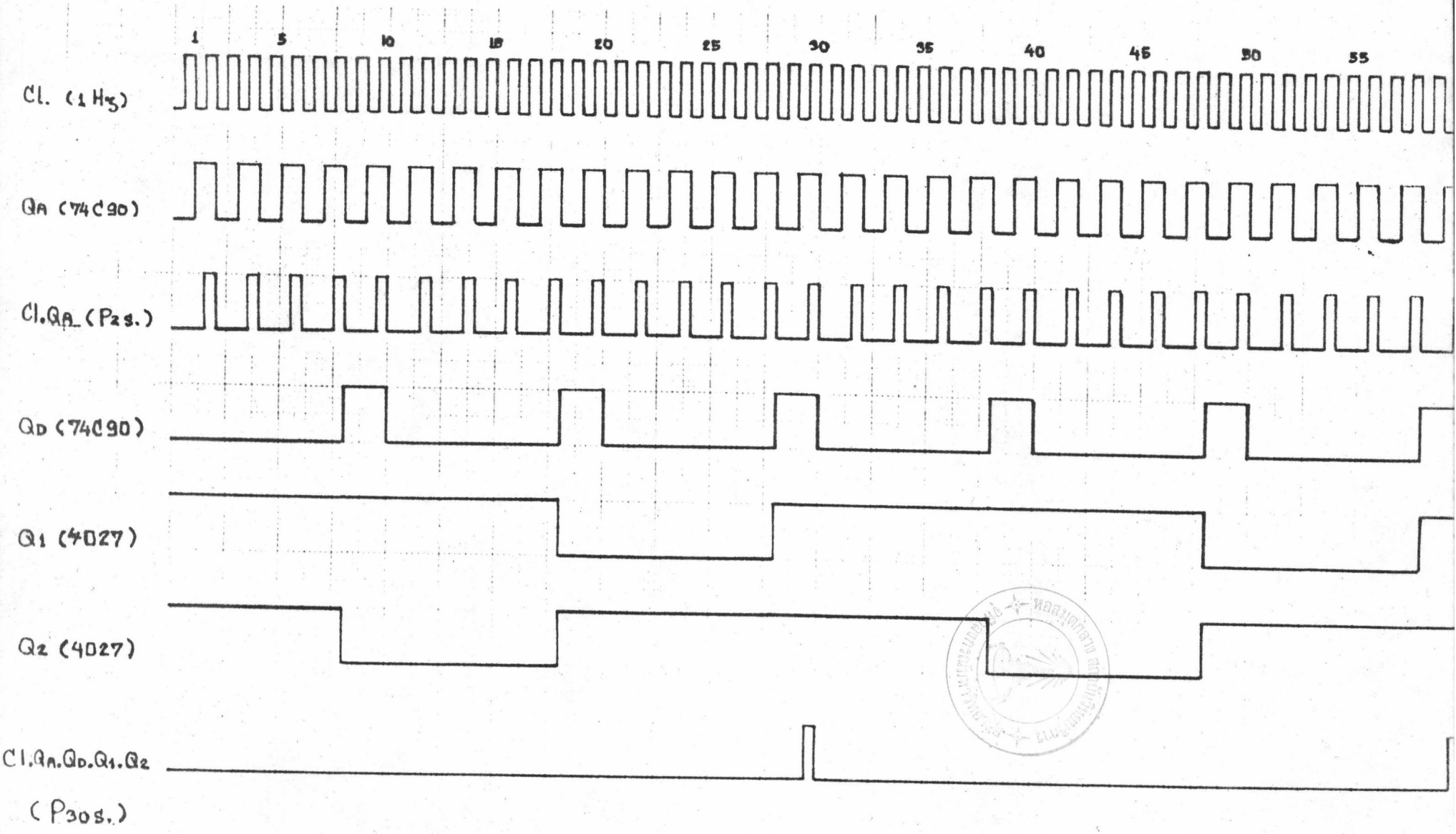
3. ไอซีเบอร์ 74C08 (Quad 2-Input AND Gate)

การออกแบบ นำสัญญานความถี่ 1 เฮิรทซ์ผ่านเข้าไปยัง 74C90 ซึ่งเป็นวงจรนับสิบ จากนั้นนำเอาพัลส์จากขา 12 ของ 74C90(Q_A) ที่ได้มา AND กับสัญญานความถี่ 1 เฮิรทซ์จะได้สัญญาน P_{2s}.

สำหรับสัญญาน P_{30s}. ได้มาจากการนำเอา JK Flip-Flop มาต่อกันเป็นวงจรนับ 3 โดยใช้สัญญาน Q_D (ขา 11) ของ 74C90 มาเป็นสัญญานนาฬิกาของวงจรนับ 3 จากนั้นนำสัญญาน Q_D (ขา 11 ของ 74C90), สัญญาน Q_1 (ขา 15 ของ 4027), สัญญาน Q_2 (ขา 1 ของ 4027) และสัญญาน P_{2s}. ทั้งหมดนี้มา AND กันจะได้สัญญาน P_{30s}. ลักษณะของสัญญานต่างๆแสดงได้ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.28 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา P_{2s}. และ P_{30s}.



รูปที่ 4.29 ลักษณะรูปสัญญาณนาฬิกา $P_{2s.}$ และ $P_{30s.}$

3. วงจรควบคุมรวม

วงจรควบคุมรวมและวงจรเครื่องวัดการรับรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดแสดงไว้ในภาคผนวก ค.

อุปกรณ์ที่ใช้
1. ไอซีเบอร์ 4001 (Quad 2-Input NOR Gate)
2. ไอซีเบอร์ 4011 (Quad 2-Input NAND Gate)
3. ไอซีเบอร์ 4024 (7-Stage Binary Counter)
4. ไอซีเบอร์ 4022 (Binary Counter w/8 Decoded output)
5. ทรานซิสเตอร์ BC 549
6. ไดโอด 1N 914
7. ตัวต้านทาน
8. ไอซีเบอร์ 4040 (12-Stage Binary Counter)

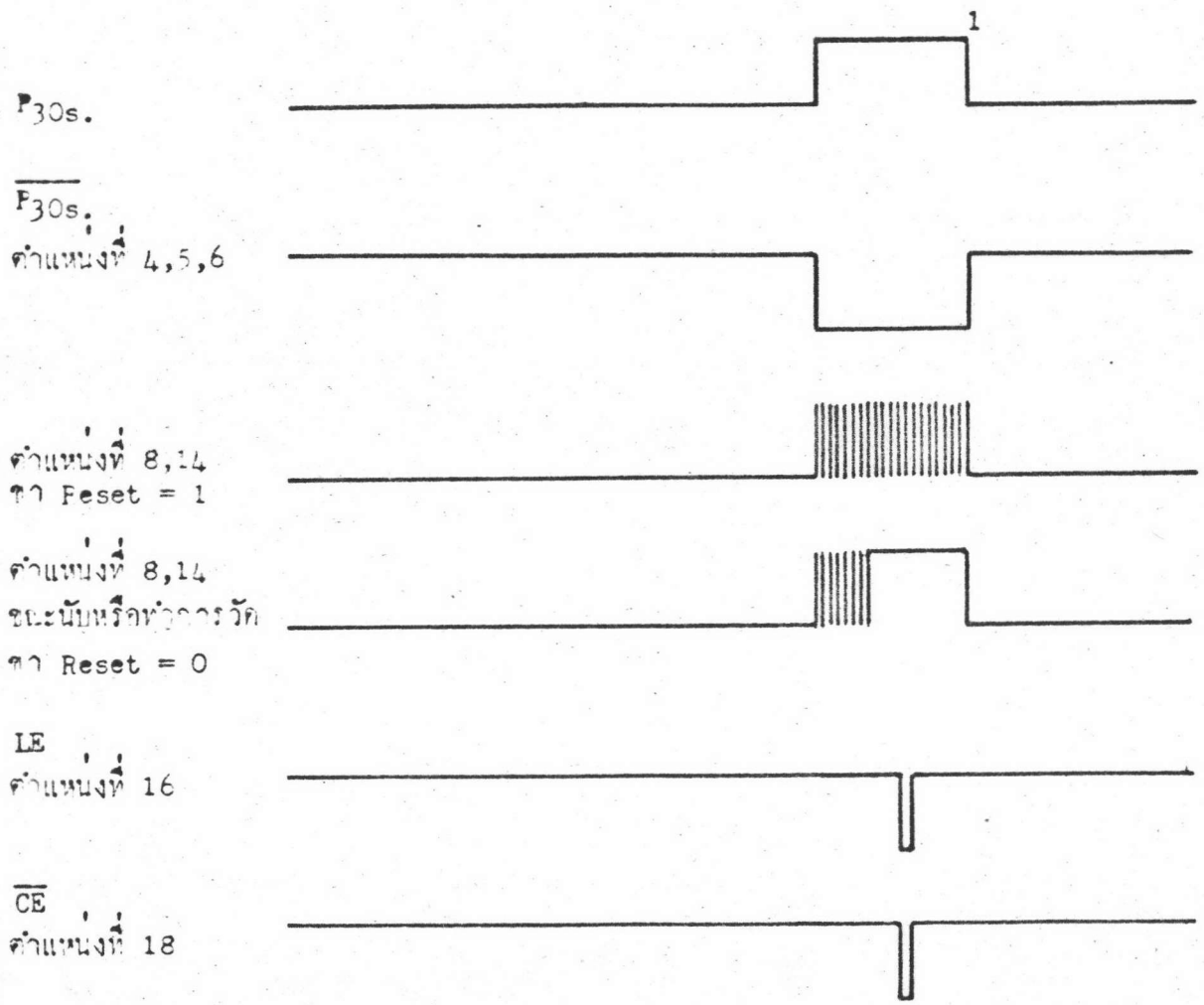
การออกแบบ วงจรนี้ประกอบด้วยเกทต่างๆซึ่งจะใช้สภาวะลอจิค "1" หรือ "0" เป็นตัวควบคุมส่วนใหญ่ นอกจากนั้นยังประกอบด้วยวงจรหาร 120 ซึ่งสร้างจากไอซีเบอร์4024, ไดโอด, ทรานซิสเตอร์และตัวต้านทาน โดยนำมาต่อร่วมกันให้มีลักษณะเป็น NAND เกทและมีวงจรสำหรับใช้ในการเปลี่ยนแอดเดรสของหน่วยความจำตลอดจนวงจรแสดงชั่วโมงของการวัดว่าทำการวัดไปนานกี่ชั่วโมงแล้วและวงจรแลทช์ เพื่อความสะดวกในการอธิบายจะขอกล่าวรวมถึงการทำงานทั้งหมดของวงจร ซึ่งลักษณะของสัญญาณต่างๆได้แสดงไว้แล้วในรูปที่ 4.30, 4.31, 4.32

การทำงาน การทำงานของวงจรนี้แบ่งออกเป็นสองขั้นตอนคือ ตอนเก็บข้อมูลและตอนอ่านข้อมูล

ก. ตอนเก็บข้อมูล การทำงานในขั้นตอนนี้ยังแบ่งออกเป็นอีกสองขั้นตอนคือ ตอนเก็บข้อมูลที่วัดได้ และตอนเก็บข้อมูลที่ได้จากการเฉลี่ยค่า

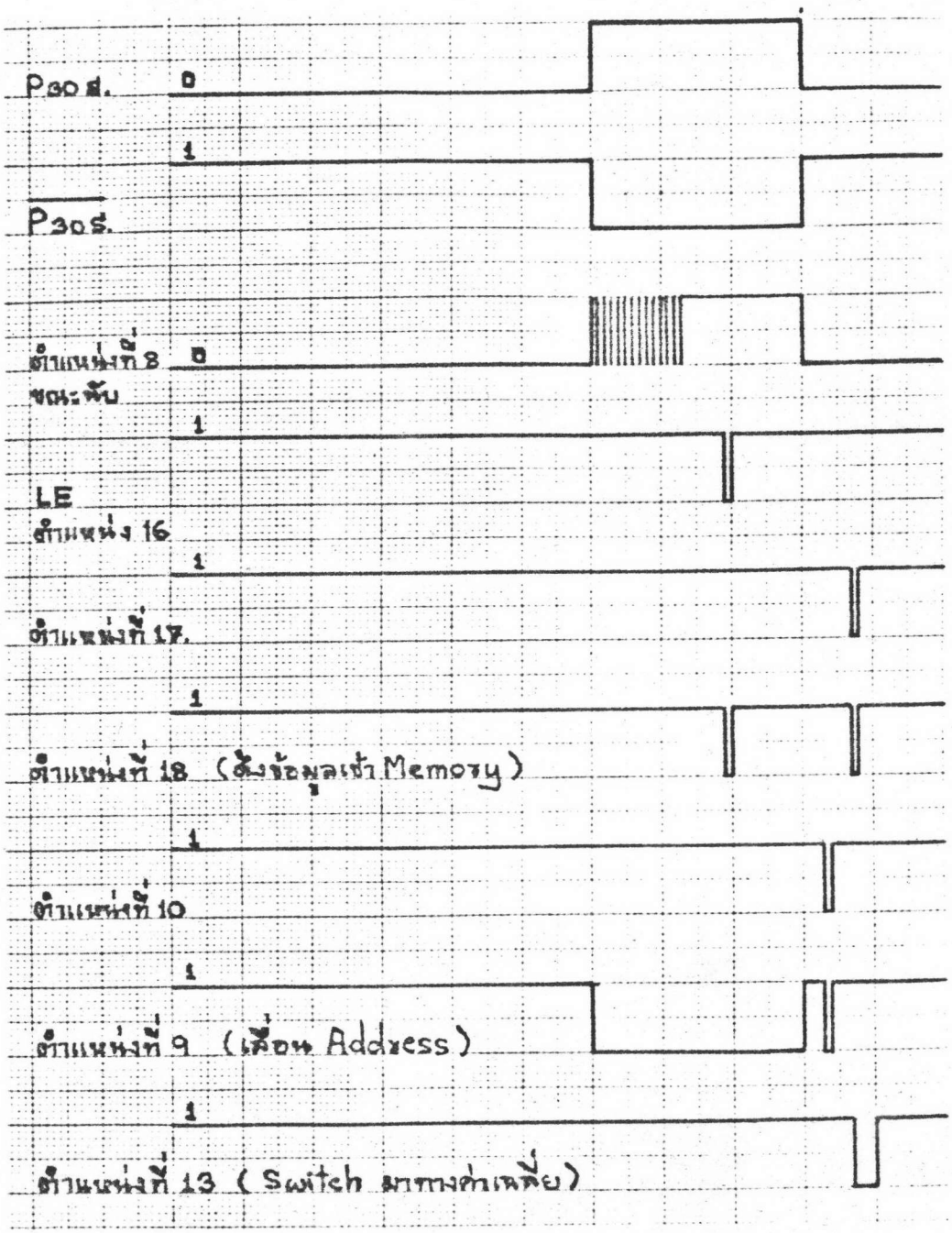
1. การทำงานของช่วงการเก็บข้อมูลที่วัดได้ การทำงานในช่วงนี้จะเริ่มจากการที่สวิทช์ถูกผลักมาที่ตำแหน่ง Write และ Set เครื่องวัดจะเริ่มผลิตสัญญาน P_{30s} ซึ่งจะผ่านมายังตำแหน่งที่ 4 (ดูภาคผนวก ค.ประกอบตามไปด้วย) แต่จะ

มีลักษณะสัญญานเป็น $\overline{P_{30s}}$. สัญญานนี้จะถูกแยกออกเป็นสองทาง ทางหนึ่งจะไป NAND กับสัญญานตำแหน่งที่10 (ซึ่งขณะนี้มีสภาวะเป็นหนึ่ง) หลังจาก NAND แล้วจะถูก NOT กลับอีกครั้งหนึ่งแล้วส่งไปยัง4040 (ขา 10) เพื่อให้ทำการเลื่อนแอดเดรสไปรอรับข้อมูลก่อน (ลักษณะของสัญญานที่ไปเลื่อนแอดเดรสนี้จะเหมือนกับสัญญาน $\overline{P_{30s}}$.) ส่วนอีกทางหนึ่งจะถูกนำไป NAND กับสัญญานนาฬิกา(ที่ตำแหน่งที่ 7) แล้วผ่านสัญญานที่ได้มา NAND กับสัญญานตำแหน่งที่ 21 (ซึ่งขณะนั้นมีสภาวะเป็นหนึ่ง) ซึ่งจะได้สัญญาน(ตำแหน่งที่ 8) ไปเข้ายังขา 10 ของ 4040 (วงจรนับ 1) ขณะเดียวกันตำแหน่งที่ 14 ก็จะมีลักษณะสัญญานเหมือนกันด้วย นอกจากนั้นสัญญาน $\overline{P_{30s}}$. ยังไปควบคุมขารีเซ็ทของวงจรนับ 1, วงจรนับ 2 และวงจรแลทช์ด้วย เมื่อขารีเซ็ทของวงจรนับ 1 และ 2 มีสภาวะเป็นศูนย์ตามจังหวะของสัญญาน $\overline{P_{30s}}$. วงจรนับ 1 และ 2 จะทำการนับขึ้นไปพร้อมๆกัน ขณะนี้เองวงจรสร้างแรงดันรูปขั้นบันไดจะสร้างแรงดันเพื่อไปเปรียบเทียบกับแรงดันที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อแรงดันทั้งสองมีขนาดเท่ากันวงจรเปรียบเทียบก็จะส่งสัญญานให้ตำแหน่งที่ 21 เกิดสภาวะเป็นหนึ่งซึ่งจะไปทำการหยุดสัญญานนาฬิกาไว้ ดังนั้นวงจรนับ 1 และ 2 จะหยุดทำการนับ ค่าที่ได้จากวงจรนับจะถูกต่อไปยังสวิทช์เลือกชุด A ซึ่งขณะนี้สัญญานที่ตำแหน่งที่ 13 มีสภาวะเป็นหนึ่งดังนั้นจึงทำให้ข้อมูลจากวงจรนับ 2 ถูกต่อเข้ากับหน่วยความจำ หลังจากที่วงจรนับ 1 และ 2 ได้ทำการนับเสร็จสิ้นแล้วจะเกิดสัญญาน LE ขึ้นที่ตำแหน่งที่ 16 ซึ่งจะนำสัญญานนี้ไป NAND กับสัญญานตำแหน่งที่ 17 (ขณะนั้นมีสภาวะเป็นหนึ่งอยู่) แล้วสัญญานที่ได้จะถูก NOT กลับอีกครั้งหนึ่งซึ่งจะได้สัญญานที่ตำแหน่ง 18 สัญญานนี้จะเป็นตัวควบคุมการเขียนข้อมูลจากวงจรนับ 2 ให้ไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ เมื่อข้อมูลถูกบันทึกไว้เรียบร้อยแล้วสัญญาน $\overline{P_{30s}}$. จะเปลี่ยนจากสภาวะศูนย์ไปเป็นหนึ่ง ดังนั้นวงจรนับ 1 และวงจรนับ 2 และวงจรแลทช์จะถูกรีเซ็ทไปแต่วงจรหาค่าเฉลี่ยยังไม่ถูกรีเซ็ทเพราะสัญญานตำแหน่งที่ 19 ยังคงมีสภาวะเป็นศูนย์อยู่ ลักษณะของสัญญานการทำงานช่วงนี้แสดงในรูปที่4.30 การทำงานของช่วงนี้จะเป็นดังนี้ไปจนครบหนึ่งชั่วโมง

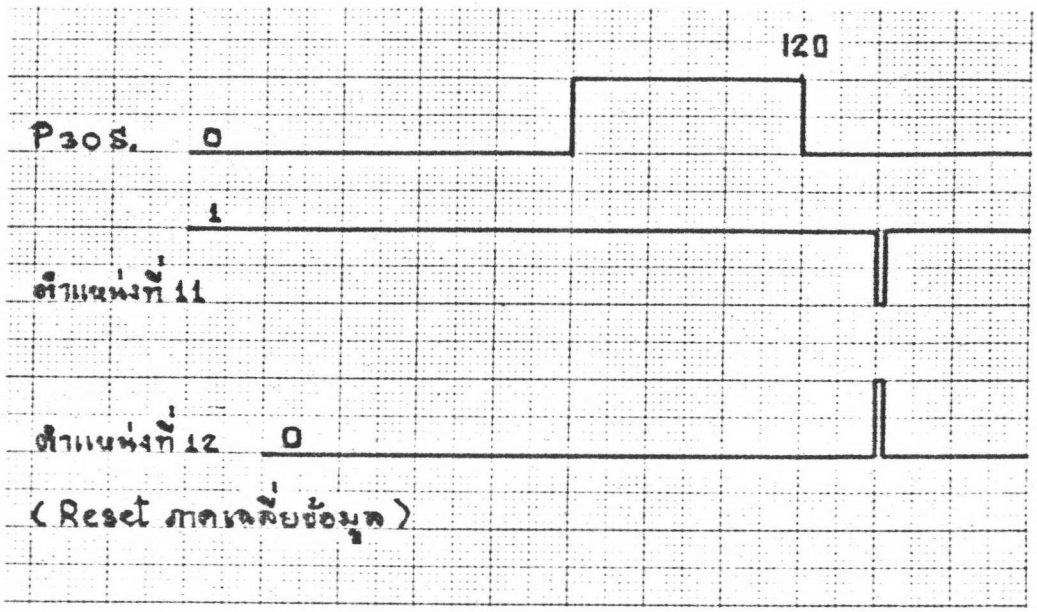


รูปที่ 4.30 ลักษณะของสัญญาณขณะทำการเก็บข้อมูลที่วัดได้

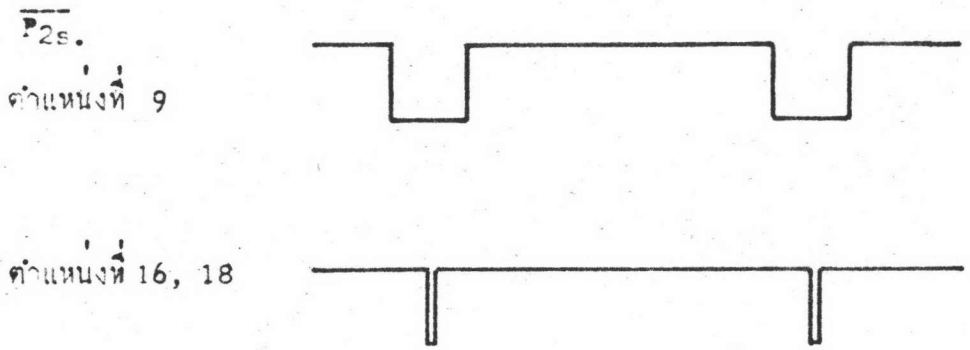
2. การทำงานของช่วงการเก็บข้อมูลเฉลี่ย การทำงานของช่วงนี้เริ่มภายหลังจากข้อมูลชุดสุดท้ายในแต่ละชั่วโมงถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำเรียบร้อยแล้ว เช่นในชั่วโมงที่หนึ่งเมื่อข้อมูลที่ 120 ถูกบันทึกไว้แล้ว ขณะเดียวกันไอซี 4024 ก็จะนับไปถึงเลข120 ทำให้สัญญาณที่ตำแหน่งที่ 22 มีสภาวะเป็นศูนย์ ทำให้ไอซี 4022 เริ่มนับไปตามจังหวะสัญญานนาฬิกาความถี่ 11.73 กิโลเฮิรทซ์ เมื่อ 4022 นับผ่านเลข "2"ไปทำเกิดสัญญานพัลส์เล็กๆขึ้นที่ตำแหน่งที่ 10 สัญญานนี้จะถูก NAND กับสัญญาน $\overline{P_{30s}}$ ทำให้เกิดพัลส์เล็กๆอีกหนึ่งพัลส์หลังจากพัลส์ที่ 120 (ตำแหน่งที่ 9) พัลส์นี้จะไปทำการเลื่อนแอดเดรสไปยังตำแหน่งที่ 121 ก่อน และเมื่อ 4022 นับผ่านเลข "4" ไปจะทำให้เกิดพัลส์ขึ้นที่ตำแหน่ง 17 ซึ่งพัลส์นี้เมื่อ NAND กับสัญญาน LE (ขณะนั้นมีสภาวะเป็นหนึ่ง) แล้ว NOT กลับอีกครั้งหนึ่งซึ่งจะเป็นสัญญานที่จะไปดึงเอาข้อมูลเข้าไปไว้ในหน่วยความจำ(ตำแหน่งที่18) ขณะเดียวกันสัญญานตำแหน่งที่ 13 จะมีพัลส์เกิดขึ้นเหมือนกัน(แต่ช่วงความกว้างของพัลส์จะกว้างกว่าพัลส์ที่ตำแหน่ง 18) พัลส์นี้จะเป็นตัวไปทำการต่อสวิทช์เลือกข้อมูลชุด B ให้ไปรับข้อมูลจากวงจรหาค่าเฉลี่ย เมื่อข้อมูลถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำแล้วสวิทช์เลือกก็จะกลับไปรับข้อมูลตามปกติต่อไป และเมื่อ 4022 นับผ่านเลข "6"ไปจะเกิดพัลส์อีกหนึ่งพัลส์ซึ่งจะไปปรากฏที่ตำแหน่ง 11 พัลส์นี้จะถูก NAND กับสัญญานสภาวะหนึ่งแล้วออกมาที่ตำแหน่ง 12 สัญญานนี้จะไปรีเซ็ทวงจรหาค่าเฉลี่ยและวงจรหาร 120 ให้เริ่มต้นหาค่าเฉลี่ยในชั่วโมงต่อไป และขณะที่ 4022 นับผ่านเลข "4" ไปพัลส์ที่เกิดขึ้นจะไปเข้าขา 13 ของ 4022 อีกตัวหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ 4022 ตัวนั้นทำการนับซึ่งเป็นการแสดงชั่วโมงในการวัดโดยแสดงได้ด้วย LED สีแดงบนหน้าปัทม์เครื่องวัด ลักษณะของสัญญานต่างๆแสดงไว้ในรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31, 4.32 ลักษณะของสัญญาณในช่วงระหว่างการเก็บข้อมูลชุดสุดท้ายและขณะการเก็บข้อมูลเฉลี่ย


120
Pos.
0
1
ตำแหน่งที่ 11
ตำแหน่งที่ 12
0
(Reset ภาคสลับข้อมูล)

ข. <u>ตอนอ่านข้อมูล</u> เริ่มจากการผลักสวิทช์มาอยู่ที่ตำแหน่ง Read และ Set สัญญาน $\overline{P_{2s}}$ จะผ่านมายังตำแหน่งที่ 19 เพื่อไปทำการเลื่อนแอดเดรสและเมื่อเลื่อนแอดเดรสเสร็จแล้วก็จะมีสัญญาน LE ที่ตำแหน่ง 16 ซึ่งสัญญานนี้จะถูก NAND กับสัญญานตำแหน่งที่ 17 (ซึ่งมีสภาวะเป็นหนึ่ง) ผลสุดท้ายจะได้สัญญานที่ตำแหน่ง 18 ซึ่งจะไปเข้าขา $\overline{CE}$ ของหน่วยความจำ ซึ่งทำให้ข้อมูลในตำแหน่งนั้นปรากฏออกมาทางภาคแสดงผลได้ ลักษณะสัญญานแสดงไว้ในรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 แสดงลักษณะสัญญาณขณะทำการอ่านข้อมูล

ฎ. วงจรควบคุม 2 หรือวงจรแสดงตำแหน่งข้อมูล

หน้าที่ 1. แสดงตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำ

2. เปลี่ยนหรือเลื่อนแอดเดรสของหน่วยความจำ

อุปกรณ์ที่ใช้ 1. ไอซีเบอร์ 74LS90 (Decade Counter)

2. ไอซีเบอร์ 4511 (BCD-to-7 Segment Latch/Driver/Decoder)

3. ไอซีเบอร์ 4011 (Quad 2-Input NAND Gate)

4. ตัวเลขแสดงผลแบบตัวเลข 7 ส่วน

5. ทรานซิสเตอร์ BC 549

6. ไดโอด 1N 914

7. ไอซีเบอร์ LM 555

8. ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ

การออกแบบ เนื่องจากวงจรนี้มีไว้เพื่อความสะดวกในการอ่านข้อมูลที่ได้เก็บบันทึกเอาไว้แล้ว จึงได้แยกออกมาจากส่วนที่เป็นเครื่องวัด เมื่อต้องการใช้ก็นำมาประกอบกันเข้า การออกแบบวงจรนี้ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.34

วงจรนี้ประกอบด้วยสองส่วนที่สำคัญคือ ส่วนที่เป็นวงจรนับซึ่งใช้ไอซีเบอร์ 74LS90 มาต่ออนุกรมกันเพื่อนับเลขจำนวนสามหลัก(จาก 000 ถึง 999)และใช้ไอซีเบอร์ 4511 และตัวเลข 7 ส่วนเป็นภาคแสดงผล อีกส่วนหนึ่งคือส่วนที่กำเนิดสัญญานนาฬิกาซึ่งสร้างขึ้นจากไอซีเบอร์ 555 ทำการผลิตสัญญานนาฬิกาความถี่ประมาณ 3 เฮิรทซ์

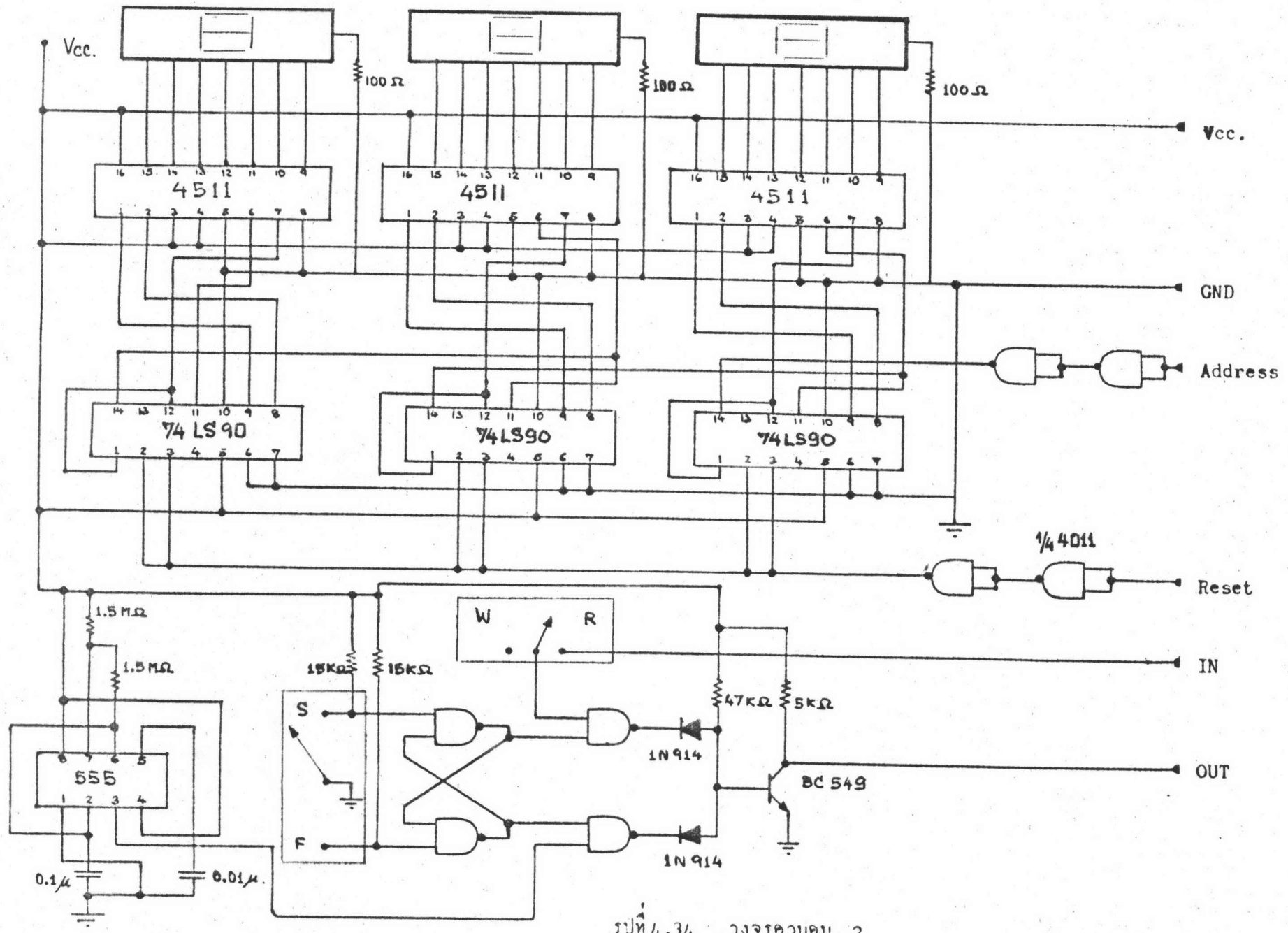
วงจรควบคุม 2 นี้จะมีขั้วเอาท์พุท 6 ขั้วซึ่งเรียกชื่อขั้วเหล่านี้ว่า Vcc, GND Reset, Address, IN, OUT โดยขั้ว Vcc และ GND เป็นขั้วไฟเลี้ยงที่จ่ายไปยังวงจรควบคุม 2 (เนื่องจากไม่มีแหล่งจ่ายไฟภายในตัวเอง) ส่วนขั้ว Reset และ Address นั้นจะต่อเข้ากับขา 11 และขา 10 ของไอซี 4040 ตัวที่ควบคุมแอดเดรสของหน่วยความจำ ส่วนขั้ว IN และ OUT จะถูกต่อเข้ากับตำแหน่งที่ 20 (วงจรในภาคผนวก ค.) โดยดักสัญญาน P_{2s} ที่ตำแหน่งนั้นให้ผ่านเข้ามายังวงจรนี้ก่อนทางขา IN ส่วนขา OUT ต่อกับขา 9 ของ 4001 ออกไป

<u>การทำงาน</u> การทำงานของวงจรนี้แบ่งออกเป็นสองขั้นตอนคือ ตอน Write และ Read ข้อมูลในหน่วยความจำ

สำหรับตอน Write ข้อมูลนั้นตำแหน่งสวิทช์จะอยู่ที่ตำแหน่ง Write สัญญานที่ไปเลื่อนแอดเดรสคือ $\overline{P_{30s.}}$ ซึ่งจะไม่ผ่านเข้ามายังวงจรนี้ ดังนั้นเมื่อแอดเดรสเปลี่ยนไป วงจรนับก็จะสามารถนับตามจังหวะของการเปลี่ยนแอดเดรสไปได้ เนื่องจากขาแอดเดรสของวงจรควบคุม 2 ต่อร่วมกับขา 10 ของ 4040 ตัวที่ควบคุมแอดเดรสของหน่วยความจำอยู่ และวงจรควบคุม 2 นี้จะถูกรีเซ็ทไปพร้อมๆกับวงจรใหญ่ด้วย

สำหรับตอน Read ข้อมูลนั้น เมื่อสวิทช์อยู่ที่ตำแหน่ง R และ S(slow)สัญญานที่เข้ามายังขา IN จะผ่านวงจรนี้ออกไปยังขา OUT

สำหรับตอน Read เมื่อสวิทช์อยู่ที่ตำแหน่ง R และ F(fast) สัญญาน $P_{2s.}$ ที่เข้ามายังขา IN จะถูกกักไว้ไม่ให้ผ่านออกไป แต่จะมีสัญญานนาฬิกาความถี่ 3 เฮิรทซ์ออกไปยังขา OUT แทน ดังนั้นจะเห็นว่าสามารถเพิ่มความเร็วในการอ่านข้อมูลได้พร้อมกับแสดงตำแหน่งของข้อมูลขณะนั้นได้เสมอ.



รูปที่ 4.34 วงจรควบคุม 2