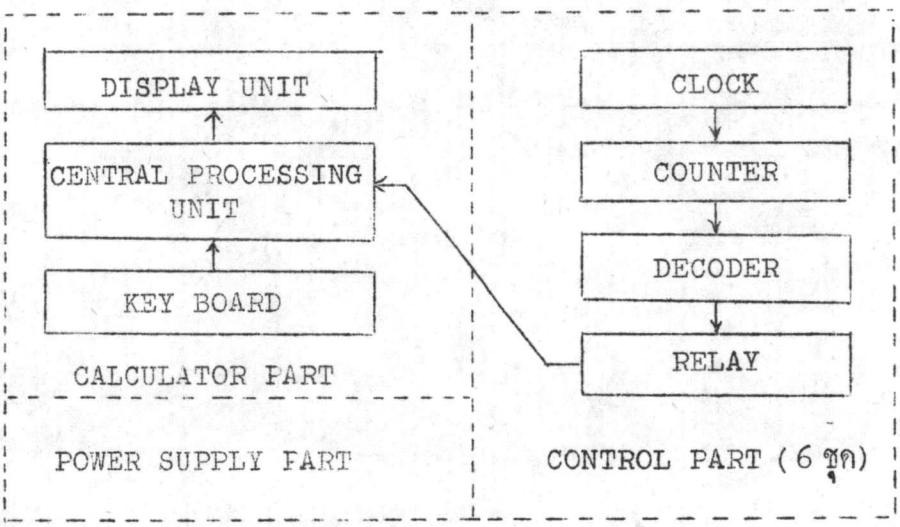
หอสมุดกลาง
จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การออกแบบวงจรและการสร้างเครื่องคำนวณ

ผังงานและหลักการทำงาน

วงจรของเครื่องคำนวณเพื่อหามุมยิงปืนใหญ่ แบ่งออกเป็น 3 ภาคใหญ่ๆ คือ ภาคเครื่องคิดเลข ภาควงจรควบคุม และภาคแหล่งจ่ายไฟ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ผังงานของเครื่องคำนวณเพื่อหามุมยิงปืนใหญ่

ภาคเครื่องคิดเลข (Calculator part) จะใช้เครื่องคิดเลขที่มีขายทั่วไปในท้องตลาดที่สามารถ บวก ลบ คูณ หาร มีหน่วยความจำ, X↔M, และ X↔Y ในการวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องคิดเลขของบริษัทคัวลิตรอน (QUALITRON) รุ่น QI 1015 ซึ่งแบ่งเป็น 3 หน่วยคือ หน่วยแสดงผล (Display unit) หน่วยประมวลกลาง (Central processing unit) และ Key board

ภาควงจรควบคุม (Control part) แบ่งออกเป็น 4 หน่วย คือวงจร clock หน่วยนับ(counter), หน่วยถอดรหัส (Decoder) และวงจรรีเลย์ (Relay) ซึ่งวงจรควบคุมนี้

I16403587

จะมีทั้งหมด 6 ชุด คือเป็นชุดของส่วนบรรจุที่ 1,3,4,5,6 และ 7

ภาคแหล่งจ่ายไฟ (power supply) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่จ่ายไฟให้กับเครื่องคิดเลขกับส่วนที่จ่ายไฟให้กับวงจรควบคุม

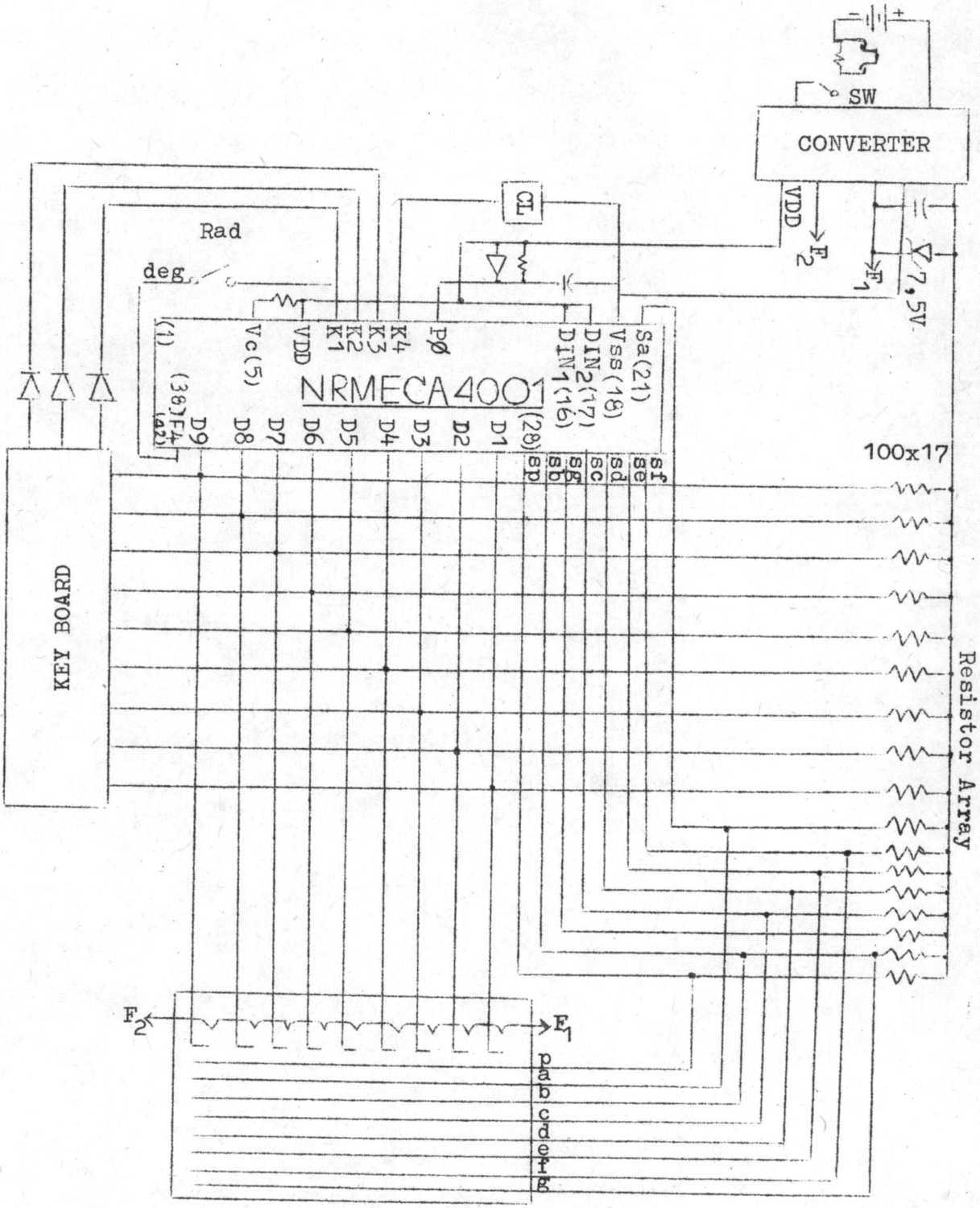
การทำงานของเครื่องคำนวณเพื่อหามุมยิงปืนใหญ่ เริ่มต้นด้วยการเลือกส่วนบรรจุ ซึ่งก็คือการเลือกใช้วงจรควบคุม 1 ใน 6 ตามส่วนบรรจุนั่นเอง การเลือกวงจรควบคุมทำได้โดยการให้ไฟเลี้ยงแก่วงจรควบคุมที่ต้องการ ต่อจากนั้นจะกดสวิทช์ป้องกัน Clock pulse ไม่ให้เข้าไปในวงจรนับ, กดสวิทช์ Clear เพื่อให้วงจรนับเริ่มต้นนับที่ศูนย์ ต่อจากนั้นจะ Key ค่าระยะราบในเครื่องคิดเลข เมื่อ Key ค่าระยะราบเสร็จแล้วกดสวิทช์ให้ Clock pulse เข้าไปในวงจรนับ ซึ่งจะทำให้วงจรนับนับเลข 0,1,2,3,... ในขณะที่วงจรนับ นับเลขใดเลขหนึ่ง วงจรถอดรหัสก็จะถอดรหัสตามที่ได้ออกแบบเอาไว้ และวงจรรีเลย์ จะทำหน้าที่ Key ตามวงจรถอดรหัส ซึ่ง จะเป็นการหาค่ามุมสูงนั่นเอง เมื่อหาค่ามุมสูงได้แล้ว วงจรถอดรหัสจะทำหน้าที่ควบคุมวงจรนับให้หยุดนับ ต่อจากนั้น จะ Key ค่าความแตกต่างสูงเข้าไปในเครื่องคิดเลข ต่อไปก็กดสวิทช์ให้วงจรนับทำการนับต่อไป วงจรถอดรหัส และวงจรรีเลย์ จะทำการ Key เครื่องคิดเลขต่อไป ซึ่งขั้นตอนนี้ก็คือการหามุมพื้นที่ และนำไปรวมกับมุมสูงเป็นมุมยิง เมื่อหาค่ามุมยิงได้แล้ว วงจรถอดรหัส จะทำหน้าที่ควบคุมวงจรนับให้หยุดนับ เป็นการจบภารกิจในการหามุมยิง เมื่อไม่ต้องการใช้ส่วนบรรจุนี้ก็กดสวิทช์ป้องกันไม่ให้ไฟไปเลี้ยงวงจรควบคุมส่วนนี้

<u>ภาคเครื่องคิดเลข</u> (Calculator part)

ภาคเครื่องคิดเลขนี้จะกล่าวถึงการทำงาน และวงจรของเครื่องคิดเลขของบริษัทคัวลิตรอน รุ่น QI 1015

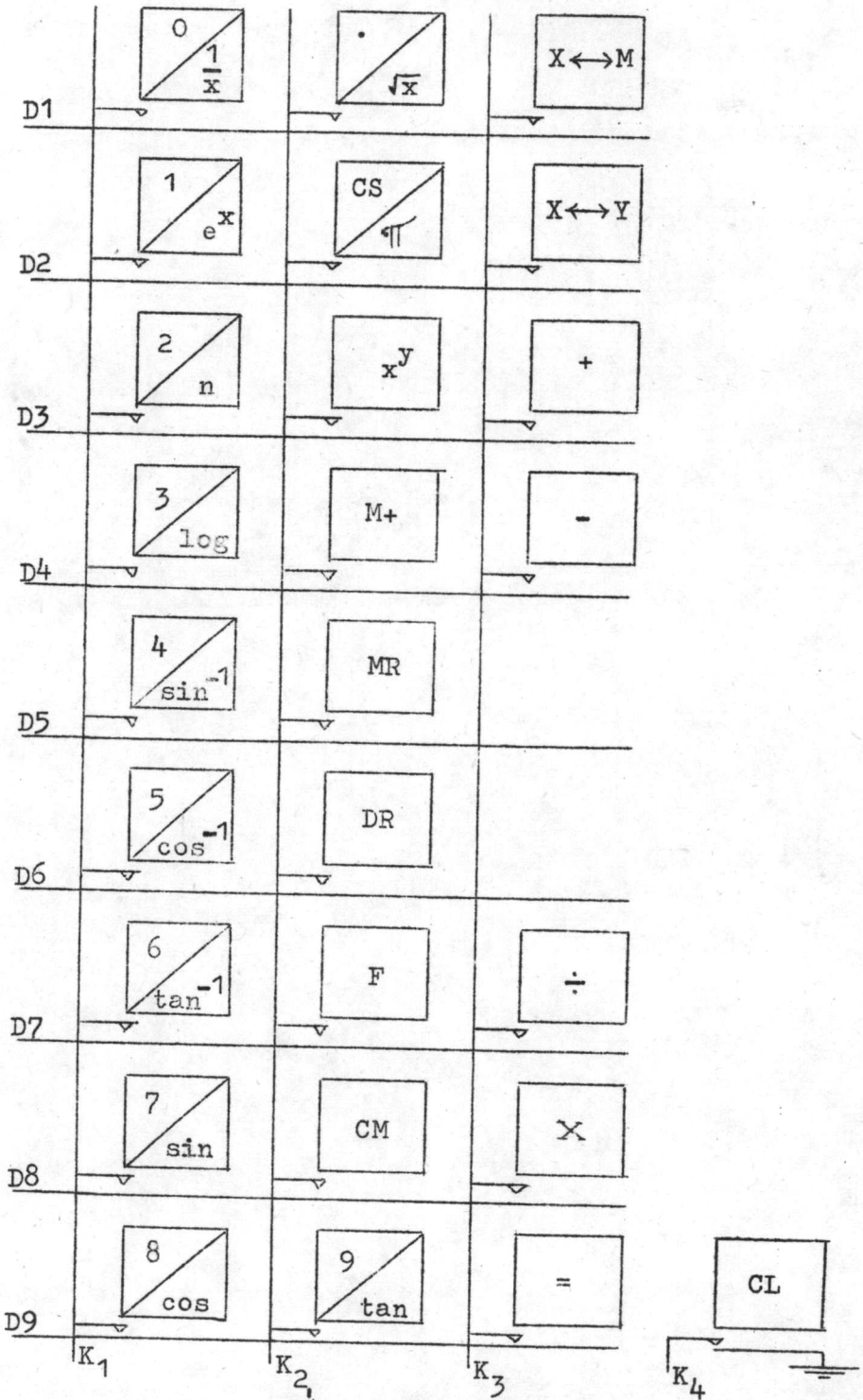
การทำงานของหน่วยประมวลกลางของเครื่องคิดเลขรุ่นนี้ ใช้ไอซีเบอร์ NRMECA 4001 ซึ่งมีทั้งหมด 42 ขา จากรูปที่ 5 ตัวเลขในวงเล็บคือหมายเลขขา รายละเอียดของไอซีเบอร์นี้เป็นความลับทางการค้าของบริษัทผู้ผลิต ในการวิจัยครั้งนี้ ไม่จำเป็นต้องทราบการทำงานของไอซีเบอร์นี้ เพียงแต่ทราบลักษณะของ Key board และหน่วยแสดงผลก็เป็นการเพียงพอแล้ว

<u>หน่วยแสดงผล</u> (Display Unit) หน่วยแสดงผลของเครื่องคำนวณรุ่นนี้ เป็นแบบ Seven Segments สามารถแสดงผลออกมามากที่สุด 8 หลัก



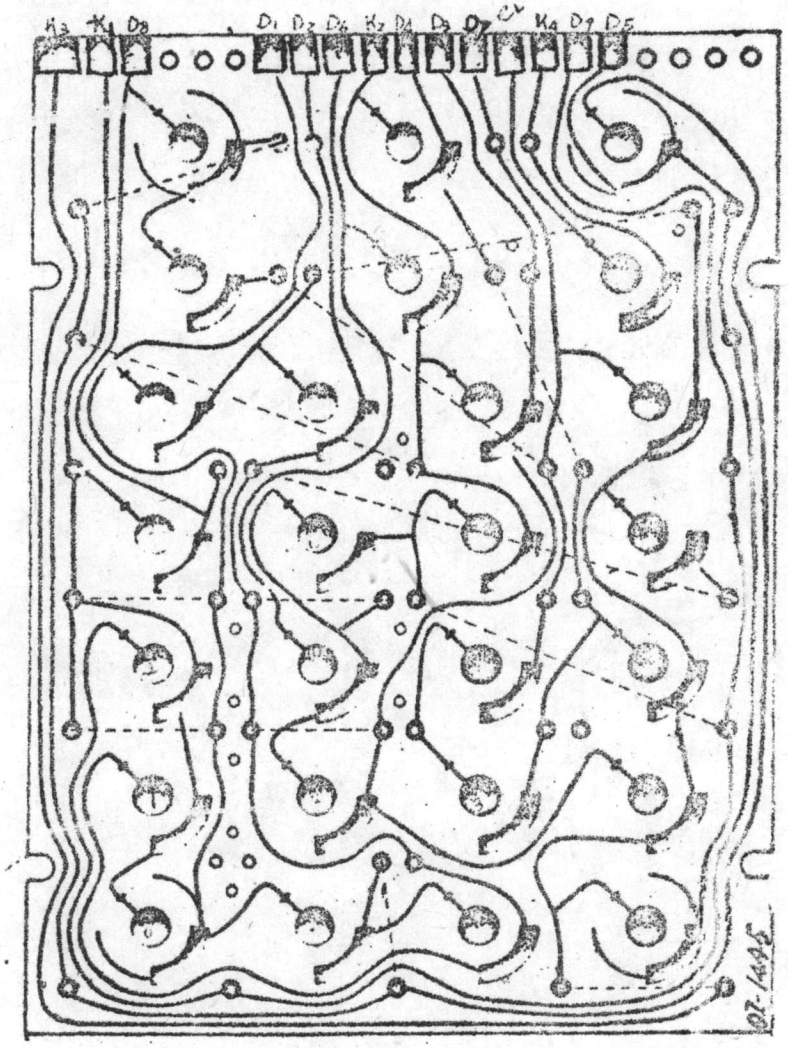
รูปที่ 5 ผังงานของเครื่องคิดเลข

Key board ผังงานของ Kay board เป็นไปดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผังงานของ Key board

ในการ Key ตัวเลขหรือเครื่องหมายอันใดอันหนึ่ง เป็นการสัมผัสกันกับระหว่าง D กับ K ซึ่ง D มีทั้งหมด 9 ตัวคือ D1 ถึง D9 และ K มี 4 ตัว คือ K1 ถึง K4 จากรูปที่ 6 ในการ Key เลข 5 ก็เป็นการสัมผัสกันระหว่าง D6 กับ K1 ส่วนการ Key ฟังค์ชั่นต่างๆ ทางคณิตศาสตร์ (พวกที่อยู่ใต้เครื่องหมาย / บน Key board) จะต้อง Key F เสียก่อน สำหรับวงจรปริ้นซ์ (Printed circuit) ดังแสดงในรูปที่ 7

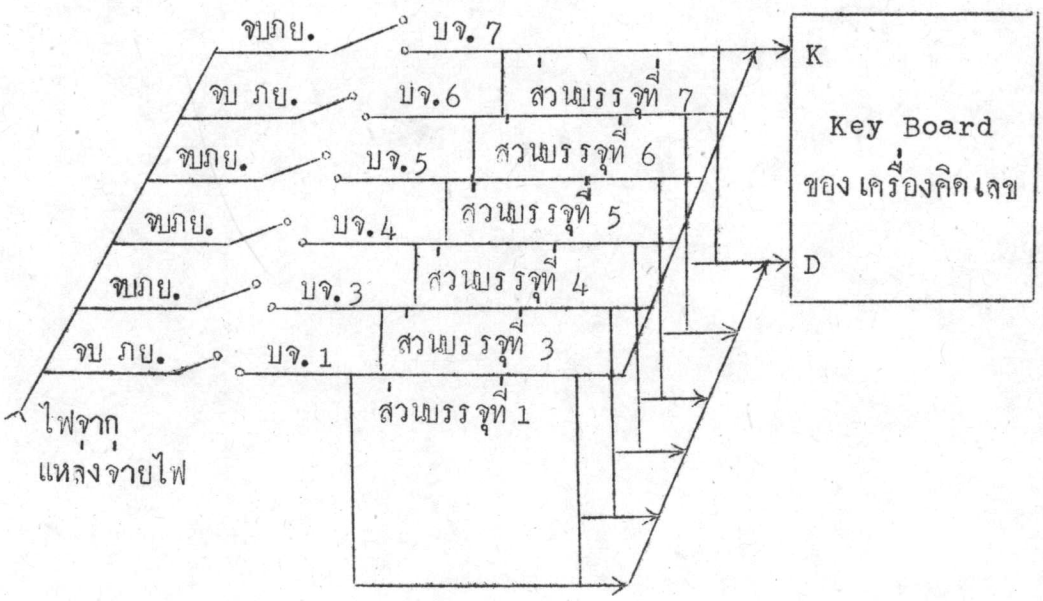


รูปที่ 7 วงจรปริ้นซ์ของ Key board

เนื่องจากตัวเลขและเครื่องหมายที่ใช้ในเครื่องคำนวณหามุมยิงของปืนใหญ่ ประกอบด้วย เลข 0 ถึง 9 จุดทศนิยม, X↔M, X↔Y, CM, Min, RM เครื่องหมาย+,-,*,/ และ = ซึ่งตัวเลขและเครื่องหมายเหล่านี้เกิดจากการสัมผัสกันระหว่าง K1 ถึง K3 กับ D1 ถึง D9 ดังนั้น จึงคือ K และ D เหล่านี้ไปยังวงจรควบคุม (Control part) เพื่อให้รีเลย์สัมผัสแทนการ Key ด้วยคน ตามขั้นตอนของวงจรนับ (Counter)

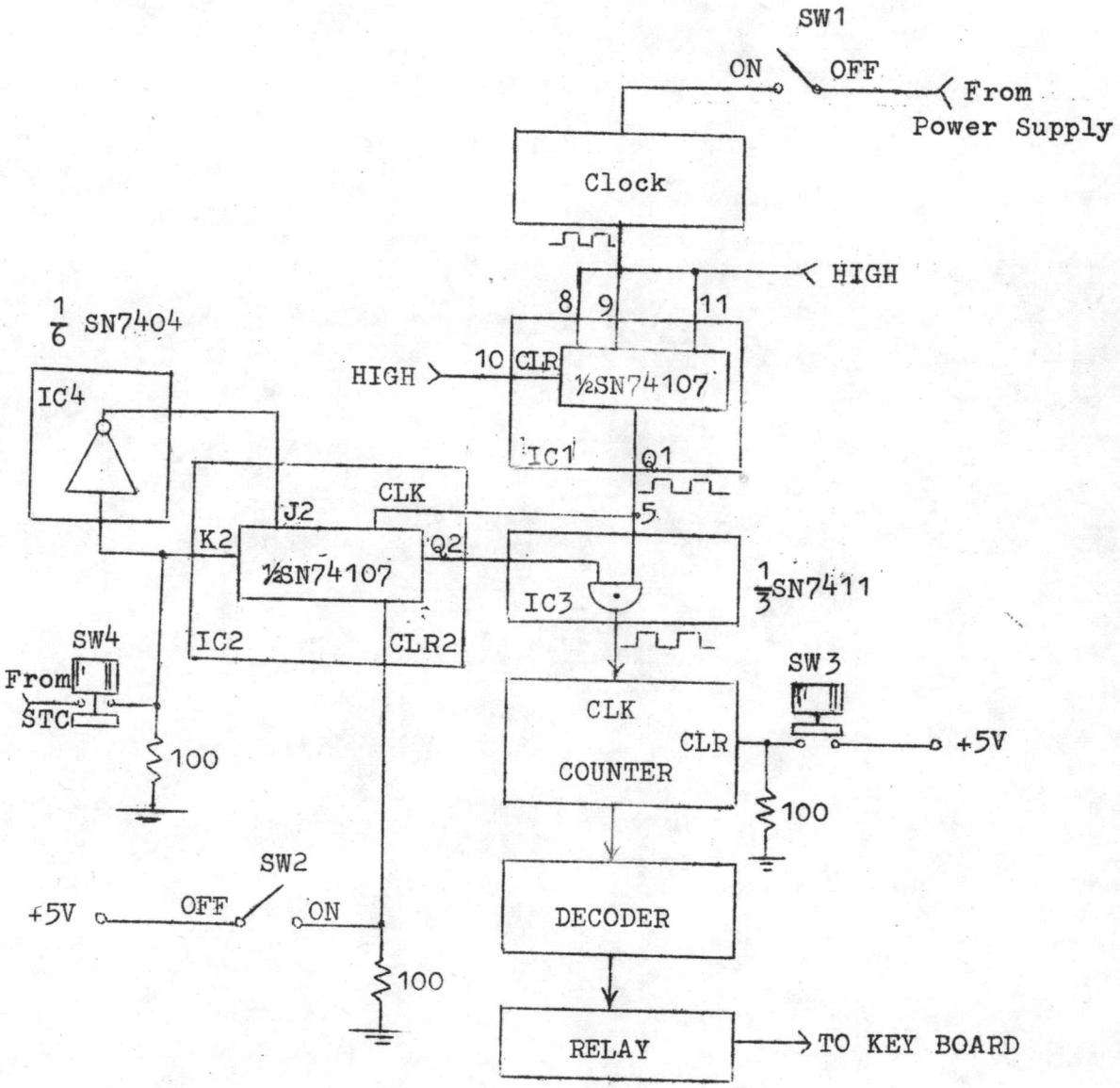
ภาควงจรควบคุม (Control part)

เครื่องคำนวณหามุมยิงปืนใหญ่จะมีวงจรควบคุมทั้งหมด 6 ชุดคือ วงจรควบคุมสำหรับส่วนบรรจุที่ 1,3,4,5,6,และ 7 ตามลำดับ ซึ่งวงจรควบคุมทั้ง 6 ชุดนี้จะทำงานอย่างอิสระไม่ขึ้นแก่กันและกัน เมื่อต้องการใช้วงจรควบคุมอันใดก็สับสวิทซ์ให้ไฟจากแหล่งจ่ายไฟไปเลี้ยงวงจรส่วนนั้น เมื่อเลิกใช้วงจรอันใดก็ให้สับสวิทซ์ป้องกันไฟจากแหล่งจ่ายไฟไม่ให้ไปเลี้ยงวงจรนั้น สาเหตุที่ต้องออกแบบให้เป็นอิสระต่อกันก็เพื่อเป็นการประหยัดไฟจากแหล่งจ่ายไฟ



รูปที่ 8 ผังการต่อวงจรควบคุมเข้ากับเครื่องคิดเลขและแหล่งจ่ายไฟ

จากวงจรรีเลย์ในภาควงจรควบคุมของแต่ละส่วนบรรจุจะต่อไปยัง K และ D ใน Key board ของเครื่องคิดเลข สำหรับผังงานของวงจรควบคุมแต่ละส่วนบรรจุดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผังงานของวงจรควบคุม

จากรูปที่ 9 เมื่อ "ON" สวิทซ์ที่ 1 ไฟจากแหล่งจ่ายไฟจะมาเลี้ยงวงจร Clock จะทำให้กำเนิด Square wave ขณะเดียวกัน IC1 (Flip-Flop) จะหาร Clock pulse ด้วย 2 ออกมาที่ Q2 เป็นอินพุท (input) ของ IC3 (AND gate) และเป็น Clock ให้กับ IC2 (Flip

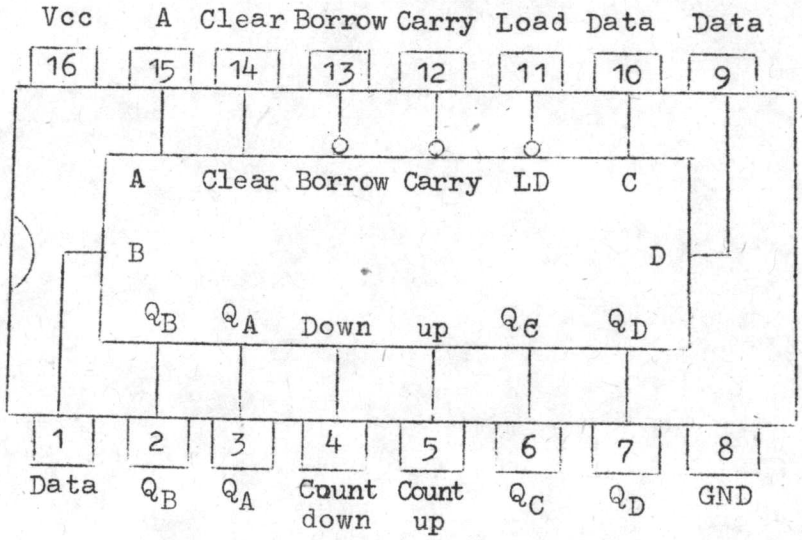
Flop) ส่วน IC3 ให้เอ้าท์พุท (output) ตาม Q1 ของ IC1 ก็ต่อเมื่ออินพุทอีกอันหนึ่งซึ่งเป็น Q2 ของ IC2 เป็น HIGH, Q2 ของ IC2 จะเป็นHIGH ก็ต่อเมื่อ CLR2 เป็นHIGHและ J2 เป็นHIGH, K2 เป็นLOW ส่วน Q2 จะเป็น LOW ก็ต่อเมื่อ J2 เป็นLOW และK2 เป็น HIGH หรือ CLR2 เป็นLOW สำหรับ Counter จะมีเอ้าท์พุทเป็น LOW ก็ต่อเมื่อ CLRของ Counter เป็น HIGH

ขั้นตอนในการทำงานของวงจรควบคุมเริ่มต้นด้วยการกดสวิทซ์ที่ 1 มาที่ตำแหน่ง ON (ในการใช้งานจริงจะเรียกตำแหน่งนี้ว่า บจ...) วงจร Clock จะให้ Square wave ออกมาเป็นอินพุทของ IC1 ซึ่ง IC1 จะหาร Clock pulse นี้ด้วย 2 เป็นอินพุทของ IC3 ต่อไปกดสวิทซ์ที่ 2 ไปที่ตำแหน่งOFF (หรือ ภย.) ในขณะนี้ CLR2 ของ IC2 จะเป็นLOW ทำให้ Q2 เป็น LOW ด้วยเป็นการป้องกัน Clock pulse จาก Q1 ไม่ให้ผ่าน IC3 ไปยัง Counter ซึ่งในขณะนี้เอ้าท์พุทของCounter อาจจะ LOW หรือ HIGH ก็ได้ เพื่อให้เอ้าท์พุทของ Counter เป็น LOW กดสวิทซ์ที่ 3 (หรือ ร.) จะทำให้ CLRของ Counter เป็น HIGH ซึ่งเป็นผลให้เอ้าท์พุท ของ Counter เป็น LOW เตรียมที่จะนับ 1,2,3... ในขณะนี้เราจะ Key ระยะราบที่ Key board ของเครื่องคิดเลข ต่อไปกดสวิทซ์ที่ 2 ไปที่ตำแหน่งON (หรือ ส) ทำให้CLR2 ของIC2 เป็น HIGH ในขณะนี้ Q2 ของ IC2 จะเป็นHIGH หรือ LOW นั้นขึ้นอยู่กับ J2 ซึ่ง J2 จะตรงข้ามกับ STC (มาจาก Decoder) ซึ่งในขณะที่ Counter เป็นLOW เราจะออกแบบ Decoder ให้ STC เป็น LOW ดังนั้นในขณะนี้ J2 จะเป็น HIGH และ Q2 ก็จะเป็น HIGH ด้วย Clock pulse จาก Q1 จะผ่าน IC3 เข้าไปยัง Counter ซึ่ง Counter จะนับ 1,2,3...(ในขณะนี้ Decoder จะทำการถอดรหัส เพื่อหามุมสูง) จนกระทั่ง Decoder ถอดรหัส เป็น STC(คือเมื่อหาค่ามุมสูง เสร็จแล้วจะให้ STC เป็น HIGH ในขณะนี้ Q2จะ เป็นLOWกัน Clock pulse จาก Q1 ไม่ให้เข้าไปยัง Counter ทำให้ Counter หยุดนับ เมื่อCounter หยุดนับ เราจะ Key ความแตกต่างสูงที่ Key board เมื่อ Key เสร็จแล้วกดสวิทซ์ที่ 4 (หรือ ย) จะทำให้ K2 ของ IC2 เป็น LOW, J2 เป็น HIGH เป็นการให้ Clock pulse จาก Q1 ของ IC1 เข้าไปยัง Counter ได้อีก Counter จะนับต่อไป (ในขณะนี้ Decoderจะทำการถอดรหัส เพื่อหามุมพื้นที่รวมกับมุมสูง เป็นมุมยิง) จนกระทั่ง Decoder ถอดรหัสเป็น STC (คือเมื่อหามุมยิงเสร็จแล้วจะให้STC เป็น HIGH ในขณะนี้ Q ของ IC2 จะเป็น LOW กันไม่ให้ Clock pulse จากIC1เข้าไปยัง Coun-

ter ทำให้ Counter หยุดนับ เป็นการสิ้นสุดการหามุมยิงหนึ่งค่า

ถ้าจะหาค่ามุมยิงของระยะราบค่าอื่นซึ่งอยู่ในส่วนบรรจุนี้ ก็ให้เริ่มที่การกดสวิทซ์ที่ 2 ไปที่ตำแหน่ง OFF (หรือ ภย.) แล้วทำซ้ำเดิมทุกประการ เมื่อเลิกใช้ส่วนบรรจุนี้ให้กดสวิทซ์ที่ 1 ไปที่ตำแหน่ง OFF (หรือ จบ.ภย.)

<u>หน่วยนับ</u> (Counter Unit) หน่วยนับเป็นหน่วยที่ลำดับขั้นตอนในการทำงานของเครื่องคิดเลขตามฟังค์ชั่นของแต่ละส่วนบรรจุ หน่วยนับนี้เราใช้ไอซีเบอร์ SN74193 ซึ่งเป็น Synchronous 4-bit UP/down counter ไอซีแต่ละตัวจะนับเลข Binary ตั้งแต่ 0 ถึง 15 ขาของไอซีเบอร์นี้ดังแสดงในรูปที่ 10

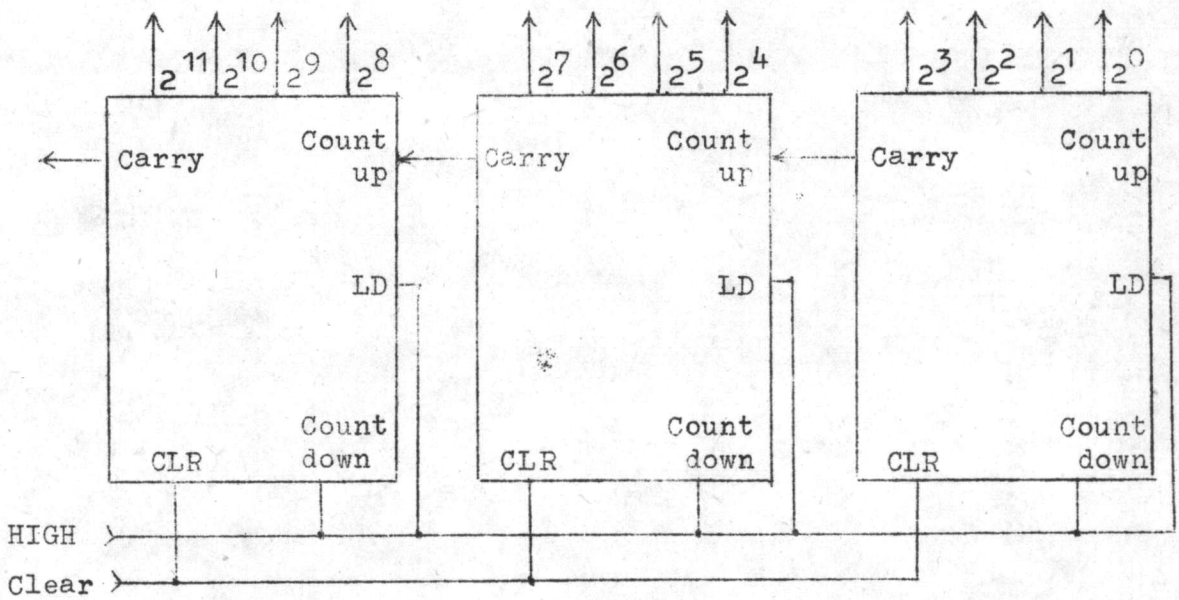


รูปที่ 10 ไอซีเบอร์ SN74193

ไอซีเบอร์ SN74193 มี 16 ขา ขาที่ 16 ให้ไฟเลี้ยง 5 โวลท์ ขา 8 ต่อกับ Ground ขา 3,2,6 และ 7 เป็นเอ้าท์พุทแทนหลัก 1,2,4 และ 8 ในเลขฐานสิบ (Decimal) ตามลำดับ ขา 4 เป็น Count down ขา 5 เป็น Count up เมื่อต้องการ Count down ต่อ Clock เข้าที่ขา 4 และให้ขา 5 เป็น HIGH ทำนองเดียวกัน ถ้าต้องการ Count up ต่อ Clock เข้าที่ขา 5 และให้ขา 4 เป็น HIGH ขา 14 เป็น Clear เมื่อต้องการให้ Q_a, Q_b, Q_c และ Q_d เป็นศูนย์จะให้ Clear เป็น HIGH ถ้าจะให้Counter นับเลข จะต้องให้ Clear เป็น LOW

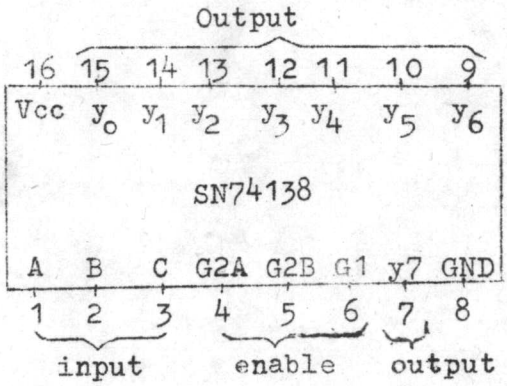
ขา 13 เป็น Borrow ปกติ Borrow จะเป็น HIGH เมื่อ Count down ถึงศูนย์ Borrow จะเป็นLOW ขา 12 เป็น Carry ปกติเป็น HIGH เมื่อ Count up ถึง 15, Carry จะเป็น LOW ขา 15, 1, 10 และ 9 เป็น Input data สามารถ Set ให้เป็นค่าเท่าใดก็ได้ โดยให้ขา 11 (Load) เป็นLOW ถ้าไม่ต้องการ Set ค่าใด ๆ ให้ Load เป็น HIGH ในการวิจัยครั้งนี้ใช้ Count up อย่างเดียว ดังนั้นขา 1, 9, 10, 13 และ 15 จึงไม่ต้องต่อกับอะไรทั้งสิ้น

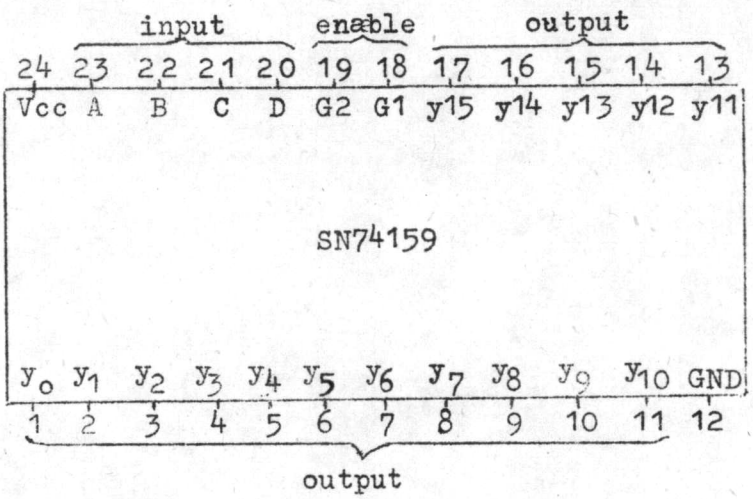
เราจะให้ Counter นับเท่าใดก็ได้โดยต่อไอซีเบอร์ SN74193 เป็นแบบ Cascade ดังรูปที่ 11 การปฏิบัตินั้นเพียงแต่ต่อ Carry ของไอซีตัวที่ทำหน้าที่เป็นหลักน้อยไปยัง Count up ของไอซีตัวที่ทำหน้าที่เป็นหลักมาก ในการวิจัยครั้งนี้จำนวนนับขึ้นอยู่กับจำนวนขั้นตอนของฟังก์ชั่นของแต่ละสวนบรรจุ

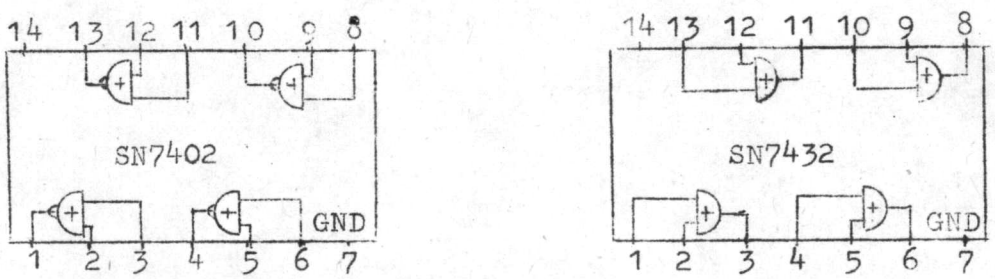


รูปที่ 11 การต่อ Counter แบบ Cascade

<u>หน่วยถอดรหัส</u> (Decoder Unit) ในหน่วยถอดรหัสนี้ เราใช้ 3:8 Decoder (SN74138), 4:16 Decoder (SN74159), NOR gate (SN7402) และ OR gate (SN7432) ลักษณะของไอซีแต่ละตัวดังรูปที่ 12 ส่วน Truth table ของ SN74138 และ SN74159 ดังตารางที่ 10







รูปที่ 12 SN74138, SN74159, SN7402, SN7432

SN74138

input					output							
G1	G2	C	B	A	y0	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7
x	H	x	x	x	H	H	H	H	H	H	H	H
L	x	x	x	x	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H
H	L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H
H	L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H
H	L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H
H	L	H	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H
H	L	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H
H	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H
H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L

SN74159

input					output														
G1	G2	D	C	B	A	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
L	L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	L	H	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	L	L	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H
L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H
L	L	H	H	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H
L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H
L	L	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H
L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L
L	H	x	x	x	x	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	x	x	x	x	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	H	x	x	x	x	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H

H = high level, L = low level, x = irrelevant

ตารางที่ 10 TRUTH TABLE ของไอซีเบอร์ SN74138 และ SN74159

ในไอซีเบอร์ SN74138 ขา 4 และ 5 ต่อกับ LOW ส่วนขา 6 ต่อกับ HIGH เสมอ ในไอซีเบอร์ SN74159 ขา 18 และ 19 ต่อกับ LOW

การออกแบบและสร้างวงจรถอดรหัส เป็นดังนี้

1. ต้องทราบลำดับขั้นตอนในการทำงานของแต่ละส่วนบรรจุ โดยเอาสัญลักษณ์ที่ดัดแปลงแล้วมาเขียนขั้นตอนการทำงาน ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวดังแสดงในตารางที่ 11

ขั้นตอนที่	การทำงานของส่วนบรรจุที่					
	1	3	4	5	6	7
1	/	/	/	/	/	/
3	1	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0
11	=	=	=	=	=	=
13	CM	CM	CM	CM	CM	CM
15	Min	Min	Min	Min	Min	Min
17	.	.	.	.	-	.
19	4	4	5	4	.	0
21	2	4	7	0	8	3
23	3	4	8	2	6	8
25	*	8	3	9	1	6
27	RM	*	*	*	2	7
29	-	RM	RM	RM	6	6

ตารางที่ 11 ลำดับขั้นตอนการทำงานของแต่ละส่วนบรรจุ

ขั้นตอนที่	การทำงานของส่วนบรรจุที่					
	1	3	4	5	6	7
31	2	-	-	-	*	*
33	.	2	4	4	RM	RM
35	4	.	.	.	+	-
37	5	7	9	3	3	.
39	6	0	8	2	8	2
41	8	1	5	8	.	2
43	*	*	*	*	9	1
45	RM	RM	RM	RM	7	8
47		-	+	+	3	4
49	5	.	2	1	*	6
51	.	8	1	5	RM	*
53	2	2	.	.	-	RM
55	8	1	2	0	5	-
57	*	*	5	7	2	4
59	RM	RM	9	6	0	.
61	-	+	*	*	.	0
63	.	5	RM	RM	2	1
65	8	0	+	+	0	9
67	8	.	4	6	7	1
69	2	3	3	6	*	*
71	*	1	.	.	RM	RM
73	RM	8	8	3	/	+
75	-	RM	5	8	0	6

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ขั้นตอนที่	การทำงานของส่วนบรรจุที่					
	1	3	4	5	6	7
77	•	RM	5	8	0	6
79	2	-	*	*	0	•
81	1	2	RM	RM	0	3
83	5	9	+	-	+	9
85	*	•	1	7	3	-
87	RM	7	3	5	•	5
89	+	3	•	•	5	*
91	1	1	0	8	4	RM
93	3	*	4	=	5	-
95	6	RM	=	X⟷M	*	7
97	•	+	X⟷M	/	RM	8
99	0	9	/	STC	-	•
101	6	3	STC	X⟷Y	1	9
103	*	•	X⟷Y	+	2	4
105	RM	3	+	NØ	•	9
107	-	=	NØ	RM	9	*
109	1	X⟷M	RM	+	7	RM
111	•	/	+	5	7	/
113	5	STC	4	0	*	1
115	6	X⟷Y	0	0	RM	0
117	=	+	0	0	+	0
119	X⟷M	NØ	0	0	8	0
121	/	RM	0	0	3	0

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ขั้นตอนที่	การทำงานของส่วนบรรจุที่					
	1	3	4	5	6	7
123	STC	+	0	=	•	0
125	X⟷Y	3	=	STC	8	+
127	+	0	STC		0	•
129	NØ	0			2	0
131	RM	0			*	3
133	+	0			RM	2
135	1	0			-	5
137	0	=			6	*
139	0	STC			3	RM
141	0				•	-
143	0				9	•
145	0				=	1
147	=				X⟷M	3
149	STC				/	8
151					STC	*
153					X⟷Y	RM
155					+	+
157					NØ	3
159					RM	•
161					+	3
163					6	6
165					0	6

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ขั้นตอนที่	การทำงานของส่วนบรรจุที่	
	6	7
167	0	*
169	0	RM
171	0	+
173	0	1
175	=	7
177	STC	.
179		1
181		1
183		5
185		*
187		RM
189		+
191		2
193		=
195		X←→M
197		/
199		STC
201		X←→Y
203		+
205		NØ
207		RM

ตารางที่ 11 (ต่อ)

ขั้นตอนที่	การทำงานของส่วนบรรจุที่	
		7
209		+
211		7
213		0
215		0
217		0
219		0
221		0
223		=
225		STC

ตารางที่ 11 (ต่อ)

จากตารางที่ 11 จะเห็นได้ว่าขั้นตอนในการทำงานของแต่ละส่วนบรรจุไม่เป็นเลขเรียง (0,1,2,3,...) แต่เป็นเลขคี่ การให้การทำงานเป็นเลขคี่ก็เพราะว่า เมื่อเริ่มนับ 0 ยังไม่ควรให้มีการถอดรหัส ถ้ามีการถอดรหัส จะทำให้รีเลย์ทำงาน เมื่อรีเลย์ทำงาน ผู้ใช้จะไม่สามารถ Key ข้อมูล (ระยะราบ) เข้าไปในเครื่องคิดเลขได้ และถ้าเป็นเลขเรียง รีเลย์คู่ที่ทำงานในขั้นตอนที่ติดกันบางคู่จะ เกิดการสัมผัสพร้อมกัน ซึ่งการสัมผัสหรือการ Key พร้อมกันนั้น เครื่องคิดเลขจะไม่ทำงาน ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาอันนี้จึงต้องให้ขั้นตอนที่เป็นเลขคี่ หมายถึงการ Key และขั้นตอนที่เป็นเลขคู่ หมายถึงการ เลิก Key

2. รวบรวมว่า รหัสแต่ละตัว (0,1,2,3,...) ของแต่ละส่วนบรรจุประกอบด้วยขั้นตอนในการทำงานที่เท่าใดบ้าง รหัสที่รวบรวมแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 12

รหัส	ขั้นตอนที่ (ส่วนบรรจุที่ 1)	ขั้นตอนที่ (ส่วนบรรจุที่ 3)
0	5,7,9,99,109,137,139,141, 143,145	5,7,9,39,65,71,127,129, 131,133,135
1	3,81,91,135	3,41,55,91
2	21,31,53,69,79	33,53,81
3	23,93	69,89,101,105,125
4	19,35	19,21,23
5	37,49,83,113	63
6	39,95,101,115	
7		37,87
8	41,55,65,67	25,51,73
9		83,99
.	17,33,51,63,77,97,111	17,35,49,67,85,103
+	47,89,127,133	61,97,117,123
-	29,61,75,107	31,47,79
*	25,43,57,71,85,103	27,43,57,75,93
/	1,121	1,111
=	11,117,147	11,107,137
CM	13,	13
Min	15	15
RM	27,45,59,73,87,105,131	29,45,59,77,95,121
X←→M	119	109
X←→Y	125	115
STC	123,149	113,139

ตารางที่ 12 ขั้นตอนการทำงานของ รหัสแต่ละตัว

รหัส	ขั้นตอนที่ (ส่วนบรรจุที่ 4)	ขั้นตอนที่ (ส่วนบรรจุที่ 5)
0	5,7,9,91,115,117,119,121, 123	5,7,9,21,55,75,113,115, 117,119,121
1	3,51,85	3,49
2	49,55,75	23,39
3	25,69,87	37,73
4	33,67,93,113	19,33
5	19,41,57,77	51,87,111
6	-	59,67,69
7	21	57,85
8	23,39,73	41,77,91
9	37,59	25
.	17,35,53,71,89	17,35,53,71,89
+	47,65,83,105,111	47,65,103,109
-	31	31,83
*	27,43,61,79	27,43,61,79
/	1,99	1,97
=	11,95,125	11,93,123
CM	13	13
Min	15	15
RM	29,45,63,81,109	29,45,63,81,107
X⟷M	97	95
X⟷Y	103	101
STC	101,127	99,125

ตารางที่ 12 (ต่อ)

รหัส	ขั้นตอนที่ (ส่วนบรรจุที่ 6)	ขั้นตอนที่ (ส่วนบรรจุที่ 7)
0	5,7,9,59,65,77,79,81,127, 165,167,169,171,173	5,7,9,19,61,115,117,119, 121,123,129,213,215,217, 219,221
1	3,25,75,101	3,43,63,67,75,113,145 173,179,181
2	27,57,63,103,129	39,41,133,191
3	37,47,85,121,139	21,81,131,147,157,161
4	91	47,57,103
5	55.89,93	87,135,183
6	23,29,137,163	25,29,49,77,163,165
7	45,67,109,111	27,85,95,175,211
8	21,39,119,125	23,45,97,149
9	43,107,143	65,83,101,105
.	19,41,61,87,105,123,	17,37,59,79,99,127,143
+	141	159,177
	35,83,117,155,161	73,125,155,171,189,203,209
-	17,53,99,135	35,55,93,141
*	31,49,69,95,113,131	31,51,69,89,107,137,151, 167,185
/	1,73,149	1,111,197
=	11,145,175	11,193,223
CM	13	13
Min	15	15
RM	33,51,71,97,115,133,159	33,53,71,91,109,139,153, 169,187,207
X←→M	147	195
X←→Y	153	201
STC	151,177	199,225

ตารางที่ 12 (ต่อ)

หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย

3. ออกแบบวงจรโดยใช้หลักฐานจากตารางที่ 12 ใช้ไอซีเบอร์ SN7402 (Quad 2-input NOR) และ SN7432 (Quad 2-input OR) ในการออกแบบและสร้างเครื่องต้องคำนึงถึง Fan-out ของไอซีแต่ละตัวซึ่งมีประมาณ 10 วงจรถอดรหัส และวงจรนับของแต่ละส่วนบรรจุ ดังแสดงในรูปที่ 13, 14, 15, 16, 17 และ 18

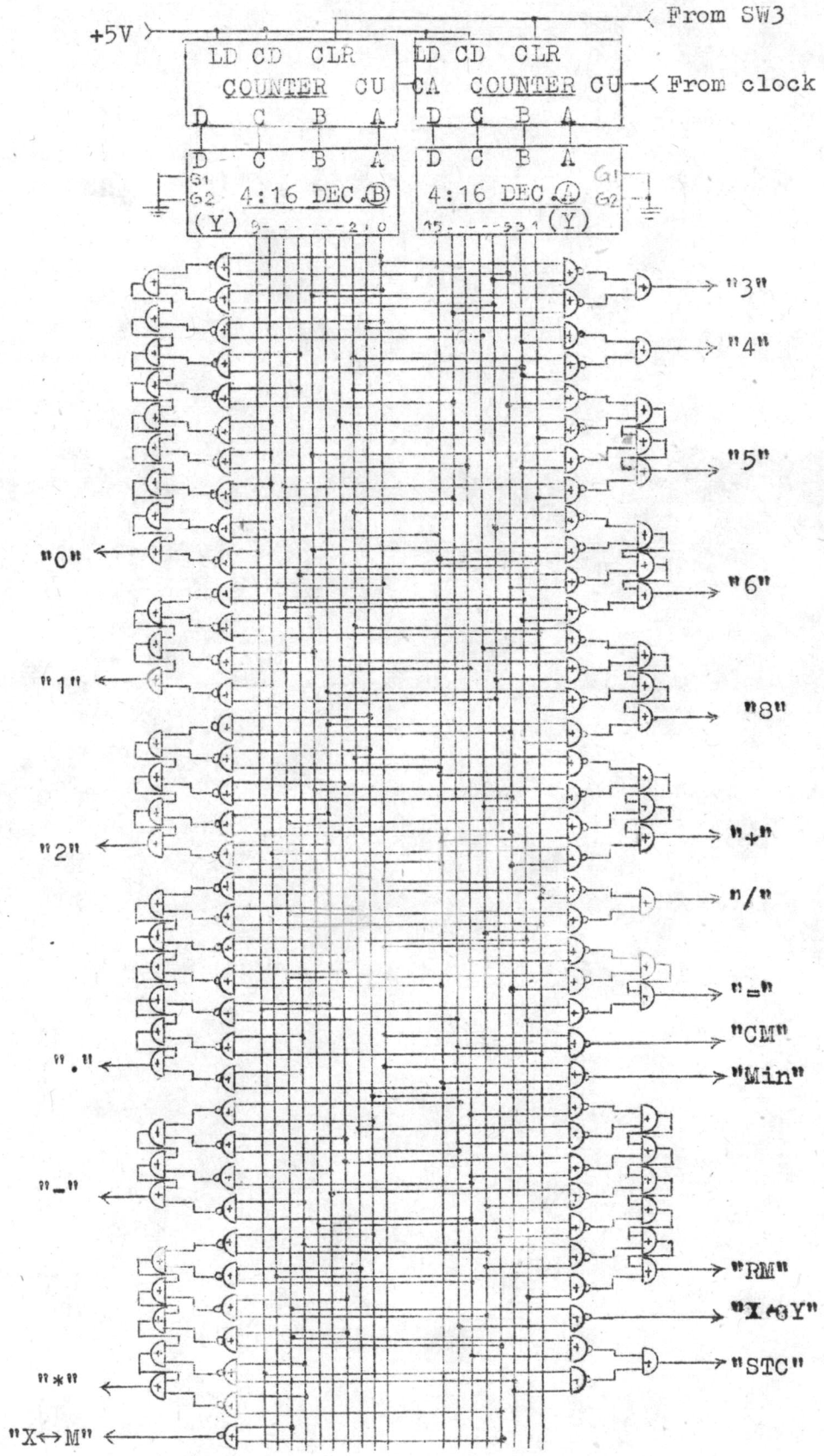
การแก้ Fan-out ที่มากเกินไปทำได้โดยการใช้ Counter และ Decoder อีกชุดหนึ่งให้ทำงานอย่างขนานกันกับชุดที่ต้องต่อ Load มากเกินไปนั้น เช่น ส่วนบรรจุที่ 4 ขั้นตอนสุดท้ายคือขั้นตอนที่นับ 127 ในหน่วยถอดรหัส เราใช้ Decoder 2 ตัว คือ 3:8 (Decoder A) และ 4:16 (Decoder B) อย่างละตัว เมื่อต่อวงจรแล้ว เอ้าท์พุทของ Decoder B แต่ละอันมี Fan-out เท่ากับ 4 ส่วน Decoder A มี Fan-out เท่ากัน 16 ซึ่งเกิน 10 จึงต่อ Decoder อีกชุดหนึ่ง (Decoder C) ให้ทำงานเช่นเดียวกับ Decoder A แล้วแบ่ง Load ไปชุดละประมาณ 8 ก็จะทำให้ Fan-out ไม่เกิน 10

ในส่วนบรรจุที่ใช้ 4:16 Decoder ทั้ง A และ B นั้น เอ้าท์พุทของ Decoder B มีความหมายดังนี้คือ y_0 จะถอดรหัสเป็น 0 ส่วน $y_1, y_2, y_3, y_4, \ldots, y_{15}$ จะถอดรหัสเป็น 16, 32, 48, 64, ..., 240 ตามลำดับ

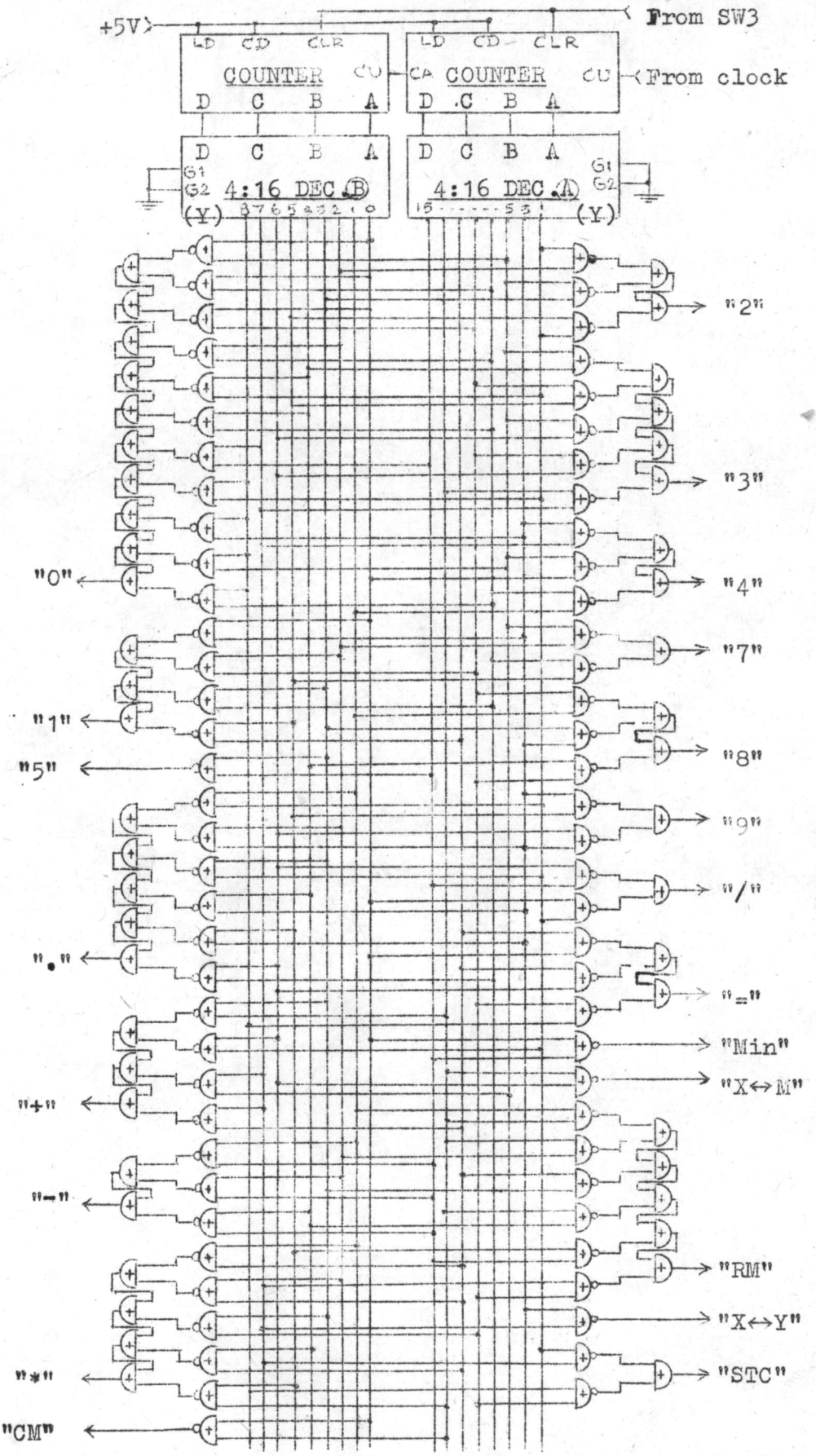
ในส่วนบรรจุที่ใช้ 4:16 Decoder เป็น B และ 3:8 Decoder เป็น A นั้น เอ้าท์พุทของ Decoder B มีความหมายดังนี้คือ y_0 จะถอดรหัสเป็น 0 ส่วน $y_1, y_2, y_3, y_4, \ldots, y_{15}$ จะถอดรหัสเป็น 8, 16, 24, 32, ..., 120 ตามลำดับ

สำหรับความหมายในการถอดรหัสที่ต่อกับ NOR gate นั้น เป็นการเอารหัสใน Decoder A หรือ Decoder C และ Decoder B คู่ที่รวมกันแล้วได้เท่ากับจำนวนนับที่ต้องการ เช่น ในส่วนบรรจุที่ 1 ถ้าต้องการถอดรหัสของนับ 57 ก็ต่อ y_9 (นับ 9) ของ Decoder A กับ y_3 (นับ 48) ของ Decoder B ไปเป็นอินพุทของ NOR gate

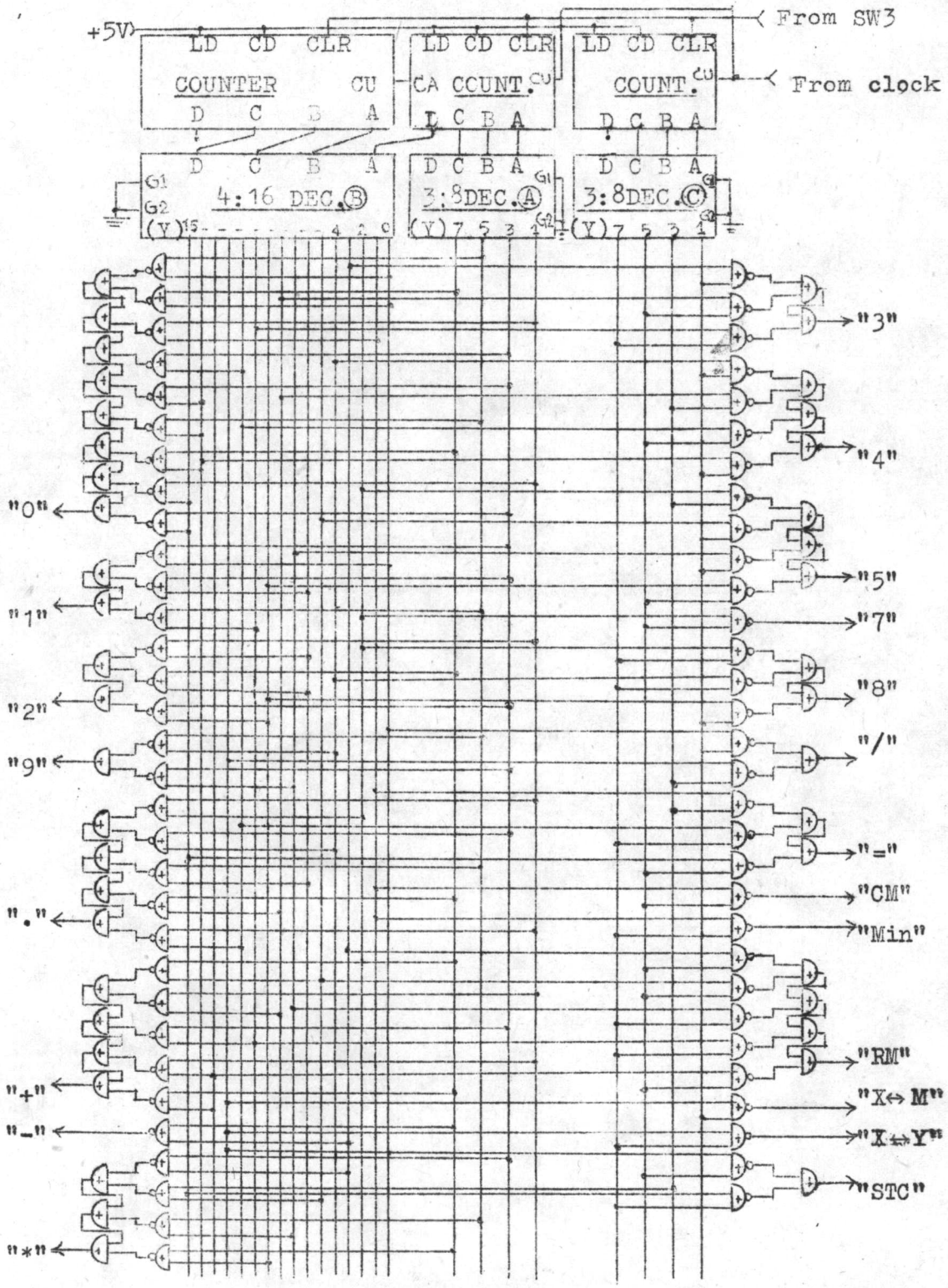
เอ้าท์พุทแต่ละตัว (0, 1, 2, 3, ...) จากวงจรถอดรหัส ยกเว้น "STC" จะต่อไปยังวงจรขับและรีเลย์ (Driving circuit and Relay)



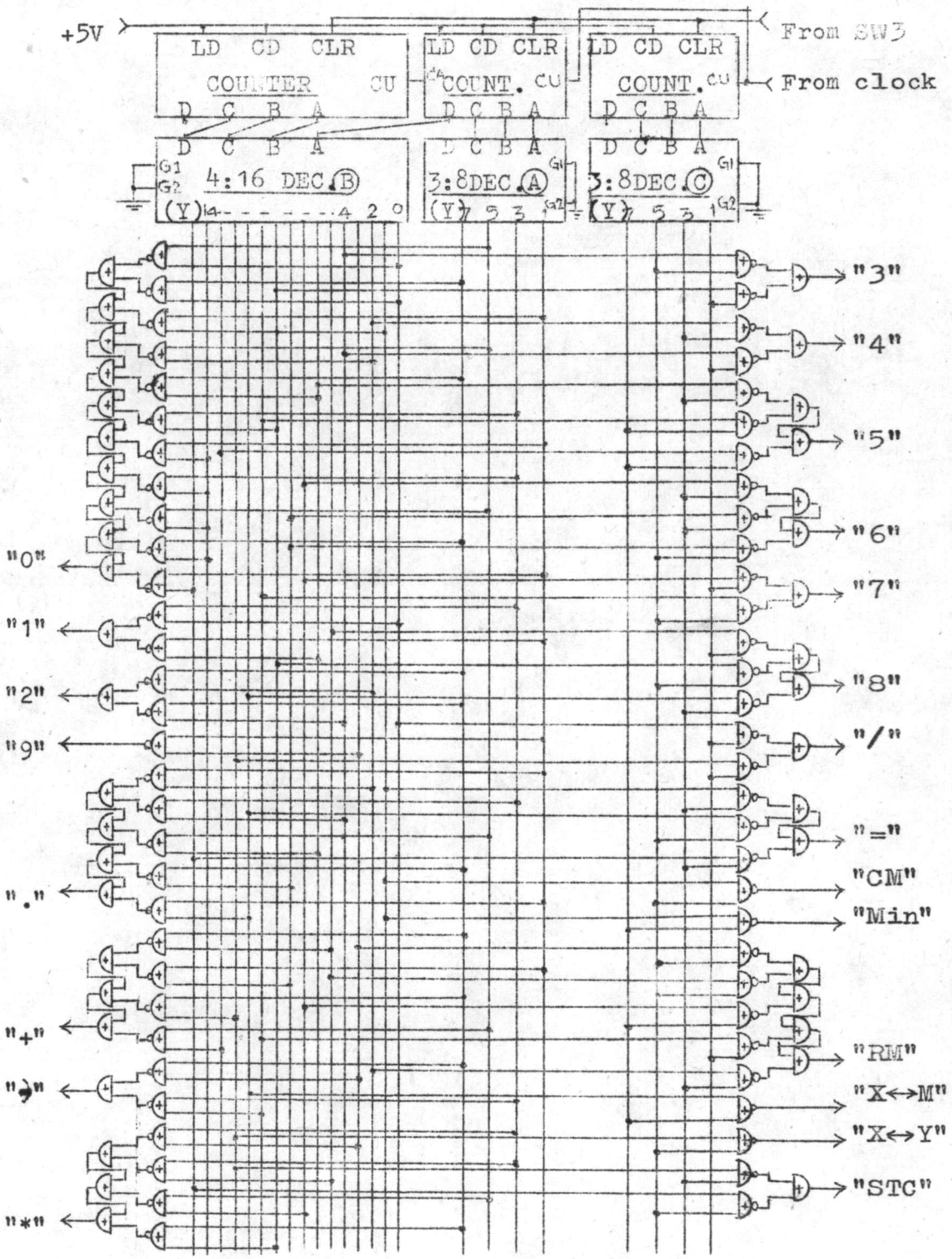
รูปที่ 13 วงจรถอดรหัสของส่วนรหัสที่ 1



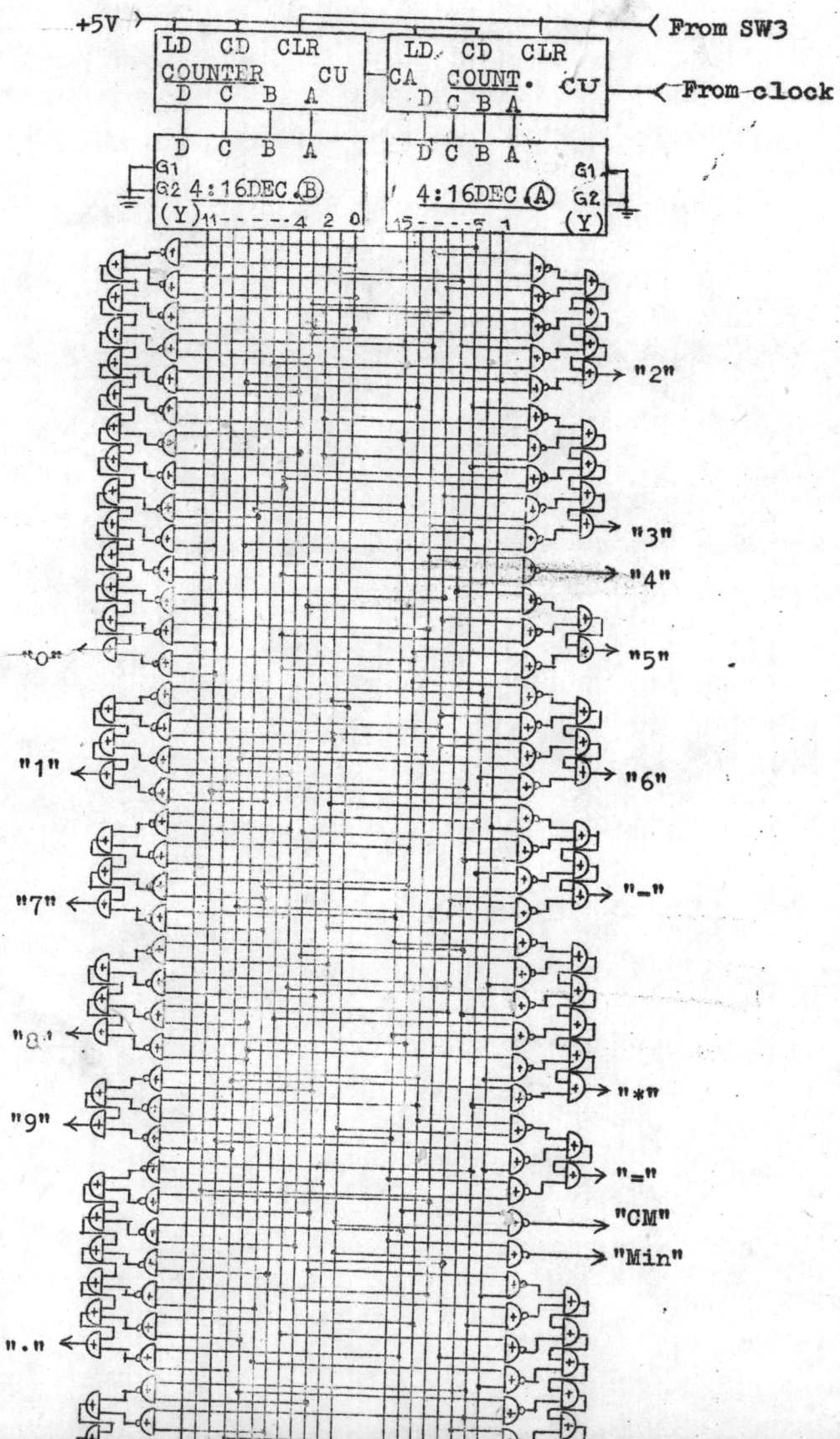
รูปที่ 14 วงจรนับและถอดรหัส ของส่วนบรรจุที่ 3

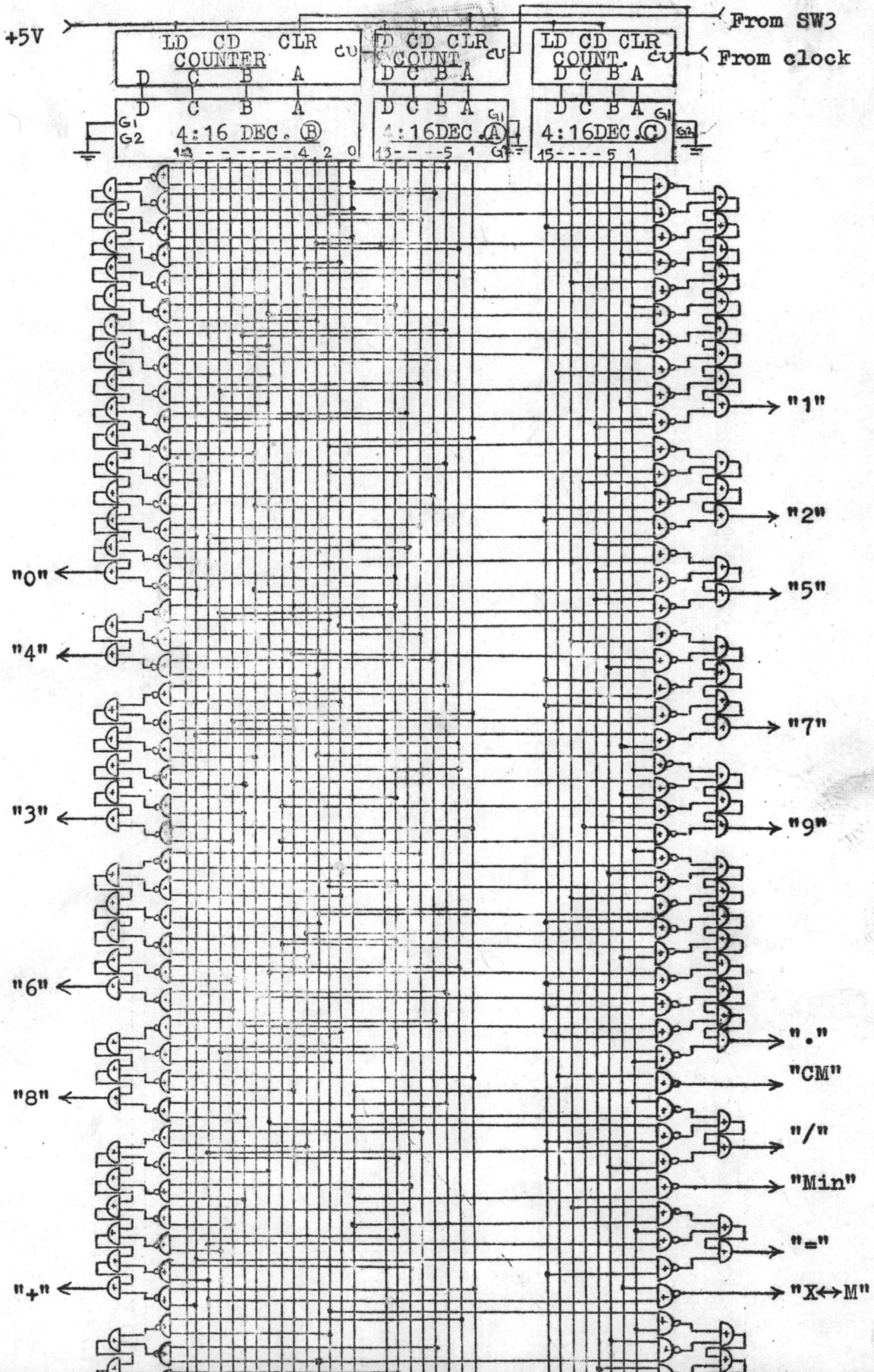


รูปที่ 15 วงจรนับและถอดรหัส ของส่วนบรรทุที่ 4

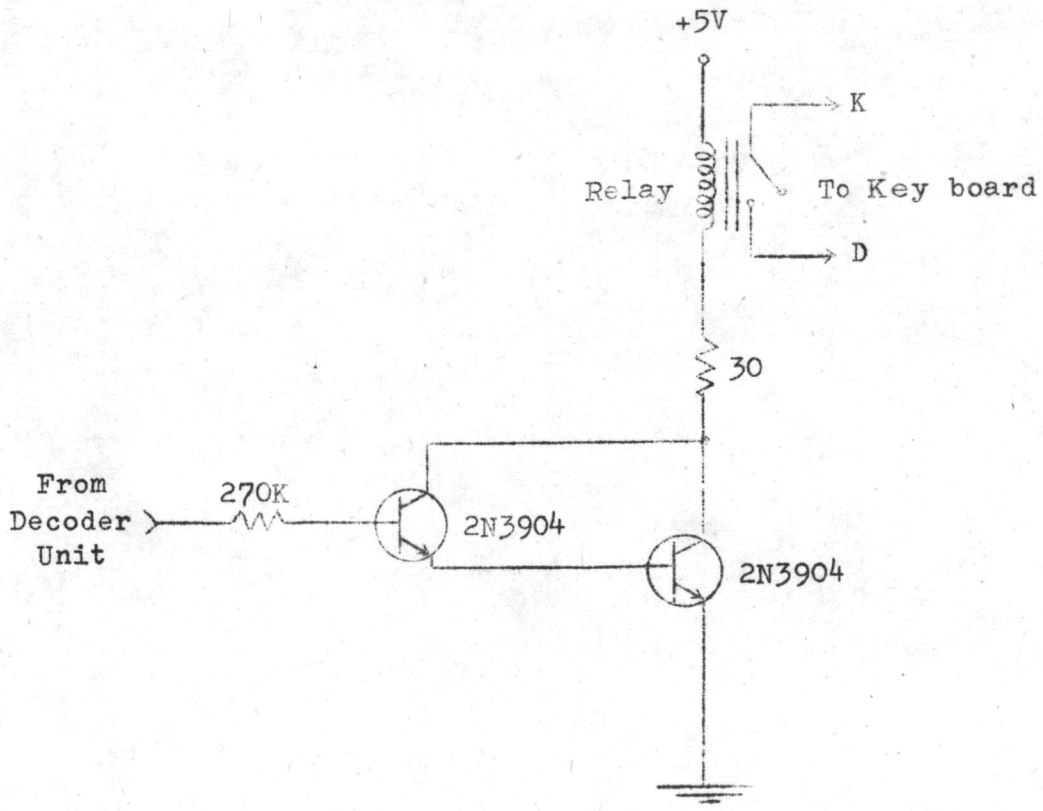


รูปที่ 16 วงจรนับและถอดรหัส ของส่วนรหัสที่ 5


+5V
From SW3
From clock
LD CD CLR
COUNTER CU
D C B A
LD CD CLR
CA COUNT. CU
D C B A
D C B A
G1
G2 4:16DEC (B)
(Y) 11 - - - - 4 2 0
D C B A
4:16DEC (A)
G1
G2
(Y)
15 - - - - 5 1
"2"
"3"
"4"
"5"
"0"
"1"
"6"
"7"
"-"
"8"
"*"
"9"
"="
"CM"
"Min"
"."


+5V
From SW3
From clock
LD CD CLR COUNTER CU
D C B A
4:16 DEC. (B)
4:16DEC. (A)
4:16DEC. (C)
G1
G2
"1"
"2"
"5"
"7"
"9"
"."
"CM"
"/"
"Min"
"="
"X↔M"
"0"
"4"
"3"
"6"
"8"
"+"

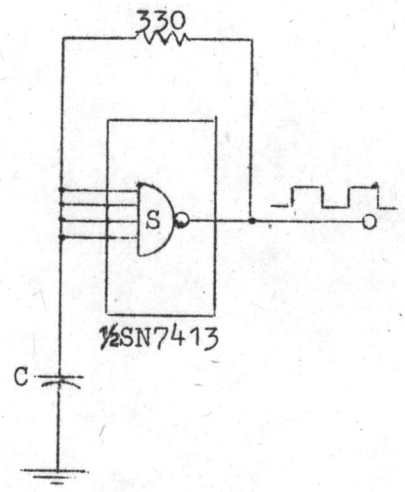
วงจรขับและรีเลย์ (Driving circuit and Relay) เมื่อถอดรหัสแล้ว รหัสแต่ละตัวจะต่อกับรีเลย์แต่ละชุด เพื่อให้รีเลย์ทำการ Key ต่างๆ ใน Key board ของเครื่องคิดเลข รีเลย์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เป็นแบบ MJ 3VDC ซึ่งปกติมีความต้านทาน 75 โอห์ม และต้องการกระแสในการทำงาน 40 มิลลิแอมแปร์ แต่กระแสที่ออกมาจากไอซีที่ทำหน้าที่เป็นตัวถอดรหัส เมื่อเอ้าท์พุทเป็น HIGH เพียง 800 ไมโครแอมแปร์เท่านั้น ดังนั้นถ้าต่อเอ้าท์พุทจากหน่วยถอดรหัสไปยังรีเลย์โดยตรง รีเลย์จะไม่ทำงาน เพื่อให้รีเลย์ทำงานได้ ระหว่างเอ้าท์พุทของหน่วยถอดรหัสกับรีเลย์จึงต้องมีวงจรขับ (Driving circuit) ซึ่งทำหน้าที่ขยายกระแสจาก 800 ไมโครแอมแปร์เป็น 40 มิลลิแอมแปร์ วงจรขับใช้วงจรของดาริงตัน (Darlington) ดังรูปที่ 19 ค่า K และ D นั้นขึ้นอยู่กับรหัสตัวที่ต่อเข้ากับวงจรขับของรีเลย์นั้น เช่น ถ้ารหัสเป็น 0 ตัว K ก็คือ K1 และ D คือ D1 (ดูจากรูปที่ 6)



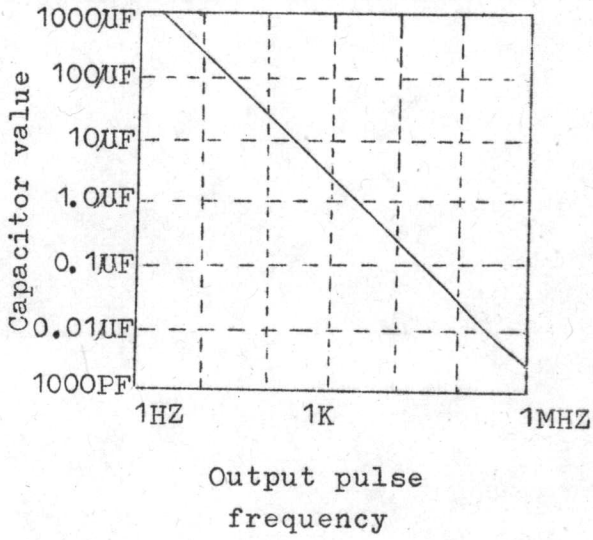
รูปที่ 19 วงจรขับและรีเลย์แต่ละชุด

<u>วงจร Clock</u> ใช้ไอซีเบอร์ SN7413 (Dual, four input, Schmit-tigger) เป็นต้นกำเนิด Clock pulse ไอซีเบอร์ SN7413 นี้เหมาะที่จะเป็น free running multivibrator ที่ทำงานได้ดีมาก ณ ความถี่ตั้งแต่ 1HZ ถึง 30 MHZ ส่วนประกอบที่เพิ่มขึ้นเพื่อให้ทำงานเป็น multivibrator มีเพียงความต้านทาน 330 โอห์ม และ Capacitor ตัวหนึ่งเท่านั้น Capacitor นี้เองเป็นตัวตั้งความถี่ตามต้องการ ถ้าความถี่ที่การทำงานของเครื่องจะเป็นไปอย่างช้าๆ เป็นประโยชน์ในการทดลอง และตรวจสอบการทำงานแต่ละขั้นตอน

วงจร Clock ดังแสดงในรูปที่ 20 และกราฟ เพื่อหาขนาดของ Capacitor เมื่อความต้านทานเป็น 330 โอห์มแสดงในรูปที่ 21 ในการทดลองครั้งนี้ต้องการความถี่ประมาณ 50HZ จึงใช้ Capacitor ขนาด 40 ไมโครฟารัด



รูปที่ 20 วงจร Clock



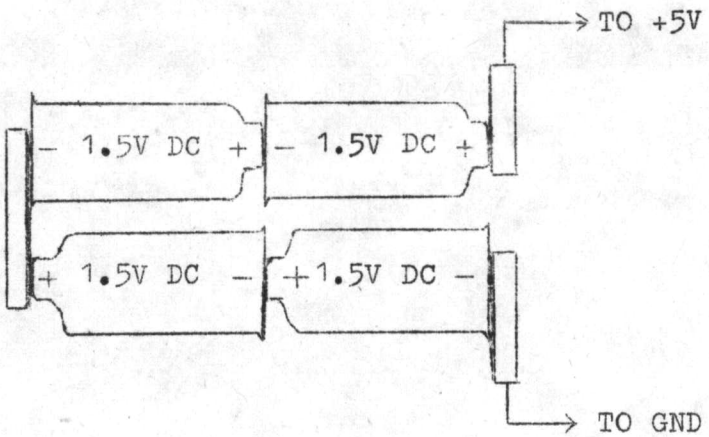
รูปที่ 21 กราฟขนาดของ Capacitor

<u>ภาคแหล่งจ่ายไฟ</u> (Power supply part)

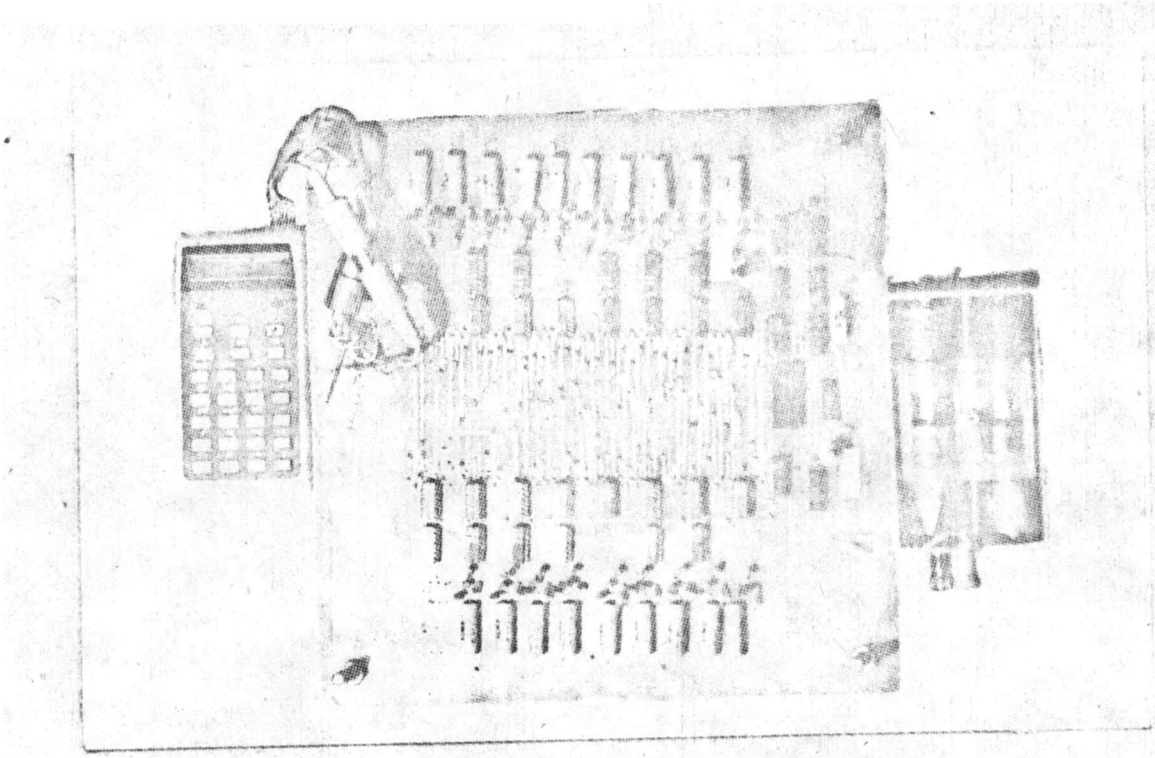
แหล่งจ่ายไฟของเครื่องคำนวณแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องคิดเลข กับส่วนของหน่วยควบคุม

แหล่งจ่ายไฟของเครื่องคิดเลข ใช้ถ่านไฟฉายขนาดเล็ก ที่มีขายตามท้องตลาด ที่มีแรงเคลื่อน 1.5 โวลท์ จำนวน 4 ก้อน ต่อกันอย่างอนุกรม หรือใช้ไฟกระแสตรง 6 โวลท์จากแหล่งจ่ายไฟอันอื่นก็ได้ สาเหตุที่แยกแหล่งจ่ายไฟของเครื่องคิดเลขออกจากแหล่งจ่ายไฟของหน่วยควบคุมเพราะ เพื่อให้เครื่องคิดเลขสามารถถอดออกจากหน่วยควบคุม แล้วเอาไปใช้งานอื่นอย่างอิสระ

ส่วนแหล่งจ่ายไฟของหน่วยควบคุม ใช้ถ่านไฟฉายขนาดใหญ่ ที่มีขายตามท้องตลาดที่มีแรงเคลื่อน 1.5 โวลท์ จำนวน 4 ก้อน ต่อกันอย่างอนุกรม เพื่อให้ได้แรงเคลื่อนรวมเป็น 6 โวลท์ การต่อแหล่งจ่ายไฟของหน่วยควบคุม ดังรูปที่ 22 ซึ่งขั้วลบจะต่อเข้ากับ Ground ของไอซี และทรานซิสเตอร์แต่ละตัว ส่วนขั้วบวกจะต่อเข้ากับ Vcc ของไอซีแต่ละตัว หรือต่อเข้า ณ ตำแหน่งที่เขียนไว้ว่า +5 V



รูปที่ 22 การต่อแหล่งจ่ายไฟของวงจรควบคุม



รูปที่ 23 เครื่องคำนวณที่ประกอบแล้ว