บทที่ 2

อุปกรณ์และวิธีดำเนินงานวิจัย

1. อุปกรณ์

1.1 อุปกรณ์อีเลคโทรนิคส์ต่าง ๆ

1.1.1 ไอซี หมายเลขต่าง ๆ ดังนี้

1.1.1.1	SIL 4049	2 ตัว
1.1.1.2	DM 7490	4 ตัว
1.1.1.3	F 7447	4 ตัว
1.1.1.4	LM 3900	1 ตัว
1.1.1.5	CA 555	1 ตัว
1.1.1.6	F 7400	1 ตัว

1.1.2 ทรานซิสเตอร์ หมายเลข 2 SC 458 ของบริษัท HITACHI 5 ตัว

1.1.3 ไดโอด หมายเลข 1N914 9 ตัว

1.1.4 ตัวเลข 7 ส่วน (7 - segment LED) 4 ตัว

1.1.5 ตัวความต้านทานขนาดต่าง ๆ

1.1.5.1	1 MΩ $\frac{1}{2}$ W	14 ตัว
1.1.5.2	10 MΩ $\frac{1}{2}$ W	8 ตัว
1.1.5.3	10 KΩ $\frac{1}{2}$ W	6 ตัว
1.1.5.4	27 KΩ $\frac{1}{2}$ W	5 ตัว
1.1.5.5	1 KΩ $\frac{1}{2}$ W	5 ตัว
1.1.5.6	300 Ω $\frac{1}{2}$ W	29 ตัว
1.1.5.7	150 Ω $\frac{1}{2}$ W	12 ตัว

1.1.6 ตัวเก็บประจุขนาดต่าง ๆ

1.1.6.1	220 µF 10 V	1 ตัว
1.1.6.2	50 µF 25 V	1 ตัว
1.1.6.3	1 µF 25 V	12 ตัว
1.1.6.4	0.068 µF 50 V	8 ตัว
1.1.6.5	0.01 µF 400 V	12 ตัว

1.1.7 ตัวความต้านทานชนิดปรับค่าได้ ขนาดต่าง ๆ

1.1.7.1	1 MΩ	5 ตัว
1.1.7.2	100 KΩ	1 ตัว

1.1.8 Kit power supply 5 โวลท์ 1 ชุด

1.1.9 สวิชแบบต่าง ๆ

1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

1.2.1 ออสซิโลสโคป(Cathode Ray Oscilloscope) Trio แบบ CS 1570

1.2.2 เครื่องจ่ายไฟตรง (Regulated DC power supply) Trio แบบ PR - 654

1.2.3 เครื่องสร้างสัญญาณ(Oscillator) Trio แบบ AG - 203

1.2.4 เครื่องใช้ในการต่อวงจรไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น หัวแร้ง, ตะกั่วบัดกรี, แผ่นไฟเบอร์กลาสเคลือบทองแดงสำหรับทำแผ่นวงจรพิมพ์(Printed circuit board)

2. <u>การดำเนินการวิจัยได้กระทำเป็นขั้นตอนดังนี้</u>

2.1 ออกแบบและสร้างภาครับสัญญาณ 50 Hz จากสัตว์ทดลอง

2.2 ออกแบบและสร้างภาคเปลี่ยนสัญญาณที่ได้ให้เป็นพัลส์(pulse) ที่เหมาะสม

2.3 ออกแบบและสร้างภาคนับสัญญาณพัลส์ที่ได้

2.4 ออกแบบและสร้างภาคแสดงผลเป็นดิจิตอล(Digital) และอนาลอค (Analog)

2.5 ออกแบบและสร้างภาคไทมมิ่ง(Timing) และสวิชชิ่ง(Switching) สำหรับควบคุมการทำงานของเครื่องมือ

2.6 สร้างกรง(Activity cage) ที่มีลักษณะเหมาะสมในการรับสัญญาณจากสัตว์ทดลอง

2.7 ทดลองการใช้งานและประเมินคุณภาพของเครื่องมือที่สร้างขึ้น

2.1 การออกแบบและสร้างภาครับสัญญาณ 50 Hz จากสัตว์ทดลอง

คุณสมบัติในการทำงานของเครื่องมือบันทึกพฤติกรรมการเคลื่อนไหวในสัตว์ทดลองย่อมขึ้นอยู่กับการเลือกใช้ภาครับสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนไหวของสัตว์ทดลอง ซึ่งภาครับสัญญาณดังกล่าวอาจมีได้หลายชนิด เช่น การใช้แรงสั่นสะเทือน หรือใช้การเคลื่อนที่ตัดลำแสงที่ส่องตกลงบนโฟโตเซลล์ เป็นต้น ดังได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1 ในการออกแบบเพื่อสร้างเครื่องในรายงานฉบับนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้วิธีรับสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้า 50 Hz จากการสัมผัสของสัตว์ทดลอง แล้วนำสัญญาณนั้นมาแต่งรูปเพื่อให้เหมาะแก่การนับอีกทีหนึ่ง ดังนั้นการรับสัญญาณเช่นนี้จึงอาจเรียกได้ว่าเป็น "ระบบสัมผัส" ระบบสัมผัสมีใช้กันในเครื่องอีเล็คโทรนิคทั่ว ๆ ไปมีอยู่มากมายหลายแบบ เช่น ระบบที่ใช้ในลิฟท์(lift) ซึ่งมีหลักการคือจะมีวงจรสร้างความถี่สูงวงจรหนึ่ง ซึ่งค่าความถี่ที่สร้างขึ้นในส่วนหนึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าการเก็บประจุของตัวเก็บประจุ(Capacitor) ภายในวงจร เมื่อเราสัมผัสส่วนที่เหมาะสมในวงจรจะทำให้ค่าความจุของการเก็บประจุที่มีในวงจรที่สร้างความถี่สูงเปลี่ยนไป ซึ่งจะเป็นผลให้ค่าความถี่ที่สร้างขึ้นเปลี่ยนไปด้วย เมื่อนำค่าความถี่ที่เปลี่ยนไปนี้ไปเข้าภาคดีเทคเตอร์(Detector)ก็จะสามารถวัดสัญญาณที่เกิดจากการสัมผัสนั้นได้(6.7) แต่วงจรดังกล่าวมีราคาแพงและยุ่งยาก อีกแบบหนึ่งอาจใช้ทรานซีสเตอร์(Transistor)(8,9) เป็นตัวรับสัญญาณจากการสัมผัส โดยปล่อยขาเบส(Base) ของทรานซีสเตอร์ว่างไว้ เมื่อเราสัมผัสขาเบส สัญญาณนี้ก็จะเข้าทางขานี้ และทำให้เกิดกระแสคอลเลคเตอร์

absolute maximum ratings

(Notes 1 and 2)

V_{DD} Supply Voltage	−0.5V to +18V
V_{IN} Input Voltage	−0.5V to +18V
V_{OUT} Voltage at Any Output Pin	−0.5V to V_{DD} + 0.5V
T_S Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
P_D Package Dissipation	500 mW
T_L Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

recommended operating conditions

(Note 2)

V_{DD} Supply Voltage	3V to 15V
V_{IN} Input Voltage	0V to 15V
V_{OUT} Voltage at Any Output Pin	0 to V_{DD}
T_A Operating Temperature Range	
CD4049M, CD4050BM	−55°C to +125°C
CD4049C, CD4050BC	−40°C to +85°C

dc electrical characteristics CD4049C, CD4050BC (Note 2)

PARAMETER	CONDITIONS	−40°C		25°C			85°C		UNITS
		MIN	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	MAX	
I_{DD} Quiescent Device Current	V_{DD} = 5V		4		0.03	4.0		30	μA
	V_{DD} = 10V		8		0.05	8.0		60	μA
	V_{DD} = 15V		16		0.07	16.0		120	μA
V_{OL} Low Level Output Voltage	V_{IH} = V_{DD}, V_{IL} = 0V, $\lvert I_O \rvert < 1\,\mu A$								
	V_{DD} = 5V		0.05		0	0.05		0.05	V
	V_{DD} = 10V		0.05		0	0.05		0.05	V
	V_{DD} = 15V		0.05		0	0.05		0.05	V
V_{OH} High Level Output Voltage	V_{IH} = V_{DD}, V_{IL} = 0V, $\lvert I_O \rvert < 1\,\mu A$								
	V_{DD} = 5V	4.95		4.95	5		4.95		V
	V_{DD} = 10V	9.95		9.95	10		9.95		V
	V_{DD} = 15V	14.95		14.95	15		14.95		V
I_{OL} Low Level Output Current (Note 3)	V_{IH} = V_{DD}, V_{IL} = 0V								
	V_{DD} = 5V, V_O = 0.4V	4.6		4.0	5		3.2		mA
	V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V	9.8		8.5	12		6.8		mA
	V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V	29		25	40		20		mA
I_{OH} High Level Output Current (Note 3)	V_{IH} = V_{DD}, V_{IL} = 0V								
	V_{DD} = 5V, V_O = 4.6V	−1.0		−0.9	−1.6		−0.72		mA
	V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V	−2.1		−1.9	−3.6		−1.5		mA
	V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V	−7.1		−6.2	−12		−5		mA
I_{IN} Input Current	V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V	−0.3		−0.3	-10^{-5}			−1.0	μA
	V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V	0.3		0.3	10^{-5}			1.0	μA

ac electrical characteristics CD4049M/CD4049C

T_A = 25°C, C_L = 50 pF, R_L = 200k, t_r = t_f = 20 ns, unless otherwise specified.

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
t_{PHL} Propagation Delay Time High-to-Low Level	V_{DD} = 5V		30	65	ns
	V_{DD} = 10V		20	40	ns
	V_{DD} = 15V		15	30	ns
t_{PLH} Propagation Delay Time Low-to-High Level	V_{DD} = 5V		45	85	ns
	V_{DD} = 10V		25	45	ns
	V_{DD} = 15V		20	35	ns
t_{THL} Transition Time High-to-Low Level	V_{DD} = 5V		30	60	ns
	V_{DD} = 10V		20	40	ns
	V_{DD} = 15V		15	30	ns
t_{TLH} Transition Time Low-to-High Level	V_{DD} = 5V		60	120	ns
	V_{DD} = 10V		30	55	ns
	V_{DD} = 15V		25	45	ns
C_{IN} Input Capacitance	Any Input		15	22.5	pF

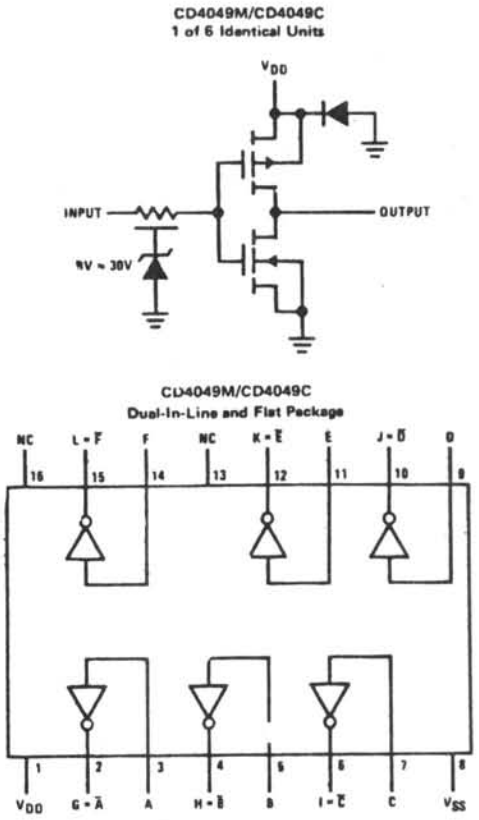
Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed; they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: V_{SS} = 0V unless otherwise specified.

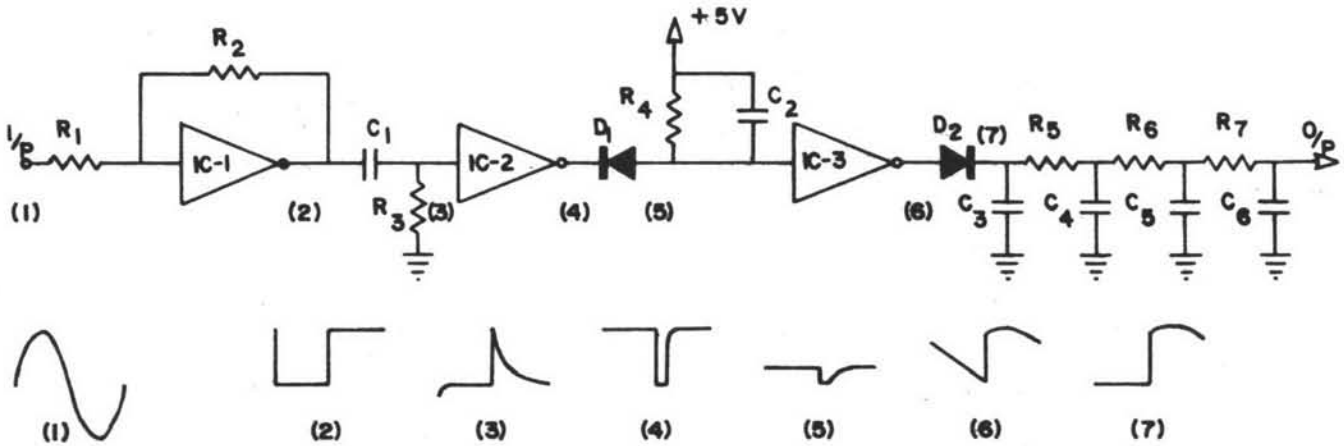
Note 3: These are *peak* output current capabilities. Continuous output current is rated at 12 mA maximum. The output current should not be allowed to exceed this value for extended periods of time.

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลจำเพาะของไอซี CD 4049

schematic diagrams



รูปที่ 1 แสดง schematic diagrams และ connection diagrams ของไอซี CD 4049



R_1, R_3, R_4 = 1 M Ω C_1, C_2 = 0.068 μF D_1, D_2 = IN 914

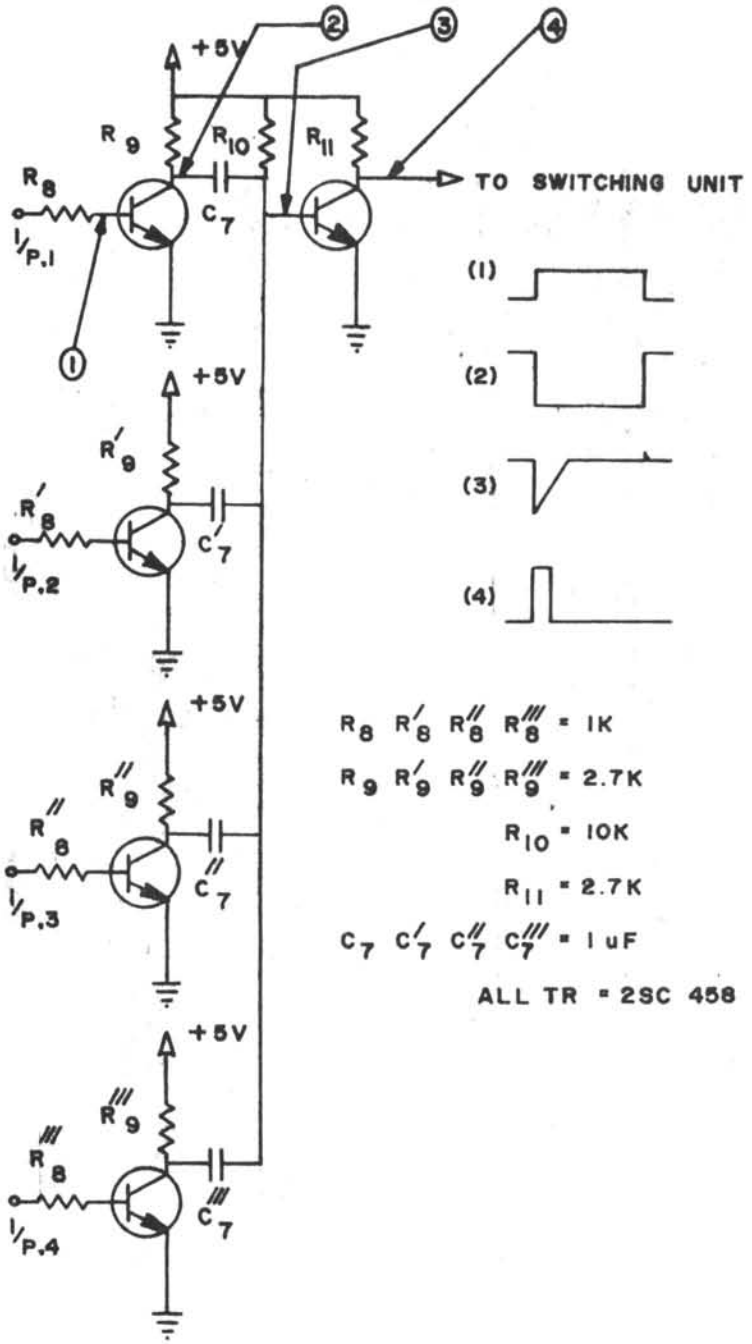
R_2 = 20 M Ω C_3, C_4, C_5, C_6 = 1 μF IC-1, IC-2, IC-3, = $\frac{1}{6}$ CD 4049

R_5, R_6, R_7 = 150 Ω

รูปที่ 2 แสดงวงจรภาครับสัญญาณ

(Collector) ไหลขึ้นในทรานซิสเตอร์ กระแสที่เกิดขึ้นจะเป็นสัญญาณเพื่อนำไปขยายต่อไป วิธีนี้มีปัญหาคือจะต้องเอาทรานซิสเตอร์ตัวรับสัญญาณมาติดไว้ที่กรง แล้วจึงค่อยต่อสายจากทรานซิสเตอร์มาเข้าภาคขยาย แต่เนื่องจากสัญญาณที่เกิดขึ้นจากทรานซิสเตอร์ตัวแรกอ่อนมาก สายนั้นจึงไม่ยาวจนเกินไป ซึ่งในกรณีปกติจะไม่ควรยาวเกินกว่า 1 เมตร ดังนั้นการใช้ทรานซิสเตอร์เช่นนี้จึงอาจไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ เนื่องจากว่าสายที่ต่อระหว่างกรงกับตัวเครื่องควรจะยาวพอสมควรเพื่อความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

วิธีเลือกใช้ในการวิจัยนี้ได้ใช้ Integrated Circuit(IC) ที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าทรานซิสเตอร์ดังกล่าวแทน ไอซี(IC) ที่ใช้คือไอซีหมายเลข CD 4049 ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นอินเวอร์เตอร์ 6 ตัว (Hex inverter) ซึ่งมีคุณสมบัติที่อาจสามารถดัดแปลงให้เป็นวงจรขยายด้วยได้ ไอซีนี้มีราคาถูกและมีข้อมูลจำเพาะดังแสดงไว้ในตารางที่ 1[10] และมี connection diagram ตามรูปที่ 1[11] วงจรของภาครับสัญญาณแสดงไว้ในรูปที่ 2[6] โดยมีหลักการทำงาน คือ สัญญาณจากร่างกายจะผ่านเข้าทาง R_1 เข้าอินพุทของ IC_1 ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นดีเทคเตอร์ และขยายสัญญาณ(Amplifier) โดยมีอัตราการขยายเท่ากับอัตราส่วนของ R_2 ต่อ R_1 เพราะฉะนั้นตัวกำหนดความไว (Sensitivity) ของเครื่องคืออัตราส่วนดังกล่าวนั่นเอง ในวงจรนี้ได้กำหนดให้อัตราขยายเท่ากับ 20 (R_1 = 1 MΩ, R_2 = 20M Ω) ซึ่งจากการทดลองพบว่าเพียงพอแก่การใช้งาน ปกติคลื่นไฟฟ้าทางขาเข้าของไอซีซึ่งเกิดมาจากการสัมผัสจะมีลักษณะเป็นคลื่นรูปซายน์(Sine wave) ที่มีความถี่ 50 Hz ตามความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสิ่งแวดล้อม แต่ทางภาคเอาท์พุทของไอซีนั้นรูปคลื่นที่ออกมาจะเป็นรูปเหลี่ยม เนื่องจากได้กำหนดให้ขนาดขยายของ IC_1 เกินพอ(Overloading) ส่วนหัวของรูปคลื่นซายน์จึงถูกตัดขาดออกไป ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 สัญญาณที่ออกมานี้ถูกนำมาผ่าน C_1 และ R_3 เพื่อกรองเอาความถี่อื่นที่ไม่ใช่ 50 Hz ออก จากนั้นสัญญาณจึงถูกนำป้อนเข้า IC_2 อีกทีหนึ่ง เนื่องจาก R_3 ต่ออยู่กับกราวด์(Ground) เพราะฉะนั้นเมื่อไม่มีสัญญาณอินพุทที่เข้า IC_2 จะเป็น 0 โวลท์เสมอ ตามคุณสมบัติของการเป็นอินเวอร์เตอร์ถ้าอินพุทเป็น



รูปที่ 3 แสดงวงจรภาคเปลี่ยนสัญญาณให้เป็นพัลส์

0 โวลท์ เอาท์พุทจะกลับกันคือเป็น 5 โวลท์ เพราะฉะนั้นสัญญาณที่ผ่านออกจาก IC_2 จึงมียอดบนอยู่ที่ 5 โวลท์ และยอดล่างอยู่ที่ 0 โวลท์ แต่เนื่องจากว่าเราต้องการให้เอาท์พุทเป็น 0 โวลท์เมื่อไม่มีการสัมผัส ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมี IC_3 มาช่วยโดยที่สัญญาณที่ออกจากเอาท์พุทของ IC_2 ผ่านไดโอด(Diode) D_1 เพื่อทำหน้าที่กรองคลื่นบวกออกผ่านขาย R_4 และ C_2 แล้วเข้า IC_3 ดังนั้นเมื่อมีการสัมผัสที่อินพุทของ IC_3 จะได้รูปคลื่นดังรูปที่ 2 เมื่อผ่าน IC_3 แล้วเอาท์พุทที่ออกมาจะได้รูปคลื่นดังรูปที่ 2 จากนั้นจึงผ่านสัญญาณที่ได้เข้าไดโอด D_2 เพื่อให้แรงดัน 5 โวลท์ผ่านเท่านั้น จึงได้รูปคลื่นดังรูปที่ 2 แล้วจึงนำคลื่นที่ได้มากรองโดยใช้วงจรขาย (RC net work) แรงดันไฟฟ้า หลังจากผ่านขาย RC แล้วก็จึงจะถูกกรองให้เรียบโดยจะได้เป็นระดับแรงดันไฟ (DC level)

2.2 การออกแบบและสร้างภาคเปลี่ยนสัญญาณระดับแรงดันให้เป็นพัลส์

เนื่องจากเอาท์พุทที่ออกมาจากภาคดังกล่าวข้างต้น จะเป็นแรงดันไฟฟ้าคงที่ 5 โวลท์ ซึ่งเกิดขึ้นในขณะสัมผัส และจะมีแรงดันนี้ตลอดเวลาที่สัมผัส แรงดันคงที่เช่นนี้ไม่เหมาะสมที่จะนำมาป้อนเข้าวงจรภาคนับได้ จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแรงดันที่ได้นี้ให้เป็นคลื่นไฟฟ้าที่เป็นห้วงหรือพัลส์ที่เหมาะสมเสียก่อน วงจรของภาคเปลี่ยนสัญญาณเป็นพัลส์แสดงไว้ในรูปที่ 3 วงจรนี้จะแปลงแรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกมาจากเอาท์พุทของขาย RC ในข้อ 2.1 ให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมโดยผ่านแรงดันไฟเข้าไปในทรานซิสเตอร์ ซึ่งจะทำให้ได้เอาท์พุทของทรานซิสเตอร์เป็นรูปสัญญาณสี่เหลี่ยมเพียงหนึ่งคลื่น(Cycle) เท่านั้น แต่พัลส์ที่เกิดขึ้นนี้จะมีความยาวของพัลส์เป็นระยะเวลาเท่ากับระยะเวลาที่มีการสัมผัสแต่ละครั้ง ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการนับ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องแปลงสัญญาณที่ได้จากทรานซิสเตอร์ให้เป็น negative triggering pulse โดยผ่านวงจร RC Differentiator ซึ่ง RC Differentiator นี้จะกรองระดับแรงดันที่มีความยาว ๆ ของพัลส์ที่เกิดขึ้นให้เหลือเป็นพัลส์สั้น ๆ รูปแหลม(Spike) ซึ่งเกิดขึ้นเฉพาะตอนเกิดและตอนสิ้นสุดของพัลส์รูปสี่เหลี่ยมเท่านั้น ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3 จากพัลส์แหลมที่ได้นำไปแปลงเป็นพัลส์รูปสี่เหลี่ยมที่มีคาบสั้นเท่ากับคาบของพัลส์แหลม ซึ่งเหมาะสมที่จะป้อนเข้าภาคนับต่อไป โดยผ่านพัลส์แหลมเข้าทรานซิสเตอร์

PARAMETER		CONDITIONS			DM54/74 90A, 92A, 93A			DM54L/74L L90, L93			DM54LS/74LS LS90, LS92, LS93			UNITS
					MIN	TYP(1)	MAX	MIN	TYP(1)	MAX	MIN	TYP(1)	MAX	
V_{IH}	High Level Input Voltage				2			2			2			V
V_{IL}	Low Level Input Voltage			DM54			0.8			0.7			0.7	V
				DM74			0.8			0.7			0.8	
V_I	Input Clamp Voltage	V_{CC} = Min	I_I = −12 mA				−1.5		N/A					V
			I_I = −18 mA						N/A				−1.5	
I_{OH}	High Level Output Current						−800			−200			−400	μA
V_{OH}	High Level Output Voltage	V_{CC} = Min, V_{IH} = 2V		DM54	2.4	3.4		2.4			2.5	3.4		V
		V_{IL} = Max, I_{OH} = Max		DM74	2.4	3.4		2.4			2.7	3.4		
I_{OL}	Low Level Output Current			DM54			16			2			4	mA
				DM74			16			3.6			8	
V_{OL}	Low Level Output Voltage	V_{CC} = Min, V_{IH} = 2V, V_{IL} = Max	I_{OL} = Max (3)	DM54		0.2	0.4		0.15	0.3		0.25	0.4	V
				DM74		0.2	0.4		0.2	0.4		0.35	0.5	
			I_{OL} = 4 mA	DM74								0.25	0.4	
I_I	Input Current at Maximum Input Voltage	Any Reset	V_{CC} = Min	V_I = 5.5V			1			0.1				mA
				V_I = 7V									0.1	
		A Input		V_I = 5.5V			1			0.2			0.4	
		B Input		V_I = 5.5V	L90					0.4				
					Others		1			0.2			0.8	
I_{IH}	High Level Input Current	Any Reset	V_{CC} = Max	V_I = 2.7V for LS, V_I = 2.4V for Others			40			10			20	μA
		A Input					80			20			120	
		B Input			93		80			20			40	
					Others		120			40			80	
I_{IL}	Low Level Input Current	Any Reset	V_{CC} = Max	V_I = 0.3V for L, V_I = 0.4V for Others			−1.6			−0.18			−0.4	mA
		A Input					−3.2			−0.36			−2.4	
		B Input			93		−3.2			−0.36			−1.6	
					Others		−4.8			−0.72			−3.2	
I_{OS}	Short Circuit Output Current	V_{CC} = Max(2)		DM54	−20		−57	−3	−9	−15	−30		−130	mA
				DM74	−18		−57	−3	−9	−15	−30		−130	
I_{CC}	Supply Current	V_{CC} = Max(4)		90A		29	42							mA
				Others		26	39			5.5		9	15	

ตารางที่ 2 แสดง electrical characteristics ของไอซี 7490

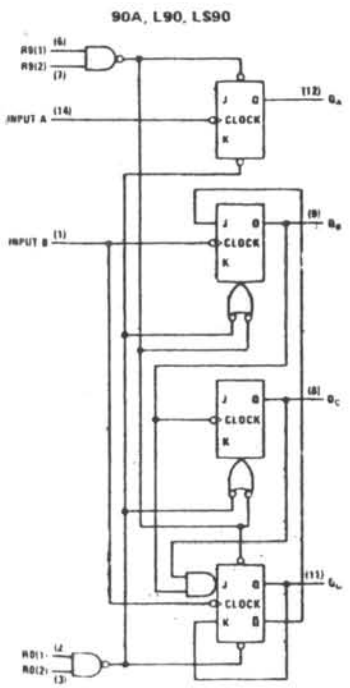
Switching Characteristics V_{CC} = 5V, T_A = 25°C

PARAMETER			FROM (INPUT)	TO (OUTPUT)	CONDITIONS	DM54/74									UNITS
						90A, LS90			92A, LS92			93A, LS93			
						MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
f_{max}	Maximum Count Frequency		A	Q_A	C_L = 50 pF For L90 and L93 C_L = 15 pF For All Others R_L = 400Ω For 90A, 92A and 93A R_L = 2 kΩ For LS90, LS92 and LS93 R_L = 4 kΩ For L90 and L93	32	42		32	42		32	42		MHz
			B	Q_B		16			16			16			
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low-to-High Level Output		A	Q_A			10	16		10	16		10	16	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High-to-Low Level Output						12	18		12	18		12	18	
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low-to-High Level Output		A	Q_D			32	48		32	48		46	70	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High-to-Low Level Output						34	50		34	50		46	70	
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low-to-High Level Output		B	Q_B			10	16		10	16		10	16	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High-to-Low Level Output						14	21		14	21		14	21	
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low-to-High Level Output		B	Q_C			21	32		10	16		21	32	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High-to-Low Level Output						23	35		14	21		23	35	
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low-to-High Level Output		B	Q_D			21	32		21	32		34	51	ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High-to-Low Level Output						23	35		23	35		34	51	
t_{PHL}	Propagation Delay Time High-to-Low Level Output		Set-to-0	Any			26	40		26	40		26	40	ns
t_{PLH}	Propagation Delay Time Low-to-High Level Output		Set-to-9	Q_A, Q_D			20	30							ns
t_{PHL}	Propagation Delay Time High-to-Low Level Output			Q_B, Q_C			26	40							
t_w	Pulse Width	A Input				15			15			15			ns
		B Input				30			30			30			
		Reset Input				15			15			15			
t_{SETUP}	Reset Inactive State Setup Time					25			25			25			ns

ตารางที่ 3 แสดง switching characteristics ของไอซี 7490

Logic Diagrams

90A, L90, LS90



รูปที่ 4 แสดง logic diagrams ของไอซี 7490

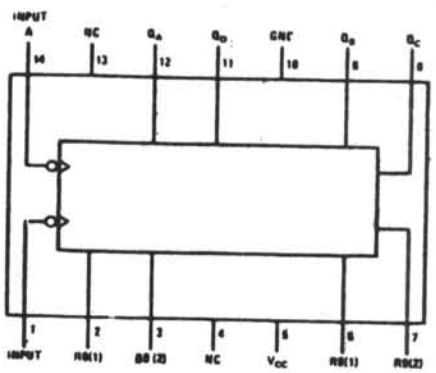
Truth Tables

90A, L90, LS90
BCD COUNT SEQUENCE
(See Note A)

COUNT	OUTPUT			
	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A
0	L	L	L	L
1	L	L	L	H
2	L	L	H	L
3	L	L	H	H
4	L	H	L	L
5	L	H	L	H
6	L	H	H	L
7	L	H	H	H
8	H	L	L	L
9	H	L	L	H

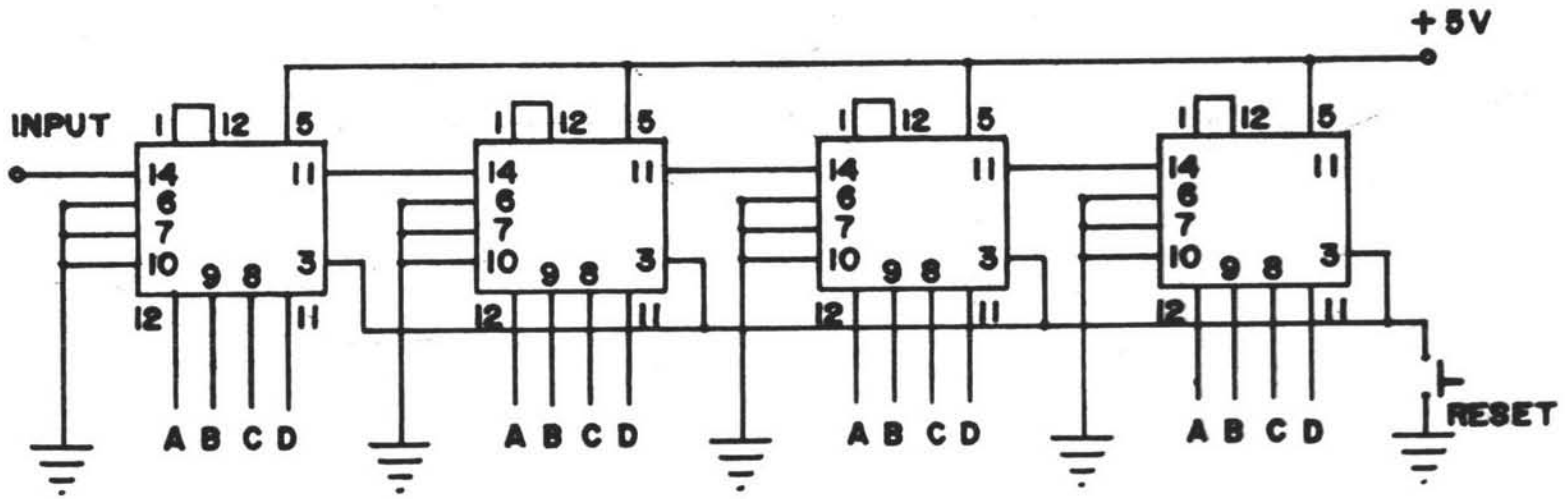
Notes:
(A) Output Q_A is connected to input B for BCD count.
(B) Output Q_D is connected to input A for bi-quinary count.
(C) Output Q_A is connected to input B.

ตารางที่ 4 แสดงตารางตรรกสำหรับการนับ ตั้งแต่ 0 ถึง 9 ของไอซี 7490



Connection Diagrams

รูปที่ 5 แสดง connection diagrams ของไอซี



รูปที่ 6 แสดงการต่อไอซี 7490 แบบ cascade

วงจรดังที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น ได้ถูกสร้างขึ้น 4 หน่วย แต่ละหน่วยใช้รับสัญญาณจากแหล่งรับสัญญาณแต่ละชุดรวม 4 ชุด ที่มีอยู่ที่พนักงาน ดังจะได้กล่าวต่อไปในข้อ 2.6

2.3 การออกแบบและสร้างภาคนับสัญญาณที่ได้

ในภาคนับสัญญาณนี้ได้เลือกใช้ IC 7490 ซึ่งเป็นไอซีวงจรนับที่นิยมใช้ทั่ว ๆ ไป ลักษณะการทำงานของไอซีนี้ เป็นพวก **TTL (Transitor Transitor Logic)** โดยมี **Logic diagram** ดังรูปที่ 4 และข้อมูลจำเพาะดังแสดงไว้ในตารางที่ 2,3[13] ซึ่งจะเห็นว่าภายในตัวไอซีนี้จะประกอบด้วยมาสเตอร์สเลฟฟลิปฟลอบ(**master - slave flip - flops**) จำนวน 4 ตัวต่อกันภายใน[14] เพื่อให้เป็นวงจรนับ 2 หรือหาร 2 และอีกส่วนหนึ่งเป็นวงจรนับ 5 หรือหาร 5 ในวงจรมีส่วนทำหน้าที่รีเซทให้เอาท์พุทกลับมาที่ "0" (**Low state**) ได้ เนื่องจากเอาท์พุทของฟลิปฟลอบไม่ได้ต่อภายในกับภาคข้างเคียง[15] ไอซีนี้ยังอาจใช้เป็นวงจรนับเลขถึง 10 ด้วยรหัส **BCD (Binary Coded Decimal)** โดยอินพุท **B** (ดูรูปที่ 4) จะต้องได้รับการต่อภายนอกกับเอาท์พุท **A**[13] ส่วนอินพุท **A** จะเป็นตัวรับสัญญาณที่จะนับ ในกรณีของการนับ 10 นี้อินพุทจะได้รับการรีเซทเป็น "0" เมื่อการนับถึง 9 โดยมีหลักการทำงานดังนี้ ทุก ๆ 1 พัลส์จากวงจรที่กล่าวมาในข้อ 2.2 จะไป **Trigger** วงจรนับสิบ ทำให้ได้เอาท์พุทออกมาเป็นสัญญาณไบนารี่(**BCD**) โดยมีลักษณะของสัญญาณที่ออกมาจากเอาท์พุทไปตามขาต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางตรรก ดังตารางที่ 4[13] เนื่องจากเรามีความต้องการตัวเลขถึงสี่หลัก เพราะฉะนั้นจึงต้องใช้ IC 7490 ถึง 4 ตัว โดยต่อเอาท์พุท Q_D ของหลักแรกคือขา 11 เข้ากับอินพุทของ Q_A ในหลักต่อไปคือขา 14 เป็นอย่างนี้เรื่อยไปจนครบสี่หลัก ซึ่งเป็นการต่อแบบต่อเนื่อง(**Cascade**) (ดูรูปที่ 6)[16] การเปลี่ยนเลขจะเกิดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะตรรก ณ. จากสภาวะ "1" (**High state**) ไปเป็นสภาวะ "0"(**Low state**) (ซึ่งหมายถึง **Trailing edge triggering**[16])

90A, L90, LS90
RESET/COUNT TRUTH TABLE

RESET INPUTS				OUTPUT			
R0(1)	R0(2)	R9(1)	R9(2)	Q_D	Q_C	Q_B	Q_A
H	H	L	X	L	L	L	L
H	H	X	L	L	L	L	L
X	X	H	H	H	L	L	H
X	L	X	L	COUNT			
L	X	L	X	COUNT			
L	X	X	L	COUNT			
X	L	L	X	COUNT			

H = High Level, L = Low Level, X = Don't Care.

ตารางที่ 5 แสดงตารางความจริงสำหรับการรีเซทไอซี 7490

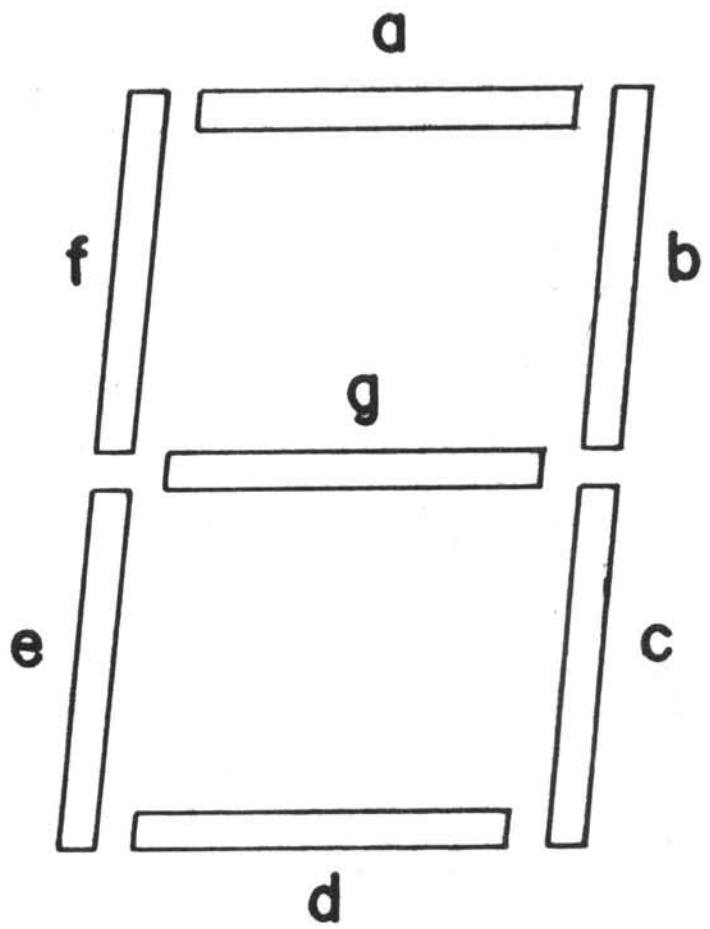
ในการ trigger ให้หลักต่อไปทำงานนั้นเกิดขึ้นได้เพราะในขณะที่นับ 9 เอาท์พุท D จะมีสภาวะเป็น "1" และเมื่อนับ 10 จะถูกรีเซทเป็น "0" การเปลี่ยนระดับแรงดันไฟฟ้าตอออก จาก "1" มาเป็น "0" นี้จะไปกระตุ้นวงจรนับตัวที่สอง (หลักต่อไป) ให้นับหนึ่ง และเพื่อให้วงจรนับเริ่มต้นนับตั้งแต่ 0 เป็นต้นไป จะต้องต่อขารีเซท 6 และ 7 ลงกราวด์เพราะว่าขา 6 และ 7 เป็นรีเซท 9 (13) และต่อขา 2 และ 3 ซึ่งเป็นรีเซท 0 ตามตารางตรรกที่ 5 (13) ซึ่งเป็นตารางตรรกสำหรับรีเซท จากตารางตรรกจะเห็นว่าถ้าต้องการให้มีการนับดำเนินต่อไป เราควรเลือกรีเซทตามตารางตรรกตั้งแต่บรรทัดที่ 4 – 7

2.4 <u>การออกแบบและสร้างภาคแสดงผลเป็นดิจิตอล (Digital) และอนาลอก (Analog)</u>

2.4.1 การแสดงผลเป็นดิจิตอล หลังจากผ่านภาคนับแล้ว สัญญาณเอาท์พุทจะออกมาเป็น BCD ซึ่งทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องถอดรหัส BCD นี้ออกมาแสดงผลให้ปรากฏเป็นตัวเลขบนแผงตัวเลข 7 ส่วน(7 segment numeric display)

2.4.1.1 แผงแสดงตัวเลข 7 ส่วน ในตัวเลขหนึ่งหลักของแผงตัวเลข 7 ส่วนจะประกอบด้วย Light Emitting Diode (LED) 7 ตัว LED คือ ไดโอดชนิดหนึ่งที่ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษ ให้สามารถเปล่งแสงออกมาได้ขณะที่ถูกไบแอสตรง (Forward bias) (17,18) แสงที่ LED จะเปล่งออกมามีได้หลายสี โดยขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสารที่ใช้ทำ LED นั้น ๆ ความสว่างที่เกิดขึ้นก็จะต่างกันไปด้วย สีที่นิยมใช้กันคือ สีแดง, สีเขียว, และสีเหลือง สีอื่นนอกจากนี้ให้ความสว่างน้อยและบางสีก็ต้องใช้วัสดุที่มีราคาแพงมากจึงไม่เป็นที่นิยม (18) สารที่นิยมใช้ทำ LED มีอยู่ 3 ชนิดคือ แกลเลี่ยมอาร์เซไนด์ (GaAs), แกลเลี่ยมฟอสไฟด์ (GaP) และแกลเลี่ยมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ (GaAsP) ซึ่งแยกคุณสมบัติได้ดังนี้

2.4.1.1.1 แกลเลี่ยมอาร์เซไนด์ (GaAs) นิยมใช้ทำ LED ที่เปล่งแสงอินฟราเรด มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็น



รูปที่ 7 แสดงชื่อของส่วนต่าง ๆ บนแผงตัวเลข

PARAMETER			CONDITIONS			DM54/74 46A, 47A MIN	DM54/74 46A, 47A TYP(1)	DM54/74 46A, 47A MAX	DM54/74 48 MIN	DM54/74 48 TYP(1)	DM54/74 48 MAX	UNITS
V_{IH}	High Level Input Voltage					2			2			V
V_{IL}	Low Level Input Voltage				DM54			0.8			0.8	V
					DM74			0.8			0.8	
V_I	Input Clamp Voltage		V_{CC} = Min	I_I = −12 mA				−1.5			−1.5	V
				I_I = −18 mA								
I_{OH}	High Level Output Current	a thru g	V_{CC} = Min, V_{IH} = 2V					−400			−400	µA
		BI/RBO	V_{IL} = Max					−200			−200	
			V_{OH} = 5.5V									
V_{OH}	High Level Output Voltage	a thru g	V_{CC} = Min, V_{IH} = 2V						2.4	4.2		V
		BI/RBO	V_{IL} = Max, I_{OH} = Max			2.4	3.7		2.4	3.7		
I_{OL}	Low Level Output Current	a thru g			DM54			40			6.4	mA
					DM74			40			6.4	
		BI/RBO			DM54			8			8	
					DM74			8			8	
V_{OL}	Low Level Output Voltage	a thru g	V_{IH} = 2V, V_{IL} = Max	I_{OL} = Max	DM54		0.3	0.4		0.27	0.4	V
					DM74		0.3	0.4		0.27	0.4	
		V_{CC} = Max		I_{OL} = Max/2 DM74 Only			N/A			N/A		
		BI/RBO		I_{OL} = Max	DM54		0.27	0.4		0.27	0.4	
					DM74		0.27	0.4		0.27	0.4	
		V_{CC} = Min		I_{OL} = Max/2 DM74 Only			N/A			N/A		
$I_{O(OFF)}$	Off-State Output Current	a thru g	V_{CC} = Max, V_{IH} = 2V, V_{IL} = Max		$V_{O(OFF)}$ = Max			0.25				mA
					V_O = 0.85V				−1.3	−2		
$V_{O(OFF)}$	Off-State Output Voltage	a thru g			46A			30				V
					Others			15			5.5	
I_I	Input Current at Maximum Input Voltage	Any Input except BI/RBO	V_{CC} = Max	V_I = 5.5V				1			1	mA
				V_I = 7V								
		BI/RBO		V_I = 7V								
I_{IH}	High Level Input Current	Any Input Except BI/RBO	V_{CC} = Max	V_I = 2.4V				40			40	µA
				V_I = 2.7V								
		BI/RBO		V_I = 2.7V								
I_{IL}	Low Level Input Current	Any Input Except BI/RBO	V_{CC} = Max, V_I = 0.4V					−1.6			−1.6	mA
		BI/RBO						−4			−4	
I_{OS}	Short Circuit Output Current	BI/RBO	V_{CC} = Max					−4			−4	mA
I_{CC}	Supply Current		V_{CC} = Max(2)		DM54		60	85		50	76	mA
					DM74		80	103		50	90	

ตารางที่ 6 แสดง electrical characteristics ของไอซี 7447

Truth Tables

DECIMAL OR FUNCTION	INPUTS						BI/RBO(1)	OUTPUTS							NOTE
	LT	RBI	D	C	B	A		a	b	c	d	e	f	g	
0	H	H	L	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	H	
1	H	X	L	L	L	H	H	H	L	L	H	H	H	H	
2	H	X	L	L	H	L	H	L	L	H	L	L	H	L	
3	H	X	L	L	H	H	H	L	L	L	L	H	H	L	
4	H	X	L	H	L	L	H	H	L	L	H	H	L	L	
5	H	X	L	H	L	H	H	L	H	L	L	H	L	L	
6	H	X	L	H	H	L	H	H	H	L	L	L	L	L	
7	H	X	L	H	H	H	H	L	L	L	H	H	H	H	
8	H	X	H	L	L	L	H	L	L	L	L	L	L	L	(2)
9	H	X	H	L	L	H	H	L	L	L	H	H	L	L	

Notes

(1) BI/RBO is wire-AND logic serving as blanking input (BI) and/or ripple-blanking output (RBO).

(2) The blanking input (BI) must be open or held at a high logic level when output functions 0 through 15 are desired. The ripple-blanking input (RBI) must be open or high if blanking of a decimal zero is not desired.

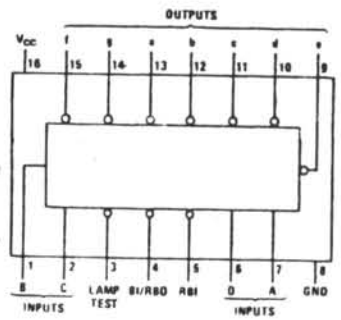
(3) When a low logic level is applied directly to the blanking input (BI), all segment outputs are H regardless of the level of any other input.

(4) When ripple-blanking input (RBI) and inputs A, B, C, and D are at a low level with the lamp test input high, all segment outputs go H and the ripple-blanking output (RBO) goes to a low level (response condition).

(5) When the blanking input/ripple blanking output (BI/RBO) is open or held high and a low is applied to the lamp-test input, all segment outputs are L.

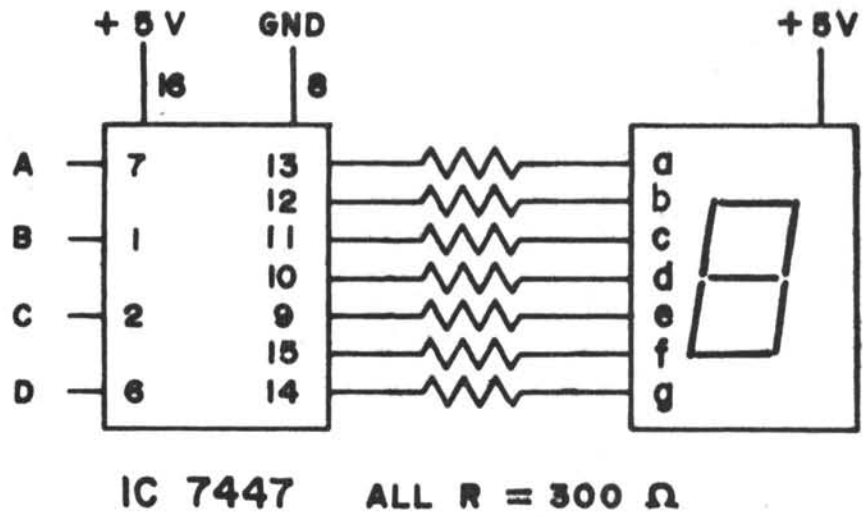
H = High Level, L = Low Level, X = Don't Care

ตารางที่ 7 แสดงตารางตรรกการทำงานของไอซี 7447

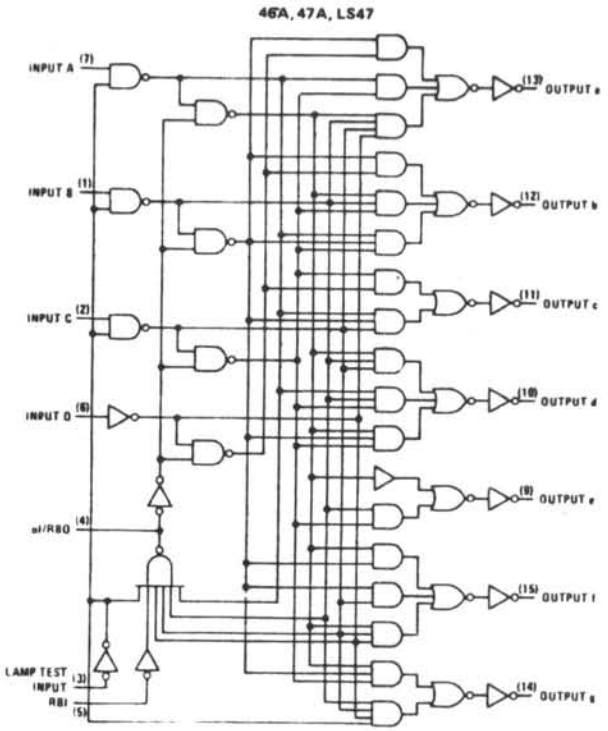


Connection Diagrams

รูปที่ 8 แสดง connection diagrams ของไอซี 7447



รูปที่ 9 แสดงการต่อไอซี 7447 กับแผงตัวเลข 7 ส่วน



Logic Diagrams

รูปที่ 10 แสดง logic diagrams ของไอซี 7447

พลังงานแสงอินฟราเรดได้สูงมากคือสูงถึง 70 % ดังนั้นแรงดันไบแอสตรงจึงต้องการไม่มากนัก (1.2 – 1.3 โวลท์)[17,18]

2.4.1.1.2 แกลเลี่ยมฟอสไฟด์(GaP) นิยมใช้ทำ LED ที่เปล่งแสงสีเขียวและเหลือง มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานต่ำมาก จึงจำเป็นต้องใช้แรงดันไบแอสตรงสูงมาก โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วง 2.0 ถึง 4.5 โวลท์[18]

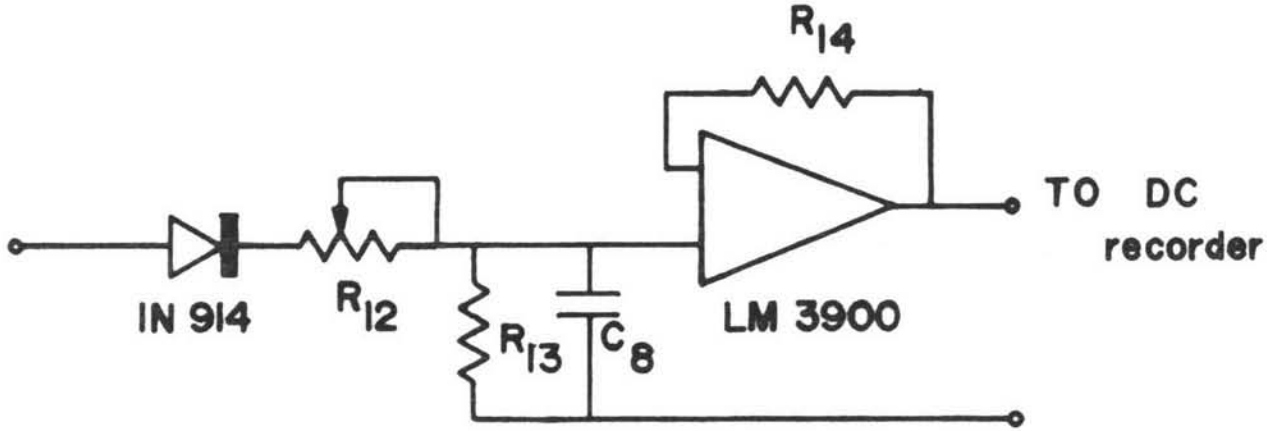
2.4.1.1.3 แกลเลี่ยมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์(GaAsP) นิยมใช้ทำ LED ที่เปล่งแสงสีแดง มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานปานกลาง จึงใช้แรงดันไบแอสตรงปานกลาง คืออยู่ระหว่าง 1.2 – 2.0 โวลท์[18]

ในแผงตัวเลข LED 7 ส่วน แต่ละส่วนคือ LED 1 ตัว เมื่อต้องการให้ส่วนใดส่วางก็ป้อนแรงดันและกระแสไฟให้แก่ส่วนนั้น เพื่อความสะดวกในการเรียกชื่อแต่ละส่วน จึงกำหนดชื่อเรียกเป็น a, b, c, d, e, f , g ดังแสดงไว้ในรูปที่ 7 แผงตัวเลข LED 7 ส่วนจะมี 2 แบบ คือ[18,19]

ก. แบบอาโนดร่วม(Common Anode Type)[19, 20]

ข. แบบคาโถดร่วม(Common Cathode Type)[19, 20]

2.4.1.2 การถอดรหัสและแสดงผลเป็นตัวเลข(Decoder and 7 - segment display driver) เมื่อเราจะเปลี่ยนรหัส BCD ให้ออกมาเป็นเลขฐานสิบ โดยแสดงผลบนแผงตัวเลข เราก็จะต้องมีวงจรถอดรหัส(decoder) และวงจรขับ(driver) เพื่อทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟเลี้ยงให้ได้มากเท่าที่ LED ต้องการ[20] ในปัจจุบันได้นิยมสร้างวงจรถอดรหัสและวงจรขับลงบนไอซีเดียวกัน และเรียกชื่อไอซีตัวนี้ตามหน้าที่การทำงานว่า BCD - to - 7 - segment decoder/driver[20,21] ซึ่งหมายความว่าทำหน้าที่ถอดรหัสจาก BCD ให้อยู่ในรูปที่ใช้กับแผงตัวเลข 7 ส่วนได้และมีวงจรขับอยู่ในตัว ดิจิตอลไอซีที่ใช้คือหมายเลข 7447 ซึ่งเป็นไอซีที่ใช้กับแผงเลข 7 ส่วนแบบอาโนดร่วม การทำงานของไอซีจะเป็นไปตามตารางตรรกที่ 7[22] การต่อไอซีเข้ากับแผงตัวเลข 7 ส่วน ทำตามรูปที่ 8 – 9[20]



รูปที่ 11 แสดงวงจรของภาคอนาลอก

PARAMETER	CONDITIONS	LM3900			UNITS
		MIN	TYP	MAX	
Power Supply Rejection	T_A = 25°C, f = 100 Hz		70		dB
Mirror Gain	@ 20μA (Note 3)	0.90	1.0	1.1	μA/μA
	@ 200μA (Note 3)	0.90	1.0	1.1	μA/μA
ΔMirror Gain	@ 20μA To 200μA (Note 3)		2	5	%
Mirror Current	(Note 4)		10	500	μA_{DC}
Negative Input Current	T_A = 25°C (Note 5)		1.0		mA_{DC}
Voltage Gain	f = 100 Hz				V/mV
Input Bias Current	Inverting Input				nA
Open Loop					
Voltage Gain					V/mV
Voltage Gain	T_A = 25°C, f = 100 Hz	1.2	2.8		V/mV
Input Resistance	T_A = 25°C, Inverting Input		1		MΩ
Output Resistance			8		kΩ
Unity Gain Bandwidth	T_A = 25°C, Inverting Input		2.5		MHz
Input Bias Current	T_A = 25°C, Inverting Input		30	200	nA
	Inverting Input				nA
Slew Rate	T_A = 25°C, Positive Output Swing		0.5		V/μs
	T_A = 25°C, Negative Output Swing		20		V/μs
Supply Current	T_A = 25°C, R_L = ∞ On All Amplifiers		6.2	10	mA_{DC}
Output Voltage Swing	T_A = 25°C, R_L = 2k, V_{CC} = 15.0 V_{DC}				
V_{OUT} High	I_{IN}^- = 0, I_{IN}^+ = 0	13.5			V_{DC}
V_{OUT} Low	I_{IN}^- = 10μA, I_{IN}^+ = 0		14.2	0.2	V_{DC}
V_{OUT} High	I_{IN}^- = 0, I_{IN}^+ = 0 R_L = ∞, V_{CC} = 30 V_{DC}		0.09		V_{DC}
Output Current Capability	T_A = 25°C				
Source		8	10		mA_{DC}
Sink	(Note 2)	0.8	1.3		mA_{DC}
I_{SINK}	V_{OL} = 1V, I_{IN} = 5μA		5		mA_{DC}

absolute maximum ratings

	LM2900/LM3900
Supply Voltage	32 V_{DC}
	±16 V_{DC}
Power Dissipation (T_A = 25°C) (Note 1)	
Cavity DIP	900 mW
Flat Pack	800 mW
Molded DIP	570 mW
Input Currents, I_{IN}^+ or I_{IN}^-	20 mA_{DC}
Output Short-Circuit Duration — One Amplifier	Continuous
T_A = 25°C (See Application Hints)	
Operating Temperature Range	
LM2900	−40°C to +85°C
LM3900	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	−65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

Note 1: For operating at high temperatures, the device must be derated based on a 125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 175°C/W which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient.

Note 2: The output current sink capability can be increased for large signal conditions by overdriving the inverting input. This is shown in the section on Typical Characteristics.

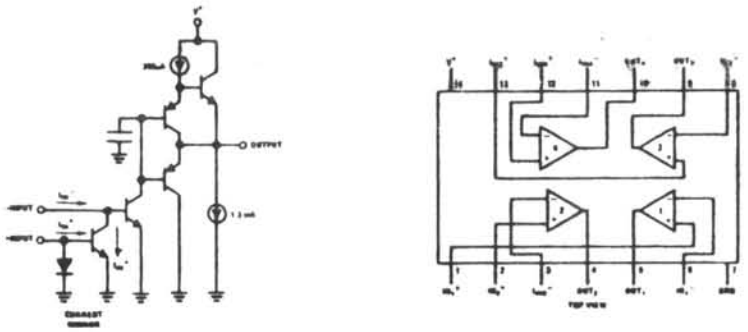
Note 3: This spec indicates the current gain of the current mirror which is used as the non-inverting input.

Note 4: Input V_{BE} match between the non-inverting and the inverting inputs occurs for a mirror current (non-inverting input current) of approximately 10μA. This is therefore a typical design center for many of the application circuits.

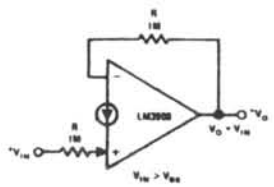
Note 5: Clamp transistors are included on the IC to prevent the input voltages from swinging below ground more than approximately −0.3 V_{DS}. The negative input currents which may result from large signal overdrive with capacitance input coupling need to be externally limited to values of approximately 1 mA. Negative input currents in excess of 4 mA will cause the output voltage to drop to a low voltage. This maximum current applies to any one of the input terminals. If more than one of the input terminals are simultaneously driven negative smaller maximum currents are allowed. Common-mode current biasing can be used to prevent negative input voltages; see for example, the "Differentiator Circuit" in the applications section.

Note 6: These specs apply for −65°C ≤ T_A ≤ +125°C, unless otherwise stated.

ตารางที่ 8 แสดง electrical characteristics ของไอซี 3900



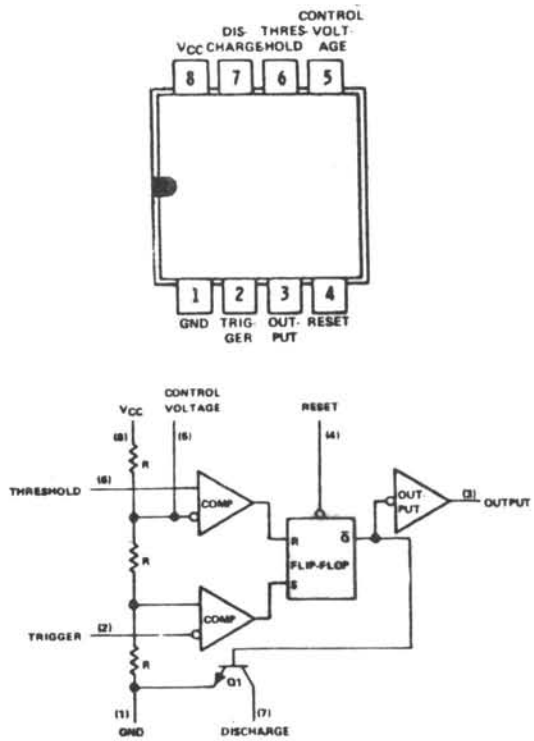
schematic and connection diagrams



A Unity-gain DC Buffer Amplifier

รูปที่ 12 แสดง Schematic diagrams connection diagrams และวงจร

ขยายผันฐานแบบ Unity-gain DC Buffer Amplifier



functional block diagram

รูปที่ 13 แสดง block diagrams ของไอซี 555

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

Supply voltage, V_{CC} (see Note 1)	18 V
Input voltage (control voltage, reset, threshold, trigger)	V_{CC}
Output current	±225 mA
Continuous total dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (see Note 2)	600 mW
Operating free-air temperature range: SN52555	−55°C to 125°C
SN72555	0°C to 70°C
Storage temperature range	−65°C to 150°C
Lead temperature 1/16 inch from case for 60 seconds: JP or L package	300°C
Lead temperature 1/16 inch from case for 10 seconds: P package	260°C

NOTES: 1. All voltage values are with respect to network ground terminal.
2. For operation above 25°C free-air temperature, refer to Dissipation Derating Curve, Figure 1.

recommended operating conditions

	SN52555			SN72555			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	4.5		18	4.5		16	V
Input voltage, V_I (control voltage, reset, threshold, trigger)			V_{CC}			V_{CC}	V
Output Current, I_O			±200			±200	mA
Operating free-air temperature, T_A	−55		125	0		70	°C

electrical characteristics at 25°C free-air temperature, V_{CC} = 5 V to 15 V (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS		SN52555			SN72555			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Threshold voltage level as a percentage of supply voltage				66.7			66.7		%
Threshold current (see Note 3)				0.1	0.25		0.1	0.25	μA
Trigger voltage level	V_{CC} = 15 V		4.8	5	5.2		5		V
	V_{CC} = 5 V		1.45	1.67	1.9		1.67		
Trigger current				0.5			0.5		μA
Reset voltage level			0.4	0.7	1	0.4	0.7	1	V
Reset current				0.1			0.1		mA
Control voltage (open-circuit)	V_{CC} = 15 V		9.6	10	10.4	9	10	11	V
	V_{CC} = 5 V		2.9	3.3	3.8	2.6	3.3	4	
Low-level output voltage	V_{CC} = 15 V	I_{OL} = 10 mA		0.1	0.15		0.1	0.25	V
		I_{OL} = 50 mA		0.4	0.5		0.4	0.75	
		I_{OL} = 100 mA		2	2.2		2	2.5	
		I_{OL} = 200 mA		2.5			2.5		
	V_{CC} = 5 V	I_{OL} = 5 mA		0.1	0.25				
		I_{OL} = 8 mA					0.16	0.35	
High-level output voltage	V_{CC} = 15 V	I_{OH} = −100 mA	13	13.3		12.75	13.3		V
		I_{OH} = −200 mA		12.5			12.5		
	V_{CC} = 5 V	I_{OH} = −100 mA	3	3.3		2.75	3.3		
Supply current	Output low, No load	V_{CC} = 15 V		10	12		10	15	mA
		V_{CC} = 5 V		3	5		3	6	
	Output high, No load	V_{CC} = 15 V		9	11		9	14	
		V_{CC} = 5 V		2	4		2	5	

NOTE 3: This parameter influences the maximum value of the timing resistors R_A and R_B. For example when V_{CC} = 5 V the maximum value is $R = R_A + R_B \approx 20$ MΩ.

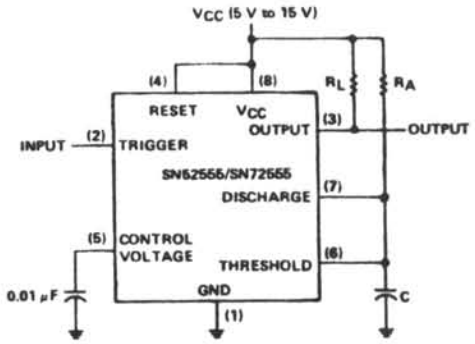
operating characteristics, V_{CC} = 5 V and 15 V

PARAMETER	TEST CONDITIONS†		SN52555			SN72555			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Initial accuracy of timing interval	R_A = 1 kΩ to 100 kΩ,	T_A = 25°C		0.5	2		1		%
Temperature coefficient of timing interval	R_B = 0 to 100 kΩ,	T_A = MIN to MAX		30			50		ppm/°C
Supply voltage sensitivity of timing interval	C = 0.1 μF	T_A = 25°C		0.005	0.02		0.01		%/V
Output pulse rise time	C_L = 15 pF,	T_A = 25°C		100			100		ns
Output pulse fall time				100			100		ns

†For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

ตารางที่ 9 แสดงข้อมูลจำเพาะของไอซี 555

I16887534



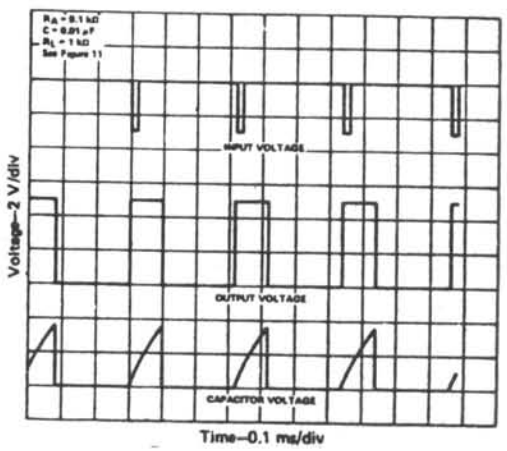
CIRCUIT FOR MONOSTABLE OPERATION

รูปที่ 14 แสดงวงจรเบื้องต้นสำหรับวงจรโมโนสเตเบิลของไอซี 555

2.4.2 การแสดงผลเป็นอนาลอก เนื่องจากในการทดลองบางครั้งเราจำเป็นต้องมีการบันทึกผลการทดลองบนกระดาษ เพราะฉะนั้นเครื่องมือนี้จึงต้องมีสัญญาณออกที่เหมาะสมกับเครื่องบันทึก(Recorder) วงจรของภาคนี้แสดงไว้ในรูปที่ 11 วงจรประกอบด้วยวงจรอินติเกรติ้ง(Integrating circuit) ซึ่งประกอบด้วยตัวความต้านทาน(Resistor) และตัวเก็บประจุ(Capacitor) ต่อขนานกัน และวงจรขยายพัลส์ที่ได้จากภาครับสัญญาณจะผ่านเข้าวงจรอินติเกรติ้งที่มีค่าเวลาคงที่ (Time constant) 50 วินาที[23] จากนั้นจึงผ่านสัญญาณที่ได้เข้าวงจรขยายชนิด Signal follower output ซึ่งใช้ไอซี op amp LM 3900 (มีข้อมูลจำเพาะตามตารางที่ 8 และมีแบบวงจรขยายพื้นฐาน ตามรูปที่ 12)[24, 25]

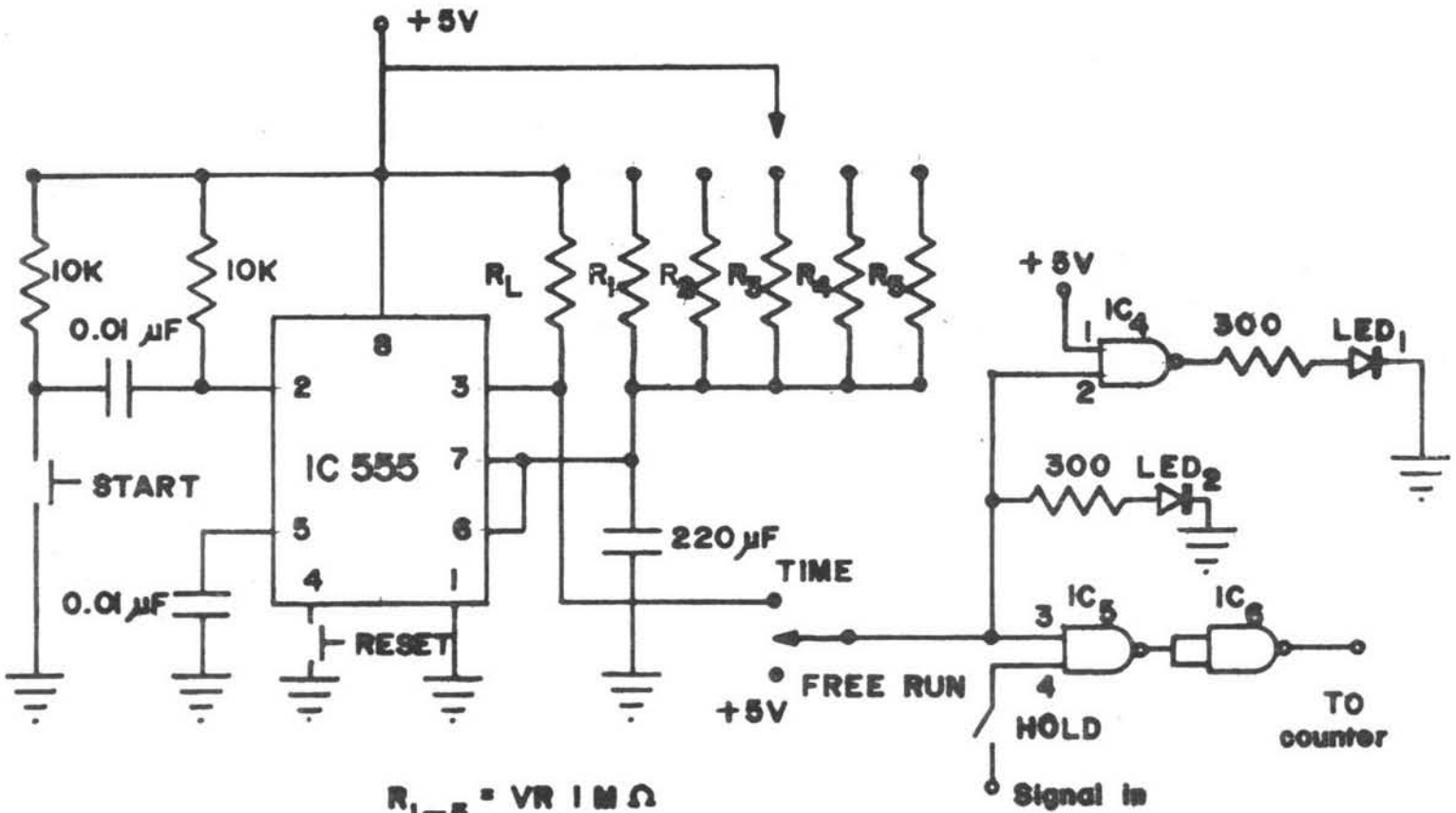
2.5 <u>การออกแบบและสร้างภาคไทมมิ่ง(Timing) และสวิชชิ่ง(Switching)</u>

ภาคนี้มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องมือให้อยู่ในช่วงเวลาที่เราต้องการ วงจรที่มีหน้าที่กำหนดเวลาตามที่ต้องการคือวงจร Timing จะมีลักษณะเป็นวงจรมัลติ-ไวเบรเตอร์(Multivibrator) แบบโมโนสเตเบิล(Monostable) ในการออกแบบได้เลือกใช้ IC 555 ซึ่งมี Block diagrams ตามรูปที่ 13[26] และมีข้อมูลจำเพาะดังแสดงไว้ในตารางที่ 9[27] วงจรเบื้องต้นสำหรับโมโนสเตเบิลที่ใช้ IC 555 แสดงไว้ในรูปที่ 14[28] วงจรนี้จะสร้างพัลส์ที่มีความกว้างเป็นเวินาทีเท่ากับ $R_A.C$ (Ohm x farad) (คือค่าเวลาคงตัว) การทำงานของวงจรจะเริ่มจากเมื่อมี negative pulse เข้าไปที่ขา trigger (ขา 2) โดยวงจรกำเนิด negative pulse นี้มีลักษณะเป็น RC Differentiator trigger pulse ที่ได้จะสั่งเริ่มการทำงานของวงจรฟลิปฟลอบ โดย Q_1 (ที่มีอยู่ภายใน IC 555 ดูรูปที่ 13 จะปิดวงจรทำให้แรงดันไฟเอาท์พุทอยู่ระดับสูง ("1") ขณะเดียวกันตัวเก็บประจุจะเริ่มเก็บประจุ (charge) ผ่าน R_A ด้วยเวลาคงตัวเท่ากับ $R_A.C$ วินาที เมื่อแรงดันไฟตกคลอมตัวเก็บประจุถึงแรงดันไฟ Threshold ของวงจร comparator[28, 29] วงจรฟลิปฟลอบจะถูกรีเซท[28] ทำให้ Q_1 ถูกกระตุ้นและตัวเก็บประจุจะเกิดการ



TYPICAL MONOSTABLE WAVEFORMS

รูปที่ 15 แสดง typical monostable waveforms ของไอซี 555



รูปที่ 16 แสดงวงจรของภาคไทมมิ่งและสวิชชิ่ง

PARAMETER		CONDITIONS			DM54/74			UNITS
					00, 04 10, 20, 30			
					MIN	TYP(1)	MAX	
V_{IH}	High Level Input Voltage				2			V
V_{IL}	Low Level Input Voltage			DM54			0.8	V
				DM74			0.8	
V_I	Input Clamp Voltage	V_{CC} = Min	I_I = −8 mA					V
			I_I = −12 mA				−1.5	
			I_I = −18 mA					
I_{OH}	High Level Output Current						−400	μA
V_{OH}	High Level Output Voltage	V_{CC} = Min, V_{IL} = Max, I_{OH} = Max		DM54	2.4	3.4		V
				DM74	2.4	3.4		
I_{OL}	Low Level Output Current			DM54			16	mA
				DM74			16	
V_{OL}	Low Level Output Voltage	V_{CC} = Min, V_{IH} = 2V	I_{OL} = Max	DM54		0.2	0.4	V
				DM74		0.2	0.4	
			I_{OL} = 4 mA	DM74				
I_I	Input Current at Maximum Input Voltage	V_{CC} = Max	V_I = 5.5V				1	mA
			V_I = 7V					
I_{IH}	High Level Input Current	V_{CC} = Max	V_I = 2.4V				40	μA
			V_I = 2.7V					
I_{IL}	Low Level Input Current	V_{CC} = Max	V_I = 0.3V					mA
			V_I = 0.4V	LS30				
				Others			−1.6	
			V_I = 0.5V					
I_{OS}	Short Circuit Output Current	V_{CC} = Max(2)		DM54	−20		−55	mA
				DM74	−18		−55	
I_{CC}	Supply Current	V_{CC} = Max			See Table			

Notes

(1) All typical values are at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C.

(2) Not more than one output should be shorted at a time, and for DM54H/DM74H, DM54LS/DM74LS and DM74S, duration of short circuit should not exceed one second.

(3) National Semiconductor temporarily reserves the right to ship DM54/DM74L900, LS04, LS10, LS20, LS30 devices which have a minimum I_{OS} = 5.0 mA.

Switching Characteristics at V_{CC} = 5V, T_A = 25°C

DEVICE	CONDITIONS	t_{PLH} (ns) Propagation Delay Time, Low-To-High Level Output			t_{PHL} (ns) Propagation Delay Time, High-To-Low Level Output		
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX
00, 10	C_L = 15 pF, R_L = 400Ω		11	22		7	15
04, 20			12	22		8	15
30			13	22		8	15

Supply Currents

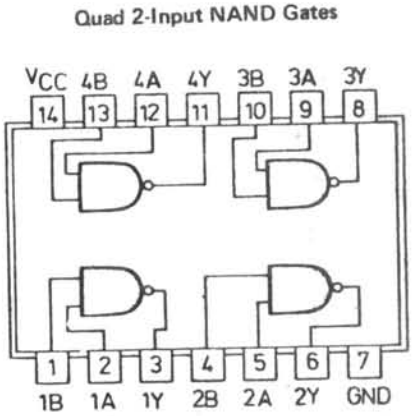
DEVICE	I_{CCH} (mA) Total With Outputs High		I_{CCL} (mA) Total With Outputs Low	
	TYP	MAX	TYP	MAX
00	4	8	12	22

ตารางที่ 10 แสดงข้อมูลจำเพาะของไอซี 7400

ตารางความจริงของ NAND Gate

A	B	X
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

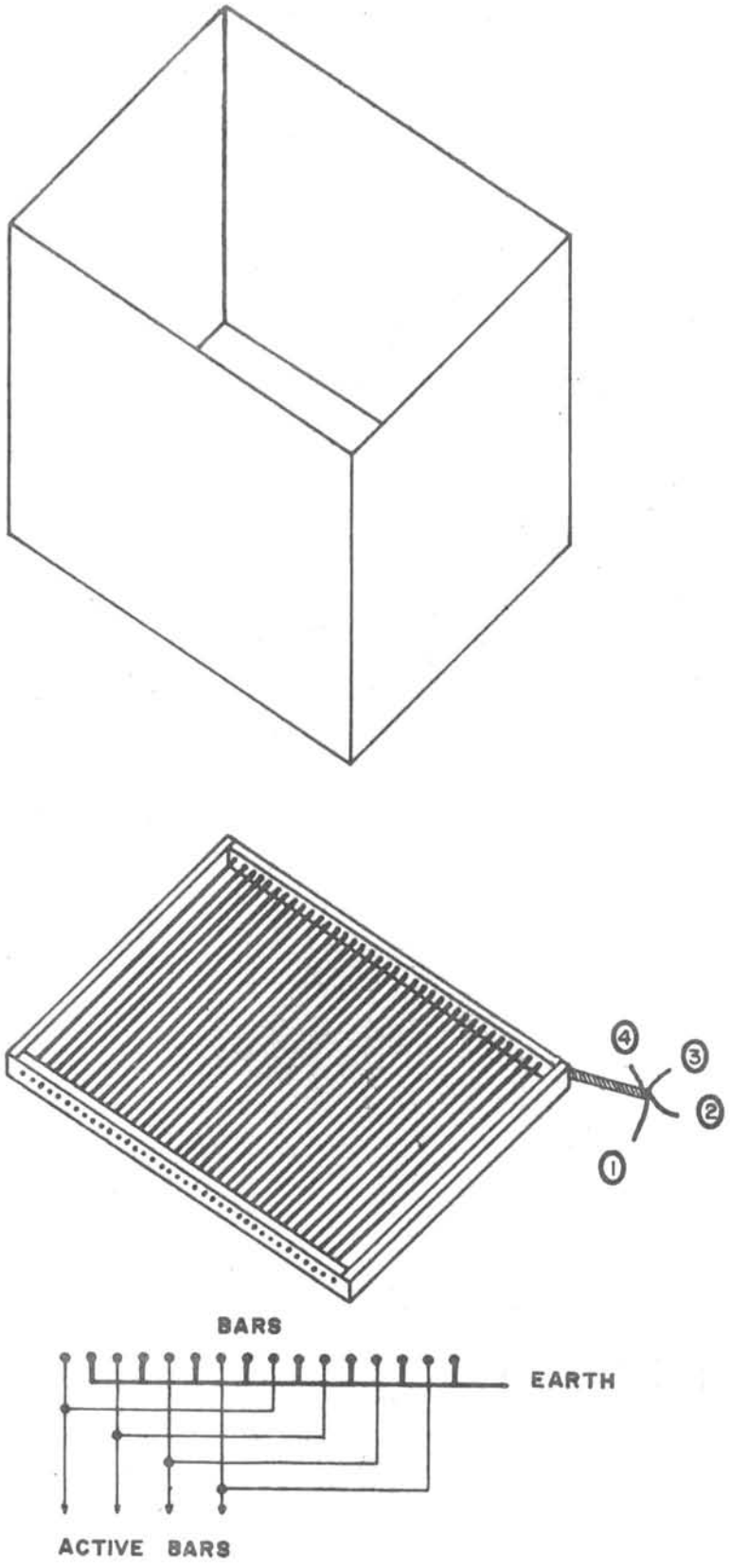
ตารางที่ 11 แสดงตารางความจริงของ NAND Gate



รูปที่ 17 แสดง connection diagrams ของไอซี 7400

คายประจุ(Discharge) ทำให้แรงดันไฟเอาท์พุทลดลงสู่ระดับต่ำ ("0") [28] รูปคลื่น (Wave form) ต่าง ๆ ที่เกิด แสดงไว้ในรูปที่ 15[28] ในวงจรที่สร้างขึ้นได้กำหนดตัวเก็บประจุให้มีค่าเท่ากับ 220 μF แล้วจึงค่อยปรับค่าความต้านทาน R (มีค่าปรับได้เท่ากับ 0 – 1 MΩ) แต่ละตัว เพื่อจัดคาบความยาวของระดับแรงดันที่ออกมาให้มีระยะเวลาต่าง ๆ ตามที่ต้องการ ซึ่งได้แก่ 1, 2, 3, 4, และ 5 นาที ตามลำดับวงจรข้อ 2.5 นี้แสดงไว้ในรูปที่ 16

ส่วนภาคควบคุมการนับ(Switching) เราเลือกใช้ IC 7400 ซึ่งเป็นไอซีที่ทำหน้าที่เป็น NAND Gate 4 ตัว แยกกันโดยอิสระและอยู่บนไอซีตัวเดียวกัน ไอซีนี้มีข้อมูลจำเพาะตามตารางที่ 10[30] และมีตารางตรรกตามตารางที่ 11[31] จุดประสงค์ที่จะต้องมีภาคนี้เพื่อความสะดวกของผู้ใช้เครื่องมือนี้ คือเมื่อภาคนับทำการนับถึงเวลาที่เรากำหนดก็จะหยุดพร้อมทั้งมีสัญญาณแจ้งว่าครบกำหนดเวลาที่เราต้องการ(Hold) นอกจากนี้ขณะที่การนับดำเนินอยู่ก็ยังจะมีสัญญาณแจ้งว่า ในขณะนี้กำลังให้ภาคนับทำงานอยู่ (Run) โดยมีวงจรดังแสดงไว้ในรูปที่ 16 และการทำงานของวงจรมีดังนี้คือ ที่ IC_4 เมื่อมีสัญญาณ "1" (High หรือ 5 โวลท์) จากวงจรเวลาเข้าที่อินพุท 2 และที่อินพุท 1 มีสัญญาณ "1" (แรงดันไฟ 5 โวลท์ที่เราต่อไว้) เอาท์พุทจะเป็น "0" (ตามตารางตรรกของ NAND Gate) จึงทำให้ไม่มีแรงดันไฟตกคล่อม LED_1 LED_1 จึงจะไม่ติดแต่เมื่อไม่มีสัญญาณจากวงจรเวลา เอาท์พุทของ IC_4 จะเป็น "1" ทำให้มีแรงดันไฟตกคล่อม LED_1 ทำให้ LED_1 เปล่งแสงออกมาได้ ที่ IC_5 เมื่อมีสัญญาณ "1" จากวงจรเวลาเข้าที่อินพุท 3 และที่อินพุท 4 มีสัญญาณพัลส์ที่เราต้องการนับ ซึ่งมาจากวงจรรับสัญญาณ (ข้อ 2.1 และข้อ 2.2) เอาท์พุทที่ออกจาก IC_5 จะเป็น "0" แต่เมื่อไม่มีพัลส์มาที่อินพุท 4 ค่าเอาท์พุทของ IC_5 ก็จะเป็น "1" และเมื่อสัญญาณจาก IC_5 นี้ถูกส่งเข้า IC_6 จะถูกกลับเฟส(phase) ทั้งหมด การทำดังนี้เท่ากับว่าได้ดัดแปลง IC_6 ซึ่งเป็น NAND gate ให้เป็นอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้พัลส์ที่ออกจาก IC_6 อยู่ในเฟสเดียวกันกับพัลส์จากวงจรรับสัญญาณ(ข้อ 2.1 และข้อ 2.2) แล้วพัลส์ที่ได้จาก IC_6 ก็จะ

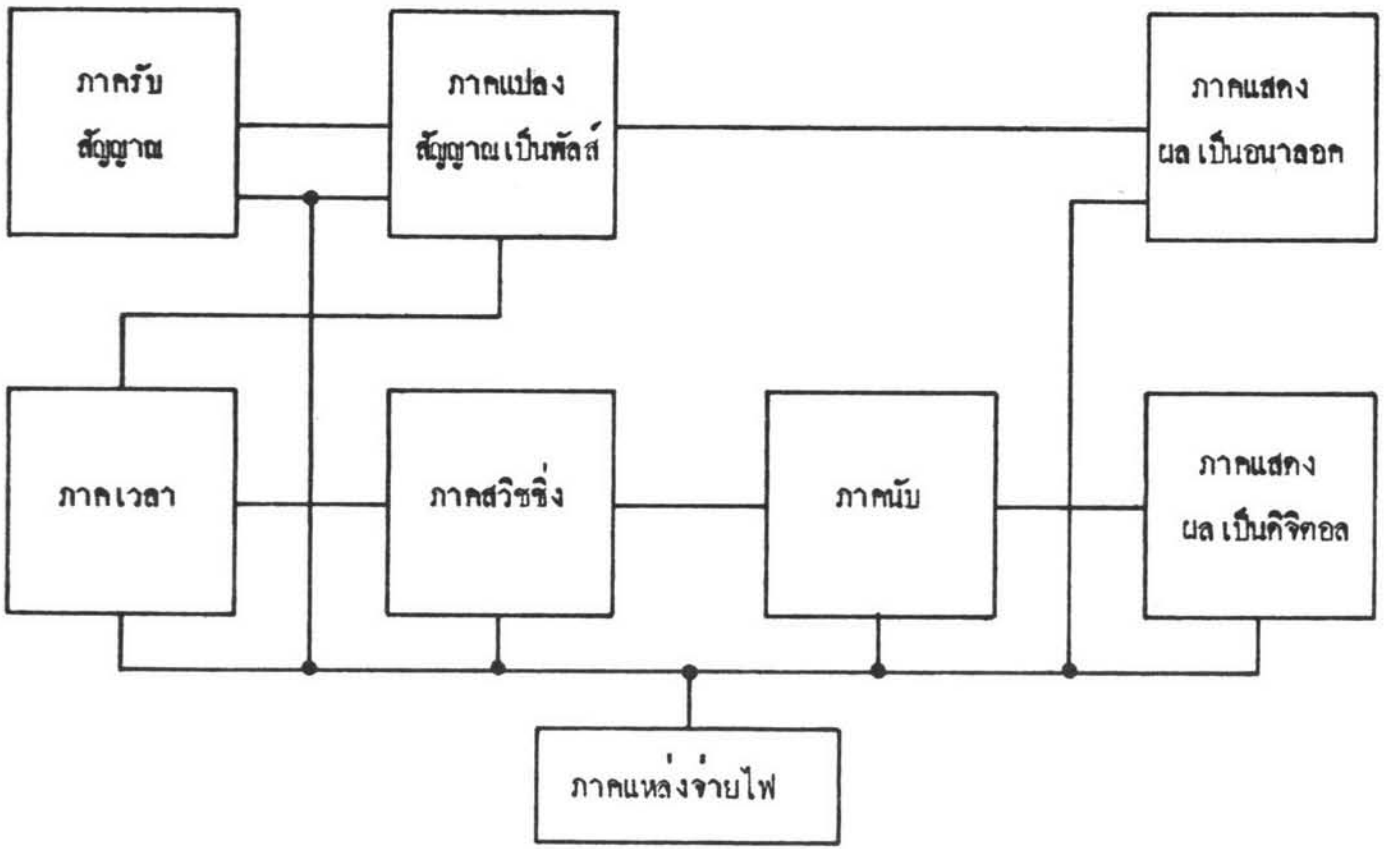


รูปที่ 18 แสดงรูปทรงและการต่อสายรับสัญญาณยับยั้งชวด

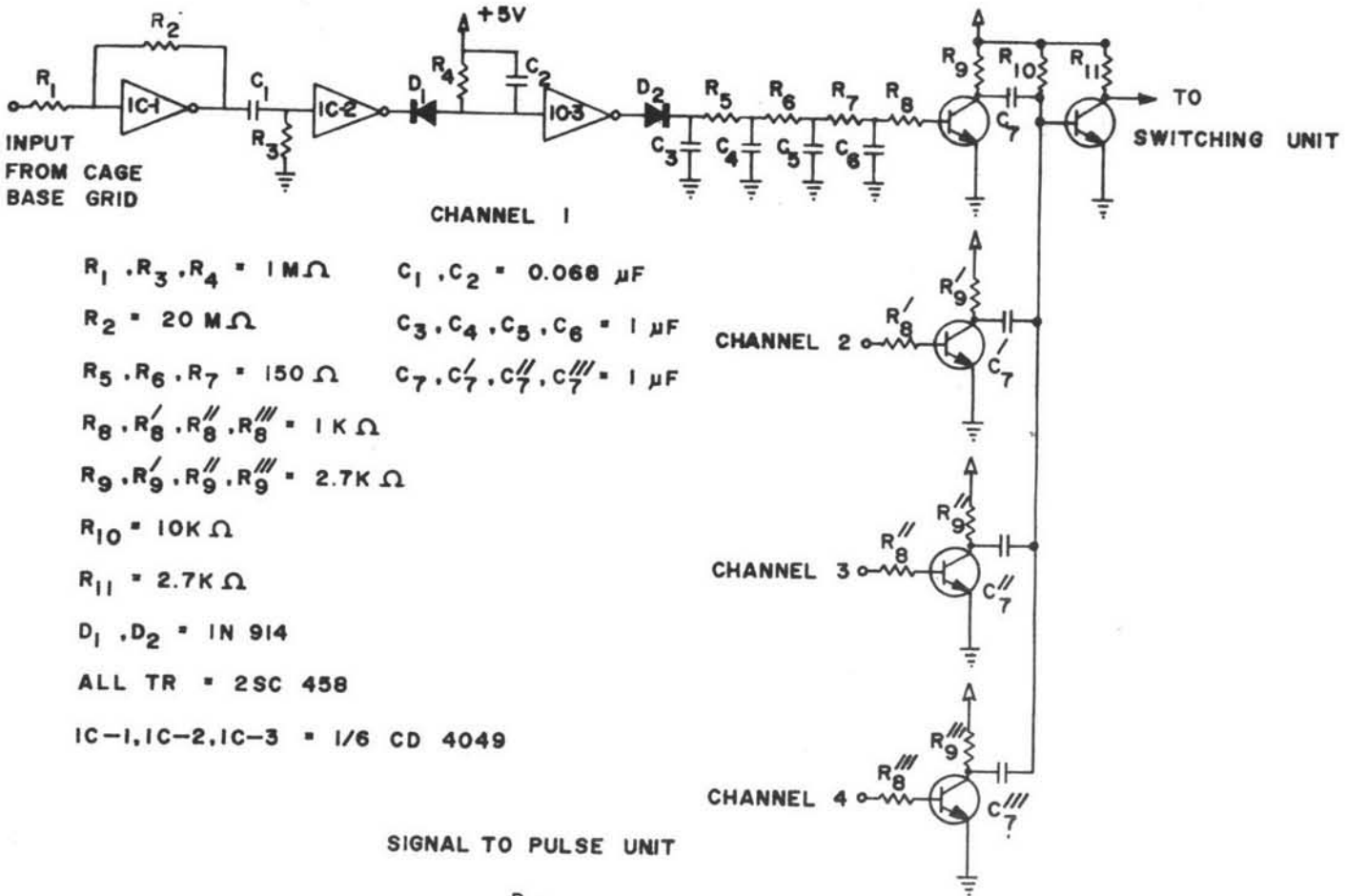
ถูกป้อนเข้าสู่วงจรนับอีกต่อหนึ่ง เมื่อครบเวลาที่เราตั้งไว้ อินพุท 3 ของ IC_5 จะเป็น "0" ส่วนที่อินพุท 4 นั้นแม้ว่าจะเป็น "1" ซึ่งทำให้เอาท์พุทอยู่ในสภาวะเป็น "1" แต่เมื่อผ่านอินเวอร์เตอร์แล้วก็จะถูกกลับเป็น "0" หรือถ้าอินพุท 4 เป็น "0" เอาท์พุทก็จะยังคงเป็น "1" ซึ่งจะถูกอินเวอร์เตอร์กลับให้เป็น "0" อีกเช่นกัน เพราะฉะนั้นเมื่อครบเวลาที่ตั้งไว้ ก็จะไม่มีสัญญาณออกจากภาคสวิชชิ่งเข้าภาคนับ ทำให้ภาคแสดงตัวเลขคงตัวเลขที่นับได้ครั้งสุดท้ายไว้ นอกจากนี้เรายังต่อ LED_2 เพื่อแสดงให้เห็นว่าการส่งพัลส์เข้าภาคนับดำเนินอยู่ โดยอาศัยสัญญาณที่ออกจากวงจรตั้งเวลาหรือแรงดันไฟ 5 โวลท์จากสวิช เมื่อเราเลื่อนสวิชมายัง **Free run** ซึ่งจะใช้ในกรณีที่เราต้องการให้มีการนับอยู่ตลอดเวลา การเลื่อนสวิชมาที่ **Free run** ทำให้ที่อินพุท 3 ของ IC_5 มีสัญญาณ "1" อยู่ตลอดเวลา

2.6 <u>การสร้างกรง(Activity cage)</u>

การออกแบบเราแบ่งกรงออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนฐานและส่วนโครงปิดตามรูปที่ 18 ขนาดของกรงที่สร้างขึ้นใช้คือ 30 x 40 x 30 ซม.$^{(2)}$ ซึ่งเป็นขนาดที่พอเหมาะสำหรับสัตว์ทดลองขนาดเล็กเช่นหนูถีบจักร์และหนูขาวเป็นต้น ส่วนฐานมีพื้นเป็นซี่ลวดวางขนานกันบนกรอบพลาสติค มีระยะห่างระหว่างซี่ 0.9 ซม. เหตุที่ใช้ซี่ลวดเนื่องจากขณะทำการทดลอง สัตว์ทดลองอาจมีการถ่ายปัสสาวะและอุจจาระได้ เพราะฉะนั้นถ้าเป็นซี่ลวดทั้งปัสสาวะและอุจจาระจะตกลงข้างล่างทำให้ไม่สังเกตและเป็นที่น่ารำคาญแก่สัตว์ทดลองได้ การต่อสายรับสัญญาณได้ต่อเข้ากับซี่ลวดซี่เว้นซี่ แล้วต่อเชื่อมสายรับสัญญาณ โดยเว้นห่างกัน 4 เส้น โดยเส้นที่ 1 จะเชื่อมกับเส้นที่ 5, 9, 13, 17 และ 21 ส่วนเส้นที่ 2 ก็จะเชื่อมกับเส้นที่ 6, 10, 14 และ 18 เส้นที่ 3 ก็จะเชื่อมกับเส้นที่ 7, 11, 15, 19 และเส้นที่ 4 ก็จะเชื่อมกับเส้นที่ 8, 12, 16 และ 20 ดังรูปที่ 18 ทำให้ได้ซี่ลวดที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากสัตว์ทดลองแบ่งกันได้เป็น 4 ชุด แต่ละชุดจะต่อเข้ากับอินพุทของวงจรในข้อ 2.1



รูปที่ I9 แสดง block diagrams ของเครื่อง



R_1, R_3, R_4 = 1 MΩ

R_2 = 20 MΩ

R_5, R_6, R_7 = 150 Ω

R_8, R_8', R_8'', R_8''' = 1 KΩ

R_9, R_9', R_9'', R_9''' = 2.7K Ω

R_{10} = 10K Ω

R_{11} = 2.7K Ω

D_1, D_2 = IN 914

ALL TR = 2SC 458

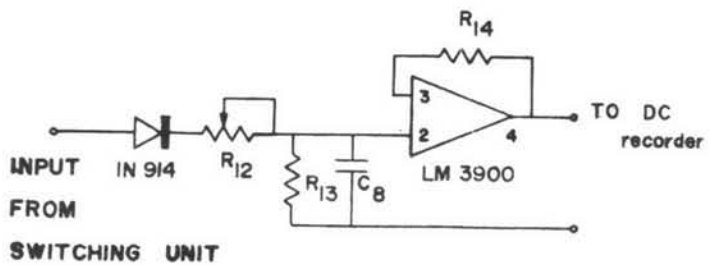
IC-1, IC-2, IC-3 = 1/6 CD 4049

C_1, C_2 = 0.068 μF

C_3, C_4, C_5, C_6 = 1 μF

C_7, C_7', C_7'', C_7''' = 1 μF

SIGNAL TO PULSE UNIT

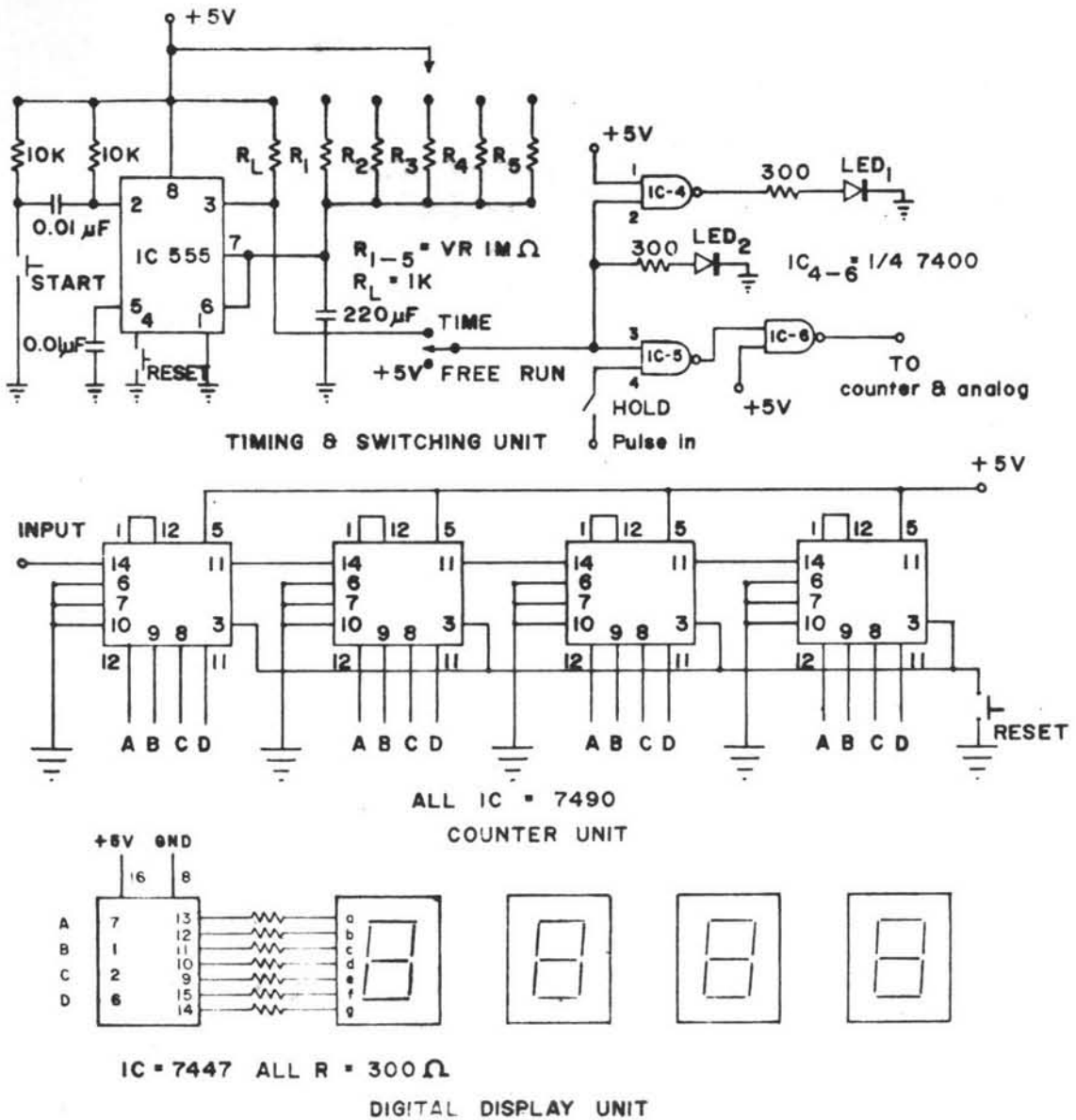


ANALOG UNIT

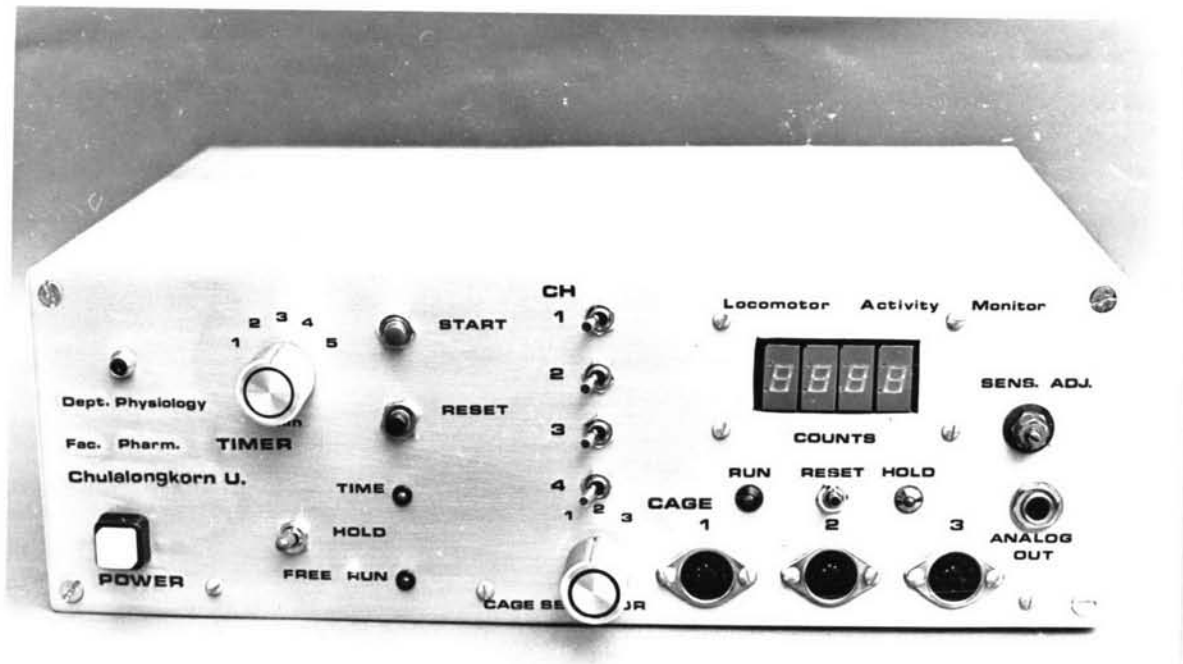
R_{12} = VR 100K Ω

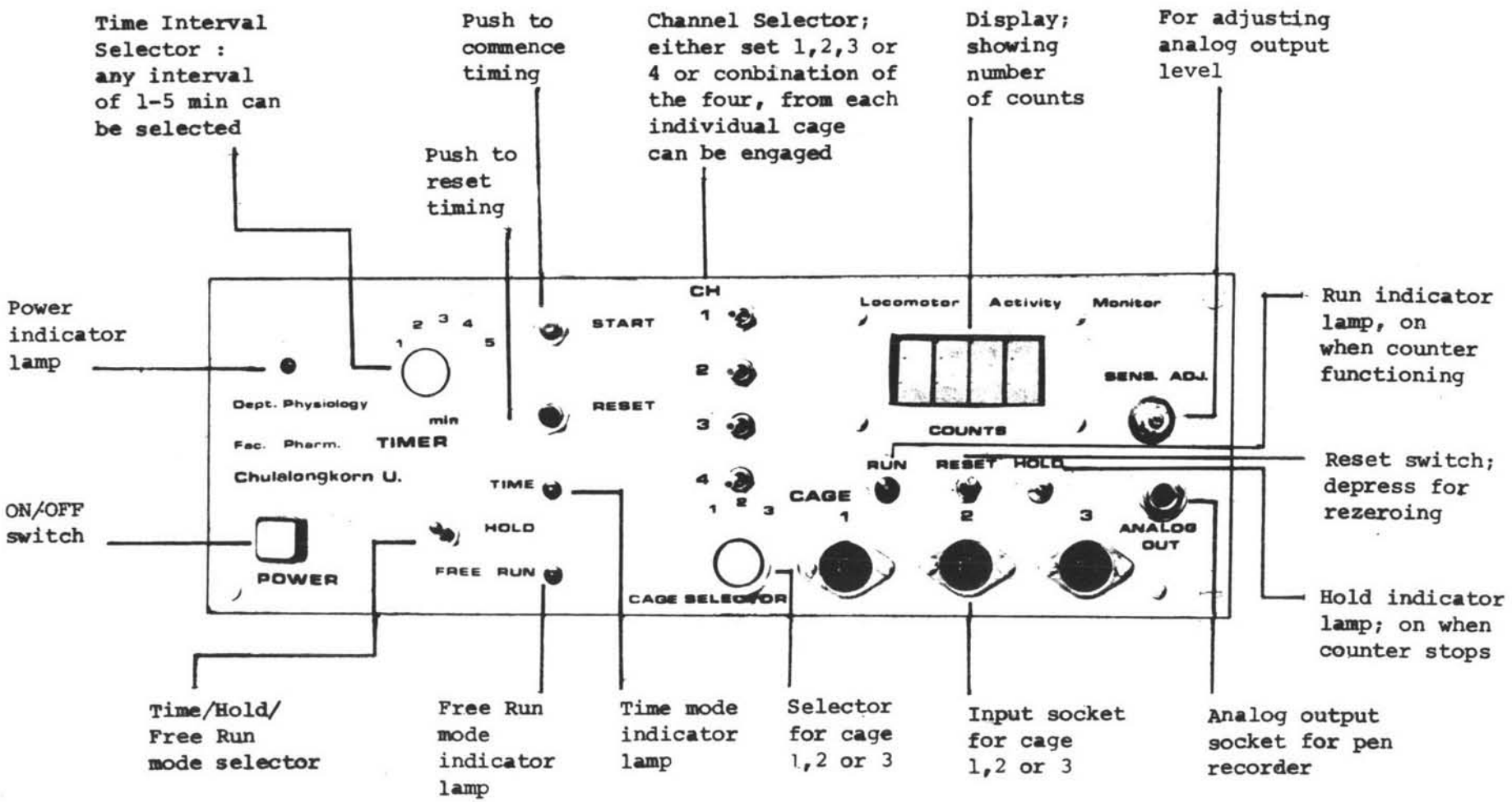
R_{13}, R_{14} = 1M Ω

C = 50 μF

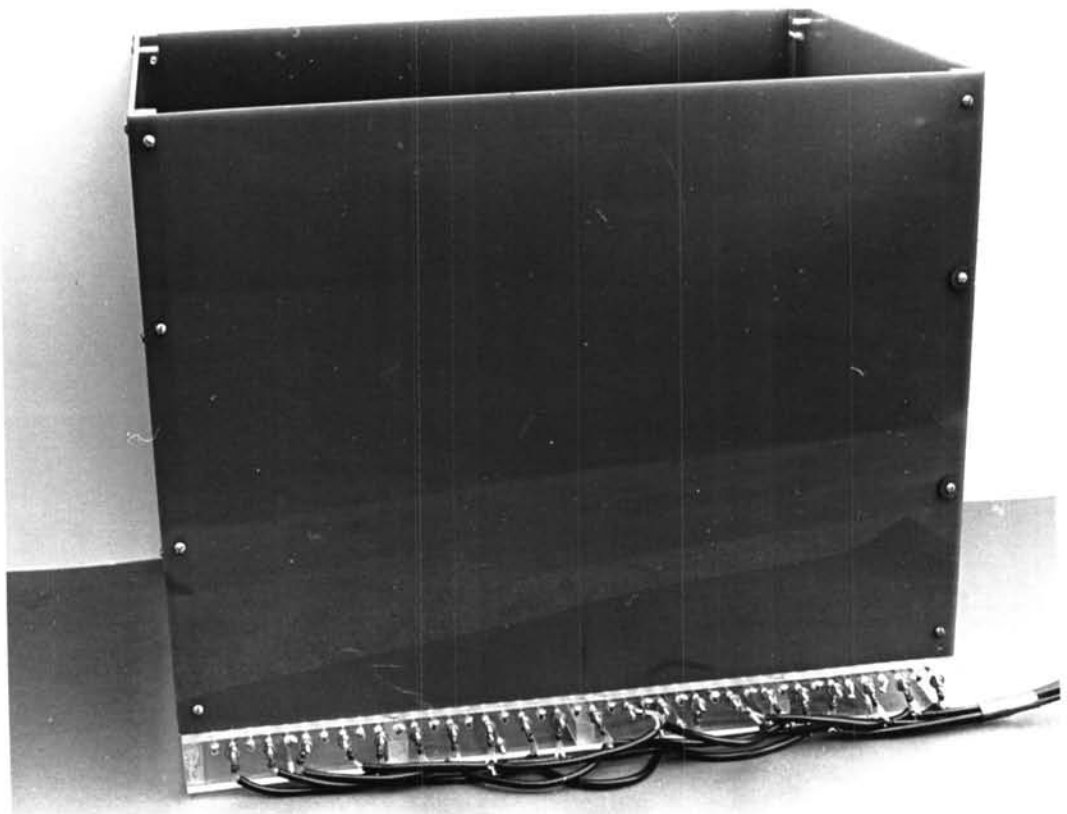


รูปที่ 10 แสดงวงจรทั้งหมดของเครื่อง


Locomotor Activity Monitor
CH
1
2
3
4
START
RESET
TIME
HOLD
FREE RUN
1 2 3 4 5
TIMER
Dept. Physiology
Fac. Pharm.
Chulalongkorn U.
POWER
COUNTS
SENS. ADJ.
RUN
RESET
HOLD
CAGE
1
2
3
ANALOG
OUT



รูปที่ 21 แสดงรูปถ่ายของเครื่อง



รูปที่ 22 แสดงรูปถ่ายของกรง