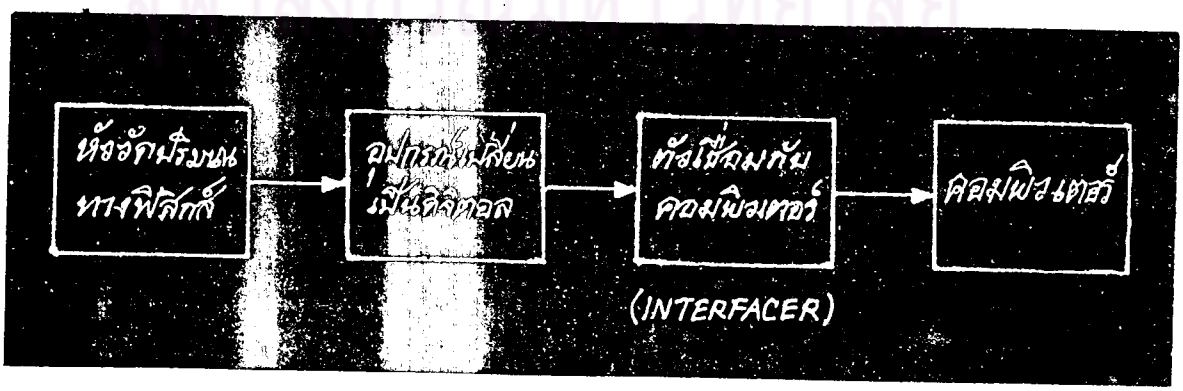
หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
เครื่องมือทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงการนำไมโครคอมพิวเตอร์แบบแผ่นเดี่ยวมาใช้ในการสร้างเครื่องมือควบคุมการทดลองปรากฏการณ์ขนส่งที่มีลักษณะการทำงานตามที่ต้องการดังแสดงในบทที่หนึ่ง โดยเริ่มต้นจะกล่าวถึงหลักการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ร่วมกับคอมพิวเตอร์ ต่อจากนั้นจะเป็นการออกแบบระบบเครื่องมือประกอบที่ต้องสร้างเพิ่ม โดยมากใช้วัสดุและชิ้นส่วนที่สามารถหาซื้อได้ง่ายภายในประเทศและเครื่องมือที่สร้างจะต้องมีการทำงานที่ไม่ซับซ้อนมากนัก เพื่อเป็นการง่ายต่อการสร้างประกอบและซ่อมแซม รายละเอียดและหลักการของเครื่องมือที่สร้างขึ้นจะกล่าวไว้ข้างล่างเป็นลำดับไป

3.1 หลักการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ด้วยคอมพิวเตอร์และลักษณะทั่วไปของระบบเครื่องมือ

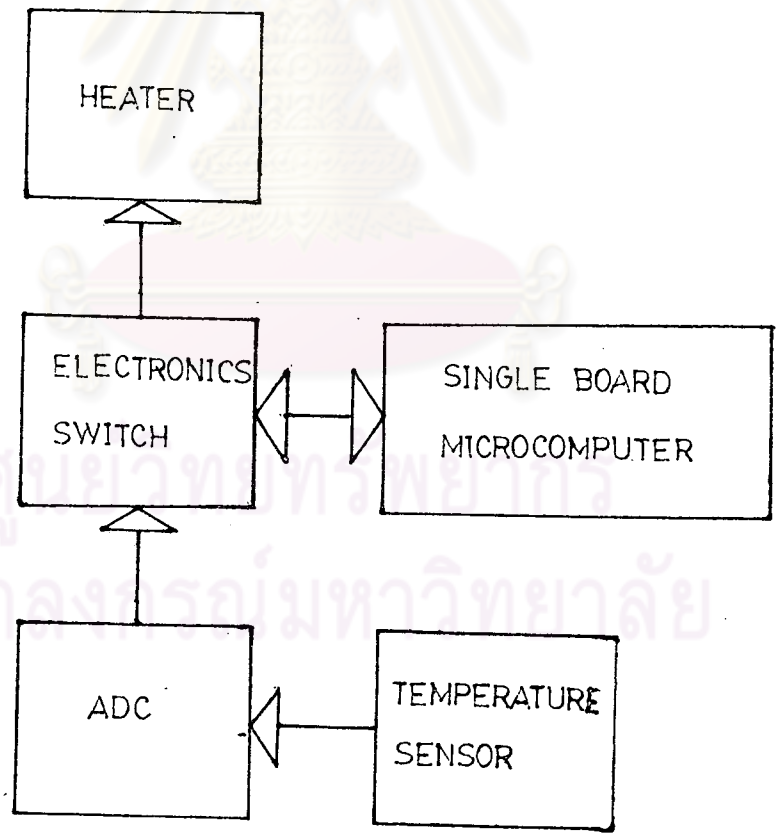
ปกติแล้วคอมพิวเตอร์จะทำการวัดและควบคุมการทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีการป้อนข้อมูลเข้าไปในรูปของสัญญาณเชิงตัวเลข (Digital Signal) ดังนั้นเมื่อจะทำการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ใด ๆ จะต้องมีตัวตรวจจับปริมาณที่ต้องการเสมอแล้วจึงจะเชื่อมโยงเข้ากับคอมพิวเตอร์ โดยผ่านทางอุปกรณ์ประกอบที่เป็นตัวกลางติดต่อข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภายนอก (เช่น ตัวตรวจจับ) กับคอมพิวเตอร์ ตัวเชื่อมกับคอมพิวเตอร์นี้เรียกว่า อินเตอร์เฟสเซอร์ (Interfacer) วิธีการดังกล่าวเขียนเป็นแผนภูมิได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงหลักการวัดปริมาณทางฟิสิกส์ด้วยคอมพิวเตอร์

โดยเหตุที่เครื่องมือวัดส่วนใหญ่มีพื้นฐานมาจากการวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ดังนั้นโดยการเปลี่ยนปริมาณที่ต้องการวัดให้อยู่ในรูปของแรงดันหรือกระแสแล้วเปลี่ยนให้มาเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขส่งให้กับคอมพิวเตอร์ ก็จะสามารถวัดปริมาณที่ต้องการได้

เนื่องจากระบบที่ออกแบบและสร้างขึ้นนี้จะใช้ไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นเดี่ยว ซึ่งมีไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ z-80 เป็นหน่วยประมวลผลกลาง ดังได้กล่าวไว้ในบทที่แล้วและโดยอาศัยหลักการวัดดังกล่าวข้างต้นนี้ได้ออกแบบเครื่องมือที่มีความสามารถในการวัดและควบคุมให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 โดยเครื่องมือชุดใหม่ที่สร้างขึ้นนี้จะมีลักษณะทั่วไปตามแผนภาพดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังของเครื่องมือชุดใหม่

เนื่องจากการทำงานหลักของเครื่องมือเพื่อควบคุมการทดลองทางปรากฏการณ์ขนส่งนั้น ได้แก่ การวัดและควบคุมอุณหภูมิ การสับเปลี่ยนช้วที่ใช้จ่ายกระแส การวัดความต่างศักย์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ดังนั้นจึงต้องสร้างเครื่องมือเพิ่มเติมขึ้นประกอบเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ ซึ่งรายละเอียดและหลักการออกแบบของเครื่องมือนี้จะได้กล่าวเป็นลำดับไป

3.2 การออกแบบวงจรประกอบสำหรับวัดและควบคุมอุณหภูมิด้วยไมโครคอมพิวเตอร์แผ่นเดียว

โดยอาศัยหลักการดังกล่าวในหัวข้อที่แล้ว ได้ทำการออกแบบวงจรวัดและควบคุมอุณหภูมิโดยวงจรประกอบด้วยส่วนใหญ่ ๆ 3 ส่วน คือ

1. อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ (Temperature Sensor)
2. อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (Analog to Digital Converter)
3. อุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater)

3.2.1 อุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิ

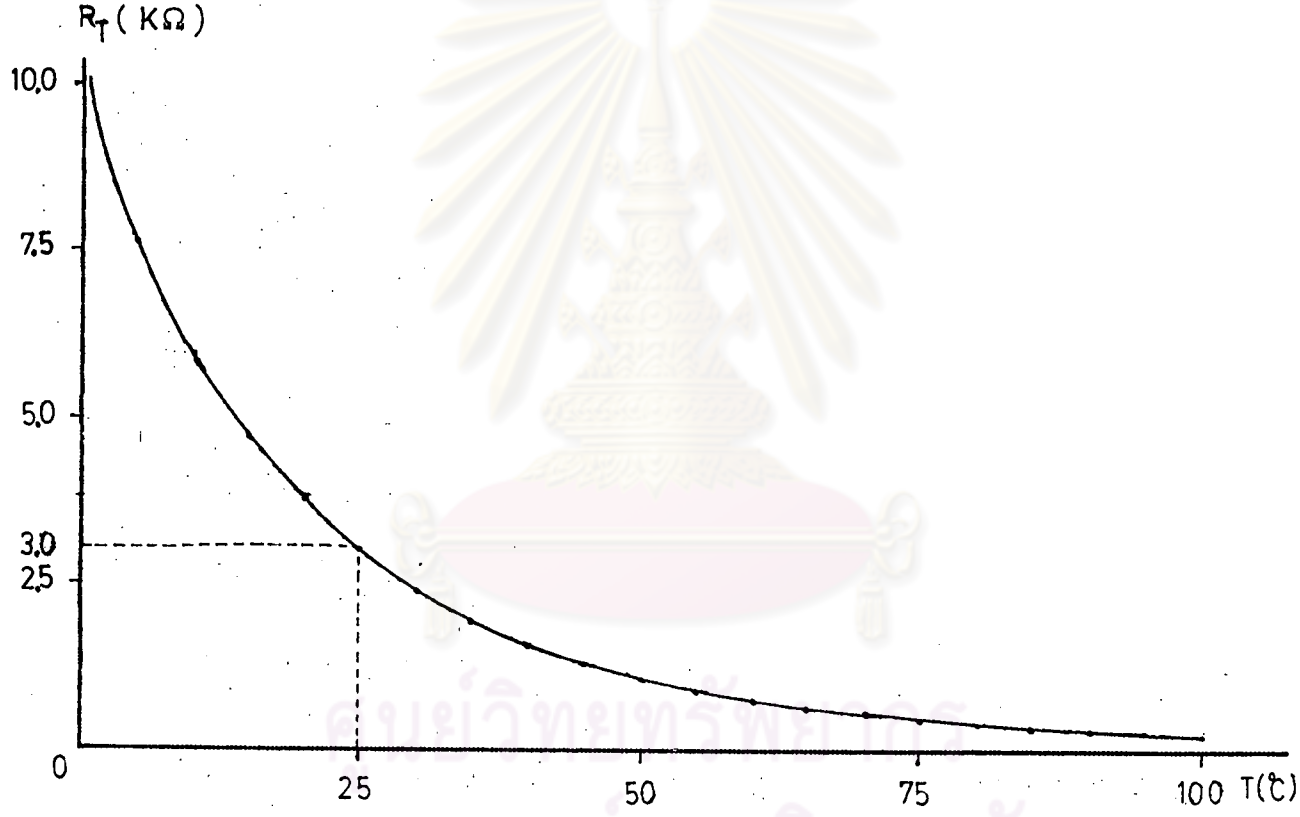
เพื่อที่จะให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเข้าที่ไมโครคอมพิวเตอร์จะต้องมีวงจรตรวจจับอุณหภูมิ การทำงานของวงจรตรวจจับอุณหภูมิที่สร้างขึ้นเป็นดังนี้คือ กำหนดให้การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นตัวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้า อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิให้อยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้า ในที่นี้ใช้เทอร์มิสเตอร์ (Thermister) ชนิดที่ความต้านทานลดเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น (Negative Temperature Coefficient หรือ NTC) สำหรับเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้เป็นแบบที่วัดอุณหภูมิได้ในช่วง $-80^{\circ}C$ ถึง $+150^{\circ}C$ เบอร์ YSI 44005 ของบริษัท Yellow Springs Instrument โดยที่ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิ แสดงได้ตามตารางที่ 3.1 และเมื่อนำคุณลักษณะของเทอร์มิสเตอร์ในช่วงอุณหภูมิ $0^{\circ}C$ ถึง $100^{\circ}C$ มาเขียนกราฟระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิ ซึ่งจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.3

ในการออกแบบวงจรตรวจจับอุณหภูมิได้กำหนดให้วัดได้ในช่วง $23^{\circ}C$ ถึง $100^{\circ}C$ โดยใช้วงจรแบบบริดจ์ ดังรูปที่ 3.4

TEMP°C	RES	TEMP°C	RES	TEMP°C	RES	TEMP°C	RES
—80	2211K	—50	201.1K	—20	29.13K	+ 10	5971
79	2022K	49	187.3K	19	27.49K	11	5692
78	1851K	48	174.5K	18	25.95K	12	5427
77	1696K	47	162.7K	17	24.51K	13	5177
76	1555K	46	151.7K	16	23.16K	14	4939
75	1426K	45	141.6K	15	21.89K	15	4714
74	1309K	44	132.2K	14	20.70K	16	4500
73	1202K	43	123.5K	13	19.58K	17	4297
72	1105K	42	115.4K	12	18.52K	18	4105
71	1016K	41	107.9K	11	17.53K	19	3922
—70	935.4K	—40	101.0K	—10	16.60K	+ 20	3748
69	861.4K	39	94.48K	9	15.72K	21	3583
68	793.7K	38	88.46K	8	14.90K	22	3426
67	731.8K	37	82.87K	7	14.12K	23	3277
66	675.2K	36	77.66K	6	13.39K	24	3135
65	623.3K	35	72.81K	5	12.70K	25	3000
64	575.7K	34	68.30K	4	12.05K	26	2872
63	532.1K	33	64.09K	3	11.44K	27	2750
62	492.1K	32	60.17K	2	10.86K	28	2633
61	455.3K	31	56.51K	— 1	10.31K	29	2523
—60	421.5K	—30	53.10K	0	9796	+ 30	2417
59	390.5K	29	49.91K	+ 1	9310	31	2317
58	361.9K	28	46.94K	2	8851	32	2221
57	335.7K	27	44.16K	3	8417	33	2130
56	311.5K	26	41.56K	4	8006	34	2042
55	289.2K	25	39.13K	5	7618	35	1959
54	268.6K	24	36.86K	6	7252	36	1880
53	249.7K	23	34.73K	7	6905	37	1805
52	232.2K	22	32.74K	8	6576	38	1733
51	216.0K	21	30.87K	9	6265	39	1664

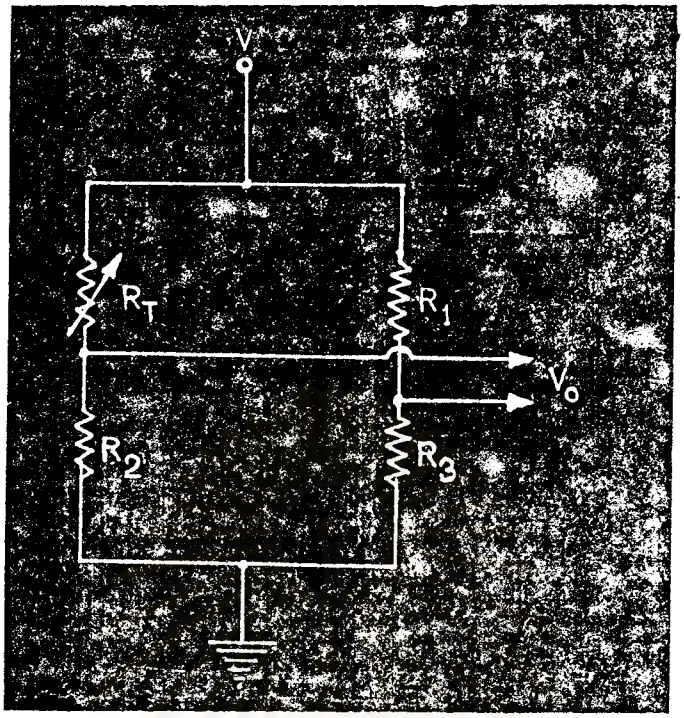
TEMP°C	RES	TEMP°C	RES	TEMP°C	RES	TEMP°C	RES
+ 40	1598	+ 70	525.4	+100	203.8	+130	90.2
41	1535	71	507.8	101	197.9	131	87.9
42	1475	72	490.9	102	192.2	132	85.7
43	1418	73	474.7	103	186.8	133	83.6
44	1363	74	459.0	104	181.5	134	81.6
45	1310	75	444.0	105	176.4	135	79.6
46	1260	76	429.5	106	171.4	136	77.6
47	1212	77	415.6	107	166.7	137	75.8
48	1167	78	402.2	108	162.0	138	73.9
49	1123	79	389.3	109	157.6	139	72.2
+ 50	1081	+ 80	376.9	+110	153.2	+140	70.4
51	1040	81	364.9	111	149.0	141	68.8
52	1002	82	353.4	112	145.0	142	67.1
53	965.0	83	342.2	113	141.1	143	65.5
54	929.6	84	331.5	114	137.2	144	64.0
55	895.8	85	321.2	115	133.6	145	62.5
56	863.3	86	311.3	116	130.0	146	61.1
57	832.2	87	301.7	117	126.5	147	59.6
58	802.3	88	292.4	118	123.2	148	58.3
59	773.7	89	283.5	119	119.9	149	56.8
+60	746.3	+90	274.9	+120	116.8	+150	55.6
61	719.9	91	266.6	121	113.8		
62	694.7	92	258.6	122	110.8		
63	670.4	93	250.9	123	107.9		
64	647.1	94	243.4	124	105.2		
65	624.7	95	236.2	125	102.5		
66	603.3	96	229.3	126	99.9		
67	582.6	97	222.6	127	97.3		
68	562.8	98	216.1	128	94.9		
69	543.7	99	209.8	129	92.5		

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณลักษณะของเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้



รูปที่ 3.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 วงจรวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์แบบบริดจ์

จากวงจรบริดจ์เราอาจเลือกค่าของ R_2 และ R_3 ให้เท่ากับความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่อุณหภูมิระหว่างกลางของช่วงอุณหภูมิที่จะวัด ในที่นี้อุณหภูมิระหว่างกลางประมาณ 61°C มีความต้านทานประมาณ 0.7 K เพื่อให้ที่ 23°C มีแรงดัน V_o เป็นศูนย์โวลต์ ค่า R_1 ต้องเท่ากับความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่ 23°C คือประมาณ 3.3 K จึงจะทำให้บริดจ์สมดุลพอดี จากนั้นต้องกำหนดค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟที่ต้องจ่ายให้แก่วงจรบริดจ์ (V_{cc}) ในการคำนวณค่าแรงดันนี้จำเป็นต้องทราบค่า Dissipation Constant ของเทอร์มิสเตอร์ซึ่งเป็นค่ากำลังไฟฟ้าที่จะทำให้เทอร์มิสเตอร์มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C หรือกล่าวได้ว่ามันทำงานผิดไป 1°C สำหรับเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้มีค่า Dissipation Constant เป็น 1 mW/°C (ในอากาศ) เพราะฉะนั้นสามารถหาค่าแรงดันของแหล่งจ่ายไฟได้จาก $P = V^2/R$ เมื่อ V เป็นค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมเทอร์มิสเตอร์มากที่สุด ซึ่งจากการแก้สมการดังกล่าว จะได้ 2.203 โวลท์

ค่าแรงดันนี้จะทำให้เกิดกำลังตกคร่อมเทอร์มิสเตอร์ 1 mW ซึ่งทำให้มันวัดค่าอุณหภูมิผิดไป 1°C ในการใช้งานได้เลือกแรงดันไฟเป็น 2 โวลท์ และจากค่าแรงดันไฟที่เลือกเมื่อนำมาคิดกำลังที่ตกแก่เทอร์มิสเตอร์สูงสุดที่ 23°C พบว่าเป็น 0.825 mW ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าวงจรตรวจจับอุณหภูมิจะวัดค่าได้ไม่ผิด และ

จากรูปที่ 3.4 เมื่อ V = 2 Volt $R_2 = R_3 = 0.7$ K และ $R_1 = 3.3$ K เราสามารถหาค่า V_o ของวงจรตรวจจับอุณหภูมิได้จากสมการ

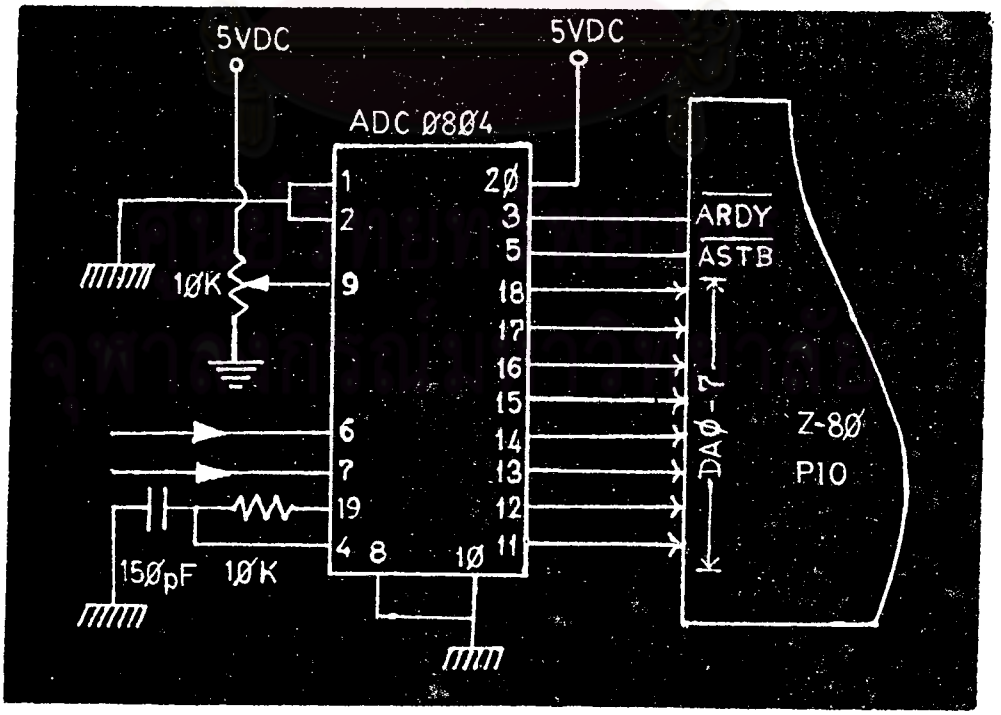
$$V_o = 1.4\left(\frac{1}{R_T} - 0.25\right) \qquad (3.1)$$

เมื่อ R_T เป็นความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

3.2.2 อุปกรณ์เปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข (5)

(Analog to Digital Coverter : ADC)

แรงดันไฟออก V_o ของวงจรตรวจจับอุณหภูมินั้นจะอยู่ในรูปของสัญญาณอนาลอกซึ่งจะป้อนเข้ากับคอมพิวเตอร์โดยตรงไม่ได้ ดังนั้นจึงต้องทำการเปลี่ยนสัญญาณดังกล่าวนี้ให้เป็นสัญญาณเชิงตัวเลขก่อน เพื่อจะได้ส่งข้อมูลเข้าทางหน่วยรับส่งข้อมูลแล้วจึงส่งต่อไปยังซีพียูอีกทอดหนึ่ง เพื่อดำเนินกรรมวิธีที่ต้องการ การออกแบบส่วนนี้ได้ใช้ไอซีเบอร์0804 ซึ่งเป็นไอซีที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณเชิงตัวเลข ขนาด 8 บิท แบบ Successive approximation (ดูภาคผนวก ค.) สำหรับวงจรที่ใช้งานแสดงการต่อดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การต่อหน่วยอินพุทเข้ากับหน่วยเปลี่ยนแปลงสัญญาณและระบบไมโครคอมพิวเตอร์

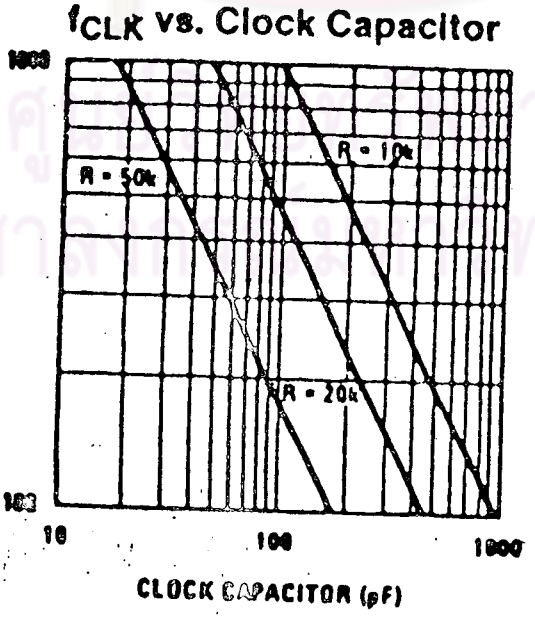
จากรูปที่ 3.5 จะเห็นว่าบัสข้อมูลของADC (ขา11 — 18) ต่อเข้าโดยตรงกับพอร์ท A ของ PIO(DA0-7) และขาควบคุมการทำงานของADC คือขา CS(1) RD(2)นั้นมีการต่อในลักษณะที่ขา CS และขา RD ต่อกับกราวน์และขาWR(3)ต่อกับขา $\overline{ARDY}$ ของ PIO ส่วนขา$\overline{INTR}$(5)ต่อกับขา$\overline{ASTB}$ ของ PIO ซึ่งจะทำให้การทำงานเป็นไปในแบบมีการตรวจสอบสัญญาณ

สำหรับขาCLKIN(4)และCLK R(19) จะเป็นตัวกำหนดให้ADC ทำงานโดยจะเป็นตัวกำหนดความถี่สัญญาณนับของวงจรนับความถี่ภายในADC ซึ่งจะมีผลต่อเวลาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณ ในที่นี้จะเลือกใช้สัญญาณนับมีความถี่ 640KHz ดังนั้นความกว้างของสัญญาณนับแต่ละลูกคือ

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{640\,KHz} \qquad \mu S$$

และเพราะว่าวงจรนับจะใช้สัญญาณ 64 ลูก ในการเปรียบเทียบสัญญาณอนาลอกหนึ่งค่า ดังนั้นจะต้องใช้เวลาในการแปลงสัญญาณ $64 \times \frac{1}{640}$ เท่ากับ 10 μS จึงจะได้เอาท์พุทที่เป็นสัญญาณเชิงตัวเลขที่ต้องการ

การที่จะให้สัญญาณนับของวงจรนับสัญญาณภายในADC มีค่าเป็นเท่าใดนั้นจะถูกกำหนดโดยค่าของ C และ f_{CLK} ซึ่งสามารถหาค่าได้โดยพิจารณาจากกราฟดังรูปที่ 3.6 ต่อไปนี้ (จากคู่มือการใช้ADC 0804)

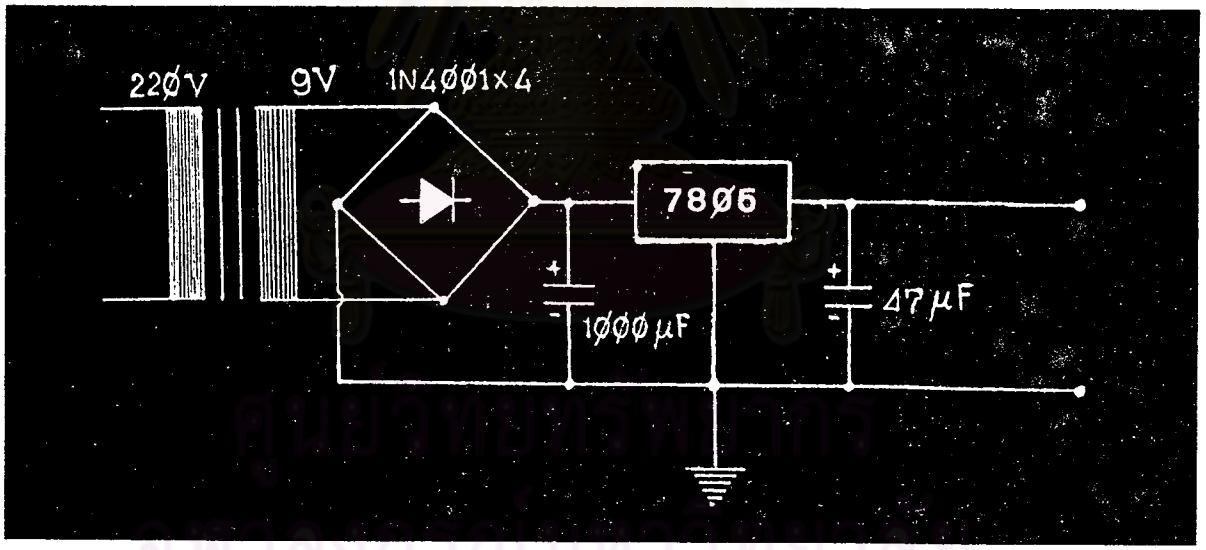


รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่าง f_{CLK} กับ C

เนื่องจากเราเลือกใช้ความถี่เท่ากับ 640 KHz และจากกราฟเมื่อเลือกค่า R เป็น 10K จะได้ค่า C เป็น 150 pf

สำหรับสัญญาณอนาลอกต่อเข้ากับขา 5 ($V_{IN}(+)$) และ 6 ($V_{IN}(-)$) และขา 9 ($V_{ref/2}$) เป็นขาที่ทำหน้าที่ปรับแต่งความถูกต้องของการแปลงสัญญาณ ตัวอย่างเช่น ถ้าสัญญาณอนาลอกมีค่าอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 3.5 โวลท์ ความแตกต่างของสัญญาณเป็น 3 V และ $V_{ref/2}$ จะเท่ากับ 1.5 V

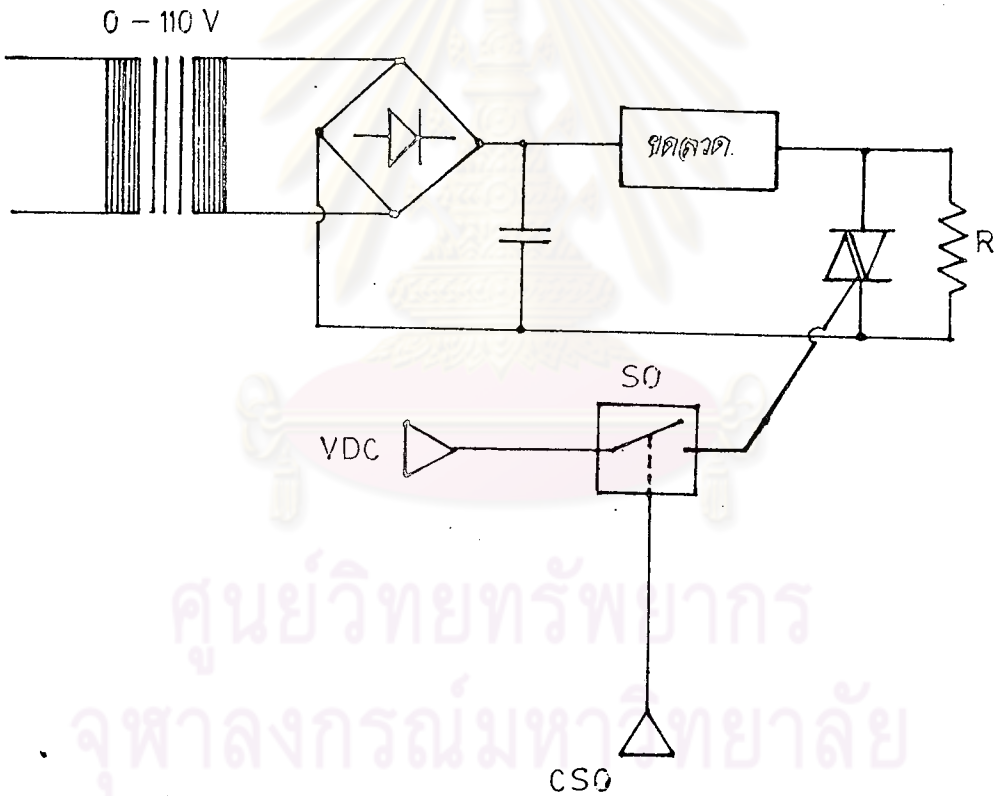
การทำงานของ ADC นี้จะต้องมีแหล่งจ่ายไฟขนาด 5 VDC ด้วย ดังนั้นจึงต้องต่อวงจรจ่ายไฟคงที่ขนาด 5 VDC ขึ้น ซึ่งจะใช้กับวงจรอิเลกทรอนิคส์สวิทช์ด้วย โดยวงจรมีลักษณะดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 วงจรแหล่งจ่ายแรงดันคงที่

3.2.3 อุปกรณ์ให้ความร้อน

อุปกรณ์ให้ความร้อนประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงสำหรับให้กำลังแก่ลวดความร้อน ซึ่งบรรจุอยู่ในอุปกรณ์ชุดควบคุมอุณหภูมิของเครื่องมือชุดเดิม (1) แต่ได้ดัดแปลงจากของเดิมโดยการเพิ่มอิเลกทรอนิคส์สวิชท์ (จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป) เพื่อใช้ควบคุมการปิด–เปิดของแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงโดยสัญญาณจากไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้กระตุ้นการทำงานของ ไตรแอค ลักษณะของอุปกรณ์ให้ความร้อนที่ดัดแปลงใหม่มีลักษณะดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 วงจรอุปกรณ์ให้ความร้อน

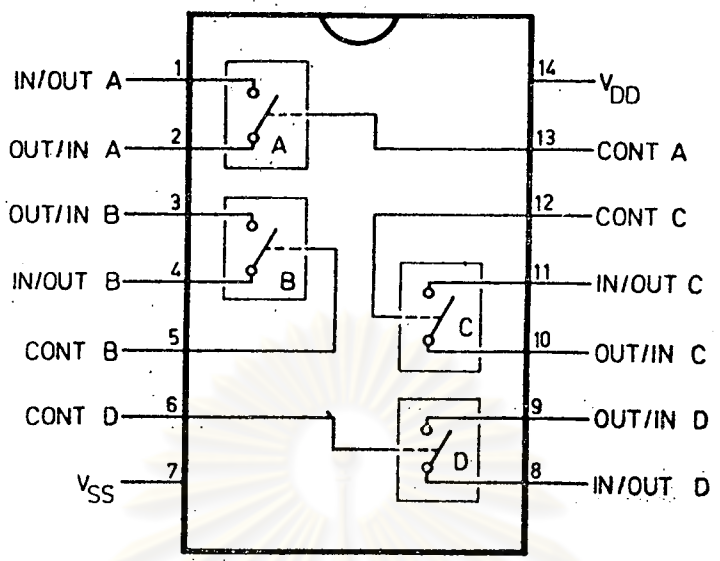
จากรูปนี้จะเห็นว่าส่วนให้กำลังของวงจรประกอบด้วยหม้อแปลงที่แปลงไฟจาก 220 V เป็น 0–110 V ที่ปรับค่าได้ตามต้องการ จากนั้นเปลี่ยนเป็นไฟกระแสตรงได้ต่อความต้านทานR ขนานกับไตรแอคเพื่อให้กระแสส่วนน้อยไหล

ผ่านขดลวดได้บางขณะที่ไตรแอคอยู่ในสถานะไม่นำกระแส เพื่อให้อุณหภูมิของผลึกตัวอย่างจะได้ไม่ลดลงเร็วเกินไปอันจะมีผลต่อการกระเพื่อมของอุณหภูมิ เนื่องจากไตรแอคจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีกระแสประมาณ 100 mA และแรงดันไฟไม่น้อยกว่า 2 โวลท์มาจุดชนวน ถึงแม้ว่าแรงดันไฟจากเอาท์พุทพอร์ทจะมีค่าประมาณ 5 โวลท์ก็ตามแต่มีกระแสน้อยเกินไปที่จะจุดชนวนของไตรแอคได้ จึงได้ใช้แรงดันไฟจากเอาท์พุทพอร์ทไปควบคุมอิเลกทรอนิคส์สวิชท์แทนโดยที่อิเลกทรอนิคส์จะเป็นตัวเชื่อมกับแหล่งจ่ายแรงดัน 3 โวลท์ที่ให้กระแสประมาณ 170mA เมื่ออิเลกทรอนิคส์สวิชท์อยู่ในสถานะเปิดหรือสถานะนำกระแส (On - State) กระแสจากแหล่งจ่ายแรงดันก็จะไปจุดชนวนให้ไตรแอคทำงานได้ตามต้องการ

3.3 วงจรอิเลกทรอนิคส์สวิชท์ (Electronic switch circuit)

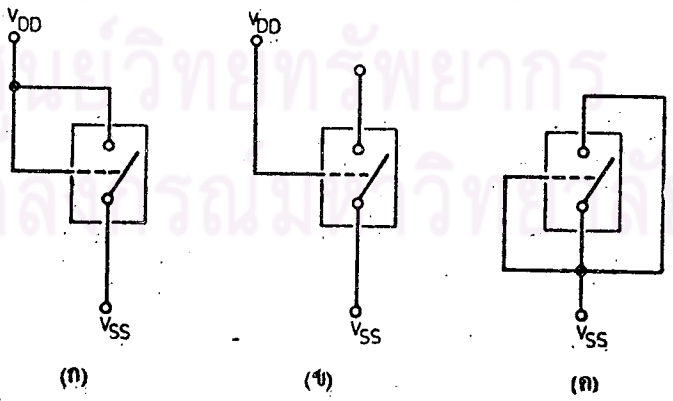
ในการวัดค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ของฮอลล์นั้นมีการวัดความต่างศักย์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ หลายตำแหน่งอีกทั้งยังต้องการเปลี่ยนขั้วสายไฟด้วย ดังนั้นเพื่อให้ระบบไมโครคอมพิวเตอร์สามารถทำการวัดความต่างศักย์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ได้ จึงจำเป็นต้องต่อวงจรอิเลกทรอนิคส์สวิชท์ขึ้นเพื่อเลือกรับข้อมูลที่ตำแหน่งต่าง ๆ เข้าสู่ระบบตามลำดับขั้นตอนที่กำหนด

อิเลกทรอนิคส์สวิชท์ที่ใช้เป็นไอซีชนิด CMOS เบอร์ 4066 ภายในนั้นประกอบด้วยสวิชท์ 4 ตัว ซึ่งจะนำกระแสได้ทั้งสองทิศทาง (Quad Bilateral Switch) คือสวิชท์แต่ละตัวจะให้สัญญาณผ่านในทิศทางใดก็ได้ โดยถูกควบคุมการปิด-เปิดสวิชท์ด้วยขาควบคุมขาเดียว สวิชท์แต่ละตัวจะมีความต้านทานสูงมากเมื่อถูกควบคุมให้เปิดวงจร และในทางตรงกันข้ามเมื่อถูกควบคุมให้ปิดวงจรจะมีความต้านทานประมาณ 90 โอห์ม ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางกับสัญญาณอนาลอกและสัญญาณเชิงตัวเลข วงจรพื้นฐานของอิเลกทรอนิคส์สวิชท์ที่ใช้มีลักษณะภายในและการจัดขาดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 รายละเอียดและการจัดขาภายในของไอซี 4066

ในการใช้งานมีข้อที่ต้องระวังคือ สัญญาณที่จะใช้กับสวิชท์จะต้องมีค่าแรงดันไฟไม่สูงกว่าแรงดันไฟบวก (V_{CC}) ของแหล่งจ่ายไฟและต้องไม่ต่ำกว่าแรงดันไฟลบ (V_{SS}) ของแหล่งจ่ายไฟและข้อที่ควรระวังอีกอย่างคือ สวิชท์ตัวที่ไม่ได้ต่อใช้งานจะต้องดิสเอเบิล (disable) โดยการต่อขาควบคุมเข้ากับไฟบวกหรือไฟลบหรือต่อขาทั้งสามเข้ากับไฟลบก็ได้ ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การดิสเอเบิลสวิชท์ตัวที่ไม่ใช้โดยอาจต่อแบบรูป (ก) หรือ (ข) หรือ (ค)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ว่าการวัดสภาพความต้านทานไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ของผลึกตัวอย่างจะใช้วิธีการของแวนเดอร์พาว การออกแบบระบบของเครื่องมือชุดใหม่นี่จะต้องนำสมการ (1.1) และลักษณะของการวัดจุดสัมผัสทางไฟฟ้ามาพิจารณาดังจะยกมากล่าวซ้ำดังนี้

สภาพต้านทานไฟฟ้าของผลึก ρ อาจหาได้จากสมการ

$$\exp(-\pi R_{AB,DC}\, d/\rho) + \exp(-\pi R_{BC,AD}\, d/\rho) = 1$$

เมื่อ $R_{BC,AD} = \frac{V_{AD}}{I_{BC}}$

และ d = ความหนาของผลึก

โดยมีลักษณะการวัดจุดสัมผัสทางไฟฟ้าเป็นดังในรูปที่ 1.1

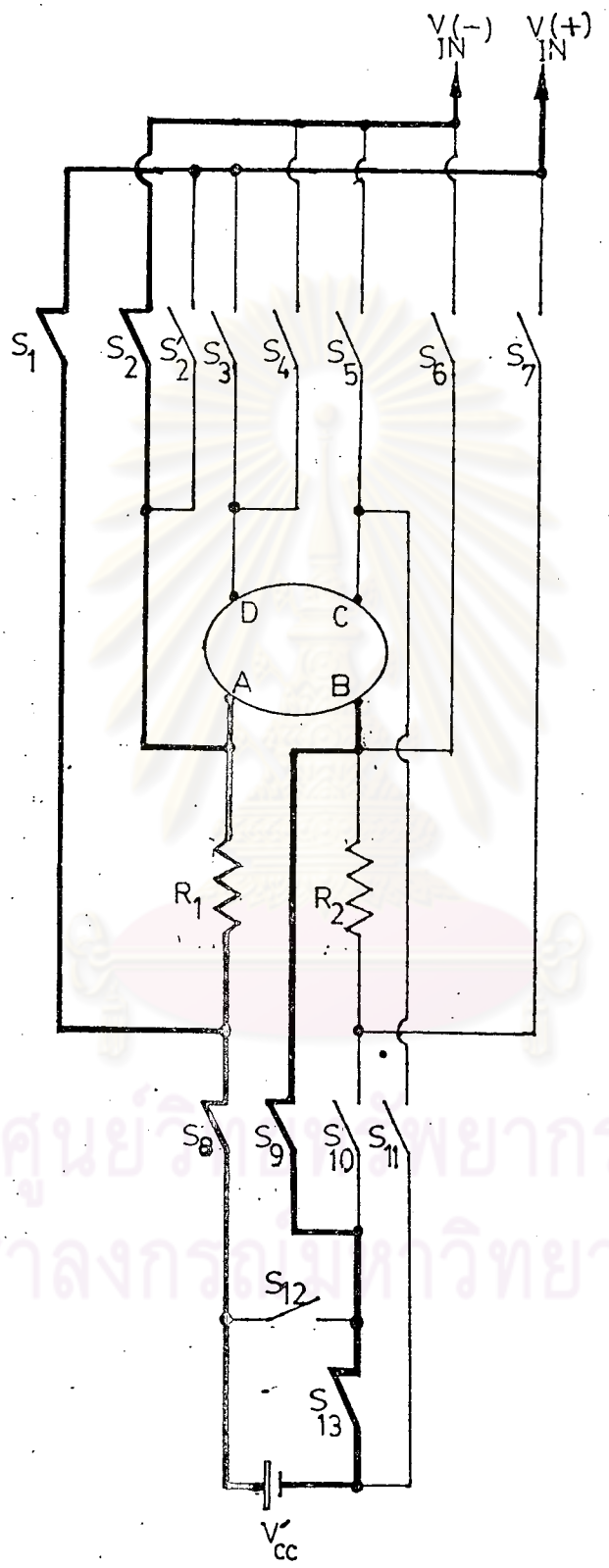
จากความสัมพันธ์ข้างบนนี้ ถ้าทราบค่าของกระแสที่จ่ายเข้าทางจุดสัมผัส AB และค่าของความต่างศักย์ระหว่างจุดสัมผัส DC ก็จะทำให้ทราบความต้านทาน $R_{AB,DC}$ สำหรับความต้านทาน $R_{BC,AD}$ นั้นก็สามารถกระทำได้ในทำนองเดียวกันโดยการเปลี่ยนให้เป็นการจ่ายกระแสเข้าทางจุดสัมผัส BC แล้ววัดค่าความต่างศักย์ระหว่างจุดสัมผัส AD

กรณีที่จะทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์นั้นกระทำโดยจ่ายกระแสเข้าทางจุดสัมผัส AC (หรือ BD ก็ได้ ขอให้เป็นจุดที่อยู่ตรงข้ามกัน) จากนั้นวัดความต่างศักย์ของอีกสองจุดที่เหลือ ซึ่งจะทำให้ทราบค่าความต้านทาน $R_{AC,DB}$ ก็จะทำให้ทราบค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ตามสมการ (1.2)

ด้วยวิธีการวัดค่าต่าง ๆ ดังกล่าวประกอบกับการใช้อิเลกทรอนิคส์สวิชท์และไมโครคอมพิวเตอร์เป็นหลักได้ออกแบบเครื่องมือวัดสภาพความต้านทานไฟฟ้าและสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ที่มีลักษณะและการทำงานตามรูปภาพที่ 3.11 ถึงรูปภาพที่ 3.16 โดยเรียงลำดับขั้นตอนการวัดดังจะกล่าวเป็นลำดับไปเป็น 6 ขั้นตอน จากขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 เป็นการวัดสภาพความต้านทานไฟฟ้าและขั้นตอนที่ 5 และ 6 เป็นการวัดค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์

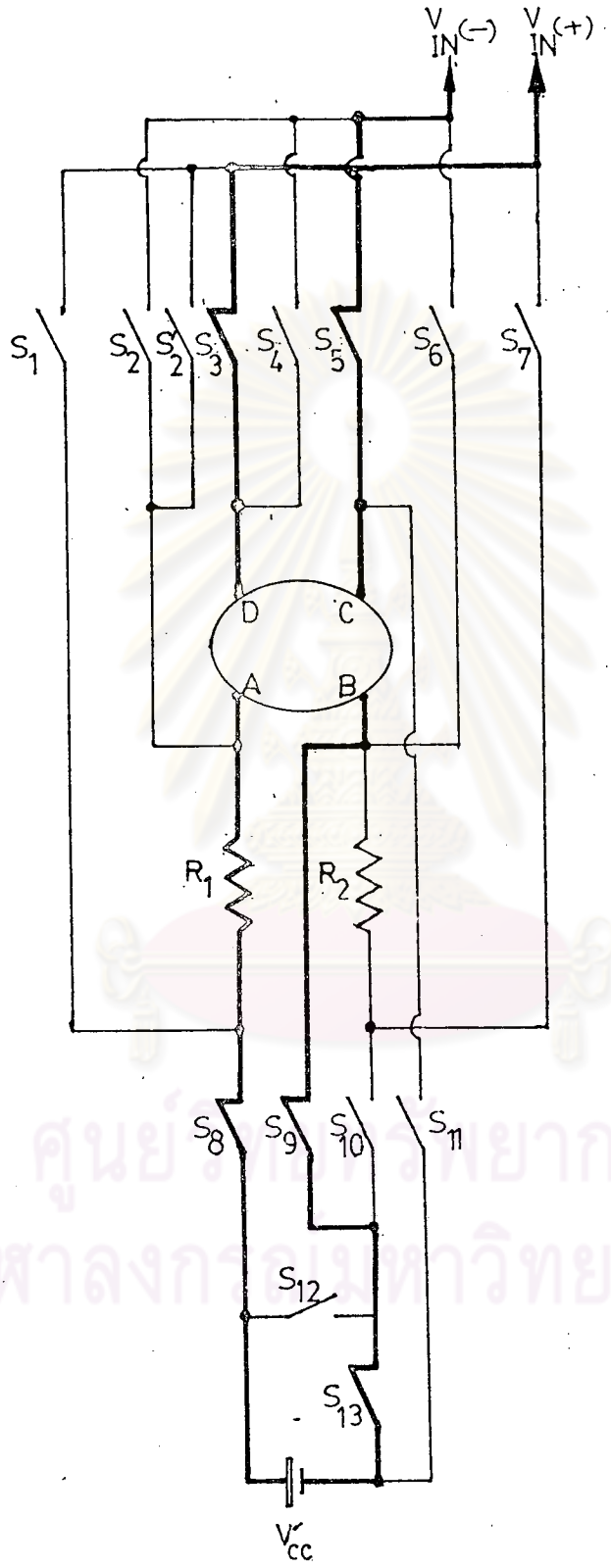
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

i 16987287



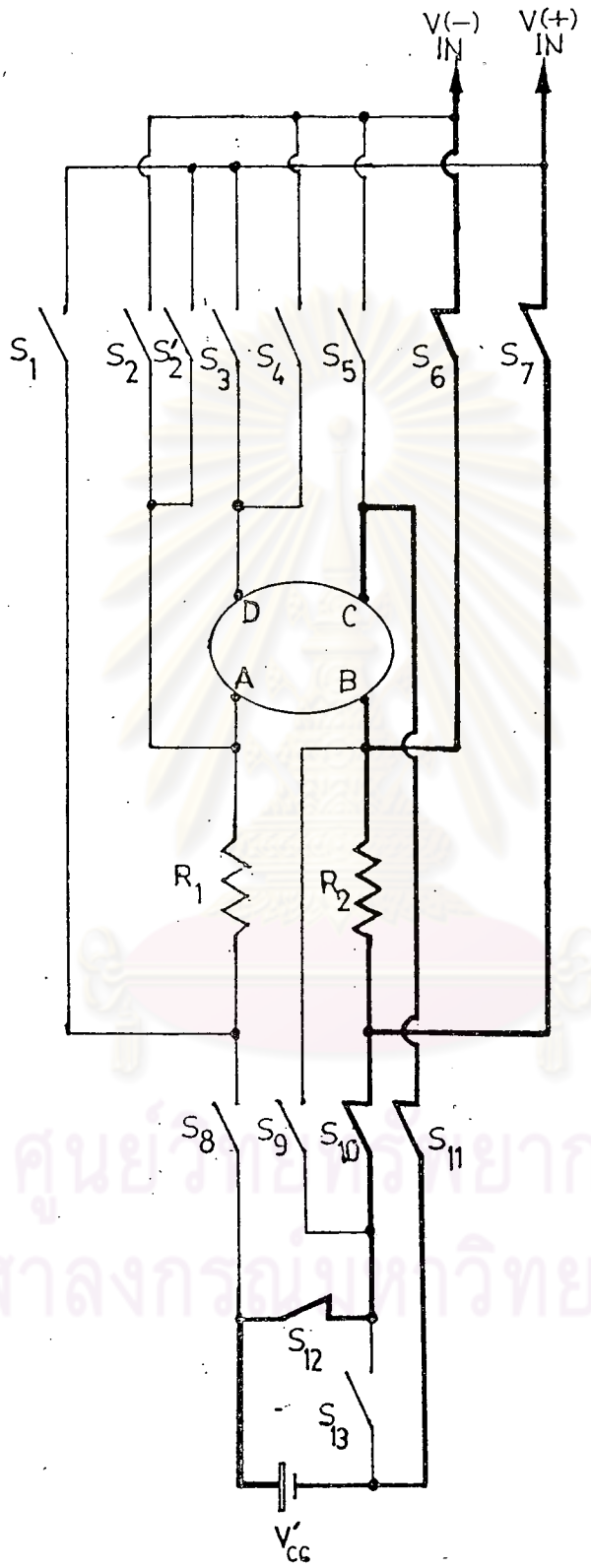
รูปที่ 3.11 แสดงการวัดความต่างศักย์คร่อม R_1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



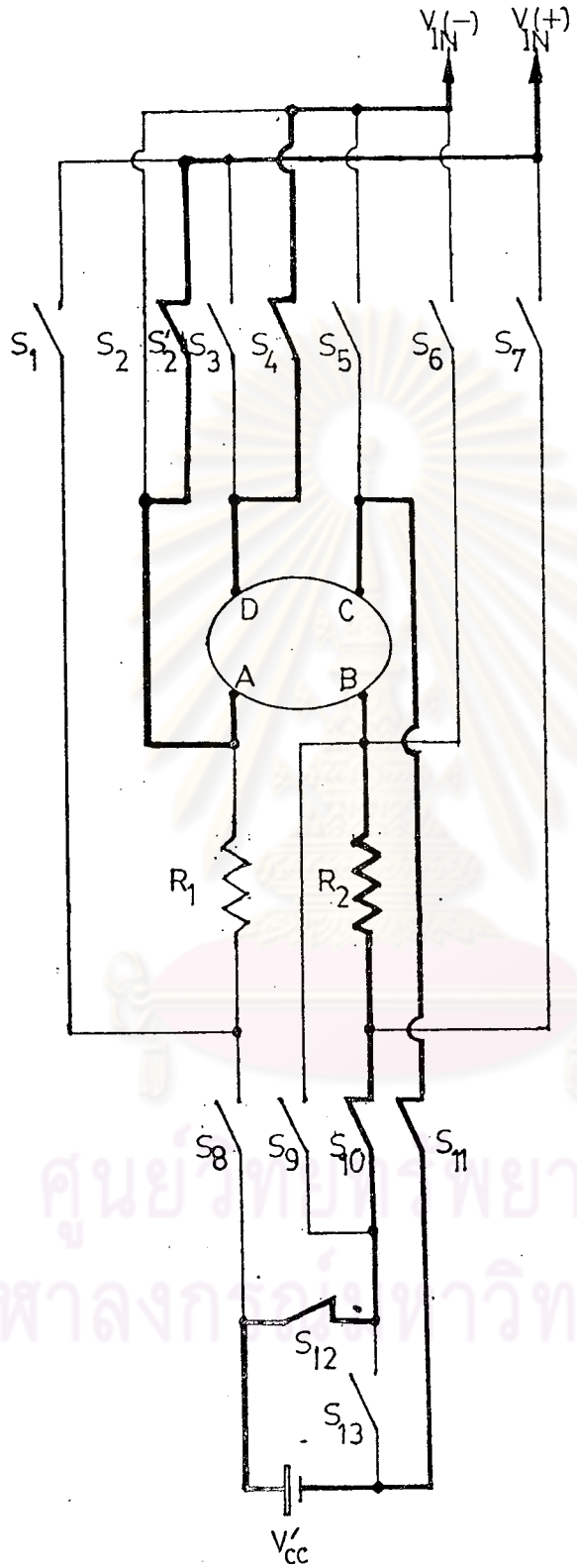
รูปที่ 3.12 แสดงการวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้ว DC

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



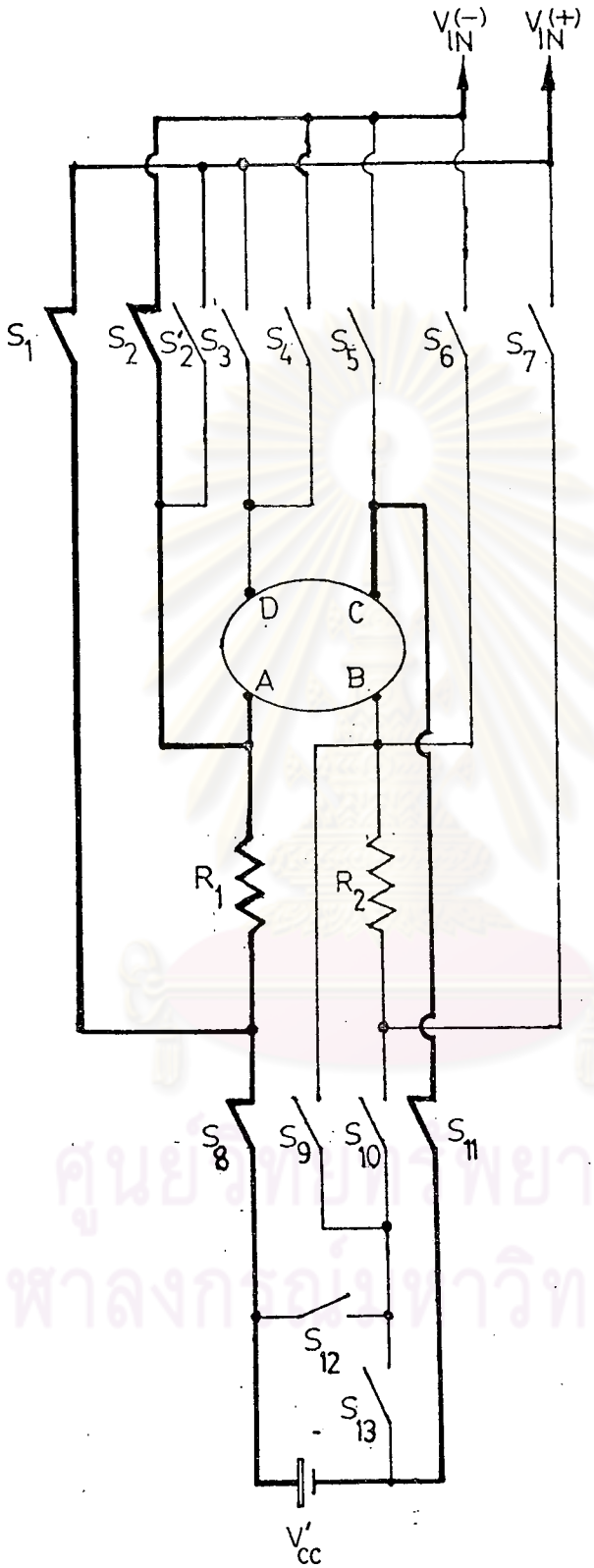
รูปที่ 3.13 แสดงการวัดความต่างศักย์คร่อม R_2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.14 แสดงการวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วAD

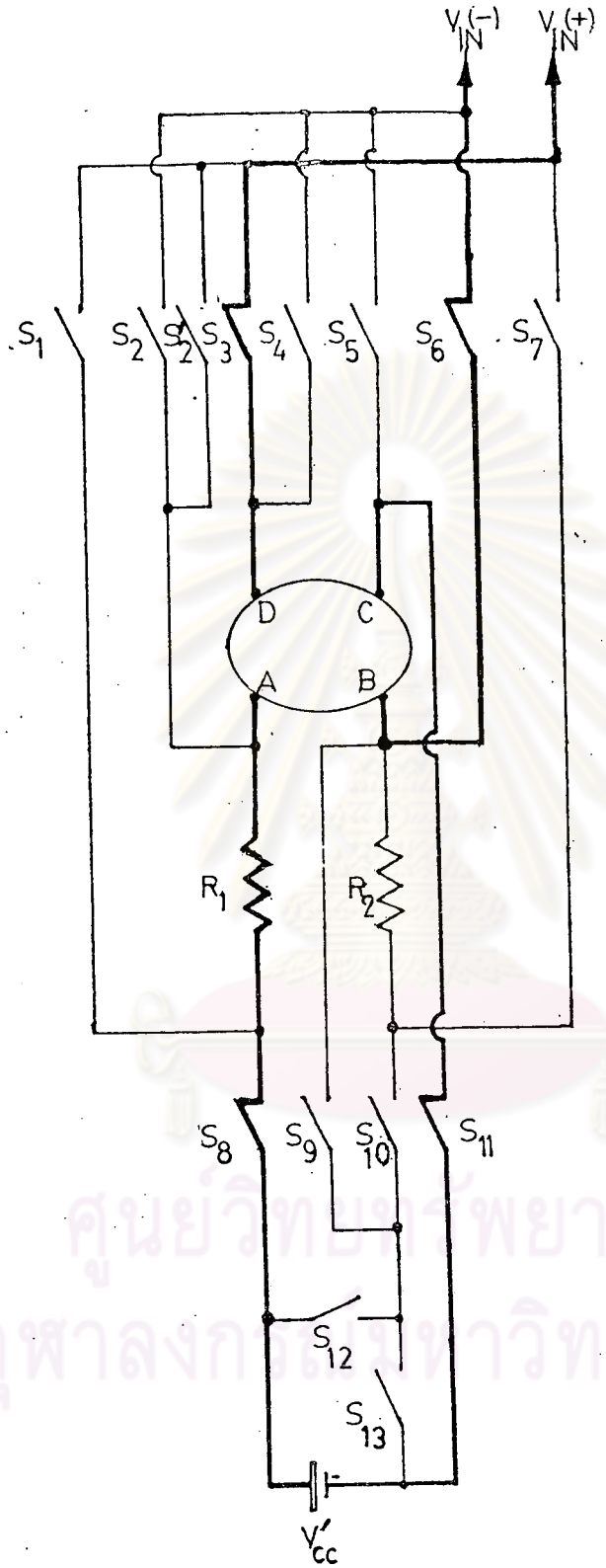
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.15 การวัดความต่างศักย์คร่อม R_1 เพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.16 แสดงการวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้ว DB

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนที่ 1

เป็นการวัดค่าความต่างศักย์คร่อมความต้านทาน R_1 ซึ่งจะทำให้ทราบค่ากระแสที่จ่ายให้กับผลึกตัวอย่างทางจุดสัมผัสไฟฟ้าAC การทำงานกระทำโดยให้ไมโครคอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณจากเอาท์พุทพอร์ทมาควบคุมให้สวิชท์ S_1, S_2, S_8 S_9 และ S_{13} อยู่ในสถานะนำกระแส ส่วนสวิชท์ตัวอื่นที่เหลือให้อยู่ในสถานะไม่นำกระแส ซึ่งผลจากการกระทำดังกล่าวนี้จะทำให้แรงดัน V_{cc} จากแหล่งจ่ายไฟไหลผ่าน R_1 เข้าสู่ผลึกตัวอย่างครบวงจร และค่าความต่างศักย์ที่คร่อม R_1 จะถูกส่งเข้าสู่ ADC เพื่อผ่านเข้าสู่คอมพิวเตอร์ทำการบันทึกเก็บไว้ การทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 3.11

ขั้นตอนที่ 2

เป็นขั้นตอนที่ต่อจากขั้นที่หนึ่ง เพื่อวัดความต่างศักย์ของจุดสัมผัสที่เหลือ โดยสัญญาณควบคุมจากเอาท์พุทพอร์ทของคอมพิวเตอร์จะควบคุมให้สวิชท์ S_3, S_5, S_8 S_9 และ S_{13} อยู่ในสถานะนำกระแส ส่วนสวิชท์ที่เหลืออยู่ในสถานะไม่นำกระแส และค่าความต่างศักย์ระหว่างจุดสัมผัส DC ก็จะถูกบันทึกเก็บไว้เช่นกัน การทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 3.12

ขั้นตอนที่ 3

ในขั้นตอนนี้เป็นการวัดความต่างศักย์คร่อม R_2 เพื่อหาค่ากระแสที่จ่ายให้กับผลึกตัวอย่างทางจุดสัมผัสBC การทำงานกระทำโดยสวิชท์ S_6, S_7, S_{10}, S_{11} และ S_{12} อยู่ในสถานะนำกระแส ค่าความต่างศักย์ที่คร่อม R_2 ก็จะถูกบันทึกเก็บไว้เช่นเดิม จะเห็นว่าในขั้นตอนนี้เป็นการสลับข้วการจ่ายกระแส การทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 3.13

ขั้นตอนที่ 4

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการวัดสภาพความต้านทานไฟฟ้า โดยเป็นการอ่านและบันทึกค่าของความต่างศักย์ระหว่างจุดสัมผัสAD โดยที่สวิชท์ S_2, S_4, S_{10} S_{11} และ S_{12} อยู่ในสถานะนำกระแส ส่วนสวิชท์ตัวอื่นอยู่ในสถานะไม่นำกระแส การทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 3.14

ขั้นตอนที่ 5

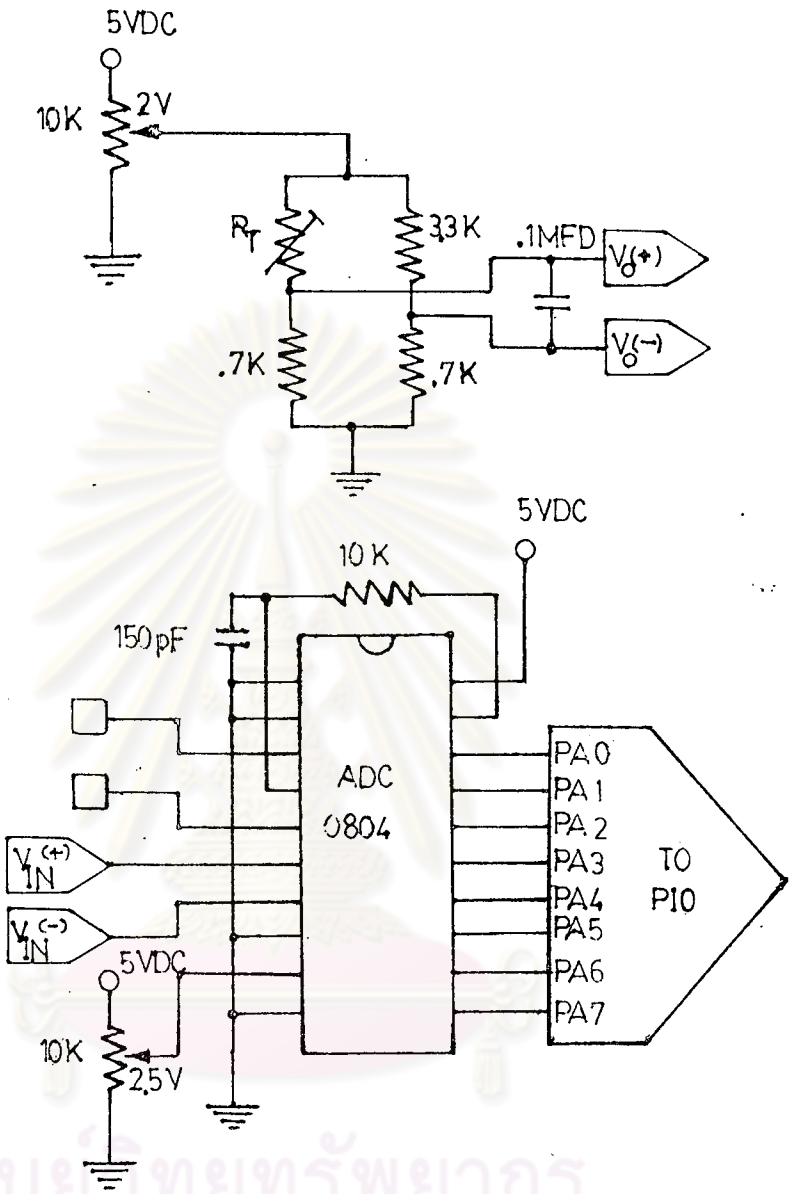
เป็นขั้นตอนที่ใช้วัดค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ โดยในขั้นตอนนี้จะเป็นการวัดความต่างศักย์ครอม R_1 เมื่อจ่ายกระแสเข้าทางขั้ว AC โดยที่สวิชท์ S_1, S_2 S_8 และ S_{11} จะทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.15

ขั้นตอนที่ 6

เป็นขั้นตอนที่จะวัดความต่างศักย์ระหว่างขั้ว DB โดยที่สวิชท์ S_3,S_6 S_8 และ S_{11} จะทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.16

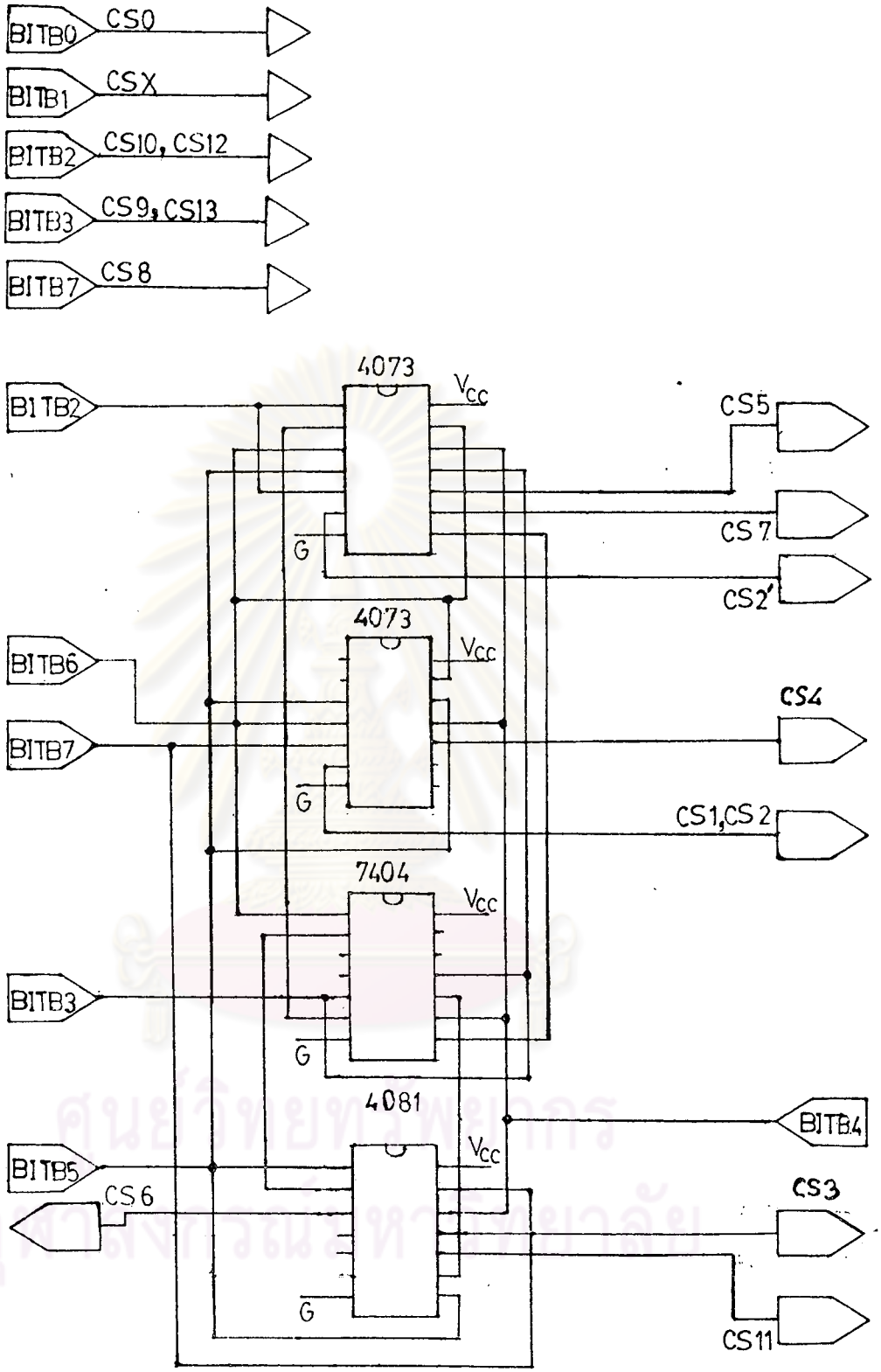
อย่างไรก็ตามในการวัดค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์นั้นมีสิ่งจำเป็นสองประการที่ต้องกระทำคือ ประการแรกการควบคุมอุณหภูมิ และประการที่สองในการวัดค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์ต้องใช้สนามแม่เหล็กและมีการปรับค่าของสนามด้วย ซึ่งในประการแรกนั้นไม่มีปัญหาสามารถให้คอมพิวเตอร์กระทำได้ดังได้ออกแบบและกล่าวไว้ตอนต้นแล้ว ส่วนประการหลังนั้นจำเป็นที่ต้องกระทำด้วยมือ เนื่องจากไม่ได้ออกแบบไว้

สำหรับวงจรที่ใช้งานจริงนั้นแสดงได้ดังรูปที่ 3.17 ถึง 3.19 ซึ่งเป็นวงจรที่สามารถทำงานที่กำหนดไว้ในแผนภาพตามรูปที่ 3.2 (ไม่รวมการอินเตอร์เฟสของเทปคาสเซทเพราะมีมากับเครื่อง) และสำหรับการทำงานของระบบตามขั้นตอนต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วตั้งแต่ต้นนั้นเป็นการทำงานที่กำหนดโดยคำสั่งควบคุม (โปรแกรม) ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อถัดไป และโดยที่สวิชท์ S0 ใช้สำหรับปิด–เปิดอุปกรณ์จ่ายความร้อน สวิชท์ SX ใช้สำหรับความต่างศักย์ขาเข้า (V_{IN})



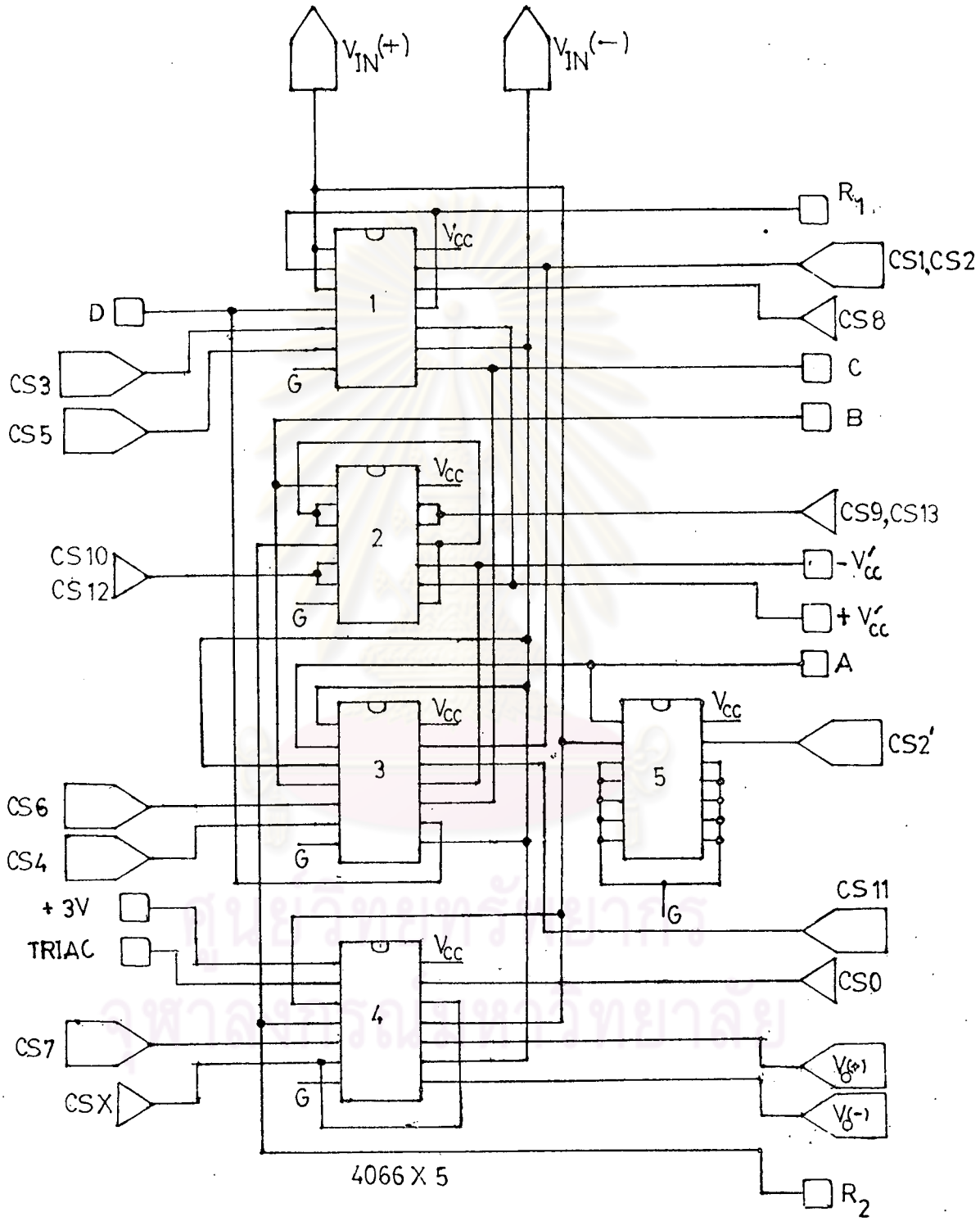
รูปที่ 3.17 วงจรตรวจจับอุณหภูมิและวงจร ADC ที่ใช้งานจริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



V_{cc} = 5 VDC

รูปที่ 3.18 วงจรควบคุมอิเลกทรอนิคส์สวิชท์.



รูปที่ 3.19 วงจรอิเลกทรอนิคส์สวิช์ท์

3.4 การออกแบบโปรแกรมควบคุม(2,3,4)

เนื่องจากเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้ใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ในการควบคุมการทำงาน ดังนั้นในการที่จะให้เครื่องมือนี้ทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งได้จะต้องเขียนโปรแกรมคำสั่งลำดับการทำงานเก็บไว้ในหน่วยความจำก่อน จากนั้นเมื่อเราต้องการให้ระบบทำงาน ไมโครโปรเซสเซอร์ก็จะนำคำสั่งมาปฏิบัติเป็นลำดับไปจนจบ

สำหรับโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

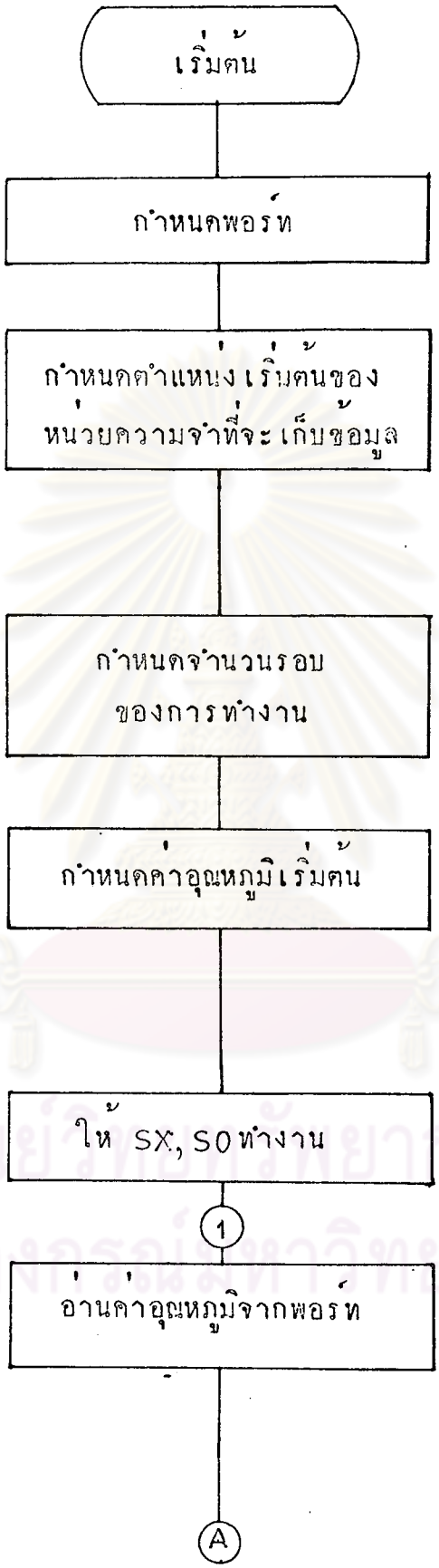
(1) โปรแกรมสำหรับวัดสภาพความต้านทานไฟฟ้า

(2) โปรแกรมสำหรับวัดค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์

3.4.1 โปรแกรมสำหรับการวัดสภาพความต้านทานไฟฟ้า

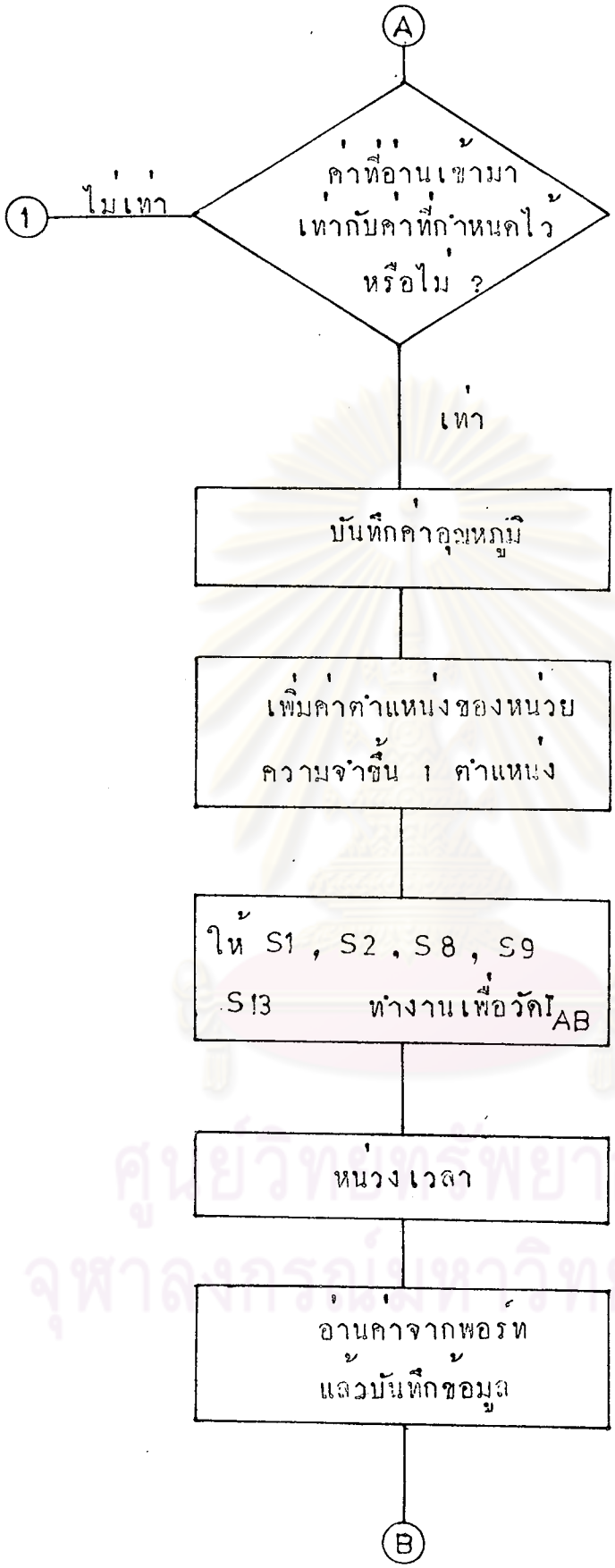
ลักษณะของโปรแกรมเป็นการกำหนดให้อิเลกทรอนิคส์สวิชท์ทำงาน แล้ววัดค่าความต่างศักย์ ณ ตำแหน่งและอุณหภูมิต่าง ๆ กัน จากนั้นนำค่าที่อ่านได้บันทึกเก็บไว้ในหน่วยความจำ สำหรับผังงานการทำงานของโปรแกรมนี้แสดงได้ดังรูป 3.20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.20 ผังงานการวัดค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

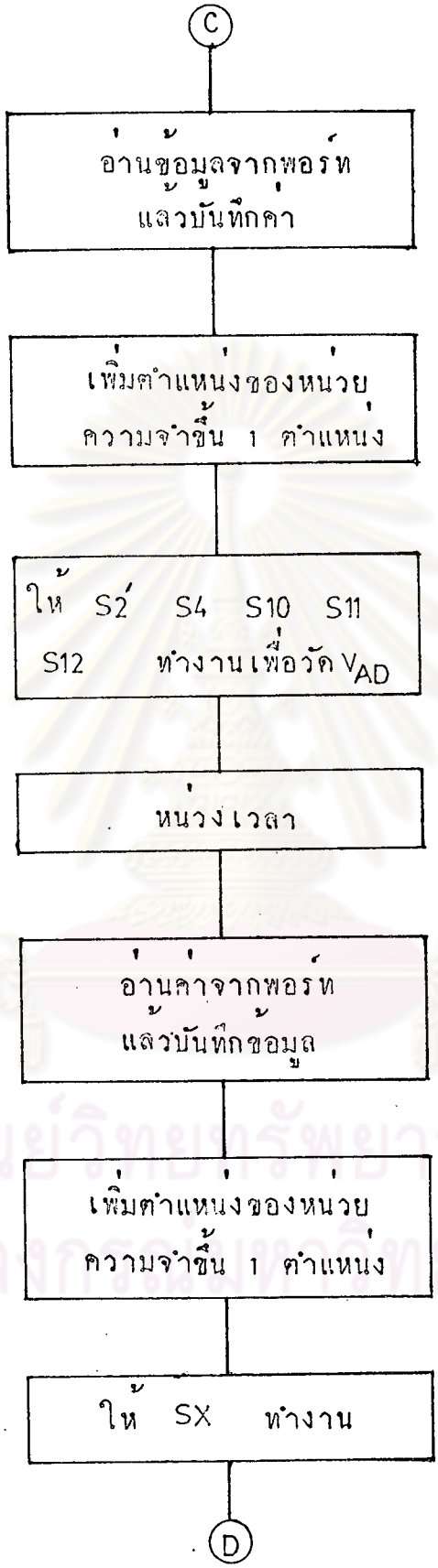


รูปที่ 3.20 (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

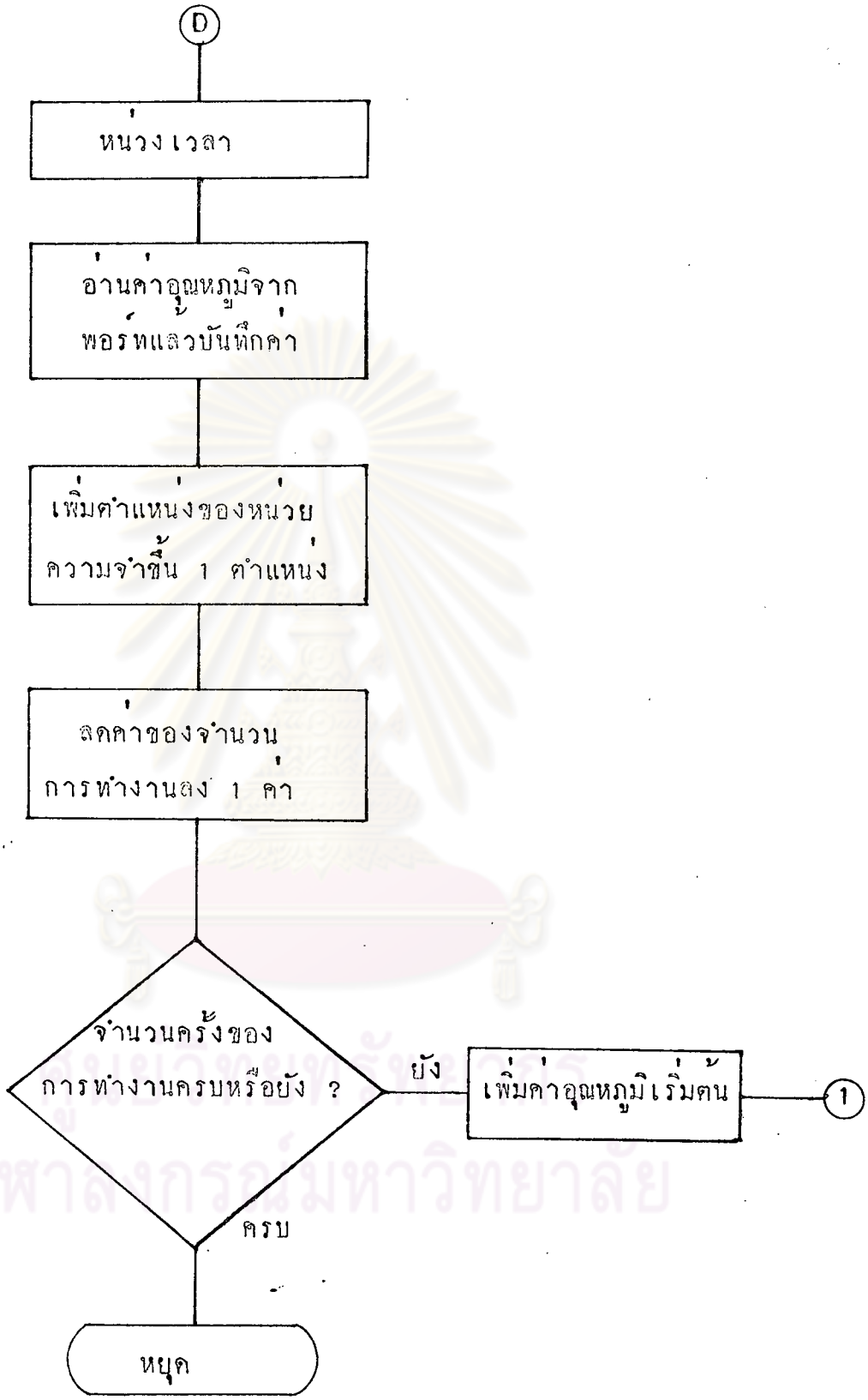
รูปที่ 3.20 (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.20 (ต่อ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


D
หน่วงเวลา
อ่านค่าอุณหภูมิจาก
พอร์ทแล้วบันทึกค่า
เพิ่มตำแหน่งของหน่วย
ความจำขึ้น 1 ตำแหน่ง
ลดค่าของจำนวน
การทำงานลง 1 ค่า
จำนวนครั้งของ
การทำงานครบหรือยัง ?
ยัง
เพิ่มค่าอุณหภูมิเริ่มต้น
1
ครบ
หยุด

รูปที่ 3.20 (ต่อ)

โปรแกรมสำหรับวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า

ลาเบล	แอดเดรส	ภาษาเครื่อง	ระหัสนีโมนิค	ความหมาย
			โปรแกรมพอร์ท A ให้ทำงานใน Mode1	
ORG	18ØØ	ØE82	LDC,82H ;	ใส่ค่า 82 H (ซึ่งเป็นค่าแอดเดรสที่ใช้ควบคุมพอร์ท A) ให้กับรีจิสเตอร์ C
	18Ø2	3EØ7	LDA,Ø7H ;	ใส่ค่า Ø7H ให้กับแอคคิวมูเลเตอร์ (A)
	18Ø4	ED79	OUT(C),A ;	นำค่าจาก A ไปยังแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ C แอดเดรสที่ 82 H) ค่า Ø7 H ที่ให้แก่แอดเดรส 82 H เพื่อเป็นการบอกให้ซีพียูรู้ว่าเป็นการdisable interupt พอร์ท A
	18Ø6	3E4F	LDA,4FH ;	ใส่ค่า 4 FH ให้กับ A (ซึ่งเป็นค่าที่จะทำให้ PIO ทำงานใน mode 1)
	18Ø	ED79	OUT(C),A ;	นำค่า 4 FH จาก A ไปยังแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ C (แอดเดรสที่ 82 H)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลาเบล	แอดเดรส	ภาษาเครื่อง	ระหัสนีโมนิค	ความหมาย
	18Ø A	ØE8Ø	LDC,8ØH ;	ใส่ค่า 8Ø H ให้กับ C ค่านี้เป็นแอดเดรสที่พอร์ท A จะนำข้อมูลมาเก็บไว้
	18Ø C	ED78	IN A,(C) ;	นำค่า (ข้อมูล) จากแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ C (แอดเดรส 8Ø H) มายัง A (การอ่านข้อมูลจาก PIO ในบรรทัดนี้ก็เพื่อที่จะทำให้ขา $\overline{ARDY}$ มีระดับลอจิกเป็น"1" โดยข้อมูลที่อ่านเข้ามานี้เราไม่คำนึงว่าเป็นอะไร)
		โปรแกรมพอร์ท B ให้ทำงานใน	mode 3	
	18Ø E	ØE83	LDC,83'H ;	ใส่ค่า 83 H (ซึ่งเป็นแอดเดรสที่ใช้ควบคุมพอร์ท B) ให้กับรีจิสเตอร์ C
	181Ø	3EØ7	LDA,Ø7H ;	ใส่ค่า Ø7H ให้กับ A
	1812	ED79	OUT(C),A ;	นำค่าจากแอดคิวมูเลเตอร์(A) ไปยังแอดเดรสที่กำหนดโดยวิธีรีจิสเตอร์ C เพื่อเป็นการ disable interrupt พอร์ท B
	1814	3ECF	LDA,CFH ;	ใส่ค่า CFH ให้กับ A (ซึ่งเป็นค่าที่จะทำให้ PIO ทำงานใน mode 3)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลาเบล	แอดเดรส	ภาษาเครื่อง	ระหัสนีโมนิค	ความหมาย
	1816	ED79	OUT(C),A ;	นำค่าจาก A ไปยังแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ C (แอดเดรสที่ 83 H)
	1818	3EØØ	LDA,ØØH ;	ใส่ค่า ØØ H ให้กับแอดคิวมูเลเตอร์ C
	181 A	ED79	OUT(C),A	นำค่าจาก A ไปยังแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์ C (แอดเดรสที่ 83 H) ซึ่งเป็นค่าที่จะทำให้ทุก ๆ บิทของพอร์ท B ทำหน้าที่เป็นเอาท์พุทเท่านั้น
		----------		
	181 C	Ø6ØA	LDB,ØAH ;	ใส่ค่า ØAH ให้กับรีจิสเตอร์ B ค่าที่ให้เป็นการกำหนดจำนวนรอบของการทำงาน
	181 E	11ØØ19	LDDE,19ØØH;	ใส่ค่า 19ØØ H ในรีจิสเตอร์คู่ DE เป็นการกำหนดแอดเดรสเริ่มต้นของพื้นที่แรกที่จะเก็บข้อมูล
	1821	262Ø	LDH,2ØH ;	ใส่ค่า 2ØH ให้กับรีจิสเตอร์ H
LOOP	1823	AF	XOR A ;	ทำ A ให้เป็นศูนย์
	1824	3EØA	LDA,ØAH ;	ใส่ค่า ØAH ให้กับ A, (เป็นค่าที่จะใช้เพิ่มอุณหภูมิ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำเบล	แอดเดรส	ภาษาเครื่อง	ระหัสนีโมนิค		ความหมาย
	1826	84	ADDA,H	;	บวกค่าในรีจิสเตอร์ H เข้ากับค่าในA ผลลัพธ์จะเก็บไว้ใน A
	1827	67	LDH,A	;	ย้ายข้อมูลในA ไปไว้ที่รีจิสเตอร์ H ค่าในรีจิสเตอร์ H ตอนนี้จะเป็นอุณหภูมิเริ่มต้นที่จะเริ่มเก็บข้อมูล
	1828	ØE81	LDC,81H	;	ใส่ค่า 81 H ให้กับรีจิสเตอร์ C ค่านี้เป็นแอดเดรสที่พอร์ท B จะนำข้อมูลออกไป
	182 A	2EØ3	LDL,Ø3H	;	ใส่ค่า Ø3 H ให้กับรีจิสเตอร์ L
	182 C	ED69	OUT(C),L	;	นำค่า Ø3H จากรีจิสเตอร์ L ไปยังแอดเดรสที่กำหนดโดยรีจิส-เตอร์ C (แอดเดรสที่ 81 H) (การกระทำจากแอดเดรสที่ 1828 ถึง 182 C เป็นการสั่งให้สวิชท์ SX และ heater ทำงาน)
	182 E	CD7Ø18	CALL SUB1	;	ไปทำงานที่โปรแกรมย่อยที่ชื่อ SUB 1
	1831	ØE81	LDC,81H	;	ให้สวิชท์ S1, S2, S8 S9 และ S13 ทำงาน
	1833	2EE9	LDL,E9H		
	1835	ED69	OUT(C),L		
	1837	CD9418	CALL SUB	;	ไปทำงานที่โปรแกรมย่อยที่ชื่อ SUB

ลาเบล	แอดเดรส	ภาษาเครื่อง	ระหัสนีโมนิค	ความหมาย
	183 A	ØE81	LDC,81H	; ให้สวิชท์ S3, S5, S8, S9
	183 C	2ED9	LDL,D9H	และ S13 ทำงาน
	183 E	ED69	OUT(C),L	
	184Ø	CD9418	CALL SUB	; ไปทำงานที่โปรแกรมย่อยที่ชื่อ SUB

	1843	ØE81	LDC,81H	; ให้สวิชท์ S6, S7, S1Ø, S11
	1845	2E25	LDL,25H	และ S12 ทำงาน
	1847	ED69	OUT(C),L	
	1849	CD9418	CALL SUB	; ไปทำงานที่โปรแกรมย่อยที่ชื่อ SUB
		----------		
	184 C	ØE81	LDC,81H	; ให้สวิชท์ S2, S4, S1Ø, S11
	184 E	2E75	LDL,75H	และ S12 ทำงาน
	1850	ED69	OUT(C),L	
	1852	CD9418	CALL SUB	; ไปทำงานที่โปรแกรมย่อยที่ชื่อ SUB

	1855	ØE81	LDC,81H	; ให้สวิชท์ SX และ heater ทำงาน
	1857	2EØ3	LDL,Ø3H	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลาเบล	แอดเดรส	ภาษาเครื่อง	ระหัสนีโมนิค	ความหมาย
	1859	ED69	OUT(C),L	
	185 B	CD9418	CALL SUB ;	ไปทำงานที่ โปรแกรมย่อยที่ชื่อ SUB
			----------	
	185 E	Ø5	DEC B ;	ลดค่าของรีจิสเตอร์ B (จำนวนรอบ) ลงหนึ่งค่า
	185 F	C22318	JPNZ LOOP ;	ทำงานครบตามจำนวนรอบหรือยัง (B=Ø หรือไม่) ถ้า B≠Ø ให้กลับทำงานที่ LOOP
	186Ø	76	HALT ;	หยุดการทำงาน

SUB1	187Ø	DB8Ø	INA,(8Ø) ;	อ่านข้อมูลจากพอร์ท
	1872	BC	CPH ;	เปรียบเทียบค่าที่อ่านเข้ามากับค่าในรีจิสเตอร์ H
	1873	C27F18	JPNZ SUBØ ;	ถ้าค่าที่อ่านเข้ามาไม่เท่ากับค่าในรีจิสเตอร์ H ให้ไปทำงานที่โปรแกรมย่อยที่ชื่อ SUBØ ถ้าเท่ากันให้ไปทำงานที่คำสั่งถัดไป
	1876	12	LD(DE),A ;	ย้ายค่าของข้อมูลใน A ไปไว้ที่หน่วยความจำที่กำหนดโดยรีจิสเตอร์คู่ DE

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลาเบล	แอดเดรส์	ภาษาเครื่อง	ระหัสนีโมนิค	ความหมาย
	1877	13	INC DE ;	เพิ่มค่าของ DE ขึ้นหนึ่งค่า
	1878	ØE81	LDC,81H ;	การกระทำจากแอดเดรสที่ 1878 ถึง 187C เป็นการสั่งให้ Bit Ø-7 ของ Port B เป็น Ø
	187A	2EØØ	LDL,ØØH	
	187C	ED69	OUT(C),L	
	187E	C9	RET ;	กลับไปโปรแกรมหลัก

SUBØ	187F	C5	PUSH BC ;	เก็บค่า BC ไว้ในแสตค
	188Ø	CD8718	CALL DLY ;	เรียกโปรแกรมย่อยที่ชื่อ DLY
	1883	C1	POP BC ;	นำค่าจากแสตคมาไว้ที่ BC อย่างเดิม
	1884	C37Ø18	JP SUB1 ;	กลับไปทำงานตามโปรแกรมย่อยที่ชื่อ SUB 1

DLY	1887	Ø6Ø2	LDB,Ø2H ;	ใส่ค่า Ø2 H ให้กับรีจีสเตอร์ B
LOOP1	1889	ØE FF	LDC, FFH ;	ใส่ค่า FFH ให้กับรีจิสเตอร์ C
LOOP2	188B	ØD	DEC C ;	ลดค่าในรีจิสเตอร์ C ลงหนึ่งค่า
	188C	C28518	JP NZ,LOOP2	ถ้า C≠Ø กลับไปที่ LOOP2
	188F	Ø5	DEC B ;	ลดค่าในรีจิสเตอร์ B ลงหนึ่งค่า
	1890	C28318	JP NZ,LOOP1	ถ้า B≠Ø กลับไปที่ LOOP1
	1893	C9	RET ;	กลับสู่โปรแกรมหลัก

SUB	1894	C5	PUSH BC ;	เก็บค่า BC ไว้ในแสตค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลาเบล	แอดเดรส	ภาษาเครื่อง	ระหัสนีโมนิค	ความหมาย
	1895	CD8718	CALL DLY ;	เรียกโปรแกรมย่อยที่ชื่อ DLY
	1898	C1	POP BC ;	นำค่าจากแสตคมาไว้ที่ BC อย่างเดิม
	1899	DB8Ø	INA,(8Ø) ;	อ่านข้อมูลจากพอร์ท
	189B	12	LD(DE),A ;	เก็บค่าข้อมูลที่อ่านเข้ามาไปไว้ที่แอดเดรสที่กำหนดโดย DE
	189C	13	INC DE ;	เพิ่มค่า DE ขึ้นหนึ่งค่า
	189D	ØE81	LDC,81H ;	การกระทำจากแอดเดรสที่ 189D ถึง 18A1 เป็นการสั่งให้ Bit Ø-7 ของ Port B เป็นØ
	189F	2EØØ	LDL,ØØH	
	18A1	ED69	OUT(C),L	
	18A2	C9	RET ;	กลับสู่โปรแกรมหลัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากผังงานตามรูปที่ 3.20 ค่าของจำนวนรอบของการทำงานจะเป็นเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลที่อุณหภูมิต่าง ๆ ที่ต้องการ เช่น ถ้าต้องการข้อมูลที่สามจุดของอุณหภูมิเช่นที่ 30, 40 และ 50°C จำนวนรอบของการทำงานจะเป็น 3 รอบเป็นต้น และเพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่อาจเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจึงกำหนดให้มีการบันทึกค่าอุณหภูมิสองครั้งคือ ก่อนทำการวัดและหลังจากจบสิ้นการทำงานในแต่ละรอบ หลังจากการทำงานในรอบแรกเสร็จสิ้นลง คอมพิวเตอร์จะเพิ่มค่าอุณหภูมิที่จะวัดขึ้นไปอีกพร้อมกับลดค่าของจำนวนรอบของการทำงานลงหนึ่งค่า จากนั้นก็จะทำการวัดค่าต่าง ๆ เช่นเดียวกันกับที่ทำในรอบแรก การทำงานแบบวนรอบนี้จะดำเนินไปจนกระทั่งค่าของจำนวนรอบของการทำงานลดลงเป็นศูนย์จึงจะสิ้นสุดการทำงานทั้งหมด อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจากผังงานจะพบว่าการทำงานวัดค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้านี้ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ แต่จะปล่อยให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ จนถึงค่าที่เราต้องการจึงทำการวัดและบันทึกผล โดยการทำงานจะถูกควบคุมด้วยไมโครคอมพิวเตอร์เองทั้งหมด

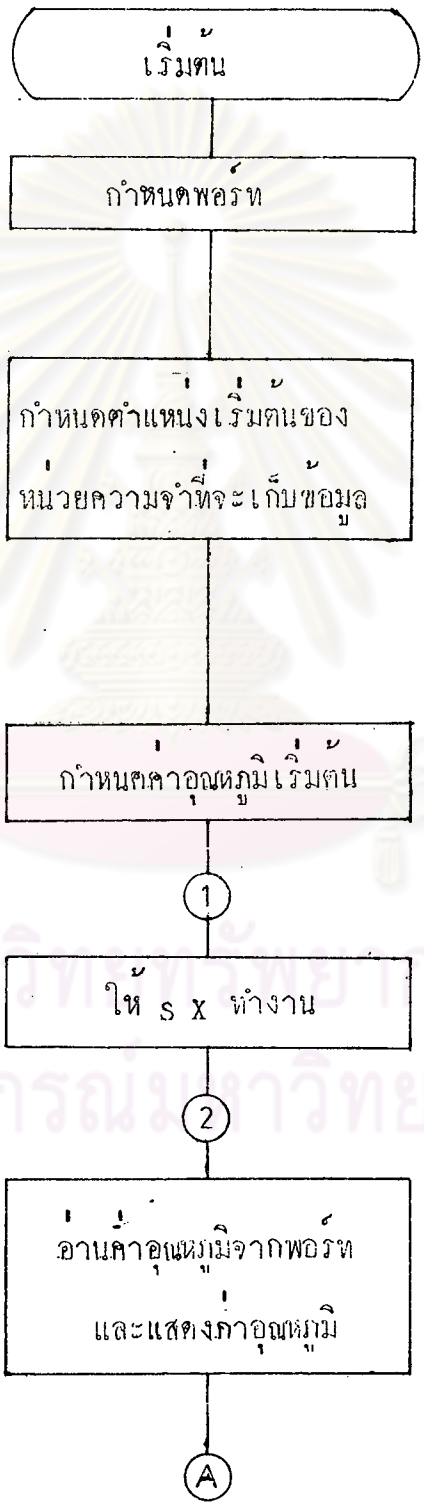
3.4.2 โปรแกรมสำหรับการวัดค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์

สำหรับการวัดค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์นั้น จำเป็นที่จะต้องมีการควบคุมอุณหภูมิด้วย ในการทดลองไม่ต้องมีการสลับขั้วจ่ายไฟเหมือนกับการวัดค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้า แต่จำเป็นต้องมีการปรับค่าสนามแม่เหล็กด้วยซึ่งต้องกระทำด้วยมือ

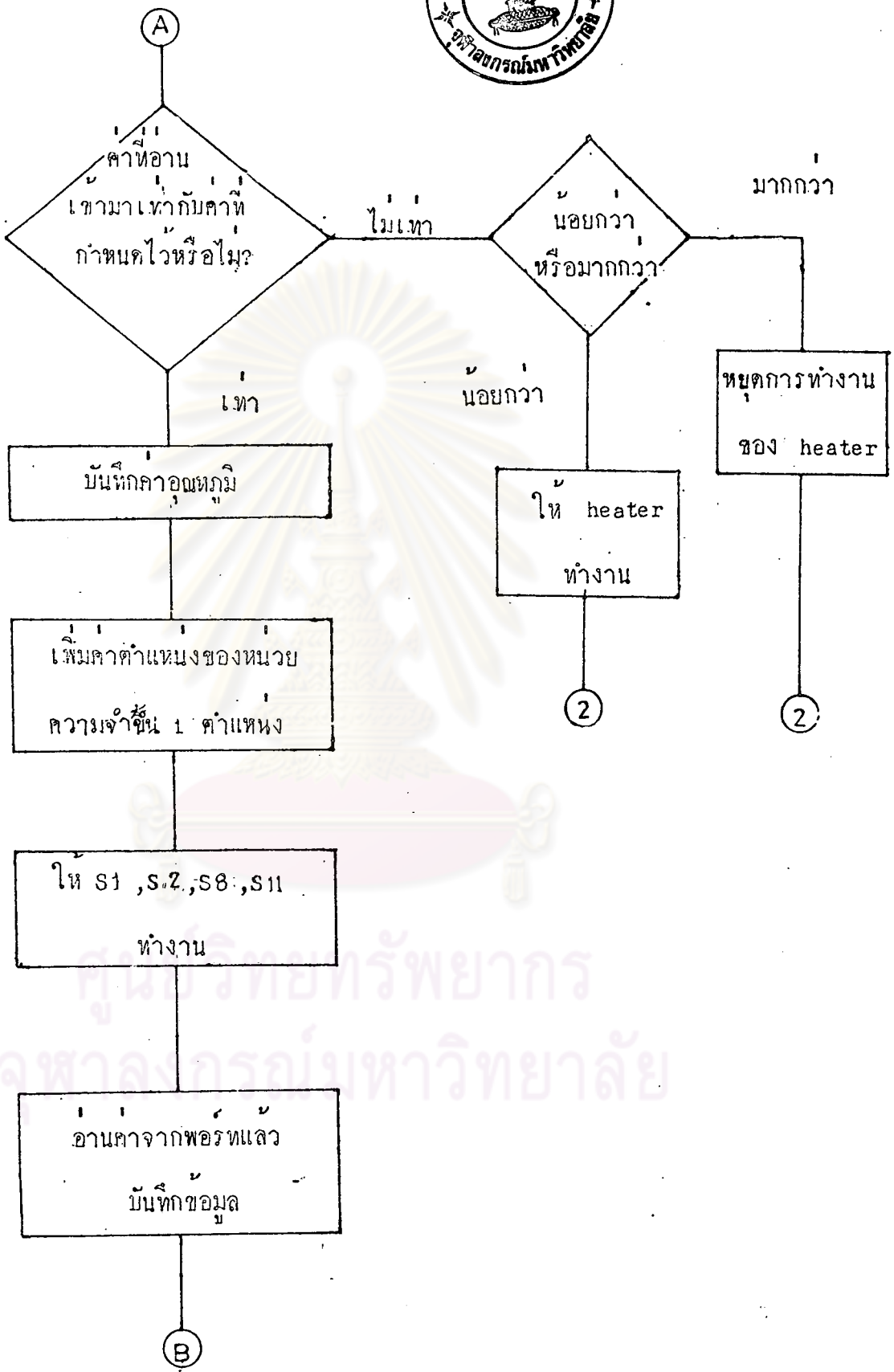
ลักษณะการทำงานครั้งแรกจะเป็นการวัดและบันทึกข้อมูลที่อุณหภูมิต่าง ๆ ขณะที่ไม่มีสนามแม่เหล็กก่อน จากนั้นจะเริ่มทำการวัดและบันทึกข้อมูลซ้ำแบบเดิมอีกครั้งแต่การทำงานครั้งนี้จะวัดและบันทึกข้อมูลขณะที่ได้ปรับให้สนามแม่เหล็กมีค่าคงที่ค่าหนึ่งแล้ว โปรแกรมการทำงานทั้งในกรณีไม่มีสนามแม่เหล็กและขณะมีสนามแม่เหล็กจะเหมือนกัน ซึ่งแสดงผังงานการทำงานของโปรแกรมได้ดังรูปที่ 3.21

รูปที่ 3.21

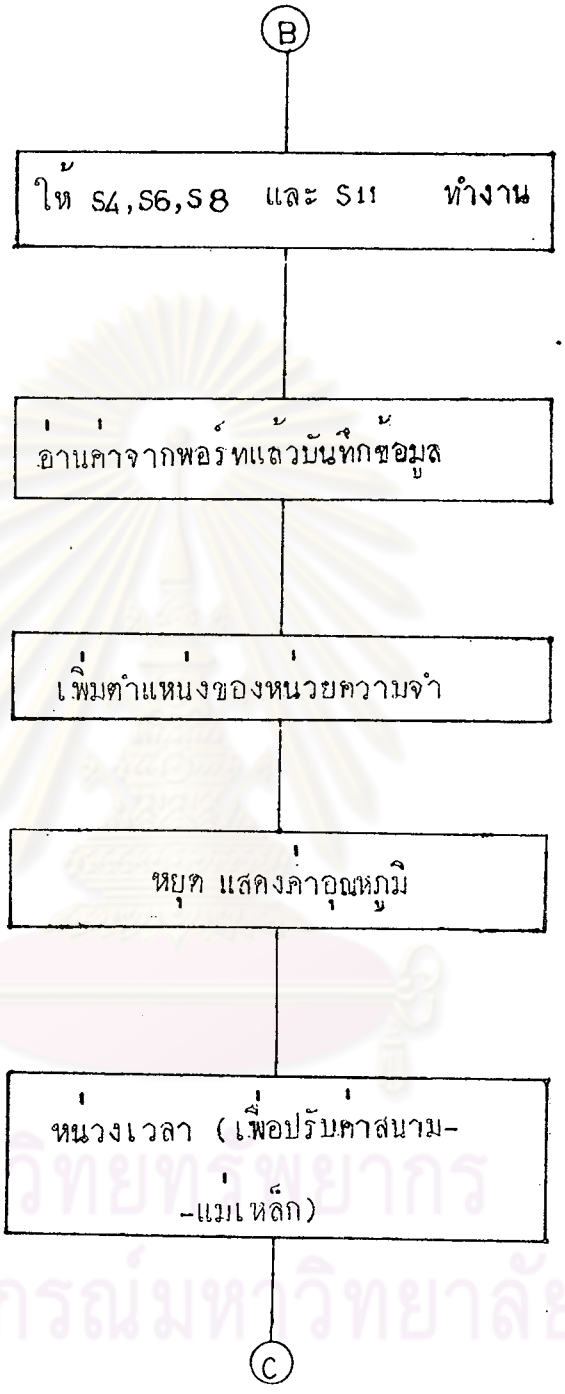
ผังงานการวัดค่าสัมประสิทธิ์ของฮอลล์



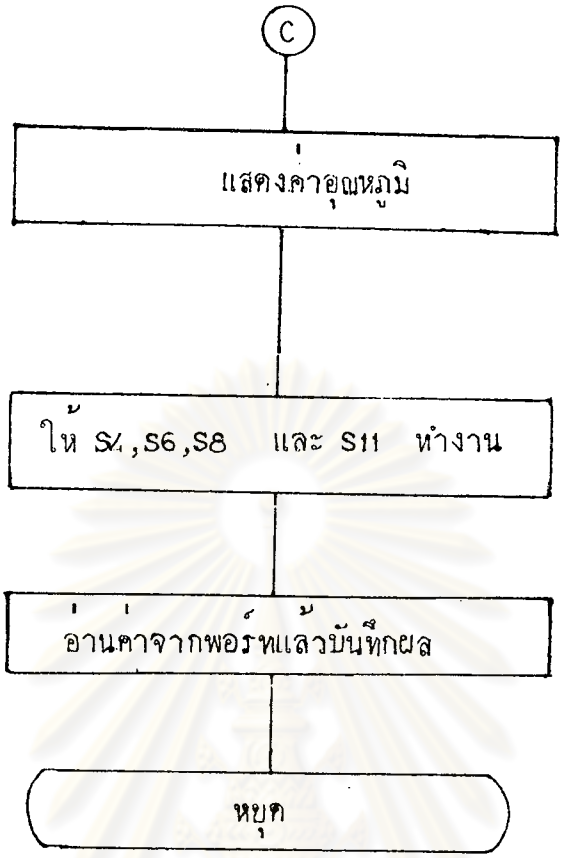
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.5 การวัดแบบกึ่งอัตโนมัติ

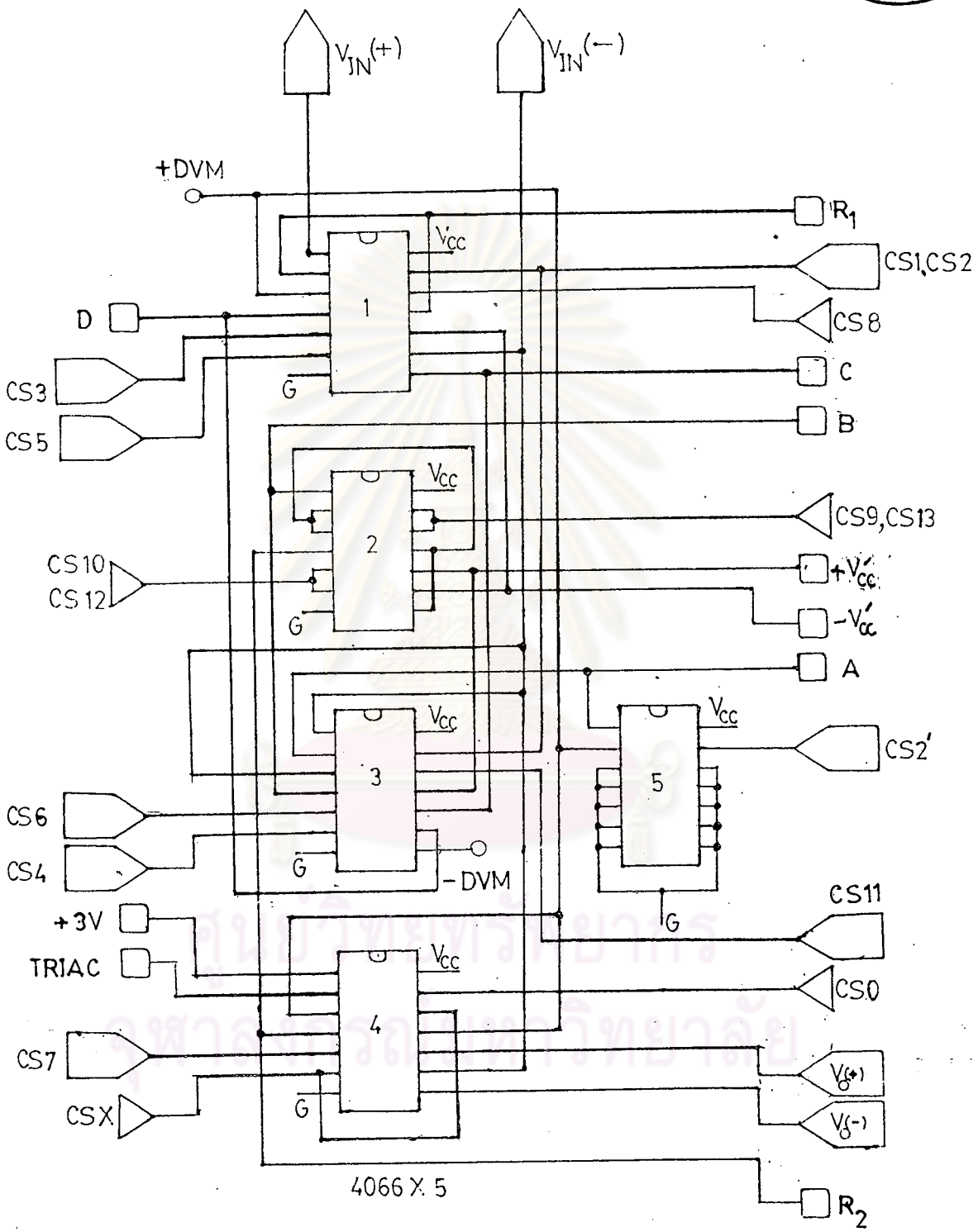
จากหัวข้อที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นการทำงานจะเป็นไปในแบบอัตโนมัติ อย่างไรก็ตาม ในบางกรณีอาจเป็นการไม่เหมาะสมที่จะให้เครื่องมือทำงานแบบอัตโนมัติ เป็นต้นว่า เราไม่อาจทราบได้แน่ชัดว่าผลึกตัวอย่างที่มีอยู่นั้น เมื่อจ่ายกระแสเข้าไปแล้ว ความต่างศักย์ที่ออกมาอาจจะมากน้อยหรือน้อย จนกระทั่งไม่อยู่ในช่วงที่เครื่องมือจะบันทึกได้ (ความต่างศักย์ที่บันทึกได้อยู่ในช่วง 50 มิลลิโวลท์ ถึง 5 โวลท์) หรือ ในกรณีของสารกึ่งตัวนำ เราไม่อาจทราบได้ว่าเป็นชนิดพีหรือชนิดเอ็น ดังนั้น หากจัดขั้วสัมผัสทางไฟฟ้าไม่ถูกต้อง เครื่องมือก็จะไม่สามารถบันทึกผลได้เช่นกัน

จากมูลเหตุดังกล่าว เมื่อทำการวัดแบบอัตโนมัติเราอาจได้ ข้อมูลที่ไม่สามารถตีความหมายได้ ดังนั้นจึงอาจดัดแปลง เครื่องมือ เพื่อให้ทำการวัดแบบกึ่งอัตโนมัติได้ ซึ่งสามารถกระทำได้ง่ายและหลายแบบทั้งนี้จะสัมพันธ์กับการออกแบบโปรแกรมควบคุมด้วย ในที่นี้จะเสนอวิธีการดัดแปลงแบบหนึ่งโดยที่การวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าในวิธีนี้จะกำหนดให้เครื่องมือทำการวัดและบันทึกค่าของอุณหภูมิและกระแส ส่วนค่าความต่างศักย์ จากผลึกตัวอย่างผู้ทดลองสามารถตรวจสอบได้ด้วยตนเองจาก digital voltmeter ว่าเป็นค่าที่เหมาะสมหรือไม่ และอาจบันทึกผลนี้ด้วยตนเองได้

การทดลองด้วยวิธีนี้จะต้องดัดแปลงวงจรตามรูปที่ 3.19 ใหม่เล็กน้อย ซึ่งวงจรที่ดัดแปลงแล้วแสดงได้ในรูปที่ 3.22

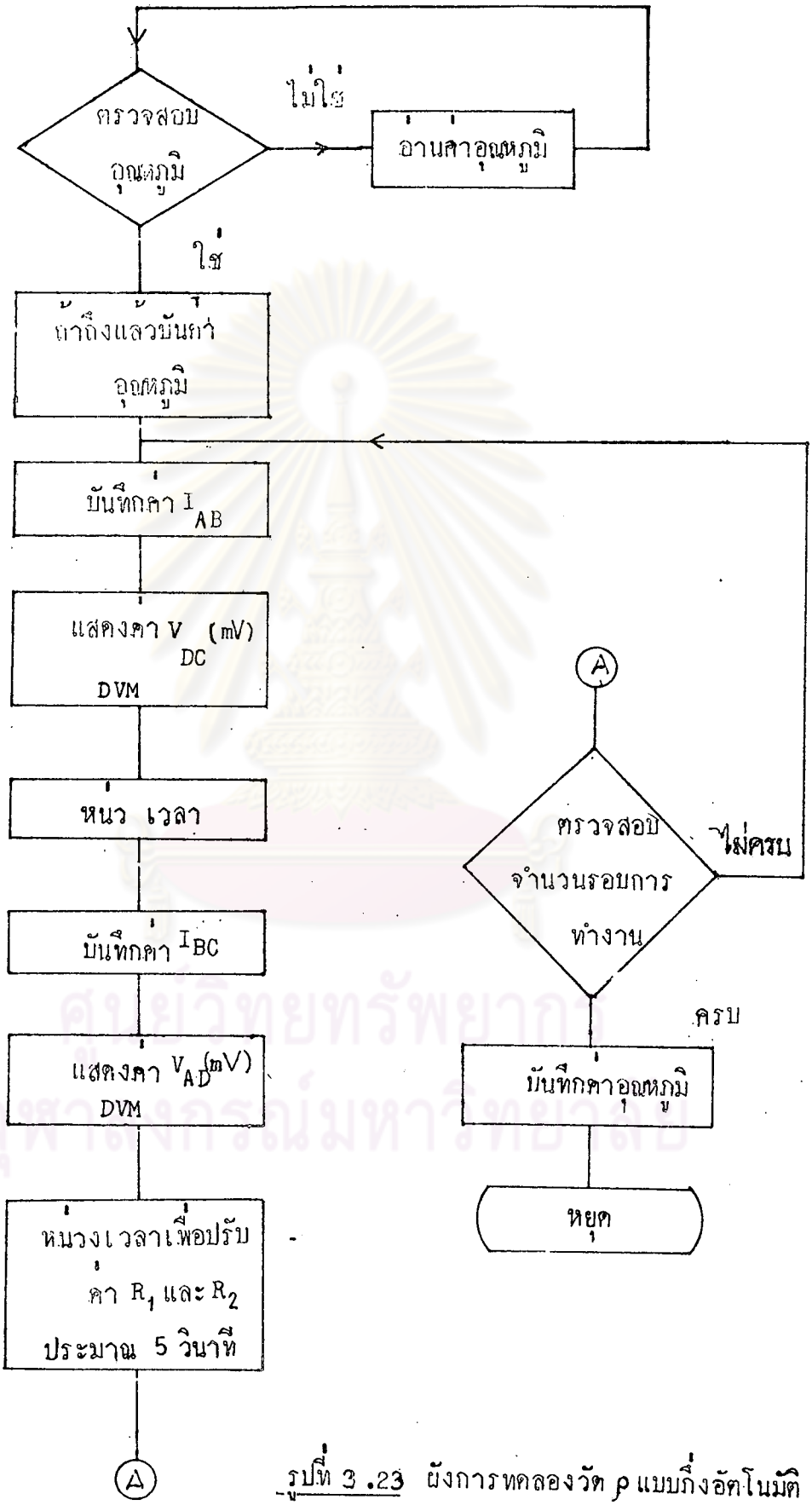
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.22 วงจรอิเลกทรอนิคส์สวิชที่ดัดแปลงใหม่

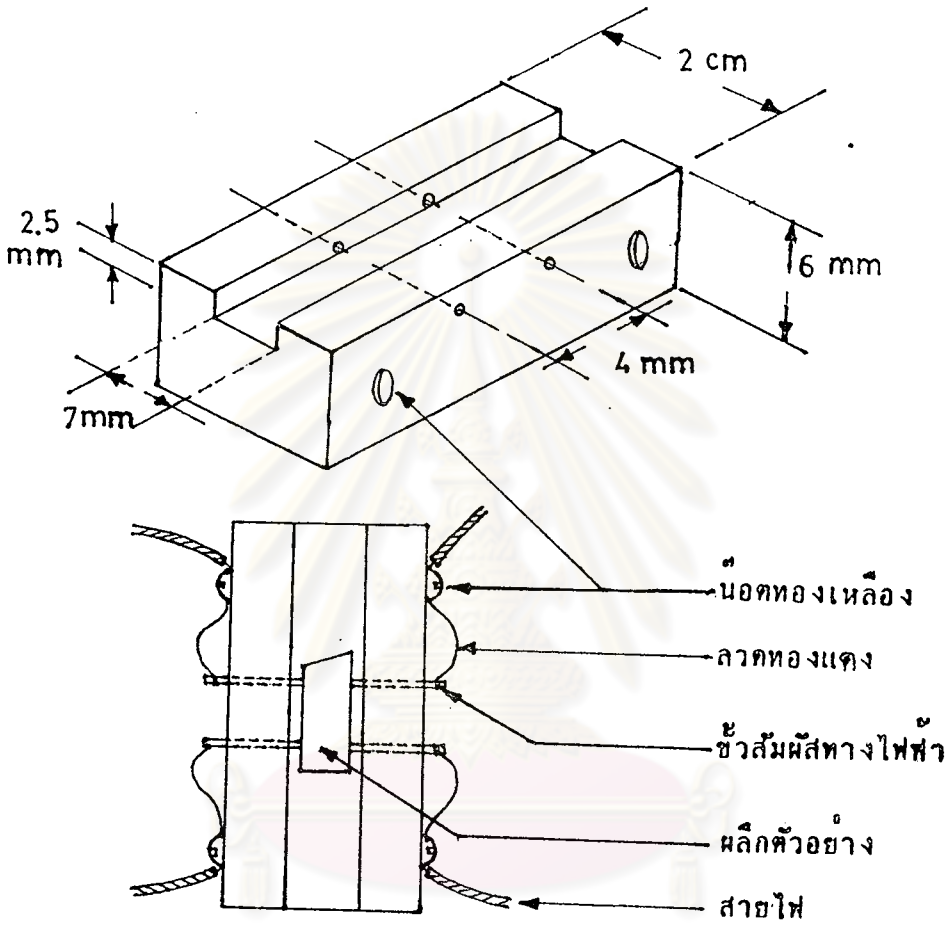
สำหรับขั้นตอนการทำการทดลองจะเป็นดังผังงานต่อไปนี้



รูปที่ 3.23 ผังการทดลองวัด ρ แบบกึ่งอัตโนมัติ

3.6 ภาชนะบรรจุสารตัวอย่าง

ภาชนะบรรจุสารตัวอย่างทำขึ้นจากแบคเคลไลท์ซึ่งมีลักษณะตามรูปที่3.24



รูปที่ 3.24 ภาชนะบรรจุสารตัวอย่างที่ใช้ทดลอง

หลังจากบรรจุผลึกตัวอย่างลงในภาชนะพร้อมทั้งติดขั้วสัมผัสทางไฟฟ้าแล้ว บัดกรีลวดทองแดงระหว่างขั้วสัมผัสกับน็อตทองเหลือง 4 ตัว จากนั้นบัดกรีสายไฟกับน็อตทองเหลืองสำหรับใช้วัดความต่างศักย์และสำหรับจ่ายกระแส