

การออกแบบและการสร้าง เครื่องมือวัดคุณภาพ  
และเครื่องมือวัดความทันใจ

ปริญญาบัตร

ของ

คำรงค์ คงสวัสดิ์

๒๑ พ.ค. ๒๕๓๕

ห้องสมุดบัณฑิตวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร  
เพื่อ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะศึกษาศาสตร์  
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต  
กุมภาพันธ์ ๒๕๒๙  
ลิขสิทธิ์ เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

178039



ประกาศคุณูปการ

ปริญญาบัตรฉบับนี้ สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชานี ทับทิมโต และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อากาศ วีรสาร ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงยิ่ง

กราบขอบพระคุณเจ้าของโรงเรียนอนุบาลคาราทิมพ์ ที่ได้กรุณาให้ใช้สถานที่เป็นห้องทดลองและอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณ คุณพจนารต ลือเศรษฐโกกร คุณวิชาญ พันธุ์ประเสริฐ ที่ได้ช่วยเหลือและให้กำลังใจในการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณคณาจารย์แผนกวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิชาสามัญ วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ ที่ได้ให้ความสะดวกในการวิจัย และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเป็นอย่างยิ่ง

กราบขอบพระคุณคณาจารย์วิทยาลัยครูนครสวรรค์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาในการทำปริญญาบัตรฉบับนี้เป็นอย่างดียิ่ง

ท้ายที่สุดนี้คุณความดีของปริญญาบัตรฉบับนี้ให้เป็นกุศลสมบุญอุทิศแก่บุพการีทุก ๆ ท่านที่มีอุปการคุณต่อผู้วิจัย

กำรงค์ คงสวัสดิ์

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ .....	1
ภูมิหลัง .....	1
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า .....	3
ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า.....	3
ขอบเขตของการศึกษาค้นคว้า.....	4
คำจำกัดความศัพท์เฉพาะ.....	4
2 เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย .....	5
เครื่องมือวัดคุณภาพ .....	5
การใช้เทอร์มิสเตอร์วัดคุณภาพ .....	11
เครื่องมือวัดความดันไอ .....	17
3 การออกแบบและการดำเนินการสร้าง .....	26
การออกแบบวงจรไฟฟ้าของเครื่องมือวัดคุณภาพ .....	26
การออกแบบวงจรไฟฟ้าของเครื่องมือวัดความดันไอ .....	34
การดำเนินการสร้างเครื่องมือวัดคุณภาพ .....	37
การดำเนินการสร้างเครื่องมือวัดความดันไอ .....	55
การปรับแต่งและทดลอง .....	73
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	78
สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล .....	78
การวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผล .....	80

บทที่	หน้า
5 บทย่อ สรุปผล อภิปรายผล และ ข้อเสนอแนะ .....	93
บทย่อ .....	93
ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า .....	93
เครื่องมือมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบ .....	93
วิธีการสร้าง .....	93
วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล .....	94
สรุปผลการสร้าง .....	95
อภิปรายผลการสร้าง .....	96
ข้อเสนอแนะ .....	99
บรรณานุกรม .....	101
ภาคผนวก .....	103

## บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดศักย์ไฟฟ้าตรง ( $E_0$ ) ที่ออกจากวงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเซียล เพื่อหาความแน่นอนด้วยความเป็นเบนมาตรฐาน .....	81
2	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไ้จากการวัดศักย์ไฟฟ้าตรง ( $E_0$ ) ที่ออกจากวงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเซียล เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด .....	82
3	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไ้จากการ เปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าตรงออกมาเป็นตัวเลขในวงจรภาคแสดงผลของเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้าง เพื่อหาความแน่นอนด้วยความเป็นเบนมาตรฐาน .....	83
4	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไ้จากการ เปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าตรงให้้ออกมาเป็นตัวเลขในวงจรภาคแสดงผลของเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้าง เพื่อหาความเป็นเชิง เส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด .....	86
5	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไ้จากการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างกับ เครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐานด้วย t - test .....	88
6	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไ้จากการ เปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงให้้ออกมาเป็นตัวเลขในวงจรภาคแสดงผลของ เครื่องมือวัดความดันไอที่สร้าง เพื่อหาความแน่นอนด้วยความเป็นเบนมาตรฐาน .....	89
7	แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ไ้จากการ เปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงให้้ออกเป็นตัวเลขในวงจรภาคแสดงผลของ เครื่องมือวัดความดันไอที่สร้าง เพื่อหาความเป็นเชิง เส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด .....	90

ตาราง	หน้า
8 แสดงสัจพจน์และกฎเกี่ยวกับพีชคณิตของบูลีน .....	109
9 แสดงผลการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าตรง ( $E_0$ ) ที่ออกจากวงจรขยายสัญญาณแบบ คิฟเฟอร์เรนเซียลในเครื่องมือวัดคุณสมบัติที่สร้าง .....	111
10 แสดงผลการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงให้เป็นตัวเลขในวงจรรภาคแสดงผล ของเครื่องมือวัดคุณสมบัติที่สร้าง .....	112
11 แสดงผลการวัดคุณสมบัติของน้ำ เปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดคุณสมบัติที่สร้าง กับเครื่องมือวัดคุณสมบัติมาตรฐาน .....	113
12 แสดงผลการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงให้เป็นตัวเลขในวงจรรภาคแสดงผล ของเครื่องมือวัดความดันไอที่สร้าง .....	115

## บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	รูปร่างของตัวต้านทานพลาสติกชนิด ..... ..	6
2	แผ่นฟิล์มพลาสติกชนิด เบอร์ BS 1904 : 1964 ..... ..	8
3	รูปร่างของเทอร์มิสเตอร์มาตรฐานทั้งสี่แบบ ..... ..	10
4	วงจรการทดลองใช้เทอร์มิสเตอร์วัดอุณหภูมิของไนตริกและเพ็อน ..... ..	12
5	วงจรทดลอง Single-thermistor sensing bridge ..... ..	14
6	แผนภูมิการสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ..... ..	17
7	เครื่องมือวัดความดันไอ ..... ..	17
8	แผนภูมิการทดลองวัดความเร็วของเสียงในตัวกลางที่เป็นก๊าซ ..... ..	23
9	รูปคลื่นที่ได้จากการทดลองวัดความเร็วของเสียงในก๊าซ ..... ..	23
10	แผนภูมิหลักการสร้างเครื่องมือวัดความดันไอของสาร ..... ..	25
11	แผนภูมิแสดงการออกแบบวงจรไฟฟ้าของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ..... ..	26
12	วงจรเทอร์มิสเตอร์บริดจ์ (Thermistor Bridge) ..... ..	27
13	วงจรขยายสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Amplifier) ..... ..	28
14	วงจรวีซีโอ (VCO:Voltage Controlled Oscillator) ..... ..	30
15	วงจรมัลติไวเบรเตอร์และวงจรรูปร่างเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator) ..... ..	31
16	แสดงวงจรนับความถี่ (Frequency Counter) ..... ..	32
17	วงจรภาคจ่ายไฟเลี้ยง $\pm 5$ โวลต์ และ $\pm 9$ โวลต์ ..... ..	33
18	แผนภูมิแสดงการออกแบบวงจรไฟฟ้าของเครื่องมือวัดความดันไอ ..... ..	34
19	วงจรเครื่องส่งสัญญาณอัลตราโซนิค (Ultrasonic Transmitter) ... ..	35

20	วงจรเครื่องรับสัญญาณอัลตราโซนิค (Ultrasonic Receiver) .....	36
21	แสดงรูปร่างภายนอกของเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้าง .....	38
22	แสดงรูปร่างภายในของเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้าง .....	39
23	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรเทอร์มิสเตอร์บริดจ์ (Thermistor Bridge) .....	43
24	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรเทอร์มิสเตอร์บริดจ์ (Thermistor Bridge) .....	43
25	แสดงการลงอุปกรณ์บนแผนวงจรพิมพ์ของวงจรเทอร์มิสเตอร์บริดจ์ (Thermistor Bridge) .....	44
26	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรวีซีไอ (VCC:Voltage Controlled Oscillator) และ วงจรมัลติไวเบรเตอร์และวงจร ฐานเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator ) .....	45
27	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรวีซีไอ (VCC:Voltage Controlled Oscillator) และ วงจรมัลติไวเบรเตอร์และวงจร ฐานเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator) .....	46
28	แสดงการลงอุปกรณ์บนแผนวงจรพิมพ์ของวงจรวีซีไอ (VCC:Voltage Controlled Oscillator ) และ วงจรมัลติไวเบรเตอร์ และวงจรฐานเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator) .....	47
29	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรนับความถี่ (Frequency	

	Counter) .....	48
30	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรมับความถี่ (Frequency Counter) .....	49
31	แสดงการลงอุปกรณ์บนแผนวงจรพิมพ์ของวงจรมับความถี่ (Frequency Counter) .....	50
32	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรแฉงแสดงผลเป็นตัวเลข .....	51
33	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรแฉงแสดงผลเป็นตัวเลข .....	51
34	แสดงการลงอุปกรณ์บนแฉงแสดงผลเป็นตัวเลข .....	51
35	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรภาคจ่ายไฟตรง $\pm 5$ โวลต์ และ $\pm 9$ โวลต์ .....	52
36	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรภาคจ่ายไฟตรง $\pm 5$ โวลต์ และ $\pm 9$ โวลต์ .....	53
37	แสดงการลงอุปกรณ์บนแผนวงจรพิมพ์ของวงจรภาคจ่ายไฟตรง $\pm 5$ โวลต์ และ $\pm 9$ โวลต์ .....	54
38	แสดงรูปร่างภายนอกของเครื่องมือวัดความถี่ที่สร้าง .....	56
39	แสดงรูปร่างภายในของเครื่องมือวัดความถี่ที่สร้าง .....	56
40	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรเครื่องส่งสัญญาณอัลตราโซนิค (Ultrasonic Transmitter) และ วงจรเครื่องรับสัญญาณอัลตราโซนิค (Ultrasonic Receiver) .....	61
41	แผนวงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรเครื่องส่งสัญญาณอัลตราโซนิค (Ultrasonic Transmitter) และ วงจรเครื่องรับสัญญาณอัลตราโซนิค (Ultrasonic Receiver) .....	61

42	แสดงการลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรเครื่องส่งสัญญาณ อัลตราโซนิค (Ultrasonic Transmitter) และ วงจร เครื่องรับสัญญาณอัลตราโซนิค (Ultrasonic Receiver) .....	62
43	แผ่นวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรวีซีโอ (VCO:Voltage Controlled Oscillator) และ วงจรมัลติไวเบรเตอร์และวงจร ฐานเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator) ....	63
44	แผ่นวงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรวีซีโอ (VCO:Voltage Controlled Oscillator) และ วงจรมัลติไวเบรเตอร์และวงจร ฐานเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator) ....	64
45	แสดงการลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรวีซีโอ (VCO:Voltage Controlled Oscillator) และ วงจรมัลติไวเบรเตอร์ และวงจรฐานเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator) .....	65
46	แผ่นวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรมับความถี่ (Frequency Counter) .....	66
47	แผ่นวงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรมับความถี่ (Frequency Counter).....	67
48	แสดงการลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรมับความถี่ (Frequency Counter) .....	68
49	แผ่นวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรแฉงแสดงผลเป็นตัวเลข .....	69
50	แผ่นวงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรแฉงแสดงผลเป็นตัวเลข .....	69
51	แสดงการลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรแฉงแสดงผลเป็นตัวเลข .	69

52	แผนผังจรรยาพืชมองจากด้านบนของวงจรรภาคจ่ายไฟเลี้ยง $\pm 5$ โวลต์ และ $\pm 12$ โวลต์ .....	70
53	แผนผังจรรยาพืชมองจากด้านล่างของวงจรรภาคจ่ายไฟเลี้ยง $\pm 5$ โวลต์ และ $\pm 12$ โวลต์ .....	71
54	แสดงการลงอุปกรณ์บนแผนผังจรรยาพืชมองของวงจรรภาคจ่ายไฟเลี้ยง $\pm 5$ โวลต์ และ $\pm 12$ โวลต์ .....	72
55	แสดงแผนภูมิการต่อวงจรไฟฟ้าส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนอนุกรม เป็นคิกซ์ ไฟฟ้าตรง .....	73
56	แผนภูมิแสดงการต่อวงจรไฟฟ้าในภาคแสดงผลของ เครื่องมือวัดอนุกรม ที่สร้าง .....	74
57	แผนภูมิแสดงการต่อวงจรไฟฟ้าใน เครื่องมือวัดอนุกรม .....	75
58	แผนภูมิแสดงการต่อวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนความคั่นไอ เป็นคิกซ์ ไฟฟ้าตรง .....	76
59	แผนภูมิแสดงการต่อวงจรไฟฟ้าใน เครื่องมือวัดความคั่นไอที่สร้าง ....	77
60	แสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นเชิงเส้นของวงจรรส่วนที่ทำหน้าที่ เปลี่ยนอนุกรม เป็นคิกซ์ไฟฟ้าตรงด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด .....	85
61	แสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นเชิงเส้นของวงจรรภาคแสดงผลใน เครื่องมือวัดอนุกรมที่สร้างด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด .....	87
62	แสดงผลการวิเคราะห์ความเป็นเชิงเส้นของวงจรรภาคแสดงผลใน เครื่องมือวัดความคั่นไอที่สร้างด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด .....	92
63	แสดงวงจรรทรกแอนด์ (AND Gate) และตารางสัจพจน์ .....	107
64	แสดงวงจรรทรกออร์ (OR Gate) และตารางสัจพจน์ .....	108
65	แสดงวงจรรทรกนอท (NOT Gate) และตารางสัจพจน์ .....	108

ภูมิหลัง

การวัดอุณหภูมิและความดันโลหิตมีความจำเป็นมากสำหรับงานสอนและงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์ เครื่องมือวัดอุณหภูมิและความดันที่มีใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ทั่วไปมักจะเป็นเครื่องมือแบบง่าย ๆ เช่น เทอร์โมมิเตอร์และบาโรมิเตอร์แบบไขพรอท ประสิทธิภาพของเครื่องมือเหล่านี้หรือความละเอียดของการวัดมักจะขึ้นอยู่กับการประมาณค่าด้วยสายตาของผู้ทดลอง ซึ่งไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับงานคำนวณวิเคราะห์ที่ต้องการความเที่ยงตรงและความแน่นอนสูง

ปัจจุบันเทคโนโลยีได้พัฒนาก้าวหน้าไปมาก เครื่องมือที่มีประสิทธิภาพเหมาะกับการใช้งานตามความต้องการดังกล่าวมีจำหน่ายแล้วแต่ราคาค่อนข้างแพง จนเป็นที่ให้สถานศึกษาโดยทั่วไปไม่อาจจัดซื้อไว้ประจำในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ได้ อย่างไรก็ตามการสร้างเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพดังกล่าวนี้ก็สามารถทำได้โดยมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่า แต่มีประสิทธิภาพและความสะดวกในการใช้งานทัดเทียมกัน เครื่องมือที่สามารถวัดค่าไคละ เอียคและความแน่นอนสูงควร เป็น เครื่องมือแบบแสดงผลเป็นตัวเลขสามารถอ่านหรือบันทึกค่าไคทันทีโดยไมต้องนำมาแปรค่าหรือคำนวณอีก เครื่องมือชนิดนี้เรียกว่า เครื่องมือดิจิทัล ซึ่งมีหลักการสร้างสองแบบ (ประสงค์ สิริพุฒไชวรรณ 2523 : 3 - 4 อ้างอิงมาจาก Oliver and Cage. 1971 : 213 - 230) ดังนี้คือ

1. แบบนินอินทิเกรต (Non - Integrated Type)

เครื่องมือชนิดนี้ใช้หลักการ เปลี่ยนค่าตัวแปรทางไฟฟ้าที่จะทำการวัด เช่น กระแสไฟฟ้า (หน่วยเป็น ampere ) ให้อยู่ในรูปของศักย์ไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนต่อกัน แล้ววัดความต่างศักย์ไฟฟ้าโดยสร้าง เครื่องมือที่มีเทคนิคการวัดสองแบบคือ

1.1 เทคนิคการปรับความต่างศักย์ไฟฟ้าภายนอกโดย เทียบกับศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานภายใน วิธีการวัดวิธีนี้ใช้ระบบการปรับความต่างศักย์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติด้วยมอเตอร์ (Servo system) หรือใช้ระบบการปรับความต่างศักย์ด้วยตรรกไฟฟ้า (Electronic logic) ในระบบนี้จะเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าเทียบภายในจากสัญญาณตรรกเป็นอนาล็อก (Analog) และจะทำให้ศักย์ไฟฟ้าเทียบภายในถูกเปลี่ยนเป็นอนาล็อกมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อศักย์ไฟฟ้าภายนอกกับศักย์ไฟฟ้าเทียบภายในสมดุลกัน ระบบของเครื่องจะลดค่าศักย์ไฟฟ้าเทียบภายในออกให้ เป็นศูนย์ ลักษณะการเพิ่มขึ้นของปริมาณอนาล็อกจากศักย์ไฟฟ้าเทียบภายในจะเป็นขั้น ๆ วิธีนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าการประมาณค่าต่อเนื่อง (Successive approximation)

### 1.2 เทคนิคแบบแรมพ์ (Ramp technique)

ศักย์แรมพ์คือศักย์ไฟฟ้าที่มีอัตราการเพิ่มแปรผันกับเวลาซึ่งมีอยู่สองระบบคือ ศักย์แรมพ์แบบเชิงเส้น (Linear ramp) กับศักย์แรมพ์แบบขั้น (Staircase ramp)

ข้อเสียของระบบนับอินทิเกรตคือ การวัดจะขึ้นอยู่กับศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานภายใน ความเป็นเชิงเส้นของตัวแบ่งค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า เวลาที่ใช้ในการทำให้ศักย์ไฟฟ้าสมดุลกัน ระดับสัญญาณรบกวนที่เข้ามา กับสัญญาณที่จะวัดจำกัดความเร็วในการวัด และขีดจำกัดของจำนวนตัวเลขที่ใช้แสดงผล

## 2. แบบอินทิเกรต (Integrated Type)

เครื่องมือชนิดนี้ใช้ระบบการเปลี่ยนความต่างศักย์ไฟฟ้า เป็นความถี่ซึ่งมีข้อดีคือสามารถวัดสัญญาณรบกวนที่แทรกเข้ามา กับสัญญาณที่จะทำการวัดได้ การวัดไม่ขึ้นอยู่กับศักย์ไฟฟ้าเทียบภายในซึ่งทำให้วัดได้เร็วขึ้น ความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ที่ใช้ไม่มีผลต่อความเที่ยงตรงของระบบแต่ความเที่ยงตรงของระบบขึ้นอยู่กับขนาดและความมีเสถียรภาพของการป้อนประจุกลับไปยังจุดรวมสัญญาณ ซึ่งกระทำโดยการให้วงจรกำเนิดพัลส์ (Pulse)

ในปัจจุบันมีวงจรสำเร็จรูปที่มีรูปร่างเล็กกระทัดรัดใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมทั้งสามารถเชื่อมกับอุปกรณ์พวกสารกึ่งตัวนำอื่น ๆ ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะวงจรสำเร็จรูปที่ใช้ในการสร้าง เครื่องมือที่อ่านค่า เป็นตัวเลขแบบอินทิเกรตนั้นได้มีการผลิตและสั่งเข้ามาจำหน่ายในประเทศเป็นจำนวนมาก และราคาพอที่จะซื้อได้เช่น วงจรออปแอมป์ วงจรตรรก เป็นต้น

ภัยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้เกิดความสนใจที่จะทำการออกแบบ และสร้าง เครื่องมือวัดคุณภาพ และ เครื่องมือวัดความดันโลหิตที่สามารถอ่านค่าออกมาเป็นตัวเลขได้ เพื่อให้ประโยชน์ในหอปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ระดับมัธยมศึกษา วิทยาลัย และ มหาวิทยาลัย

#### ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อออกแบบและสร้าง เครื่องมือวัดคุณภาพและ เครื่องมือวัดความดันโลหิตที่อ่านค่าเป็นตัวเลขโดยอ่านได้ละเอียดถึงทศนิยมสองตำแหน่ง
2. เพื่อหาความแน่นอนของ เครื่องมือโดยเปรียบเทียบ เครื่องมือมาตรฐานที่ผลิตจากต่างประเทศ

#### ความสำคัญของการศึกษาค้นคว้า

1. ความรู้และเทคนิคในการออกแบบและการสร้าง เครื่องมือดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ในการออกแบบและสร้าง เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่ใช้งานใกล้เคียงกัน
2. ทำให้ได้ เครื่องมือวัดคุณภาพและ เครื่องมือวัดความดันโลหิตที่แสดงผลเป็นตัวเลข
3. เครื่องมือดังกล่าวจะเป็นส่วนหนึ่งของ เครื่องมือชุดที่ใช้ศึกษาโครงสร้างของหินน้ำมันในโครงการวิจัย เรื่องการศึกษาพื้นผิวและสภาพความพรุนของหิน ในบริเวณที่สำรวจพบน้ำมันดิบที่ลานกระบือ ขอนแก่น และผาง

### ขอบ เขตของการศึกษากันควา

การออกแบบและสร้าง เครื่องมือวัดอุณหภูมิและเครื่องมือวัดความดันโลหิตที่อ่านค่าเป็นตัวเลขมีขอบ เขตดังนี้

1. เครื่องมือวัดอุณหภูมิจะวัดอุณหภูมิออกมา เป็นองศา เซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) ในช่วงอุณหภูมิ ระหว่างจุดเยือกแข็งกับจุดเดือดของน้ำ ( $0^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ )
2. เครื่องมือวัดความดันโลหิตจะวัดออกมา เป็นมิลลิ เมตรปรอทและ/หรือปาสกาล ในช่วงความดัน  $0 - 760$  มิลลิเมตรปรอท
3. เครื่องมือวัดอุณหภูมิและวัดความดันโลหิตมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบมีดังนี้
  - 3.1 เครื่องมือวัดอุณหภูมิใช้ของอาร์ เคซีแบบ DT - 21 C มีความถูกต้อง  $\pm 1$  องศาเซลเซียส
  - 3.2 เครื่องมือวัดความดันโลหิตใช้ของโยโกกาวา (Yokogawa Electric Work) แบบ 2656 มีความถูกต้อง  $\pm 0.1$  เปอร์เซ็นต์

### คำจำกัดความศัพท์ เฉพาะ

1. เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor) หมายถึงอุปกรณ์ที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งมีสมบัติที่อุณหภูมิทางลบ มีค่าสูงและสามารถ เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานตามอุณหภูมิที่เปลี่ยน
2. ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) หมายถึงอุปกรณ์ที่รับข่าวสารในรูปแบบปริมาณทางฟิสิกส์แล้วแปลง เป็นข่าวสารในรูปแบบปริมาณทางฟิสิกส์อย่าง เดียวกันหรืออย่างอื่น ซึ่ง เป็นไปตามกฎที่กำหนดแน่นอน
3. แรมพ์ (Ramp) หมายถึงศักย์ไฟฟ้าที่มีการ เพิ่มและลดสลับกันอย่างต่อเนื่อง ลักษณะของรูปคลื่นที่เห็นจะเป็นรูปคลื่นแบบฟัน เลื่อย

เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

เทอร์โมมิเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิสามารถจำแนกตามลักษณะและหลักการสร้างออกเป็นห้าประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

1. เทอร์โมมิเตอร์ของเหลว (Liquid thermometer)

เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้ใช้ของเหลว เช่นปรอท น้ำ หรืออัลกอฮอล์บรรจุอยู่ภายในหลอดแก้วปลายปิด มีชื่อเรียกต่าง ๆ กันตามชนิดของของเหลวที่บรรจุ เช่น เทอร์โมมิเตอร์ปรอท เทอร์โมมิเตอร์น้ำ หรือเทอร์โมมิเตอร์อัลกอฮอล์ เป็นต้น

2. เทอร์โมมิเตอร์ก๊าซ (Gas thermometer)

เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้ใช้ก๊าซบรรจุในระเปาะแก้วหรือสไลโกลหะขนาดใหญ่ โดยมีหลอดแก้วปลายปิดต่อกันมาเพื่อใช้อ่านอุณหภูมิ ก๊าซที่ใช้บรรจุมีหลายชนิดตามความสะดวกและความเหมาะสมกับการใช้งาน เช่น อากาศ ไนโตรเจน ไฮโดรเจน ฮีเลียม เป็นต้น

3. เทอร์โมมิเตอร์แบบคู่ความต้านทาน (Thermocouple thermometer)

เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้ใช้โลหะสองชนิดต่างกันนำมาประกบหรือแตะกันไว้ โดยนำมาประกบกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เพื่อให้สามารถวัดอุณหภูมิได้

4. เทอร์โมมิเตอร์อาศัยหลักการการแผ่รังสีแสง (Radiation thermometer)

เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้ใช้สารที่มีคุณสมบัติการแผ่รังสีแสงที่มีช่วงคลื่นต่าง ๆ กันนำมาประกบกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ เพื่อให้สามารถวัดอุณหภูมิได้

5. เทอร์โมมิเตอร์ความต้านทาน (Resistance thermometer)

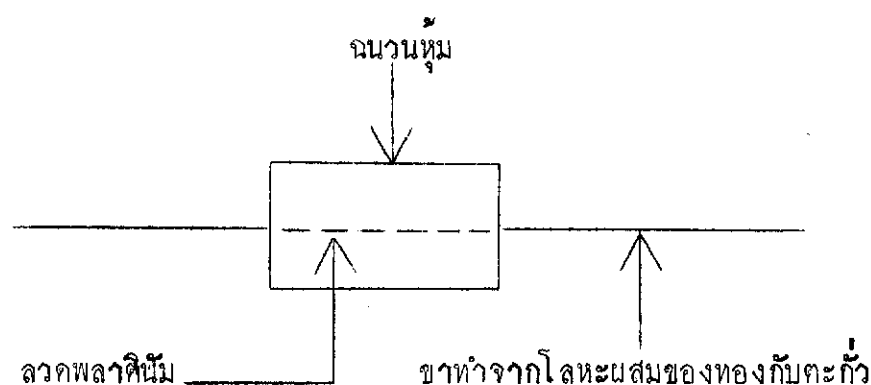
เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการ เปลี่ยนค่าความต้านทานของสารที่เป็น

ฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ตัวความต้านทานที่ใช้เป็นตัวหยั่ง (Sensor) จะทำจากโลหะ โลหะผสม แร่ชนิดต่าง ๆ หรือออกไซด์ของโลหะบางชนิด และจะมีรูปร่างแตกต่างกันไปตามลักษณะของการใช้งาน ปัจจุบันเทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในงานวิจัยและในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ทั่วไป เทอร์โมมิเตอร์ประเภทนี้ยังจำแนกเป็นแบบต่าง ๆ ดังนี้

#### 5.1 เทอร์โมมิเตอร์แบบขดลวดแพลตตินัม (Platinum wire resistance thermometer)

เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการวัดความต้านทานของโลหะแพลตตินัมที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งมีความถูกต้องและความแน่นอนสูง จึงนิยมใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการวัดอุณหภูมิสำหรับอ้างอิง แต่อย่างไรก็ตาม เครื่องมือชนิดนี้มีราคาแพงเพราะโลหะแพลตตินัมที่ใช้เป็นตัวต้านทานต้องมีความบริสุทธิ์ถึง 99.999 เปอร์เซ็นต์ และอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบกับการวัดจะต้องมีคุณภาพสูงอีกด้วย

ลักษณะโดยทั่วไปของตัวต้านทานชนิดนี้จะมีรูปร่างเหมือนตัวต้านทานที่ใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ คือ เป็นท่อนกลมยาวขนาดเล็กมีฉนวนหุ้ม ดังแสดงในภาพประกอบ 1



ภาพประกอบ 1 รูปร่างของตัวต้านทานแพลตตินัม

ภาพประกอบ 1 ลวดพลาตินัมที่ไขมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.08 มิลลิเมตร ยาว 20 มิลลิเมตร จะอยู่ส่วนในสุด ภายนอกจะหุ้มด้วยฉนวนซึ่งทำจากสารต่าง ๆ ตามช่วงอุณหภูมิที่จะวัด เช่น ถ้าใช้ไมกา (mica) เป็นฉนวนจะวัดอุณหภูมิในช่วง -180 องศาเซลเซียส ถึง 650 องศาเซลเซียส แต่ถ้าใช้เซรามิกเป็นฉนวนจะวัดอุณหภูมิในช่วง -180 องศาเซลเซียส ถึง 1,000 องศาเซลเซียส เป็นต้น ฉนวนที่หุ้มของหน้าจันททำให้ตัวต้านทานนี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มิลลิเมตร และต้องหุ้มตลอดความยาวของเส้นลวดพลาตินัม ตัวต้านทานชนิดนี้จะมีความต้านทาน 25 โอห์มที่ 0 องศาเซลเซียส (ค่าความต้านทานที่แน่นอนจะเป็นค่าเฉพาะของตัวต้านทานแต่ละอัน) การใช้เครื่องมือนี้วัดอุณหภูมิจะต้องผ่านกระแสไฟฟ้าที่มีแรงเคลื่อนกึ่งที่เข้าไปยังตัวต้านทานที่ต่อเป็นสะพาน (Wheatstone's Bridge) โดยใช้กระแสไฟฟ้าเพียงเล็กน้อย ประมาณ 0.02 แอมแปร์

เนื่องจากเทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้มีราคาแพง จึงมีผู้พยายามปรับปรุงโดยใช้โลหะอย่างอื่นมาแทนโลหะพลาตินัม แต่ปรากฏว่าประสิทธิภาพของการวัดและช่วงอุณหภูมิของการใช้งานจะน้อยกว่าพลาตินัม ตัวอย่างเช่น ถ้าใช้ลวดทองแดงแทนลวดพลาตินัมจะใช้วัดอุณหภูมิได้ไม่เกิน 120 องศาเซลเซียส และถ้าใช้ลวดนิกเกิลก็จะใช้วัดอุณหภูมิได้ไม่เกิน 300 องศาเซลเซียส ด้วยเหตุนี้เทอร์โมมิเตอร์ชนิดพลาตินัมจึงยังคงใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานในการวัดอุณหภูมิเพื่ออ้างอิง

## 5.2 เทอร์โมมิเตอร์แบบฟิล์มพลาตินัม (Thick film Platinum resistance thermometer)

แนวคิดเกี่ยวกับการพัฒนาปรับปรุงเทอร์โมมิเตอร์ที่ทำจากโลหะพลาตินัม เพื่อให้มีความถูกต้อง เที่ยงตรง และใช้เป็นเครื่องมือมาตรฐานที่เชื่อถือได้มากขึ้นได้กระทำกันมาเป็นระยะ ๆ ตลอดเวลากว่า 100 ปีที่ผ่านมา นับตั้งแต่ เซอร์ วิลเลียม ซีเมนส์ (Sir William Siemens) ได้สร้างเทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้เป็นอันแรกในปี ค.ศ. 1871 ต่อมาในปี ค.ศ. 1887 คาเรนเดอร์ (Callender) นักฟิสิกส์ชาวอังกฤษได้เสนอรายงาน

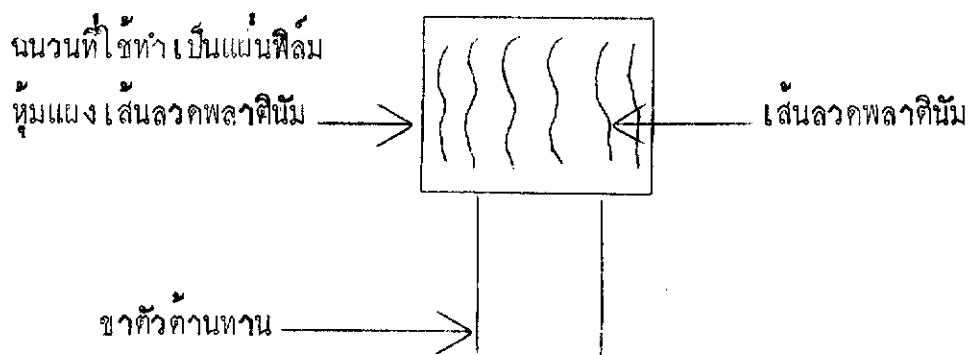
ทดลองเกี่ยวกับการแปรผันค่าความต้านทานต่ออุณหภูมิของโลหะพลาสติกนัมต่อสมาคม  
วิทยาศาสตร์ของประเทศอังกฤษ เทอร์โมมิเตอร์ที่เขาใช้เป็นชนิดเดียวกับที่ซีเมนส์สร้าง  
ในปี ค.ศ. 1871 ต่อมาในปี ค.ศ. 1975 ไอเลส และทีนดัลล์ (Iles and  
Tindall, 1976 : 42 - 44) ได้มีการเสนอรูปแบบของเทอร์โมมิเตอร์พลาสติกนัม  
เป็นแผ่นฟิล์มแทนการใช้ในรูปเส้นลวดอย่างที่เคยใช้กันมาแต่ก่อน การทำตัวต้านทานให้  
เป็นแผ่นฟิล์มนี้มีความสะดวกในการใช้งานทัดเทียมกันกับแบบที่เป็นเส้นลวด แต่จะมีค่า  
สัมประสิทธิ์อุณหภูมิทางลบ (Negative temperature coefficient,  $\alpha$ ) ที่เหมาะ  
สมมากขึ้น ค่า  $\alpha$  ดังกล่าวนี้คำนวณได้จากสมการที่ (1)

$$\alpha = (R_{100} - R_0) / 100 R_0 \quad (1)$$

เมื่อ  $R_{100}$  คือ ความต้านทานของแผ่นฟิล์มพลาสติกนัมที่จุดเดือดของน้ำ

$R_0$  คือ ความต้านทานของแผ่นฟิล์มพลาสติกนัมที่จุดเยือกแข็งของน้ำ

จากการทดลองได้ค่า  $\alpha$  เท่ากับ  $3.910 \times 10^{-3}$  เปอร์เซ็นต์ต่อองศาเซลเซียส  
รูปแบบของตัวต้านทานแบบแผ่นฟิล์มพลาสติกนัมที่ใช้เป็นตัววัดอุณหภูมิแสดงในภาพประกอบ 2



ภาพประกอบ 2 แผ่นฟิล์มพลาสติกนัม เบอร์ BS 1904 : 1964

### 5.3 ไครโอเจนิคเทอร์โมมิเตอร์ (Cryogenic thermometer)

เทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการ เปลี่ยนแปลงความต้านทานชนิดหนึ่งที่ใช้ในระบบที่มีอุณหภูมิต่ำมากไปจนถึง 300 องศาเซลเซียส ตัวอย่างของเทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้ เช่น เทอร์โมมิเตอร์คาร์บอน (Carbon thermometer) เทอร์โมมิเตอร์เจอร์มาเนียม (Germanium thermometer) และเทอร์โมมิเตอร์เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor thermometer) เป็นต้น ในบรรดาเทอร์โมมิเตอร์ทั้งสามชนิดที่ยกตัวอย่างมานี้ เทอร์โมมิเตอร์เจอร์มาเนียมสามารถวัดอุณหภูมิของระบบตั้งแต่ 55 เคลวินลดลงไปจนถึง 0.2 เคลวินได้ โดยมีข้อดีคือมีความคงที่สูงและสามารถวัดอุณหภูมิได้ละเอียด รูปร่างของเทอร์โมมิเตอร์ชนิดนี้เป็นรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 12 มิลลิเมตร ขาทั้งสองข้างทำด้วยโลหะผสมของทองกับตะกั่ว ภายในทรงกระบอกบรรจุด้วยธาตุเจอร์มาเนียมที่มีความบริสุทธิ์สูงและฉีกกาชอีเล็กโตรดภายใน

แม้ว่าเทอร์โมมิเตอร์ชนิดดังกล่าวนี้จะมีข้อดีสำหรับการวัดอุณหภูมิต่ำ ๆ ก็ตาม แต่มีราคาแพง เช่น เกี่ยวกันกับเทอร์โมมิเตอร์แบบพลาตินัม ดังนั้นจึงไม่เป็นที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการทางวิทยาศาสตร์ทั่วไป เว้นแต่จะใช้ในบางกรณี เช่น ในอุตสาหกรรมการทำอากาศหรืออากาศเหลว เป็นต้น

เทอร์มิสเตอร์ นับว่าเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในการวัดอุณหภูมิหรือการทำงานที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิในระบบของอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไป เทอร์มิสเตอร์มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิทางลบมากกว่าเจอร์มาเนียมและพลาตินัม แต่มีราคาถูกจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง สารที่นำมาใช้ทำเทอร์มิสเตอร์มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ จากการทดลองของบูเชอร์ (Boucher, 1967 : 935) พบว่าที่อุณหภูมิห้องสารชนิดนี้จะมีค่าความต้านทานเฉพาะ (Specific resistance) อยู่ระหว่าง  $10^{-2} - 10^9$  โอห์ม·เซนติเมตร ค่านี้อยู่ระหว่างกลางของการเป็นตัวนำกับการเป็นฉนวน ( $10^{-6} - 10^{14}$  โอห์ม·เซนติเมตร) สารนี้มีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิทางลบประมาณ 3 - 5 เปอร์เซ็นต์ต่อ

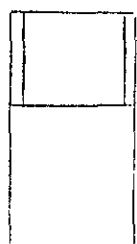
### องศาเซลเซียส

โดยทั่วไปสารกึ่งตัวนำได้จากการผสมสารหลายชนิด เช่น โลหะผสมที่ทำจากซิลิกอน (Si) เจอร์มาเนียม (Ge) ซีลีเนียม (Se) และเทลลูเรียม (Te) หรือทำจากสารประกอบ เช่น สารประกอบแกเลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) โลหะออกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ หรือทำจากโลหะผสมของออกไซด์พวกแมงกานีส (Mn) นิกเกิล (Ni) โคบอลต์ (Co) ทองแดง (Cu) ทังสเทน (W) ไทเทเนียม (Ti) โครเมียม (Cr) และวาเนเดียม (V) เป็นต้น

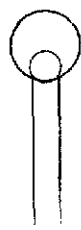
วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเทอร์มิสเตอร์ในทางอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของโลหะทรานซิชัน แมกนีเซียมโครเมต ( $MgCr_2O_4$ ) แมกนีเซียมอลูมิเนต ( $MgAl_2O_4$ ) หรือที่เรียกว่าสไปเนล (Spinel)

รูปร่างของเทอร์มิสเตอร์ที่เป็นมาตรฐานมีสี่แบบ ดังนี้

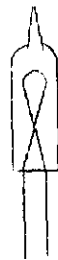
1. แบบแท่ง (Rods)
2. แบบดิสก (Disks)
3. แบบกำนไม้ขีด (Beads)
4. แบบวงแหวน (Washers)



แบบแท่ง



แบบดิสก



แบบกำนไม้ขีด



แบบวงแหวน

ภาพประกอบ 3 รูปร่างของเทอร์มิสเตอร์มาตรฐานทั้งสี่แบบ

เทอร์มิสเตอร์ที่มีรูปร่างแบนก้านไม่ขีดเป็นแบบที่นิยมสร้างใช้งานกันมากที่สุด เพราะมีขนาดเล็กกระทัดรัดเหมาะกับการใช้งานทั่วไป (Boucher, 1967 : 942)  
 เทอร์มิสเตอร์แบ่งได้เป็นสองชนิดตามลักษณะการแปรค่าความต้านทานกับอุณหภูมิ (บุญล กระจาย และแองเกลียร์ 2519 : 127) ดังนี้คือ

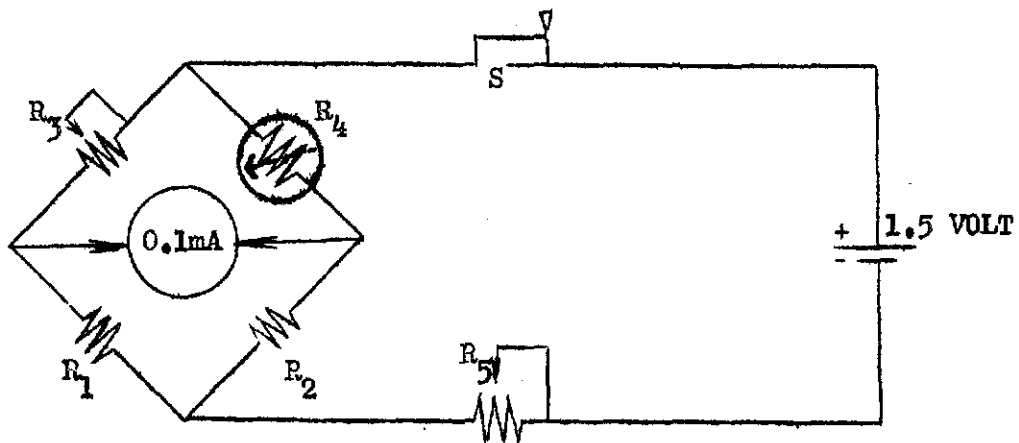
1. ชนิดเอ็นทีซี (Negative Resistance/temperature coefficient, NTC type)

เทอร์มิสเตอร์ชนิดนี้จะมีค่าความต้านทานแปรผกผันกับอุณหภูมิคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความต้านทานจะลดลงแต่เมื่ออุณหภูมิต่ำลงค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้น

2. ชนิดพีทีซี (Positive Resistance/temperature coefficient, PTC type) เทอร์มิสเตอร์ชนิดนี้จะมีค่าความต้านทานแปรตรงกับอุณหภูมิคือ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความต้านทานจะสูงขึ้นด้วย และเมื่ออุณหภูมิต่ำลงค่าความต้านทานก็จะต่ำลงไปด้วย

### การใช้เทอร์มิสเตอร์วัดอุณหภูมิ

ไนดิก และคณะ (Neidig and Others) ได้ทำการทดลองทางเทอร์โมเคมี (Thermochemical experimental) โดยใช้เทอร์มิสเตอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นเป็นวงจรแบบง่าย ๆ วัดอุณหภูมิในช่วง  $-10$  องศาเซลเซียส ถึง  $+100$  องศาเซลเซียส (Slabough, 1965 : 467) โดยมีรูปวงจรดังภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 วงจรการทดลองใช้เทอร์มิสเตอร์วัดอุณหภูมิของไนติกและเพ็น

ในภาพประกอบมีรายละเอียดของวงจรดังนี้คือ  $R_1$  และ  $R_2$  มีค่าความต้านทานเท่ากับ 1,000 โอห์ม ทนกำลังไฟได้ 0.5 วัตต์  $R_3$  มีค่าความต้านทานเท่ากับ 2,000 โอห์ม เป็นตัวต้านทานที่แปรค่าได้ (Variable resistance)  $R_4$  เป็นเทอร์มิสเตอร์ชนิดเอ็นทีซีที่มีค่าความต้านทาน 1,000 โอห์ม เบอร์ GB 31 P1  $R_5$  มีค่าความต้านทานเท่ากับ 2,000 โอห์ม เป็นตัวต้านทานที่แปรค่าได้ และ S คือสวิตช์

โบ และฮัลลีย์ (Boh and Hulley. 1966 : 1671 - 1672) ได้แสดงให้เห็นว่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ชนิดเอ็นทีซี เบอร์ F 23 จะเป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิดังสมการต่อไปนี้

$$R_{Th} = R_{293} \cdot e^{\left(\frac{B}{T} - \frac{B}{293}\right)} \quad (2)$$

เมื่อ  $R_{Th}$  คือ ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่ T เคลวิน

$R_{293}$  คือ ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่ 293 เคลวิน

B คือ ค่าคงที่เฉพาะของสารที่ใช้ทำเทอร์มิสเตอร์มีหน่วยเป็นเคลวิน

อัตราการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์กับอุณหภูมิจะเป็นดังสมการดังนี้

$$\frac{dR_{Th}}{dT} = -R_{Th} \cdot \frac{B}{T^2} \quad (3)$$

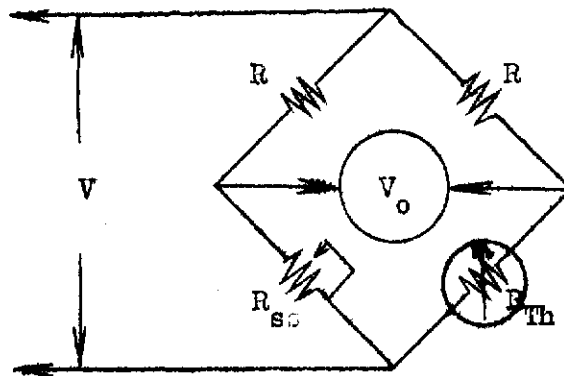
ทำการดิฟเฟอเรนทิเอตอีกครั้งหนึ่ง จะได้สมการดังนี้

$$\frac{d^2R_{Th}}{dT^2} = \frac{B \cdot R_{Th} \cdot (2T + B)}{T^4} \quad (4)$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิทางลบของเทอร์มิสเตอร์หาได้จากสมการดังนี้ (ได้มาจากสมการที่ 3)

$$\alpha = \frac{1}{R_{Th}} \cdot \frac{dR_{Th}}{dT} = \frac{-B}{T^2} \quad (5)$$

เมื่อนำเทอร์มิสเตอร์ เบอร์ E 23 มาทดลองใช้วัดอุณหภูมิโดยการสร้างสะพานที่เรียกว่าสะพานหึ่งเทอร์มิสเตอร์เดี่ยว (Single - thermister sensing bridge) ดังภาพประกอบ 5



ภาพประกอบ 5 วงจรทดลอง Single-thermistor sensing bridge

ในภาพประกอบมีรายละเอียดดังนี้คือ  $V_o$  เป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สมดุล  $R$  คือความต้านทานที่ไม่แปรค่า  $R_{sc}$  คือความต้านทานที่แปรค่าได้  $V$  คือศักย์ไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่วงจร และ  $R_{Th}$  คือเทอร์มิสเตอร์ชนิดเอ็นทีซีเบอร์ F 23

เมื่อสะพานอยู่ในสมดุลอัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เอาต์พุตกับอุณหภูมิ มีความสัมพันธ์กันดังสมการดังนี้

$$\frac{dV_o}{dT} = V \cdot \frac{R}{(R + R_{Th})^2} \cdot \frac{dR_{Th}}{dT} \quad (6)$$

ในสมการ ค่าแทนที่  $\frac{dV_o}{dT}$  จะมีค่าสูงสุดคือค่าแทนที่ที่สะพานมีค่าความไวสูงสุด และจากสะพานนี้สามารถหาอุณหภูมิได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{d^2V_0}{dT^2} = V \cdot \frac{R}{(R + R_{Th})^2} \cdot \left\{ \frac{d^2R_{Th}}{dT^2} - \frac{2}{(R + R_{Th})} \cdot \left\{ \frac{dR_{Th}}{dT} \right\}^2 \right\} \quad (7)$$

เพื่อให้  $\frac{d^2V_0}{dT^2} = 0$

$$V \cdot \frac{R}{(R + R_{Th})^2} \cdot \left\{ \frac{d^2R_{Th}}{dT^2} - \frac{2}{(R + R_{Th})} \cdot \left\{ \frac{dR_{Th}}{dT} \right\}^2 \right\} = 0 \quad (8)$$

ดังนั้น  $\frac{d^2R_{Th}}{dT^2} = \frac{2}{(R + R_{Th})} \cdot \left\{ \frac{dR_{Th}}{dT} \right\}^2 \quad (9)$

แทนค่า  $\frac{d^2R_{Th}}{dT^2}$  และ  $\frac{dR_{Th}}{dT}$  ในสมการที่ (9) ด้วยสมการที่ (3) และ (4) จะ

สมการดังต่อไปนี้

$$\frac{B \cdot R_{Th} \cdot (2T + B)}{T^4} = \frac{2 \cdot R_{Th}^2 \cdot B^2}{(R + R_{Th}) \cdot T^4} \quad (10)$$

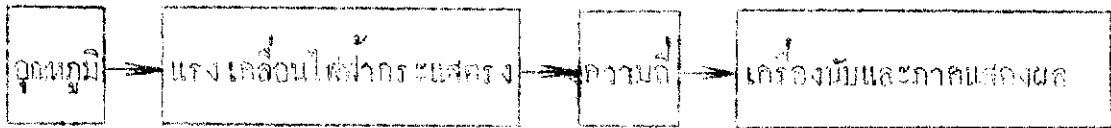
$$2 \cdot T \cdot R_{Th} + B \cdot R_{Th} = \frac{2 \cdot B \cdot R_{Th}^2}{(R + R_{Th})} \quad (11)$$

$$2T + B = \frac{2 \cdot B \cdot R_{Th}}{(R + R_{Th})} \quad (12)$$

$$\text{ดังนั้น } T = \frac{B(R_{Th} - R)}{2(R_{Th} + R)} \quad (13)$$

จากการจัดกระทำดังกล่าวนี้แสดงว่า เมื่อนำเทอร์มิสเตอร์ชนิดเดินที่ซึ่งมาประกอบกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นแล้วจะสามารถใช้ เป็น เครื่องมือวัดอุณหภูมิได้ นอกจากนี้แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ออกมาจากสะพานสามารถนำมาขยายและเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลหรืออนาลอกได้ (ประสงค์ สิริพิทุไชวรรณ 2523 : 12 - 15) เมื่อนำสัญญาณนี้ต่อเข้ากับเครื่องนับก็จะแสดงผลเป็นตัวเลขได้

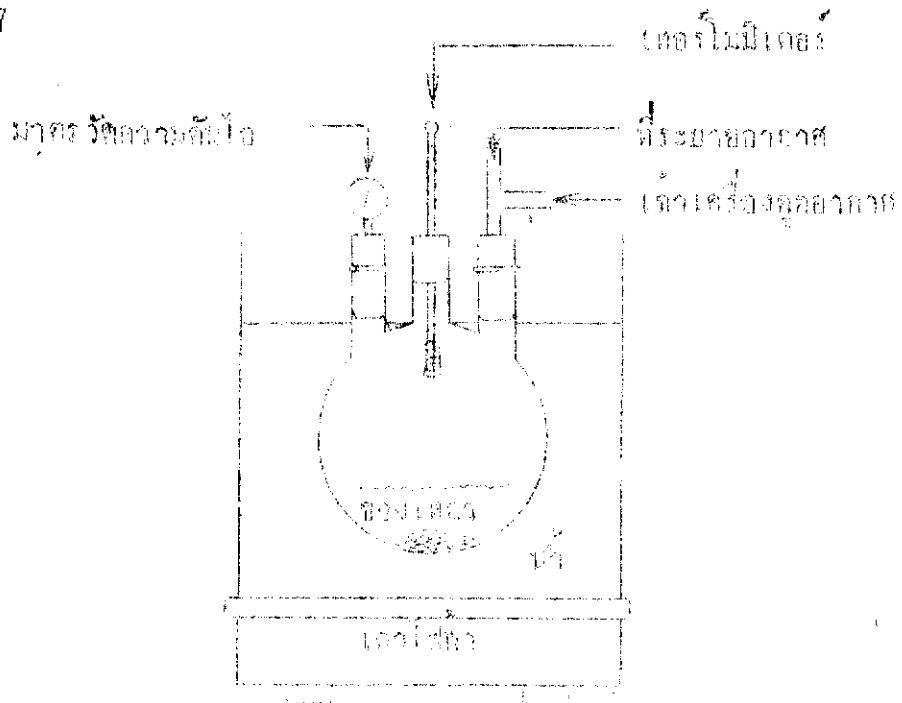
การสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิแบบแสดงผลเป็นตัวเลขจึงสามารถเขียนเป็นแผนภูมิเป็นสังเขปได้ดังนี้



ภาพประกอบ 6 แผนภูมิการสร้างเครื่องมือวัดจุดหมึก

เครื่องมือวัดความดันโลหิต

เครื่องมือวัดความดันโลหิตที่สร้างขึ้นครั้งแรก ๆ มีรูปแบบง่าย ๆ เช่น เครื่องมือวัดความดันโลหิตของสารที่อิงในการทดลองของแวนเดอเวย์ (Van der Weide) หรือ ลองสมิท และ เมอร์รี่ (Smith and Merrick) (Triggiano, 1962 : 55) ดังภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 เครื่องมือวัดความดันโลหิต

เครื่องมือดังกล่าวเป็นรูปแบบที่ยังต้องทำการปรับปรุงเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต่อมาได้มีการนำความรู้อิเล็กทรอนิกส์มาใช้กับเรื่องความดัน โดยได้มีการสร้างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับการแปรผันของสัญญาณทางไฟฟ้ากับความดันคือ เพรสเซอร์ทรานสดิวเซอร์ (Pressure transducer) ซึ่งมีตัวชนิด (Curran, 1977 : 2470 - 2473) ดังนี้

1. โปเทนชิโอเมตริก เพรสเซอร์ทรานสดิวเซอร์ (Potentiometric Pressure transducer)

เพรสเซอร์ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ใช้หลักการของโพเทนชิโอเมเตอร์ เป็นหลักการสำคัญ สามารถวัดความดันได้ในช่วง  $0 - 1.03 \times 10^4$  ถึง  $0 - 1.38 \times 10^8$  ปาสกาล ตัวอย่างที่ผลิตเป็นสินค้า เช่น แบบ 9207 : Differential Pressure transducer ผลิตโดยบริษัท Aero Mechanism, Inc. Von Nuys, วัดความดันในช่วง  $\pm 5.07 \times 10^5$  ปาสกาล แบบ 55F 18 : Null balance transducer ผลิตโดยบริษัท Conra Corporation วัดในช่วงความดัน  $0 - 2.03 \times 10^6$  ปาสกาล มีความถูกต้อง  $\pm 0.1 - \pm 0.2$  เปอร์เซ็นต์

2. เสตรนเกจเพรสเซอร์ทรานสดิวเซอร์ (Strain gauge Pressure transducer)

เพรสเซอร์ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการของความเค้น (Stress) หรือความเครียด (Strain) ของสารหรือวัตถุ โดยทั่วไปใช้เส้นลวดซึ่งสามารถคำนวณค่าความไวของความเครียด (Strain sensitivity, S) ออกมา ดังสมการ (14)

$$S = (\Delta R / R) / (\Delta L / L) \text{ (14)}$$

เมื่อ	$\delta$	คือ ความต้านทานของ เส้นลวด
	$l$	คือ ความยาวของ เส้นลวด
	$S$	คือ ความไวของความเครียด
	$\Delta L$	คือ ผลต่างของความยาวของ เส้นลวด
	$\Delta R$	คือ ผลต่างของความต้านทานของ เส้นลวด

เส้นลวดทำจากโลหะผสมหรือโลหะบริสุทธิ์ แต่ในปัจจุบันใช้สารกึ่งตัวนำ เช่น สารประกอบซิลิคอน อุปกรณ์สำเร็จที่เรียกว่าไอซี เพอร์เซอรแทรนสดิวเซอร์ชนิดนี้ที่ผลิตออกมา เช่น แบบพีทีบี 103 สามารถวัดความดันในช่วง  $3.45 \times 10^7$  ถึง  $2.07 \times 10^8$  ปาสกาล มีความผิดพลาดน้อยกว่า 0.1 ตลอดช่วงอุณหภูมิ 4.44 องศาเซลเซียส ถึง 176.67 องศาเซลเซียส

### 3. เพอร์เซอรแทรนสดิวเซอร์แบบเก็บประจุ (Capacitive Pressure transducer)

เพอร์เซอรแทรนสดิวเซอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการของการเก็บประจุ สามารถคำนวณค่าการเก็บประจุไฟฟ้าของแผ่นตัวเหนี่ยวนำประจุได้ดังนี้ ((Curran. 1969 : A465 - A479)

$$C = 0.0885 \times 10^{-14} \times A \times \epsilon / d \quad (15)$$

เมื่อ	$C$	คือ ค่าการเก็บประจุไฟฟ้าหน่วยเป็นฟารัด
	$\epsilon$	คือ ค่าคงที่ของไดอิเล็กตริก (Dielectric constant)
	$A$	คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของแผ่นตัวเหนี่ยวนำมีหน่วยเป็นตารางเมตร
	$d$	คือ ระยะห่างระหว่างแผ่นตัวเหนี่ยวนำมีหน่วยเป็น เมตร

4. เพรซเซอร์ทรานสดิวเซอร์แบบเหนี่ยวนำ (Inductive Pressure transducer)

เพรสเซอร์ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการเหนี่ยวนำของลวดซึ่งมีค่าสัมพันธ์กับตัวแปรอื่น ดังสมการ (16)

$$L = n^2 \cdot G \cdot \mu \quad (16)$$

เมื่อ	$n$	คือ จำนวนรอบของขดลวดที่พันรอบแกน
	$G$	คือ แฟกเตอร์เรขาคณิต (Geometry factor)
	$\mu$	คือ สภาพซึมซาบยั้งผลของตัวกลาง (Effective permeability of the medium)
	$L$	คือ ค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด

เพรสเซอร์ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ที่สำคัญมากคือ แอลวีดีที (Linear variable differential transducer, LVDT) ซึ่งมีค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด (Inductance) ที่พันรอบแกน ดังนี้

$$L = n^2 / \mathcal{R} \quad (17)$$

เมื่อ	$n$	คือ จำนวนรอบของขดลวดที่พันรอบแกน
	$\mathcal{R}$	คือ รีลักซ์แทนซ์ของวงจรแม่เหล็ก (Reluctance of Magnetic circuit) โดยค่านี้สามารถหาได้จาก สมการ (18)

$$R = (1/\mu - d) / A \quad (18)$$

- เมื่อ I คือ ความยาวเฉลี่ยของแกน  
d คือ ระยะห่างระหว่างขดลวดแต่ละขดที่พันรอบแกน  
A คือ พื้นที่ภาคตัดขวางของแกนเหล็ก

ถ้าไม่มีผลกระทบจากการรั่วแล้วค่าความเหนี่ยวนำจะขึ้นกับช่องว่างระหว่างเส้นลวด เพราะเซอร์ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ผลิตออกสู่ท้องตลาด เช่น แบบแอลวีซีที่สามารถวัดความดันในช่วง  $1.03 \times 10^3 - 6.89 \times 10^7$  ปาสกาล มีความถูกต้อง  $\pm 0.25 - \pm 0.5$  เปอร์เซ็นต์

#### 5. เซอร์ทรานสดิวเซอร์แบบผลึกแร่ (Piezoelectric Pressure transducer)

ประมาณ 90 ปีมาแล้วได้มีการพบปรากฏการณ์ทางไฟฟ้าของผลึกแร่และนำมาใช้ให้เป็นประโยชน์เกี่ยวกับการวัดความดัน โดยนำความรู้เรื่องนี้ไปสัมพันธ์กับความรู้เรื่องการเก็บประจุของสาร ความสัมพันธ์ระหว่างการเก็บประจุกับคุณสมบัติการเป็นไพเอโซอิเล็กทริกส์ของสารบางประเภทเป็นดังนี้

$$E_0 = Q / C \quad (19)$$

- เมื่อ  $E_0$  คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้าออกจากตัวเก็บประจุมีหน่วยเป็นโวลต์  
Q คือ ประจุบนผลึกที่ถูกเหนี่ยวนำมีหน่วยเป็นคูลอมป์  
C คือ ค่าความจุมีหน่วยเป็นฟารัด

$$E_0 = g \cdot \dot{c} \cdot p \quad (20)$$

- เมื่อ  $g$  คือ ค่าคงที่ของผลึกมีหน่วย เป็นโวลต์ต่อ เมตรต่อปาสกาล  
 $\dot{c}$  คือ ความหนาของผลึกมีหน่วย เป็นเมตร  
 $p$  คือ ความดันที่กระทำไปบนผลึกมีหน่วย เป็นปาสกาล

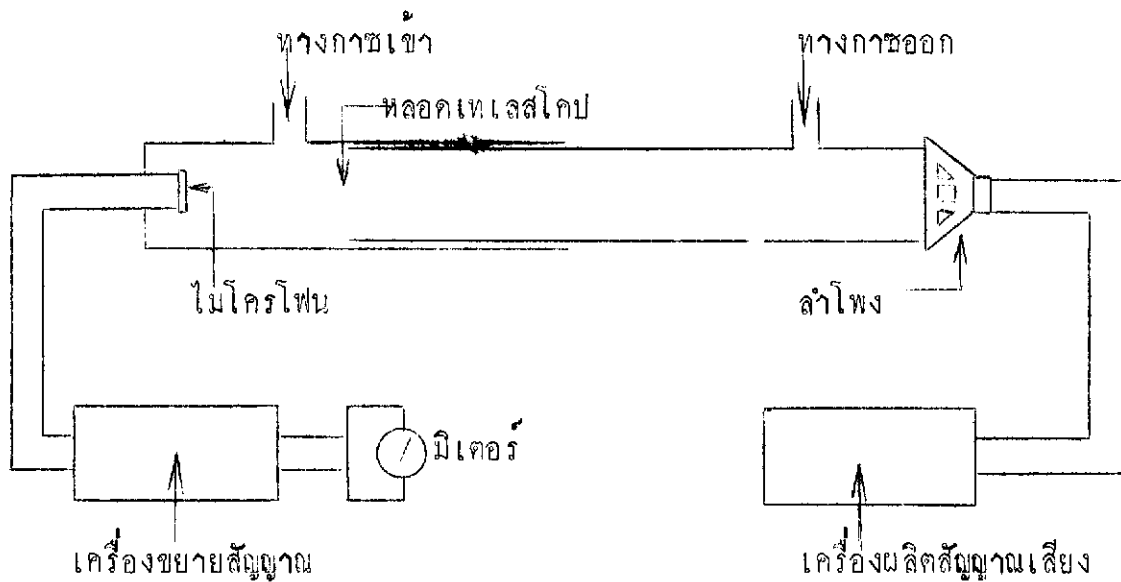
เมื่อรวมความสัมพันธ์ของสมการที่ (19) กับ (20) จะได้เป็นสมการที่ (21)  
 ดังนี้

$$q / c = g \cdot \dot{c} \cdot p \quad (21)$$

$$\text{ดังนั้น } c = \frac{q}{g \cdot \dot{c} \cdot p} \quad (22)$$

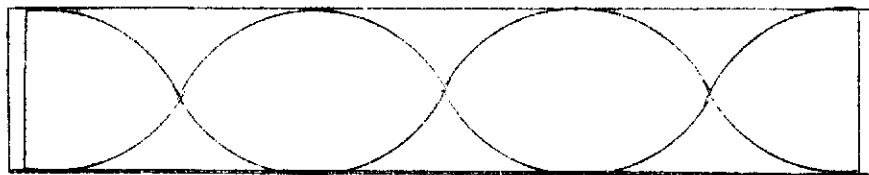
ตัวอย่างผลึกที่สามารถเกิดคุณสมบัติกึ่งกลางข้างต้นได้แก่ ผลึกควอทซ์ เอคิพี (Ammonium dihydrogen phosphate, ADP) เคนเซ็พฟี (Potassium dihydrogen phosphate, KDP) แอลเอช (Lithium sulfate, LH) นอกจากนี้ยังมีพวกเซรามิก เช่น แบเรียมทิตาเนต (Barium titanate) เลดเซอร์โคเนต (Lead zirconate) เลดนีโอเบต (Lead niobate) เป็นต้น

เมื่อผ่านกระแสไฟฟ้าไปบนผลึกแวกกั้วข้างต้นจะมีผลทำให้ผลึกเหล่านั้นสามารถผลิตคลื่นเสียงที่มีความถี่สูง (Ultrasonic frequency) ความถี่นี้เกินกว่ามนุษย์จะรับฟังได้ จากการศึกษาการดูดซึมพลังงานเสียงที่มีความถี่สูง (Ultrasonic or Sono energy) ของอีจิง (Ewing, 1966 :A 1040 - A 1047) พบว่าคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงนี้มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับคลื่นเสียง นอกจากนั้นยังทำการทดลองวัดความเร็วของเสียงในตัวกลางซึ่งเป็นภาชอ์กักด้วยคังแผนภูมิการทดลองต่อไปนี้



ภาพประกอบ 8 แผนภูมิการทดลองวัดความเร็วของเสียงในตัวของกลางที่เป็นก๊าซ

ในแผนภูมิ เมื่อนำคลื่นเสียงจากไมโครโฟนให้ผ่านเข้าไปในหลอดที่มีทางให้ก๊าซผ่านเข้าออกได้ ต่อจากนั้นคลื่นเสียงที่ส่งผ่านเข้ามาก็จะถูกรับด้วยลำโพงที่อยู่ปลายหลอดอีกข้างหนึ่งซึ่งจะให้คลื่นออกมาเป็นคลื่นนิ่ง (Stationary wave) ดังภาพประกอบ 9



ภาพประกอบ 9 รูปคลื่นที่ได้จากการทดลองวัดความเร็วของเสียงในอากาศ

จากการทดลองดังกล่าวข้างต้นสามารถวัดความเร็วของเสียงในอากาศได้จากความสัมพันธ์ตามสมการ (23)

$$v = (\gamma p \cdot 10^{-6} / \rho)^{\frac{1}{2}} \quad (23)$$

- เมื่อ  $v$  คือ ความเร็วของเสียงในก๊าซมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที  
 $\gamma$  คือ อัตราส่วนของความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ต่อความร้อนจำเพาะที่ปริมาตรคงที่  
 $p$  คือ ความดันภายในหลอดมีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเมตร  
 $\rho$  คือ ความหนาแน่นของก๊าซในหลอดมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

จากสมการของก๊าซในอุดมคติ  $pV = nRT$  เมื่อนำค่า  $p$  ไปแทนค่าในสมการที่ (23) จะได้เป็นดังนี้ (เมื่อ  $n = 1$  โมล)

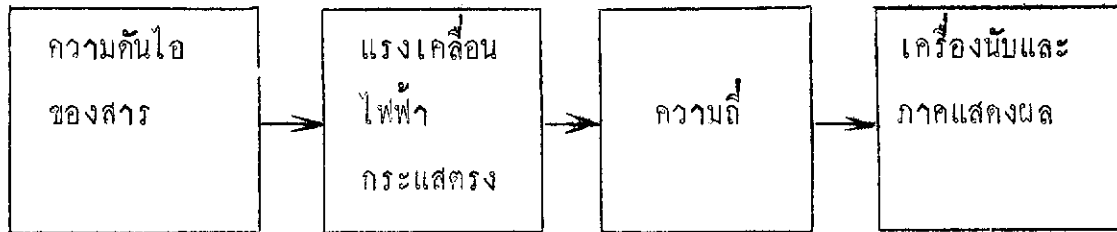
$$v = \left( \frac{\gamma RT}{V} \times 10^{-6} / \rho \right)^{\frac{1}{2}} \quad (24)$$

เพราะว่า  $\rho = \frac{M}{V}$

$$\text{ดังนั้น } v = \left( RT \gamma \times 10^{-6} / M \right)^{\frac{1}{2}} \quad (25)$$

- เมื่อ  $R$  คือ ค่าคงที่ของก๊าซประมาณ 8.314 จูลต่อโมลต่อองศา  
 $T$  คือ อุณหภูมิเคลวิน  
 $M$  คือ มวลโมเลกุล  
 $V$  คือ ปริมาตรเป็นลูกบาศก์เมตร

จากการศึกษาของนักวิทยาศาสตร์ดังกล่าวข้างต้น แสดงว่าถ้าเอา เพอร์เซอร์  
 ทรานส์คิวเซอร์ชนิดเล็กแรกที่สามารถผลิตคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงไ้มาผ่านกระแสไฟฟ้าเข้า  
 ไปโดยประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ก็สามารถวัดความดันไอของสารได้ โดยมี  
 หลักการสร้างเครื่องมือพอสังเขปดังแผนภูมิต่อไปนี้



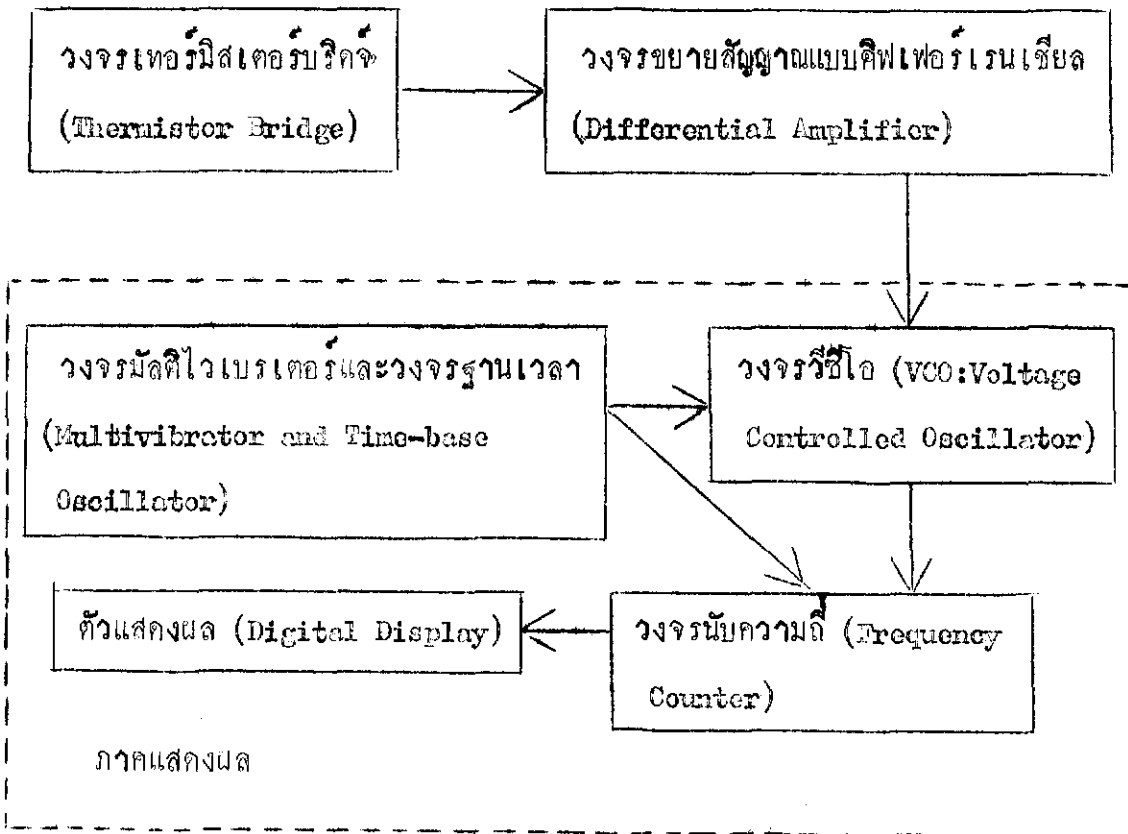
ภาพประกอบ 10 แผนภูมิหลักการสร้างเครื่องมือวัดความดันไอของสาร

การออกแบบและการดำเนินการสร้าง

การออกแบบวงจรไฟฟ้าของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

1. แผนภูมิแสดงการออกแบบ (Block Diagram)

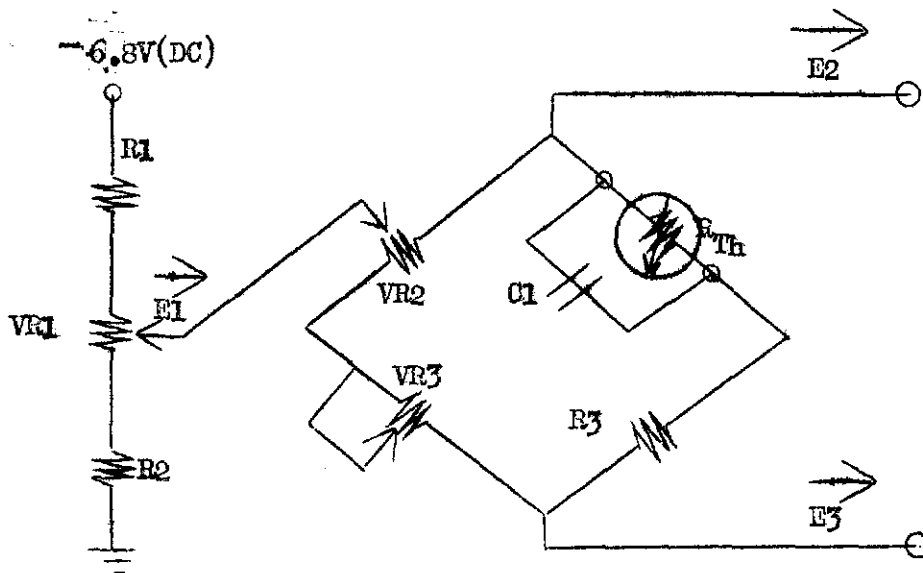
การดำเนินการออกแบบวงจรไฟฟ้าของเครื่องมือวัดอุณหภูมิได้ดำเนินการตามแผนภูมิ ดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 แผนภูมิแสดงการออกแบบวงจรไฟฟ้าของเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

จากภาพประกอบ 11 วงจรเทอร์มิสเตอร์บริดจ์ทำหน้าที่เปลี่ยนอุณหภูมิเป็นศักย์ไฟฟ้าตรง เข้าสู่วงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์ เวนเจียลเพื่อขยายสัญญาณให้มีความดังแรงขึ้น ต่อจากนั้นศักย์ไฟฟ้าตรงจะเข้าสู่ภาคแสดงผล ในภาคแสดงผลวงจรวิธีโอทำหน้าที่เปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าตรงออกมาเป็นความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) ส่วนวงจรมัลติไวเบรเตอร์และวงจรรูานเวลาทำหน้าที่ควบคุมการนับความถี่ จากนั้นจึงถอดรหัสให้แสดงผลเป็นตัวเลข

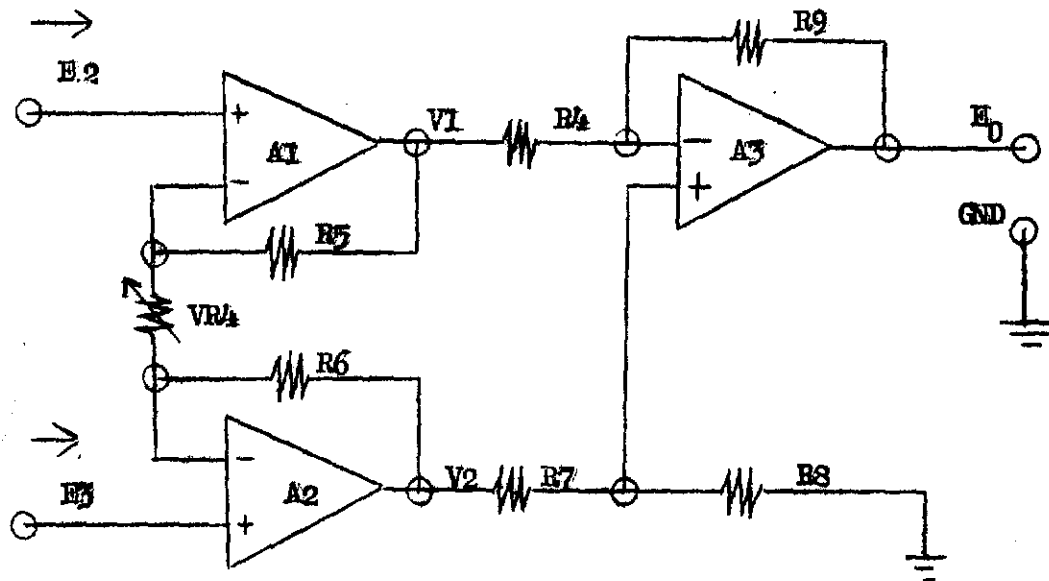
## 2. วงจรเทอร์มิสเตอร์บริดจ์ (Thermistor Bridge)



ภาพประกอบ 12 วงจรเทอร์มิสเตอร์บริดจ์ (Thermistor Bridge)

วงจรเทอร์มิสเตอร์บริดจ์ตามภาพประกอบ 12 ทำหน้าที่เปลี่ยนอุณหภูมิเป็นศักย์ไฟฟ้าตรง ส่วนที่เป็นบริดจ์ประกอบด้วย เทอร์มิสเตอร์ ( $R_{Th}$ ) แบบเอ็นทีซี (NTC) VR2 VR3 และ R3 สัญญาณศักย์ไฟฟ้าตรง E2 และ E3 ที่ออกจากบริดจ์มีค่าเล็กน้อยเพียงใดจะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของ  $R_{Th}$  ซึ่งจะแปรผันตามอุณหภูมิ สำหรับ R1 R2 และ VR1 เป็นเนตเวิร์คปรับศักย์ไฟฟ้าตรงให้เหมาะสมเพื่อจ่ายให้แก่วงจรเทอร์มิสเตอร์บริดจ์

3. วงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเชียล (Differential Amplifier)



ภาพประกอบ 13 วงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเชียล (Differential Amplifier)

การทำงานของวงจรมหาภาคประกอบ 13 เป็นดังนี้ เมื่อภาคขยาย A1 รับสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเชียล (E2) จากวงจรเทอร์มิสเทอร์บริคจ์ A1 จะขยายสัญญาณนั้นโดยมีกำลังขยายเท่ากับ  $(R5 + VR4) / VR4$  การขยายสัญญาณในช่วงนี้เป็นแบบนออินเวอร์ตติง (Non-Inverting amplifier) ในขณะที่เกี่ยวกับภาคขยาย A2 ก็จะได้รับสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเชียล (E3) โดยผ่านภาคขยาย A2 A2 จะขยายสัญญาณนี้แบบอินเวอร์ตติง (Inverting amplifier) ด้วยกำลังขยายเท่ากับ  $R6 / VR4$  ขณะที่ A1 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณอยู่นั้นจะมีสัญญาณอีกชนิดหนึ่งซึ่งเกิดจากตัวของภาคขยาย A2 เองเข้าร่วมอยู่ด้วย สัญญาณนี้เรียกว่าสัญญาณ  $E_{CM}$  (Common mode signal) ดังนั้นศักย์ไฟฟ้าตรงที่เอาต์พุต (V1) ของภาคขยาย A1 จะเป็นไปตามสมการ (26)

$$V1 = \frac{R5 + VR4}{VR4} \cdot (E2) - \frac{R6}{VR4} \cdot (E3) + E_{CM} \quad (26)$$

โดยแนวทางวิเคราะห์เช่นเดียวกับภาคขยาย A1 ศักย์ไฟฟ้าตรงที่เอาที่พหุ (V2) ของภาคขยาย A2 ก็จะเป็นไปในลักษณะคล้ายกัน ดังสมการ (27)

$$V2 = \frac{R6 + VR4 \cdot (E3)}{VR4} + \frac{R6 \cdot (E2)}{VR4} + E_{CM} \quad (27)$$

ถ้ากำหนดให้  $R5 = R6$  สมการใหม่ที่ได้อคือสมการ (28)

$$V2 - V1 = \frac{(2 \cdot R5 + 1) (E3 - E2)}{VR4} \quad (28)$$

ถ้าให้กำลังขยายของ A3 เท่ากับ 1 และให้  $R4 = R5 = R6 = R7 = R8 = R9$  ศักย์ไฟฟ้าตรงของวงจรขยายแบบคิฟเฟอร์เรนเชี่ยล ( $E_0$ ) จะเป็นดังสมการ (29)

$$\begin{aligned} E_0 &= (1) (V2 - V1) \\ &= (1) (E3 - E2) \left( \frac{2 \cdot R5 + 1}{VR4} \right) \quad (29) \end{aligned}$$

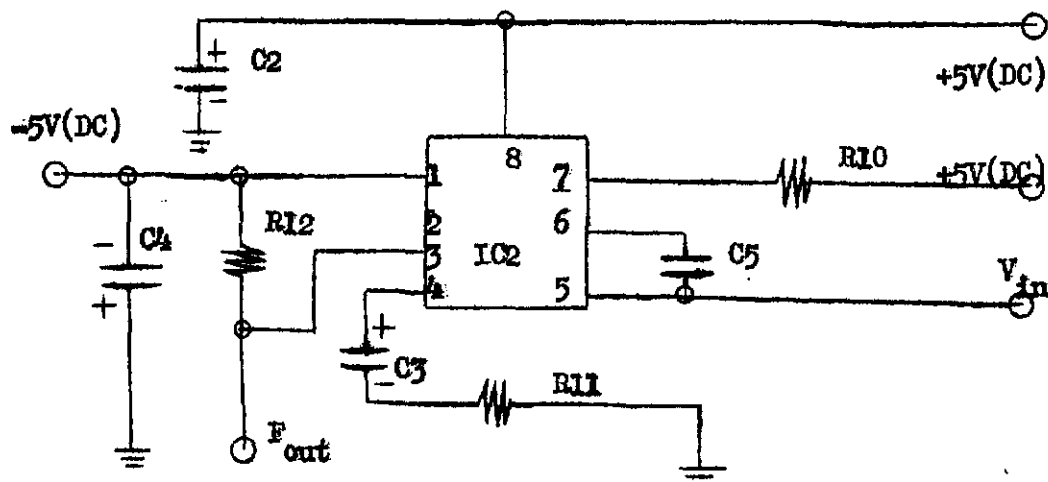
และสามารถเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสมการอย่างง่าย ๆ ดังสมการ (30)

$$A_{VCL} = \frac{E_0}{(E3 - E2)} = 1 + \frac{2 \cdot R5}{VR4} \quad (30)$$

ค่า  $A_{VCL}$  จะมีค่าได้ตั้งแต่ 1 (คือ  $VR4$  เท่ากับอนันต์) ถึง 1,000 (เมื่อ  $VR4$  เท่ากับ 50 โอห์ม) ดังนั้นจึงสามารถเลือกค่า  $VR4$  ได้ตามความเหมาะสมที่สอดคล้องกับสมการ (31)

$$VR4 = \frac{2 \cdot R5}{A_{VCL} - 1} \quad (31)$$

#### 4. วงจรวีซีโอ ( VCO : Voltage Controlled Oscillator)



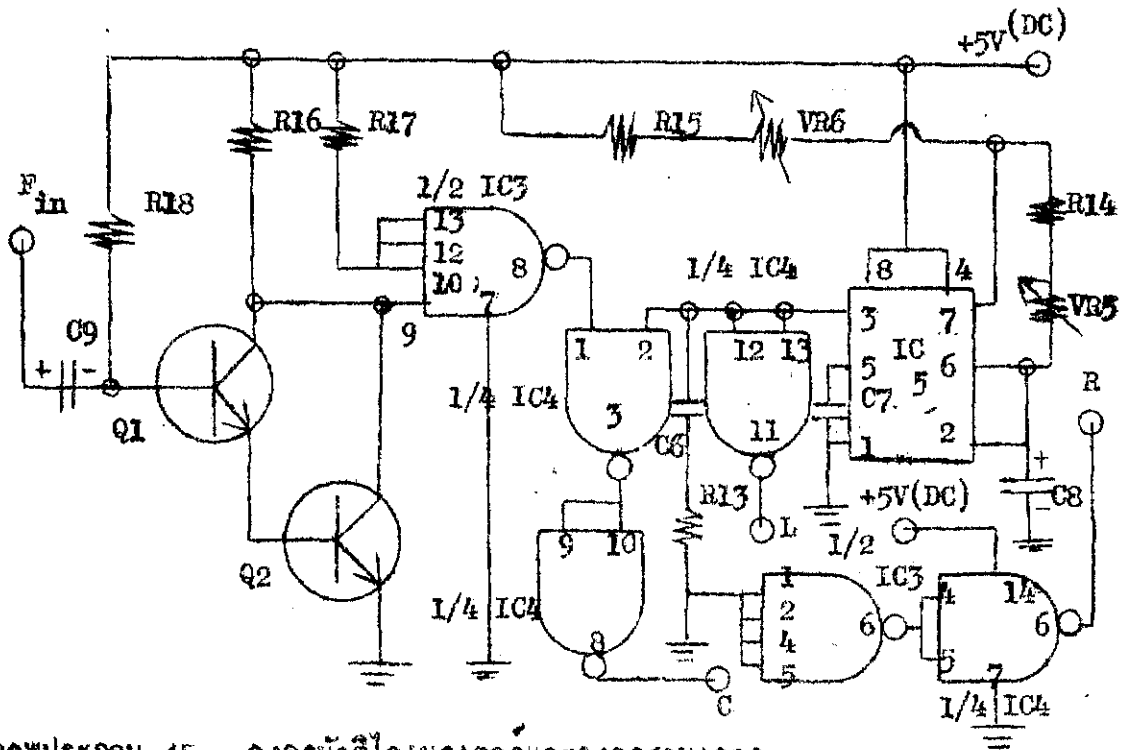
ภาพประกอบ 14 วงจรวีซีโอ ( VCO : Voltage controlled Oscillator )

การทำงานของวงจรตามภาพประกอบ 14 นั้น IC2 ( LM566 ) จะทำหน้าที่เปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าตรงออกมาเป็นความถี่รูปคลื่นสี่เหลี่ยม ( Square Wave ) ค่าความถี่ที่ออกมาจากวงจรมี (  $F_{out}$  ) จะแปรผันตรงกับศักย์ไฟฟ้าตรง (  $V_{in}$  ) ที่เข้ามาขั้วขา 5 ของ IC2 ทั้งนี้คือ ถ้าศักย์ไฟฟ้าตรงมีค่ามากกว่าความถี่ที่ออกมาจะมีค่าน้อย ในทางตรงกันข้ามถ้าศักย์ไฟฟ้าตรงมีค่าน้อยกว่าความถี่ที่ออกมาจะมีค่ามาก ศักย์ไฟฟ้าตรงที่วงจรมีสามารถเปลี่ยนให้ออกมาเป็นความถี่คือ 1.8 - 4.6 วัตต์

#### 5. วงจรมัลติไวเบเรเตอร์และวงจรฐานเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator)

วงจรมัลติไวเบเรเตอร์และวงจรฐานเวลาทำหน้าที่ควบคุมการนับความถี่ก่อนเข้าสู่วงจรมับความถี่ ( Frequency Counter ) IC3 ( SN74130 ) เป็นตัวสร้างวงจรมัลติไวเบเรเตอร์แบบแอสเตเบิล ( Astable multivibrator ) และควบคุมการพัก ( Latch ) สัญญาณความถี่ IC4 ( SN7400N ) ทำหน้าที่แปลงความถี่เป็นสัญญาณฐานสอง ( Binary signal ) และ รีเซท ( Reset ) สัญญาณความถี่ IC5 ( 555 ) ทำหน้าที่

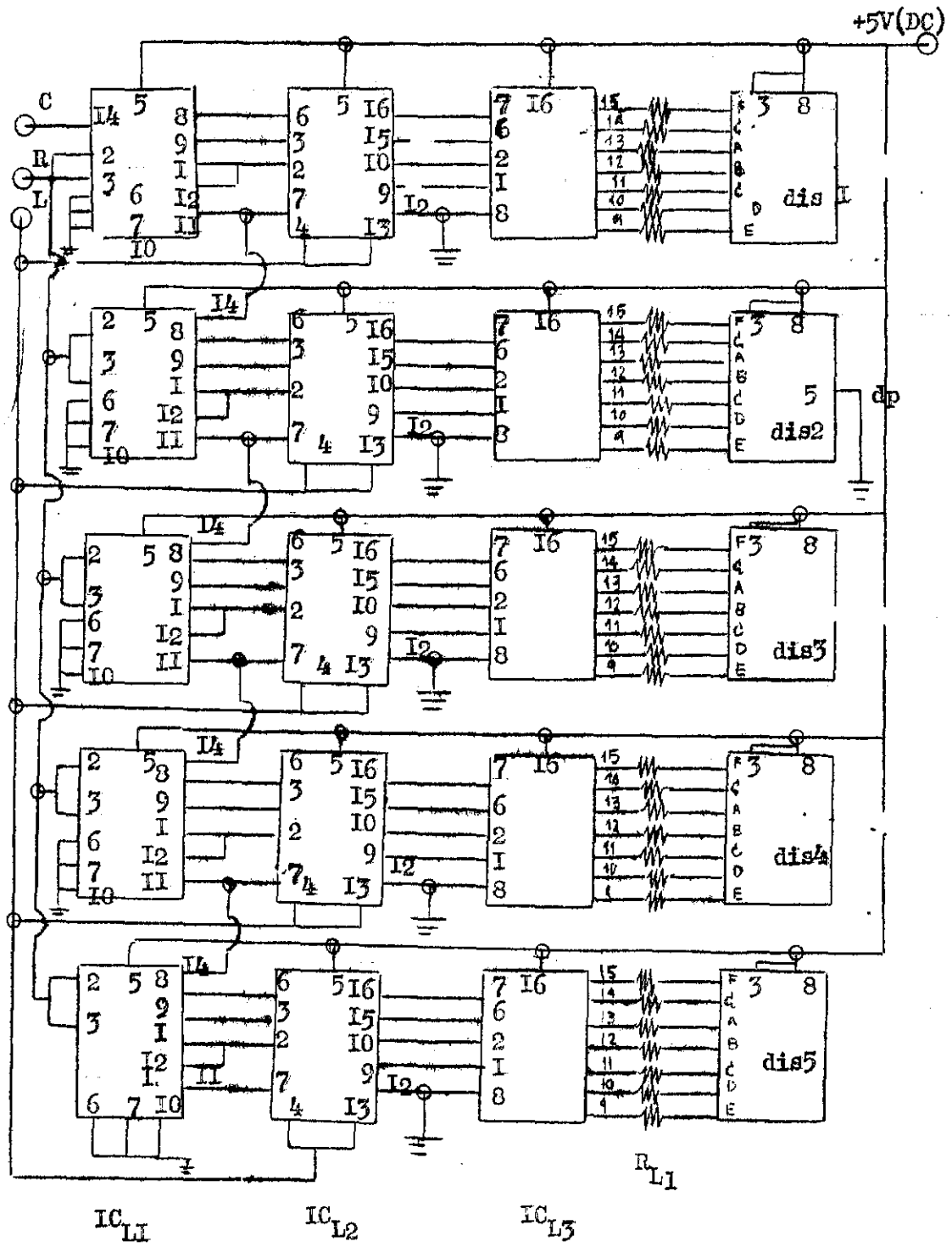
กำหนดฐานเวลาเพื่อใช้ควบคุมให้แนบเค้เกท (Nand Gate) ของ IC4 (SN7400N) เปิดให้สัญญาณความถี่ผ่านเข้าสู่วงจรนับความถี่ต่อไป ช่วงความถี่ของการนับจะถูกกำหนดโดยค่า C6 VR5 และ VR6 ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 วงจรมัลติไวเบเรเตอร์และวงจรมูลฐานเวลา  
(Multivibrator and Time-base Oscillator)

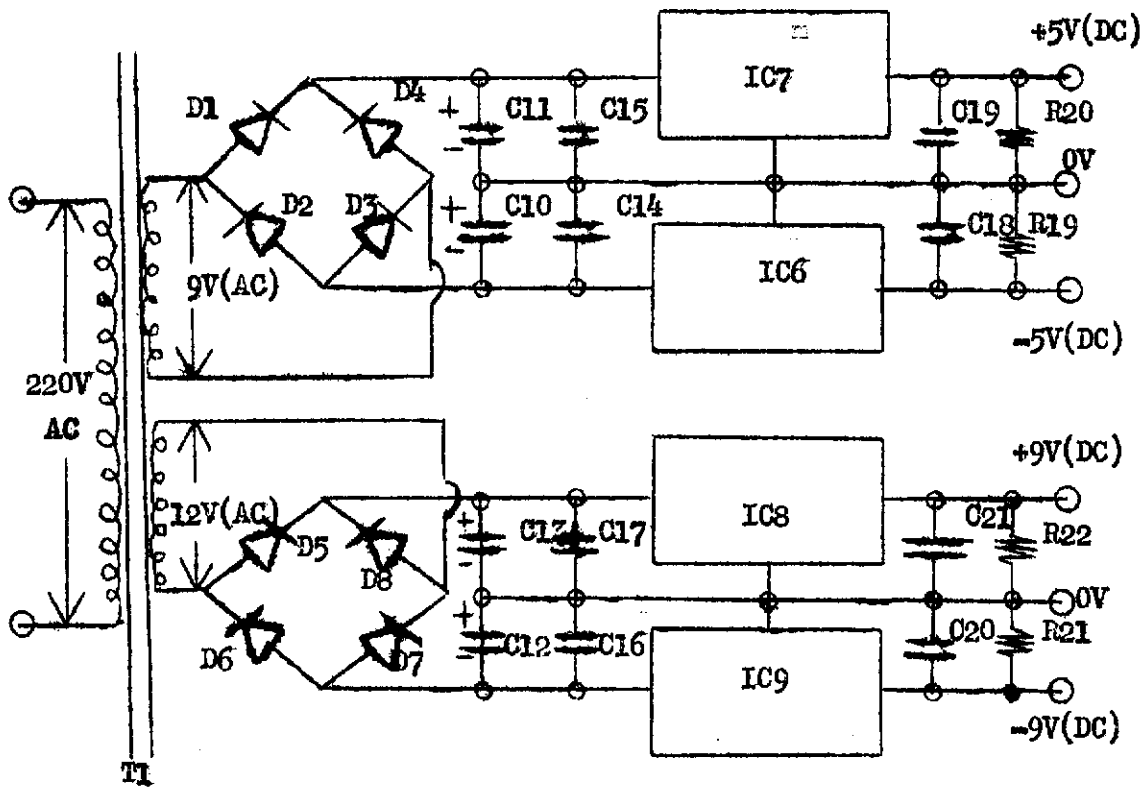
6. วงจรนับความถี่ (Frequency Counter)

วงจรถามภาพประกอบ 16 ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณฐานสองเป็นตัวเลขในภาคแสดงผล (Digital Display) โดยใช้ IC<sub>L1</sub> (SN7490N) ทำหน้าที่นับและรีเซตสัญญาณฐานสอง IC<sub>L2</sub> (SN7475N) ทำหน้าที่ล็อก (Latch) สัญญาณฐานสองและ IC<sub>L3</sub> (SN7447N) ทำหน้าที่ถอดรหัส (Decoder) และขับตัวแสดงผลชนิดเจ็ดส่วน (7 Segments Display)



ภาพประกอบ 16 แสดงวงจรนับความถี่ (Frequency Counter)

## 7. วงจรภาคจ่ายไฟเลี้ยง (Power Supply)

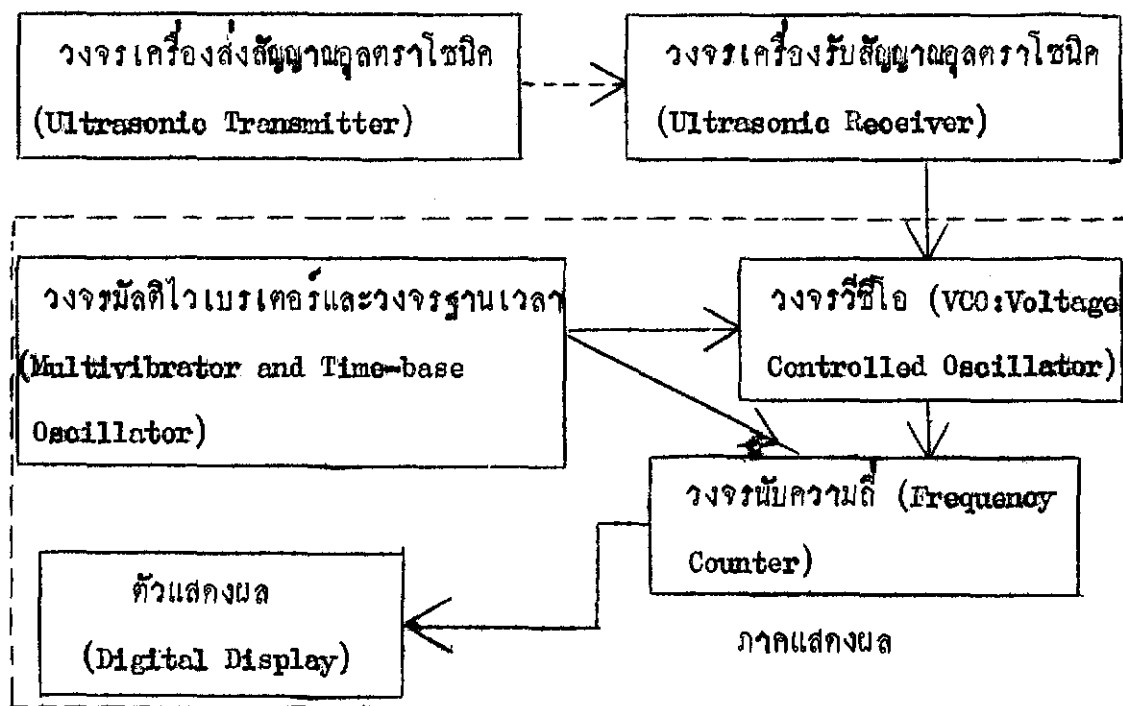


ภาพประกอบ 17 วงจรภาคจ่ายไฟเลี้ยง  $\pm 5$  โวลต์ และ 9 โวลต์

วงจรในภาพประกอบ 17 ทำหน้าที่จ่ายไฟตรงให้แก่วงจรไฟฟ้าต่าง ๆ ในเครื่องมือวัดอุณหภูมิและเครื่องมือวัดความชื้นไอ การทำงานของวงจรเป็นดังนี้ หม้อแปลง (T1) ทำหน้าที่ลดค่าศักย์ไฟฟ้าสลับให้ต่ำลง ศักย์ไฟฟ้าสลับนี้จะถูกเรกติไฟด์ (Rectified) โดยไดโอด (Diode) เป็นศักย์ไฟฟ้าตรง ต่อจากนั้นศักย์ไฟฟ้าตรงจะเข้าสู่ IC6 ถึง IC9 แปลงศักย์ไฟฟ้าตรงเป็น  $\pm 5$  โวลต์  $\pm 9$  โวลต์ (ในเครื่องมือวัดอุณหภูมิ) และ  $\pm 5$  โวลต์  $\pm 12$  โวลต์ (ในเครื่องมือวัดความชื้นไอ)

## การออกแบบวงจรไฟฟ้าของเครื่องมือวัดความดัน

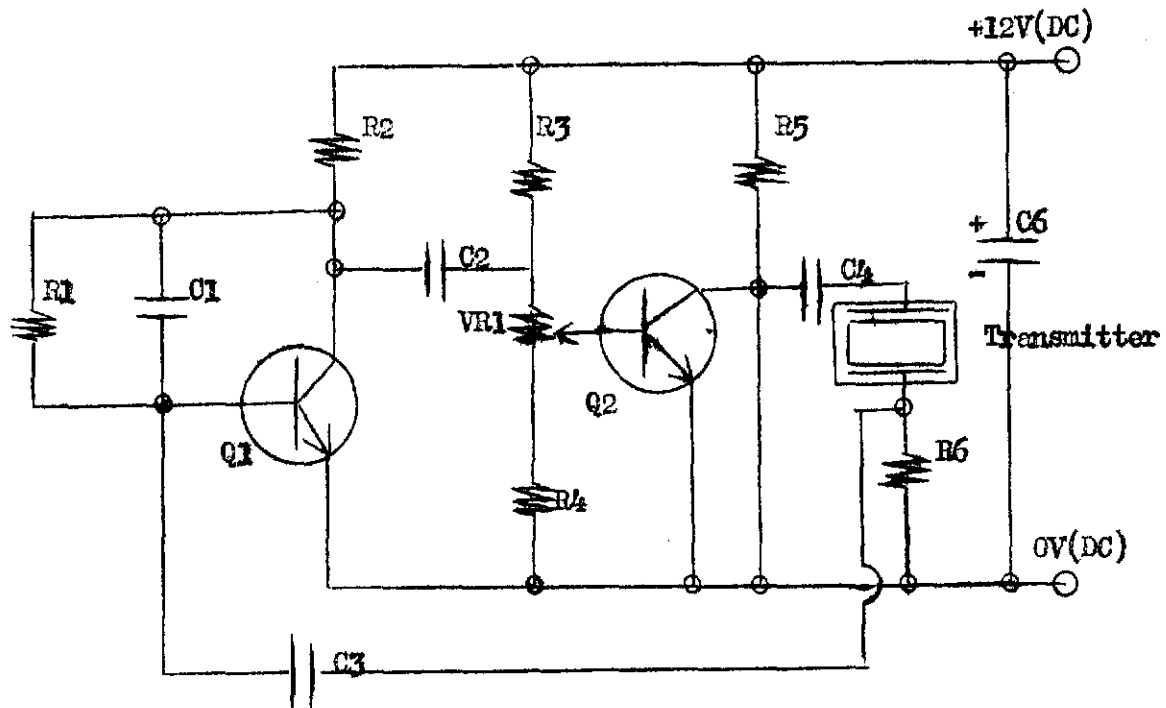
### 1. แผนภูมิแสดงการออกแบบ (Block Diagram)



ภาพประกอบ 18 แผนภูมิแสดงการออกแบบวงจรไฟฟ้าของเครื่องมือวัดความดัน

จากภาพประกอบ 18 วงจรเครื่องส่งสัญญาณอุลตราโซนิกส่งสัญญาณคลื่นความถี่เหนือเสียง (Ultrasonic Sound) ผ่านเข้าสู่วงจรเครื่องรับสัญญาณอุลตราโซนิก วงจรเครื่องรับสัญญาณอุลตราโซนิกทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณคลื่นความถี่เหนือเสียง เป็นศักย์ไฟฟ้าตรงเข้าสู่ภาคแสดงผลเพื่อเปลี่ยนเป็นตัวเลข การทำงานของภาคแสดงผลเป็นแบบเกี่ยวกับการทำงานของภาคแสดงผลในเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ตามข้อ 4 - 7

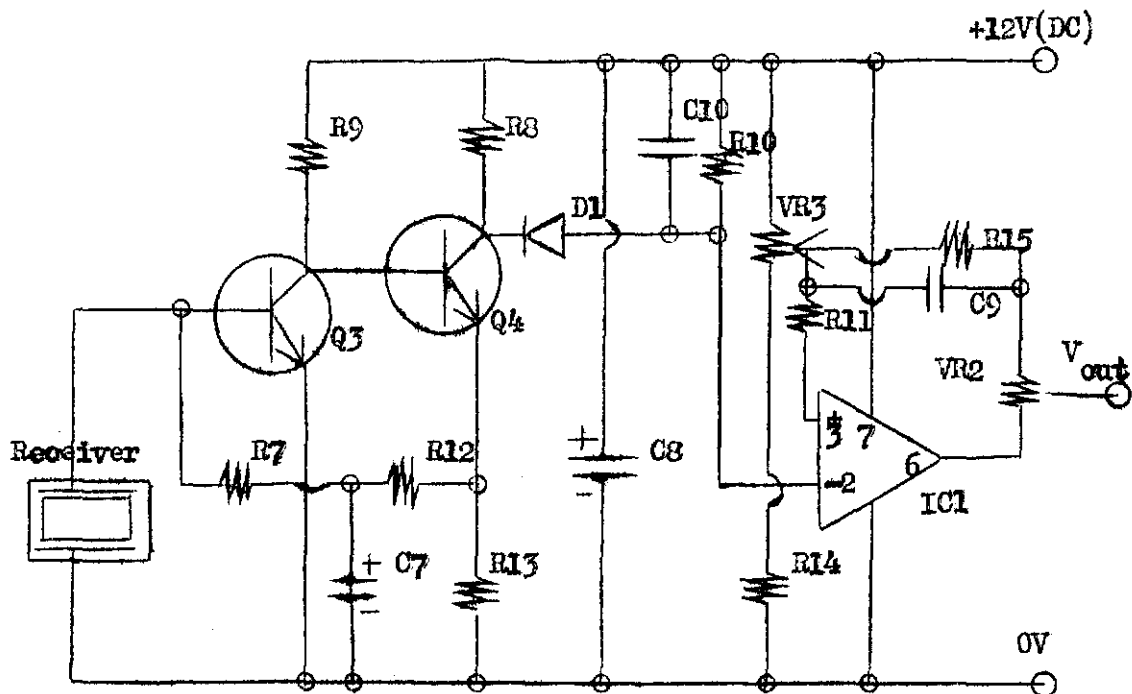
## 2. วงจรเครื่องส่งสัญญาณอัลตราโซนิค (Ultrasonic Transmitter)



ภาพประกอบ 19 วงจรเครื่องส่งสัญญาณอัลตราโซนิค (Ultrasonic Transmitter)

วงจรตามภาพประกอบ 19 ทำหน้าที่ส่งสัญญาณคลื่นความถี่เหนือเสียง การทำงานของวงจรเป็นดังนี้ ทรานซิสเตอร์ Q1 และ Q2 ทำหน้าที่ขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟสที่มีการป้อนกลับเป็นบวกโดยผ่านทาง C3 และตัวส่ง (Transmitter) ความถี่ที่สร้างขึ้นจะเรโซแนนซ์ (Resonance) กับตัวส่งสัญญาณ จึงทำให้การป้อนกลับเป็นบวกมากยิ่งขึ้น และเพียงพอที่จะเกิดการออสซิลเลชัน (Oscillation) ขึ้นได้ C1 และ C4 ใช้ป้องกันการเกิดฮาร์โมนิกออสซิลเลชันอันดับที่ 3 (The 3<sup>rd</sup> harmonic oscillation) นอกจากนี้ C4 จะช่วยเลื่อนจุกเรโซแนนซ์ให้สูงขึ้นอีกประมาณ 500 Hz เพื่อให้ความถี่ของเครื่องส่งเหมาะกับเครื่องรับมากขึ้น

### 3. วงจรเครื่องรับสัญญาณอัลตราโซนิก (Ultrasonic Receiver)



ภาพประกอบ 20 วงจรเครื่องรับสัญญาณอัลตราโซนิก (Ultrasonic Receiver)

วงจรในภาพประกอบ 20 ทำหน้าที่รับสัญญาณคลื่นความถี่เหนือเสียงจากเครื่องส่งและแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าตรง วงจรนี้ใช้ทรานซิสเตอร์ Q3 และ Q4 ขยายสัญญาณความถี่ 40 kHz ที่ผ่านตัวรับออกมาให้มีขนาดใหญ่ประมาณ 3,000 เท่า (70dB) R7 และ R12 ทำหน้าที่ไบแอส (Bias) แก่ขาเบสของ Q3 โดยมี C7 ลักวงจรไบแอสส่วนนั้น ในขณะที่มีคลื่นความถี่เหนือเสียงเข้ามาเพื่อช่วยให้อัตราขยายสูงขึ้น ถ้าสัญญาณคลื่นความถี่เหนือเสียงเข้ามาแรงเกินควรวงจรขยายก็จะขลิบสัญญาณเอาที่พุทให้ออกมาเป็นคลื่นรูปสี่เหลี่ยม เอาที่พุทของ Q4 จะถูกเรคตีฟายค์โดย D1 และมี C10 กรองให้เป็นไฟฟ้าตรงที่เรียบขึ้นเพื่อป้อนให้แก่อินพุทขา 2 ของ IC1 นอกจากนี้ IC1 ยังทำหน้าที่เป็นวงจรเปรียบเทียบระดับแรงดันไฟฟ้าที่ขา 2 กับแรงดันไฟฟ้าที่ขา 3 ซึ่งคงที่โดยการปรับค่า VR3 ให้เหมาะสม

ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ขา 2 ต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขา 3 ของ ICI เนื่องจากมีคลื่นความถี่เหนือเสียงเข้ามากระทบตัวรับ เอาท์พุทของ ICI จะเปลี่ยนจากแรงดันไฟฟ้าต่ำ (ประมาณ 1.3 โวลต์) ขึ้นไปเป็นแรงดันไฟฟ้าสูง (ประมาณ 10.5 โวลต์)

#### 4. วงจรภาคแสดงผล

วงจรรภาคแสดงผลซึ่งประกอบไปด้วย วงจรวีซีไอ วงจรมัลติไวเบรเตอร์ วงจรฐานเวลา และวงจรมับความถี่ จะเป็นแบบเดียวกับวงจรรภาคแสดงผลในเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ข้อ 4 ถึง ข้อ 7 ตามลำดับ

### การดำเนินการสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

เครื่องมือวัดอุณหภูมิในภาพประกอบ 21 มีส่วนประกอบดังนี้

#### 1. เรือนเครื่อง

เรือนเครื่องประกอบด้วยแท่นรองเครื่องและฝาครอบแทนเครื่องทำด้วยอลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร ขนาด 26 × 30 ตารางเซนติเมตร ด้านหน้าสูง 5 เซนติเมตร ด้านหลังสูง 8 เซนติเมตร ตัวเรือนเครื่องมีฝาครอบอยู่ด้านบนเป็นที่ติดตั้งสวิตช์ปิด-เปิด ช่องเสียบเทอร์มิสเตอร์ ไฟสัญญาณปิด-เปิด และแผงแสดงผลเป็นตัวเลข ส่วนด้านหลังของฝาครอบเป็นที่ติดตั้ง พิวส์ และปลั๊กเสียบไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ ส่วนแท่นเครื่องด้านในเป็นที่ติดตั้งแผงวงจรไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้า

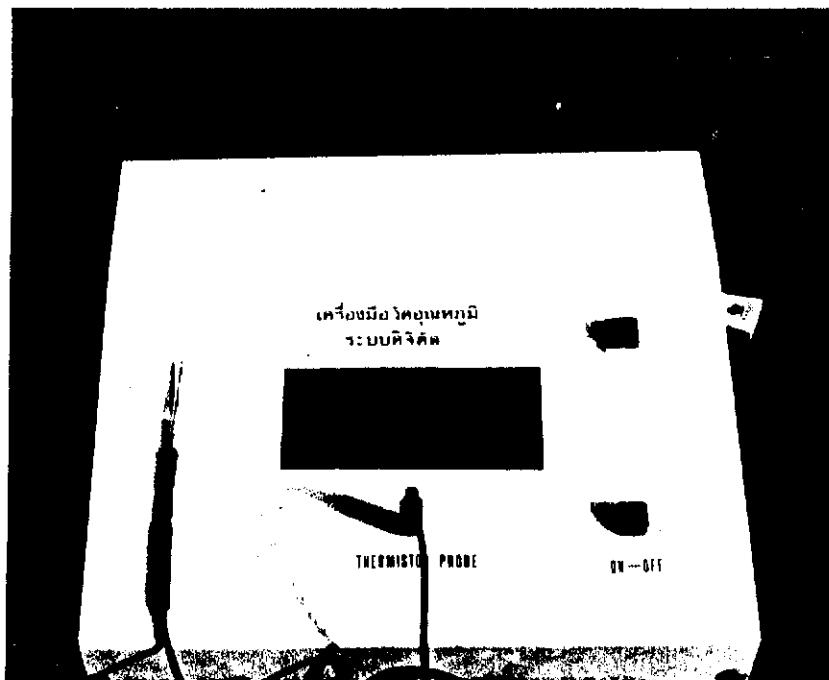
#### 2. อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนฝาครอบแทนเครื่องด้านบน

2.1 สวิตช์ ปิด - เปิด เป็นแบบกดปุ่ม ( push button switch )

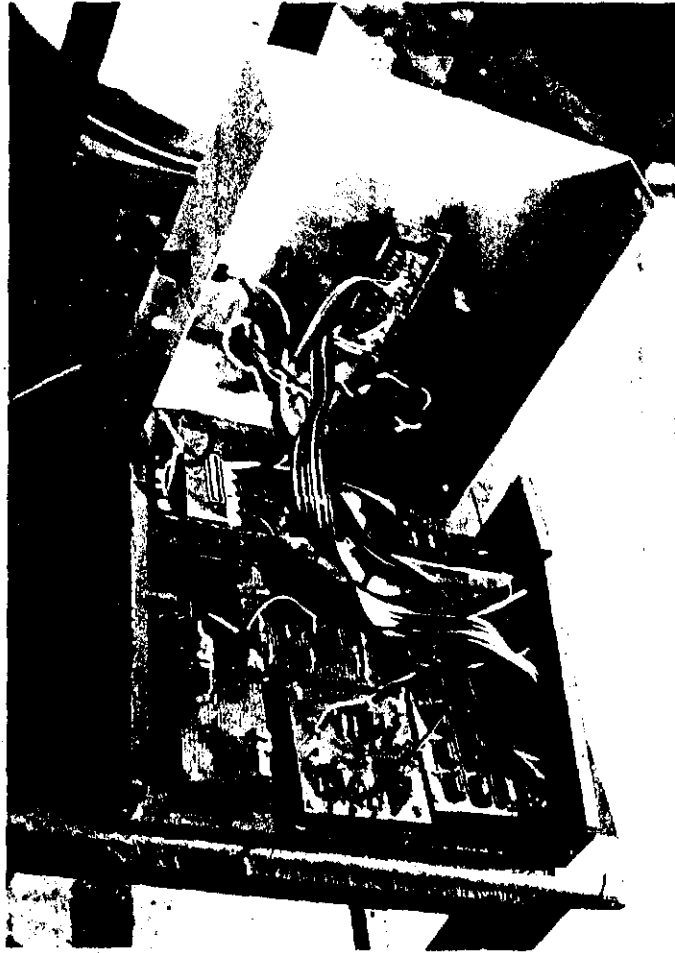
2.2 หลอดไฟฟ้าแสดงการปิด - เปิดของสวิตช์ เป็นหลอดไฟนีออนสีแดง 220 โวลต์

2.3 แผงแสดงผลเป็นตัวเลขสี่เขี้ยวห้าหลัก แต่ละหลักทำจากแอลอีดี เจ็ดส่วนชนิดขั้วบวกกร่วม (Common anode) ขนาดสูง 0.6 นิ้ว

3. อุปกรณ์ที่ติดตั้งด้านหลังของฝาครอบแทนเครื่อง
  - 3.1 คลิปพิวส์แบบแห้งขนาด 1 แอมป์
  - 3.2 สายปลั๊กเสียบไฟฟ้าสลับ 220 โวลท์



ภาพประกอบ 21 แสดงรูปร่างภายนอกของเครื่องมืออัลตราซาวด์ที่สร้าง



ภาพประกอบ 22 แสดงรูปร่างภายในของเครื่องมือรูดหินที่สร้าง

#### 4. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในแผงวงจรไฟฟ้า

##### 4.1 วงจรเทอร์มิสเตอร์บริดจ์ (Thermistor Bridge)

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ
C1	1 nF / 100 V Mylar capacitor
R1	1 K $\Omega$ $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R2	500 $\Omega$ $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R3	50 K $\Omega$ $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R <sub>Th</sub>	50 K $\Omega$ Thermistor , NTC Type
VR1	5 K $\Omega$ lin. Variable resistor
VR2 , VR3	50 K $\Omega$ lin. Variable resistor

##### 4.2 วงจรขยายสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียล (Differential

Amplifier)

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ
IC1	LM 324 Operational amplifier
R4 - R9	100 K $\Omega$ $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
VR4	300 K $\Omega$ lin. Variable resistor

##### 4.3 วงจรวีซีโอ (VCO : Voltage Controlled Oscillator)

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ
C2 - C4	470 nF / 100 V Tantalum capacitor
C5	1 nF / 100 V Mylar capacitor
C6	6 nF / 100 V Mylar capacitor
IC2	LM 566 Voltage Controlled Oscillator
R10 - R11	10 K $\Omega$ $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R12	4.7 K $\Omega$ $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor

#### 4.4 วงจรมัลติไวเบรเตอร์และวงจรรฐานเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator)

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ
C6 , 07	10 nF / 100 V Mylar capacitor
C8	47 nF / 100 V Tantalum capacitor
C9	470 nF / 100 V Tantalum capacitor
IC3	SN 7413 N Dual 4-input Schmitt Trigger
IC4	SN 7400 N Quad 2-input Positive NAND Gate
IC5	555 Time-base Oscillator
Q1 , Q2	BC 109 Silicon NPN transistor
R13	1 K $\Omega$ $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R14	24 K $\Omega$ $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R15	8 K $\Omega$ $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R16	4.7 K $\Omega$ $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R17	2 K $\Omega$ $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R18	4.7 M $\Omega$ $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
VR5	250 K $\Omega$ lin. Variable resistor
VR6	40 K $\Omega$ lin. Variable resistor

#### 4.5 วงจรนับความถี่ (Frequency Counter)

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ
IC <sub>11</sub>	SN 7490 N Decade Counter
IC <sub>12</sub>	SN 7475 N Quad bistable latch
IC <sub>13</sub>	SN 7447 N BCD-to-Seven Segments Decoder / Driver
R <sub>11</sub>	390 $\Omega$ $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor

## 4.6 แผงแสดงผลเป็นตัวเลข

หมายเลขอ้างอิง                      รายละเอียดประกอบ

Dis.1 - Dis.5            Green 0.6 "            Common anode

4.7 วงจรภาคจ่ายไฟเลี้ยง  $\pm 5$  โวลต์ และ  $\pm 12$  โวลต์

หมายเลขอ้างอิง                      รายละเอียดประกอบ

C10 - C13            2200  $\mu$ F / 50 V            Electrolytic capacitor

C14 - C17            220 nF / 100 V            Mylar capacitor

C18 - C21            470 nF / 100 V            Mylar capacitor

D1 - D3            1 Amp.                      Rectified diode

IC6                    7905                          Regulator Integrated Circuit

IC7                    7805                          Regulator Integrated Circuit

IC8                    7909                          Regulator Integrated Circuit

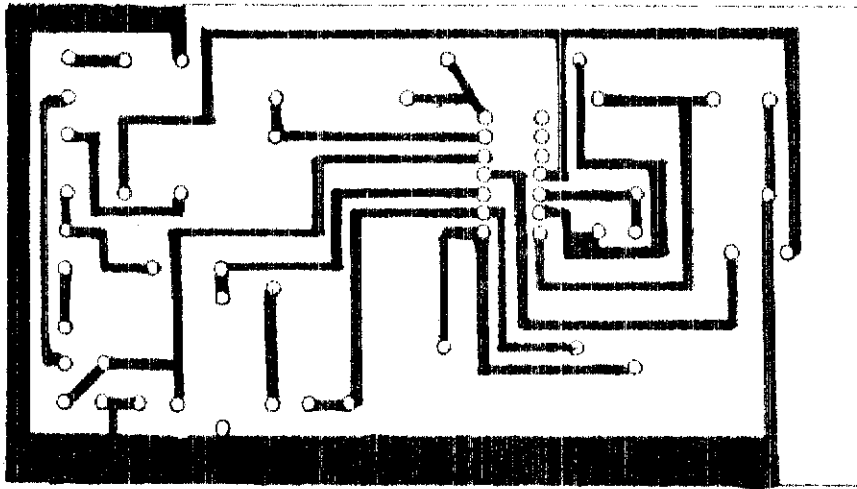
IC9                    7809                          regulator Integrated Circuit

R19 - R22            4.7 K  $\Omega$                     1 Watt 5% Fixed carbon resistor

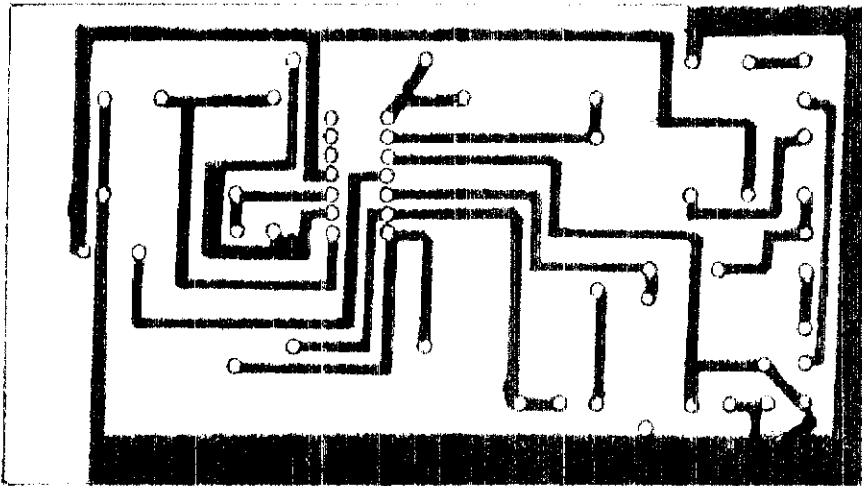
T1    12 - 0 - 12 , 9 - 0 - 9    Transformer

                         Volt (AC) / 300 mA.

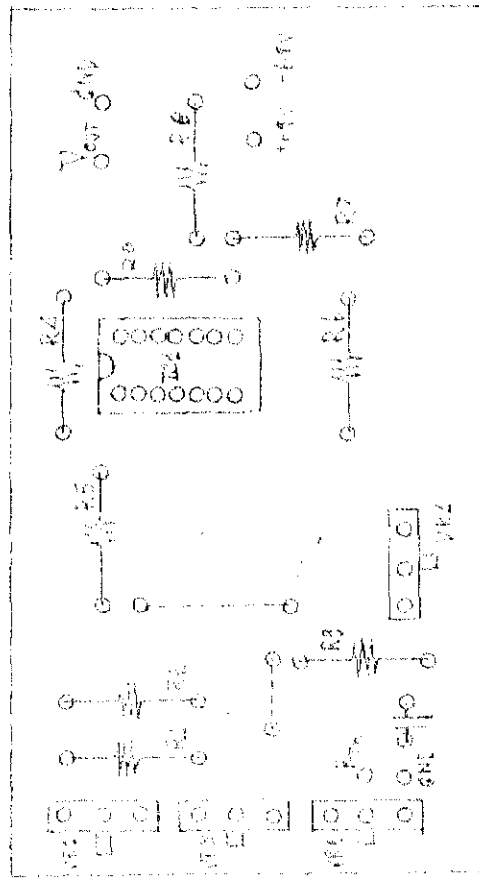
VR7 , VR8            3 K  $\Omega$  lin.                Variable resistor



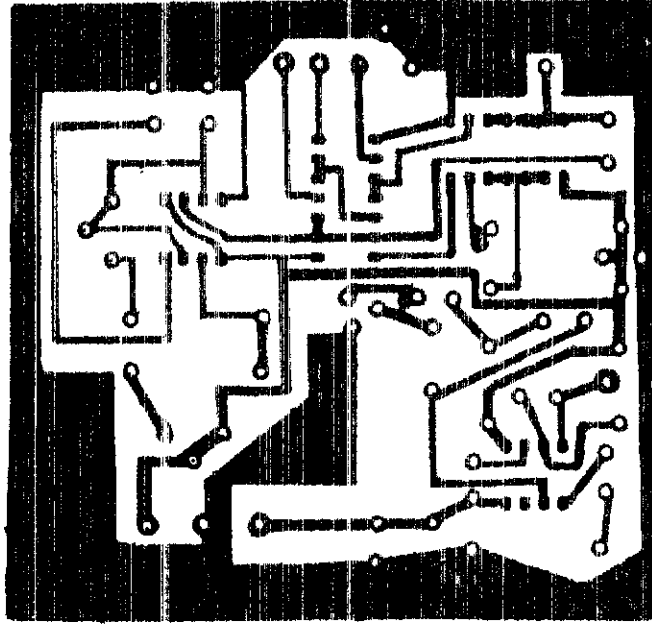
ภาพประกอบ 23 แผ่วงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรเทอร์มิสโตร์บริดจ์  
(Thermistor Bridge)



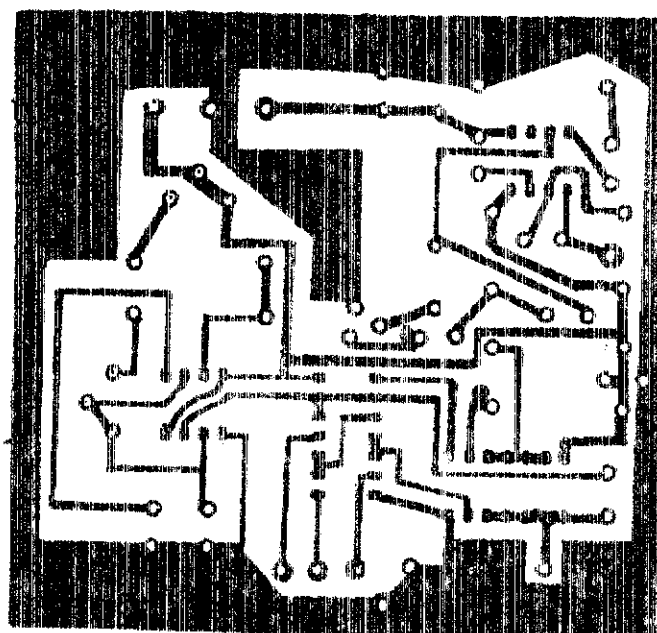
ภาพประกอบ 24 แผ่วงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรเทอร์มิสโตร์บริดจ์  
(Thermistor Bridge)



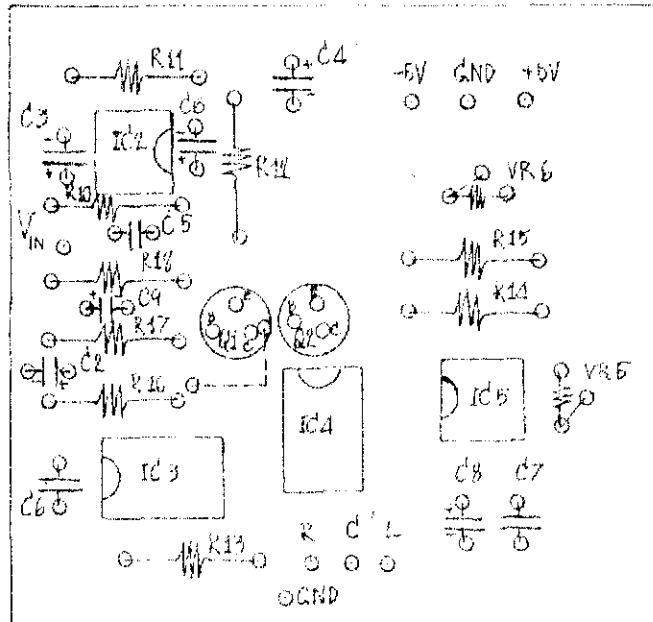
ภาพประกอบ 25 แสดงการลอบวงจรต้านทานของจอร์ เทอร์มิสเทอร์บรีดจ์  
(Thermistor Bridge)



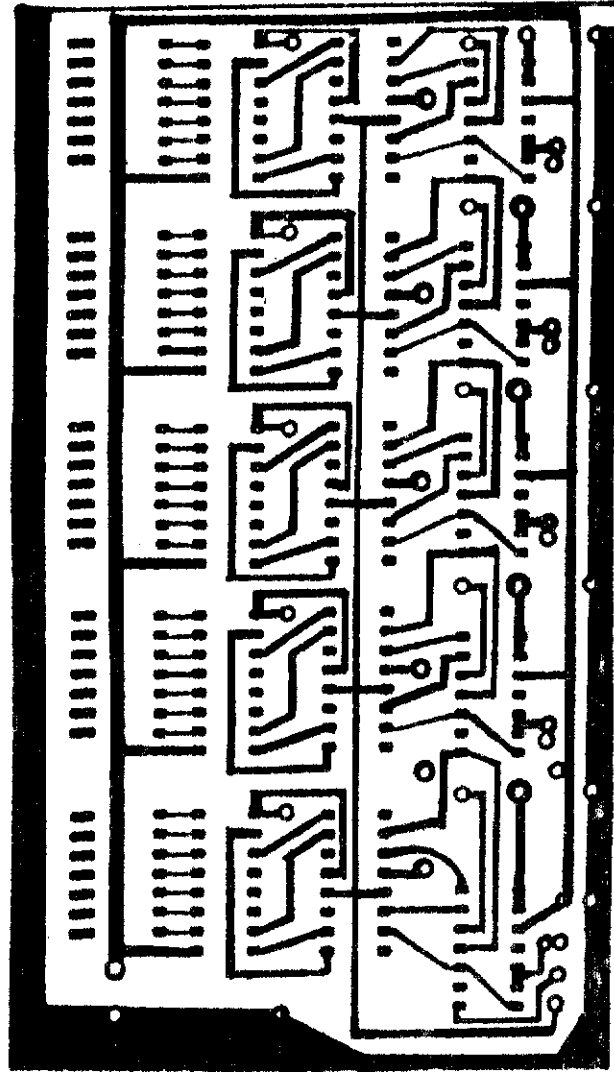
ภาพประกอบ 26    แผนวงจรที่พิมพ์ออกจากต้นแบบของวงจรวีโอ (VCO: Voltage Controlled Oscillator) และ วงจรมีดิวเบรเตอร์และวงจรฐานเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator)



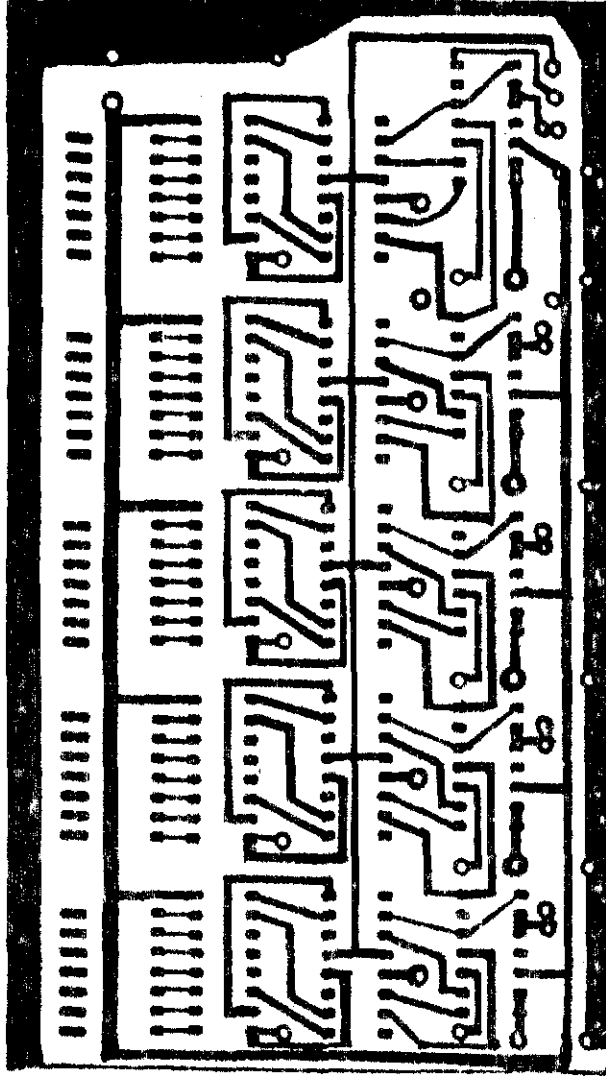
ภาพประกอบ 27 แผงวงจรพิมพ์ของจากค่าแรงของวงจรโอ (VCO: Voltage Controlled Oscillator) และ วงจรหัดถี่ไวเนอเคอร์และวงจรฐานเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator)



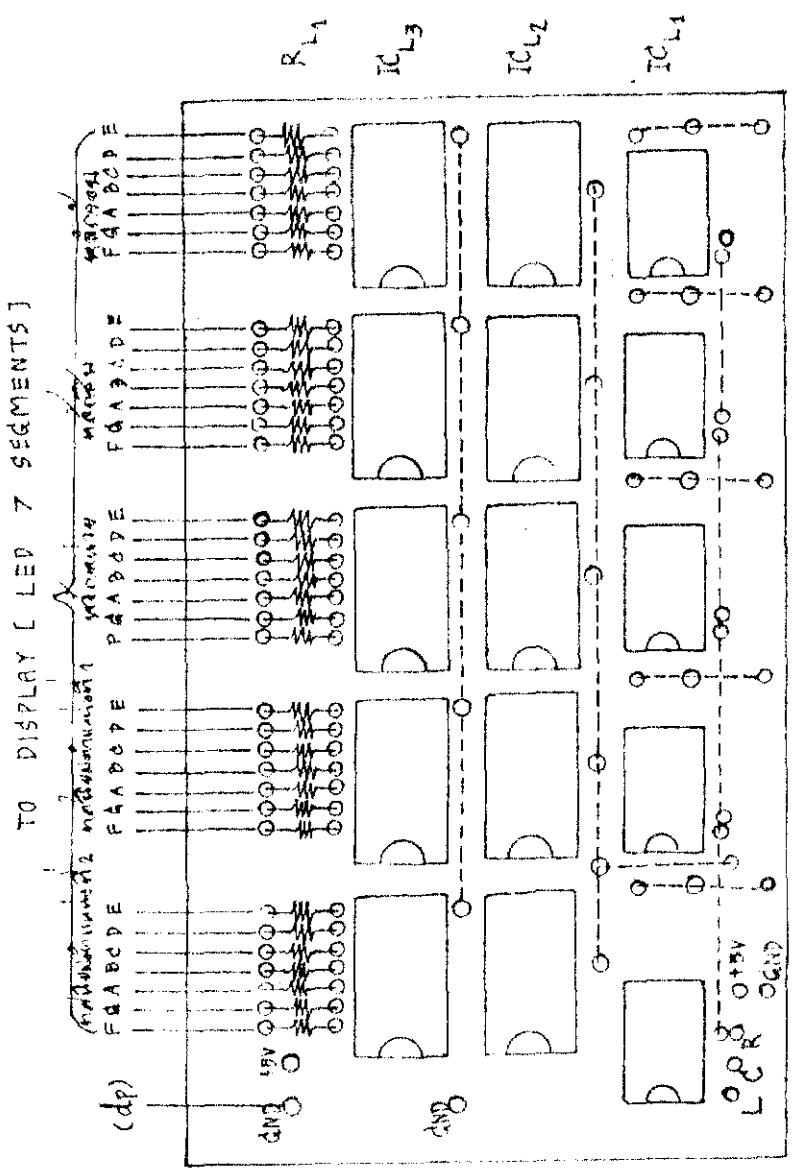
ภาพประกอบ 2๘ แสดงการลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรวีซีโอ (VCO: Voltage Controlled Oscillator) และ วงจรมัลติไวเบรเคเตอร์และวงจรฐานเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator)



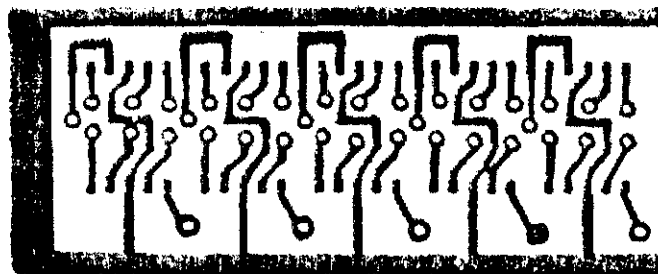
ภาพประกอบ 29 แผงวงจรพิมพ์ของวงจรถับความถี่ (Frequency Counter)



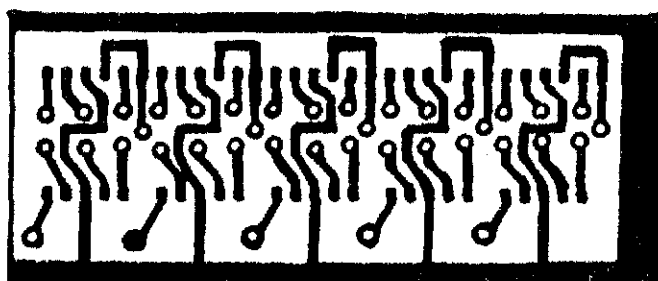
ภาพประกอบ 30 แผงวงจรพิมพ์จากกลางของวงรีความถี่ (Frequency Counter)



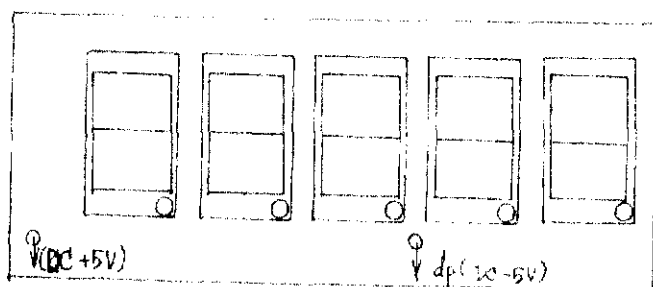
ภาพประกอบ 31 แสดงการออกแบบแผงวงจรนับความถี่ (Frequency Counter)



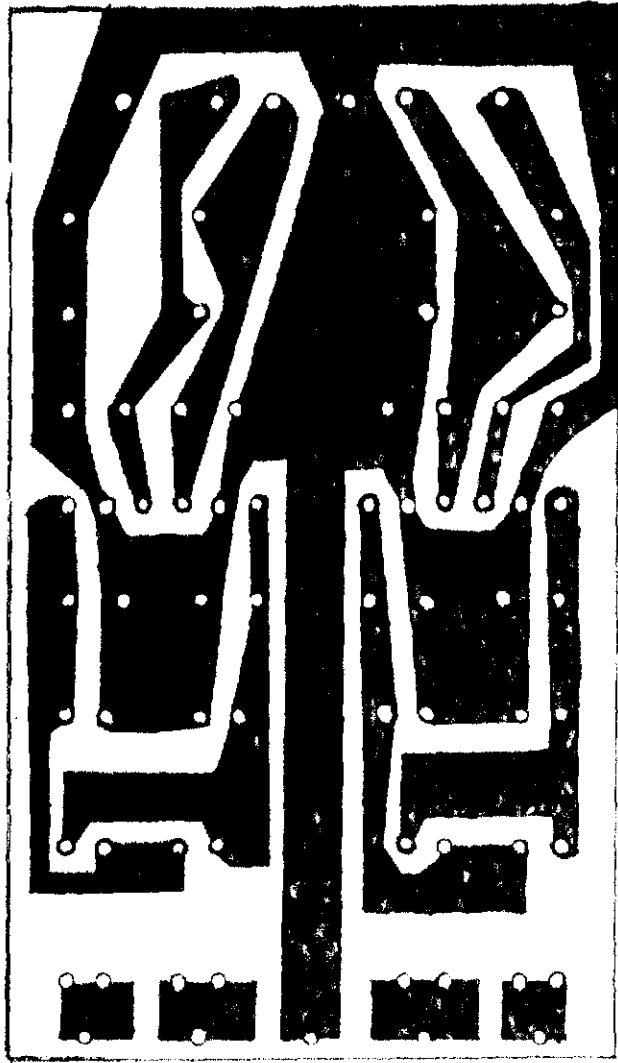
ภาพประกอบ 32 แผนวงจรพิมพ์ทองจากด้านบนของวงจรแผงแสดงผลเป็นตัวเลข



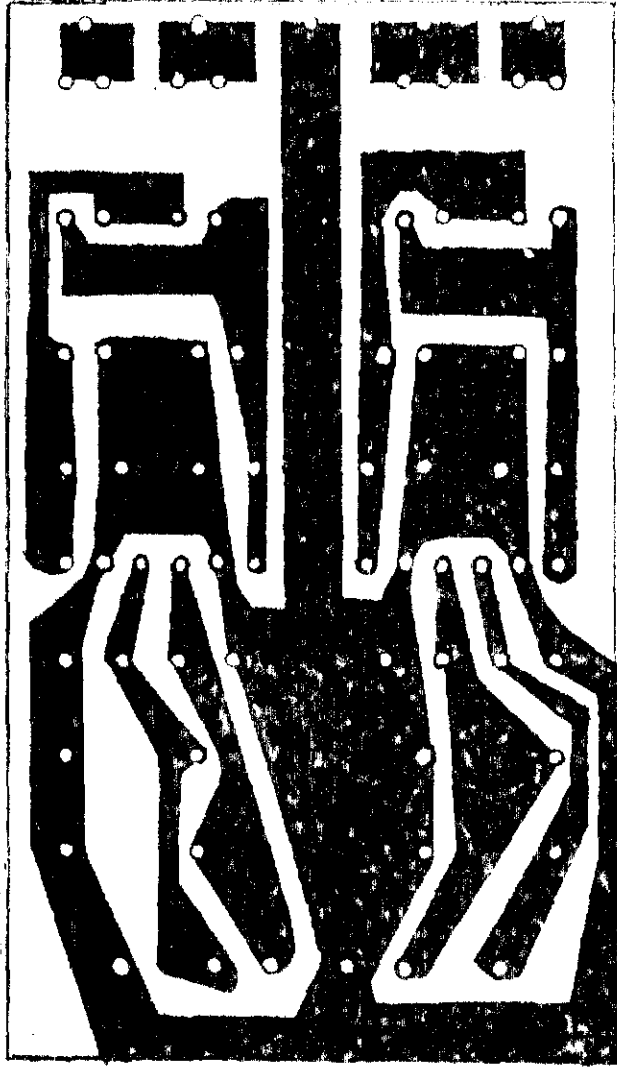
ภาพประกอบ 33 แผนวงจรพิมพ์ทองจากด้านล่างของวงจรแผงแสดงผลเป็นตัวเลข



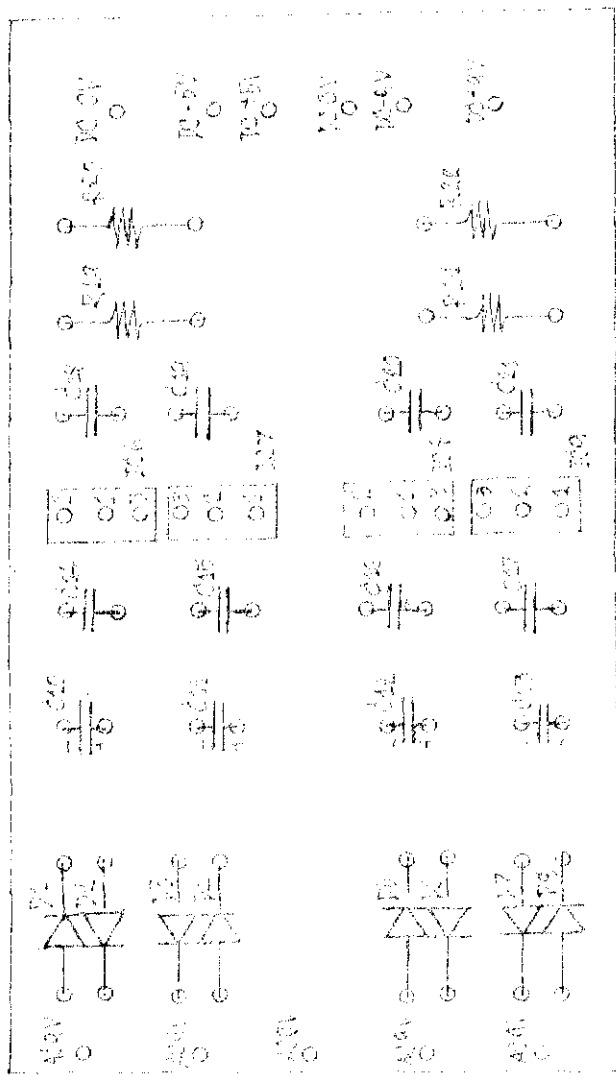
ภาพประกอบ 34 แสดงการลงอุปกรณ์บนแผงแสดงผลเป็นตัวเลข



ภาพประกอบ 35 แผนผังจริงพิมพ์ออกมาบนทองแดงจากจ่ายไฟทรง  $\pm 5$  โวลต์ และ  $\pm 9$  โวลต์



ภาพประกอบ 36    แผนร่างพิมพ์ของจากทำนต่างของวงจรรายไฟดง ± 5 โวลท์ และ ± 9 โวลท์



ภาพที่ ๑๑๑ ๑๑ แสดงวงจรอินเวอร์ตแบบแม่นยำที่มีสองวงจรมหาภาคจ่ายไฟตรง  $\pm 5$  โวลต์ และ  $\pm 9$  โวลต์

## การดำเนินการสร้างเครื่องมือวัดความดันโลหิต

เครื่องมือวัดความดันโลหิตตามภาพประกอบ 36 มีส่วนประกอบดังนี้

### 1. เรือนเครื่อง

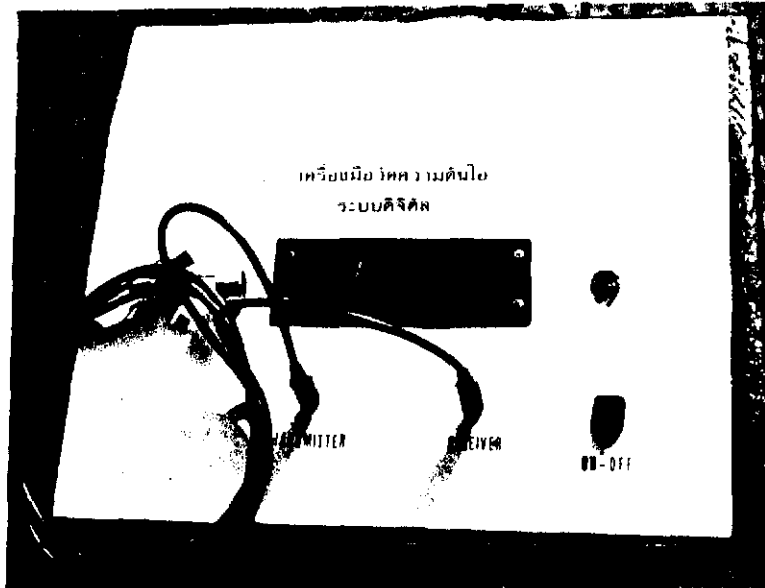
เรือนเครื่องประกอบด้วยแท่นเครื่องและฝาครอบ ทำด้วยอลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร ขนาด 26 × 30 ตารางเซนติเมตร ด้านหน้าสูง 5 เซนติเมตร ด้านหลังสูง 8 เซนติเมตร โดยออกแบบตัวเรือนเครื่องให้มีฝาครอบอยู่ด้านบนเป็นที่ตั้งของสวิทช์ ปิด-เปิด ช่องเสียบ ไฟสัญญาณปิด-เปิด และแผงแสดงผลเป็นตัวเลข ส่วนฝาครอบด้านหลังเป็นที่ติดตั้งพิวส์ และปลั๊กเสียบไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์ ส่วนที่เป็นแท่นเครื่องด้านในเป็นที่ติดตั้งแผงวงจรไฟฟ้าต่าง ๆ หม้อแปลงไฟ และแผงวงจรจ่ายไฟเลี้ยง

### 2. อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนฝาครอบแท่นเครื่องด้านบน

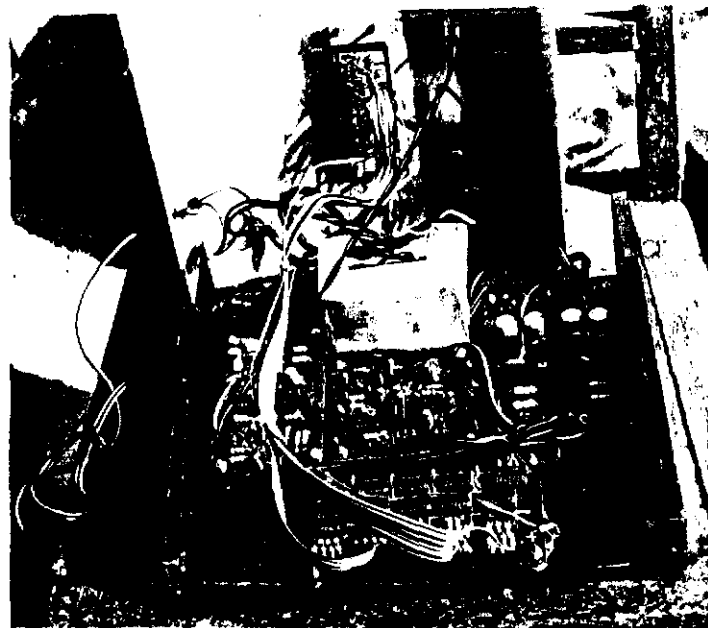
- 2.1 สวิทช์ ปิด - เปิด แบบกดปุ่ม เช่นเดียวกับในเครื่องมือวัดอุณหภูมิ
- 2.2 หลอดไฟ ปิด - เปิด เป็นแบบเดียวกับในเครื่องมือวัดอุณหภูมิ
- 2.3 แผงแสดงผลเป็นตัวเลข เป็นแบบเดียวกับในเครื่องมือวัดอุณหภูมิ
- 2.4 ช่องเสียบอุลตราโซนิคโพรบ (Ultrasonic probe)

### 3. อุปกรณ์ที่ติดตั้งบนฝาครอบแท่นเครื่องด้านหลัง

- 3.1 ฟิล์มพิวส์แบบแท่งขนาด 1 แอมป์
- 3.2 สายปลั๊กเสียบไฟฟ้าสลับ 220 โวลต์



ภาพประกอบ 38 แสดงรูปร่างภายนอกของเครื่องมือวัดความถี่อัลตราซาวด์ที่สร้าง



ภาพประกอบ 39 แสดงรูปร่างภายในของเครื่องมือวัดความถี่อัลตราซาวด์ที่สร้าง

## 4. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในแผงวงจรไฟฟ้า

## 4.1 วงจรเครื่องส่งสัญญาณอัลตราโซนิก (Ultrasonic Transmitter)

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ
C1	1 nF / 100 V Polyester capacitor
C2	0.01 $\mu$ F / 100 V Polyester capacitor
C3	47 nF / 100 V Polyester capacitor
C4	2.2 nF / 100 V Polyester capacitor
C5	560 pF / 100 V Disc ceramic capacitor
C6	100 $\mu$ F / 50 V Electrolytic capacitor
Q1, Q2	BC 548 Silicon NPN transistor
R1	120 K $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R2	6.8 K $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R3	47 K $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R4	8.2 K $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R5	1 K $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R6	2.7 K $\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor

Ultrasonic Transmitter 40 K Hz

VR1 100 K lin. Variable resistor

## 4.2 วงจรเครื่องรับสัญญาณอัลตราโซนิก (Ultrasonic Receiver)

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ
C7	1 $\mu$ F / 35 V Electrolytic capacitor
C8, C9	10 $\mu$ F / 25 V Electrolytic capacitor
C10	47 nF / 100 V Polyester capacitor
D1	1 N 914 Filter diode

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ
I01	LM 301 Operational amplifier
Q3 , Q4	BC 548 Silicon NPN transistor

#### Ultrasonic Receiver 40 K Hz

R7 , R8	10 K $\Omega$	$\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R9 - R11	100 K $\Omega$	$\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R12	100 $\Omega$	$\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R13	2.2 K $\Omega$	$\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R14	68 K $\Omega$	$\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R15	10 M $\Omega$	$\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
VR2	1 M $\Omega$ lin.	Variable resistor
VR3	5 K $\Omega$ lin.	Variable resistor

#### 4.3 วงจรวีซีโอ (VCO : Voltage Controlled Oscillator)

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ	
C11 - C12	470 nF // 100 V Tantalum capacitor	
C14	1 nF // 100 V Mylar capacitor	
C15	6 nF // 100 V Mylar capacitor	
I02	LM 566 Voltage Controlled Oscillator	
R16 , R17	10 K $\Omega$	$\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R18	4.7 K $\Omega$	$\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor

#### 4.4 วงจรมัลติไวเบรเตอร์และวงจรรูปร่างเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator)

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ
C16 , C17	10 nF // 100 V Mylar capacitor

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ	
C18	4.7 $\mu$ F / 100 V	Electrolytic capacitor
C19	470 nF / 100 V	Mylar capacitor
IC3	SN 7413 N	Dual 4-input Schmitt Trigger
IC4	SN 7400 N	Quad 2-input Positive NAND Gate
IC5	555	Time-base Oscillator
Q5, Q6	BC 109	Silicon NPN transistor
R19	1 K $\Omega$	$\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R20	15 K $\Omega$	$\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R21	100 K $\Omega$	$\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R22	4.7 K $\Omega$	$\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R23	2 K $\Omega$	$\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
R24	4.7 M $\Omega$	$\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor
VR4	20 K $\Omega$ lin.	Variable resistor
VR5	100 K $\Omega$ lin.	Variable resistor

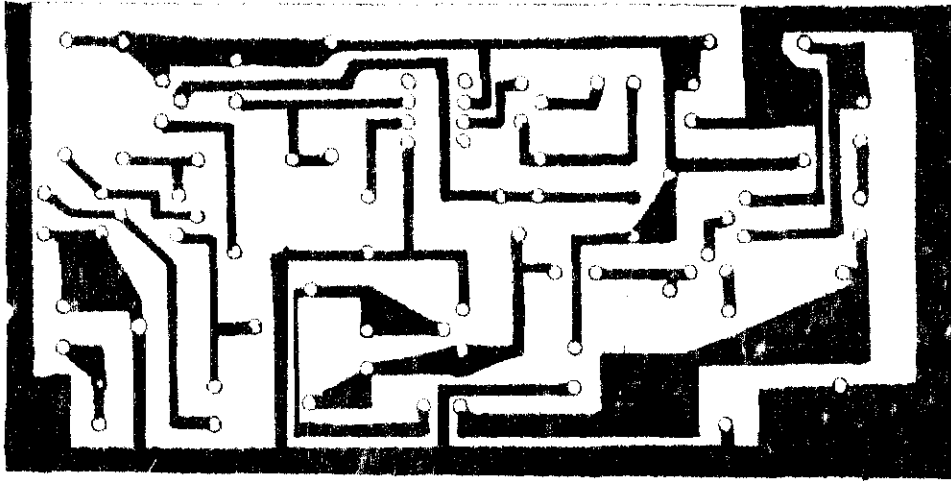
#### 4.5 วงจรนับความถี่ (Frequency Counter)

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ	
IC <sub>L1</sub>	SN 7490 N	Decade Counter
IC <sub>L2</sub>	SN 7475 N	Quad bistable latch
IC <sub>L3</sub>	SN 7447 N	BCD-to-Seven Segment Decoder / Driver
R <sub>L1</sub>	390 $\Omega$	$\frac{1}{2}$ Watt 5% Fixed carbon resistor

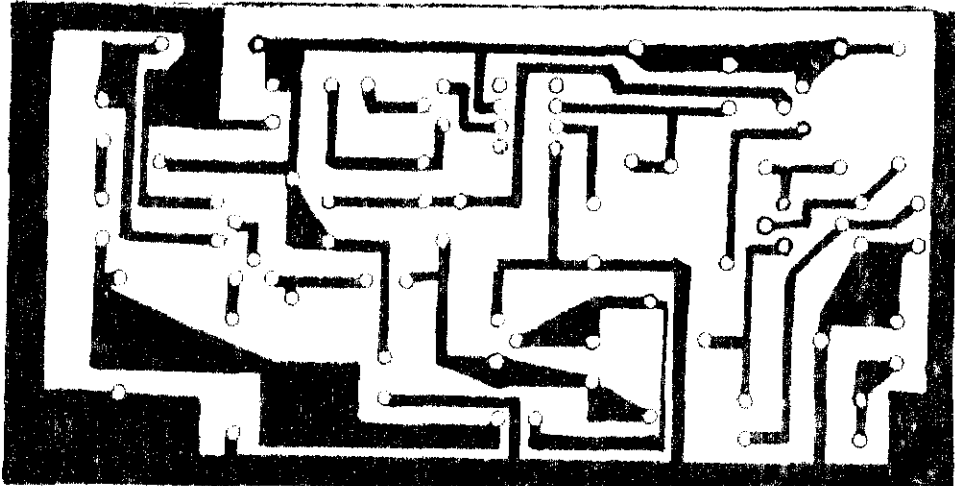
4.6 วงจรภาคจ่ายไฟเลี้ยง  $\pm 5$  โวลต์ และ  $\pm 12$  โวลต์

หมายเลขอ้างอิง	รายละเอียดประกอบ
020 - 023	1,000 $\mu\text{F}$ / 50 V Electrolytic capacitor
024 - 027	470 nF / 100 V Mylar capacitor
028 - 031	220 nF / 100 V Mylar capacitor
D2 - D9	1 Amp. Rectified diode
IC6	7905 Regulator Integrated Circuit
IC7	7805 Regulator Integrated Circuit
IC8	7912 Regulator Integrated Circuit
IC9	7812 Regulator Integrated Circuit
T2 9 - 0 - 9, 16 - 0 - 16	Transformer

Volt (AC) 800 mA.

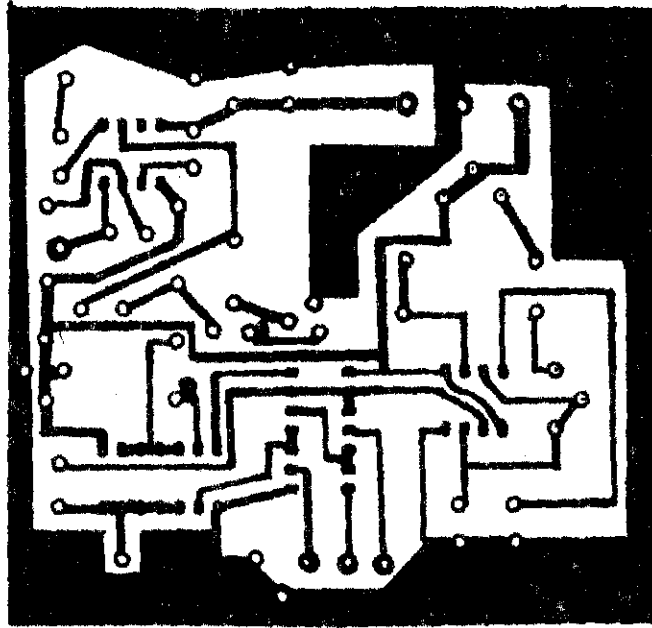


ภาพประกอบ 40 แผ่นวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรเครื่องส่งสัญญาณอัลตราโซนิก (Ultrasonic Transmitter) และวงจรเครื่องรับสัญญาณอัลตราโซนิก (Ultrasonic Receiver)

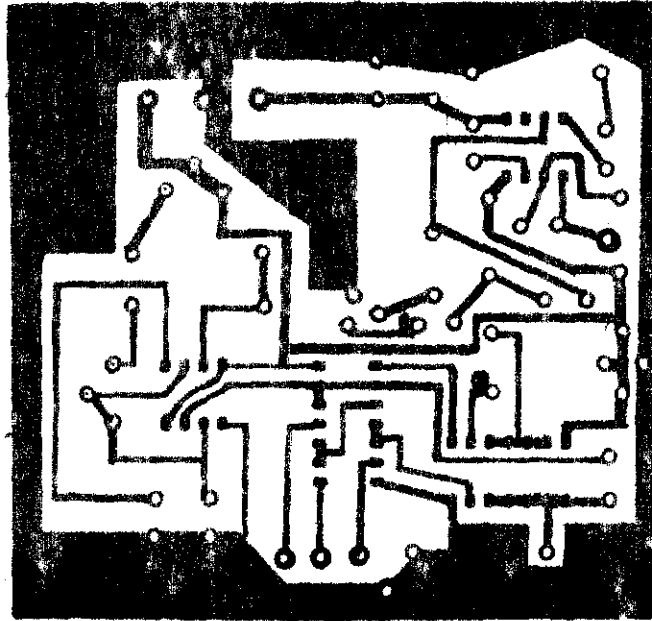


ภาพประกอบ 41 แผ่นวงจรพิมพ์มองจากด้านล่างของวงจรเครื่องส่งสัญญาณอัลตราโซนิก (Ultrasonic Transmitter) และวงจรเครื่องรับสัญญาณอัลตราโซนิก (Ultrasonic Receiver)

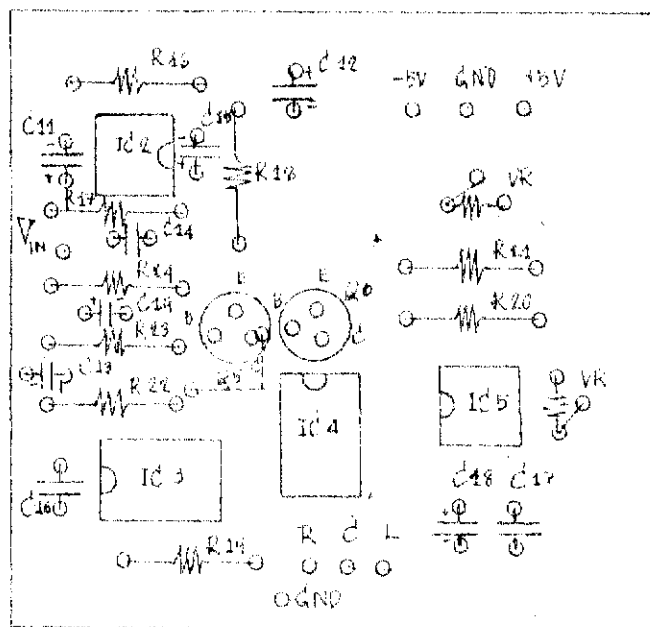




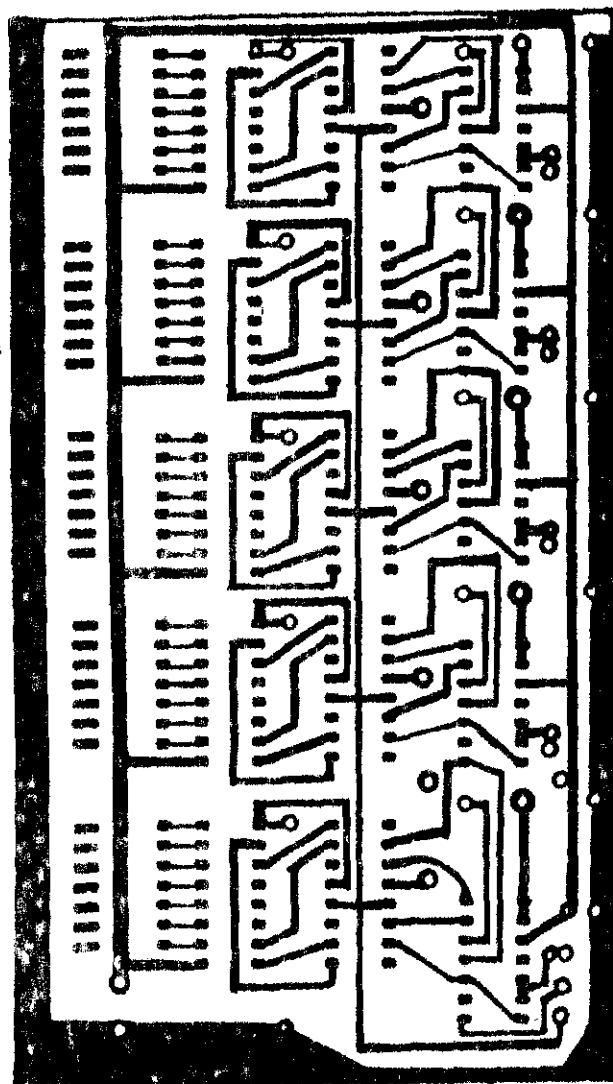
ภาพประกอบ 43 แผ่นวงจรพิมพ์นึ่งจากกำบนของวงจรวีซีไอ (VCO: Voltage Controlled Oscillator) และ วงจรมัลติไวเบรเตอร์และวงจรฐานเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator)



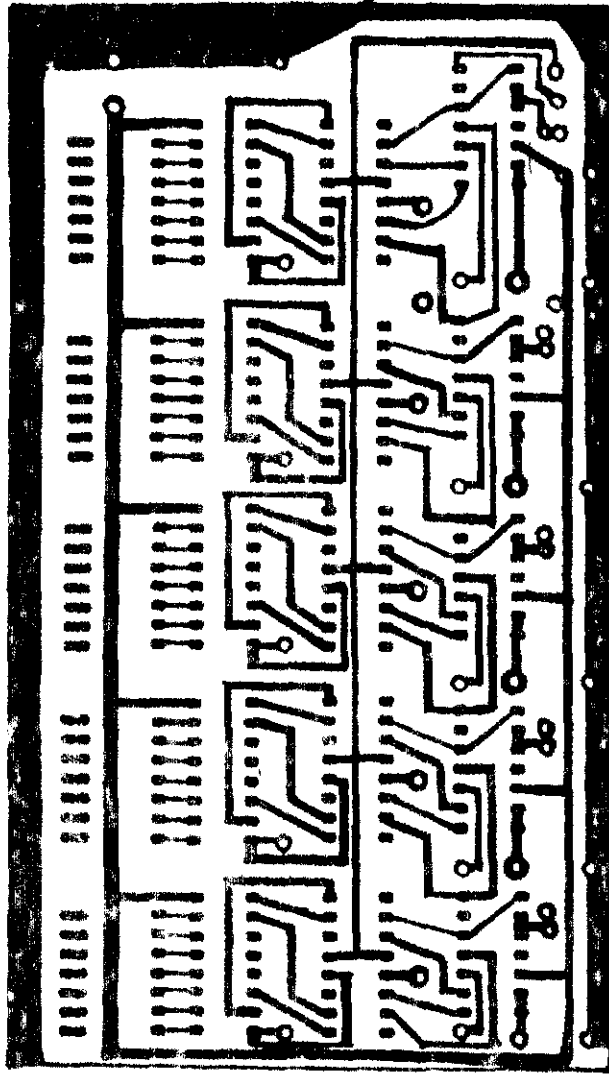
ภาพประกอบ 44 แผงวงจรพิมพ์มองจากด้านบนของวงจรวีซีโอ (VCO: Voltage Controlled Oscillator) และ วงจรมัลติไวเบรเตอร์และวงจรฐานเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator)



ภาพประกอบ 45 แสดงการลงอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ของวงจรโอ (VCC: Voltage Controlled Oscillator) และ วงจรมัลติไวเบรเตอร์และวงจรฐานเวลา (Multivibrator and Time-base Oscillator)

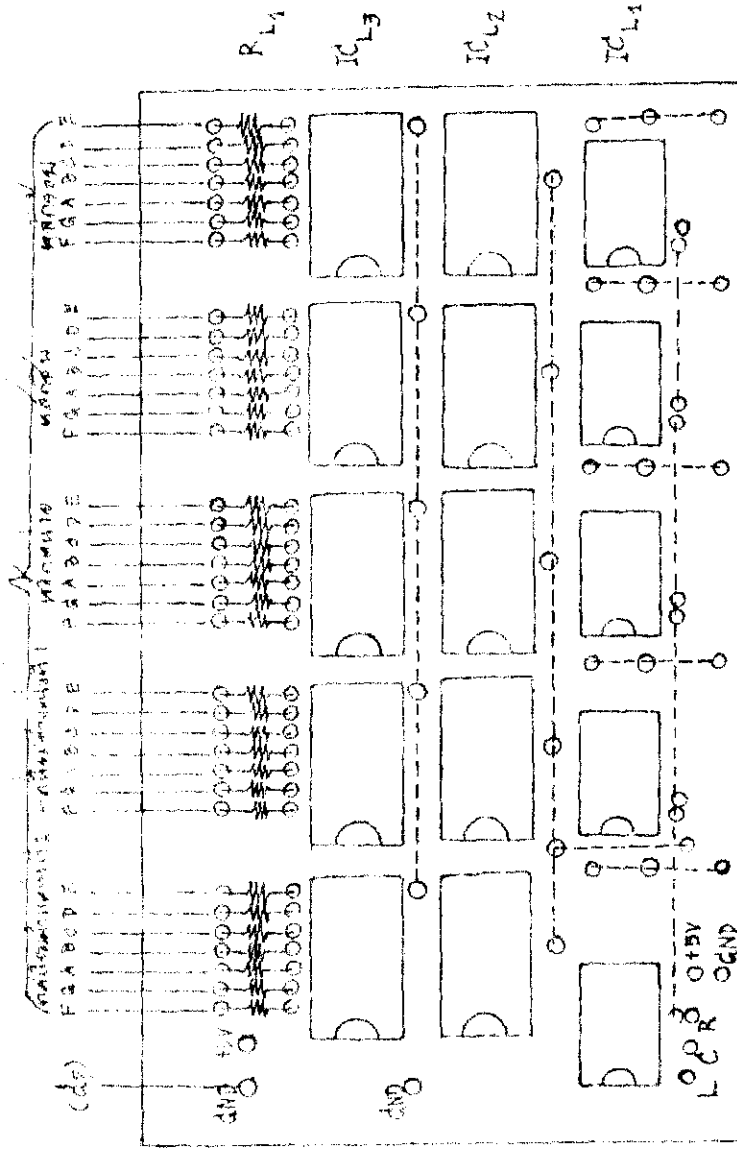


ภาพประกอบ 46    แผงวงจรพิมพ์ของจากำานของวงจรมีความถี่ (Frequency Counter)

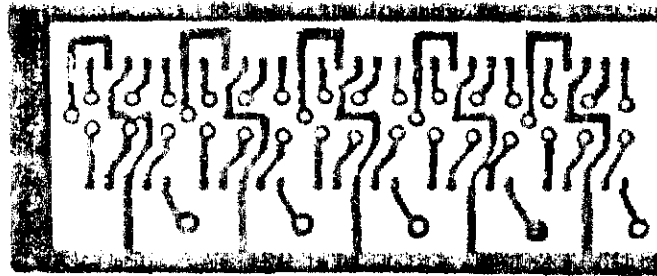


ภาพประกอบ 47 แผนวงจรพิมพ์ของจากคำนวณค่าของจรมถี่ความถี่ (Frequency Counter)

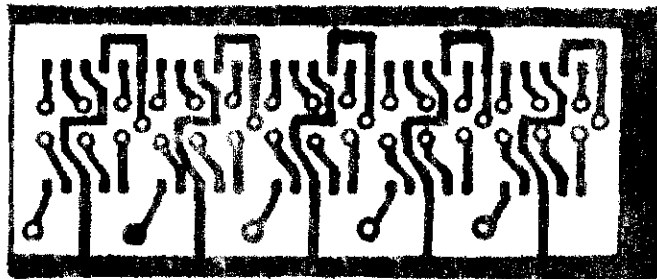
TO DISPLAY (LED 7 SEGMENTS)



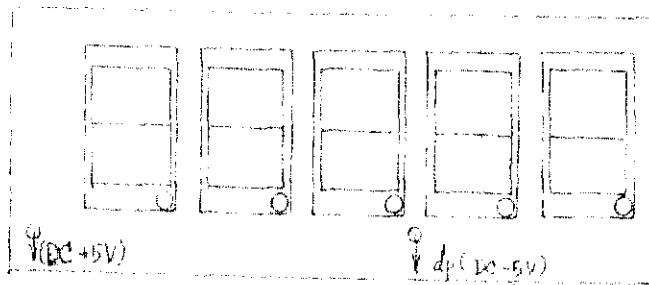
ภาพประกอบ 48 แสดงการออกแบบแผงวงจรพิมพ์ของวงจรถับความถี่ (Frequency Counter)



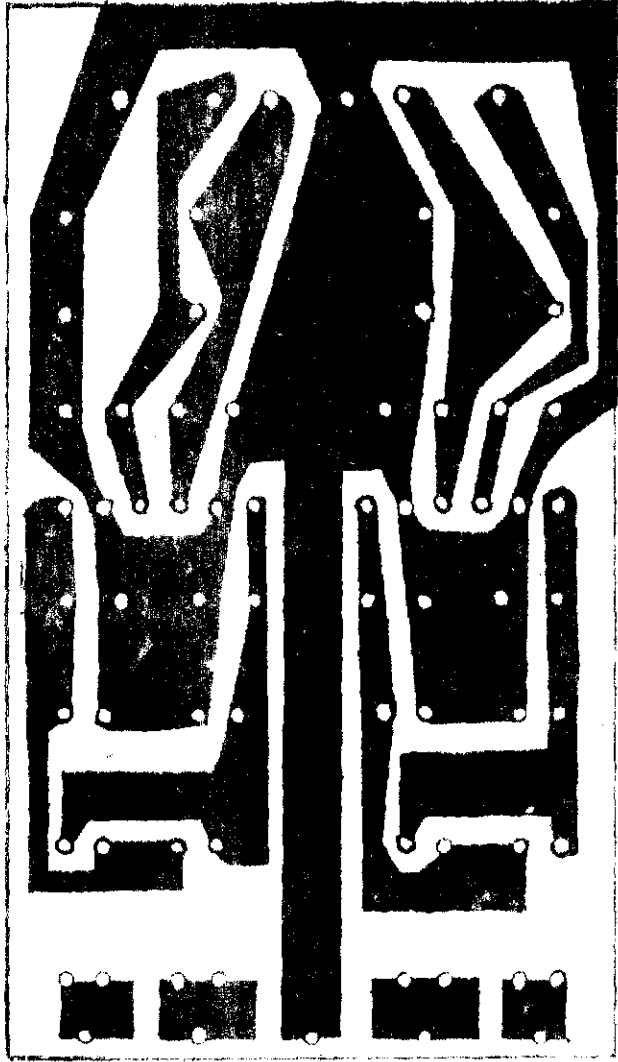
ภาพประกอบ 49 แผนผังวงจรพื้หน่องจากค่านบนของวงจรแบ่งแสดกผลเป็นตัวเลข



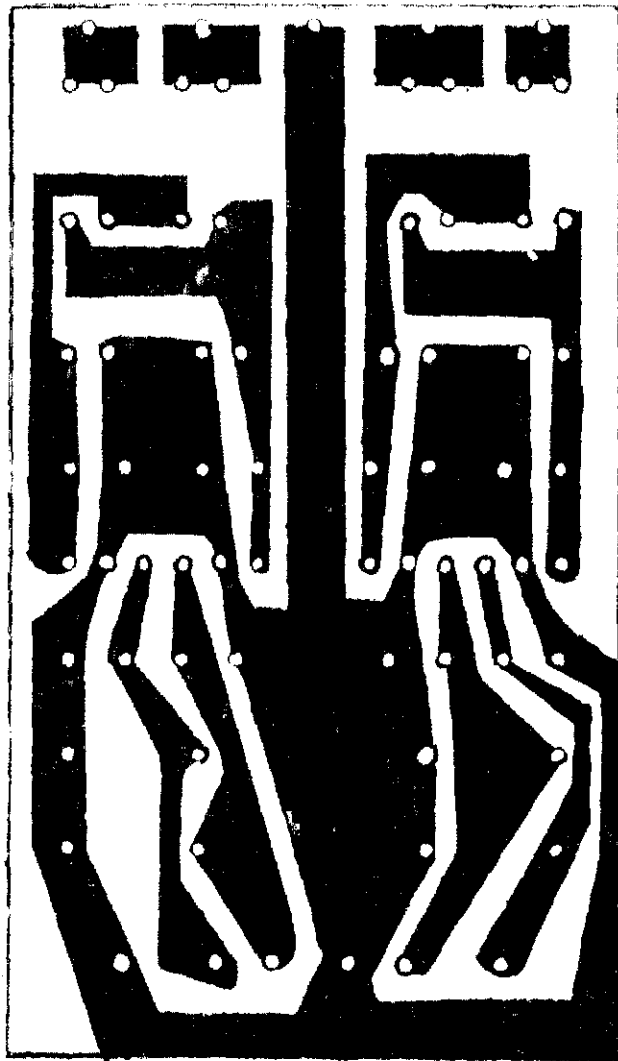
ภาพประกอบ 50 แผนผังวงจรพื้หน่องจากค่านล่างของวงจรแบ่งแสดกผลเป็นตัวเลข



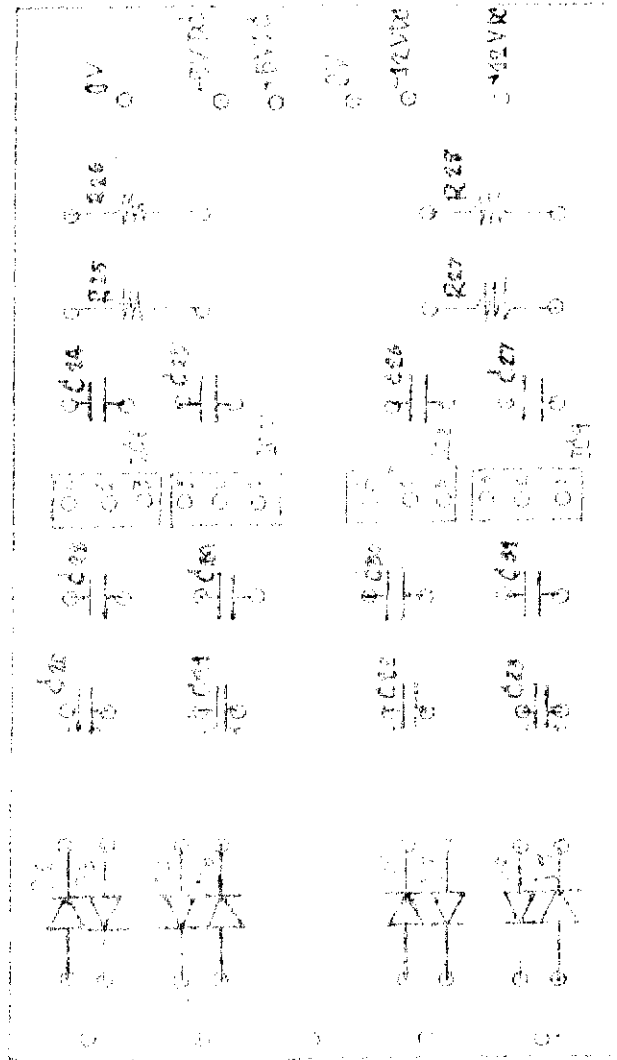
ภาพประกอบ 51 แสดงการตงอุปกรณ์แผนผังวงจรพื้หน่องวงจรแบ่งแสดกผลเป็นตัวเลข



ภาพประกอบ 52    แผนผังพิมพ์ทองจากค่ามาตรฐานของวงจรถ่ายไปทรวง  $\pm 5$  โวลท์ และ  $\pm 12$  โวลท์



ภาพประกอบ 53    แผนผังพิมพ์ทองจากคานด้านล่างของวงจรรักษาชีพจร  $\pm 5$  โวลต์ และ  $\pm 12$  โวลต์

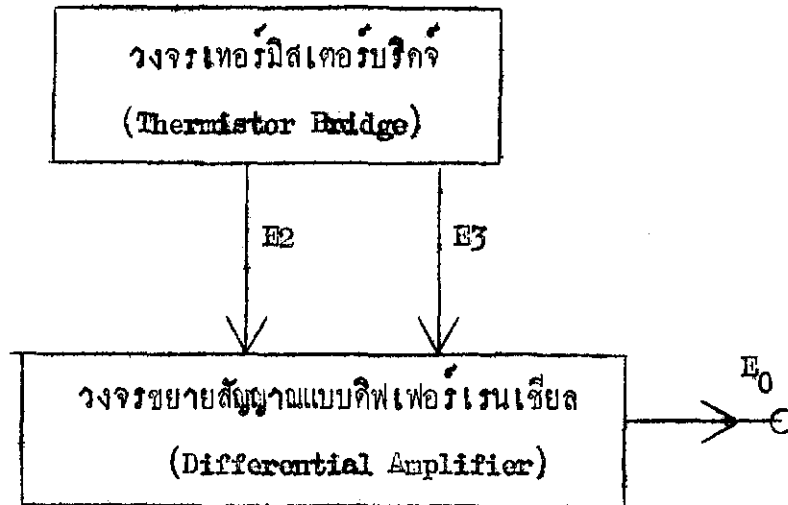


ภาพประกอบ 54 แสดงการออกแบบแหล่งจ่ายไฟของวงจรภาคจ่ายไฟตรง 5 โวลต์ และ 12 โวลต์

## การปรับแต่งและทดลอง

### 1. การปรับแต่งวงจรไฟฟ้าเครื่องมือวัดอุณหภูมิ

1.1 การปรับแต่งวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนอุณหภูมิ เป็นสัญญาณไฟฟ้าตรง  
ต่อวงจรไฟฟ้าตามแผนภูมิ ดังภาพประกอบ 55

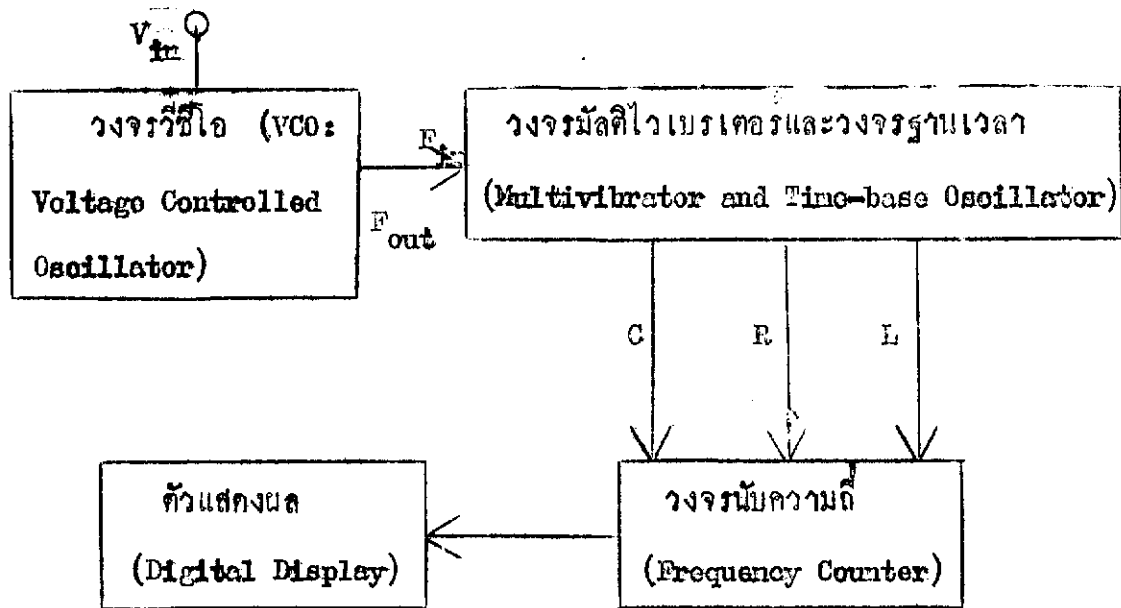


ภาพประกอบ 55 แสดงแผนภูมิการต่อวงจรไฟฟ้าส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนอุณหภูมิเป็นสัญญาณไฟฟ้าตรง

การปรับแต่งวงจรไฟฟ้าตามภาพประกอบ 55 กระทำดังนี้ ต่อ E2 และ E3 จากวงจรเทอร์มิสเตอร์บริดจ์เข้ากับขา 2 และขา 5 ของ IC1 ในวงจรขยายสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลตามลำดับป้อนไฟเลี้ยงแก่วงจรทั้งสอง รูนั้เทอร์มิสเตอร์โพรบ (Thermistor probe) ลงในน้ำเดือด 100 องศาเซลเซียส ปรับค่า VR4 จนกระทั่ง E0 มีค่าเท่ากับ +1.8 โวลต์ จากนั้นนำเทอร์มิสเตอร์โพรบไปรูนั้ในน้ำแข็ง 0 องศาเซลเซียส ปรับค่า VR2 และ VR3 จนกระทั่งค่า E0 มีค่าเท่ากับ +4.6 โวลต์โดยทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง

## 1.2 การปรับแต่งวงจรภาคแสดงผล ทำการต่อวงจรไฟฟ้าตามแผนภูมิ

ผังภาพประกอบ 56



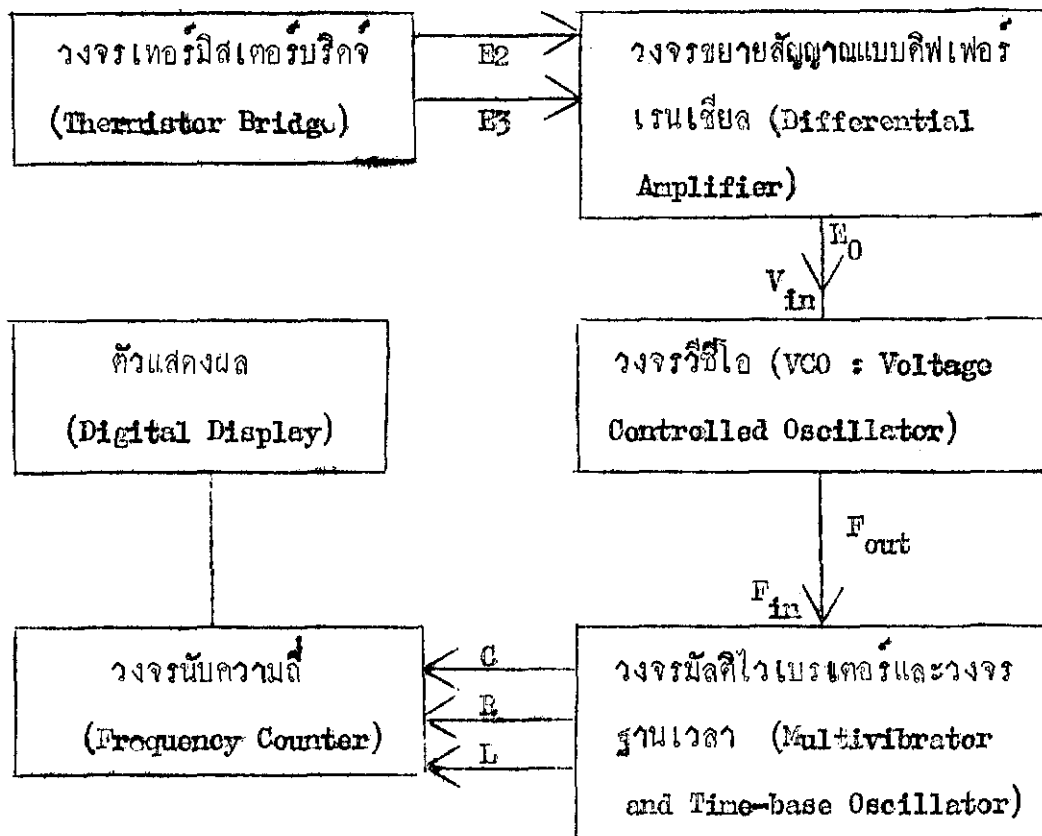
ภาพประกอบ 56 แผนภูมิแสดงการต่อวงจรไฟฟ้าในภาคแสดงผล

การปรับแต่งวงจรตามภาพประกอบ 56 กระทำดังนี้ ทดลองจ่ายศักย์ไฟฟ้าตรง  $V_{in}$  ให้กับวงจรวีซีโอ +1.8 โวลต์ ปรับค่า VR5 และ VR6 ในวงจรรฐานเวลาจนกระทั่งตัวเลขที่แสดงผลเป็น 100.00 จากนั้นเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรง  $V_{in}$  เป็น 4.6 โวลต์ ปรับค่า VR5 และ VR6 จนกระทั่งตัวเลขที่แสดงผลเป็น 000.00

### 1.3 การประกอบวงจรไฟฟ้าในเครื่องมือวัดความถี่

การประกอบวงจรไฟฟ้าในเครื่องมือวัดความถี่กระทำตามแผนภูมิ

ผังภาพประกอบ 57



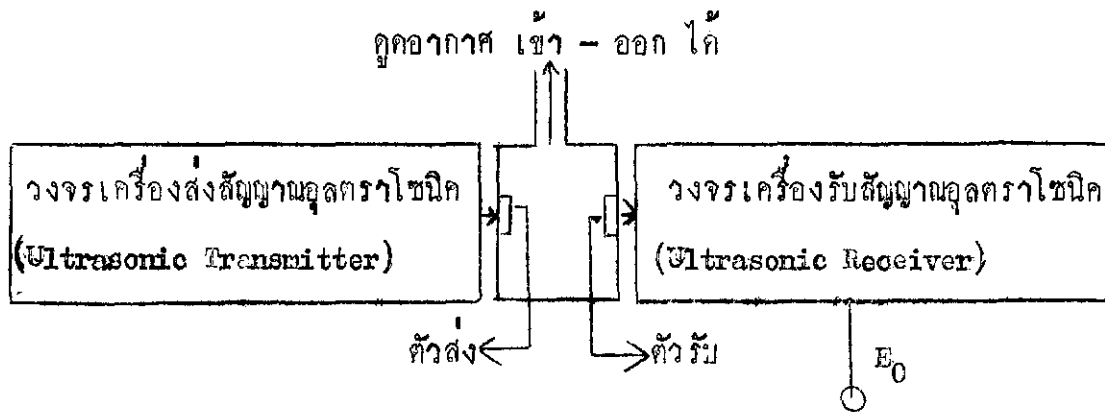
ภาพประกอบ 57 แผนภูมิแสดงการต่อวงจรไฟฟ้าในเครื่องมือวัดความถี่

## 2. การเปรียบเทียบการวัดความถี่

ทำการเปรียบเทียบการวัดความถี่ระหว่างเครื่องมือวัดความถี่ที่สร้างกับเครื่องมือวัดความถี่ของอาร์เคซีแบบ (AT - 2IC) โดยวัดความถี่ของน้ำตั้งแต่ความถี่ 0 ถึง 100 องศาเซลเซียสวัดซ้ำหลาย ๆ ครั้ง

## 3. การปรับแต่งวงจรไฟฟ้าในเครื่องมือวัดความถี่

3.1 การปรับแต่งวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนความถี่เป็นศักย์ไฟฟ้าตรง  
 กระทำการต่อวงจรไฟฟ้าตามแผนภูมิ ดังภาพประกอบ 58



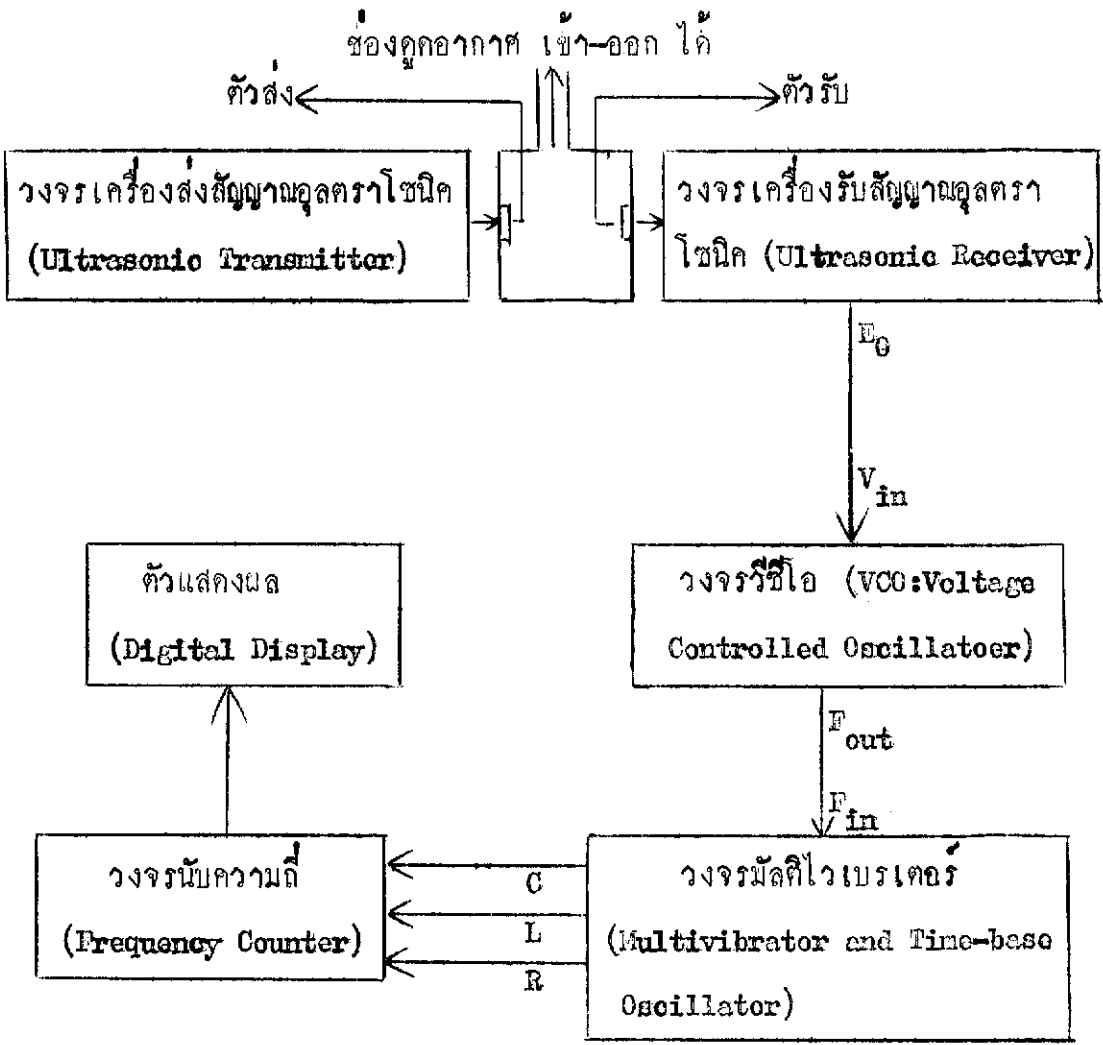
ภาพประกอบ 58 แผนภูมิแสดงการต่อวงจรไฟฟ้าที่ทำหน้าที่เปลี่ยนความดันไอ เป็นศักย์ไฟฟ้าตรง

การปรับแต่งวงจรไฟฟ้าตามภาพประกอบ 58 กระทำดังนี้ ต่อวงจรไฟฟ้าตามแผนภูมิแล้วจ่ายไฟเลี้ยงให้แก่วงจรไฟฟ้า วิกฤตศักย์ไฟฟ้าตรงที่ออกมาจากวงจรเครื่องรับ  $E_0$  ปรับค่า  $VR_1$  ในวงจรเครื่องส่งและปรับค่า  $VR_2$  ในวงจรเครื่องรับจนกระทั่งค่า  $E_0$  เท่ากับ +1.8 โวลต์ ทดลองคู่อากาศออกจนหมดปรับค่า  $E_0$  ปรับค่า  $VR_1$  และ  $VR_2$  จนกระทั่งค่า  $E_0$  เป็น +4.6 โวลต์

3.2 การปรับแต่งวงจรภาคแสดงผลที่ทำหน้าที่เปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลข กระทำการต่อวงจรไฟฟ้าตามแผนภูมิกังภาพประกอบ 56 ทดลองจ่ายศักย์ไฟฟ้าตรง  $V_{in}$  ให้กับวงจรวิธีคือ +1.8 โวลต์ ปรับค่า  $VR_5$  และ  $VR_6$  ในวงจรฐานเวลาจนกระทั่งตัวเลขที่แผงแสดงผลเป็น 760.00 จากนั้นเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรง  $V_{in}$  เป็น +4.6 โวลต์ ตัวเลขที่แผงแสดงผลจะขึ้นเป็น 000.00

3.3 การประกอบวงจรไฟฟ้าในเครื่องมือวัดความดันไอ

การประกอบวงจรไฟฟ้าในเครื่องมือวัดความดันไอกระทำตามแผนภูมิกังภาพประกอบ 59



ภาพประกอบ 59 แผนภูมิแสดงการต่อวงจรไฟฟ้าในเครื่องมือวัดความดันไอ

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

1. t - test แบบ dependent (คู่มือ วงศ์รัตน์ : 2525 : 132 - 137)

$$t = \frac{\sum D}{\sqrt{\frac{N \sum D^2 - (\sum D)^2}{N-2}}}$$

เมื่อ D แทนความแตกต่างระหว่างผลการวัดของเครื่องมือมาตรฐาน  
กับเครื่องมือที่สร้าง

$\sum D$  แทนจำนวนครั้งของการวัดแต่ละเครื่อง

$\sum D^2$  แทนผลรวมของความแตกต่างระหว่างผลการวัดของเครื่อง  
ทั้งสอง

$\sum D^2$  แทนผลรวมของกำลังสองของผลต่างระหว่างผลการวัดของ  
เครื่องทั้งสอง

t แทนค่าสถิติที่ใช้พิจารณาใน t - test

2. ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) (คู่มือ วงศ์รัตน์

2525 : 55 - 59)

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

เมื่อ  $\bar{x}$  แทนค่าที่ได้จากการวัดแต่ละครั้ง

$\bar{y}$  แทนค่าเฉลี่ยของการวัด

$n$  แทนจำนวนครั้งของการวัด

$s$  แทนค่าสถิติที่ใช้พิจารณาในความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

### 3. วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Method of least squares) (คู่มือ วงศ์รักนะ

2525 : 226 - 239)

$$s_{yx} = s_y \sqrt{1 - r^2}$$

$$r = \frac{N \sum x \cdot y - \sum x \sum y}{\sqrt{[N \sum x^2 - (\sum x)^2] [N \sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

$$y = a_{yx} + b_{yx} \cdot x$$

$$a_{yx} = \frac{\sum y - b_{yx} \cdot \sum x}{N}$$

$$b_{yx} = \frac{\sum x \cdot y - (\sum x \cdot \sum y) / N}{\sum x^2 - [(\sum x)^2 / N]}$$

$$s_y = \sqrt{\frac{N \sum y^2 - (\sum y)^2}{N(N - 1)}}$$

$r^2$  (Linear correlation) ( สมจิต วัฒนายากุล 2524 :  
99 - 103 ) -

$$r = \sqrt{r^2}$$

เมื่อ	$s_{yx}$	แทนความคลาดเคลื่อนมาตรฐานในการพยากรณ์ค่า $Y$ เมื่อทราบค่า $X$
	$s_y$	แทนความเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปร $Y$
	$r_x$	แทนสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่คำนวณได้
	$b_{yx}$	แทนความชันของกราฟเส้นตรง
	$a_{yx}$	แทนจุดตัดของกราฟเส้นตรง
	$\sum X$	แทนผลรวมของค่าที่ได้จากการวัดตัวแปร $X$
	$\sum Y$	แทนผลรวมของค่าที่ได้จากการวัดตัวแปร $Y$
	$\sum X^2$	แทนผลรวมกำลังสองของค่าที่ได้จากการวัดตัวแปร $X$
	$\sum Y^2$	แทนผลรวมกำลังสองของค่าที่ได้จากการวัดตัวแปร $Y$
	$\sum X.Y$	แทนผลรวมของผลคูณค่าตัวแปร $X$ กับตัวแปร $Y$
	$N$	แทนจำนวนครั้งของการวัด
	$\bar{Y}$	แทนค่า $Y$ ที่ได้จากพยากรณ์

### การวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผล

1. การวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผลค่าที่ได้จากการวัดคุณภาพด้วยเครื่องมือวัดคุณภาพ

1.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดศักย์ไฟฟ้าตรง ( $E_0$ ) ที่ออกจากวงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเซียล เพื่อหาความแน่นอน (Precision) ด้วยความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตาราง 1

ตาราง 1 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดศักย์ไฟฟ้าตรง ( $E_0$ ) ที่ออกจากวงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเซียล เพื่อหาความแน่นอนด้วยความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

อุณหภูมิ (° C)	ศักย์ไฟฟ้าตรง ( $E_0$ ) หน่วยเป็น โวลต์				
	$\bar{x}$	$\sum(x - \bar{x})^2$	$N - 1$	$s$	$\bar{s}$
100.00	1.80	0.000	7	0.000	0.047
90.00	2.43	0.015	7	0.046	
80.00	2.64	0.091	7	0.114	
70.00	2.93	0.015	7	0.046	
60.00	3.19	0.029	7	0.064	
50.00	3.43	0.015	7	0.046	
40.00	3.65	0.020	7	0.053	
30.00	3.78	0.015	7	0.046	
20.00	4.05	0.020	7	0.053	
10.00	4.26	0.019	7	0.052	
00.00	4.60	0.000	7	0.000	

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 1 แสดงว่าวงจรไฟฟ้าส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนอุณหภูมิเป็นศักย์ไฟฟ้าตรงมีความแน่นอนในการวัดดังนี้

1. มีความแน่นอนในการวัดสูงสุดที่อุณหภูมิ 0 และ 100 องศาเซลเซียส ( $s = 0.000$ )

2. มีความแน่นอนในการวัดค่าสุดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ( $\sigma = 0.114$ )
3. มีความแน่นอนในการวัดเท่ากันที่อุณหภูมิ 30 50 70 และ 90 องศาเซลเซียส  
( $\sigma = 0.046$ )
4. มีความแน่นอนในการวัดเท่ากันที่อุณหภูมิ 20 และ 40 องศาเซลเซียส  
( $\sigma = 0.053$ )
5. ความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยในช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส  
เท่ากับ 0.047

1.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดศักย์ไฟฟ้าตรง ( $E_0$ ) ที่ออกจากวงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเซียล เพื่อหาความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ดังแสดงในตาราง 2

ตาราง 2 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดศักย์ไฟฟ้าตรง ( $E_0$ ) ที่ออกจากวงจรขยายสัญญาณแบบคิฟเฟอร์เรนเซียล เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) X	ศักย์ไฟฟ้าตรง ( $E_0$ ) หน่วยเป็น โวลท์				
	Y	$X^2$	$Y^2$	X.Y	$X^2$
100.00	1.80	10000	3.24	180.0	
90.00	2.43	8100	5.90	218.7	
80.00	2.64	6400	6.97	211.2	
70.00	2.93	4900	8.58	205.1	
60.00	3.19	3600	10.18	191.4	
50.00	3.43	2500	11.76	171.5	
40.00	3.65	1600	13.32	146.0	
30.00	3.75	900	14.29	112.5	

ตาราง 2 (ต่อ)

ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ ( $^{\circ}\text{C}$ ) X	ศักย์ไฟฟ้าตรง ( $E_0$ ) หน่วยเป็น โวลต์				
	Y	$X^2$	$Y^2$	X.Y	$r^2$
20.00	4.05	400	16.40	81.0	0.960
10.00	4.26	100	18.15	42.6	
00.00	4.60	000.0	21.16	00.00	
$\sum X = 550$	$\sum Y = 36.73$	$\sum X^2 = 38500$	$\sum Y^2 = 129.95$		
$\bar{X} = 50$	$\bar{Y} = 3.34$	$\sum X.Y = 1560$	$N = 11$		
$b_{yx} = -0.025$	$a_{yx} = 4.59$	$r = -0.98$	$S_y = 0.85$		
$S_{yx} = 0.17$					

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 2 แสดงว่า วงจรไฟฟ้าส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนอุณหภูมิเป็นศักย์ไฟฟ้าตรงมีความเป็นเชิงเส้นร้อยละ 96.00 ความเป็นเชิงเส้นของวงจรส่วนนี้แสดงไว้ในภาพประกอบ 60 และวงจรนี้มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน  $\pm 0.17$

1.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลขในวงจรภาคแสดงผล เพื่อหาความแน่นอนด้วยควมเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตาราง 3

ตาราง 3 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลขในวงจรภาคแสดงผลเพื่อหาความแน่นอนด้วยควมเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศักย์ไฟฟ้าตรง (Volt)	การแสดงผลเป็นตัวเลขบนแผงแสดงผล				
	$\bar{x}$	$\sum(x - \bar{x})^2$	N	S	$\bar{s}$
1.8	101.69	5.41	7	0.88	

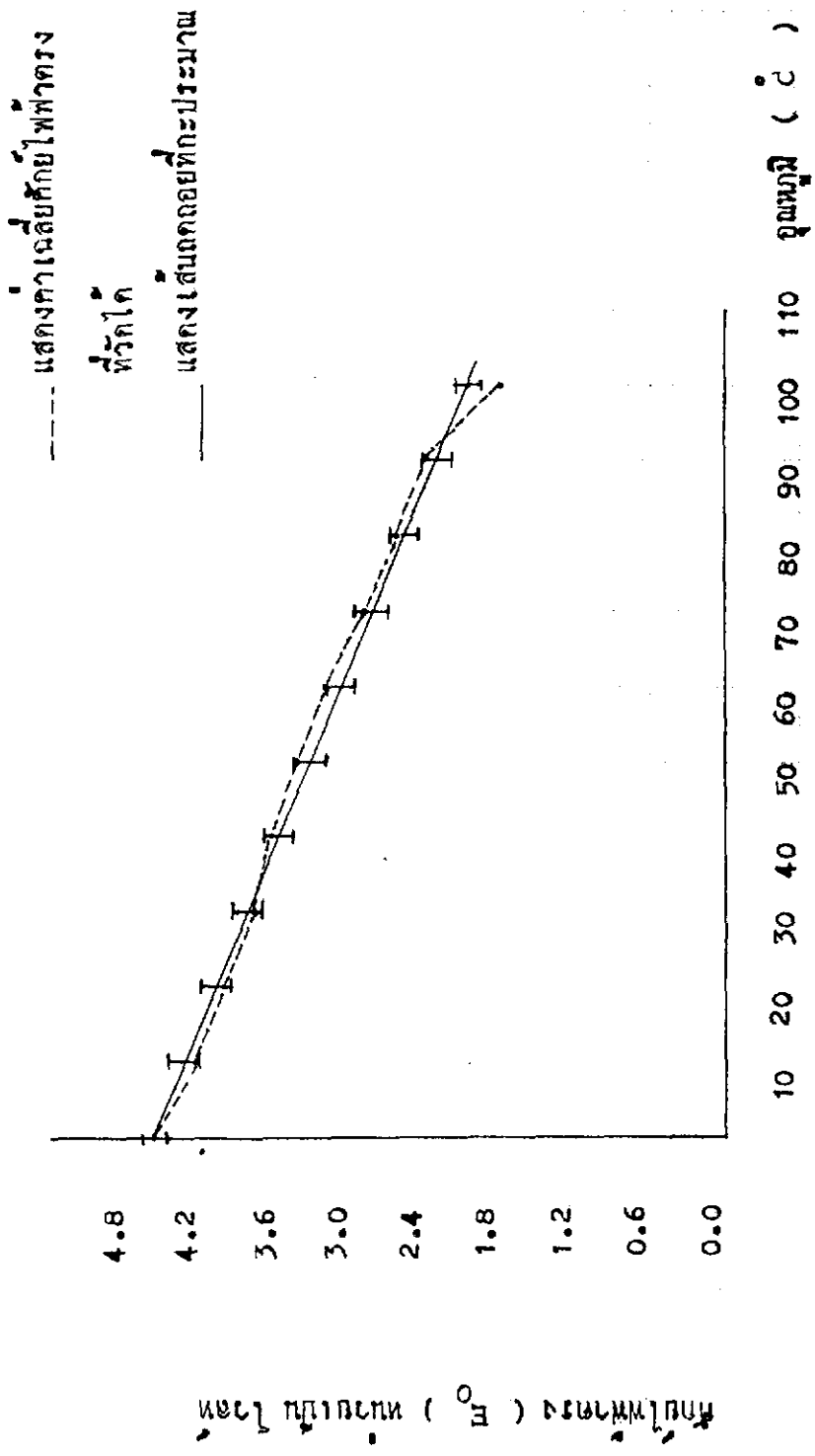
ตาราง 3 (ต่อ)

ศักย์ไฟฟ้าตรง (Volts)	การแสดงผลเป็นตัวเลขบนแผงแสดงผล				
	$\bar{x}$	$\sum(x - \bar{x})^2$	$N - 1$	S	$\bar{S}$
2.2	93.99	8.95	7	1.13	0.811
2.6	80.63	5.50	7	0.89	
3.0	64.94	12.79	7	1.35	
3.4	48.42	5.68	7	0.90	
3.8	31.21	3.85	7	0.74	
4.2	15.32	2.48	7	0.60	
4.6	00.01	0.00	7	0.00	

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 3 แสดงว่าวงจรภาคแสดงผลมีความแน่นอนในการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลขบนแผงแสดงผลดังนี้

1. มีความแน่นอนสูงสุดที่ 4.6 โวลต์ (S = 0.00 )
2. มีความแน่นอนต่ำสุดที่ 3.0 โวลต์ (S = 1.35 )
3. ในช่วงศักย์ไฟฟ้าตรง 1.8 ถึง 4.6 โวลต์ มีความเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย

เท่ากับ 0.811



ภาพประกอบ 60 แสดงผลการวัดการหักเหเป็นเชิงเส้นของวงจรร่วมที่ทำหน้าที่เปลี่ยนมุมหักเหเป็น  
หักเหไฟฟ้าตรงด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

1.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลข  
ในวงจรภาคแสดงผล เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ดังแสดงไว้ใน  
ตาราง 4

ตาราง 4 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลข  
ในวงจรภาคแสดงผล เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

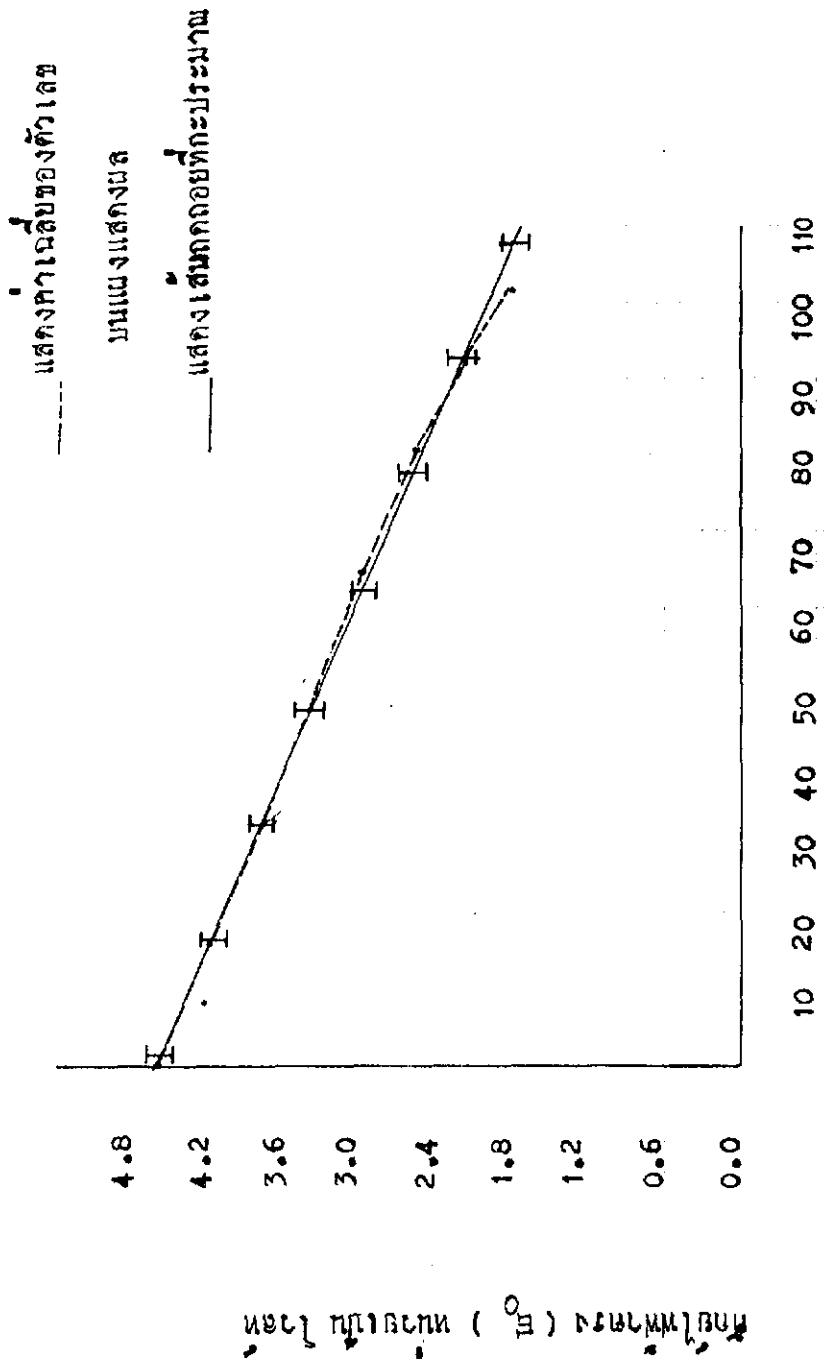
ค่าเฉลี่ยศักย์ไฟฟ้าตรง (Volt) X	การแสดงผลเป็นตัวเลขบนแผงแสดงผล				
	Y	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>	X.Y	X <sup>2</sup>
1.8	101.69	3.24	10340.86	183.04	0.994
2.2	93.99	4.84	8834.12	206.78	
2.6	80.63	6.76	6501.19	209.64	
3.0	64.94	9.00	4217.20	194.82	
3.4	48.42	11.56	2344.49	164.63	
3.8	31.21	14.44	974.06	118.60	
4.2	15.32	17.64	234.70	64.34	
4.6	00.01	21.16	000.0001	0.046	

$$\sum X = 25.6 \quad \sum Y = 436.21 \quad \sum X^2 = 88.64 \quad \sum Y^2 = 33446.62$$

$$\bar{X} = 3.2 \quad \bar{Y} = 54.5 \quad N = 8 \quad \sum X.Y = 1141.90$$

$$b_{yx} = -37.79 \quad a_{yx} = 175.45 \quad r = -0.997 \quad S_y = 37.15 \quad S_{yx} = 2.88$$

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจากตาราง 4 แสดงว่าวงจรในภาคแสดงผลมีความเป็นเชิงเส้น  
ร้อยละ 99.40 ความเป็นเชิงเส้นของวงจรส่วนนี้แสดงไว้ดังภาพประกอบ 61 นอกจากนี้  
วงจรส่วนนี้มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน  $\pm 2.88$



ภาพประกอบ 61 แสดงผลการวิเคราะห์ความแม่นยำของวงจรมากแสดงผลด้วยวิธี  
 กำลังสองน้อยที่สุด

1.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐานด้วย t - test ดังตาราง 5

ตาราง 5 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างกับเครื่องมือวัดอุณหภูมิมาตรฐานด้วย

อุณหภูมิเฉลี่ย จากเครื่อง มาตรฐาน ( <sup>o</sup> C)	อุณหภูมิที่วัดจากเครื่องที่สร้าง ( <sup>o</sup> C )						
	N	$\bar{x}$	$\sum D$	$(\sum D)^2$	$\sum D^2$	$N \sum D^2$	t
100.00	10	100.91	-10.08	101.61	14.09	140.90	-4.82*
90.00	10	91.61	-16.08	258.57	30.38	303.80	-7.18*
80.00	10	78.08	9.17	84.09	19.53	195.30	2.61*
70.00	10	57.06	129.54	16780.61	1713.64	17136.40	20.63*
60.00	10	48.42	115.81	13411.96	1343.49	13434.90	72.38*
50.00	10	34.19	150.10	24995.61	2552.71	25527.10	20.59*
40.00	10	18.92	210.77	44423.99	4447.38	44473.00	89.69*
30.00	10	11.60	184.03	33867.04	3390.24	33902.40	92.94*
20.00	10	7.16	128.52	16517.39	1654.17	16541.70	78.37*
10.00	10	2.93	70.72	5001.32	503.64	5036.40	35.90*
0.00	10	0.93	-9.26	85.75	8.56	95.60	00.00

$t (df = 9, \alpha = 0.05) = \pm 2.262$

\* แสดงค่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 5 แสดงว่าค่าเฉลี่ยของการวัดส่วนใหญ่มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ยกเว้นที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสมีค่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

## 2. การวิเคราะห์ข้อมูลและการแปลผลที่ได้จากการวัดของเครื่องมือวัดความทันใจ

2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลขในวงจรรภาคแสดงผล เพื่อหาความแน่นอนควยความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงในตาราง 6

ตาราง 6 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลขในวงจรรภาคแสดงผล เพื่อหาความแน่นอนควยความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ศักย์ไฟฟ้าตรง (Volt)	การแสดงผลเป็นตัวเลขบนแผงแสดงผล				
	$\bar{x}$	$\sum(x - \bar{x})^2$	$N - 1$	$s$	$\bar{s}$
1.8	764.92	448.54	7	8.00	10.97
2.2	697.91	3242.07	7	21.52	
2.6	604.08	566.49	7	9.00	
3.0	494.88	148.04	7	4.60	
3.4	374.32	1348.20	7	13.88	
3.8	245.44	2628.66	7	19.38	
4.2	123.93	903.12	7	11.36	
4.6	000.01	000.00	7	00.00	

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 6 แสดงว่าวงจรมักแสดงผลมีความแน่นอนในการวัด  
ดังนี้

1. มีความแน่นอนมากที่สุดที่ 4.6 โวลต์ ( $S = 0.00$ )
2. มีความแน่นอนต่ำสุดที่ 2.2 โวลต์ ( $S = 21.52$ )
3. มีความแน่นอนในช่วงศักย์ไฟ 1.8 ถึง 4.6 โวลต์ เท่ากับ 10.97

2.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลข  
ในวงจรมักแสดงผล เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด ดังแสดงใน  
ตาราง 7

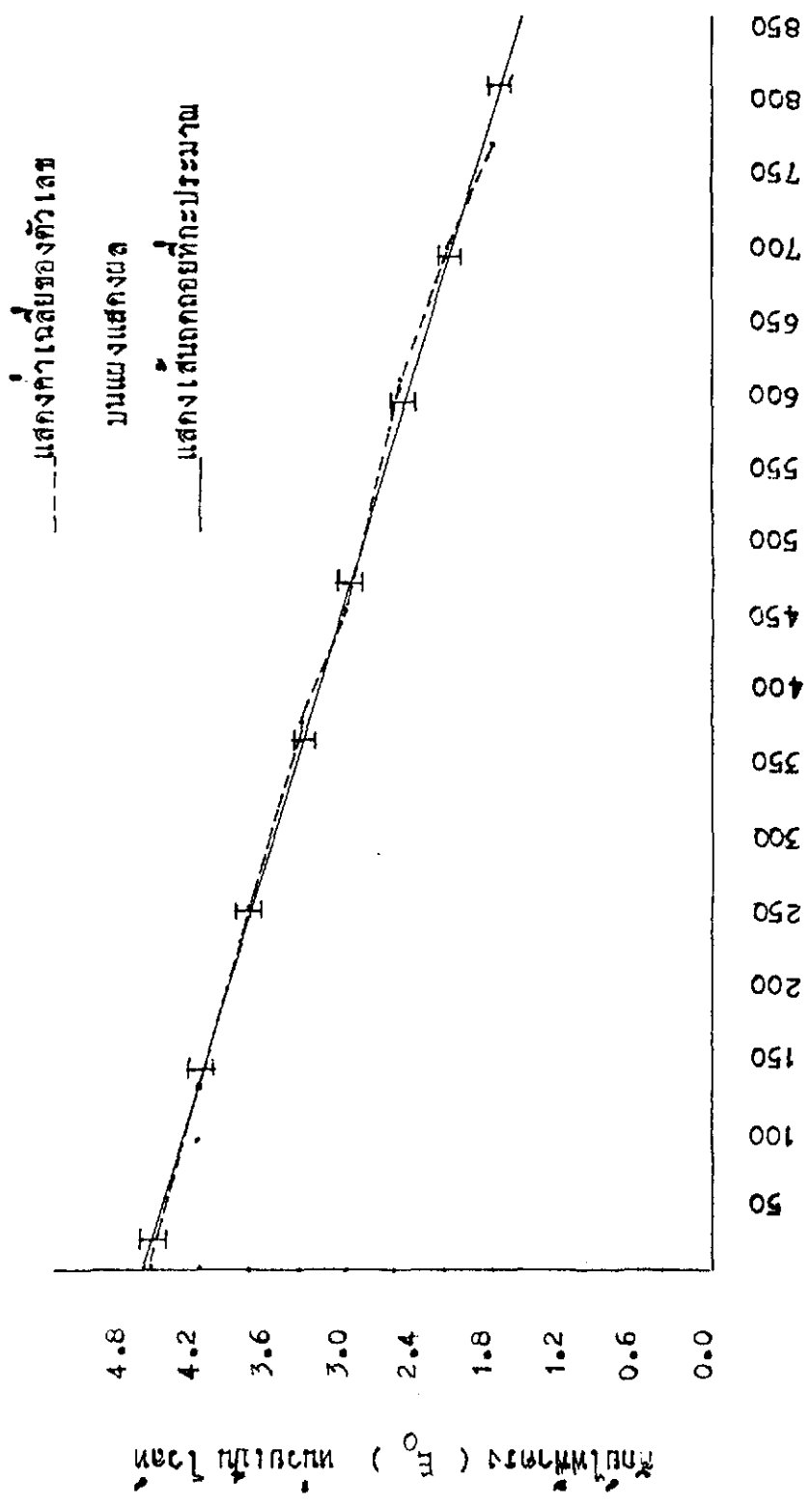
ตาราง 7 แสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลขใน  
วงจรมักแสดงผล เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

ค่าเฉลี่ยศักย์ ไฟฟ้าตรง (Volt) X	การแสดงผลเป็นตัวเลขบนแผงแสดงผล				
	$\Sigma$	$X^2$	$Y^2$	$X.Y$	
1.8	764.92	3.24	585102.61	1376.86	$r = -0.997$
2.2	697.91	4.84	487076.37	1535.40	
2.6	604.08	6.76	364912.65	1570.61	$S_y = 275.68$
3.0	494.88	9.00	244906.21	1484.64	
3.4	373.32	11.56	139367.82	1269.64	$S_{yx} = 21.34$
3.8	245.44	14.44	60240.79	932.67	
4.2	123.93	17.64	15358.64	520.51	$r^2 = 0.994$
4.6	000.01	21.16	0.0001	00.046	

$$\bar{X} = 3.2 \quad \Sigma X = 25.6 \quad \Sigma Y = 3304.49 \quad \Sigma X^2 = 36.64 \quad \Sigma Y^2 = 1096967.09$$

$$N = 8 \quad \Sigma X.Y = 8690.03 \quad \bar{Y} = 413.06 \quad r_{yx} = -263.41 \quad r_{xy} = 1310.34$$

ผลการวิเคราะห์จากตาราง 7 แสดงว่า วงจรภาคแสดงผลมีความเป็นเชิงเส้น  
ร้อยละ 99.40 มีความเป็นเชิงเส้นเป็นทั้งภาพประกอบ 62 และมีความคลาดเคลื่อน  
มาตรฐาน  $\pm 21.34$



ภาพประกอบ 62 แสดงผลจากการวิเคราะห์ความชื้นสัมพัทธ์ของวงจรร่างกายแสดงผลด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

บทย่อ สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

บทย่อ

ความมุ่งหมายของการศึกษาค้นคว้า

1. เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิและเครื่องมือวัดความดันไอที่อ่านค่าออกมาเป็นตัวเลขได้ละเอียดถึงทศนิยมสองตำแหน่ง
2. เพื่อหาความแน่นอนของเครื่องมือโดยการเปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐานที่ผลิตจากต่างประเทศ

เครื่องมือมาตรฐานที่ใช้เปรียบเทียบ

1. เครื่องมือวัดอุณหภูมิของอาร์เคซี แบบ DT - 21 C มีความถูกต้องร้อยละ  $\pm 1$
2. เครื่องมือวัดความดันไอของโยโกกาวา (Yokogawa Electric Work) แบบ 2656 มีความถูกต้องร้อยละ  $\pm 0.1$

วิธีการสร้าง

1. ออกแบบและทดลองวงจรไฟฟ้าของเครื่องมือวัดอุณหภูมิและเครื่องมือวัดความดันไอ
2. สร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิและเครื่องมือวัดความดันไอที่อ่านค่าออกมาเป็นตัวเลขอ่านได้ละเอียดถึงทศนิยมสองตำแหน่ง
3. เปรียบเทียบการวัดอุณหภูมิของน้ำตั้งแต่ 0 ถึง 100 องศาเซลเซียสระหว่างเครื่องมือที่สร้างกับเครื่องมือมาตรฐาน โดยทำซ้ำหลาย ๆ ครั้งเพื่อหาประสิทธิภาพ

4. ทดลองวัดความดันไอของอากาศด้วยเครื่องมือวัดความดันไอที่สร้างเฉพาะ  
วงจรถ่วงที่ทำหน้าที่เปลี่ยนความดันไอ เป็นศักย์ไฟฟ้าตรง

### วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 1. เครื่องมือวัดคุณภาพที่สร้าง

1.1 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าตรง ( $E_0$ ) ที่ออกจากวงจรถ่วงสัญญาณแบบคิฟเฟอร์ เรนเซียล เพื่อหาความแน่นอนด้วยความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

1.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าตรง ( $E_0$ ) ที่ออกจากวงจรถ่วงสัญญาณแบบคิฟเฟอร์ เรนเซียล เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

1.3 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลขในวงจรถ่วงภาคแสดงผล เพื่อหาความแน่นอนด้วยความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

1.4 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลขในวงจรถ่วงภาคแสดงผล เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

1.5 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดคุณภาพของน้ำ เปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือวัดคุณภาพที่สร้างกับเครื่องมือมาตรฐานด้วย  $t$  - test

#### 2. เครื่องมือวัดความดันไอที่สร้าง

2.1 วิเคราะห์ผลการวัดค่าความดันไอของอากาศเป็นศักย์ไฟฟ้าตรงจากวงจรถ่วงที่ทำหน้าที่เปลี่ยนความดันไอ เป็นศักย์ไฟฟ้าตรง

2.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลขในวงจรถ่วงภาคแสดงผล เพื่อหาความแน่นอนด้วยความเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2.3 วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลขในวงจรถ่วงภาคแสดงผล เพื่อหาความเป็นเชิงเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด

## สรุปผลการสร้าง

1. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ
  - 1.1 ใช้ชิ้นส่วนวงจรไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกสารกึ่งตัวนำและวงจรสำเร็จรูปตระกูลทีทีแอล (TTL Family)
    - 1.2 วงจรส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนอุณหภูมิ เหนือศักย์ไฟฟ้าตรงมีประสิทธิภาพในการทำงานดังนี้
      - 1.2.1 สามารถเปลี่ยนอุณหภูมิในช่วง 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส เป็นศักย์ไฟฟ้าตรงตั้งแต่ 4.6 ถึง 1.8 โวลต์ได้
      - 1.2.2 มีความแน่นอน 0.047
      - 1.2.3 มีความเป็นเชิงเส้นร้อยละ 96.00
      - 1.2.4 มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน  $\pm 0.17$
    - 1.3 วงจรภาคแสดงผลมีประสิทธิภาพในการทำงานดังนี้
      - 1.3.1 สามารถเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าตรงในช่วง 1.8 ถึง 4.6 โวลต์ให้เป็นตัวเลขได้ตั้งแต่ 100.00 ถึง 000.00
      - 1.3.2 มีความแน่นอน 0.811
      - 1.3.3 มีความเป็นเชิงเส้นร้อยละ 99.40
      - 1.3.4 มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน  $\pm 2.88$
    - 1.4 เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างมีประสิทธิภาพในการทำงานดังนี้
      - 1.4.1 วัดอุณหภูมิได้ในช่วงอุณหภูมิ 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส
      - 1.4.2 มีความละเอียด  $10^{-2}$  องศาเซลเซียส
      - 1.4.3 มีความแน่นอน 0.811
      - 1.4.4 มีความเป็นเชิงเส้นร้อยละ 99.40
      - 1.4.5 มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน  $\pm 2.88$

## 2. เครื่องมือวัดความดันไอ

2.1 ใช้ชิ้นส่วนของวงจรไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำพวกสารกึ่งตัวนำ และวงจรสำเร็จรูปตระกูลทีทีแอล (TTL Family)

2.2 วงจรส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนความดันไอเป็นศักย์ไฟฟ้าตรงสามารถวัดความดันไอของสารได้ในช่วงกว้าง ๆ คือ 0 ถึง 760 มิลลิเมตรปรอท

2.3 วงจรภาคแสดงผลมีประสิทธิภาพในการทำงานดังนี้

2.3.1 สามารถเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าตรงในช่วง 1.8 ถึง 4.6 โวลต์ให้เป็นตัวเลขตั้งแต่ 760.00 ถึง 000.00

2.3.2 มีความแม่นยำ 10.97

2.3.3 มีความเป็นเชิงเส้นร้อยละ 99.40

2.3.4 มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน  $\pm 21.34$

3. จากผลการออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดอุณหภูมิและเครื่องมือวัดความดันไอที่อ่านค่าออกมาเป็นตัวเลขเป็นไปได้ตามทฤษฎีและหลักการในบทที่ 2 จริง สามารถวัดอุณหภูมิในช่วง 0 ถึง 100 องศาเซลเซียสและสามารถวัดความดันไอในช่วง 0 ถึง 760 มิลลิเมตรปรอท ตามลำดับ

### อภิปรายผลการสร้าง

#### 1. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

เครื่องมือวัดอุณหภูมิระบบดิจิทัลที่สร้างมีประสิทธิภาพในการทำงานยังไม่เป็นที่พอใจ สาเหตุที่สำคัญคือ

1.1 วงจรไฟส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนอุณหภูมิเป็นศักย์ไฟฟ้าตรงมีความแม่นยำในการวัดสูง แต่มีความเป็นเชิงเส้นต่ำทั้งนี้เป็นเพราะว่า

1.1.1 คุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ ซึ่งเป็นนิภาคผกผันกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป ทั้งสมการ (2) สมการดังกล่าวนี้เป็นสมการ

แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Equation) ทำให้ความเป็นเชิงเส้นของวงจรนี้  
 ถ้าแม้ว่าจะได้แก้ไขโดยการต่อชั้น (Shunt) ด้วยตัวต้านทานที่มีค่าความต้านทานเท่ากับของ  
 เทอร์มิสเตอร์ ผลของการไม่เป็นเชิงเส้นก็ยังคงปรากฏอยู่

1.1.2 ความคงที่ของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง ถ้าแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงไม่คงที่  
 จะทำให้สัญญาณที่ได้ออกมา มีความผิดเพี้ยนมาก

1.1.3 การรบกวนสัญญาณจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากขดลวดที่อยู่ในหม้อแปลง  
 ไฟจะส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการนับความถี่ของวงจรนับความถี่ในวงจรภาคแสดงผล

1.1.4 ค่าร้อยละของความผิดพลาดของตัวต้านทานที่ใช้ในการสร้างวงจร  
 ไฟฟ้าจะมีผลอย่างมากต่อความคลาดเคลื่อนที่เกิดในการทดลอง ดังนั้นจำเป็นต้องใช้ตัว  
 ต้านทานที่มีค่าร้อยละของความผิดพลาดน้อย เช่น 0.1 ถึง 0.01 จะช่วยแก้ปัญหานี้ได้

1.1.5 คุณภาพของวงจรสำเร็จรูปที่ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ คือ วงจรสำเร็จ  
 IM 324 ที่มีขายในท้องตลาดยังมีคุณภาพต่ำทำให้การขยายสัญญาณเกิดการผิดพลาดจากที่ควร  
 เป็น การขยายสัญญาณที่ผิดพลาดจะส่งผลทำให้เกิดการคลาดเคลื่อน

1.1.6 คุณภาพของตัวเก็บประจุที่มีค่าต่ำกว่า ไมโครฟารัด ยังมีคุณภาพ  
 ต่ำ การเก็บประจุและการกรองสัญญาณรบกวนไม่ดีพอจึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น

1.1.7 คุณภาพของตัวต้านทานแบบปรับค่าได้มีคุณภาพต่ำ ทำให้สัญญาณ  
 ไม่คงที่จึงเกิดการคลาดเคลื่อน ในวงจรส่วนนี้จำเป็นต้องใช้ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ที่มี  
 ความละเอียดสูงและต้องมีความคงที่สูงด้วย จึงจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

1.2 ภาคแสดงผล วงจรภาคแสดงผลมีความสำคัญมากเพราะถ้าวงจรส่วนนี้  
 มีประสิทธิภาพการทำงานต่ำจะทำให้ภาคแสดงผลเป็นตัวเลขมีความผิดพลาด ทั้งนี้จะขึ้น  
 อยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ คือ

1.2.1 ประสิทธิภาพของวงจรสำเร็จรูป IM 566 ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนศักย์  
 ไฟฟ้าตรงเป็นความถี่ที่มีรูปคลื่นสี่เหลี่ยม เป็นสิ่งสำคัญที่สุด ถ้าวงจรสำเร็จรูปนี้มีความเป็น  
 เชิงเส้นน้อยจะทำให้การแสดงผลเป็นตัวเลขผิดพลาดทันที

1.2.2 ความคงที่ของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยง แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่ไม่คงที่จะส่งผลให้วงจรสำเร็จรูป MM 566 ทำงานผิดพลาดทันที

1.2.3 ความแม่นยำในการกำหนดฐานเวลาควบคุมการนับความถี่ของวงจรสำเร็จรูป 555 มีความสำคัญมาก เพราะเวลาที่ยอมให้สัญญาณผ่านเข้าสู่วงจรนับความถี่ถ้าผิดพลาดไปจะทำให้การนับความถี่ผิดพลาดผลก็จะทำให้การแสดงผลเป็นตัวเลขคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

## 2. เครื่องมือวัดความถี่

เครื่องมือวัดความถี่ระบบดิจิทัลที่สร้างยังมีความสามารถในการวัดค่าเนื่องจากสาเหตุดังนี้

2.1 วงจรไฟฟ้าส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนความถี่เป็นศักย์ไฟฟ้าตรงมีประสิทธิภาพการทำงานต่ำ สาเหตุที่สำคัญ คือ

2.1.1 ทρανซิสทอร์ที่ใช้เป็นตัวส่ง และ ตัวรับสัญญาณออสซิลลาโรซิกมีคุณภาพต่ำ ยังมีความไวในการวัดความถี่ของสารได้น้อย เมื่อประกอบเป็นวงจรเครื่องส่งและวงจรเครื่องรับสัญญาณออสซิลลาโรซิกแล้วสามารถเปลี่ยนความถี่ให้เป็นศักย์ไฟฟ้าตรงได้ในช่วงระหว่าง 1.8 ถึง 4.6 โวลต์

2.1.2 คุณภาพของวงจรสำเร็จรูปที่ใช้เป็นตัวขยายสัญญาณในวงจรเครื่องส่งและวงจรเครื่องรับสัญญาณออสซิลลาโรซิกยังไม่สูงพอ วงจรสำเร็จรูปนี้ถ้ามีคุณภาพต่ำจะทำให้สัญญาณมีความผิดพลาดเช่นกัน

2.2 วงจรภาคแสดงผล วงจรส่วนนี้มีความสำคัญมากเพราะถ้ามีประสิทธิภาพการทำงานต่ำจะทำให้การแสดงผลเป็นตัวเลขคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง เครื่องที่สร้างนี้มีวงจรภาคแสดงผลที่มีประสิทธิภาพการทำงานต่ำ มีสาเหตุเช่นเดียวกันกับวงจรภาคแสดงผลในเครื่องมือวัดความถี่ในข้อ 1.2

## ข้อเสนอแนะ

1. เครื่องมือวัดอุณหภูมิสามารถปรับช่วงประสิทธิภาพให้สูงขึ้นได้ถ้าได้รับการแก้ไขในสิ่งต่อไปนี้

1.1 เลือกใช้ตัวต้านทานที่มีค่าร้อยละของความผิดพลาดน้อย เช่น 0.1 ถึง 0.001

1.2 เลือกใช้ตัวเก็บประจุที่มีค่าน้อยกว่า 1 ไมโครฟารัด เป็นแบบแทนทาลัม (Tantalum) หรือ โพลีเอสเตอร์ (Polyester) เพื่อลดการรบกวนสัญญาณต่าง ๆ อันเนื่องมาจากการรั่วของตัวเก็บประจุ

1.3 วงจรส่วนใดที่ใช้ตัวต้านทานที่ปรับค่าได้ หลังจากปรับค่าต่าง ๆ แล้วควรเปลี่ยนเป็นตัวต้านทานแบบคงที่ เพื่อลดการแปรเปลี่ยนของสัญญาณอันเนื่องมาจากความไม่คงที่ของตัวต้านทานแบบปรับค่าได้

1.4 เลือกใช้วงจรสำเร็จรูปที่มีคุณภาพสูง

1.5 เลือกใช้เทอร์มิสเตอร์ที่มีคุณภาพสูง

1.6 ป้องกันการรบกวนสัญญาณจากขดลวดหม้อแปลงไฟโดยการครอบด้วยฝาครอบที่เป็นโลหะ

1.7 ควรต่อสายสัญญาณระหว่างวงจรต่าง ๆ ให้สั้นที่สุดและอยู่ในแนวเส้นตรงมากที่สุด

1.8 ใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงที่มีความคงที่มากที่สุด

2. เครื่องมือวัดความดันไอ

เครื่องมือวัดความดันไอบางชนิดที่สร้างสามารถปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพสูงถ้ามีการแก้ไขในสิ่งต่อไปนี้

2.1 ใช้ทรานซิสเตอร์ที่เป็นตัวส่ง และ ตัวรับ สัญญาณอุลตราโซนิคที่มีคุณภาพสูง ควรมีค่าความถี่ตั้งแต่ 1 ถึง 10 เมกกาเฮิร์ตเพื่อให้สามารถวัดความดันไอของสารได้

ละเอียดมากขึ้น

2.2 ปรับปรุงวงจรไฟฟ้าในภาคแสดงผลแบบเกี่ยวกับการปรับปรุงวงจรไฟฟ้า  
ภาคแสดงผลของเครื่องมือวัดอุณหภูมิข้อ 1.2

มรรคาบุญกรรม

บรรณานุกรม

ชูศรี วงศ์รัตน์ สถิติเพื่อการวิจัย เจริญผลการพิมพ์ 2525, 252 หน้า

บุญด กระจาย และแองเกลีย์ (นามแฝง) วงจรรีเลย์โทรนิคส์ 1 บุญดอมการพิมพ์  
2519, 154 หน้า

ประสงค์ สิริพิทไชรารม การออกแบบและสร้างเครื่องนับและคิวิตัลมีลคิมิเตอร์

ปริญญาโท กศ.ม. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร 2513, 108 หน้า

สมจิต วัฒนาศยากุล สถิติวิเคราะห์เบื้องต้น เจริญผลการพิมพ์ 2524, 272 หน้า

Bob, J.C. and L.M. Hulley. "Precision temperature control," Proc IEE  
V. 113, No. 10 : 1671 - 1672, October, 1966.

Boucher, E.A. "Theory and Application of Thermistor," Journal of Chemical  
Education, V. 44, No. 11 : A935 - A964, November, 1967.

Cavenagh, A.J. and Others "Semi-Conductors," RS Components p : 129 - 132,  
November, 1979.

Cuxton, David J. "Pressure Transducer-Part One," Journal of Chemical  
Education, V. 46, No. 7 : A401 - A414, June, 1969.

Cuxton, David J. "Pressure Transducer-Part Two," Journal of Chemical  
Education, V. 46, No. 7 : A465 - A479, July, 1969.

Ewing, Galen W. "Sonic and Ultrasonic in Chemistry," Journal of  
Chemical Education, V. 43, No. 12 : A1037 - A1054, December, 1966.

"54 / 74 Family MSI / LSI Circuits," in The TTL Data Book for Design  
Engineers, 1973, 640p.

Frigerio, Norman A. "Vapour Pressure Measurements," Journal of Chemical  
Education, V. 39, No. 1 : A35 - A36, January, 1962.

Harris, Ron and Tom Graham. "Ultrasonic Switch," in EIL Top Projects,  
No. 7 : 42 - 44, 1979.

Iles, G.S. and R.F. Tindall. "A Thick Film Platinum Resistance Thermistor,"  
Platinum Metals, Re. V. 19, No. 42 : 42 - 47, February, 1975.

Perry, Jim. "Logic Data," in EPL Circuits, No. 2 : 83 - 92, March, 1978.

Slabaugh, W.H. "A Sensitive Inexpensive Thermometer," Journal of Chemical Education, V. 42, No. 9 : 467, September, 1965.

"Thermometry," in The New Encyclopedia Britannica, V. 18, 1981, 300p.

"Thermistor Data," in Components EPL, V. 9, 1978, 640p.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
การทำแผนวงจรพิมพ์

## การทำแผ่นวงจรพิมพ์

### อุปกรณ์ที่ใช้

1. แผ่นฟิล์มโพสิทีฟ (Positive) ของลายวงจรไฟฟ้าที่มองจากด้านบน
2. แผ่นทองแดงขนาดเท่ากับแผ่นวงจรพิมพ์ที่ต้องการ
3. น้ำยาดักแผ่นวงจรพิมพ์ ประกอบด้วย กรดเกลือเข้มข้น (conc. HCL 6 M)

น้ำกลั่น และ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 25 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วน 5 : 12 : 3

### โคย์ปริมาตร

4. สารละลายโซดาไฟ (all NaOH 10 %)
5. ภาคนพลาสติก
6. กล้องค่าขนาด 1 x 1 x 2 ลูกบาศก์ฟุต
7. หลอดไฟฟ้าฟลูออเรสเซนต์ 40 กำลังเทียน จำนวน 3 หลอดวางเรียง

ติดกัน แต่ละหลอดห่างกัน 3 นิ้ว

8. หินเนอร์ ผงซักฟอก และกระดาษทราย
9. น้ำยาสเปรย์สารไวแสง

### วิธีการ

1. ทำความสะอาดแผ่นทองแดง
2. พ่นน้ำยาสารไวแสงลงบนแผ่นทองแดงค้ำที่ เป็นทองแดงในกล่องค้ำ

อบด้วยความร้อนประมาณ 70 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที

3. ติดแผ่นฟิล์มโพสิทีฟลงบนแผ่นทองแดงค้ำที่ฉายสารไวแสงแห้งแล้ว
4. ฉายแสงฟลูออเรสเซนต์ โดยวางแผ่นทองแดงในข้อ 3 ให้ค้ำจากหลอดไฟ

1 / 2 ฟุต ใช้เวลาฉายแสงประมาณ 8 ถึง 12 นาที

5. นำแผ่นฟิล์มที่ติดแผ่นทองแดงในข้อ 4 ออก ค่อยๆ นำไปล้างด้วยสารละลาย

โซดาไฟในภาคนพลาสติกประมาณ 30 วินาที ขณะที่จุ่มแผ่นทองแดงลงไปในส่วน

ละลายนี้จะปรากฏลวดลายวงจรไฟฟ้าขึ้นคานที่เป็นทองแดง

6. นำแผ่นทองแดงขึ้นจากถาดพลาสติกที่มีสารละลายโซดาไฟเอาไปล้างน้ำที่สะอาด 3 - 4 ครั้ง

7. นำแผ่นทองแดงที่มีลวดลายวงจรไฟฟ้าไปใส่ในถาดพลาสติกที่มีสารละลายสำหรับกัดแผ่นวงจรพิมพ์ประมาณ 3 นาที ขณะที่ใส่แผ่นทองแดงลงไปในนั้นให้ใช้แท่งไม้คนสารละลายตลอดเวลาจนกระทั่งเกิดเป็นลายวงจรตามที่ต้องการ หากต้องการให้เร็วทำให้ใส่สารละลายไฮโครเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 45 เปอร์เซ็นต์ลงไปด้วยจะช่วยให้การกัดส่วนที่เป็นทองแดงที่ไม่ใช่ลายวงจรออกเร็วขึ้น

8. นำแผ่นวงจรไฟฟ้าที่สำเร็จเรียบร้อยแล้วมาทำความสะอาดด้วยน้ำสะอาด 4 ครั้ง เช็ดให้แห้งแล้วนำไปเจาะรูใส่อุปกรณ์ตามขนาดที่ต้องการต่อไป

ภาคผนวก ข

วงจรรอบ

## วงจรรตรรก

วงจรรตรรก หมายถึง วงจรไฟฟ้าที่ทำงานด้วยสัญญาณสองระดับ คือ " H " , " สูง " หรือ " 1 " และ " ต่ำ " , " L " หรือ " 0 " โดยปกติวงจรที่เป็นตรรก " สูง " จะใช้แทนระดับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงตั้งแต่ 3 - 5 โวลต์ ส่วนวงจรที่เป็นตรรก " ต่ำ " จะใช้แทนระดับสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงตั้งแต่ 0 - 1.2 โวลต์

วงจรรตรรกพื้นฐานที่สำคัญ คือ วงจรแอนด์ (AND Gate) วงจรรออร์ (OR Gate) วงจรนอท (NOT Gate) ส่วนวงจรอื่น ๆ เช่น วงจรแนนด์ (NAND Gate) วงจรนอร์ (NOR Gate) เกิดจากการผสมกันระหว่างวงจรพื้นฐานดังกล่าวข้างต้น รายละเอียดของวงจรพื้นฐานที่สำคัญมีดังนี้

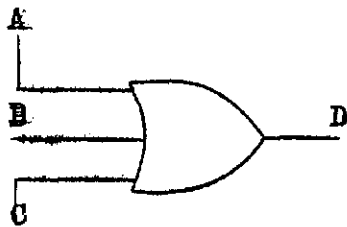
วงจรรแอนด์ (AND Gate) คือ วงจรรตรรกที่คอกจะมีสัญญาณเข้าตั้งแต่สองสัญญาณขึ้นไป จึงจะให้สัญญาณออกมาได้ ดังภาพประกอบ 63



A	B	C
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

ภาพประกอบ 63 แสดงวงจรรตรรกแอนด์ (AND Gate) และ ตารางสัจพจน์

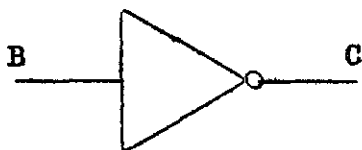
วงจรรออร์ (OR Gate) คือ วงจรรตรรกที่มีสัญญาณเข้าตั้งแต่สองสัญญาณขึ้นไป โดยจะให้สัญญาณออกได้เพียงสัญญาณใดสัญญาณหนึ่งเท่านั้น ดังภาพประกอบ 64



A	B	C	D
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

ภาพประกอบ 64 แสดงวงจรรรกออร์ (OR Gate) และ ตารางสัจพจน์

วงจรรรท (NOT Gate) คือ วงจรรรทที่มีสัญญาณเข้าและสัญญาณออกเพียงสัญญาณเดียว แต่จะให้สัญญาณตรรกออกมาเป็นตรงกันข้ามกับสัญญาณตรรกที่เข้าไป  
ภาพประกอบ 65



B	C
0	1
1	0

ภาพประกอบ 65 แสดงวงจรรรทกรรท (NOT Gate) และ ตารางสัจพจน์

ในการวิเคราะห์เกี่ยวกับวงจรถอดค้นอาศัยสัจพจน์และกฎเกี่ยวกับพีชคณิตของ  
บูลีน ดังตาราง 8

ตาราง 8 แสดงสัจพจน์และกฎเกี่ยวกับพีชคณิตของบูลีน

$$A + 0 = A$$

$$A + 1 = 1$$

$$A \cdot 0 = 0$$

$$A + A = A$$

$$A \cdot B + A \cdot C = A (B + C)$$

$$A + B \cdot C = (A + B) (A + C)$$

$$A \cdot B \cdot C = A + B + C$$

$$A \cdot B \cdot C = A + B + C$$

$$A \cdot A = A$$

$$A + \bar{A} = 1$$

$$A \cdot \bar{A} = 0$$

$$A \cdot 1 = A$$

ภาคผนวก ค

ตารางแสดงผลการวัดค่าศักย์ไฟฟ้าตรง ตัวเลขบนแผง  
แสดงผล และการวัดอุณหภูมิเปรียบเทียบใน  
เครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างกับเครื่องมือ  
มาตรฐาน



ตาราง 10 แสดงผลการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรง ( $E_0$ ) ให้เป็นตัวเลขในวงจรมากแสดงผล  
ของเครื่องมือรบกวน

ครั้งที่	ตัวเลขบนแผงแสดงผลที่ค่าศักย์ไฟฟ้าตรงต่าง ๆ (โวลต์)							
	1.8	2.2	2.6	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6
1	102.10	94.21	81.24	65.74	48.74	32.03	14.61	00.01
2	102.23	95.85	80.47	65.81	50.12	32.02	16.03	000.01
3	102.12	94.35	81.54	65.76	48.57	31.83	15.84	000.01
4	102.07	94.60	81.58	65.12	48.63	31.62	15.07	000.01
5	101.94	94.31	80.35	66.34	48.71	30.70	16.27	000.01
6	102.46	93.65	81.05	62.45	47.43	30.75	15.29	000.01
7	100.23	92.37	79.32	64.96	47.89	30.53	14.83	000.01
8	100.33	92.54	79.46	63.35	47.38	30.19	15.21	000.01
$\bar{X}$	101.69	93.99	80.63	64.94	48.42	31.21	15.32	000.01

ตาราง 11 แสดงผลการวัดอุณหภูมิของน้ำเปรียบเทียบระหว่างเครื่องมือที่สร้างกับ  
เครื่องมือมาตรฐาน

ครั้งที่	อุณหภูมิที่วัดด้วยเครื่องมือที่สร้าง เปรียบเทียบกับเครื่องมือมาตรฐาน ( °C )										
	100.00	90.00	80.00	70.00	60.00	50.00	40.00	30.00	20.00	10.00	00.00
1	100.46	91.82	79.64	55.18	49.29	31.30	18.32	10.26	6.34	2.10	0.93
2	101.36	91.89	78.39	52.34	48.32	31.26	18.56	11.45	6.99	2.46	0.92
3	100.68	92.34	78.86	58.76	48.94	34.39	18.23	11.62	7.21	3.24	0.92
4	100.84	91.32	79.94	59.32	49.21	35.68	19.67	11.38	7.06	3.02	0.93
5	100.93	90.99	80.32	58.24	48.37	34.34	19.91	11.76	7.82	3.65	0.93
6	101.32	90.38	76.46	61.32	46.69	35.97	17.74	11.42	7.84	4.20	0.93
7	100.64	92.54	79.34	62.34	46.99	36.84	19.10	11.86	6.42	2.54	0.92
8	100.34	91.46	79.92	54.42	48.34	35.42	19.94	11.32	6.96	2.73	0.92
9	102.64	92.38	78.64	53.21	48.39	35.44	18.87	12.56	7.54	2.81	0.93
10	100.87	90.96	78.32	55.42	49.65	31.26	18.89	12.34	7.39	2.53	0.93
$\bar{X}$	100.91	91.61	78.08	57.06	48.42	34.19	18.92	11.60	7.16	2.93	0.93

ภาคผนวก ง

ตารางแสดงผลการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลข  
ในวงจรภาคแสดงผลของเครื่องมือวัดความถี่ที่สร้าง

ตาราง 12 แสดงผลการเปลี่ยนค่าศักย์ไฟฟ้าตรงเป็นตัวเลขในวงจรรภาคแสดงผลของ  
เครื่องมือวัดความดันไอ

ครั้งที่	ตัวเลขที่ปรากฏบนแผงแสดงผลที่ค่าศักย์ไฟฟ้าตรง โวลต์ ต่างๆกัน							
	1.8	2.2	2.6	3.0	3.4	3.8	4.2	4.6
1	760.86	654.51	603.24	495.78	386.51	232.78	116.78	000.01
2	766.48	703.38	615.73	495.47	402.12	282.83	142.40	000.01
3	764.06	705.78	618.11	495.74	374.75	265.46	130.51	000.01
4	766.42	675.29	602.80	500.70	364.84	233.94	121.26	000.01
5	765.85	710.01	598.04	490.99	374.72	245.75	110.59	000.01
6	782.03	713.96	593.87	487.32	361.41	224.33	136.51	000.01
7	757.85	705.10	606.08	500.68	364.98	236.70	119.82	000.01
8	755.81	715.21	594.76	492.36	365.23	241.54	113.57	000.01
$\bar{x}$	764.92	697.91	604.08	494.88	374.32	245.44	123.93	000.01

**การออกแบบและการสร้างเครื่องมือวัดคุณภาพ  
และเครื่องมือวัดความดันโลหิต**

**บทคัดย่อ  
ของ  
คำวงศ์ กงสวัสดิ์**

**เสนอต่อมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร  
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคำหลักสูตร  
ปริญญาการศึกษามหาบัณฑิต  
ณภาพันธุ์ 2529**

การศึกษาคircuit นี้มีจุดมุ่งหมายที่จะออกแบบและสร้าง เครื่องมือวัดความถี่และเครื่องมือวัดความดันไอโดยให้แสดงผลเป็นตัวเลข

เครื่องมือวัดความถี่ที่สร้างสามารถวัดความถี่ 0 ถึง 100 องศาเซลเซียส อ่านได้ละเอียด  $10^{-2}$  องศาเซลเซียส มีความแน่นอน 0.811 มีความเป็นเชิงเส้นร้อยละ 99.40 มีความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน  $\pm 2.88$

เครื่องมือวัดความดันไอที่สร้างสามารถวัดความดันไอของสาร 0 ถึง 760 มิลลิเมตรปรอท อ่านได้ละเอียด  $10^{-2}$  มิลลิเมตรปรอท วงจรภาคแสดงผลสามารถเปลี่ยนสวิตช์ไฟฟ้าตรง 1.8 ถึง 4.6 โวลต์ เป็นตัวเลข 760.00 ถึง 000.00 มีความแน่นอน 10.97 มีความเป็นเชิงเส้นร้อยละ 99.40 และมีความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน  $\pm 21.34$

จากผลการสร้าง ประสิทธิภาพของเครื่องมือทั้งสองขึ้นอยู่กับคุณภาพของตัวนับ และวงจรสำเร็จ

DESIGN AND CONSTRUCTION OF INSTRUMENTS  
FOR TEMPERATURE AND VAPOUR  
PRESSURE MEASUREMENTS

AN ABSTRACT  
BY  
DAMRONG KONGSWAT

Presented in partial fulfillment of requirements  
for the Master of Education degree  
at Srinakharinwirot University  
February 1986

The purpose of this thesis was to design and construction of instruments for temperature and vapour pressure measurements using an electronic digital system.

The constructed digital thermometer could measured the temperature from 000.00 to 100.00 Celsius rang and down to 1 / 100 of the temperature scale. The data from temperature measurements were analised and found that the precision, linearity and standard error were 0.811, 99.40 % and  $\pm 2.88$  respectively.

The constructed instrument for vapour pressure measurements could detected the pressure from 0 to 760 torr rang. The digital display unit could also converted the dc signal from 1.8 to 4.6 volts to the number of 760.00 to 000.00 respectively with precision of 10.97, linearity of 99.40 % and standard error of  $\pm 21.34$ .

The accuracy of instruments both for temperature and vapour pressure measurements depend on the quality of the sensors used and integrated circuit devices.