

### 3. เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC (NTC thermistor)

#### 3.1 การวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC

บทความ การวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร  $0.65\text{NiO}+0.35\text{ZnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$   
ด้วยโปรแกรมเทอร์โบปาสคาล

The resistance dependence on temperature measuring of  $0.65\text{NiO}+0.35\text{ZnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$  materials  
with Turbo Pascal Program

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ

Thongchai Panmatarith

M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

#### บทคัดย่อ

สาร  $0.65\text{NiO}+0.35\text{ZnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$  แสดงปรากฏการณ์เอ็นทีซีโดยมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบมีค่า  $-0.91\% / ^\circ\text{C}$  ในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง  $100\text{ }^\circ\text{C}$  การวัดทั้งหมดจะใช้ระบบทดสอบที่คำนวณด้วยคอมพิวเตอร์

#### Abstract

The  $0.65\text{NiO}+0.35\text{ZnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$  material showed NTC effect with negative temperature of resistance of  $-0.91\% / ^\circ\text{C}$  in the range of  $25\text{-}100\text{ }^\circ\text{C}$ . All measurements were done with computerized test system.

Key words : NTC thermistor, computerized test system

#### บทนำ

เทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีที่มีความต้านทานลดลงในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบ (negative temperature coefficient of resistance, NTCR) สูง สารที่ใช้ทำเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีเป็นสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) สภาพต้านทานไฟฟ้า ( $\rho$ ) ขึ้นกับอุณหภูมิดังสมการ

$$\rho(T) = \rho_\alpha \exp(B/T) \quad (1)$$

เมื่อ  $\rho(T)$  เป็นสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ  $T$  ใดๆ  $\rho_\alpha$  เป็นค่าคงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ และ  $B$  เป็นค่าคงที่ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับพลังงานที่ใช้ไปเพื่อให้อิเล็กตรอนนำกระแสไฟฟ้า เมื่อทำการหาอนุพันธ์ของสมการ (3.2) เทียบกับ  $T$  จะได้ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบ ( $\alpha$ ) ซึ่งเป็นค่า NTCR

$$\alpha = (1/\rho)(d\rho/dT) \quad (2)$$

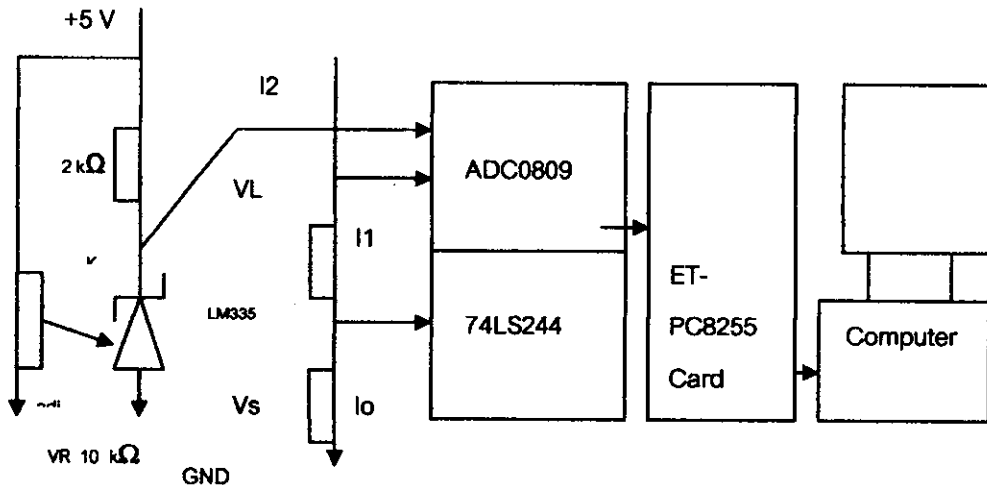
พฤติกรรมความต้านทาน-อุณหภูมิ (resistance-temperature behavior) เกี่ยวข้องกับส่วนผสมทางเคมี (chemical composition) โครงสร้างผลึก (crystal structure) และโครงสร้างแถบพลังงาน (energy band structure) แบบจำลองแถบพลังงาน (energy-band model) สำหรับออกไซด์โลหะทรานซิชัน (transition metal oxide) เป็นแบบจำลองที่เกี่ยวข้องกับแถบพลังงานที่มีความสำคัญต่อสารกึ่งตัวนำ สภาพนำไฟฟ้าของสารเกี่ยวข้องกับอิเล็กตรอนและโฮลอนบวก-ลบของอะตอมและเกี่ยวข้องกับช่องว่างแถบพลังงานของสาร (Moulson และ Herbert, 1990)

เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เป็นตัวต้านทานไฟฟ้าที่มีความต้านทานลดลงในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำมาจาก NiO, CoO และ MnO สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานมีค่าเป็นลบ Chanel (2000) ในประเทศฝรั่งเศสได้เตรียมสาร  $Mn_{2.23-x}Ni_{0.66}Zn_xO_4$  เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC สามารถประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรม

บทความนี้เป็นการศึกษาความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีด้วยคอมพิวเตอร์

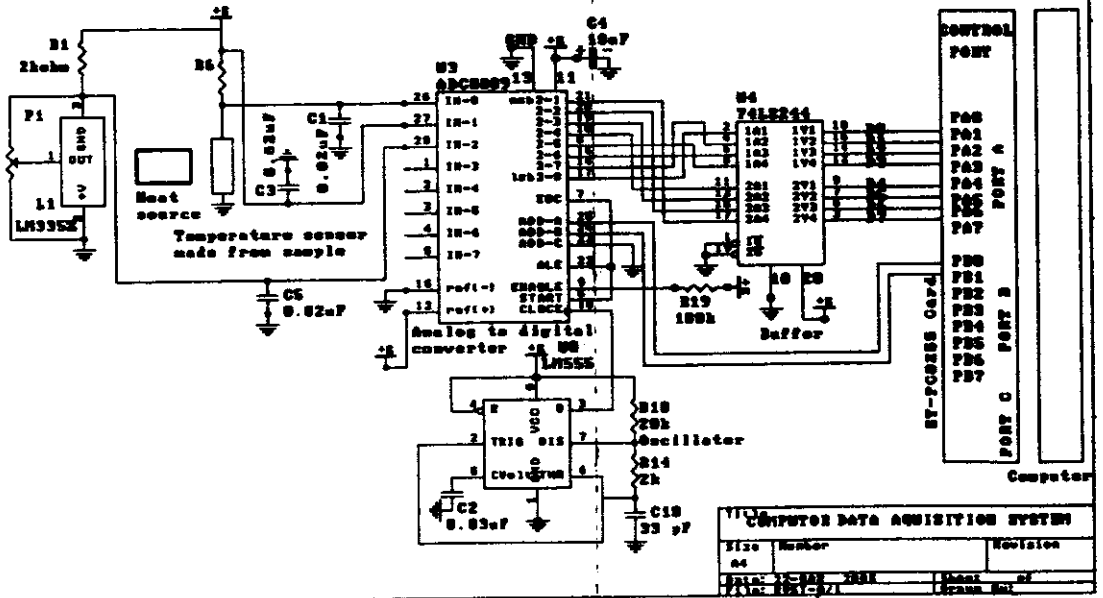
### วัตถุประสงค์และวิธีการ

- 1) เตรียมสารจากส่วนผสมของ  $0.65NiO+0.35ZnO+Fe_2O_3$  อุณหภูมิการเผาที่ใช้เป็น  $1200\text{ }^{\circ}C$  อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาเป็น  $5\text{ }^{\circ}C/min$
- 2) ให้ประกอบวงจรที่วัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร  $0.65NiO+0.35ZnO+Fe_2O_3$  เชื่อมต่อกับ ADC0809 และ ET-PC8255 Card กับคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 3.1.1)
- 3) เขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาเทอร์โบปาสคาลสำหรับการวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของ NTC ทั้งในรูปของข้อมูล (data) และกราฟ (graph)
- 4) บ้อนแรงดัน  $V_s$  เข้า  $I_o$  และ  $V_L$ s เข้า  $I_1$  ของ ADC0809 ใช้ ADC0809 แปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิทัล (DV) ส่งผ่านบัฟเฟอร์ 74LS244 และ ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์ สั่งให้คอมพิวเตอร์คำนวณ  $V_L=V_Ls-V_s$  ;  $I_L=V_L/R_L$  ;  $I_s=I_L$  ;  $R=V_s/I_s$  ใช้ LM335 วัดอุณหภูมิในรูปของแรงดันไฟฟ้า  $V_T$  ส่งเข้า  $I_2$  ของ ADC0809 ใช้ ADC0809 แปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิทัล (DV) ส่งผ่านบัฟเฟอร์ 74LS244 และ ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์ สั่งให้คอมพิวเตอร์แปลงแรงดัน  $V_T$  ให้เป็นอุณหภูมิ  $T$  สั่ง RUN อ่านค่าความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิมบนจอคอมพิวเตอร์ และให้คอมพิวเตอร์พิมพ์ข้อมูล (R และ T) และกราฟ R vs T พิมพ์กราฟ หาสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านที่เป็นลบ ( $\alpha$ ) จากเส้นกราฟนี้



รูปที่ 3.1.1(ก) การใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ

RESISTANCE VS TEMPERATURE MEASUREMENT EXPERIMENT



รูปที่ 3.1.1(ข) การใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ

```

Program Resistance_Temperature_Graph_for_NTC_thermistor;
Uses crt, graph, printer;      คำสั่งให้ใช้จอ ใช้กราฟและเครื่องพิมพ์
Var grdrv, gmode, gerror      : integer;
    Ch                          : char;
Const
    PA          = $0304;      address ของ port A
    PB          = $0305;      address ของ port B
    Pcontrol    = $0307;      address ของ port control
procedure axis;              โปรแกรมย่อยทำแกน x และแกน y
var p,q          : integer;
    Tex          : string;
Begin
    grdrv := detect; initgraph(grdrv, gmode, 'C:\tp\bgi');
    setgraphmode(gmode);
    setcolor(15); line(50,50,50,35); line (50,305,575,305); คำสั่งลากแกน x และ y
                    line(50,50,575,50); line(575,50,575,305);
    settxtstyle(defaultfont, vertdir, 0); ทำสเกลแกน x
    for p := 1 to 25 do
    begin
        line((595-21*p),295,(595-21*p),305); str(4*p,tex);
        outtextxy(21*p+55, 310, tex);
    end
end
    
```

```

end;
setcolor(15); settextrstyle(defaultfont, horizdir, o);          ทำสมการแกน x
for q := 50 to 305 do
begin
if q mod 51 = 0 then
begin
line(45,q,55,q); str (((305-q) mod 5)+1)*20, tex);
outtextxy(20,q,tex);
end;
end;
end;
end;
procedure plot;          โปรแกรมย่อยเขียนกราฟ
var    i, j, x, y, DV0, DV1, DV2          : integer;
        AV0, AV1, AV2, R, RL, Vs, VLs, VL, IL, Is, VT, T    : real;
begin
setcolor(3); outtextxy(205,11,'Resistance vs Temperature Curve');
setcolor(3); outtextxy(205,18,'-----');
setcolor(5); outtextxy(50, 30,'Ceramic Resistance (kohm)');
setcolor(5); outtextxy(435,335,'Temperature (degC)');
setcolor(5); outtextxy(48,33, '*');
port[Pcontrol] := $90;          สั่งให้นำ control word ไปที่ control port
RL := 10000;                    กำหนดความต้านทานโหลด
for i :=1 to 100 do            คำสั่งให้ทำงานเป็นวงรอบ
begin
for j := 1 to 550 do          คำสั่งให้ทำงานเป็นวงรอบ
begin
port[PB] :=0; {I1}          สั่งให้นำ PB1PB0=00 ออกทางพอร์ท B
delay(30);                  คำสั่งหน่วงเวลา
DV0 := port[PA];            สั่งให้รับแรงดัน Vs เข้าอินพุท Io
AV0 := (5/255)*DV0;        สั่งให้แปลงแรงดันดิจิตอลเป็นอนาลอก
Vs := AV0; {V}             เปลี่ยนตัวแปร
port[PB] := 1; {I1}        สั่งให้นำ PB1PB0=01 ออกทางพอร์ท B
delay(30);                  คำสั่งหน่วงเวลา
DV1:= port[PA];            สั่งให้รับแรงดัน VLs เข้าอินพุท I1
AV1:= (5/255)*DV1;        สั่งให้แปลงแรงดันดิจิตอลเป็นอนาลอก
VLs := AV1; {V}           เปลี่ยนตัวแปร

```

```

VL := (VLs-Vs);          คำนวนแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโหลด
IL := VL/RL;            คำนวนกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลด
Is := IL; {A}           กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสารตัวอย่างมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโหลด
R := (Vs / Is); {ohm}   คำนวนความต้านทานของสารตัวอย่างซึ่งเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC
port[PB] := 2; {I2}     สั่งให้รับแรงดัน Vs เข้าอินพุต io
delay(30);              คำสั่งหน่วงเวลา
DV2 := port[PA];        สั่งให้นำ PB1PB0=10 ออกทางพอร์ต B
AV2 := (5/255)*DV2;     สั่งให้แปลงแรงดันดิจิทัลเป็นอนาลอก
VT := AV2; {V}         เปลี่ยนตัวแปร
T := (VT-2.73)/(0.01);  สั่งแปลงแรงดันจากหัววัดเป็นอุณหภูมิ T
x := round (525/100)*T+(100/525)*50; y := round (305-(R/1000)*(255/1000)); ตั้งพิกัด x และ y
setcolor(15); line (x,y,x,y); สั่งให้เขียนเส้นกราฟ R vs T
delay(100);             คำสั่งหน่วงเวลา
end;
end;
end;
begin {main}
repeat
axis;      โปรแกรมย่อยทำแกน x และแกน y
plot;      โปรแกรมย่อยเขียนกราฟ
ch := readkey;
until ord(ch) = 27;
end.

```

#### ผลการทดลอง

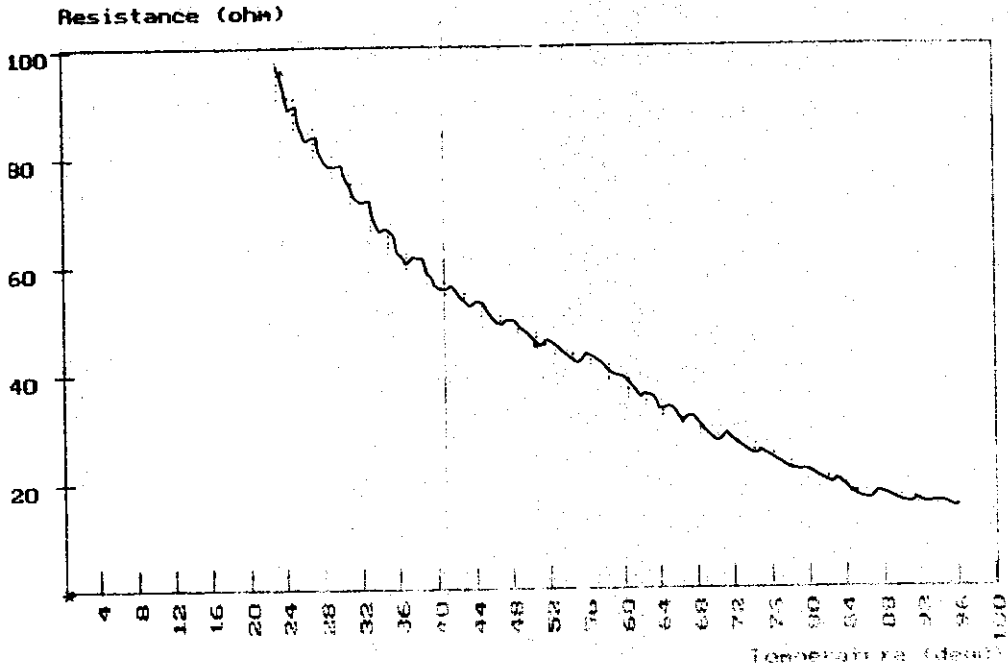
ตารางที่ 3.1.1 อุณหภูมิการเผา สูตรของสารก่อนเผา สูตรของสารหลังเผา ความหนาและเส้นผ่าศูนย์กลาง แสดงใน

Sample no.	Firing temperature(°C)	Composition formula before firing	Sample phase after firing	Thickness (mm)	Diameter (mm)
1*	1200	0.65NiO+0.35ZnO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NiFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , ZnFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	--	--

\* สองสารแรกมีปริมาณมาก สารที่สามมีปริมาณน้อย

ระบบเชื่อมต่อกอมพิวเตอรืจะแสดงความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร 0.65NiO+0.35ZnO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> บนจอคอมพิวเตอร์ ภาพบนจอที่พิมพ์ได้แสดงดังรูปที่ 16.2 จากรูปพบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารเพิ่มขึ้น ความต้านทานของสารลดลง

NTC Thermistor Resistance vs Temperature Curve 2549



รูปที่ 3.1.2 ผลการวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร  $0.65\text{NiO}+0.35\text{ZnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$

### วิเคราะห์ผลการทดลอง

การที่ความต้านทานลดลงในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิดจากอิเล็กตรอนย้ายจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำ มีโฮลเกิดขึ้นในแถบวาเลนซ์ พานะไฟฟ้าเพิ่มจำนวน กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ความต้านทานจึงมีค่าลดลง (Moulson และ Herbert, 1990) เมื่อทำการคำนวณหาสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบ ( $\alpha$ ) โดยอาศัยข้อมูลจากเส้นกราฟของความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของสาร  $0.65\text{NiO}+0.35\text{ZnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$  ที่คอมพิวเตอร์ด้วยสูตร  $\alpha = (1/R_1)(R_2 - R_1)/(T_2 - T_1) \times 100$  ค่า  $\alpha$  ของสาร  $0.65\text{NiO}+0.35\text{ZnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$  มีค่า  $-0.91\%/\text{C}$  ในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง  $100\text{C}$  ค่า  $\alpha$  จากรายงานของบุชานัน มีค่า  $-1$  ถึง  $-6\%/\text{C}$  (Buchanan, 1991) เมื่อเปรียบเทียบพบว่าค่า  $\alpha$  ของสาร อยู่ในย่านเอ็นทีซี (NTC region) ซึ่งเป็นการแสดงว่าสารที่ทดลองแสดงสมบัติเอ็นทีซี สารเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซี สารมีแนวโน้มที่จะนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิและหัวควบคุมอุณหภูมิได้

### สรุปผลการทดลอง

สาร  $0.65\text{NiO}+0.35\text{ZnO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$  เป็นเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Relva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, Second edition, Mercel Dekker Inc., New York.
- Chanel, C. 2000. Microstructure and electrical properties of NiZn manganite ceramics. International Jour of Inorganic Materials., 2, 241-247.
- George C. Barney. 1998, Intelligent Instrumentation, 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall, New York/London/Sydney/Toronto/Tokyo.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.

**บทความ การวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์เชิงการคำนวณโปรแกรมวิซวลเบสิก**  
**The resistance dependence on temperature measuring of commercial thermistor**  
**with Visual Basic Program**

**ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ**

Thongchai Panmatarith

ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา  
 90112 ประเทศไทย

**บทคัดย่อ**

เทอร์มิสเตอร์เชิงการคำนวณแสดงปรากฏการณ์เอ็นทีซีโดยมีสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบ มีค่า  $\%^{\circ}\text{C}$  ในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง  $100^{\circ}\text{C}$  การวัดทั้งหมดจะใช้ระบบทดสอบที่คำนวณด้วยคอมพิวเตอร์

**Abstract**

The commercial thermistor showed NTC effect with negative temperature of resistance of  $\%^{\circ}\text{C}$  in the range of 25-100  $^{\circ}\text{C}$ . All measurements were done with computerized test system.

**Key words :** NTC thermistor, computerized test system

'M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof.

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

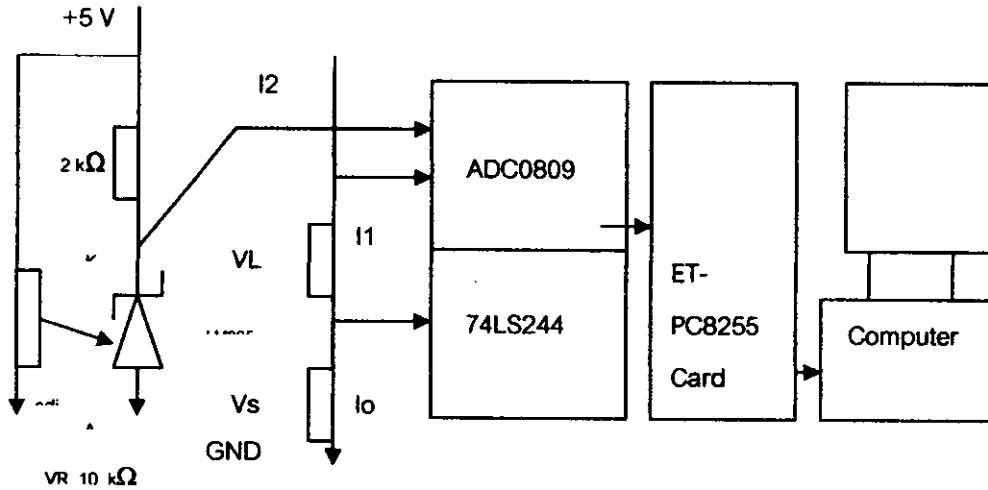
**บทนำ**

เทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีที่มีความต้านทานลดลงในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและมีค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบ (negative temperature coefficient of resistance, NTCR) สูง สารที่ใช้ทำเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีเป็นสารกึ่งตัวนำ (semiconductor) สมบัติเอ็นทีซีมีความเกี่ยวข้องกับช่องว่างแถบพลังงาน เทอร์มิสเตอร์แบบNTC สามารถประยุกต์ใช้ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิ บทความนี้เป็นการศึกษาความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีด้วยโปรแกรมวิซวลเบสิก

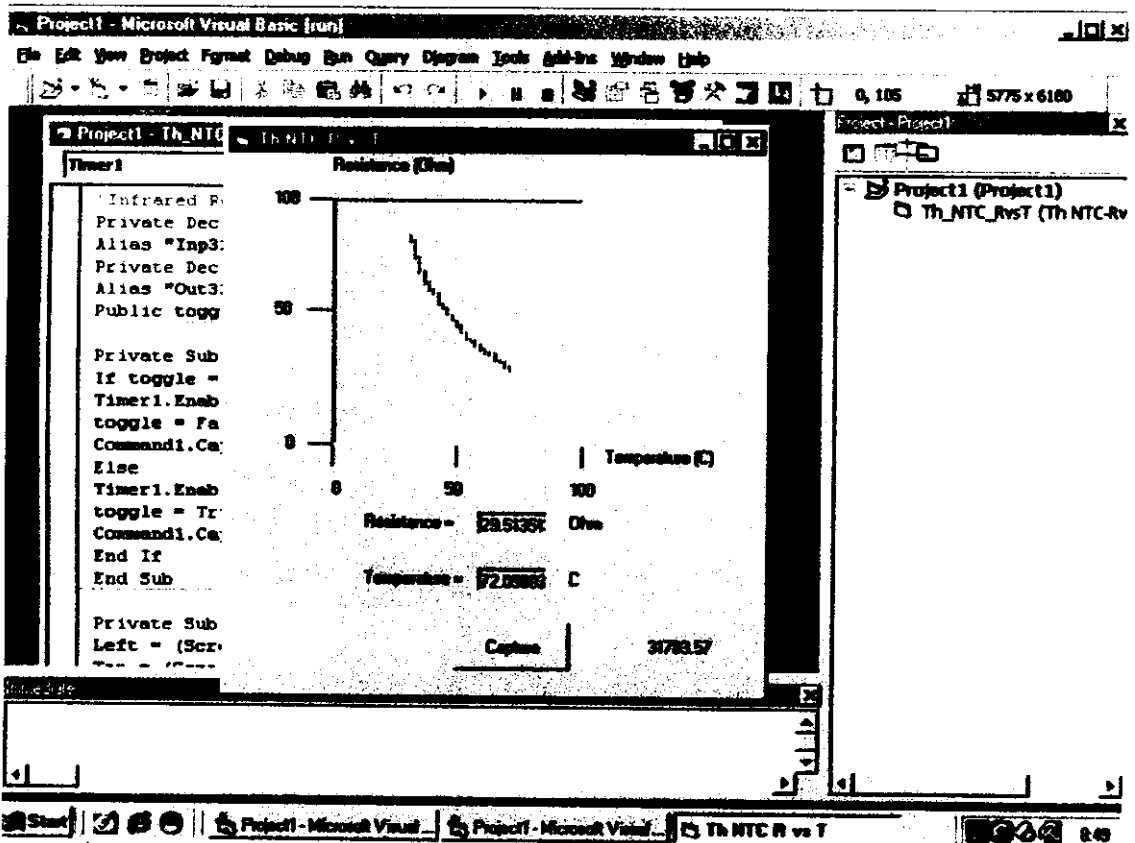
**วัตถุประสงค์และวิธีการ**

- 1) จัดหาเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีเชิงการคำนวณ
- 2) ให้ประกอบวงจรที่วัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีเชิงการคำนวณเชื่อมต่อกับ ADC0809 และ ET-PC8255 Card กับคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 3.1.3)
- 3) เขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาวิซวลเบสิกสำหรับการวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีเชิงการคำนวณทั้งในรูปของข้อมูล (data) และกราฟ (graph) วาง Control บน Form , กำหนด Window properties และเขียนโปรแกรมด้วยภาษาวิซวลเบสิก (รูปที่ 3.1.4)
- 4) บัณฑิตแรงดัน Vs เข้า I<sub>o</sub> และ VLs เข้า I<sub>1</sub> ของ ADC0809 ใช้ ADC0809 แปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิตอล (DV) ส่งผ่านบัฟเฟอร์ 74LS244 และ ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์ ส่งให้คอมพิวเตอร์คำนวณ  $V_L = V_Ls - V_s$  ;  $I_L = V_L/R_L$  ;  $I_s = I_L$  ;  $R = V_s/I_s$  ใช้ LM335 วัดอุณหภูมิในรูปของแรงดันไฟฟ้า VT ส่งเข้า I<sub>2</sub> ของ ADC0809 ใช้ ADC0809 แปลงแรงดันอนาล็อก (AV) เป็นแรงดันดิจิตอล (DV) ส่งผ่านบัฟเฟอร์ 74LS244 และ ET-PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์

สั่งให้คอมพิวเตอร์แปลงแรงดัน VT ให้เป็นอุณหภูมิ T สั่ง RUN อ่านค่าความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิตั้งใจคอมพิวเตอร์ และให้คอมพิวเตอร์พิมพ์ข้อมูล (R และ T) และกราฟ R vs T พิมพ์กราฟ หาสมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบ ( $\alpha$ ) จากเส้นกราฟนี้



รูปที่ 3.1.3 การใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 3.1.4 Control บน Form สำหรับการ ใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ



```
'Infrared Response for Infrared Diode
Private Declare Function Inp Lib "inpout32.dll"
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
Private Declare Sub Out Lib "inpout32.dll"
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
Public toggle As Boolean
```

```
Private Sub Command1_Click()
If toggle = True Then
Timer1.Enabled = False
toggle = False
Command1.Caption = "continue"
Else
Timer1.Enabled = True
toggle = True
Command1.Caption = "capture"
End If
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
Left = (Screen.Width - Width) / 2
Top = (Screen.Height - Height) / 2
Picture1.DrawWidth = 2
toggle = True
Out &H307, &H90
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()
Picture1.Cls
For i = 1 To 25500
Out &H305, &H0 'Io
Call delay
Vs = Inp(&H304)
```

```
Out &H305, &H1 'I1
Call delay
VLs = Inp(&H304)
VL = VLs - Vs
RL = 78 'ohm
IL = VL / RL
R = Vs / IL
LabelR.Caption = R
Call delay
```

```
Out &H305, &H2 'I2
Call delay
V = Inp(&H304)
VT = (5 / 255) * V
T = (VT - 2.73) / (0.01)
LabelT.Caption = T
x = (255 / 100) * T
y = 255 - (255 / 100) * R
Picture1.PSet (10 * x, 10 * y), vbGreen
Call delay
Next i
End Sub
```

```
Sub delay()
Times = Timer
Do
DoEvents
Loop Until Timer >= Times + 0.01
Label8.Caption = Timer
End Sub
```

### ผลการทดลอง

ระบบเชื่อมต่อกอมพิวเตอรืสามารถแสดงความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีเจิง การคำนวณจอกอมพิวเตอรื ภาพบนจอที่พิมพ์ได้ดูที่รูปที่ 3.1.4 จากรูปพบว่าเมื่ออุณหภูมิของสารเพิ่มขึ้น ความต้านทานของสารลดลง

### วิเคราะห์ผลการทดลอง

การที่ความต้านทานลดลงในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเกิดจากอิเล็กตรอนย้ายจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำ มีโฮลเกิดขึ้นในแถบวาเลนซ์ พาหะไฟฟ้าเพิ่มจำนวน กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ความต้านทานจึงมีค่าลดลง เมื่อทำการคำนวณหาสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบ ( $\alpha$ ) โดยอาศัยข้อมูลจากเส้นกราฟของความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีเจิงการคำนวณค่าที่คอมพิวเตอรืด้วยสูตร  $\alpha = (1/R_1)(R_2 - R_1)/(T_2 - T_1) \times 100$  ค่า  $\alpha$  ของเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีเจิงการคำนวณมีค่า  $\% / ^\circ\text{C}$  ในช่วงอุณหภูมิ 25 ถึง  $100^\circ\text{C}$  ค่า  $\alpha$  จากรายงานของบุชานัน มีค่า -1 ถึง -6  $\% / ^\circ\text{C}$  (Buchanan, 1991) เมื่อเปรียบเทียบพบว่าค่า  $\alpha$  ของสารอยู่ในย่านเอ็นทีซี (NTC region) ซึ่งเป็นการแสดงว่าสารที่ทดลองแสดงสมบัติเอ็นทีซี สารเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซี สารมีแนวโน้มที่จะนำไปประยุกต์ใช้ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิและหัวควบคุมอุณหภูมิได้

### สรุปผลการทดลอง

เทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีเจิงการคำนวณเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีเนื่องจากความต้านทานไฟฟ้ามีค่าลดลง เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

### เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Relva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, Second edition, Mercei Dekker Inc., New York.
- George C. Barney. 1998, Intelligent Instrumentation, 2<sup>nd</sup> edition, Prentice Hall, New York/London/Sydney/Toronto/Tokyo.

**บทความ การวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์เจิงการคำนวณด้วยโปรแกรมแลปวิว**  
**The resistance dependence on temperature measuring of commercial thermistor with LabVIEW Program**

**ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์<sup>1</sup> และ น.ส. ยารีนะห์ เจะเลาะ<sup>2</sup>**

**Thongchai Panmatarith and Yareenah Jehloh<sup>2</sup>**

**ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112 ประเทศไทย**

**บทคัดย่อ**

**ได้วัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์เจิงการคำนวณด้วยโปรแกรมแลปวิว**

**Abstract**

**Resistance-temperature relationship of commercial thermistor was measured with LabVIEW Program.**

**Key words : NTC thermistor, computerized test system**

**<sup>1</sup>M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., <sup>2</sup>Physics student, Materials Physics Laboratory,**

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : [tongchai.p@psu.ac.th](mailto:tongchai.p@psu.ac.th)

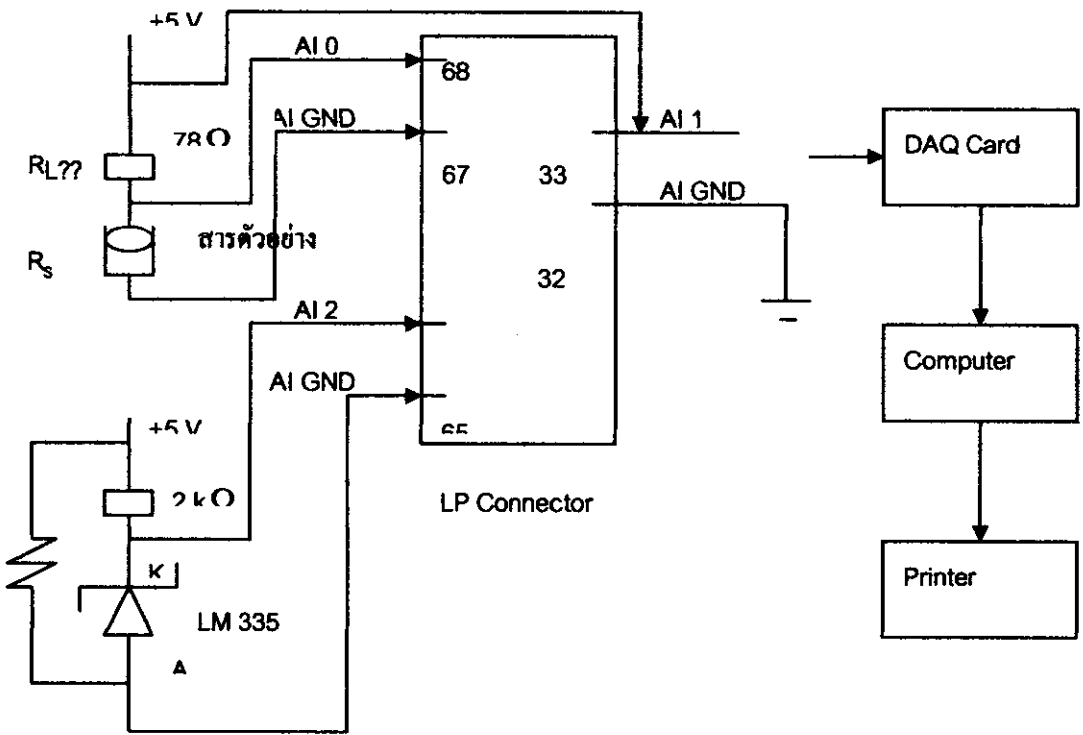
## บทนำ

หัววัดอุณหภูมิที่ทำมาจากเซรามิกส์ที่ใช้ในทางการค้าเริ่มในปี ค.ศ.1940 และมีการผลิตเป็นอุตสาหกรรมกันอย่างกว้างขวางระหว่างปี ค.ศ.1950-1960 (Buchanan, 1991) เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวต้านทานที่ไวต่อความร้อน (thermally sensitive resistor, TSR) เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ทำมาจาก NiO, CoO และ MnO สมบัติที่อุณหภูมิของความต้านทานมีค่าเป็นลบ Chanel (2000) ในประเทศฝรั่งเศสได้เตรียมสาร  $Mn_{2.23x}Ni_{0.88}Zn_xO_4$  เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC สามารถประยุกต์ใช้ในทางอุตสาหกรรม บทความนี้เป็นการศึกษาความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีด้วยคอมพิวเตอร์

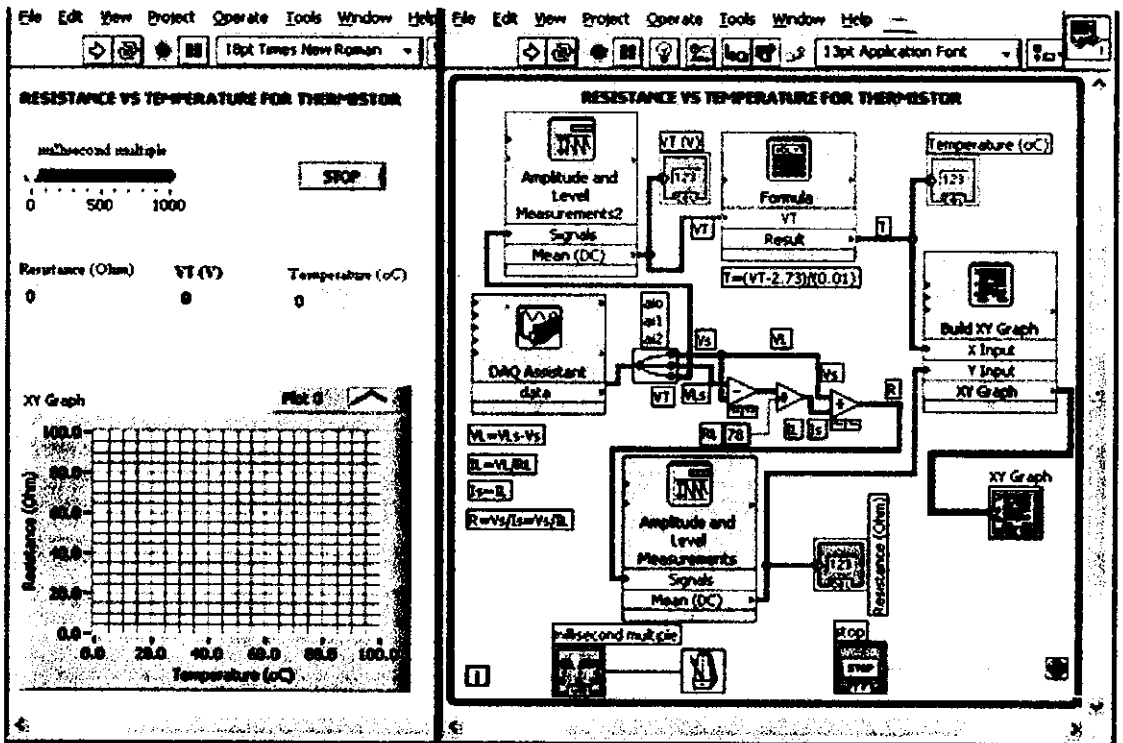
## วิธีการทดลอง

จัดชุดทดลองสำหรับการศึกษาความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซี (รูปที่ 3.1.5) กระแสไฟฟ้า I จากขั้วไฟฟ้า 5 V ของ LP connector ไหลผ่าน  $RL=78 \Omega$  และ  $R_s$  (commercial thermistor) มีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม  $V_L$  และ  $V_s$  ตามลำดับ เมื่อ  $V_L=V_L+V_s$  ส่งแรงดัน  $V_s$  และ  $V_L$  เข้า AI0 และ AI1 ของ LP connector แรงดันไฟฟ้า  $V_T$  จากหัววัดอุณหภูมิ LM335 ส่งมาเข้า AI2 ของของ LP connector ส่งแรงดัน  $V_L, V_L$  และ  $V_T$  มาเข้าที่ DAQ Card เข้าคอมพิวเตอร์ คำนวณ  $V_L=V_L-V_s$ ;  $I_L=V_L/RL$ ;  $I_s=I_L$ ;  $V=V_s$ ;  $I=I_s$ ;  $R=V/I$ ;  $P=VI$ ;  $G=1/R$ ;  $\rho=RA/L$  และ  $\sigma=1/\rho$

Front Panel และ Block Diagram แสดงดังรูปที่ 3.1.6 DAQ Assistant ทำหน้าที่อ่านแรงดันไฟฟ้า  $V_s, V_L$  และ  $V_T$  ส่งมาที่ Split signal ซึ่งทำหน้าที่แยกแรงดันไฟฟ้าทั้งสามค่าออกจากกัน นำแรงดัน  $V_s$  และ  $V_L$  ลบกันด้วย Subtract คำนวณกระแสไฟฟ้า  $I_L=V_L/RL=I_s$  ด้วย Divide เมื่อ  $RL=78 \Omega$  คำนวณความต้านทานของสารตัวอย่างที่เป็นเทอร์มิสเตอร์เชิงการค้าด้วย Divide ( $R=V_s/I_s$ ) ส่งค่า R ไปที่ Amplitude and Level Measurements ทำหน้าที่จัดปริมาณการวัดเป็นแบบ Mean (DC) แล้วแสดงค่า R นี้ด้วย Numeric Indicator Amplitude and Level Measurements ทำหน้าที่จัดปริมาณการวัดเป็นแบบ Mean (DC) ส่วนแรงดันตกคร่อม  $V_T$  จะถูกส่งไปที่ Formula เพื่อแปลง  $V_T$  ให้เป็นอุณหภูมิด้วยสูตร  $T=(V_T-2.73)/(0.01)$  แล้วแสดงอุณหภูมิเป็นตัวเลขด้วย Numeric Indicator ส่งค่า R และ T มาที่ Build XY Graph เพื่อแสดงกราฟของ R vs T Millisecond Multiple เป็นเวลาทวินาที Boolean เป็น numeric control ทำหน้าที่เปิดปิดสวิตช์ While Loop ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานที่ซ้ำๆกัน ส่ง RUN เพื่อแสดงผลทั้งหมด ส่งพิมพ์ Front Panel และ Block Diagram ออกทาง Printer

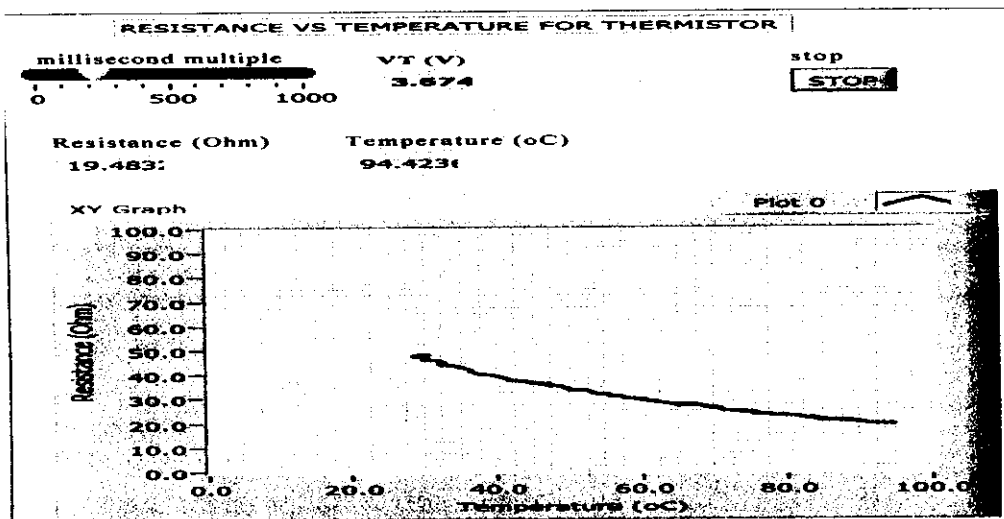


รูปที่ 3.1.5 การใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่าง ๆ



รูปที่ 3.1.6 Front Panel และ Block diagram สำหรับการวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์

## ผลการทดลอง



รูปที่ 3.1.7 ผลการวัดความต้านทานที่กับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์

## วิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการวัดความต้านทานที่กับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ที่บอกสมบัติเซ็นเซอร์

## สรุปผลการทดลอง

ระบบเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมด้วย LabVIEW สามารถแสดงผลการวัดความต้านทานที่กับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์

## เอกสารอ้างอิง

[Http:// www.ni.com](http://www.ni.com), LabVIEW™ Basic I. Introduction Course Manual, National Instruments.

### 3.2 การให้เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิ บทความ การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เจริญการค้า

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์

Thongchai Panmatarith

ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ สงขลา 90112 ประเทศไทย

## บทคัดย่อ

ได้วัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เจริญการค้า

## Abstract

Temperature was measured with comercial NTC thermistor.

Key words : temperature sensor

<sup>1</sup>M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof.

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

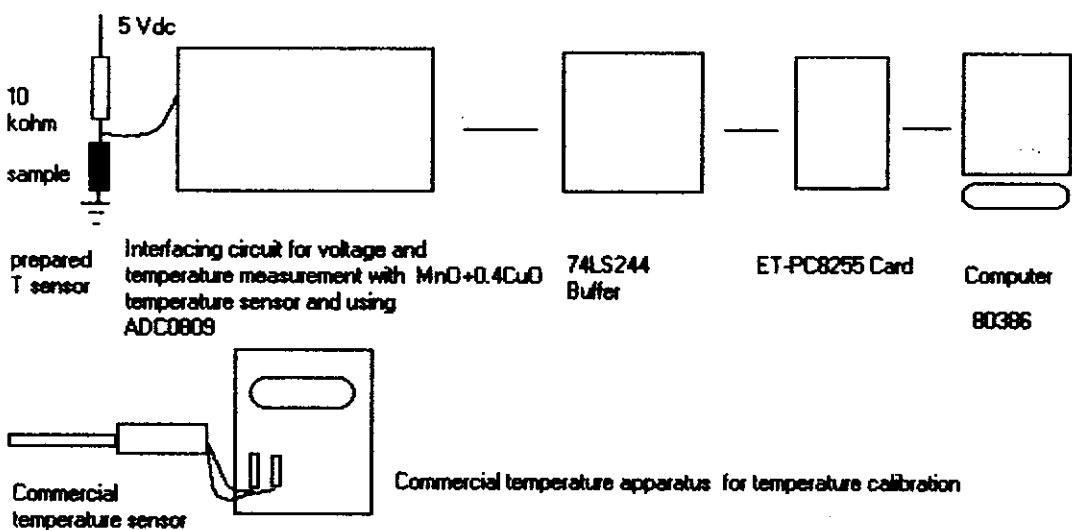
## คำนำ

เทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีสามารถนำไปประยุกต์ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิแบบเอ็นทีซีที่ใช้ในเตาอบไมโครเวฟ (microwave oven NTC temperature probe) หัววัดอุณหภูมิ (temperature sensor) ของน้ำหล่อเย็นในรถยนต์ (automotive cooling water) หัวควบคุมอุณหภูมิ (temperature control sensor) หัววัดการไหลของความร้อน (heat flow sensor) หัววัดการแผ่รังสี (radiation sensor) หัววัดสุญญากาศ (vacuum gauge) หัววัดความดัน (pressure gauge) หัววัดระดับของเหลว (liquid-level sensor) หัววัดการชดเชยอุณหภูมิ (temperature compensation sensor) สำหรับควบคุมเพื่อให้เกิดความเสถียรภาพของภาพในเครื่องรับโทรทัศน์โดยการชดเชยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของคอยล์โฟกัสอิเล็กตรอน (beam-focusing coil) ในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น หัววัดสำหรับใช้ในงานสื่อสารโทรคมนาคม (telecommunication) ใช้ทำเป็นอุปกรณ์อวกาศ (aerospace device) และอุปกรณ์ไครโอเจนิค (cryogenic device) หัววัดสำหรับวิเคราะห์ก๊าซและโครมาโตกราฟี (gas analysis sensor and chromatography) และหัววัดสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิทางการแพทย์ (sensor for medical temperature monitoring) (Buchanan, 1991) อุปกรณ์เอ็นทีซี (NTC device) ระบบอิเล็กทรอนิกส์ (electronic system) ที่จะออกแบบจะประกอบด้วยสัญญาณอินพุตแบบอนาล็อก (analog input signal) สัญญาณเอาต์พุตดิจิทัล (digital output signal) ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ (computer) และเครื่องพิมพ์ (printer)

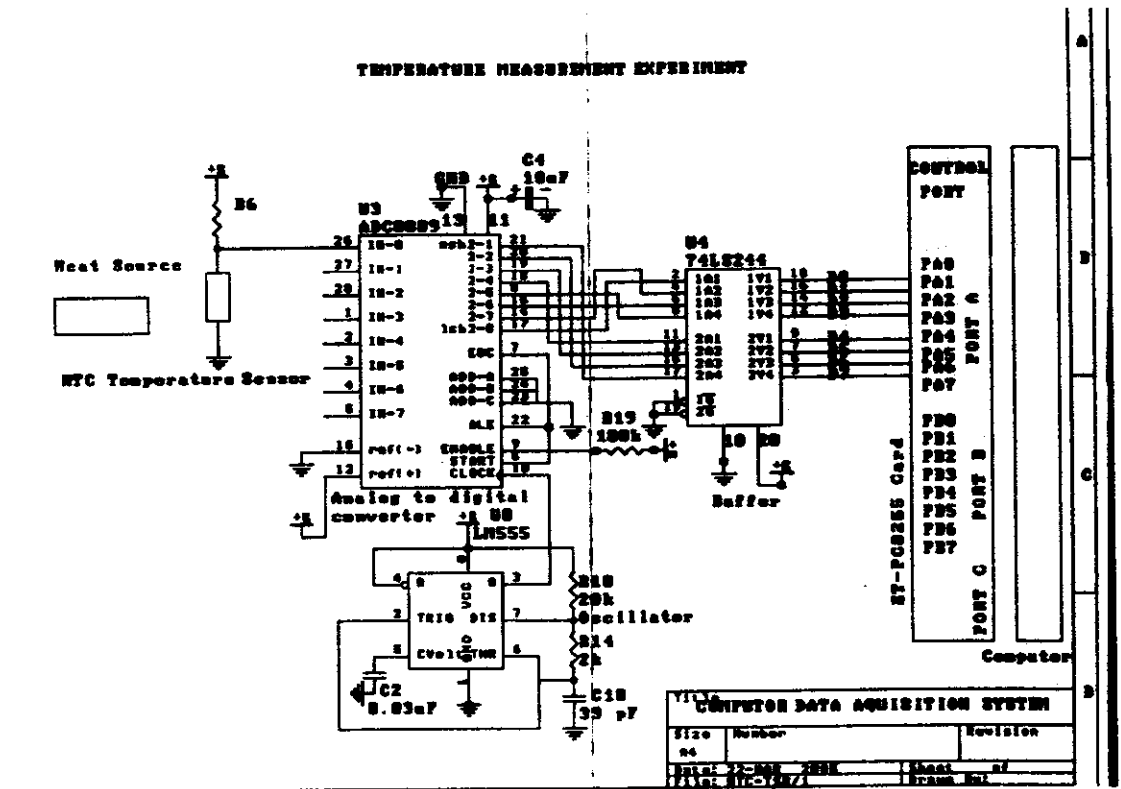
บทความนี้เป็น การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เชิงการค้า

### วิธีการทดลอง

จัดชุดทดลองดังรูปที่ 3.2.1 เขียนโปรแกรมควบคุมการอ่านอุณหภูมิ วัดความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องวัดจริง (T) กับแรงดันอนาล็อกที่ตกคร่อมสาร (AV) หลังจากนั้นวัดเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องวัดจริง (True) กับอุณหภูมิจากเครื่องที่สร้างขึ้น (Tmeasure)



รูปที่ 3.2.1(ก) การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC



รูปที่ 3.2.1(ข) การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC

**โปรแกรม การวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เจริญการค้า**

Program Temperature\_Sensor\_Using\_Commercial\_NTC\_Thermistor\_2549;

Uses crt;

Var

i, j, DV : integer;

AV, T : real;

Const PA = \$0304;

Pcontrol = \$0307;

Begin

Clrscr;

Port[Pcontrol] := \$90;

Gotoxy(25,2); writeln('TEMPERATURE MEASUREMENT VALUE 2549');

Gotoxy(25,3); writeln('-----');

Gotoxy(31,8); writeln('Thongchai Panmatarith');

For i:=1 to 100 do

Begin

For j:=1 to 255 do

begin

DV:=port[PA];

```
Gotoxy(26,8); writeln('Digital Voltage (DV) = ',DV:3, ' V');
AV:=(5/255)*DV;
Gotoxy(26,12); writeln('Analog Voltage (AV) = ',AV:3:3);
Gotoxy(52,12); writeln(' V');
T:=258.01*exp(-0.8896*AV);; {T=Ttrue} สมการที่ใช้แปลง AV เป็นอุณหภูมิ T
Gotoxy(17,22); writeln('Measure Temperature (T) = ',T:3:2); แสดงอุณหภูมิบนจอ
Gotoxy(52,22); writeln('deg C');
Delay(100);
```

End;

End;

End.

### ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองเป็นแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องจริง(T)กับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสาร(AV) มีการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องจริง(Ttrue)กับอุณหภูมิจากเครื่องสร้าง(Tmeasure) มีการพิจารณาเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องจริงกับอุณหภูมิจากเครื่องสร้าง

### สรุปผลการทดลอง

ความต้านทานของสารลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น สารมีความไวต่อการตอบสนองต่ออุณหภูมิ จึงเหมาะสำหรับทำเป็นหัววัดอุณหภูมิ สารที่เตรียมและระบบการอ่านอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์เป็นผลการทดลองในช่วง 26 °C ถึง 100 °C

### การเตรียมและทดสอบสมบัติของเทอร์มิสเตอร์ที่ทำมาจาก $MnO+0.4CuO$

#### ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ<sup>1</sup>

วรภรณ์ อนันตพรพาณิชย์<sup>2</sup>, พัชรา ปัญจทุม<sup>3</sup>, อภิสมัย เชื้อศรีวัฒนากุล<sup>4</sup> และทรงฐิตร์ เนียมทรง<sup>5</sup>

#### Abstract

Panmatarith, T., Bunnoy, P. ,Juggaroen, N. ,Ratphonsan, P. ,Rugwech, S., Anuntapompanich, V. , Punjamathum, P. ,Eirseewattanukul, A. And Niumtrong, P.

Sample Preparation and Properties testing of  $MnO+0.4CuO$ ' s thermistor

Songklanakarin J. Sci Technol.,2002

This report involved disc shape  $MnO+0.4CuO$  samples which were prepared by Standard Ceramic techniques with 500 °C and 900 °C firing temperature. Sample dc resistance at room temperature was 4.26 k $\Omega$ . Impedance(Z) conductance(C) and capacitance(C) at different frequency(f) had relation follow :  $Z = 114.22f^{0.0811}$  ,  $G = 8.6707f^{0.0732}$  and  $C = 146.88f^{0.6633}$ . When sample was measured at 100 kHz, we found that dissipation factor (D) had minimum value and quality factor (Q) had maximum value. Resistance(R) vs temperature(T) correspond to  $R = 7.0544e^{-0.0218T}$ . Sample which sensitized to temperature response was suitable to be temperature sensor application. Self constructed temperature reading system with computer and prepared sample sensor can measure temperature in 26 °C to100 °C interval.



Key words : MnO+0.4CuO, NTC thermistor

<sup>1,2,3,4,5,6,7,8,9</sup>Materials Physics Laboratory, Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

<sup>1</sup>M.Sc. (Solid State Physics) รองศาสตราจารย์ <sup>2,3,5,7,8,9</sup>นักศึกษาระดับปริญญาตรี (ฟิสิกส์) ภาควิชาฟิสิกส์

<sup>4,5</sup>นักศึกษาระดับปริญญาตรี (วิทยาศาสตร์ทั่วไป) ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ. หาดใหญ่ จ. สงขลา 90122

บทคัดย่อ

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ, ไพรินทร์ บุญน้อย, นพมาศ จักรเจริญ, พิภูม พลแสน, ศิริรัตน์ รักเวช, วราภรณ์ อนันตพรพาณิชย์, พัชรา ปัญจทุม, อภิสิทธิ์ เชื้อศรีวัฒนากุล, พงรุดิระ เบียมทรง การเตรียมและทดสอบสมบัติของเทอร์มิสเตอร์ที่ทำมาจาก MnO+0.4CuO

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2545.....

รายงานฉบับนี้เป็นการเตรียมก่อนสารรูปงาน MnO+0.4CuO โดยวิธีเทคนิคเรามาิกส์มาตรฐานโดยเผาสองครั้งที่อุณหภูมิ 500 °C และ 900 °C ความต้านทานไฟตรงที่อุณหภูมิห้อง 4.26 kΩ อิมพีแดนซ์(Z) ความนำไฟฟ้า (C) และความจุไฟฟ้า (C) ที่ความถี่ (f) ต่างๆมีค่าดังสมการ  $Z = 114.22f^{0.0811}$ ,  $G = 8.6707f^{0.0732}$  และ  $C = 146.88f^{0.6833}$  เมื่อวัดที่ความถี่ 100 kHz พบว่าตัวประกอบการสูญเสีย(D)มีค่าต่ำสุดและตัวประกอบคุณภาพ(Q)มีค่าสูงสุด ความต้านทานของสาร(R)ที่อุณหภูมิ(T)ต่างๆ แสดงดังสมการ  $R = 7.0544e^{-0.0218T}$  สารมีความไวต่อการตอบสนองต่ออุณหภูมิจึงเหมาะสำหรับทำเป็นหัววัดอุณหภูมิ ระบบการอ่านอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นเองซึ่งใช้สารที่เตรียมเป็นหัววัดสามารถวัดอุณหภูมิได้ ในช่วง 26 °C ถึง 100 °C

ในปี 1833 ฟาราเดย์(Faraday) ได้ค้นพบและรายงานเกี่ยวกับพฤติกรรมกึ่งการนำไฟฟ้า(semiconducting behaviour)ของ Ag<sub>2</sub>S หัววัดอุณหภูมิที่ทำมาจากเรามาิกส์ที่ใช้ในทางการค้าเริ่มในปี 1940 และมีการผลิตเป็นอุตสาหกรรมกันอย่างกว้างขวางในปี 1950-1960 (Reiva C. Buchanan, 1991)

เทอร์มิสเตอร์ คือ ตัวต้านทานที่มีความต้านทานเปลี่ยนแปลงในขณะอุณหภูมิเปลี่ยนไป เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวต้านทานที่ไวต่อความร้อน(thermally sensitive resistor)ซึ่งมีชื่อย่อเป็น TSR เทอร์มิสเตอร์(thermistor)มี 2 ประเภท คือ แบบ PTC และ NTC เทอร์มิสเตอร์ที่จะศึกษานี้เป็นแบบ NTC เทอร์มิสเตอร์แบบนี้จะมี NTCR สูง NTCR ย่อมาจากสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบ (negative temperature coefficient of resistance) หรือค่า  $\alpha$  (A.J. Moulson and J.M. Herbert, 1990)

ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ที่มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในขณะอุณหภูมิเปลี่ยนไปเกิดจากผลของลักษณะสมบัติอินทรินซิก (intrinsic characteristics)

สารที่ใช้ทำเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เป็นสารกึ่งตัวนำ(semiconductor) ลักษณะสมบัติเชิงไฟฟ้าของหัววัดถูกกำหนดโดยสูตร  $\rho = RA/L$  เมื่อ  $\rho$  เป็นสภาพต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ(material resistivity) R เป็นความต้านทาน(resistance) A เป็นพื้นที่ยังผล(effective area) และ L เป็นความหนาของสาร

สภาพต้านทานไฟฟ้า( $\rho$ )ขึ้นกับอุณหภูมิดังสมการ

$$\rho(T) = \rho_\alpha \exp(B/T)$$

เมื่อ  $\rho(T)$  เป็นสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ  $T$  โดย  $\rho_\alpha$  เป็นค่าคงที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ และ  $B$  เป็นค่าคงที่ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับพลังงานที่ใช้ไปเพื่อให้อิเล็กตรอนนำกระแส เมื่อทำการหาอนุพันธ์ของสมการบนจะได้  $\alpha$  ซึ่งเป็นค่า NTCR

$$\alpha = \frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT}$$

สภาพการนำไฟฟ้าของสารเกี่ยวข้องกับอิเล็กตรอนและอิออนบวก-ลบของอะตอมและเกี่ยวข้องกับช่องว่างแถบพลังงานของสาร

ตัวอย่างสูตรของสารสำหรับเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ได้แก่  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnCr}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MgCr}_2\text{O}_4$ ,  $(\text{NiMn})_3\text{O}_4$ ,  $(\text{NiMnCo})_3\text{O}_4$ ,  $(\text{NiMnFeCo})_3\text{O}_4$ ,  $(\text{Fe,Ti})_2\text{O}_3$ ,  $\text{Mn}_x\text{Co}_{3-x}\text{O}_4$ ,  $0.56\text{MnO} + 0.08\text{CoO} + 0.16\text{NiO} + 0.20\text{CuO}$ , (Relva C. Buchanan, 1991)

เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC สามารถนำไปประยุกต์ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิ(temperature sensor), หัววัดการไหลของความร้อน(heat flow sensor), หัววัดการแผ่รังสี(radiation sensing sensor), หัววัดสุญญากาศ(vacuum gauge), หัววัดความดัน(pressure gauge)และหัววัดการชดเชยอุณหภูมิ(temperature compensation sensor) (Relva C. Buchanan, 1991)

ผลการตรวจเอกสารวิจัยในต่างประเทศ มีดังนี้

F. A. S. SOLIMAN ได้ศึกษาเทอร์มิสเตอร์ในทางการค้าซึ่งเตรียมมาจากส่วนผสมของ  $\text{NiO}$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  และ  $\text{Co}_2\text{O}_3$  แล้ววัดความต้านทานของสารที่อุณหภูมิต่างๆ (F. A. S. SOLIMAN, 1993)

M. L. MARTINEZ SARRION ได้เตรียม  $\text{Fe}_{2.18}\text{Mn}_{0.21}\text{Ni}_{0.81}\text{O}_4$  ซึ่งเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC สารสูตรนี้อยู่ในกลุ่มเฟอร์ไรต์ วัดสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ส่วนผสมต่างๆ ศึกษาเสถียรภาพทางไฟฟ้า(electrical stability)โดยการวัดวัดการแปรค่าความต้านทานกับเวลา (M. L. MARTINEZ SARRION, 1995)

จากการตรวจเอกสารพบว่ามีผู้ทดลองเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC กันน้อย ผู้วิจัยได้ทดลองด้วยตนเองในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุพบสารแบบ NTC หลายสาร

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการเตรียมสาร  $\text{MnO}+0.4\text{CuO}$  โดยวิธีเทคนิคเซรามิกส์มาตรฐาน วัดปริมาณทางฟิสิกส์ในวงจรไฟตรงและไฟสลับ วัดความต้านทานของสารที่อุณหภูมิต่างๆ ทดสอบการวัดอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์โดยมีการสร้างวงจรสำหรับทดสอบสารและให้สารที่เตรียมทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิ

#### วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

##### 1) เตรียมสาร

##### วัสดุอุปกรณ์

เครื่องชั่ง กระจกป้องกันพลาสติก ครก ขวดหมุนผสมสาร พิวเอ(PVA) น้ำกลั่น ภาชนะผสม เครื่องอัดสาร(RIHK 25 tons)

เตาหลอมสาร(HEYTECH 25P)

##### วิธีการ

เตรียมสารโดยวิธีเทคนิคเซรามิกส์มาตรฐาน(Standard ceramic techniques) เริ่มจากสารเป็นผงในขวดคำนวณน้ำหนัก ซึ่งผงของสาร หมุนผสมสารด้วยเครื่องหมุน หยอดพิวเอผสมน้ำ อัดเป็นก้อน เผาสองครั้งที่  $500^\circ\text{C}$  และ  $900^\circ\text{C}$

## 2) ซึ่บ่งลักษณะของสารด้วยเครื่อง XRD

### วัสดุอุปกรณ์

เครื่อง XRD (Philips PW3710)

### วิธีการ

นำก้อนสารที่ผ่านการเผาไปถ่ายด้วยเครื่อง XRD เพื่อดูเฟสของสาร

## 3) วัดสมบัติเชิงฟิสิกส์ขั้นต้น

### 3.1) ปริมาณฟิสิกส์ในวงจรไฟตรง

### วัสดุอุปกรณ์

กาวเงิน เต้าไฟฟ้า Fluke 45 Dual Display Multimeter

### วิธีการ

ทำซ้ำด้วยกาวเงินซึ่งทำได้โดยผสมเงินกับกาว ทาบนผิวของสารแล้วอบด้วยเต้าไฟฟ้าอุณหภูมิ  $120^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นก็วัดความต้านทานไฟฟ้า(R)ด้วย

### 3.2) ปริมาณเชิงฟิสิกส์ในวงจรไฟสลับ

### วัสดุอุปกรณ์

ไมโครมิเตอร์ LCR Meter (HP 4263B)

### วิธีการ

วัดความหนาและเส้นผ่าศูนย์กลาง ใช้เครื่อง LCR Meter (HP 4263B) วัด  $Z, G, C, D, Q$  vs  $f$  (Figure 1)  $Z$  เป็นอิมพีแดนซ์(impedance)  $G$  เป็นความนำไฟฟ้า(conductance)  $C$  เป็นความจุไฟฟ้า(capacitance)  $D$  เป็นตัวประกอบการสูญเสีย(dissipation factor)  $Q$  เป็นตัวประกอบคุณภาพ(quality factor)

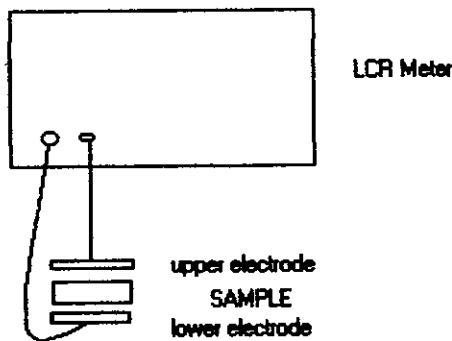


Figure 1.  $Z, G, C, D$  and  $Q$  measurements by LCR Meter

## 4) วัดความต้านทานของสารที่อุณหภูมิต่างๆ

### วัสดุอุปกรณ์

เต้าไฟฟ้า Fluke 45 Dual Display Multimeter เครื่องวัดอุณหภูมิ (Union 305)

### วิธีการ

จัดชุดทดลองตามรูป วัดความต้านทานที่อุณหภูมิต่างๆ (Figure 2) ในการทดลองนี้ได้วัดความต้านทานที่อุณหภูมิต่างๆของเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในทางการค้าด้วย

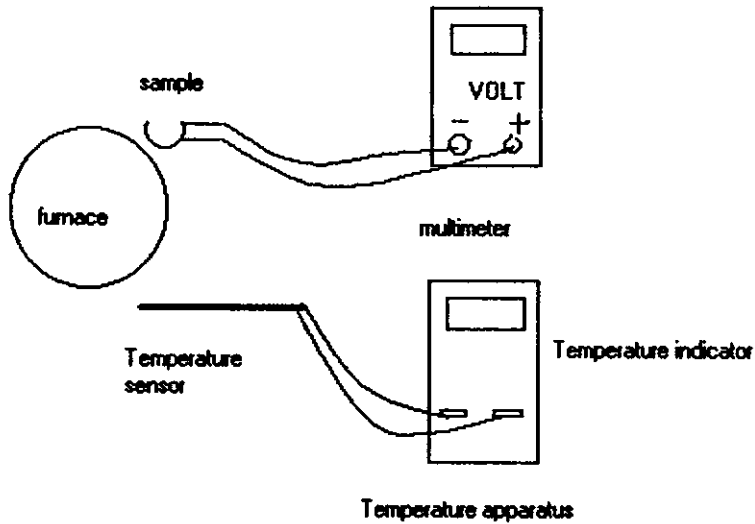


Figure 2. resistance measurement at different temperature

5) ทดสอบสารเป็นหัววัดอุณหภูมิ

วัสดุอุปกรณ์

เครื่องวัดอุณหภูมิ (Union 305) คอมพิวเตอร์ 80386SX โปรแกรมเทอร์โมพลาสติก ET-PC8255 Card แผงวงจร ADC0809 มัลติมิเตอร์ (Triplet 2202)

วิธีการ

จัดชุดทดลองดังรูป (Figure 3) เขียนโปรแกรมควบคุมการอ่านอุณหภูมิ วัดความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องวัดจริง (T) กับแรงดันอนาลอกที่ตกคร่อมสาร (AV) หลังจากนั้นวัดเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องวัดจริง (Ttrue) กับอุณหภูมิจากเครื่องที่สร้างขึ้น (Tmeasure)

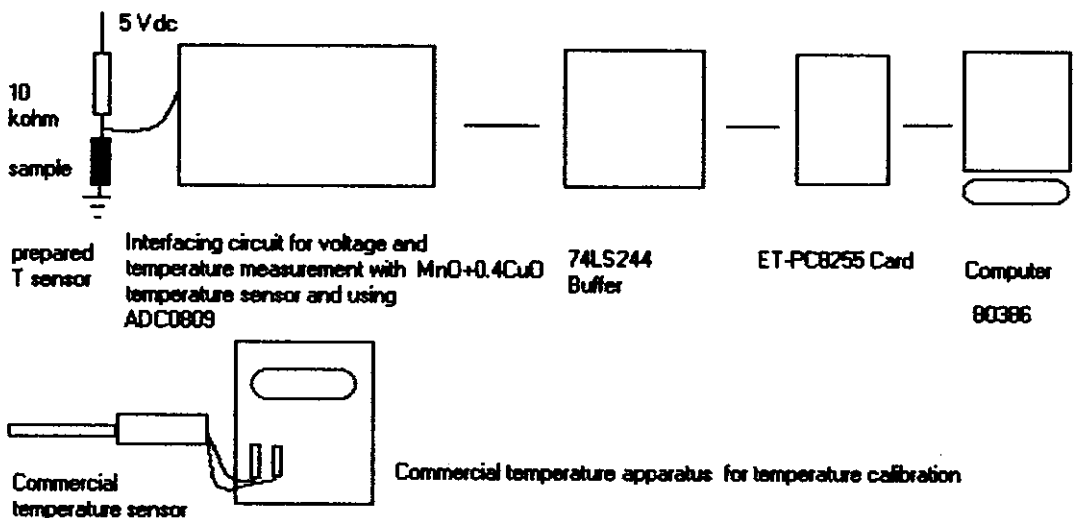


Figure 3(a) Interfacing circuit with computer's preparation for temperature measurement by using MnO+0.04CuO 's sensor

TEMPERATURE MEASUREMENT EXPERIMENT

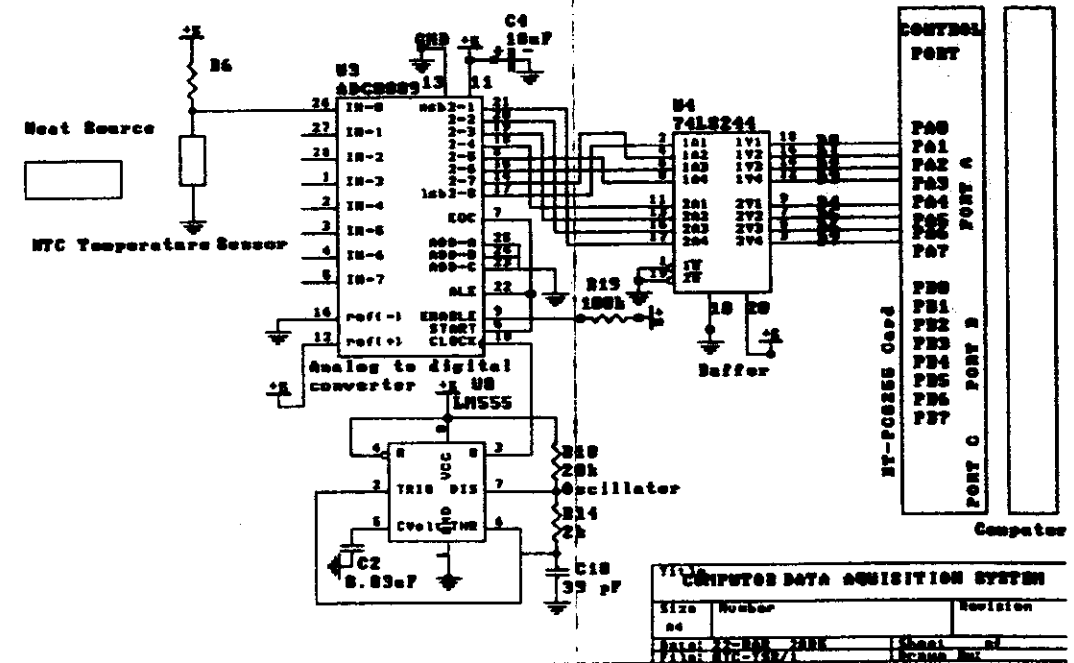


Figure 3(b) Interfacing circuit with computer's preparation for temperature measurement by using  $MnO+0.04CuO$ 's sensor

ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1) ผลการเตรียมสาร

ได้สารก้อนรูปจาน สีดำ ความหนาและเส้นผ่าศูนย์กลางมี 0.4 mm และ 10.1 mm ตามลำดับ

2) ผลการบ่งลักษณะของสารด้วยเครื่อง XRD

ภาพถ่าย XRD แสดงในรูป (Figure 4)

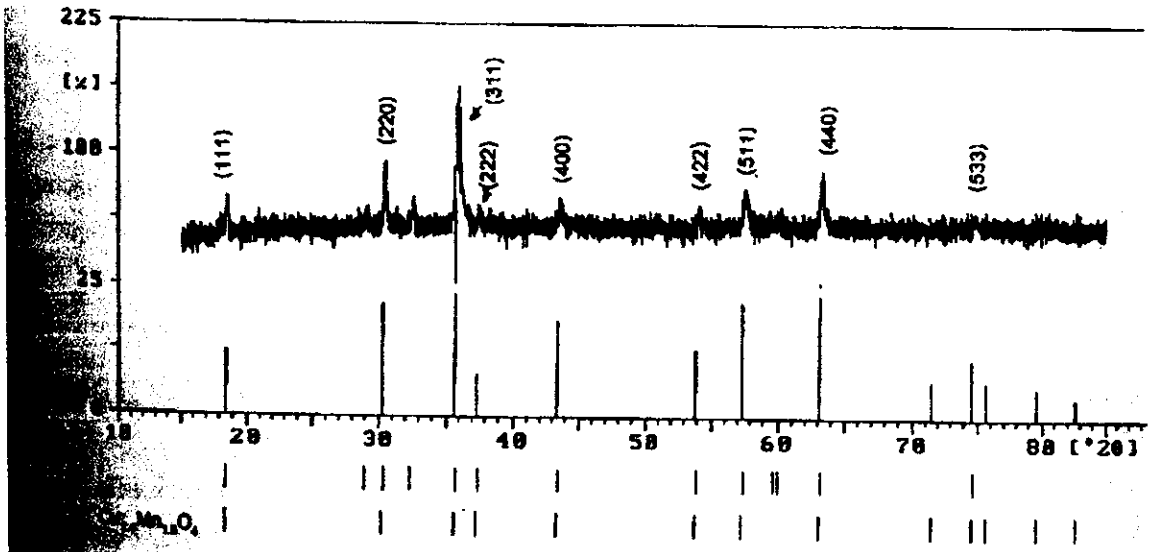


Figure 4. X-ray diffraction pattern for  $MnO+0.04CuO$

### 3) ผลการวัดสมบัติเชิงฟิสิกส์ขั้นต้น

สารมีความต้านทานในวงจรไฟฟ้าตรงเท่ากับ  $R = 4.26 \text{ k}\Omega$  กราฟความสัมพันธ์ของ  $Z, G, C, D, Q$  vs  $f$  ในวงจรไฟฟ้าสลับแสดงในรูป (Figure 5, 6, 7, 8, 9)

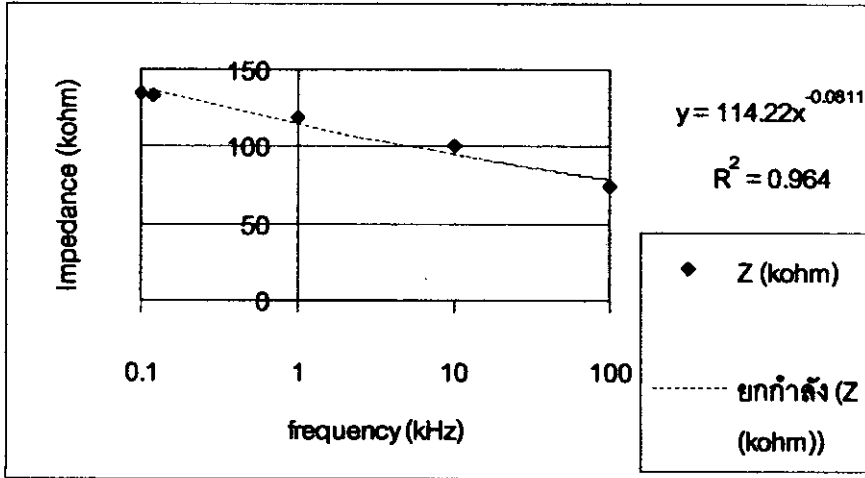


Figure 5. Impedance vs frequency

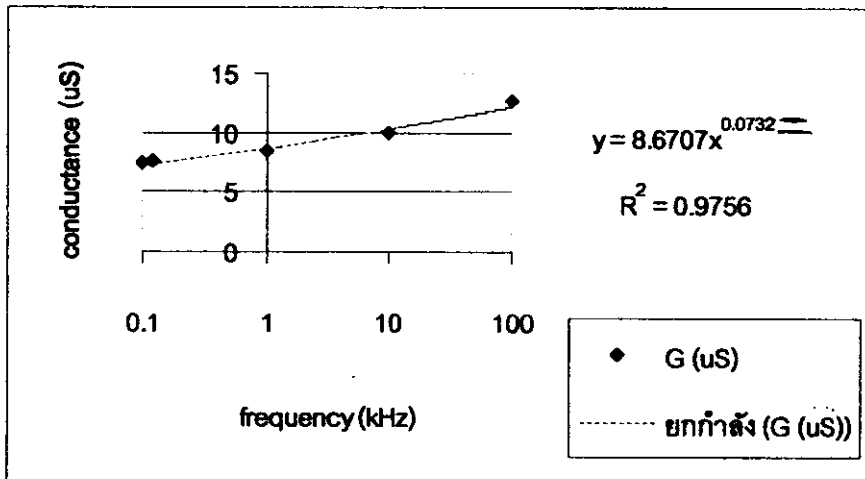


Figure 6. Conductance vs frequency

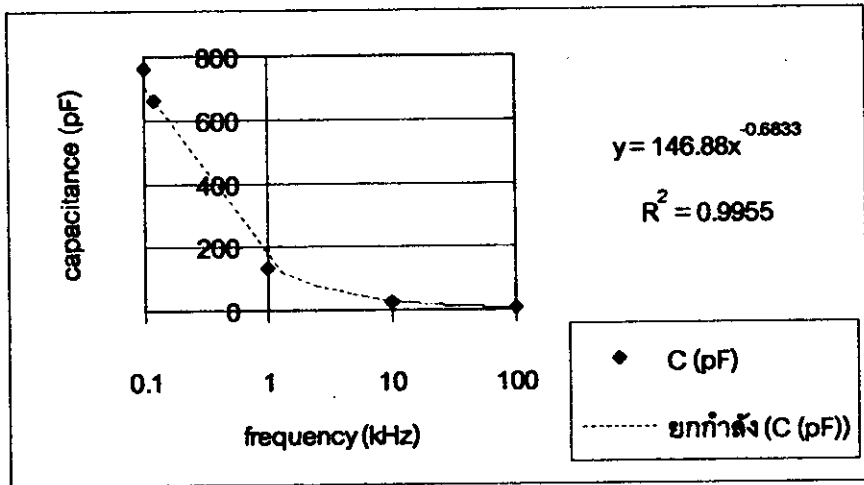


Figure 7. Capacitance vs frequency

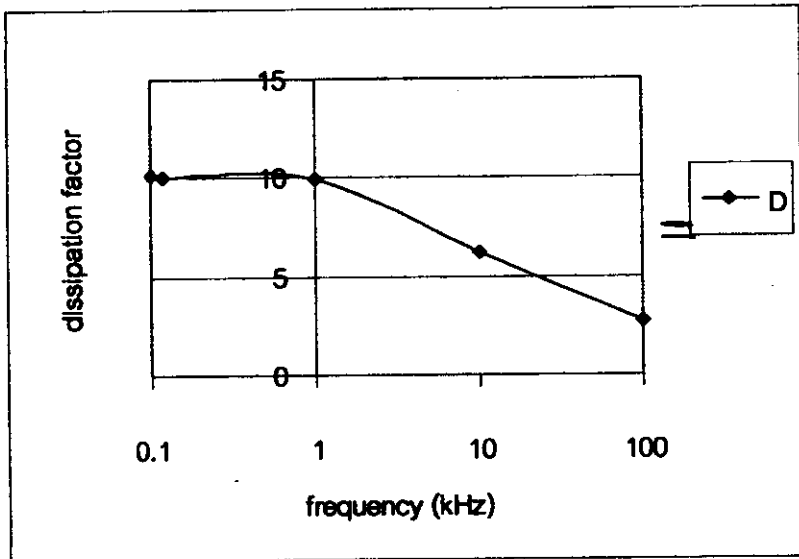


Figure 8. Dissipation factor vs frequency

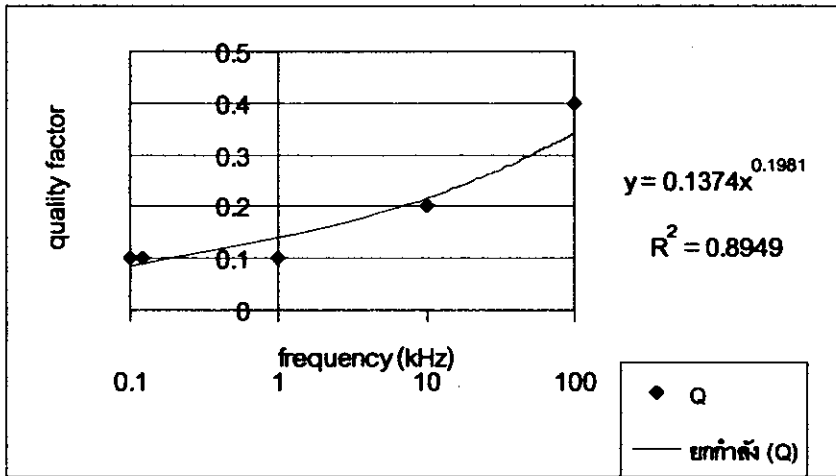


Figure 9. Quality factor vs frequency

ผลการวัดพบว่าเมื่อความถี่เพิ่มขึ้นอิมพีแดนซ์และความจุไฟฟ้ามีค่าลดลง แต่ความนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น ตัวประกอบการสูญเสียมีค่าน้อยที่ความถี่ 100 kHz ตัวประกอบคุณภาพมีค่ามากกว่าความถี่ 100 kHz ปริมาณเชิงฟิสิกส์ในวงจรไฟลต์สลับนี้สามารถนำไปใช้ในการออกแบบสำหรับกรณีนี้ให้สารอยู่ในวงจรไฟลต์สลับที่ความถี่ต่างๆ

#### 4) ผลการวัดความต้านทานของสารที่อุณหภูมิต่างๆ

ความต้านทานที่อุณหภูมิต่างๆของสารที่เตรียมแสดงในรูป (Figure 10) ส่วนความต้านทานที่อุณหภูมิต่างๆของเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในทางการค้า (Figure 11)

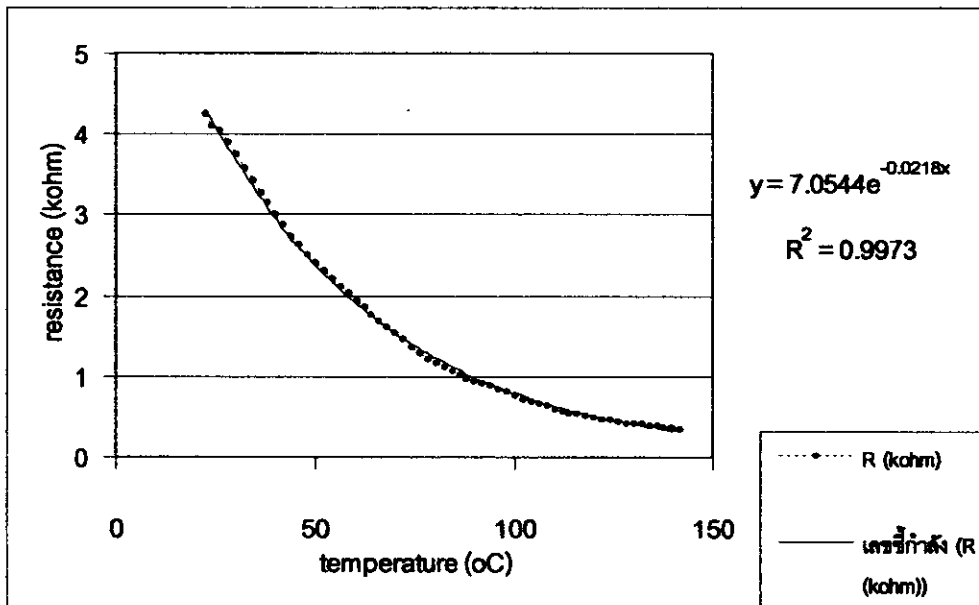


Figure 10. resistance vs temperature for MnO+0.4CuO



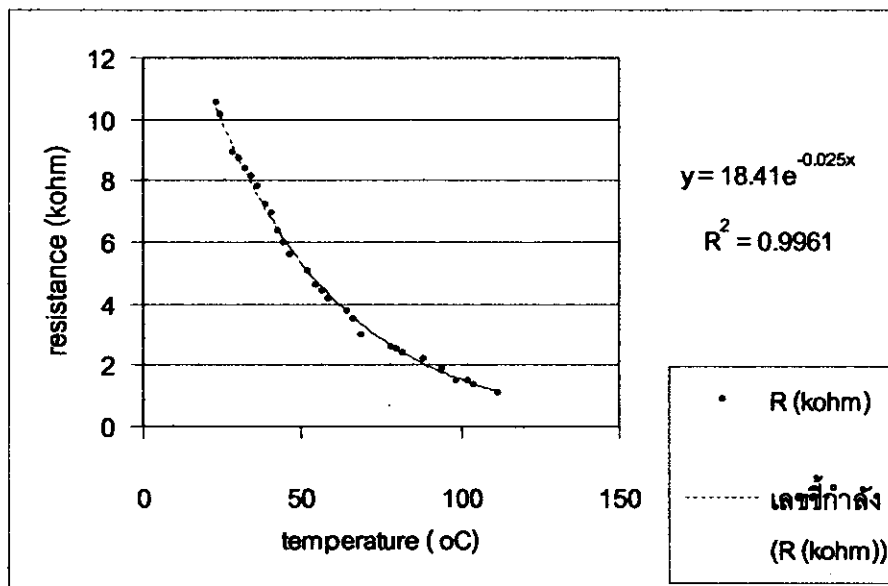


Figure 11. resistance vs temperature for commercial thermistor

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิของสาร  $MnO+0.4CuO$  มีลักษณะคล้ายกับเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในทางการค้า สาร  $MnO+0.4CuO$  จึงสามารถนำไปสร้างเป็นหัววัดอุณหภูมิ

### 5) ผลการทดสอบสารเป็นหัววัดอุณหภูมิ

ผลการทดสอบแสดงในรูป (Figure 12, 13, 14) รูป 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องจริง(T)กับแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมสาร(AV) ดังสมการ  $T = 34.222 \cdot AV^2 - 232.73 \cdot AV + 422.51$

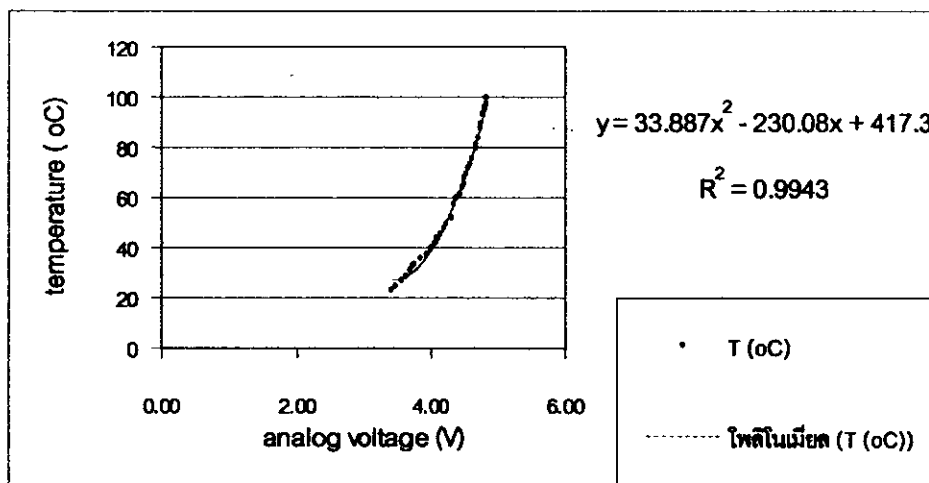


Figure 12 temperature vs analog voltage

ผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องจริง(Ttrue)กับอุณหภูมิจากเครื่องสร้าง(Tmeasure)  
 แสดงดังรูป 13 เปรียบเห็นถึงความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องจริงกับอุณหภูมิจากเครื่องสร้างแสดงดังรูป 14

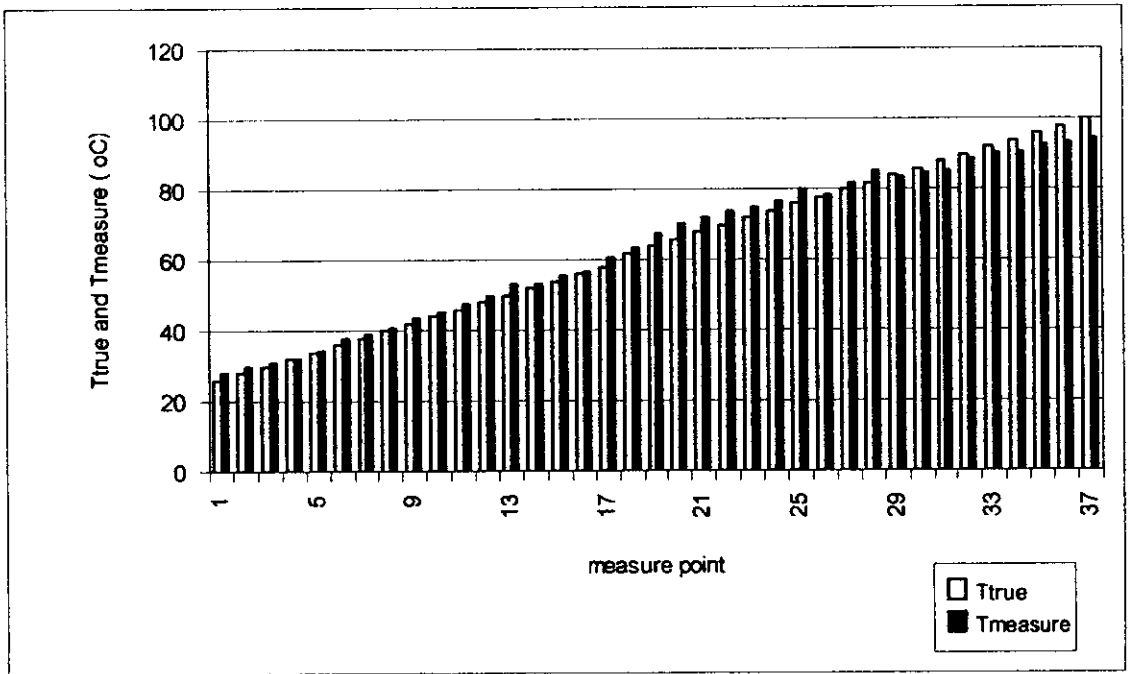


Figure 13 comparison between true temperature(Ttrue) and measure temperature(Tmeasure)

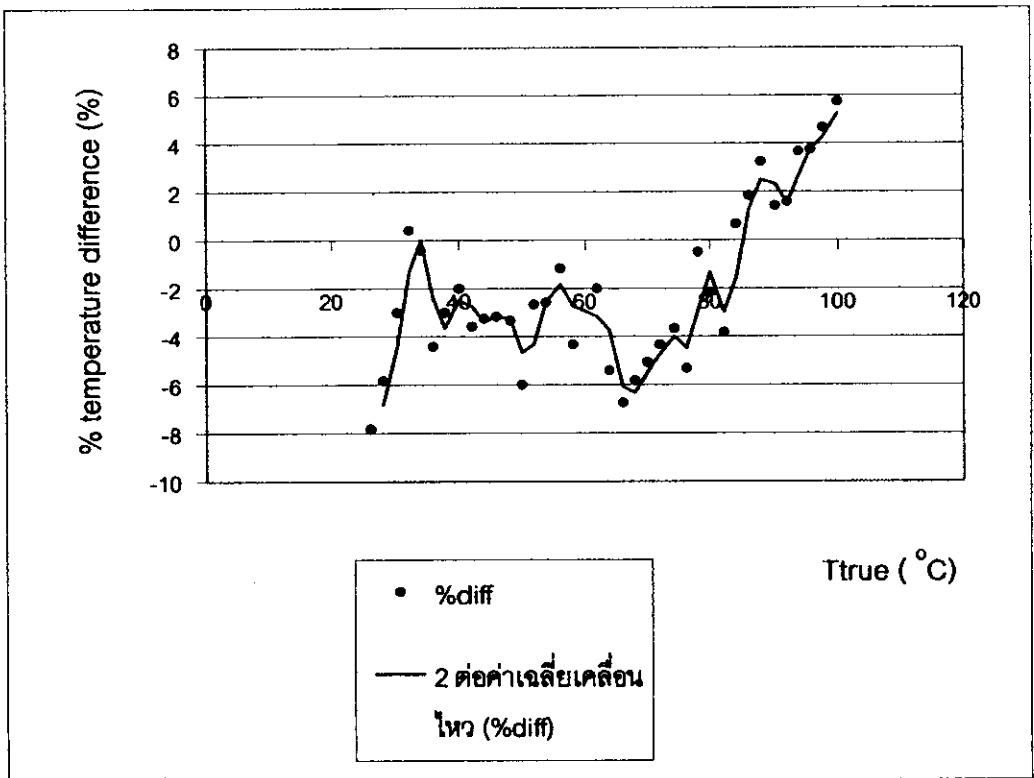


Figure 14 Relation between % temperature difference and True temperature(Ttrue) from commercial thermistor

เมื่อพิจารณาจากรูปพบว่าอุณหภูมิจากเครื่องจริงกับอุณหภูมิจากเครื่องสร้างมีเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างอยู่ในช่วง  $-7.85^{\circ}\text{C}$  ถึง  $+5.74^{\circ}\text{C}$  (Figure 14) สาร  $\text{MnO}+0.4\text{CuO}$  มีลักษณะเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบเอ็นทีซีสามารถนำไปวัดอุณหภูมิในช่วง  $26^{\circ}\text{C}$  ถึง  $100^{\circ}\text{C}$

#### สรุปผลการทดลอง

สารที่เตรียมได้มีลักษณะเป็นก้อนรูปจานที่มีความหนาและเส้นผ่าศูนย์กลาง  $0.4\text{ mm}$  และ  $10.1\text{ mm}$  ความต้านทานไฟตรงที่อุณหภูมิห้อง  $4.26\text{ k}\Omega$  ค่า  $Z, G, C$  ที่ความถี่  $f$  ต่างๆมีค่าดังสมการ  $Z = 114.22f^{0.0811}$ ,  $G = 8.6707f^{0.0732}$  และ  $C = 146.88f^{0.6833}$  ค่าต่ำสุดของ  $D$  อยู่ที่ความถี่  $100\text{ kHz}$  แสดงถึงสารมีการสูญเสียพลังงานในสนามไฟฟ้าสลับน้อยที่ความถี่นี้ ค่าสูงสุดของ  $Q$  อยู่ที่ความถี่  $100\text{ kHz}$  แสดงถึงสารแสดงสมบัติเชิงไฟฟ้าได้ดีที่ความถี่นี้ ค่าของ  $Z, G, C, D, Q$  ที่ความถี่  $f$  ต่างๆนี้เป็นข้อมูลสำคัญสำหรับกรณีที่น่าสารนี้ไปใช้งานในวงจรไฟฟ้าในช่วงความถี่  $100\text{ Hz}$  ถึง  $100\text{ kHz}$  เมื่อพิจารณาจากค่า  $D$  และ  $Q$  พบว่าสารน่าจะทำงานได้ดีที่ความถี่  $100\text{ kHz}$  ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่ทำมาจากสารที่เตรียมและเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในทางการค้าที่อุณหภูมิต่างๆ แสดงดังสมการ  $R = 7.0544e^{-0.0218T}$  (sample's thermistor) และ  $R = 18.01e^{-0.025T}$  (commercial thermistor) ความต้านทานของสารลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น สารมีความไวต่อการตอบสนองต่ออุณหภูมิจึงเหมาะสำหรับทำเป็นหัววัดอุณหภูมิ สารที่เตรียมและระบบการอ่านอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์เป็นผลการทดลองในช่วง  $26^{\circ}\text{C}$  ถึง  $100^{\circ}\text{C}$  โดยมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนการวัดอยู่ในช่วง  $-7.85^{\circ}\text{C}$  ถึง  $+5.74^{\circ}\text{C}$

#### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการงานนักศึกษาระดับปริญญาโทของภาควิชาฟิสิกส์ ทุนทำงานแลกเปลี่ยนและทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ประจำปี 2542-44 งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์จากห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ หน่วยเครื่องมือกลาง ศูนย์เครื่องมือกลางและทุน STDB

#### เอกสารอ้างอิง

- Buchanan Relva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, second edition, Merce Dekker Inc., New York.
- Martinez Sarrion, M. L., 1995. J. Mat. Sci. 30 : 2610-2615.
- Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.
- Soliman F. A. S., 1993. J. Mat. Sci. : Mat. In Elec. 4 : 293-300.

การเตรียมและทดสอบสาร  $\text{SnO}_2$  สำหรับใช้งานเป็นหัววัดอุณหภูมิในย่านอุณหภูมิห้องถึง  $-131^{\circ}\text{C}$   
Preparation and testings of  $\text{SnO}_2$  for temperature sensor application in room temperature to  $-131^{\circ}\text{C}$  interval

ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ<sup>1</sup>, วราภรณ์ อนันตพรพาณิชย์<sup>2</sup>, กิ่งกานต์ เปาะทอง<sup>3</sup>,  
ศิริรัตน์ รักเวช<sup>4</sup>, พิภูล ราชพลแสน<sup>5</sup>

#### บทคัดย่อ

เตรียมสารโดยวิธีเทคนิคเซรามิกส์มาตรฐานโดยมีอุณหภูมิการเผาสองครั้งเป็น  $900^{\circ}\text{C}$  และ  $1100^{\circ}\text{C}$  ก้อนสารที่ได้เป็นรูปจานโดยมีหัวไฟฟ้าทำจากกาวเงิน ภาพถ่าย XRD พบสาร  $\text{SnO}_2$  เมื่อวัดความต้านทานของ  $\text{SnO}_2$  ในย่านอุณหภูมิ  $22^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-131^{\circ}\text{C}$  แล้วให้เขียนตารางตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิของ  $\text{SnO}_2$  ย่าน  $22^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-100^{\circ}\text{C}$  คือ  $R = 3.577e^{-0.0354T}$

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิของ  $\text{SnO}_2$  ย่าน  $-102^\circ\text{C}$  ถึง  $-131^\circ\text{C}$  คือ  $R = 0.0036e^{-0.1039T}$  การใช้งานของหัววัดอุณหภูมินี้ทำได้โดยการนำสารไปปรับความร้อน อ่านความต้านทานของสาร แปลงความต้านทานเป็นอุณหภูมิโดยอาศัยตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองนี้

<sup>1</sup>รองศาสตราจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ. หาดใหญ่ 90112

<sup>3,4</sup>นักศึกษา ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อ. หาดใหญ่ 90112

<sup>2,5</sup>นักศึกษา ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จ. สงขลา 90112

## คำนำ

ในปี 1833 ฟาราเดย์(Faraday)ได้ค้นพบและรายงานเกี่ยวกับพฤติกรรมกึ่งการนำไฟฟ้า(semiconducting behaviour)ของ  $\text{Ag}_2\text{S}$  หัววัดอุณหภูมิที่ทำมาจากเซรามิกส์ที่ใช้ในทางการค้าเริ่มในปี 1940 และมีการผลิตเป็นอุตสาหกรรมกันอย่างกว้างขวางในปี 1950-1960 (Buchanan Relva, C., 1991)

เทอร์มิสเตอร์ คือ ตัวต้านทานที่มีความต้านทานเปลี่ยนแปลงในขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนไป เทอร์มิสเตอร์เป็นตัวต้านทานที่ไวต่อความร้อน(thermally sensitive resistor)ซึ่งมีชื่อย่อเป็น TSR เทอร์มิสเตอร์(thermistor)มี 2 ประเภทคือ แบบ PTC และ NTC เทอร์มิสเตอร์ที่จะศึกษานี้เป็นแบบ NTC เทอร์มิสเตอร์แบบนี้จะมี NTCR สูง (Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990) NTCR ย่อมาจากสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานที่เป็นลบ(negative temperature coefficient of resistance)หรือค่า  $\alpha$  ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ที่มีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนไปเกิดจากผลของลักษณะสมบัติอินทรินซิก(intrinsic characteristics)

สารที่ใช้ทำเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เป็นสารกึ่งตัวนำ(semiconductor) ลักษณะสมบัติเชิงไฟฟ้าของหัววัดถูกกำหนดโดยสูตร  $\rho = RA/L$  เมื่อ  $\rho$  เป็นสภาพต้านทานไฟฟ้าของวัสดุ(material resistivity)  $R$  เป็นความต้านทาน(resistance)  $A$  เป็นพื้นที่ขั้วผล(effective area) และ  $L$  เป็นความหนาของสารสภาพต้านทานไฟฟ้า( $\rho$ )ขึ้นกับอุณหภูมิดังสมการ

$$\rho(T) = \rho_\alpha \exp(B/T)$$

เมื่อ  $\rho(T)$  เป็นสภาพต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ  $T$  โดย  $\rho_\alpha$  เป็นค่าที่ไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ และ  $B$  เป็นค่าคงที่ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับพลังงานที่ใช้ไปเพื่อให้อิเล็กตรอนนำกระแส เมื่อทำการหาอนุพันธ์ของสมการบนจะได้จะได้  $\alpha$  ซึ่งเป็นค่า NTCR

$$\alpha = 1/\rho \frac{d\rho}{dT}$$

$$\rho \frac{d\rho}{dT}$$

สภาพการนำไฟฟ้าของสารเกี่ยวข้องกับอิเล็กตรอนและไอออนบวก-ลบของอะตอมและเกี่ยวข้องกับช่องว่างแถบพลังงานของสาร

ตัวอย่างสูตรของสารสำหรับเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ได้แก่  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-ZnCr}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MgCr}_2\text{O}_4$ ,  $(\text{NiMn})_3\text{O}_4$ ,  $(\text{NiMnCo})_3\text{O}_4$ ,  $(\text{NiMnFeCo})_3\text{O}_4$ ,  $(\text{Fe,Ti})_2\text{O}_3$ ,  $0.56\text{MnO} + 0.08\text{CoO} + 0.16\text{NiO} + 0.20\text{CuO}$ ,  $\text{Mn}_x\text{Co}_{3-x}\text{O}_4$  (Buchanan Relva, C., 1991)

เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC สามารถนำไปประยุกต์ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิ(temperature sensor, หัววัดการไหลของความร้อน(heat flow sensor), หัววัดการแผ่รังสี(radiation sensing sensor), หัววัดสุญญากาศ(vacuum gauge), หัววัดความดัน(pressure gauge)และหัววัดการชดเชยอุณหภูมิ(temperature -compensation sensor)

### ผลการตรวจเอกสารวิจัยในต่างประเทศ มีดังนี้

F. A. S. SOLIMAN (5) ได้ศึกษาเทอร์มิสเตอร์ในทางการค้าซึ่งเตรียมมาจากส่วนผสมของ NiO, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> และ Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub> แล้ววัดความต้านทานของสารที่อุณหภูมิต่างๆ

M. L. MARTINEZ SARRION (2) ได้เตรียม Fe<sub>2.18</sub>Mn<sub>0.21</sub>Ni<sub>0.61</sub>O<sub>4</sub> ซึ่งเป็นเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC สารสูตรนี้อยู่ในกลุ่มเฟอร์ไรต์ วัดสภาพต้านทานไฟฟ้าที่ส่วนผสมต่างๆ ศึกษาเสถียรภาพทางไฟฟ้า (electrical stability) โดยการวัดอัตราการแปรค่าความต้านทานกับเวลา

R. RELLA (4) ได้เตรียม Os-doped tin oxide thin film วัด gas sensitivity  $S = (R_g - R_0)/R_0$  สำหรับก๊าซ CO และ H<sub>2</sub> จากการตรวจเอกสารพบว่ามีผู้ทดลองเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC กันน้อย ผู้วิจัยได้ทดลองด้วยตนเอง

ในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุพบสารแบบ NTC หลายสาร SnO<sub>2</sub> ที่ยังไม่เติมตัวได้ปลงไปเป็นตัวนำเซรามิกที่มีความต้านทานย่าน k $\Omega$  และช่องว่างแถบพลังงานที่อุณหภูมิ 0 K มีค่าประมาณ 3.7 eV ข้อมูลในห้องปฏิบัติการพบว่าความต้านทานของสารนี้ในย่านอุณหภูมิห้องจนถึงย่านไนโตรเจนเหลวสามารถวัดได้ด้วยมัลติมิเตอร์ ยังไม่พบผู้ทดลองสารสูตรนี้ให้ใช้งานเป็นหัววัดอุณหภูมิในย่านต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง (Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990)

วัตถุประสงค์เพื่อเตรียมสาร SnO<sub>2</sub> ด้วยวิธีเทคนิคเซรามิกส์มาตรฐาน วัดความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิแล้วทำตารางการแปลงความต้านทานเป็นอุณหภูมิสำหรับใช้งานหัววัดอุณหภูมิในย่านอุณหภูมิห้องถึง -131 °C

### อุปกรณ์และวิธีการ

1) เตรียมสาร ซึ่งบ่งลักษณะของสารด้วยเครื่อง XRD และทำขั้วไฟฟ้า

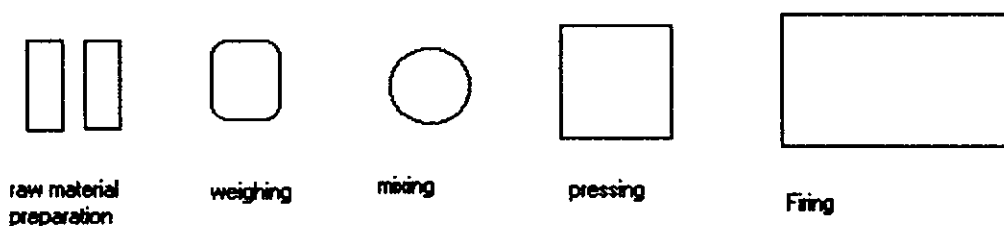
#### วัสดุอุปกรณ์

เครื่องชั่ง กระเบื้องพลาสติก ครก ขวดหมุนผสมสาร พีวีเอ น้ำกลั่น เบ้าอัดสาร เครื่องอัดสาร (RIIK 25 tons) temperature controller (FCR-13A-R/M) thermocouple type K (CA) (model JB-35)

เครื่อง XRD (Philips PW3710)

#### วิธีการ

เตรียมสารโดยวิธีเทคนิคเซรามิกส์มาตรฐาน (Standard ceramic techniques) ดังแสดงในรูปที่ 1 เริ่มจากสารเป็นผงในขวด คำนวณน้ำหนัก ซึ่งผงของสาร หมุนผสมสารด้วยเครื่องหมุน หยอดพีวีเอผสมน้ำอัดเป็นก้อน นำสารไปเผาสองครั้งที่ 900 °C และ 1100 °C นำก้อนสารที่ผ่านการเผาไปถ่ายด้วยเครื่อง XRD เพื่อดูเฟสของสาร ทำขั้วด้วยกาวเงินซึ่งทำได้โดยผสมเงินกับกาว ทาบนผิวของสารแล้วอบด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 10 นาที



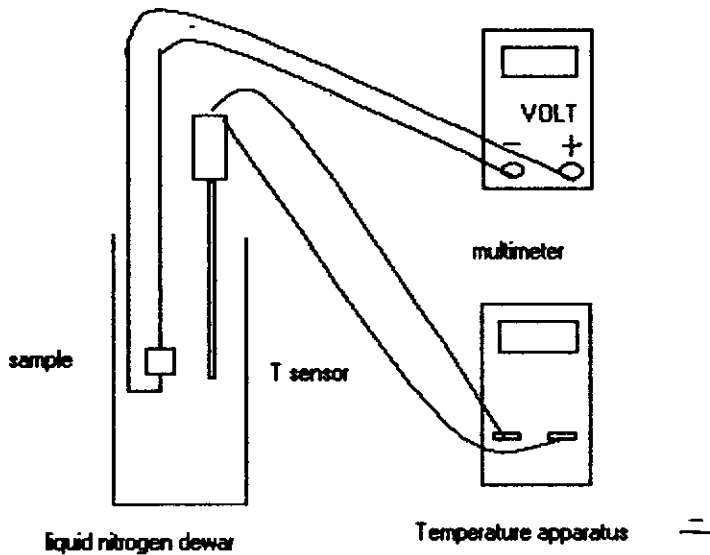
รูปที่ 1 แสดงการเตรียมก้อนสารโดยวิธีเทคนิคเซรามิกส์มาตรฐาน

2) ทดสอบ  $\text{SnO}_2$  สำหรับใช้งานเป็นหัววัดอุณหภูมิในย่านต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง  
วัสดุอุปกรณ์

ถังไนโตรเจนเหลว ไนโตรเจนเหลว Fluke 45 Dual Display Multimeter เครื่องวัดอุณหภูมิ (AVD M890C')

วิธีการ

จัดชุดทดลองดังแสดงในรูปที่ 2 วัดความต้านทานที่อุณหภูมิต่างๆ

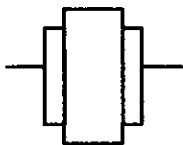


รูปที่ 2) แสดงการทดสอบ  $\text{SnO}_2$  เป็นหัววัดอุณหภูมิในย่านต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง

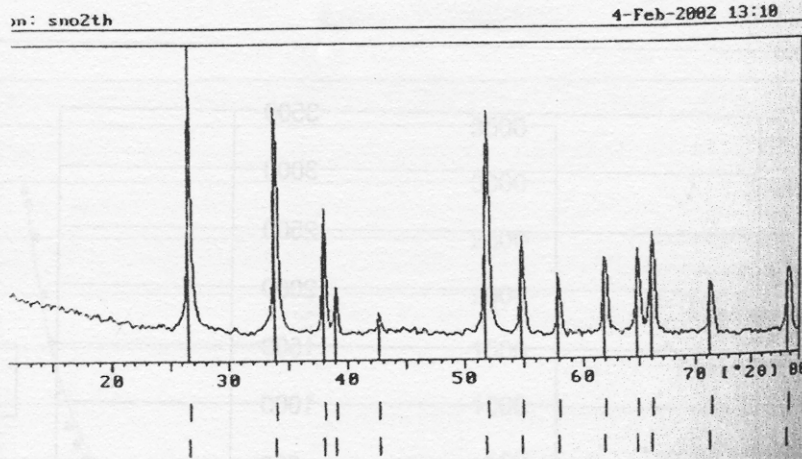
ผลการทดลองและวิจารณ์

1) ผลการเตรียมสาร ซึ่งบ่งลักษณะของสารด้วยเครื่อง XRD และทำขั้วไฟฟ้า

ได้ก้อนสารรูปจาน สารที่ทำขั้วไฟฟ้าแล้วแสดงในรูปที่ 3 ภาพถ่าย XRD ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3) แสดงสารที่ทำขั้วไฟฟ้าแล้ว



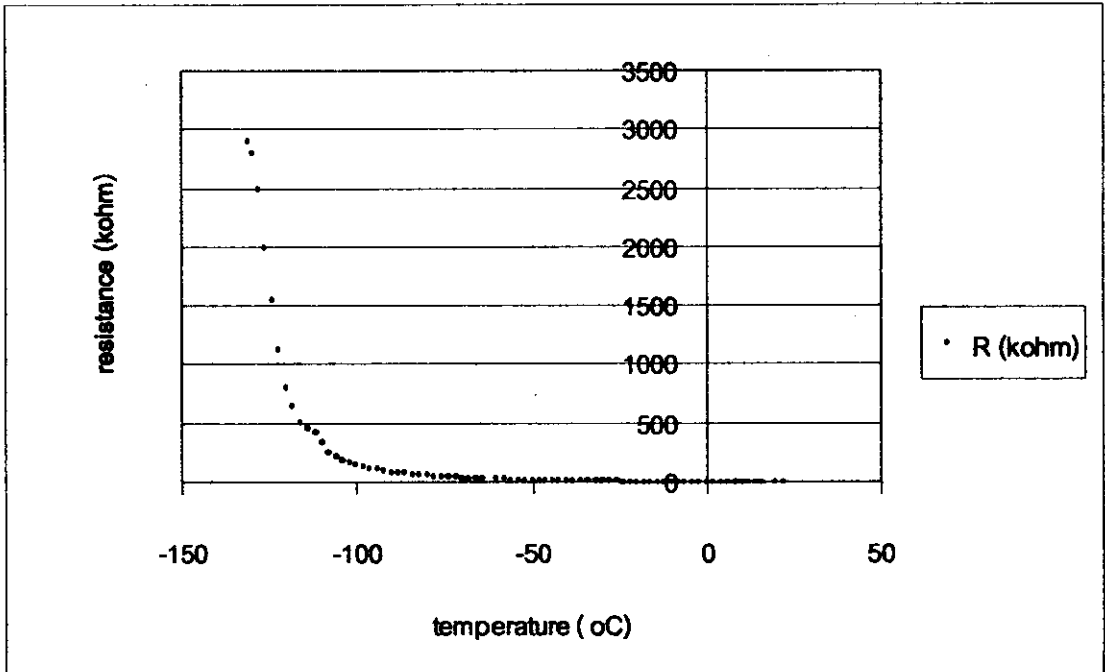
รูปที่ 4 แสดงภาพถ่ายการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสาร SnO<sub>2</sub>

## 2) ผลการทดสอบ SnO<sub>2</sub> เป็นตัววัดอุณหภูมิในย่านต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง

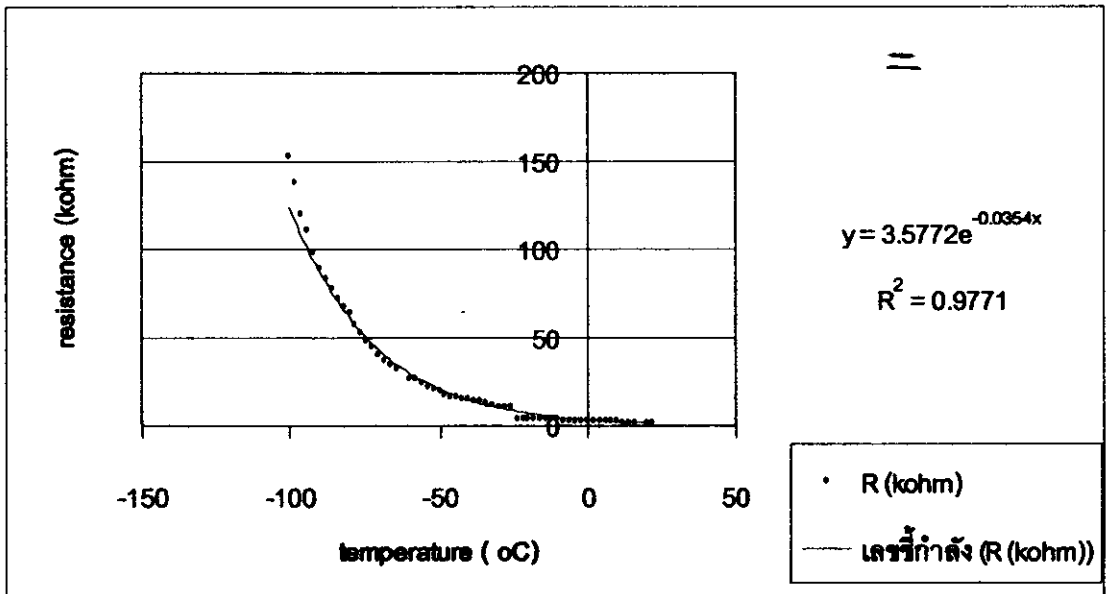
ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 5ก, 5ข และ 5ค

T ( oC)	R (kohm)	T ( oC)	R (kohm)	T ( oC)	R (kohm)	T ( oC)	R (kohm)	T ( oC)	R (kohm)	T ( oC)	R (kohm)
22	2.64	-6	3.83	-32	12.50	-58	26.90	-86	78.30	-112	420.00
20	2.67	-8	3.94	-34	13.90	-60	27.80	-88	84.00	-114	460.00
16	2.77	-10	4.10	-36	14.30	-64	33.50	-90	90.10	-116	520.00
14	2.79	-12	4.21	-38	15.10	-66	35.60	-92	98.30	-118	650.00
12	2.82	-14	4.32	-40	15.80	-68	37.70	-94	111.00	-120	800.00
10	2.99	-16	4.35	-42	16.30	-70	40.50	-96	121.00	-122	1130.00
8	3.07	-18	4.45	-44	17.10	-72	44.90	-98	139.00	-124	1560.00
6	3.13	-20	4.80	-46	17.50	-74	49.00	-100	153.00	-126	2000.00
4	3.18	-22	4.88	-48	18.10	-76	52.90	-102	175.00	-128	2500.00
2	3.36	-24	5.04	-50	20.00	-78	57.60	-104	195.00	-130	2800.00
0	3.42	-26	11.45	-52	21.40	-80	64.70	-106	217.00	-131	2900.00
-2	3.54	-28	11.63	-54	22.80	-82	68.70	-108	255.00		
-4	3.74	-30	11.80	-56	24.90	-84	72.50	-110	336.00		

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ

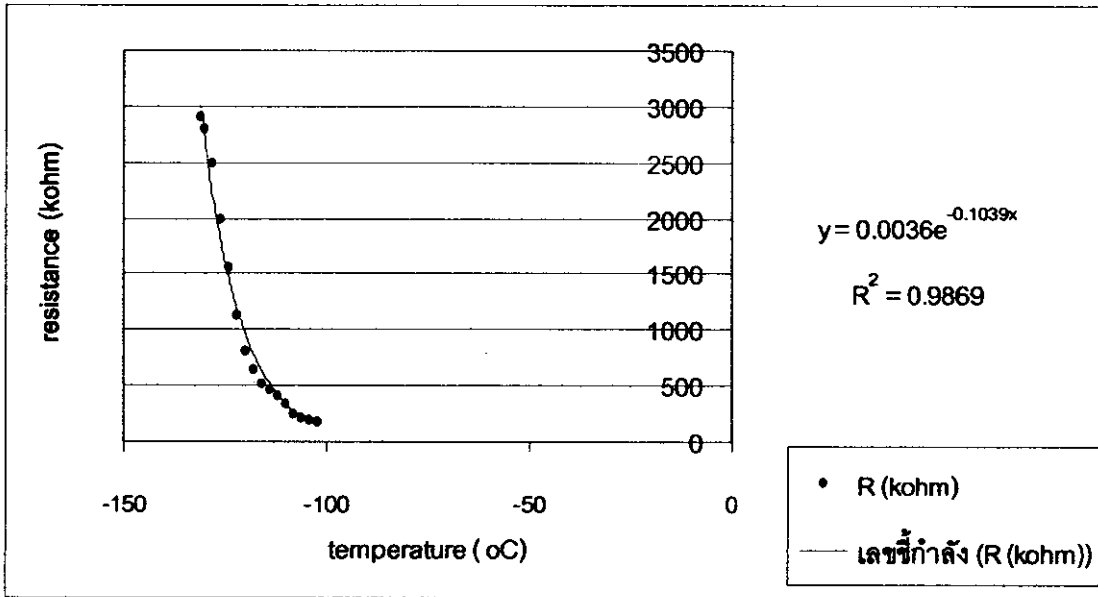


รูปที่ 5ก แสดงผลการทดสอบ SnO<sub>2</sub> เป็นหัววัดอุณหภูมิในย่านอุณหภูมิ 22 °C ถึง -131 °C



รูปที่ 5ข แสดงผลการทดสอบ SnO<sub>2</sub> เป็นหัววัดอุณหภูมิในย่านอุณหภูมิ 22 °C ถึง -100 °C





รูปที่ 5ค แสดงผลการทดสอบ SnO<sub>2</sub> เป็นหัววัดอุณหภูมิในย่านอุณหภูมิ -102 °C ถึง -131 °C

### สรุปผลการทดลอง

เตรียมสารโดยวิธีเทคนิคเซรามิกส์มาตรฐานโดยมีอุณหภูมิการเผาสองครั้งเป็น 900 °C และ 1100 °C ก่อนสารที่ได้เป็นรูปจานโดยมีขั้วไฟฟ้าทำจากกาวเงิน ภาพถ่าย XRD พบสาร SnO<sub>2</sub> เมื่อวัดความต้านทานของ SnO<sub>2</sub> ในย่านอุณหภูมิ 22 °C ถึง -131 °C แล้วให้เขียนตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิ ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิของ SnO<sub>2</sub> ย่าน 22 °C ถึง -100 °C แสดงดังสมการ

$$R = 3.577e^{-0.0354T}$$

ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับอุณหภูมิของ SnO<sub>2</sub> ย่าน -102 °C ถึง -131 °C แสดงดังสมการ

$$R = 0.0036e^{-0.1039T}$$

การเปลี่ยนแปลงความต้านทานมีลักษณะเดียวกันกับเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC การใช้งานของหัววัดอุณหภูมินี้ทำได้โดยการนำสารไปรับความร้อน อ่านความต้านทานของสาร แปลงความต้านทานเป็นอุณหภูมิโดยอาศัยตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานไฟฟ้ากับอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองนี้ เซรามิกส์ส่วนใหญ่มีความต้านทานสูงมากที่อุณหภูมิในโตนเจนเหลวซึ่งมีลติมิเตอร์ทั่วไปไม่สามารถอ่านค่าได้ แต่สำหรับ SnO<sub>2</sub> มีลติมิเตอร์ทั่วไปอ่านค่าได้ตั้งแต่อุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิในโตนเจนเหลว ดังนั้นสารนี้จึงเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ทำเป็นหัววัดอุณหภูมิในย่านอุณหภูมิต่ำ การทดลองนี้ได้วัดไปถึงอุณหภูมิต่ำเพียง -131 °C เนื่องจากขีดจำกัดของเครื่องวัดอุณหภูมิสำหรับการปรับเทียบค่า

### คำนิยาม

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการงานนักศึกษาระดับปริญญาโทของภาควิชาฟิสิกส์ ทุนทำงานแลกเปลี่ยนของ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ประจำปี 2544-45 งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือและอุปกรณ์จากห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ หน่วยเครื่องมือกลาง ศูนย์เครื่องมือกลางและทุน STDB

## เอกสารอ้างอิง

1. Buchanan Relva, C., 1991. Ceramic materials for electronics, second edition, Merce Dekker Inc., New York.
2. Martinez Sarrion, M. L., 1995. J. Mat. Sci. 30 : 2610-2615.
3. Moulson, A.J. and Herbert, J.M., 1990. Electroceramics, Chapman & Hall, London.
4. Rella, R., 1998. J. Appl. Phys. 83 (4), 15 Feb :369-2371.
5. Soliman, F. A. S., 1993. J. Mat. Sci. : Mat. In Elec. 4 : 293-300.

### 3.3 การให้เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ทำหน้าที่เป็นเทอร์มิสเตอร์

#### บทความ การให้เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เจริญการค้าทำหน้าที่เป็นเทอร์มิสเตอร์

#### ธงชัย พันธุ์เมธาฤทธิ์

Thongchai Panmatarith

ห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่ สงขลา 90112 ประเทศไทย

#### บทคัดย่อ

ได้ทดสอบโดยการให้เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เจริญการค้าทำหน้าที่เป็นเทอร์มิสเตอร์ด้วยคอมพิวเตอร์เป็นผลสำเร็จ

#### Abstract

Commercial NTC thermistor was tested for thermostat with computer successfully

M.Sc. (Solid State Physics), Assoc. Prof., Materials Physics Laboratory,

Department of Physics, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, 90112 Thailand.

Corresponding e-mail : tongchai.p@psu.ac.th

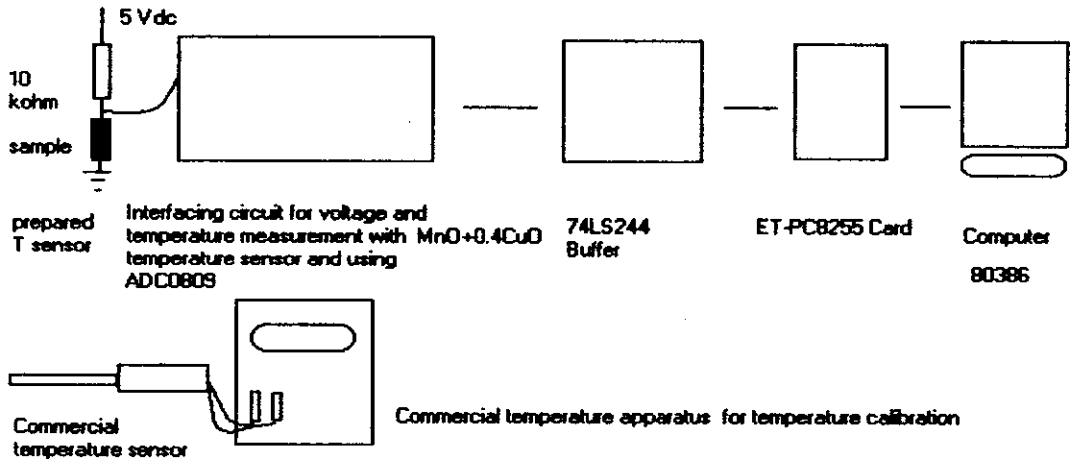
#### คำนำ

เทอร์มิสเตอร์ (thermistor) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่ให้คุณสมบัติแปรค่าในทางลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและในทางกลับกันเมื่ออุณหภูมิลดลง ค่าความต้านทานก็จะสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการแปรค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ไม่ได้เป็นเชิงเส้นตลอด ดังนั้นเทอร์มิสเตอร์บางแบบสามารถใช้ได้ถึงอุณหภูมิ 250 °C เท่านั้น ค่าความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์ที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 20 °C) มีค่าได้มากมายหลายค่าขึ้นอยู่กับเบอร์ของเทอร์มิสเตอร์และด้วยเหตุผลของการที่เทอร์มิสเตอร์เปลี่ยนแปลงค่ากับความต้านทาน เราจึงใช้งานเทอร์มิสเตอร์ได้อย่างกว้างขวางสำหรับให้ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิและเทอร์มิสเตอร์

Soliman (1993) ได้ศึกษาเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในทางการค้าซึ่งเตรียมมาจากส่วนผสมของ NiO, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> และ Co<sub>2</sub>O<sub>3</sub> แล้ววัดความต้านทานไฟฟ้าของสารที่อุณหภูมิต่างๆ Chanel (2000) ในประเทศฝรั่งเศส ได้เตรียมสาร Mn<sub>2.23-x</sub>Ni<sub>0.66</sub>Zn<sub>x</sub>O<sub>4</sub> ศึกษาสมบัติ NTC สำหรับประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม Lawton (2000) ในประเทศสหรัฐ ได้สร้างระบบควบคุมแบบหลายวงเพื่อสร้างเสถียรภาพของอุณหภูมิ ทำได้โดยควบคุมกำลังไฟฟ้าที่จ่ายไปยังตัวให้ความร้อนแบบขดลวด (coil heater) และใช้เทอร์มิสเตอร์ที่ต่อวงจรในรูปของ DC bridges เพื่อให้เกิดสัญญาณป้อนกลับ (feedback signals)

**วิธีการทดลอง**

จัดชุดทดลองดังรูป 3.3.1 เขียนโปรแกรมควบคุมการอ่านอุณหภูมิ วัดความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องวัดจริง(T)กับแรงดันอนาล็อกที่ตกคร่อมสาร(AV) นำความสัมพันธ์ T vs AV ใส่ในโปรแกรมที่เขียน หลังจากนั้นวัดเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องวัดจริง(Ttrue)กับอุณหภูมิจากเครื่องที่สร้างขึ้น(Tmeasure) เพื่อทดสอบว่าเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เจึงการค่าทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิได้ หลังจากนั้นจึงให้เทอร์มิสเตอร์นี้ทำหน้าที่เป็นเทอร์มิสเตอร์ต่อไป รายละเอียดการทำงานให้ดูได้ในโปรแกรม



รูปที่ 3.3.1 Interfacing circuit with computer's preparation for thermostat test with commercial NTC thermistor

**โปรแกรม การทดสอบเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC เจึงการค่าให้ทำหน้าที่เป็นเทอร์มิสเตอร์**

Program Thermostat\_Using\_Commercial\_NTC\_Thermistor\_2549; ชื่อโปรแกรม

```

Uses crt;      คำสั่งใช้จอ
Var   i, j, DV : integer;   กำหนดตัวแปรเป็นเลขจำนวนเต็ม
      AV, Ts, T : real;     กำหนดตัวแปรเป็นเลขจำนวนเต็ม
Const PA      = $0304;     address ของ port A
      Pcontrol = $0307;     address ของ port control
Begin         เริ่มต้นโปรแกรมหลัก
  Clrscr;     ล้างจอภาพ
  Port[Pcontrol] := $90;   ส่ง control word ไปที่ control port
  Gotoxy(14,1); writeln('THERMOSTAT USING COMMERCIAL NTC THERMISTOR 2549');
  Gotoxy(14,2); writeln('-----');
  Gotoxy(25,4); writeln('Setting Temperature = ', Ts:3:0);      แสดงอุณหภูมิที่จะตั้ง
  Gotoxy(50,4); writeln(' C');      แสดงหน่วยของอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส
  Gotoxy(47,4); readln(Ts);      ส่งให้รับค่าอุณหภูมิที่จะตั้งจาก key board
  Repeat     สั่งให้ทำซ้ำ
    Gotoxy(36,12); writeln('START');      แสดง START บนจอ
  
```

```

Gotoxy(29,15); writeln('reading Temperature');      แสดงอุณหภูมิที่อ่านได้บนจอ
DV:=port[PA];      สั่งให้อ่านแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม commercial NTC thermistor
Gotoxy(35,17); writeln('Digital Voltage (DV) ',DV:3, ' V');      เขียนค่า DV บนจอ
AV:=(5/255)*DV;      สั่งให้แปลงแรงดันดิจิทัลเป็นแรงดันอนาล็อก
Gotoxy(34,18); writeln('Analog Voltage (AV) ',AV:3:3, ' V');      เขียนค่า AV บนจอ
T:=258.01*exp(-0.8896*AV); ; {T=True}      สั่งให้แปลงแรงดันอนาล็อก AV ให้เป็นอุณหภูมิ T
Gotoxy(34,22); writeln('Measure Temperature (T) ',T:3:3);      แสดงอุณหภูมิที่วัดได้บนจอ
Gotoxy(43,22); writeln(' C');      แสดงหน่วยของอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส
Delay(700);      คำสั่งหน่วงเวลา
Until T>Ts      ทำซ้ำจนกระทั่งอุณหภูมิของหัววัด (T) สูงกว่าอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ (Ts)
For i:=1 to 1500 do      สั่งให้ทำงานวนซ้ำเป็นรอบเพื่อควบคุมอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์ให้คงที่
Begin
    Sound(900); delay(10)I nosound;      สั่งให้ส่งเสียงทางลำโพง หน่วงเวลาแล้วหยุดส่งเสียง
    Gotoxy(29,15); writeln('reading Temperature');      แสดงอุณหภูมิที่อ่านได้บนจอ
    DV:=port[PA];      สั่งให้อ่านแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม commercial NTC thermistor
    Gotoxy(35,17); writeln('Digital Voltage (DV) ',DV:3, ' V');      เขียนค่า DV บนจอ
    AV:=(5/255)*DV;      สั่งให้แปลงแรงดันดิจิทัลเป็นแรงดันอนาล็อก
    Gotoxy(34,18); writeln('Analog Voltage (AV) ',AV:3:3, ' V');      เขียนค่า TAV บนจอ
    T:=258.01*exp(-0.8896*AV); ; {T=True}      สั่งให้แปลงแรงดันอนาล็อก AV ให้เป็นอุณหภูมิ T
    Gotoxy(34,22); writeln('Measure Temperature (T) ',T:3:3);      แสดงอุณหภูมิที่วัดได้บนจอ
    Gotoxy(43,22); writeln(' C');      แสดงหน่วยของอุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส
    Delay(100);      คำสั่งหน่วงเวลา
End;

```

End.

#### ผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ความต้านทานของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC จึงการค่าเปลี่ยนแปลงในขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เทอร์มิสเตอร์  
นี้วัดอุณหภูมิและทำหน้าที่เป็นเทอร์มิสเตอร์ได้

#### สรุปผลการทดลอง

เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC จึงการค่าสามารถทำหน้าที่เป็นเทอร์มิสเตอร์ได้

#### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการนักศึกษาระดับปริญญาตรีของภาควิชาฟิสิกส์ ทุนทำงานแลกเปลี่ยนและทุนสนับสนุน  
การวิจัยจากเงินรายได้ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ประจำปี 2542-44 งานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องมือ  
และอุปกรณ์จากห้องปฏิบัติการฟิสิกส์วัสดุ หน่วยเครื่องมือกลาง ศูนย์เครื่องมือกลางและทุน STDB

#### เอกสารอ้างอิง

Martinez Sarrion, M. L., 1995. J. Mat. Sci. 30 : 2610-2615.

Soliman, F. A. S., 1993. J. Mat. Sci. : Mat. In Elec. 4 : 293-300.