บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 การเตรียมสารตัวอย่าง (sample preparation)

สารที่ได้เตรียมเป็นสาร 4 ชนิด ด้วยกัน มีหลายสูตรดังแสดงที่ข้างล่าง

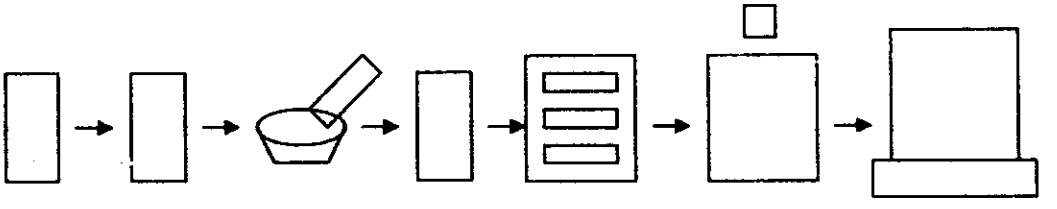
สารให้ความร้อน : $ZnO+0.01Nb_2O_5$, $ZnO+0.02TiO_2$

เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC : $NiMn_2O_4$, $Fe_2O_3+Nb_2O_5$, $SnO_2+Fe_2O_3$, $MgFe_2O_4+Fe_2O_3$, $Mn_{0.2}Ni_{0.8}Fe_2O_4$, $LaCoO_3$

เทอร์มิสเตอร์แบบ PTC : $BaTiO_3+0.9ZrO_2$, $BaTiO_3+0.01Nb_2O_5$, $BaTiO_3+0.05Nb_2O_5$, $BaTiO_3+0.1Nb_2O_5$, $(Sr_{0.5}Pb_{0.5})TiO_3$, $Pb(Zr_{0.4}Ti_{0.3}Y_{0.3})O_3$, $(Ba_{0.5}Pb_{0.5})TiO_3$, $Ba(Ti_{0.8}Sn_{0.2})O_3$, $Bi_2O_3+Fe_2O_3$, ZrO_2+MnO_2, SnO_2+2CoO, $SnO_2+Cr_2O_3$

ตัวเก็บประจุ : $BaTiO_3+0.1SrCO_3$, $BaTiO_3+0.9ZrO_2$, $BaTiO_3+0.01Dy_2O_3$, $BaTiO_3+0.01Nb_2O_5$, $BaTiO_3+0.05Nb_2O_5$, $BaTiO_3+0.1Nb_2O_5$, $(Sr_{0.5}Pb_{0.5})TiO_3$, $Pb(Zr_{0.4}Ti_{0.3}Y_{0.3})O_3$, $(Ba_{0.5}Pb_{0.5})TiO_3$ และ $Ba(Ti_{0.8}Sn_{0.2})O_3$, $(Ba_{0.9}La_{0.1})TiO_3$, $(Ba_{0.5}Zn_{0.5})TiO_3$

ขอยกตัวอย่างวิธีการเตรียมสาร $ZnO+0.01Nb_2O_5$ โดยวิธีเทคนิคเซรามิกส์มาตรฐาน (standard ceramic techniques) เริ่มจากผง ZnO ที่มีความบริสุทธิ์ 99 % และ Nb_2O_5 ที่มีความบริสุทธิ์ 99.9 % คำนวณน้ำหนัก ชั่งผงของสารด้วยเครื่องชั่ง ผสมสารด้วยโกร่ง นำผงของสารใส่กระป๋องพลาสติก หมุนผสมสารด้วยเครื่องหมุน หยดโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ผสมน้ำกลั่น นำผงของสารใส่เบ้าอัด นำเบ้าอัดติดตั้งที่เครื่องอัดสาร (RIIK 25 tons) อัดเป็นก้อน วางไว้วันหนึ่งแล้วนำก้อนสารวางในเตาหลอม (furnace) ที่ใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิ(FCR-13A-R/M) และใช้เทอร์โมคอพเปิลรนิด K (CA) (model JB-35) เผาที่ 1100 °C ตามลำดับ ใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 5 °C/min และอุณหภูมิยืนไฟ 1 h ขั้นตอนการเตรียมสารแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการเตรียมก้อนสาร

ส่วนการเตรียมสารอื่นๆจะใช้วิธีการทำนองเดียวกัน สารต่างสูตรกันจะใช้อุณหภูมิการเผาที่ต่างกัน แต่ใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเตาหลอมเท่ากัน กรณีที่สารที่ผ่านการเผาครั้งที่ 1 มีความเปราะก็จะนำไปบดเป็นผง อัดเป็นก้อนและเผาซ้ำอีกครั้งหนึ่ง อุณหภูมิการเผาของสารสูตรต่างๆแสดงข้างล่างนี้

2.2 การตรวจสอบเฟส การวัดขนาดและการทำขั้วไฟฟ้า

นำก้อนสารที่ผ่านการเผาไปถ่ายด้วยเครื่อง XRD (X-ray diffractometer) (Philips PW3710)เพื่อดูเฟส (phase)ของสาร แอโนดของหลอดทำมาจาก Cu ความต่างศักย์ไฟฟ้า 40 kV กระแสในหลอดรังสีเอกซ์ 35 mA มุมแบรกก์ที่ทำการถ่าย 2θ อยู่ในช่วง15.004° ถึง 84.995° และความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์ที่ใช้($\lambda_{k\alpha_1}$)เป็น 1.54060 A° การจัดเครื่องมือเพื่อตรวจสอบเฟสของสารด้วยเครื่อง XRD แสดงดังรูปที่ 2.2 วัดความหนาและเส้นผ่าศูนย์กลางด้วยไมโครมิเตอร์ ทำขั้วด้วยกาวเงินซึ่งทำได้โดยผสมเงินกับกาว ทาบนผิวของสารแล้วอบด้วยเตาไฟฟ้าที่อุณหภูมิ120 °C เป็นเวลา 10 นาที

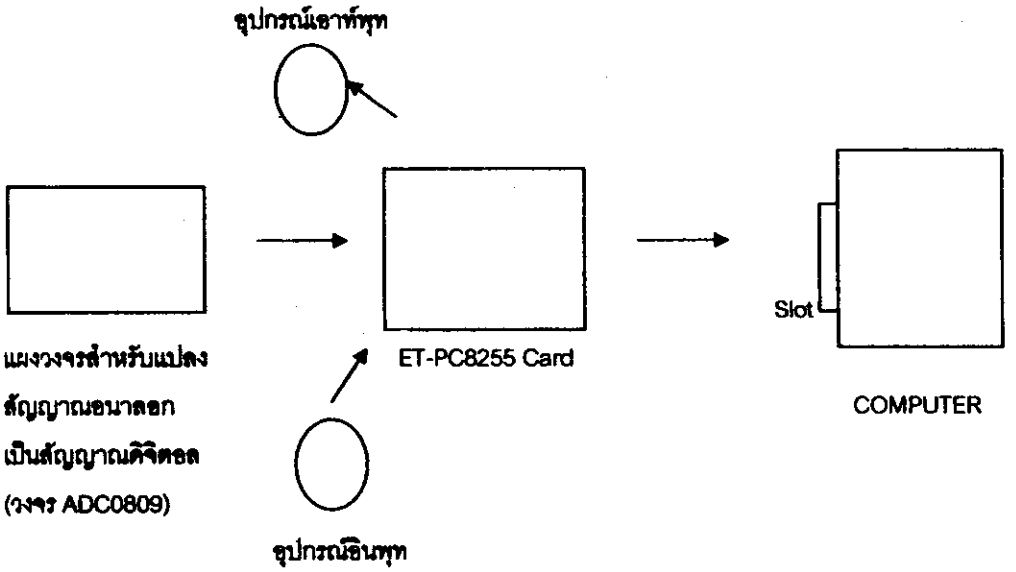
รูปที่ 2.2 การจัดเครื่องมือเพื่อตรวจสอบเฟสของสารด้วยเครื่อง XRD

2.3 การจัดเตรียมแผงวงจรเชื่อมต่อและเขียนโปรแกรมสำหรับการวัดและควบคุมทั่วไป

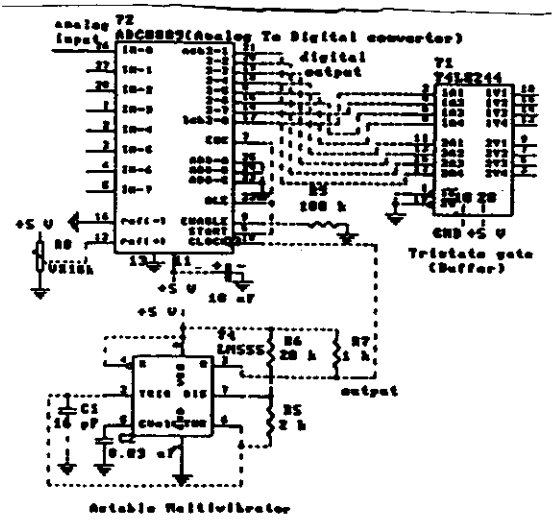
จัดเตรียมแผงวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์และเขียนโปรแกรมสำหรับการวัดและควบคุมทั่วไปโดยให้สามารถอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและความต้านทานไฟฟ้า ทำได้โดยการประกอบวงจรการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลพร้อมกับบัฟเฟอร์ลงบนโปรโตบอร์ดแล้วทดสอบจนใช้ได้ นำแผงวงจรที่ทำได้ประกอบเข้ากับการ์ดเชื่อมต่อ (interface card) และคอมพิวเตอร์ทางสลอต (slot) เขียนโปรแกรมแล้วทดสอบจนใช้ได้ แผงวงจรนี้จะนำไปใช้ทดสอบสารต่อไป

2.3.1 การจัดเตรียมวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ และ ET-PC8255 Card

ได้ประกอบวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สำหรับแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล (ADC0809) และบัฟเฟอร์ (buffer) (74LS244) ได้ศึกษาการ์ด ET-PC8255 การ์ด(card)นี้ประกอบด้วยไอซี 8255 สามตัว ทำหน้าที่เป็นอินพุทพอร์ท (input port) 8 บิท และเอาพุทพอร์ท (output port) 8 บิท การ์ดนี้จะเสียบกับสลอตของคอมพิวเตอร์ บลอคไดอะแกรมของการเชื่อมต่อแผงวงจรกับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง ET-PC8255 Card แสดงดังรูปที่ 2.3.1 วงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ ET-PC8255 Card และคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.3.2 ส่วนการ์ด ET-PC8255 (ET-PC8255 Card) แสดงดังรูปที่ 2.3.3

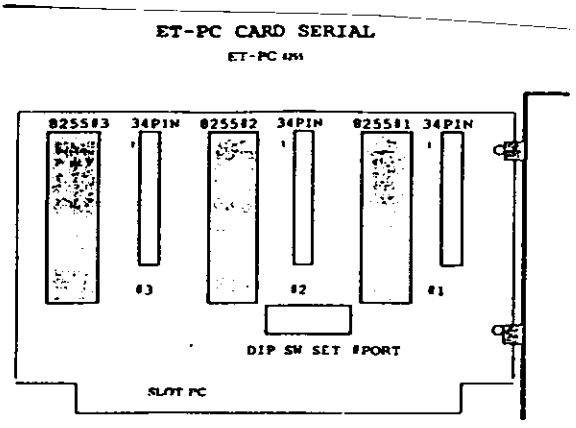


รูปที่ 2.3.1 บลอคไดอะแกรมของการเชื่อมต่อแผงวงจรกับคอมพิวเตอร์ผ่านทาง ET-PC8255 Card



รูปที่ 2.3.2 วงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ ET-PC8255 Card และคอมพิวเตอร์

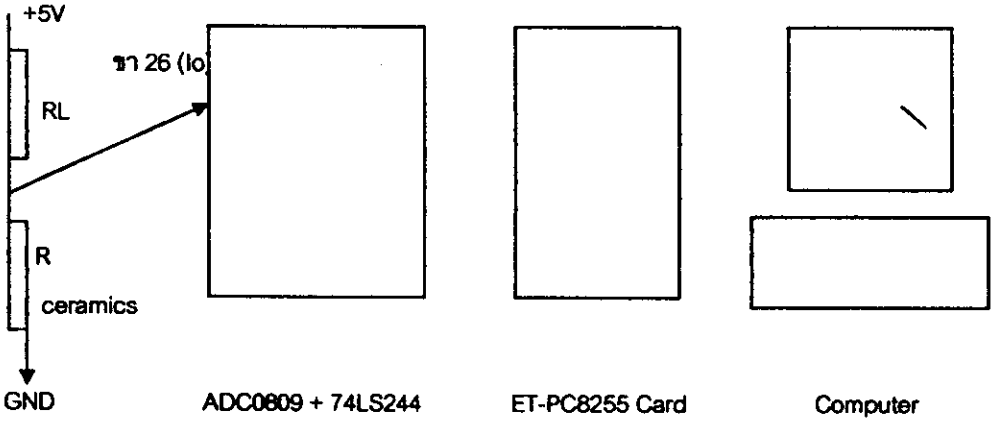
ฝ่ายหอสมุด
คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร



รูปที่ 2.3.3 การ์ด ET-PC8255 (ET-PC8255 Card)

2.3.2 การวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมก้อนเซรามิกส์ (V)

ได้เชื่อมคอมพิวเตอร์กับวงจรเชื่อมต่อสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมเซรามิกส์แสดงดังรูปที่ 2.3.4



รูปที่ 2.3.4 การใช้คอมพิวเตอร์วัด แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมก้อนเซรามิกส์

วัสดุอุปกรณ์

ก้อนเซรามิกส์ มัลติมิเตอร์ คอมพิวเตอร์ วงจรเชื่อมต่อพร้อมโปรแกรม ET-PC8255 Card เครื่องพิมพ์

วิธีการทดลอง

1 ให้ประกอบวงจร ADC0809 และ ET-PC8255 Card กับคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 2.3.2 และ 2.3.4)

2 เขียนโปรแกรมสำหรับการวัดแรงดันไฟฟ้าโดยใช้ภาษาเทอร์โบปาสคาล

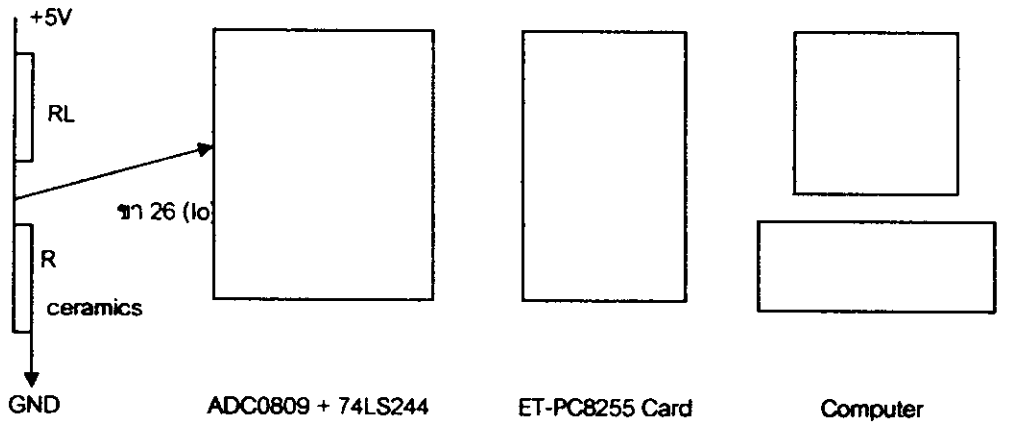
3 สั่ง RUN อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าบนจอคอมพิวเตอร์ แล้วเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากมัลติมิเตอร์

โปรแกรมสำหรับวัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมก้อนเซรามิกส์

```
Program DC_Voltage_Measurement;
uses crt;
var i, j, DV   : integer;
    AV, V      : real;
    ch         : char;
const  PA       = $0304;
       Pcontrol = $0307;
begin
  clrscr;
  port[Pcontrol] := $90;
  repeat
  for i:=1 to 100 do
  begin
    for j := 1 to 255 do
    begin
      gotoxy(21,2); writeln('DC VOLTAGE MEASUREMENT EXPERIMENT');
      gotoxy(21,3); writeln('-----------------------------------------');
      DV := port[PA];
      AV := (5/255)*DV;
      V:=AV;  {V}
      gotoxy(26,15); writeln('DC voltage = ',V:3:4);
      gotoxy(46,15); writeln('V');
      delay(100);
    end;
  end;
  ch := readkey;
  until ord(ch) = 27;
end.
```

2.3.3 การวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านก้อนเซรามิกส์ (I)

ได้เชื่อมคอมพิวเตอร์กับวงจรเชื่อมต่อสำหรับวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านก้อนเซรามิกส์แสดงดังรูปที่ 2.3.5



รูปที่ 2.3.5 การใช้คอมพิวเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านก้อนเซรามิกส์

วัสดุอุปกรณ์

ก้อนเซรามิกส์ มัลติมิเตอร์ คอมพิวเตอร์ วงจรเชื่อมต่อพร้อมโปรแกรม ET-PC8255 Card เครื่องพิมพ์

วิธีการทดลอง

1 **ให้ประกอบวงจร ADC0809 และ ET-PC8255 Card กับคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 2.3.2 และ 2.3.5)**

2 **เขียนโปรแกรมสำหรับการวัดกระแสไฟฟ้าโดยใช้ภาษาเทอร์โบปาสคาล**

3 **สั่ง RUN อ่านค่ากระแสไฟฟ้าบนจอคอมพิวเตอร์ แล้วเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากมัลติมิเตอร์**

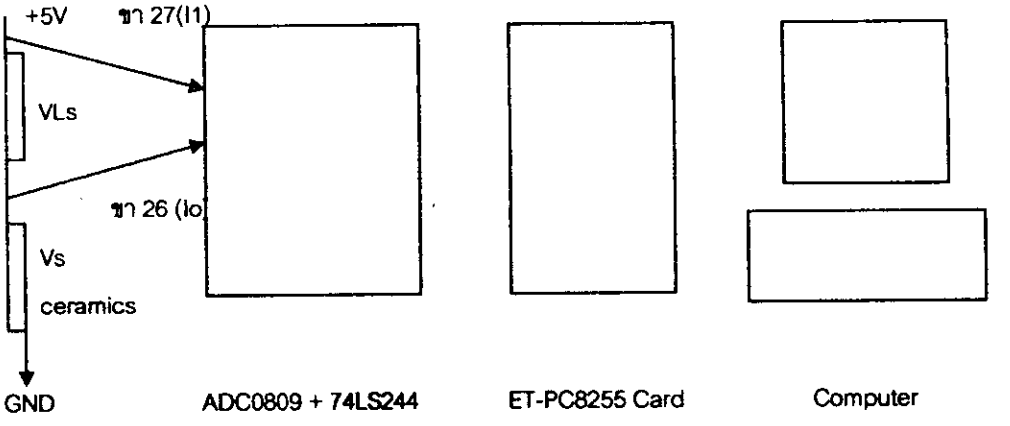
โปรแกรมสำหรับวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านก้อนเซรามิกส์

```
Program DC_Current_Measurement;
uses crt;
var j, k, DV       : integer;
    AV, R, Ia, I   : real;
const  PA       = $0304;
       Pcontrol = $0307;
begin
  clrscr;
  port[Pcontrol] := $90;
  gotoxy(21,2); writeln('DC CURRENT MEASUREMENT EXPERIMENT');
  gotoxy(21,3); writeln('-----------------------------------------');
```

```
for j := 1 to 10 do
begin
    for k := 1 to 255 do
    begin
        DV := port[PA];
        AV := (5/255)*DV;
        V:=AV;
        Ia := AV/R;  {A}
        I:=Ia*1000;  {mA}
        gotoxy(27,15); writeln('DC current = ',I:3:5);
        gotoxy(46,15); writeln('mA');
        delay(100);
    end;
end.
```

2.3.4 การวัดความต้านทานไฟฟ้าของก้อนเซรามิกส์ (R)

ได้เชื่อมคอมพิวเตอร์กับวงจรเชื่อมต่อสำหรับวัดความต้านทานไฟฟ้าของก้อนเซรามิกส์แสดงดังรูปที่ 2.3.6



รูปที่ 2.3.6 **การใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าที่ไหลผ่านก้อนเซรามิกส์**

วัสดุอุปกรณ์

ก้อนเซรามิกส์ มัลติมิเตอร์ คอมพิวเตอร์ วงจรเชื่อมต่อพร้อมโปรแกรม ET-PC8255 Card **เครื่องพิมพ์**

วิธีการทดลอง

1 ให้ประกอบวงจร ADC0809 และ ET-PC8255 Card กับคอมพิวเตอร์ (รูปที่ 2.3.2 และ 2.3.6)

2 เขียนโปรแกรมสำหรับการวัดความต้านทานไฟฟ้าโดยใช้ภาษาเทอร์โบปาสคาล

3 สั่ง RUN อ่านค่าความต้านทานไฟฟ้าบนจอคอมพิวเตอร์โดยเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากมัลติมิเตอร์

<u>โปรแกรมสำหรับวัดความต้านทานไฟฟ้าของก้อนเซรามิกส์</u>

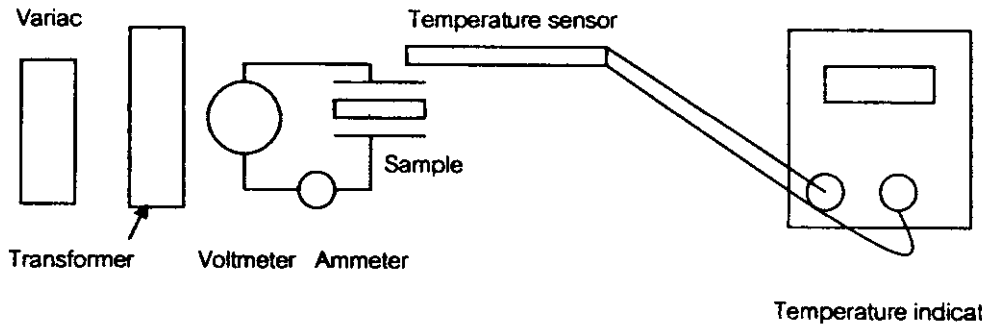
```
Program DC_Resistance_Measurement;
uses crt;
var j, k, DV0, DV1                                  : integer;
    AV0, AV1, RL, Vs, VLs, VL, IL, Is, I, R, Rk, Rm : real;
  const PA       = $0304:
        PB       = $0305;
        Pcontrol = $0307;
begin
  clrscr;
  port[Pcontrol] := $90;
  RL := 10000; {ohm}
  gotoxy(26,2); writeln('DC RESISTANCE MEASUREMENT EXPERIMENT');
  gotoxy(26,3); writeln('-----------------------------------------');
  for j := 1 to 1000 do
  begin
    for k := 1 to 255 do
    begin
      port[PB] := 0;          {Io}
      delay(15);
      DV0 := port[PA];
      AV0 := (5/255)*DV0;
      Vs::=AV0; {V}
      delay(100);
      port[PB] := 1;          {I1}
      delay(15);
      DV1 := port[PA];
```

```
        AV1 := (5/255)*DV1;
        VLs := AV1;
        VL := (VLs-Vs);
        IL := (VL/RL);
        Is := IL; {A}
        delay(15);
        R := Vs/Is; {Ω}
        Rk:=R/1000; {kΩ}
        Rm:=Rk/1000; {MΩ}
        gotoxy(24,15); writeln('resistance = ',R:3:2);
        gotoxy(46,15); writeln('Ω');
        gotoxy(24,17); writeln('resistance = ',Rk:3:2);
        gotoxy(46,17); writeln('kΩ');
        gotoxy(24,19); writeln('resistance = ',Rm:3:2);
        gotoxy(46,19); writeln('MΩ');
        delay(100);
    end;
end.
```

2.4 การทดสอบสารให้ความร้อน

2.4.1 การวัดกำลังไฟฟ้าที่จ่ายกับอุณหภูมิของสารให้ความร้อนที่ทำได้

จัดชุดทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.4.1 สารที่ทดลอง คือ $ZnO+0.01Nb_2O_5$ ป้อนแรงดันไฟฟ้า 220 โวลท์เข้าทางแวร์นอค ส่งแรงดันไฟฟ้าจากแวร์นอคเข้าทางอินพุทของหม้อแปลงไฟฟ้า จ่ายแรงดันเอาท์พุทจากหม้อแปลงไฟฟ้าไปยังสาร พบว่าสารเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นความร้อน ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันไฟฟ้า (V) และกระแสไฟฟ้า (I) ใช้เครื่องอ่านอุณหภูมิและเทอร์โมคอพเปิล วัดอุณหภูมิของสาร (T) คำนวณกำลังไฟฟ้า (P) จากสูตร P=VI บันทึกค่าลงในตารางแล้วพลอตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสารกับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่สาร (T vs P)



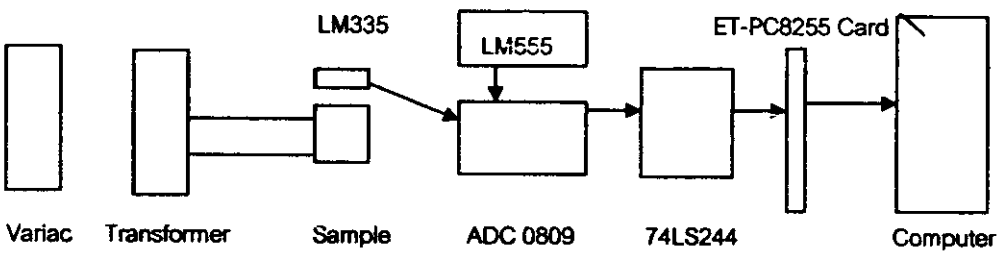
รูปที่ 2.4.1 การวัดความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกำลังไฟฟ้าที่ป้อนสำหรับสารให้ความร้อน

2.4.2 การวัดอุณหภูมิที่ขึ้นกับเวลาของสารให้ความร้อนด้วยคอมพิวเตอร์

สารที่ทดลอง คือ $ZnO+0.02TiO_2$ การวัดอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามเวลาของสารให้ความร้อนด้วยคอมพิวเตอร์ทำได้โดยใช้แผงวงจรและโปรแกรมที่ได้สร้างไว้ก่อนหน้านี้มาปรับปรุง เลือกหัววัดอุณหภูมิที่เหมาะสม ปรับสเกลที่ใช้วัดอุณหภูมิ ตรวจสอบการวัดเวลาอีกครั้ง

การทดลองมีขั้นตอนดังนี้

1) ออกแบบและสร้างวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สำหรับการทดสอบการให้ความร้อนดังรูปที่ 2.4.2



รูปที่ 2.4.2 บลอคไดอะแกรมสำหรับการแสดงอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นตามเวลาของสารให้ความร้อน $ZnO+0.02TiO_2$ ด้วยคอมพิวเตอร์

2) ทดสอบการเชื่อมต่อสำหรับการวัดอุณหภูมิของสารให้ความร้อนด้วยคอมพิวเตอร์

3) เขียนโปรแกรมเทอร์โบปาสคาลสำหรับให้คอมพิวเตอร์แสดงอุณหภูมิที่ขึ้นกับเวลาแล้วแล้วก็ทดสอบโปรแกรมนี้

Program for computer displaying the temperature versus time

```
Program Heating_Element_Temperature_vs_Time_Graph;
uses crt, graph;
var grdrv, grmode, grerror : integer;
    ch                     : char;
```

```
    DV                      : integer;
    const PA       = $0304;
    Pcontrol = $0307;
procedure axis;
var p,q  : integer;
    tex  : string;
begin
  grdrv:=detect ; initgraph(grdrv,grmode,'c:\tp\bgi');
  setgraphmode(grmode);
  line(50,50,50,305) ; line(50,305,600,305);
  line(50,50,600,50) ; line(600,50,600,305);
  settextstyle(defaultfont , horizdir,0);
  for p := 50 to 600 do
  begin
  if  p mod 110 = 0 then
     begin
     line(p+50, 295, p+50, 305); str(round(p/110),tex);
     outtextxy(p+50, 320, tex);
  end;
end;
  settextstyle(defaultfont , horizdir,0);
  for q:= 50 to 305  do
  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;
procedure  plot ;
var i, j, x, y, DV : integer;
    AV, VT, T   : real;
begin
  outtextxy(235,10, TEMPERATURE VS TIME OF HEATING ELEMENT GRAPH );
```

```
  outtextxy(235,18, ---------- );
  outtextxy(50,30, Temperature (°C));
  outtextxy(540,340,Time (min));
  outtextxy(48,303,"");
  begin
    DV := 0; AV:= 0;
    port [Pcontrol ]:=$90;
    for j:=0  to 550 do
    begin
      DV:=port[PA];
      AV:=(5/255)*DV;
      VT:=AV;
      T:=(VT-2.73)/(0.01);
      x:=j+50 ;  y:=305-round((255/100)*T);
      lineto(x,y);
    delay(600)
    end;
  end;
  readln;
  closegraph;
end;
begin  (main)
  repeat
    axis;
    plot;
    ch:=readkey;
    until ord(ch) = 27;
end.
```

3) ใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าผ่านสารตัวอย่างให้ความร้อนเพื่อแปลงความร้อนเป็นไฟฟ้า

4) วัดอุณหภูมิของสารตัวอย่างด้วย LM335 ซึ่งได้วางบนพื้นผิวของสาร LM335 เป็นหัววัดอุณหภูมิที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ

5) ได้ส่งแรงดันไฟฟ้าจากหัววัดนี้เข้าขา 26 (I_0) ของ ADC0809 สำหรับการแปลงแรงดันอนาลอก (AV) เป็นแรงดันดิจิตอล แรงดันดิจิตอล 8 บิท ซึ่งประกอบด้วย D7,D6,D5,D4,D2,D1,D0 ผ่าน 74LS244 สำหรับการทำบัฟเฟอร์ (buffering) ส่งแรงดันไฟฟ้าไปยัง ET-PC8255 Card แล้งผ่านพอร์ท A ของ IC8255 แล้วเข้าไปใน RAM โปรแกรมจะแสดงแรงดัน DV บนจอคอมพิวเตอร์ แปลงแรงดัน DV ให้เป็น AV แล้วแสดงบนจอ

6) แปลงแรงดัน AV ให้เป็นอุณหภูมิ (T)

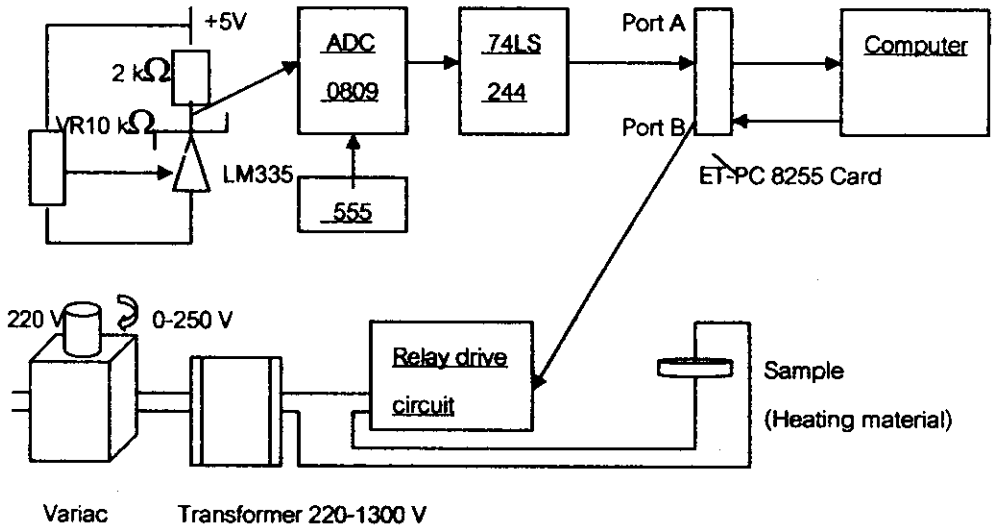
7) ในที่สุดคอมพิวเตอร์สามารถอ่านอุณหภูมิของสารให้ความร้อนด้วยหัววัดอุณหภูมิ LM335

8) ได้ผลที่แสดงให้เห็นว่าสารที่เตรียมได้แสดงสมบัติให้ความร้อน

2.4.3 การควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนให้คงที่

การควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนให้คงที่ทำได้โดยการสร้างระบบควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อนด้วยคอมพิวเตอร์ทำได้โดยใช้แผงวงจรที่ได้ทำไว้ เขียนโปรแกรมให้จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านสารเป็นจังหวะและให้ตัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านโดยอาศัยการทำงานของวงจรสวิทช์และโซลิดสเตทรีเลย์

1. จัดเตรียมวงจรเชื่อมต่อสำหรับให้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อน (รูปที่ 2.4.3)



รูปที่ 2.4.3 บลอคไดอะแกรมที่แสดงการให้คอมพิวเตอร์ควบคุมอุณหภูมิของสารให้ความร้อน

2) เขียนโปรแกรม

```
Program Heating_Material_Temperature_Control;
uses crt;
var
        ch              : char;
```

```
        i, j, DV          : integer;
        AV, VT, T, Ts,    : real;
const
        PA      = $0304;        กำหนด address ของพอร์ท A ของ IC 8255
        PB      = $0305;        กำหนด address ของพอร์ท B ของ IC 8255
        Pcontrol  = $ 0307;     กำหนด address ของพอร์ท ควบคุม ของ IC 8255
begin
        port[Pcontrol] := $90;  กำหนด control word สำหรับให้พอร์ท A/B เป็นพอร์ทอินพุท/เอาท์พุท
        Ts := 0;
        clrscr;
        gotoxy(14,1); writeln('HEATING MATERIAL TEMPERATURE CONTROLLED VALUE');
        gotoxy(14,2); writeln('-----------------------------------------------');
        gotoxy(25,4); writeln('Setting Temperature = --- ,Ts:3:0);
        gotoxy(50,4); writeln('C');
        gotoxy(47,4); readln(Ts);  ตั้งค่าอุณหภูมิทำงานของเตาไฟฟ้า
        repeat
                gotoxy(33,12); writeln('Experiment Start');
                port[PB] := 255;  ส่งแรงดัน 5 V ไปยังวงจรรีบรีเลย์ เพื่อให้สวิทช์ขั้ว 3 ต่อกับขั้ว 4
                delay(500);       สั่งให้หน่วงเวลาสำหรับให้รีเลย์จ่ายไฟฟ้าให้แก่สารให้ความร้อน
                sound(900); delay(10); nosound;
                gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
                DV := port[PA];   สั่งให้รับแรงดันดิจิตอลซึ่งมาจากหัววัดอุณหภูมิ (LM335)
                gotoxy(35,17); writeln('DV = ',DV:3);
                AV := (5/255)*DV;                 สั่งให้แปลงแรงดันดิจิตอลเป็นแรงดันอนาลอก
                gotoxy(34,18); writeln('AV = ',AV:1:2, 'V');
                VT:=AV:
                T :=(VT-2.73)/(0.01);             สั่งให้แปลงแรงดันอนาลอกเป็นอุณหภูมิ
                gotoxy(34,22); writeln('T =  ',T:3:2); สั่งให้แสดงค่าอุณหภูมิของเตาที่อ่านได้บนจอ
                gotoxy(43,22); writeln( 'C');
                port[PB] := 0;    ส่งแรงดัน 0 V ไปยังวงจรรีบรีเลย์เพื่อให้สวิทช์ขั้ว 3 ไม่ต่อกับขั้ว 4
                delay(2000);      สั่งให้หน่วงเวลาสำหรับให้รีเลย์หยุดจ่ายไฟฟ้าให้แก่สารให้ความร้อน
                sound(9000); delay(10); nosound;
        until T>Ts;               ทำซ้ำจนถึงอุณหภูมิทำงานของเตาไฟฟ้าที่ตั้งไว้
```

```
for i := 1 to 1500 do        สร้างวงรอบสำหรับให้อุณหภูมิคงที่ ½ ชั่วโมง
begin
        repeat
                gotoxy(33,12); writeln('Experiment Start");
                port[PB] := 0;              หยุดจ่ายไฟฟ้าเข้าสารให้ความร้อนเพื่อให้เย็นลง
                sound(900); delay(10); nosound;
                gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
                DV := port[PA];
                gotoxy(35,17); writeln('DV = ',DV:3);
                AV := (5/255)*DV;
                gotoxy(34,18); writeln('AV = ',AV:1:2, 'V');
                T :=(VT-2.73)/(0.01);       สั่งให้แปลงแรงดันอนาลอกเป็นอุณหภูมิ
                gotoxy(34,22); writeln('T = ',T:3:2);        อ่านอุณหภูมิของเตาไฟฟ้า
                gotoxy(43,22); writeln(' C');
                delay(200);
                until T>Ts-1;               ทำซ้ำจนอุณหภูมิต่ำกว่าที่ตั้งไว้
        repeat
                gotoxy(33,12); writeln('Experiment Start");
                port[PB] := 255;            จ่ายไฟฟ้าเข้าสารให้ความร้อนเพื่อให้ร้อนขึ้น
                sound(900); delay(10); nosound;
                gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
                DV := port[PA];
                gotoxy(35,17); writeln('DV = ',DV:3);
                AV := (5/255)*DV;
                gotoxy(34,18); writeln('AV = ',AV:1:2, 'V');
                T :=(VT-2.73)/(0.01);       สั่งให้แปลงแรงดันอนาลอกเป็นอุณหภูมิ
                gotoxy(34,22); writeln('T = ',T:3:2);        อ่านอุณหภูมิของเตาไฟฟ้า
                gotoxy(43,22); writeln(' C');
                delay(200);
                until T>Ts;                 ทำซ้ำจนอุณหภูมิสูงกว่าที่ตั้งไว้
                port[PB] := 0;              ปิดรีเลย์
                gotoxy(39,23); writeln('Relay OFF'); เมื่ออุณหภูมิยืนไฟครบ 1/2 ชั่วโมง
                                            หยุดจ่ายไฟให้สารให้ความร้อน
```

```
                gotoxy(39,24); writeln('END');
                delay(5000);
end.
```

3) สั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงานตามโปรแกรม (RUN) คอมพิวเตอร์จะส่งแรงดัน 5 V มายังวงจรขับรีเลย์ สวิทช์ขั้ว 3 ต่อกับ 4 ต่อกัน กระแสไฟฟ้าที่มาจากแวรีแอคซึ่งผ่านหม้อแปลงไฟฟ้ามาแล้วจะไหลผ่านสารให้ความร้อน สารร้อนขึ้น LM335 อ่านอุณหภูมิของสาร ส่งแรงดันไฟฟ้าจากหัววัดนี้เข้าทางขา 26 (I_0) ของ ADC0809 ไอซี ADC0809 จะทำหน้าที่แปลงแรงดันอนาลอก (AV) เป็นแรงดันดิจิตอล(DV) แรงดันดิจิตอลขนาด 8 บิต ถูกส่งผ่าน 74LS244 ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ส่งแรงดันดิจิตอล 8 บิต D7,D6,D5,D4,D3,D2,D1,D0 นี้ไปยัง ET-PC8255 Card และให้ผ่านทางพอร์ทAของ IC8255 แล้วเข้าไปในแรม สั่งให้แสดงค่า DV บนจอ แปลง DV เป็น AV สั่งให้แสดงค่า AV บนจอแปลง AV ให้เป็น DV แปลงแรงดัน AV ให้เป็นอุณหภูมิของสารให้ความร้อน(T) คอมพิวเตอร์คอมพิวเตอร์แสดงอุณหภูมิของสารนี้บนจอ คอมพิวเตอร์จะส่งแรงดัน 0 V มายังวงจรขับรีเลย์ สวิทช์ขั้ว 3 ไม่ต่อกับ 4 ต่อกัน กระแสไฟฟ้าหยุดไหลผ่านสารให้ความร้อน สารเย็นขึ้น LM335 อ่านอุณหภูมิของสาร คอมพิวเตอร์อ่านอุณหภูมิของสารแล้วแสดงผลบนจอ ให้มีการจ่ายและหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านสารเพื่อให้เกิดการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ อุณหภูมิคงที่ที่ได้ตั้งไว้ในโปรแกรมประมาณ ½ ชั่วโมง

4) สั่งพิมพ์ภาพบนจอในขณะที่ระบบกำลังทำงาน

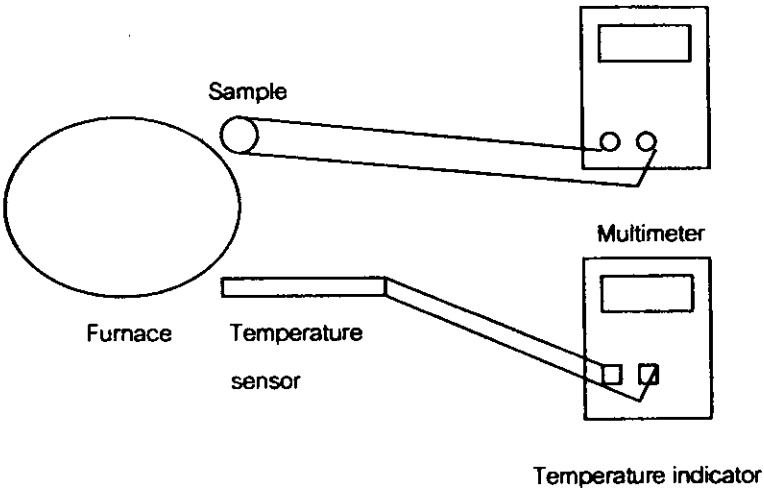
2.5 การทดสอบเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC

2.5.1 การวัดเสถียรภาพทางไฟฟ้าเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC

วัดเสถียรภาพทางไฟฟ้า (ΔR vs Δt) ทำได้โดยวัดความต้านทานไฟฟ้าของสารที่เวลาต่างๆในขณะที่อุณหภูมิของสารคงที่ สาเหตุที่ต้องวัดเพราะว่าความต้านทานไฟฟ้าสารที่ใช้ทำหัววัดอุณหภูมิจะต้องไม่เปลี่ยนตามเวลาในขณะที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยน

2.5.2 การวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC โดยใช้โอห์มมิเตอร์และเครื่องวัดอุณหภูมิ

ใช้ตัวจับพร้อมขาตั้งยึดก้อนสารที่ทำขั้วด้วยกาวเงินให้อยู่เหนือเตาไฟฟ้าประมาณ 0.5 เซนติเมตร วัดความต้านทานไฟฟ้า (R) ด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์ (Fluke 45 Dual Display Multimeter) และอุณหภูมิด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ (AVD M890C$^+$)โดยที่ก้อนสารกับหัววัดอุณหภูมิอยู่ที่ระดับเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 2.5.1 หลังจากนั้นให้เพิ่มอุณหภูมิของสารอย่างช้าๆ บันทึกความต้านทานไฟฟ้า (R) และอุณหภูมิ (T) ลงในตาราง เขียนกราฟ R vs T หาสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานไฟฟ้าที่เป็นลบหรือค่าความไวของเทอร์มิสเตอร์ทั้งในย่านสูงกว่าหรือต่ำกว่าอุณหภูมิห้องจากสูตรโดยอาศัยข้อมูลของความชันของกราฟ



รูปที่ 2.5.1 การวัดความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆด้วยโอห์มมิเตอร์และเครื่องวัดอุณหภูมิ

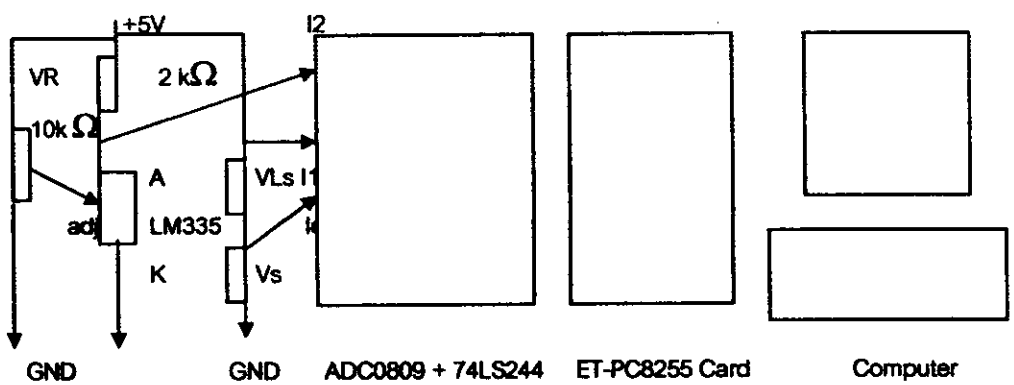
2.5.3 การวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ด้วยคอมพิวเตอร์

วัสดุอุปกรณ์

เทอร์มิสเตอร์แบบ NTC แหล่งให้ความร้อน (เตาไฟฟ้า) มัลติมิเตอร์ LM335 เครื่องวัดอุณหภูมิ คอมพิวเตอร์ วงจรเชื่อมต่อพร้อมโปรแกรม เครื่องพิมพ์

มีขั้นตอนดังนี้

1) สร้างระบบการวัดความต้านทานไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์ทำได้โดยใช้แผงวงจรสำหรับอ่านค่าความต้านทานไฟฟ้าและอุณหภูมิ (ย่านสูงกว่าอุณหภูมิห้อง)(RvsT) LM335 เป็นหัววัดอุณหภูมิที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วง –10 °Cถึง 100 °C การจัดระบบการวัดแสดงดังรูปที่ 2.5.2



รูปที่ 2.5.2 การใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ

2) ใช้คอมพิวเตอร์วัดความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆ (รูปที่ 1) บันทึกผลโดยให้คอมพิวเตอร์พิมพ์กราฟ

โปรแกรมสำหรับวัดความต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่างๆของวัสดุ

```
Program Resistance_vs_Temperature_Data;
uses crt;
var I, j, DV                              : integer;
    AV, R, RL, Vs, VLs, VL, IL, VT, Is, T : real
const  PA       = $0304;
       PB       = $0305;
       Pcontrol = $0307;
begin
   clrscr;
   port[Pcontrol] := $90;
   RL := 10000;
   gotoxy(21,2); writeln( 'RESISTANCE VS TEMPERATURE DATA');
   gotoxy(21,3); writeln('-----------------------------------');
   for i := 1 to 1000 do
   begin
     for j := 1 to 255 do
        begin
          port[PB] := 0;            {Io}
          delay(15);
          DV := port[PA];
          AV := (5/255)*DV;
          Vs := AV;
          port[PB] := 1;            {I1}
          delay(15);
          DV := port[PA];
          AV := (5/255)*DV;
          VLs := AV;
          VL := abs(VLs-Vs);
          IL := (VL/RL);
          Is := IL;
```

```
            R := (Vs/Is);
            gotoxy(48,14); writeln('Resistance = ',R:3:3, 'Ω');
            port[PB] := 2;                {I2}
            delay(15);
            DV := port[PA];
            AV := (5/255)*DV;
            VT := AV;
            T := (VT-2.73)/(0.01);
            gotoxy(2,14); writeln('Temperature = ',T:3:3, 'deg C');
            delay(100);
          end;
      end;
end.
```

Program Resistance vs Temperature 10 kohm 100 degC Graph:

```
uses crt, graph;
var DV, grdrv, grmode, grerror : integer;
    ch                         : char;
const  PA       = $0304;
       PB       = $0305;
       Pcontrol = $0307;
  procedure axis;
  var p, q : integer;
      tex  : string;
  begin
    grdrv := detect; initgraph(grdrv, grmode, 'C:\tp\bgi');
    setgraphmode(grmode);
    line(20,40,20,440); line(20,440,620,440);
    line(20,40,620,40); line(620,40,620,440);
    settextstyle(defaultfont, horizdir,0);
    for p := 20 to 620 do
    begin
      if p mod 30 = 0 then
```

```
      begin
         line(p-20,435,p-20,445); str(round((p-20)/30)*5,tex);
         outtextxy(p-20),450,tex);
      end;
settextstyle(defaultfont,horizdir,0);
for q := 40 to 440 do
begin
  if q mod 40 = 0 then
     begin
        line(15, q-40, 25, q-40); str(round((400-q)/80+1,tex);
        outtextxy(5,q-40,tex);
     end;
  end;
end;
procedure plot;
var  i, j, x, y, DV1, DV2, Dv3                          : integer;
     AV1, AV2,AV3, R, RL, Vs, VLs, VL, IL, VT ,Is, T  : real;
begin
   outtextxy(200,2, 'RESISTANCE VS TEMPERATURE CURVE');
   outtextxy(200,10, '-----------------------------------------');
   outtextxy(20,26, 'Material Resistance (kohm) );
   outtextxy(470,465, 'Temperature ( C)');
   outtextxy(50,440, "");
   port[Pcontrol] := $90;
   for i := 1 to 550 do
      begin
         port[PB] := 0;              {lo}
         delay(15);
         DV1 := port[PA];
         AV1 := (5/255)*DV1;
         Vs := AV1;
         port[PB] := 1;              {l1}
         delay(15);
```

```
        DV2 := port[PA];
        AV2 := (5/255)*DV2;
        VLs := AV2;
        VL := abs(VLs-Vs);
        IL := (VL/RL)*1000;
        Is := IL;
        R := (Vs/Is)*1000;
        port[PB] := 2;              {I2}
        delay(15);
        DV3 := port[PA];
        AV3 := (5/255)*DV3;
        VT := AV3;
        T := (VT-2.73)/(0.01);
        x := round(50+T*(550/100)); y := round(440-R*(440/10);
        line(x,y,x,y);
        delay(10);
      end;
  end;
begin           {main}
  repeat
    axis;
    plot;
    ch := readkey;
  until ord(ch) = 27;
end.
```

2.5.4 การทดสอบของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์

ทดสอบหัววัดอุณหภูมิที่แสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์ทำได้โดยใช้แผงวงจรที่สร้างขึ้น ทดสอบในช่วง 26 °C ถึง 100 °C เขียนโปรแกรมการปรับเทียบค่า (calibration) โดยอาศัยเครื่องวัดอุณหภูมิเชิงการค้า เขียนโปรแกรมอ่านค่าอุณหภูมิ ระบบการวัดมีการดัดแปลงหรือปรับปรุงในขณะที่ทดลองเรื่องนี้

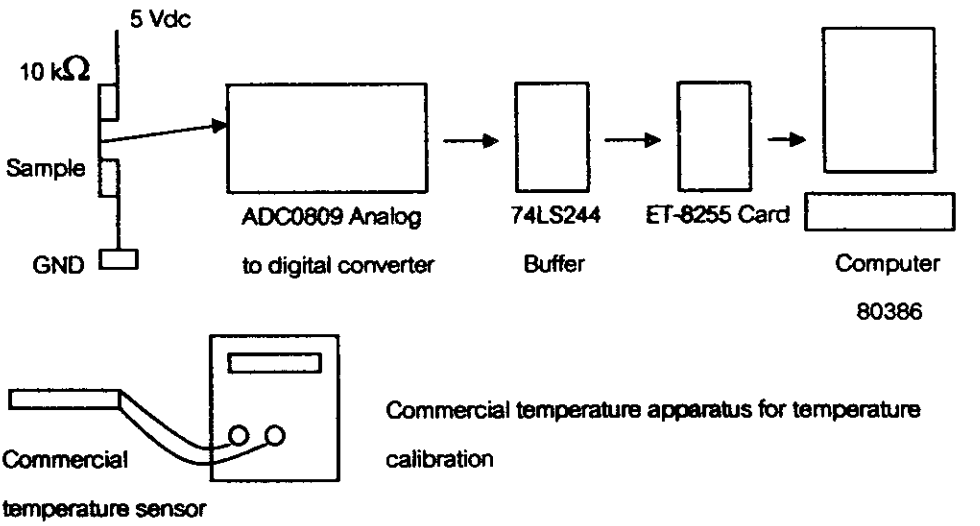
ขั้นตอน มีดังนี้

1) ประกอบวงจรเชื่อมต่อ ADC0809 ลงบนโปรโตบอร์ดแล้วต่อกับ ET-PC8255 Card และคอมพิวเตอร์และทดสอบจนใช้ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5.3

2) เขียนโปรแกรมควบคุมการวัดด้วยภาษาเทอร์โบปาสคาล

3) ทำการปรับเทียบเครื่องมือ (instrument calibration) โดยจ่ายแรงดันตกคร่อมสารที่เตรียมได้ซึ่งจะถูกทดสอบให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิ สัญญาณดอบสนองจะถูกป้อนเข้าไอซี ADC 0809 ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันอนาลอกให้เป็นแรงดันดิจิตอล ไอซี 74LS244 จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ (buffer) แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร ซึ่งเป็นแรงดันอนาลอกจะเคลื่อนที่ผ่าน ET-PC8255 Card ผ่านสลอต (slot) เข้าไปในแรม (RAM) ใช้คำสั่งให้คอมพิวเตอร์ (80386SX) แสดงแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร(แรงดันอนาลอก)บนจอ เพิ่มอุณหภูมิของสารโดยใช้เตาไฟฟ้า อ่านอุณหภูมิจากเครื่องวัดจริง(true)ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ (Union 305) ซึ่งใช้เทอร์โมคอพเปิลชนิด K เป็นหัววัดและแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร(AV)บนจอคอมพิวเตอร์ ในช่วง 26 °Cถึง100 °C แล้วบันทึกผลลงในตารางและแสดงความสัมพันธ์ของ Ttrue vs AV ด้วยโปรแกรม EXCEL เขียนสมการแสดงความสัมพันธ์นี้ลงในโปรแกรมควบคุมการวัด เพื่อที่จะเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิจากเครื่องวัดจริง (Ttrue)กับอุณหภูมิจากเครื่องที่สร้างขึ้น(Tmeasure) ได้เขียนสมการแสดงความสัมพันธ์นี้ลงในโปรแกรมควบคุมการวัดแล้ว คอมพิวเตอร์ก็สามารถอ่านอุณหภูมิโดยใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัด คอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่เป็นเครื่องที่สร้างขึ้น เพิ่มอุณหภูมิของสารโดยใช้เตาไฟฟ้า ให้เครื่องวัดจริงอ่านอุณหภูมิ Ttrue และเครื่องที่สร้างขึ้น(คอมพิวเตอร์)อ่านอุณหภูมิ Tmeasure บันทึกผลลงในตารางแล้วพลอตกราฟแท่ง

4) เมื่อได้ทำตามขั้นตอน 1 ถึง 3 แล้ว คอมพิวเตอร์ที่ใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัดจะทำหน้าที่เป็นเครื่องวัดอุณหภูมิเครื่องหนึ่ง ทดลองโดยนำไปวัดอุณหภูมิในช่วง 26 °C ถึง 100 °C เพื่อที่จะดูว่าอ่านอุณหภูมิได้หรือไม่



รูปที่ 2.5.3 Interfacing circuit with computer's preparation for temperature measurement by using MnO+0.04CuO 's prepared sample sensor

```
Program Temperature_Sensor_Testing;
uses crt;
var i, j, x, y, DV    : integer;
    AV,Ttrue          : real;
const  PB       = $0305;
       Pcontrol = $0307;
begin
  clrscr;
  port[Pcontrol] := $82;
  gotoxy(23,2); writeln('TEMPERATURE MEASUREMENT');
  gotoxy(23,3); writeln('-------------------------------');
  DV:=0; AV:=0; Ttrue:=0;
  for i := 1 to 100 do
  begin
    for j := 1 to 255 do
    begin
      DV := port[PB];
      AV := (5/255)*DV;
      gotoxy(26,14); writeln('Analog Voltage = ',AV:3:3,' V');
      delay(1)
      Ttrue := (33.887*AV*AV) - (230.08*AV)+ 417.3;
      gotoxy(20,20); writeln('**********************************')
      gotoxy(17,22); writeln('Measure Temp = ',Ttrue:3:2,' C');
      delay(1);
      gotoxy(15,24); writeln('>>>**************************<<<');
      delay(500);
    end;
  end;
end.
```

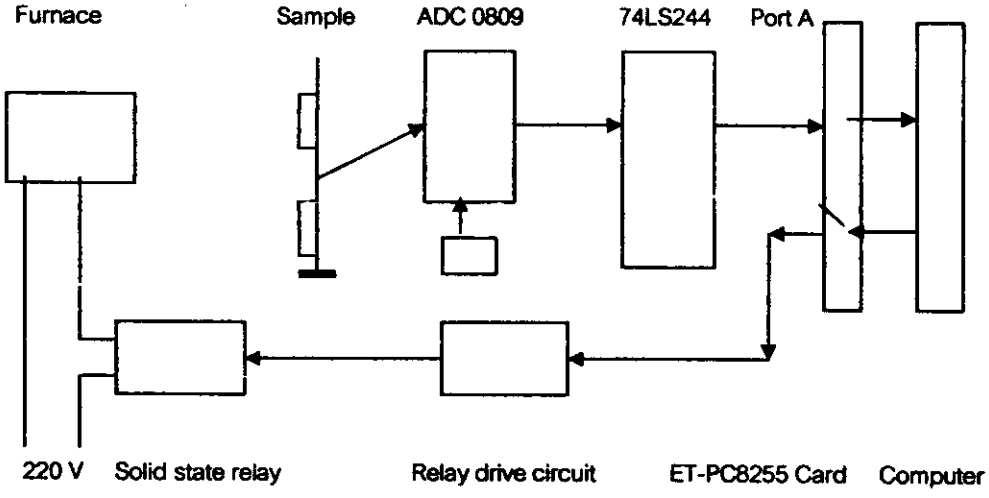
2.5.5 การทดสอบของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดและควบคุมอุณหภูมิด้วยคอมพิวเตอร์

ทดสอบหัววัดสัญญาณป้อนกลับในระบบควบคุมอุณหภูมิเกินในย่านสูงกว่าอุณหภูมิห้องสามารถทดสอบโดยให้คอมพิวเตอร์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าผ่านโซลิดสเตทรีเลย์เข้าเตาไฟฟ้า หัววัดอุณหภูมิจะสร้างสัญญาณป้อนกลับมายังคอมพิวเตอร์ ถ้าอุณหภูมิของเตาไฟฟ้าเกิน ขนาดของสัญญาณป้อนกลับจะมีค่าเพียงพอทำให้โซลิดสเตทรีเลย์หยุดทำงาน

2.5.5.1 ย่านสูงกว่าอุณหภูมิห้อง

มีขั้นตอนดังนี้

1) ทำการทดสอบสารให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิโดยการประกอบอุปกรณ์ลงบนโปรโตบอร์ดโดยอาศัยวงจรเชื่อมต่อที่ได้เตรียมไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.5.4 หลังจากนั้นก็ป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าไปในวงจร ตรวจเช็คจนใช้ได้ ถ้าวงจรใช้ได้ เมื่อเราปรับที่ VR10kΩ การติดดับของ LED จะเปลี่ยนไปมา



รูปที่ 2.5.4 แสดงบลอคไดอะแกรมคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิโดยใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัด

2) เขียนโปรแกรม OUTPUT ด้วยภาษาเทอร์โบปาสคาล เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าออกทางพอร์ท B เป็นการเช็คเพื่อให้ทราบว่าวงจรที่ต่อขึ้นใช้งานได้ สังเกตจากได้จากการติดดับของ LED ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากคอมพิวเตอร์เป็น 5 V LED จะติด แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากคอมพิวเตอร์เป็น 0 V LED จะดับ การนำแรงดันไฟฟ้าออกนอกคอมพิวเตอร์จะใช้คำสั่ง Port[PB]:=0 หรือ Port[PB]:=255

3) เขียนโปรแกรม INPUT ด้วยภาษาเทอร์โบปาสคาล เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถอ่านหรือรับแรงดันไฟฟ้าจากวงจรเชื่อมต่อ แรงดันไฟฟ้าที่ปรับได้ด้วย VR10 kΩ ถูกป้อนเข้าทางขา 26 (I_0) ของ ADC0809 แรงดันไฟฟ้าที่นี้เรียกว่า แรงดันอนาลอก ADC0809 จะทำหน้าที่แปลงแรงดันอนาลอก (AV) เป็นแรงดันดิจิตอล (DV) วงจร IC555

จะทำหน้าที่ผลิตแรงดันรูปสี่เหลี่ยมแล้วส่งเข้าขา 10 ของ ADC0809 เพื่อให้ IC ตัวนี้ ทำงาน แรงดันดิจิตอลขนาด 8 บิต ถูกส่งผ่าน 74LS244 ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ใช้ LED 8 ตัว อ่านหรือแสดงแรงดันดิจิตอลที่ output ของ 74LS244 แรงดัน 8 บิต D7,D6,D5,D4,D2,D1,D0 นี้จะถูกส่งผ่าน ET-PC8255 Card โดยผ่านทางพอร์ท A ของ IC8255 แล้วถูกส่งต่อเข้าไปใน RAM การนำแรงดันไฟฟ้าจากวงจรเชื่อมต่อเข้าไปในคอมพิวเตอร์จะใช้คำสั่ง DV:=Port[PA] ใช้คำสั่ง writeln(' ') ให้เครื่องแสดงค่าของ DV, AV หรือ T บนจอใช้คำสั่ง Lineto(x,y) แสดงกราฟบนจอ

4) ทำการทดสอบเพื่อคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่อ่านอุณหภูมิโดยใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัดซึ่งทำได้โดยเริ่มจาก การนำสารที่เตรียมได้ต่ออนุกรมกับความต้านทาน 100 kΩ แล้วป้อนแรงดันไฟฟ้า 5 V เข้าไป นำค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนความต้านทานในขณะที่อุณหภูมิเปลี่ยนป้อนเข้าขา 26 (I_0) ของ ADC0809 เพื่อแปลง AV เป็น DV ส่งผ่าน 74LS244 และ ET-PC8255 Card เข้าไปใน RAM สั่งให้แสดงค่า DV บนจอ แปลง DV เป็น AV ด้วยคำสั่ง AV:=(5/255)*DV สั่งให้แสดงค่า AV บนจอ เพิ่มอุณหภูมิของสารโดยใช้เตาไฟฟ้า ทำการปรับเทียบค่า (calibrate) โดยการอ่านอุณหภูมิจากเครื่องวัดจริง (Ttrue) ด้วยเครื่องวัดอุณหภูมิ (Union 305) ซึ่งใช้เทอร์โมคอพเปิลชนิด K เป็นหัววัด และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร (AV) บนจอคอมพิวเตอร์ในช่วงอุณหภูมิ 24 °C ถึง 100 °C นำค่า AV กับ Ttrue ไปพลอตกราฟและแสดงสมการ Ttrue = f(AV) ด้วย EXCEL เขียนสมการความสัมพันธ์ของ Ttrue vs AV ลงในโปรแกรมควบคุมการวัด หลังจากนั้นก็สั่ง RUN โปรแกรม แล้วอ่านอุณหภูมิจากเครื่องวัดจริง (Ttrue) กับอุณหภูมิจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัด (Tmeasure) นำค่าทั้งสองไปพลอตกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่า เมื่อถึงขั้นตอนนี้ก็จะเสร็จสิ้นการปรับเทียบค่า

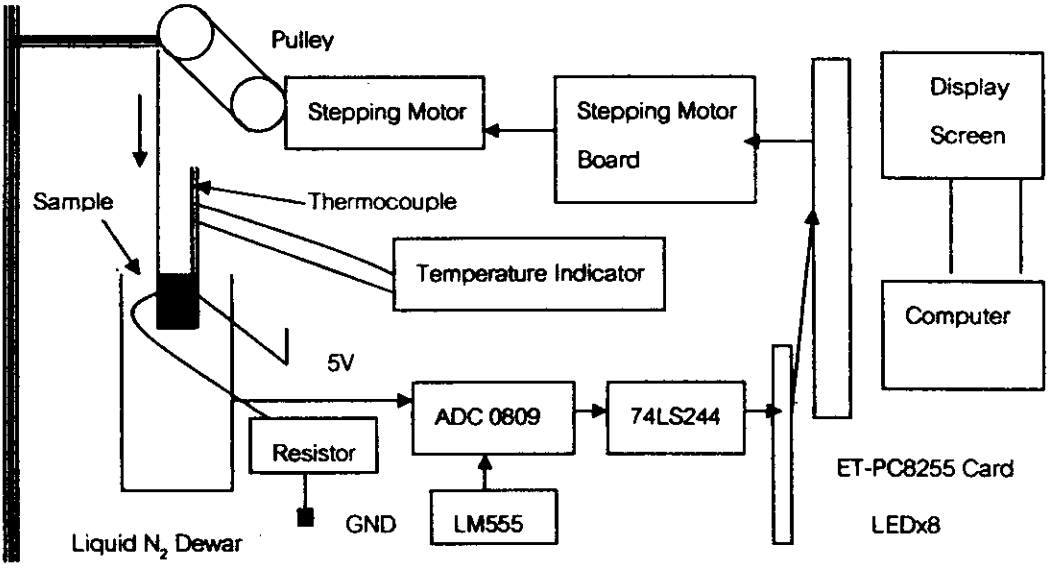
5) เราจะได้เครื่องวัดอุณหภูมิที่แสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์และใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัด

6) ทำการทดสอบสารที่เตรียมได้ให้ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ วงจรเชื่อมต่อส่วนแรกจะเหมือนกับวงจรที่ได้ประกอบเตรียมไว้ วงจรส่วนที่สองที่ต่อเพิ่มเข้ามาเป็นวงจรรีเลย์เพื่อควบคุมโซลิดสเตตรีเลย์ให้จ่ายไฟฟ้าเข้าเตาไฟฟ้า เขียนโปรแกรมทดสอบให้วงจรรีเลย์ทำการจ่ายไฟฟ้า 5V กับ 0 V สลับกัน เพื่อให้สวิทช์รองรีเลย์ทำงานในจังหวะเปิดและปิดสลับกัน การเปิดปิดสวิทช์ของรีเลย์จะไปควบคุมการทำงานของโซลิดสเตตรีเลย์ทำงานและหยุดทำงานสลับกันเพื่อให้เตาร้อนขึ้นในอัตราหนึ่ง คอมพิวเตอร์จะอ่านอุณหภูมิตลอดเวลา เมื่ออุณหภูมิถึงค่าที่ได้ตั้งไว้ก็ให้หยุดจ่ายไฟฟ้าเข้าเตาไฟฟ้า สารที่เตรียมได้สามารถทำหน้าที่เป็นทั้งหัววัดอุณหภูมิและควบคุมอุณหภูมิโดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมและแสดงผล

2.5.5.2 **อ่านต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง**

สำหรับในย่านต่ำกว่าอุณหภูมิ มีการทดลองทำนองเดียวกัน แต่ใช้แผงวงจรสำหรับขับสเตปปิ้งมอเตอร์ประกอบกัน สารที่ทดลองมีสูตรเป็น $Mn_{0.2}Ni_{0.8}Fe_2O_4$ ประยุกต์ใช้เป็นหัววัดและควบคุมอุณหภูมิของเตาไฟฟ้าในช่วง 0 ถึง -50 °C โดยมีขั้นตอนการทำดังนี้

ออกแบบระบบการจ่ายไฟฟ้าวัดและควบคุมอุณหภูมิของเตาไฟฟ้าในช่วง 0 ถึง -50 °C แสดงดังรูป 2.5.5



รูป 2.5.5 แสดงโครงสร้างระบบจ่ายไฟฟ้า วัดและควบคุมอุณหภูมิในช่วง 0 ถึง -50 °C

วงจรประกอบด้วย 2 ส่วน ส่วนแรกสามารถอธิบายการทำงานของระบบโดยเริ่มจากแรงดันไฟฟ้าตรง 10 V ไหลผ่านตัวต้านทานที่อนุกรมสารที่เตรียมได้ทำให้สารตัวอย่างมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนไปยัง ADC0809 เข้าทางอินพุท I_0 ซึ่งเป็นแรงดันอนาลอก (AV) ส่งแรงดัน AV เข้า ADC 0809 ทางขา 26 เพื่อแปลงให้เป็นแรงดันดิจิตอล (DV) ซึ่งแรงดัน DV นี้จะเคลื่อนที่ผ่านบัฟเฟอร์ 74LS244 ใช้ LED 8 ตัวชี้บอกแรงดันดิจิตอลทั้ง 8 บิทนี้ แรงดัน DV นี้จะผ่าน ET-PC8255 Card ทางพอร์ท A แล้วเข้าไปใน RAM โดยเก็บไว้ในตัวแปร DV ทำการแปลงแรงดัน DV เป็น AV ใช้คำสั่งให้แปลงแรงดัน AV ที่เข้าไปในเครื่องให้เป็น T สำหรับวงจรส่วนที่ 2 เป็นการนำข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ออกทาง ET-PC8255 Card ไปยังสเตปปิ้งมอเตอร์บอร์ด (stepping motor board) เพื่อควบคุมให้สเตปปิ้งมอเตอร์ (stepping motor) หมุนโดยใช้โปรแกรมควบคุมการหมุนของสเตปปิ้งมอเตอร์ ศึกษารายละเอียดของวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ตามและประกอบวงจรลงบนโปรโตบอร์ด (photobroad) หลังจากนั้นก็ทดสอบจนวงจรทำงานได้ หาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Ttrue และ AV พิมพ์สมการลงในโปรแกรม สั่งรัน (RUN) โปรแกรมให้คอมพิวเตอร์ก็จะทำหน้าที่อ่านอุณหภูมิโดยใช้สารตัวอย่างเป็นหัววัดได้ค่า Tmeasure และอ่านอุณหภูมิที่ได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิที่ซื้อมา (union 305 thermometer) ได้ค่า Ttrue ทำการบันทึกผลการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิที่ซื้อมา(Ttrue) กับอุณหภูมิที่อ่านได้จากเครื่องวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น นั่นก็คือคอมพิวเตอร์โดยใช้ตัวอย่างเป็นหัววัด (Tmeasure) ทุกๆ 5 °C ในช่วง 0 ถึง -50 °C ทำการทดลอง 3 ครั้งแล้วนำผลที่ได้มาเขียนกราฟแท่งเพื่อแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิทั้งสอง เสร็จแล้วนำระบบการจ่ายไฟฟ้าและควบคุมอุณหภูมิในอ่านไนโตรเจนเหลวไปใช้งาน เริ่มจากเปิดคอมพิวเตอร์ เข้า

โปรแกรม เปิดสวิทช์ไฟเลี้ยงที่เข้าขดลวดของเตาไฟฟ้า สั่งรัน (RUN)โปรแกรมและ ตั้งอุณหภูมิที่จะทำการควบคุม เสร็จก็ทำการ Enter ระบบก็จะทำงานทันที

โปรแกรม : ประยุกต์สารที่เตรียมได้ให้ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิโดยการให้คอมพิวเตอร์ควบคุมและอ่านอุณหภูมิในช่วง 0 ถึง –50 °C

```
Program Liquid_Nitrogen_Temperature_Controller;
uses crt ;                                  คำสั่งใช้จอ
var  ch          : char;                    คำสั่งกำหนดตัวแปร
     i, j, x, DV : integer;
     AV, T,Ts    : real;
type AR_data =array[1..4] of byte;          คำสั่งกำหนดรูปแบบของข้อมูล
const                                       คำสั่งกำหนดค่าคงที่
      PA1       = $0300; กำหนด address ของพอร์ท A ของ IC 8255
      PA2       = $0304; กำหนด address ของพอร์ท A ของ IC 8255
      Pcontrol1 = $0303; กำหนด address ของพอร์ทควบคุม ของ IC 8255
      Pcontrol2 = $0307; กำหนด address ของพอร์ทควบคุม ของ IC 8255
      Data1_out  : AR_data = ($88, $44, $22, $11); ค่าแรงดันไฟฟ้าสำหรับให้มอเตอร์หมุน
                                                   ในทิศทางหนึ่ง
      Data2_out  : AR_data = ($11, $22, $44, $88); ค่าแรงดันไฟฟ้าสำหรับให้มอเตอร์หมุน
                                                   ในอีกทิศทางหนึ่ง
begin
      clrscr;                  คำสั่งล้างจอภาพ
      port[Pcontrol1]:=$80;    กำหนด control word สำหรับให้พอร์ท A/B เป็นพอร์ทอินพุท/เอาท์พุท
      port[Pcontrol2]:=$90;    กำหนด control word สำหรับให้พอร์ท A/B เป็นพอร์ทอินพุท/เอาท์พุท
      Ts :=0;
      gotoxy(25,4); writeln(' MEASURE AND CONTROL AT LIQUID N2 REGION ');
      gotoxy(14,2); writeln('.....');
      gotoxy(25,4); writeln('Setting Temperature = ',Ts:3:0);        แสดงอุณหภูมิที่ตั้ง
      gotoxy(50,4); writeln('C');
      gotoxy(47,4); readln(Ts);                                      ตั้งค่าอุณหภูมิทำงาน
      repeat
            gotoxy(36,12); writeln('START');
            for i:= 1 to 4 do          ให้สเตปปิ้งมอเตอร์หมุน
            begin
```

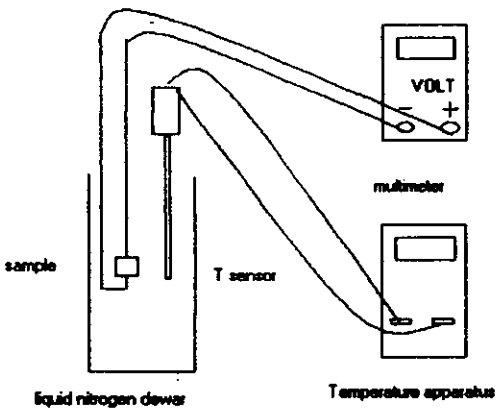
```
                sound(1000);delay(10);nosound;
                port[PA1]:=data1_out[i];
                delay(400);
        end;
        gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
        DV:=port[PA2];                  รับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสารซึ่งเป็นหัววัดอุณหภูมิ
        gotoxy(35,17); writeln('Digital Voltage  =', DV := 3);
        AV := (5/255)*DV;               สั่งให้แปลงแรงดันดิจิตอลเป็นแรงดันอนาลอก
        gotoxy(34,18); writeln('Analog Voltage  =', AV:3:2,'V');
        T :=-1.6*AV*AV-7.8343*AV+23.015;        สั่งให้แปลงแรงดันอนาลอกเป็นอุณหภูมิ
        gotoxy(34,22); writeln('Measure Temperature =', T:3:2);     อ่านอุณหภูมิของเตาไฟฟ้า
        gotoxy(43,22); writeln('C');
        delay(100);     ส่งให้หน่วงเวลา
        sound(5000);delay(10);nosound;
until T<Ts;             ทำซ้ำจนอุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้
for j := 1 to  1500 do
begin
repeat
        gotoxy(36,12); writeln('START');
        for i:= 1 to 4 do       ให้สเตปปิ้งมอเตอร์หมุน
        begin
                sound(3000);delay(10);nosound;
                port[PA1]:=data1_out[i];
                delay(500);
        end;
        gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
        DV:=port[PA2];                  รับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสารซึ่งเป็นหัววัดอุณหภูมิ
        gotoxy(35,17); writeln('Digital Voltage  =', DV := 3);
        AV := (5/255)*DV;               สั่งให้แปลงแรงดันดิจิตอลเป็นแรงดันอนาลอก
        gotoxy(34,18); writeln('Analog Voltage  =', AV:3:2,'V');
        T :=-1.6*AV*AV-7.8343*AV+23.015;        สั่งให้แปลงแรงดันอนาลอกเป็นอุณหภูมิ
        gotoxy(34,22); writeln('Measure Temperature =', T:3:2);     อ่านอุณหภูมิของเตาไฟฟ้า
        gotoxy(43,22); writeln('C');
```

```
            delay(100);                 สั่งให้หน่วงเวลา
            sound(7000);delay(10);nosound;
    until T<Ts;                         ทำซ้ำจนอุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้
    repeat
            gotoxy(36,12); writeln('START');
            for i:= 1 to 4 do           ให้สเตปปิ้งมอเตอร์หมุน
            begin
                    sound(9000);delay(10);nosound;
                    port[PA1]:=data2_out[i];
                    delay(500);
            end;
            gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
            DV:=port[PA2];                      รับแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสารซึ่งเป็นหัววัดอุณหภูมิ
            gotoxy(35,17); writeln('Digital Voltage  =', DV := 3);
            AV := (5/255)*DV;                   สั่งให้แปลงแรงดันดิจิตอลเป็นแรงดันอนาลอก
            gotoxy(34,18); writeln('Analog Voltage  =', AV:3:2,'V');
            T :=-1.6*AV*AV-7.8343*AV+23.015;    สั่งให้แปลงแรงดันอนาลอกเป็นอุณหภูมิ
            gotoxy(34,22); writeln('Measure Temperature =', T:3:2); อ่านอุณหภูมิของเตาไฟฟ้า
            gotoxy(43,22); writeln('C');
            delay(100);                 สั่งให้หน่วงเวลา
            sound(5000);delay(10);nosound;
    until T>Ts-1;                       ทำซ้ำจนอุณหภูมิมากกว่าอุณหภูมิที่ตั้งไว้
    end;
    gotoxy(37,24); writeln('END');
    delay(9000);                        สั่งให้หน่วงเวลา
end.
```

2.5.6 การประยุกต์ของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ให้ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ความเย็น

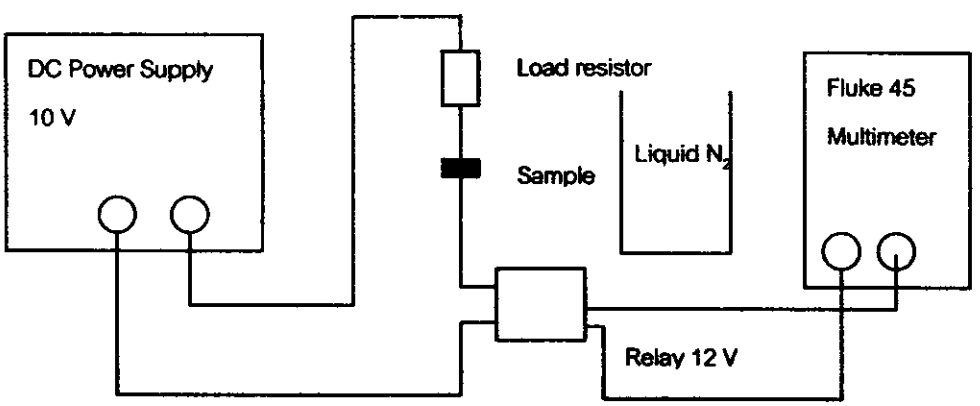
ก่อนที่จะทำการประยุกต์ของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ให้ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ความเย็น ได้จัดชุดทดลองสำหรับวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิในช่วง 23 ถึง 135 °C เพิ่มอุณหภูมิของเตาไฟฟ้า ใช้มัลติมิเตอร์ (Fluke 45 Dual Display Multimeter) วัดความต้านทานไฟฟ้าของสารที่เตรียมได้และใช้วัดเครื่องวัดอุณหภูมิ (AVD M890C+)) วัดอุณหภูมิ นำผลใส่ในตาราง พลอตกราฟและแสดงสมการด้วย EXCEL (ได้วัดของเทอร์มิสเตอร์ที่ซื้อมาเพื่อใช้เปรียบเทียบด้วย) คำนวณค่า α ของเทอร์มิสเตอร์ที่เตรียมได้กับเทอร์มิสเตอร์ที่ใช้ในทาง

การค้า ส่วนการวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิในช่วง -133 ถึง 23 °ซ มีการทดลองในทำนองเดียวกัน แต่เปลี่ยนแต่ไฟฟ้าเป็นไนโตรเจนเหลว (รูปที่ 2.5.7)



รูปที่ 2.5.7 การวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิในช่วง -133 ถึง 23 °ซ

การทดสอบเพื่อประยุกต์ใช้เป็นสวิทช์ความเย็นทำได้โดยการจัดเครื่องมือตามรูปที่ 2.5.8 ป้อนแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ ทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทานโหลด 200 โอห์ม สารที่เตรียมได้และขดลวดของรีเลย์ ทำการจุ่มสารลงในไนโตรเจนเหลว สังเกตผลที่เกิดขึ้นโดยการฟังเสียงของรีเลย์ ใช้มัลติมิเตอร์วัดความต้านทานของสวิทช์ขั้ว 3 กับ 5 ของของรีเลย์เพื่อดูการเปิดปิดสวิทช์ในขณะที่สารได้รับอุณหภูมิของไนโตรเจนเหลว



รูปที่ 2.5.8 การทดสอบสารที่เตรียมได้ให้ทำหน้าที่เป็นสวิทช์ความเย็น

2.6 การทดสอบเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC

2.6.1 การวัดความต้านทานที่ขึ้นกับอุณหภูมิของเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC

ทดสอบปรากฏการณ์ PTC ทำได้โดยการวัด R vs T ในช่วงอุณหภูมิที่เกิดปรากฏการณ์นี้ เขียนกราฟแล้ว หาสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของความต้านทานไฟฟ้าที่เป็นบวกหรือค่าความไวของเทอร์มิสเตอร์และอุณหภูมิเปลี่ยนเฟสจากเส้นกราฟ

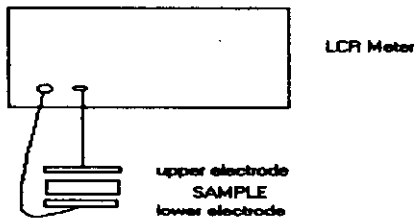
2.6.2 การทดสอบของเทอร์มิสเตอร์แบบ PTC ให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิ

ทดสอบเป็นหัววัดอุณหภูมิโดยอาศัยปรากฏการณ์พีทีซีทำได้โดยให้แผงวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สำหรับวัดอุณหภูมิและใช้เครื่องวัดอุณหภูมิในทางการค้าเป็นตัวปรับเทียบ การทดลองจะจัดเครื่องมือทำนองเดียวกันกับการทดสอบของเทอร์มิสเตอร์แบบ NTC ให้ทำหน้าที่เป็นหัววัดอุณหภูมิ (ดูหัวข้อ 2.5.4)

2.7 การทดสอบตัวเก็บประจุไฟฟ้า

2.7.1 การวัดสมบัติไดอิเล็กตริกในสนามไฟฟ้าตรงและในสนามไฟฟ้าสลับ

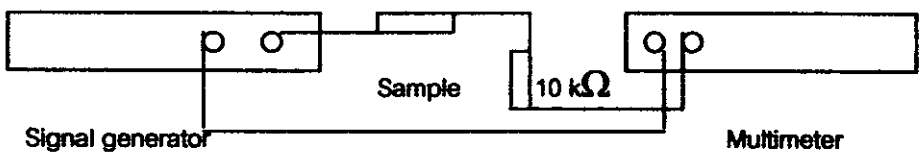
วัดสมบัติไดอิเล็กตริกในสนามไฟฟ้าตรงทำได้โดยการวัดความจุไฟฟ้าแล้วคำนวณค่าคงที่ไดอิเล็กตริกและสภาพอ่อนไหวทางไฟฟ้า ส่วนในสนามไฟฟ้าสลับปริมาณที่จะวัดได้แก่ Z, G, C, D, Q ,ε_r และ χ_e ใช้มิเตอร์ LCR (HP 4263B) ดังรูปที่ 2.7.1 วัด Z, G, C, D, Q vs f ที่อุณหภูมิห้อง(24 °C)ของสารที่มีความหนา 3.26 mm และเส้นผ่านศูนย์กลาง 11.93 mm เมื่อ Z เป็นอิมพีแดนซ์ (impedance) G เป็นความนำไฟฟ้า (conductance) C เป็นความจุไฟฟ้า (capacitance) D เป็นตัวประกอบการสูญเสีย (dissipation factor) Q เป็นตัวประกอบคุณภาพ(quality factor) และ f เป็นความถี่ของแรงดันไฟฟ้า ความถี่ที่ใช้วัดมี 5 ค่า คือ 100 Hz, 120 Hz, 1 kHz, 10 kHz และ 100 kHz และแรงดันไฟฟ้าของเครื่องที่ส่งไปยังสาร 1000 mV พลอตกราฟและหาสมการ



รูปที่ 2.7.1 การวัด Z, G, C, D, Q vs f ด้วย LCR Meter

2.7.2 การทดสอบทดสอบอุปกรณ์กรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน (high pass filter)

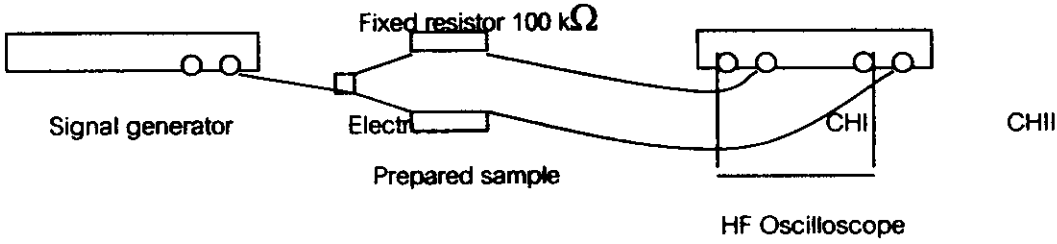
จัดชุดการทดลองแสดงดังแสดงในรูปที่ 2.7.2 ปล่อยกระแสไฟฟ้าจากฟังก์ชันเจเนอเรเตอร์ (5 MHz Function Generator) ไหลผ่านสารและตัวต้านทาน 10 kΩ ใช้มัลติมิเตอร์ (Fluke 45 Dual Display Multimeter) วัดแรงดันไฟฟ้าสลับตกคร่อมสาร (V) ที่ความถี่(f)ในช่วง 5 kHz ถึง 400 kHz ที่อุณหภูมิห้อง(24 °C) บันทึกผลลงในตาราง พลอตกราฟ V vs f และหาสมการ



รูปที่ 2.7.2 การทดสอบทดสอบอุปกรณ์กรองแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงผ่าน

2.7.3 การทดสอบการเลื่อนเฟสของสาร

จัดชุดทดลองตามรูปที่ 2.7.3 ปล่อยกระแสไฟฟ้าจากซิกแนลเยเนอเรเตอร์ (5 MHz Function Generator)มา ขั้วไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าถูกส่งต่อผ่านตัวต้านทานค่าคงที่ 100 kΩ ไปยัง CHI และผ่านตัวต้านทานค่าคงที่ 100 kΩ ละสารที่เตรียมได้ไปยัง CHII ของออสซิลโลสโคปความถี่สูง (Tektronic : TDS 420A) เปรียบเทียบตำแหน่งเฟสของ งดันไฟฟ้า สั่งพิมพ์ภาพออกทางเครื่องพิมพ์ (Epson RX-80)



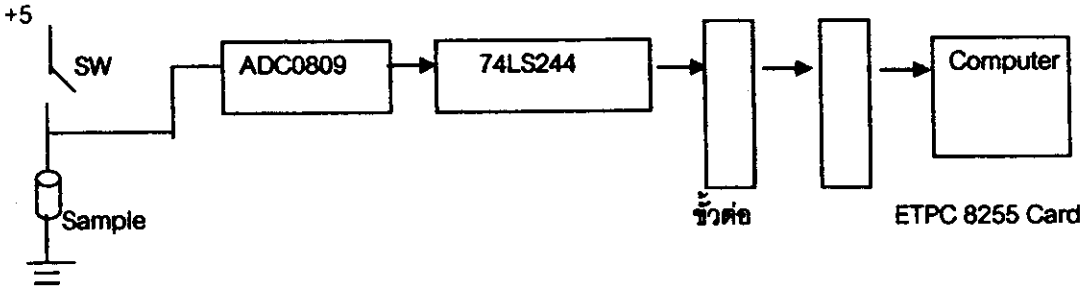
รูปที่ 2.7.3 การทดสอบการเลื่อนเฟสของสาร

2.7.4 การทดสอบการเก็บประจุและคายประจุไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์

การทดสอบการเก็บประจุและคายประจุไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์ทำได้ดังนี้

1) สร้างแผงวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 2.7.4 เขียนโปรแกรมภาษาเทอร์โบปาสคาลเพื่อควบคุมการอ่าน แรงดันไฟฟ้า พร้อมทั้งทดสอบจนใช้งานได้

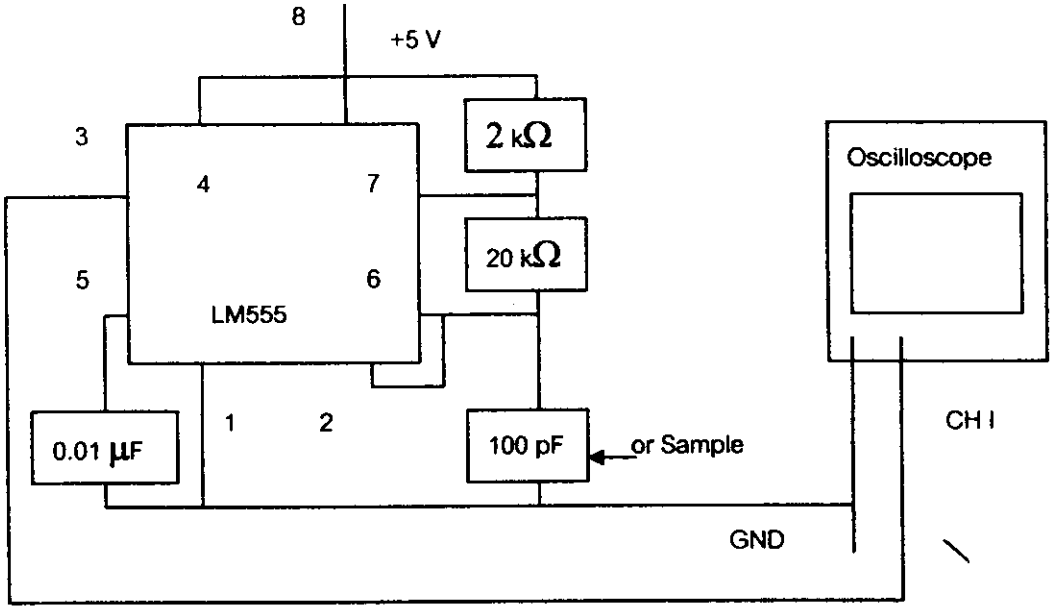
2) ทำการปรับเทียบเครื่องมือโดยจ่ายแรงดันตกคร่อมสารที่เตรียมได้ซึ่งจะต้องถูกทดสอบให้ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุ สัญญาณตอบสนองจะถูกป้อนเข้าที่ไอซี ADC0809 ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันอนาลอกให้เป็นแรงดันดิจิตอล ไอซี 74LS244 จะทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสารซึ่งเป็นแรงดันอนาลอกจะเคลื่อนที่ผ่าน ET-PC8255 Card ผ่านสลอตไปยังแรม ใช้คำสั่งให้คอมพิวเตอร์แสดงแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร (แรงดันอนาลอก) บนจอ



รูปที่ 2.7.4 แสดงบลอคไดอะแกรมของวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สำหรับให้คอมพิวเตอร์ แสดงการเก็บและคายประจุไฟฟ้า

2.7.5 การนำตัวเก็บประจุไฟฟ้าไปใช้ในวงจรออสซิลเลเตอร์

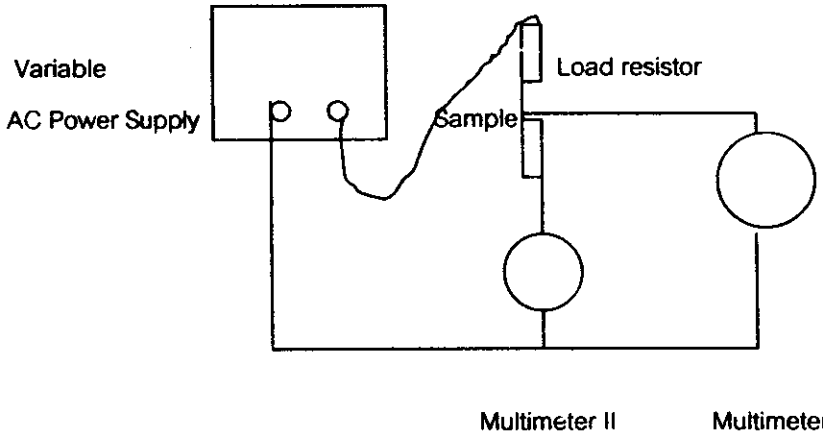
นำสารที่เตรียมได้ใช้งานเป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรออสซิลเลเตอร์ทำได้โดยนำสารที่เตรียมติดตั้งแทนที่ตำแหน่งของตัวเก็บประจุเชิงการค้าในวงจรออสซิลเตอร์ที่ใช้ IC555 ดังรูปที่ 2.7.5 แสดงภาพของแรงดันไฟฟ้าด้วยออสซิลโลสโคป สั่งพิมพ์ภาพหรือนำข้อมูลไปแสดงกราฟด้วย EXCEL



รูปที่ 2.7.5 การนำตัวเก็บประจุไฟฟ้าไปใช้ในวงจรออสซิลเลเตอร์

2.7.6 การทดสอบสมบัติวาริสเตอร์ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

การจัดชุดการทดลองแสดงดังรูปที่ 2.7.6 เปิดสวิทช์ แรงดันไฟบ้าน 220 V จะมาเข้าแวริแอค แรงดันไฟฟ้าจากแวริแอคถูกส่งต่อไปยังหม้อแปลงไฟฟ้า 220 V-1300 V แรงดันไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าจะมายังสารที่เตรียม เพิ่มแรงดันไฟฟ้าโดยการปรับแวริแอค ใช้มัลติมิเตอร์ I (Fluke 45 Dual Display Multimeter) วัดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร(V) ใช้มัลติมิเตอร์ II (AVD M890C$^+$) วัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านสาร(I) บันทึกค่า V และ I แล้วทำการพลอตกราฟ หาแรงดันแบรคดาวน์ (BV) คำนวณสนามแบรคดาวน์ (BE) และหาสัมประสิทธิ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น (α) หลังจากนั้นได้นำสมบัติเชิงฟิสิกส์ที่วัดได้จากสารตัวอย่างที่เตรียมจากสาร ZnO+0.01Sb_2O_3 เทียบกับค่าที่วัดได้จากวาริสเตอร์ที่ใช้ในเชิงการค้ารหัส 14K471U (Table I) เพื่อต้องการแสดงให้เห็นว่าผลข้อมูลจะชี้ว่าสารที่เตรียมขึ้นมามีคุณสมบัติของวาริสเตอร์



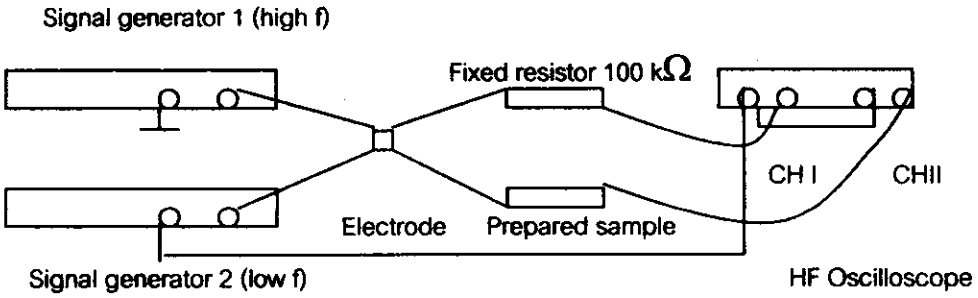
รูปที่ 2.7.6 การทดสอบสมบัติวาริสเตอร์ของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

2.7.7 การทดสอบสมบัติความจุ-แรงดันไฟฟ้าของตัวเก็บประจุไฟฟ้า

เปิดเครื่อง 4140 μPA Meter / DC Voltage Source ไปที่ตำแหน่ง ON เลือกปุ่ม C-V เลือก V_A ตั้ง Parameter ดังนี้ Start V = 2.2 V , Stop V = 10 V และ Step V = 0.2 V, dv/dt = 0.1 V/s, Step delay time = 5 s ทดลองเฉพาะสารที่ 1 $BaTiO_3$ + 0.05Nb_2O_5 เนื่องจากสารสูตรนี้มีความจุต่ำ เครื่องสามารถวัดค่าได้ ส่วนสารสูตรอื่นมีความจุสูง เครื่องแสดงโหลดเกิน (over load) วัดไม่ได้ บันทึกค่า C และ V เขียนกราฟ C vs V ของสาร

2.7.8 การทดสอบการแยกแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำออกจากแรงดันไฟฟ้าความถี่ผสมระหว่างความถี่ต่ำกับความถี่สูง

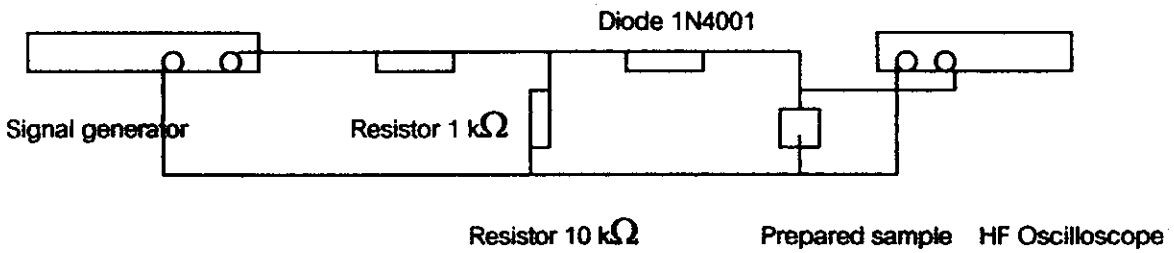
จัดชุดทดลองตามรูปที่ 2.7.8 ปล่อยแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงจากซิกแนลเยเนอเรเตอร์ 1 (5 MHz Function generator)และ แรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำจากซิกแนลเยเนอเรเตอร์ 2 มายังขั้วไฟฟ้า(Electrode) แรงดันไฟฟ้าทั้ง 2 ค่า จะรวมกันโดยเฉพาะทางด้านความถี่ นำแรงดันไฟฟ้าที่ผสมกันนี้ผ่านตัวต้านทานค่าคงที่ 100 kΩ ไปยัง CHI และสารที่เตรียมได้(prepared sample)ไปยัง CHII ของออสซิลโลสโคปความถี่สูง (Tektronic : TDS 420A) แล้วพิจารณาดูว่าความถี่ต่ำกับสูงผ่านไปทางเส้นทางใดดีกว่า สั่งพิมพ์ภาพออกทางเครื่องพิมพ์ (Epson RX-80)



รูปที่ 2.7.8 การทดสอบการแยกแรงดันไฟฟ้าความถี่ต่ำออกจากแรงดันไฟฟ้าความถี่ผสมระหว่างความถี่ต่ำกับความถี่สูง

2.7.9 การทดสอบเป็นตัวเก็บประจุความถี่สูง

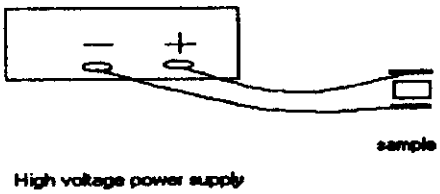
จัดชุดการทดลองแสดงดังแสดงในรูปที่ 2.7.9 ปล่อยกระแสไฟฟ้าจากซิกแนลเยเนอเรเตอร์(5 MHz Function Generator)ไหลผ่านตัวต้านทาน 1 kΩ และ 10 kΩ ไดโอด (1N4001)ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าสลับเป็นแรงดันไฟฟ้าตรง สารที่เตรียมได้ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุไฟฟ้าทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้าให้เรียบ ใช้ออสซิลโลสโคป ((Tektronic : TDS 420A) วัดและแสดงภาพของแรงดันไฟฟ้า สั่งพิมพ์ภาพออกทางเครื่องพิมพ์ (Epson RX-80)



รูปที่ 2.7.9 การทดสอบเป็นตัวเก็บประจุความถี่สูง

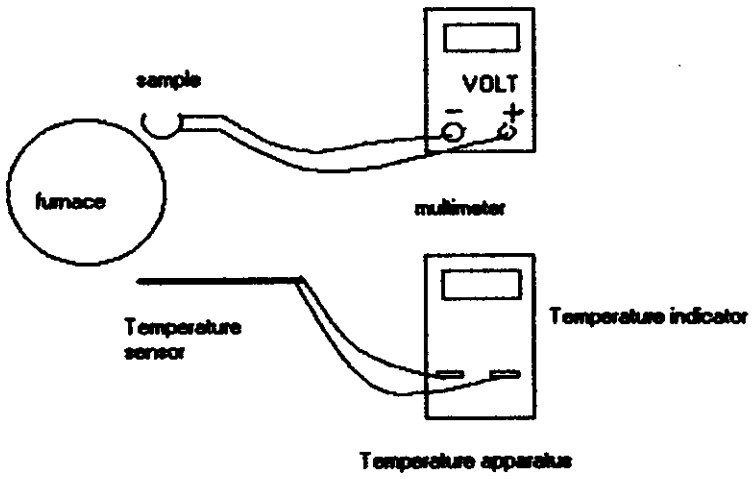
2.7.10 การทดสอบผลของสนามไฟฟ้าแรงสูงที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติของตัวเก็บประจุ

โพลิงสารโดยใช้แรงดันไฟฟ้า 10,000 V เป็นเวลา113 min ที่อุณหภูมิห้อง ดังแสดงในรูปที่ 2.7.10 (ก)



รูปที่ 2.7.10 (ก) แสดงการโพลิงสาร

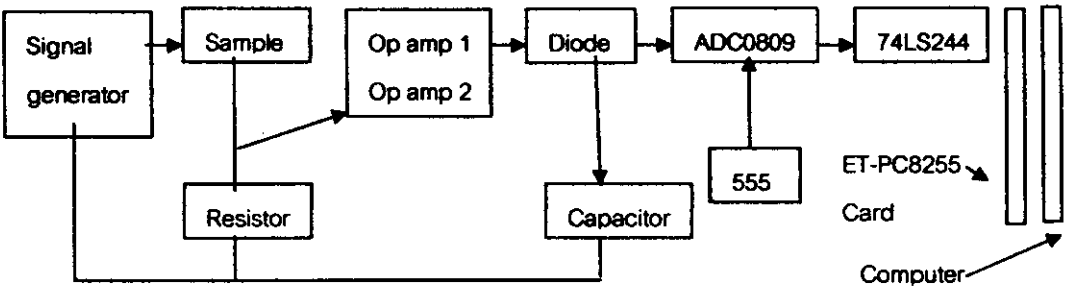
ทดสอบผลของสนามไฟฟ้าแรงสูงที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของสมบัติของสารจาก PTC ไปเป็น NTC ทำได้โดยจัดชุดทดลองดังแสดงในรูปที่ 2.7.10 (ข) แล้ววัดความต้านทานไฟฟ้า (R) ที่ขึ้นกับอุณหภูมิ (T) ก่อนโพลิงและหลังโพลิงด้วยเครื่องมัลติมิเตอร์และเครื่องวัดอุณหภูมิ



รูปที่ 2.7.10 (ข) แสดงการทดสอบ PTC effect ก่อนโพลิง และ NTC Effect หลังโพลิง

2.7.11 การทดสอบการแปลงความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าเป็นความถี่

ประกอบอุปกรณ์ลงบนโปรโตบอร์ดโดยอาศัยวงจรเชื่อมต่อที่ได้เตรียมไว้ดังรูปที่ 2.7.11 หลังจากนั้นก็ป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าไปในวงจร ตรวจเช็คจนใช้ได้ ถ้าวงจรใช้ได้ เมื่อเราปรับที่ VR 10 kΩ การติดดับของ LED จะเปลี่ยนไปมา เขียนโปรแกรมเอาท์พุทด้วยภาษาเทอร์โบปาสคาล เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าออกทางพอร์ท B เป็นการตรวจสอบเพื่อให้ทราบว่าวงจรที่ต่อขึ้นใช้งานได้ สังเกตจากได้จากการติดดับของ LED ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากคอมพิวเตอร์เป็น 5 V LED จะติด แต่ถ้าแรงดันไฟฟ้าที่ออกจากคอมพิวเตอร์เป็น 0 V LED จะดับ การนำแรงดันไฟฟ้าออกนอกคอมพิวเตอร์จะใช้คำสั่ง Port[PB]:=0 สำหรับ 0 V และ Port[PB]:=255 สำหรับ 5 V เขียนโปรแกรมอินพุทด้วยภาษาเทอร์โบปาสคาล เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถอ่านหรือรับแรงดันไฟฟ้าจากวงจรเชื่อมต่อแรงดันไฟฟ้าที่ปรับได้ด้วย VR 10 kΩ ถูกป้อนเข้าทางขา 26 (I_0) ของ ADC0809 แรงดันไฟฟ้าที่นี้เรียกว่า แรงดันอนาลอก ADC0809 จะทำหน้าที่แปลงแรงดันอนาลอก (AV) เป็นแรงดันดิจิตอล (DV) วงจร IC555 จะทำหน้าที่ผลิตแรงดันรูปสี่เหลี่ยมแล้วส่งเข้าขา 10 ของ ADC0809 เพื่อให้ IC ตัวนี้ ทำงาน แรงดันดิจิตอลขนาด 8 บิต ถูกส่งผ่าน 74LS244 ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ (buffer) ใช้ LED 8 ตัว อ่านหรือแสดงแรงดันดิจิตอลที่เอาท์พุท ของ74LS244 แรงดันดิจิตอล 8 บิต ซึ่งก็คือ D7,D6,D5,D4,D2,D1,D0 นี้จะถูกส่งผ่าน ET-PC8255 Card โดยผ่านทางพอร์ท A ของ IC8255 แล้วถูกส่งต่อเข้าไปในแรม (RAM) การนำแรงดันไฟฟ้าจากวงจรเชื่อมต่อเข้าไปในคอมพิวเตอร์จะใช้คำสั่ง DV:=Port[PA] ใช้คำสั่ง writeln(' ') ให้เครื่องแสดงค่าของ DV, AV หรือ f บนจอ ทำการปรับเทียบค่า (calibrate) เพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่อ่านความถี่โดยใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัดซึ่งทำได้โดยเริ่มจากป้อนแรงดันไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าเข้าไปในวงจรที่ประกอบด้วยสารที่เตรียมได้ซึ่งต่ออนุกรมกับความต้านทาน x kΩ และขยายแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับความถี่ แปลงเป็นไฟฟ้าตรงด้วยไดโอดแล้วป้อนเข้าขา 26 (I_0) ของ ADC0809 เพื่อแปลง AV เป็น DV ส่งผ่าน 74LS244 และ ET-PC8255 Card เข้าไปใน RAM สั่งให้แสดงค่า DV บนจอ แปลง DV เป็น AV ด้วยคำสั่ง AV:=(5/255)*DV สั่งให้แสดงค่า AV บนจอ เพิ่มความถี่ของเครื่องกำเนิดสัญญาณโดยการอ่านความถี่จากเครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้า (ftrue) และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสาร (AV) บนจอคอมพิวเตอร์ในช่วงความถี่หนึ่ง นำค่า AV กับ ftrue ไปเขียนกราฟและแสดงสมการ ftrue = fn(AV) ด้วย EXCEL เขียนสมการความสัมพันธ์ของ ftrue vs AV ลงในโปรแกรมควบคุมการวัด หลังจากนั้นก็สั่งให้โปรแกรม ทำงานแล้วอ่านความถี่จากเครื่องจริง (ftrue) กับความถี่จากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัด (fmeasure) นำค่าทั้งสองไปเขียนกราฟเพื่อเปรียบเทียบค่า เมื่อถึงขั้นตอนนี้ก็จะเสร็จสิ้นการปรับเทียบค่า เราจะได้เครื่องวัดความถี่ที่แสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์และใช้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัด



รูปที่ 2.7.11 บลอคไดอะแกรมของวงจรเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์สำหรับให้คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่อ่านความถี่ของแรงดันไฟฟ้าโดยให้สารที่เตรียมได้ (สารที่ 3, 4, 5 และ 6) เป็นหัววัด

โปรแกรมที่ให้คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่อ่านความถี่ของแรงดันไฟฟ้าโดยให้สารที่เตรียมได้เป็นหัววัด

```
Program Frequency_Sensor_Testing;
uses crt;
var  i, j, x, y, DV : integer;
     AV, f          : real;
const   PA       = $0304;
        Pcontrol = $0307;
begin
   clrscr;
   port[Pcontrol] := $90;
   gotoxy(23,2); writeln('FREQUENCY
   MEASUREMENT');
   gotoxy(23,3); writeln('————————————————');
   DV:=0; AV:=0; f:=0;
   for i := 1 to 100 do
   begin
      for j := 1 to 255 do
      begin
         DV := port[PA];
         AV := (5/255)*DV;
         gotoxy(26,14); writeln('Analog Voltage (AV) = ',AV:3:3, ' V');
         delay(1)
         f := (?*AV*AV) – (?*AV)+ ?;
```

```
        gotoxy(20,20);
        writeln('********************************')
        gotoxy(17,22); writeln('Measure Frequency = ',f:3:2,' C');
        delay(1);
        gotoxy(15,24);
        writeln('>>>********************<<<');
        delay(500);
      end;
  end;
end.
```

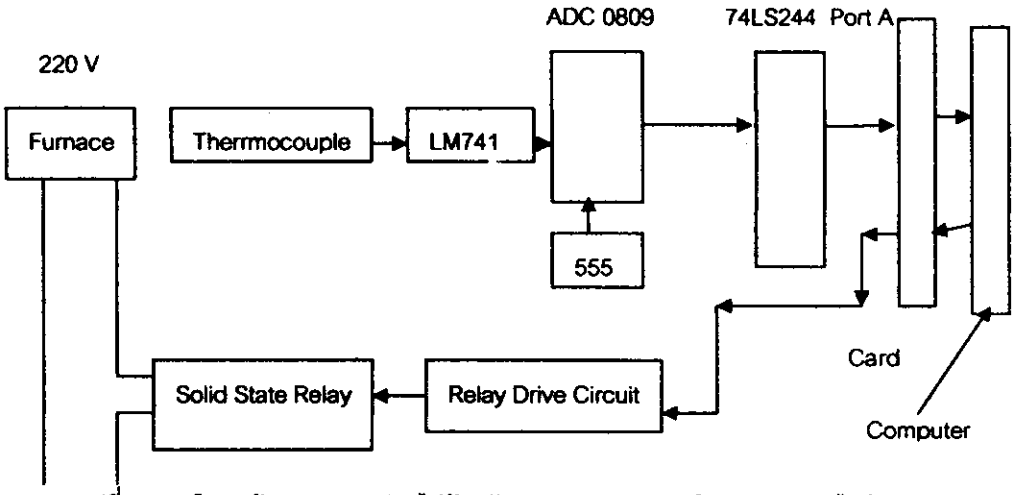
2.8 การจัดเตรียมเตาหลอม

1) จัดชุดการทดลองตามรูปที่ 2.8.1 เพื่อให้คอมพิวเตอร์ควบคุมวงจรรับรีเลย์เพื่อให้สวิทช์ 3-4 เปิดและปิดสลับกัน ให้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานของโซลิสเตทรีเลย์เพื่อให้ไฟบ้าน 220V เข้าและหยุดเข้าเตาหลอม

2) ให้คอมพิวเตอร์อ่านอุณหภูมิภายในผ่านเตาหลอม (รูปที่ 2.8.1) เทอร์โมคอพเปิล (thermocouple) จะแปลงอุณหภูมิให้เป็นแรงดันเทอร์โมอิเล็กตริก (V) เครื่องอ่านอุณหภูมิจะแสดงอุณหภูมิ แต่เนื่องจากแรงดันไฟฟ้า (Vdc) ที่ออกมาจากเทอร์โมคอพเปิลเป็นมิลิโวลต์ แรงดันมีค่าต่ำ จะไม่สามารถป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ได้ต้องใช้ออปแอมเป็นตัวขยายแรงดันนี้เขาขา 3 ของออปแอม (LM741) ขยายส่งออกขา 6 ส่งเข้าขา 2 ของออปแอมตัวที่2 ขยายส่งออกขา 6 ป้อนเข้า ADPC 0809 แปลงแรงดัน AV เป็น DV ส่งผ่านบัฟเฟอร์ (buffer) 74LS244 ผ่าน ET- PC8255 Card เข้าคอมพิวเตอร์

3) เขียนโปรแกรมสำหรับระบบการจ่ายไฟฟ้า วัดและควบคุมอุณหภูมิของเตาอบไฟฟ้า หลักการทำงานของระบบเป็นไปตามขั้นตอนตามรูปที่ 2.8.2 แล้วเขียนโปรแกรมควบคุมด้วยภาษาเทอร์โบปาสคาลให้ทำงานในรูปต่างๆ เช่น จ่ายแรงดันไฟฟ้าเข้าขดลวดของเตาไฟฟ้า ตั้งและอ่านอุณหภูมิภายในห้องเตาหลอม ตัดแรงดันไฟฟ้าเข้าขดลวดของเตาหลอมเมื่ออุณหภูมิของเตาถึงค่าที่ตั้งไว้หลังจากนั้นก็ให้เตามีอุณหภูมิคงที่

4) บันทึกค่าอุณหภูมิของเตาที่คอมพิวเตอร์อ่านได้ และเครื่องอ่านอุณหภูมิ



รูปที่ 2.8.1 โครงสร้างระบบการจ่ายไฟฟ้า วัดและควบคุมอุณหภูมิของเตาหลอมไฟฟ้า

ตั้งชื่อโปรแกรม คำสั่งใช้จอ กำหนดตัวแปร

↓

กำหนด Address ของพอร์ท A พอร์ท B พอร์ทควบคุมของ IC8255 ใน ET- PC8255 Card

↓

กำหนดControl Word สำหรับพอร์ท A พอร์ทBเป็นพอร์ทอินพุท และ เอาท์พุท

↓

ตั้งอุณหภูมิทำงานของเตาหลอม

↓

เริ่มให้เตาทำงานส่งแรงดัน 0V ไปยังวงจรขับรีเลย์ เพื่อให้โซลิดสเตทรีเลย์ทำงาน และส่งแรงดัน 5Vไปยังวงจรขับรีเลย์ เพื่อให้โซลิดสเตทรีเลย์ไม่ทำงานสลับกันในจังหวะที่เหมาะสม

↓

สั่งให้แสดงค่าอุณหภูมิของเตาที่อ่านได้บนจอ

↓

เมื่อถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้ ให้อุณหภูมิคงที่ช่วงหนึ่ง แล้วก็ปิดรีเลย์ หยุดจ่ายไฟเข้า

รูปที่ 2.8.2 แสดงโฟว์ชาร์ทที่แสดงการจ่ายแรงดันไฟฟ้า วัดและควบคุมอุณหภูมิของเตาหลอมไฟฟ้า

```
Program Furnace_Temperature_Controller;
uses crt, graph;
var
  ch                    : char;
  i, j, DV              : integer;
  AV, I, Is             : real;
Const   PA        = $0304;
        PB        = $0305;
        Pcontrol  = $0307;
begin
  port[Pcontrol]:=$90;
  clrscr;
  gotoxy(14,1) ; writeln('FURNACE TEMPERATURE CONTROLLER (25-1200 C) FOR MATERIALS');
  gotoxy(14,2) ; writeln('-----------------------------------------------------------');
  gotoxy(25,4) ; writeln('Setting Temperature =  ',Ts:3:0');
  gotoxy(50,4); writeln(' C ');
  gotoxy(47,4); readln('Ts');
    repeat
      gotoxy(33,12); writeln(,FURNACE START');
      port[PB]:=255;
      delay(round(35*((6/100000)*T*T-0.0173*T+6.8207)));
      sound(900); delay(10); nosound;
      gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
      DV:= port[PA];
      gotoxy(34,17);n writeln('DV = ',DV:3');
      AV:= (5/255)*DV;
      gotoxy(34,18); writeln('AV = ',AV:1:3,' V ');
      I:=314.32*AV+88.864;
      gotoxy(34,22); writeln('T = ',T:3:3');
      gotoxy(43,22); writeln(' C ');
      port[PB]:=0;
      delay(600);
      sound(9000); delay(10); nosound;
```

```
until T>Ts;
for I:= 1 to 1500 do
  begin
  repeat
    gotoxy(33,12); writeln(,FURNACE START');
    port[PB]:=0;
    sound(900); delay(10); nosound;
    gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
    DV:= port[PA];
    gotoxy(34,17);n writeln('DV = ',DV:3');
    AV:= (5/255)*DV;
    gotoxy(34,18); writeln('AV = ',AV:1:3,' V ');
    T:=314.32*AV+88.864;
    gotoxy(34,22); writeln('T = ',T:3:3');
    gotoxy(43,22); writeln(' C');
    port[PB]:=0;
    delay(200);
    sound(9000); delay(10); nosound;
 until T>Ts-1;
repeat
    port[PB]:=255;
    sound(5000); delay(90); nosound;
    gotoxy(29,15); writeln('Reading Temperature');
    DV:= port[PA];
    gotoxy(34,17);n writeln('DV = ',DV:3');
    AV:= (5/255)*DV;
    gotoxy(34,18); writeln('AV = ',AV:1:3,' V ');
    T:=314.32*AV+88.864;
    gotoxy(34,22); writeln('T = ',T:3:3');
    gotoxy(43,22); writeln(' C ');
    delay(200);
 until T>Ts;
```

```
  begin
    gotoxy(37,23); writeln('Furnace OFF');
    gotoxy(39,24); writeln('END');
    delay(5000);
  end;
end.
```