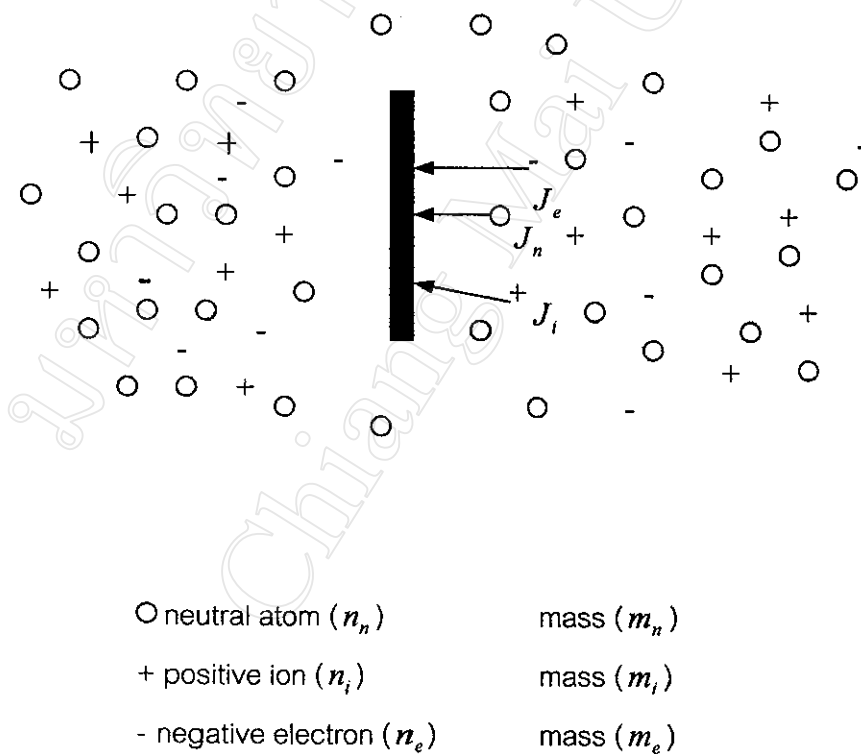


ภาคผนวก ก

ศักย์โฟลท (floating potential, V_f)

ศักย์โฟลท (floating potential , V_f) เป็นค่าศักย์ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น เมื่อนำโลหะตัวนำเข้าไปวางในพลาสมาแล้วทำให้บริเวณผิวโลหะมีศักย์ลบเกิดขึ้น เมื่อเทียบกับศักย์พลาสมาบริเวณที่เป็นกลาง (neutral area) โดยเมื่อนำโลหะตัวนำเข้าไปวางในพลาสมา จะมีอนุภาค 3 ชนิด คือ อิเล็กตรอน ไอออน และอนุภาคที่เป็นกลางเคลื่อนที่เข้าชนโลหะตัวนำ ดังรูป ผ(ก.1)



รูปที่ ผ(ก).1 แสดงการเคลื่อนที่ของอนุภาคทั้ง 3 ชนิด เข้าชนโลหะตัวนำ

จากรูปที่ ผ(ก).1 อนุภาคทั้ง 3 ชนิดเคลื่อนที่ตกกระทบโพรบ ต่อพื้นที่ ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ด้วยฟลักซ์ (*flux*) มีค่าเท่ากับ

$$flux = \frac{n\bar{v}}{4} \dots\dots\dots (ก.1)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } \bar{v} &= \left(\frac{8kT}{\pi m}\right)^{1/2} \dots\dots\dots (ก.2) \\ &= \text{อัตราเร็วเฉลี่ย (mean speed) ของอนุภาค} \\ n &= \text{ความหนาแน่นของอนุภาค} \end{aligned}$$

พบว่า ฟลักซ์ของอนุภาคที่เป็นกลาง มีค่าเท่ากับ

$$neutral \ flux = \frac{n_n \bar{v}_n}{4} \dots\dots\dots (ก.3)$$

และความหนาแน่นของกระแส (current density, *J*) ของอิเล็กตรอนและไอออน มีค่า

$$J = charge \times flux \dots\dots\dots (ก.4)$$

$$\text{ion current density ; } J_i = \frac{en_i \bar{v}_i}{4} \dots\dots\dots (ก.5)$$

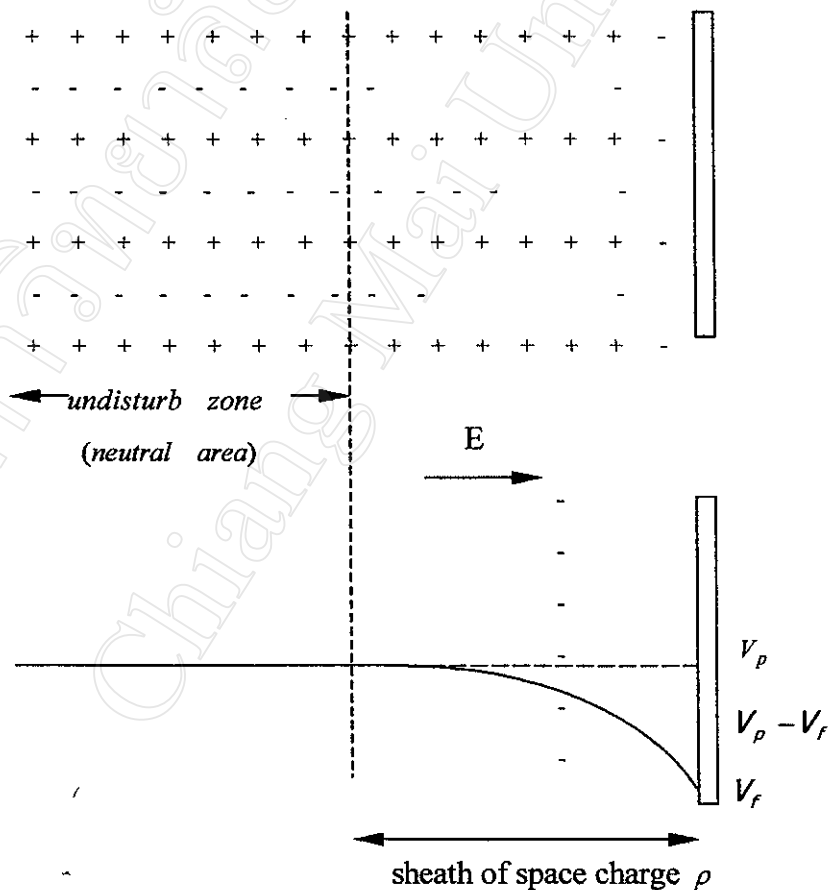
$$\text{electron current density ; } J_e = \frac{en_e \bar{v}_e}{4} \dots\dots\dots (ก.6)$$

ในทางปฏิบัติ อนุภาคที่มีผลต่อปริมาณการวัดทางไฟฟ้า คือ อิเล็กตรอนกับไอออน เท่านั้น และเนื่องจากมวลของอิเล็กตรอนมีค่าน้อยกว่ามวลของไอออน ($m_e < m_i$) ดังนั้นอิเล็กตรอนจะวิ่งเข้าชนโลหะตัวนำด้วยอัตราเร็วที่สูงกว่าไอออน (ตามสมการ ก.2) ทำให้มีประจุลบขึ้นที่ผิวโลหะตัวนำ และเกิดการผลักอิเล็กตรอนตัวที่วิ่งเข้ามาที่หลัง จนกระทั่งเข้าสู่ภาวะสมดุล ($j_i = j_e$) ซึ่งพบว่า ที่สภาวะสมดุลนี้ จะมีประจุบวก (space charge) กระจายอยู่อย่างหนาแน่นรอบๆ ผิวตัวนำ และเบาบางลงที่ระยะห่างจากโลหะตัวนำออกไป ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าที่มีทิศพุ่งเข้าหาโลหะตัวนำ ซึ่งบริเวณ

ที่เกิดสนามศักย์นี้ เรียกว่า "พลาสมาชีท" (plasma sheath) ดังรูป ผ(ก).2 โดยสนามศักย์นี้มีความสัมพันธ์กับ space charge density (ρ) ตามสมการของปัวซอง

$$\frac{d^2V}{dx^2} = -\frac{\rho}{\epsilon_0} \dots\dots\dots (ก.7)$$

เมื่อ V = ความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นในพลาสมาชีท
 ρ = ความหนาแน่นของประจุต่อหน่วยปริมาตร
 ϵ_0 = permittivity of vacuum
 $= 8.85 \times 10^{-12}$ F/m



รูปที่ ผ(ก).2 แสดงชีทของพลาสมาที่เกิดขึ้นบริเวณผิวโลหะตัวนำที่วางในพลาสมา (รูปบน)
 และความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นระหว่างพลาสมาและผิวโลหะตัวนำ (รูปล่าง)

และความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นระหว่างพลาสมาและผิวโลหะตัวนำ (รูปล่าง)

ศักย์ที่เกิดขึ้นบริเวณผิวโลหะตัวนำ คือ "ศักย์โฟลท" (floating potential, V_f) และศักย์ที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าชนโลหะตัวนำมีจำนวนลดลง โดยความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่วิ่งเข้าชนโลหะตัวนำได้ที่จุดสมดุลนี้มีค่าเป็นไปตามสมโบซมานซ์ (Boltzmann distribution) คือ

$$n_e = n_{e0} \exp\left[\frac{-e(V_p - V_f)}{k_B T_e}\right] \quad \text{..... (ก.8)}$$

เมื่อ n_e = ความหนาแน่นอิเล็กตรอนที่วิ่งชนผิวโลหะตัวนำ ที่จุดสมดุล
 n_{e0} = ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนบริเวณ neutral area
 T_e = อุณหภูมิของอิเล็กตรอน (electron temperature)

ที่ตำแหน่งสมดุลนี้ จะมีค่ากระแสลัพธ์เป็นศูนย์ ดังนั้น

$$J_i = J_e \quad \text{..... (ก.9)}$$

จากสมการความหนาแน่นกระแส (สมการ (ก.5) และ (ก.6))

$$n_i \bar{v}_i = n_e \bar{v}_e \quad \text{..... (ก.10)}$$

แทนค่า n_e จากสมการ (ข.8)

$$n_i \bar{v}_i = n_{e0} \exp\left[\frac{-e(V_p - V_f)}{k_B T_e}\right] \bar{v}_e \quad \text{..... (ก.11)}$$

แทนค่าอัตราเร็วเฉลี่ยจากสมการ (ก.2) จะได้

$$n_i \sqrt{\frac{8kT_i}{\pi m_i}} = n_{e0} \exp\left[\frac{-e(V_p - V_f)}{k_B T_e}\right] \sqrt{\frac{8kT_e}{\pi m_e}} \quad \text{.....(ก.12)}$$

จาก $n_i = n_{e0}$ ดังนั้น

$$\sqrt{\frac{8kT_i}{\pi m_i}} = \exp\left[\frac{-e(V_p - V_f)}{k_B T_e}\right] \sqrt{\frac{8kT_e}{\pi m_e}} \quad \text{..... (ก.13)}$$

take ln และจัดรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$V_p - V_f = \frac{k_B T_e}{2e} \ln\left(\frac{m_i T_e}{m_e T_i}\right) \quad \text{..... (ก.14)}$$

ดังนั้น

$$V_f = V_p - \frac{k_B T_e}{2e} \ln\left(\frac{m_i T_e}{m_e T_i}\right) \quad \text{..... (ก.15)}$$

ในทางปฏิบัติเงื่อนไขการทดลองบางประการอาจทำให้ศักย์พลาสมาเปลี่ยนไป จึงทำให้ศักย์โพรทเปลี่ยนไปด้วย เช่น จุดลงกราวนด์ระหว่างแอโนดหรือ แคโทดลงกราวนด์ เป็นต้น แต่ ลักษณะกราฟ IV และคุณสมบัติอื่นๆของพลาสมาจะไม่เปลี่ยนไปด้วย

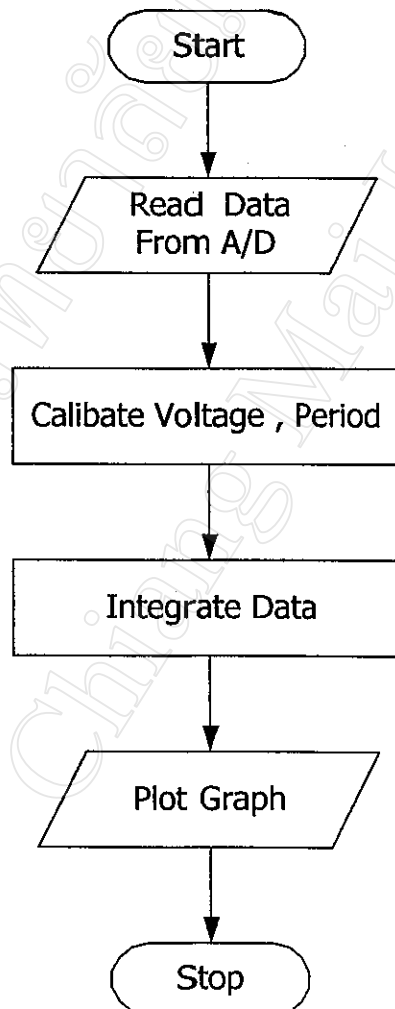
ภาคผนวก ข

โปรแกรมอ่านค่ากราฟและโปรแกรมอินทิเกรต

1. โปรแกรมอินทิเกรต

เป็นโปรแกรมที่รับข้อมูลจากออสซิลโลสโคปเข้าคอมพิวเตอร์โดยผ่านตัวแปลงสัญญาณจากอะนาล็อก เป็นดิจิตอลแล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการอินทิเกรต

แผนผัง



รูปที่ ผ(ข).1 แสดงแผนผังอย่างง่ายของโปรแกรมอินทิเกรต

โปรแกรมอินทิเกรต

```
REM ***** PROGRAM READ DATA FROM OSCILOSCOPE *****
```

```
SCREEN 12
```

```
WINDOW (0, -6)-(40, 6)
```

```
CLS
```

```
PORT = &H2E0
```

```
OUT PORT + 3, 0
```

```
ADT = 2048
```

```
CLS
```

```
DIM DAC(4000)
```

```
DIM g(4000)
```

```
DIM F(4000)
```

```
DIM k(4000)
```

```
DIM Z(4000)
```

```
REM ***** LINE SCALE *****
```

```
FOR y = -10 TO 10
```

```
FOR x = 0 TO 100
```

```
LINE (0, y)-(100, y)
```

```
LINE (x, -100)-(x, 100), 8
```

```
LINE (0, 0)-(40, 0)
```

```
NEXT x
```

```
NEXT y
```

```
REM ***** INPUT DATA *****
```

```
5 INPUT "FILE NAME FOR SAVE DATA (NAME.DAT)", A$
```

```
IF A$ = "" GOTO 5
```

```
INPUT "VOLT/DIV (V/DIV) ,{1 DIV : 4 DIV}:", vdiv
```

```
INPUT "TIME/DIV (msec/DIV) :", tdiv
```

```
OPEN A$ FOR OUTPUT AS #1
```

```
i = 0
```

```
t = 0
```

```
n = 0
```

```
r = 0
```

```

DO
    OUT PORT + 2, 1
    OUT PORT, 0
    FOR d = 0 TO ADT
        NEXT d
10 S = INP(PORT + 3) AND &H80
    IF S <> 0 THEN GOTO 10
    DM = INP(PORT + 1)
    DL = INP(PORT + 0)
    i = i + 1
    DAC(i) = ((DM * 16) + (DL / 16)) * 5 / 4096
    g(i) = (((DAC(i)) - .82) * (4 / .81)) * vdiv
    WRITE #1, t * tdiv, g(i)
    F(i) = g(i) / vdiv
    PSET (r, F(i))
    t = t + (1 / 444)
    r = r + (4 / 444)
    LOOP UNTIL INKEY$ = CHR$(27) OR i = 3999
    CLOSE #1
20 INPUT "DO YOU WANT INTEGRATE (Y/N) ?", g$
    IF g$ = "y" OR g$ = "Y" THEN GOTO 30
    IF g$ = "n" OR g$ = "N" THEN GOTO 40 ELSE GOTO 20
REM "***** INTEGRATE DATA *****"
30 CLS
    FOR y = -10 TO 10
        FOR x = 0 TO 100
            LINE (0, y)-(100, y)
            LINE (x, -100)-(x, 100), 8
            LINE (0, 0)-(40, 0)
        NEXT x
    NEXT y

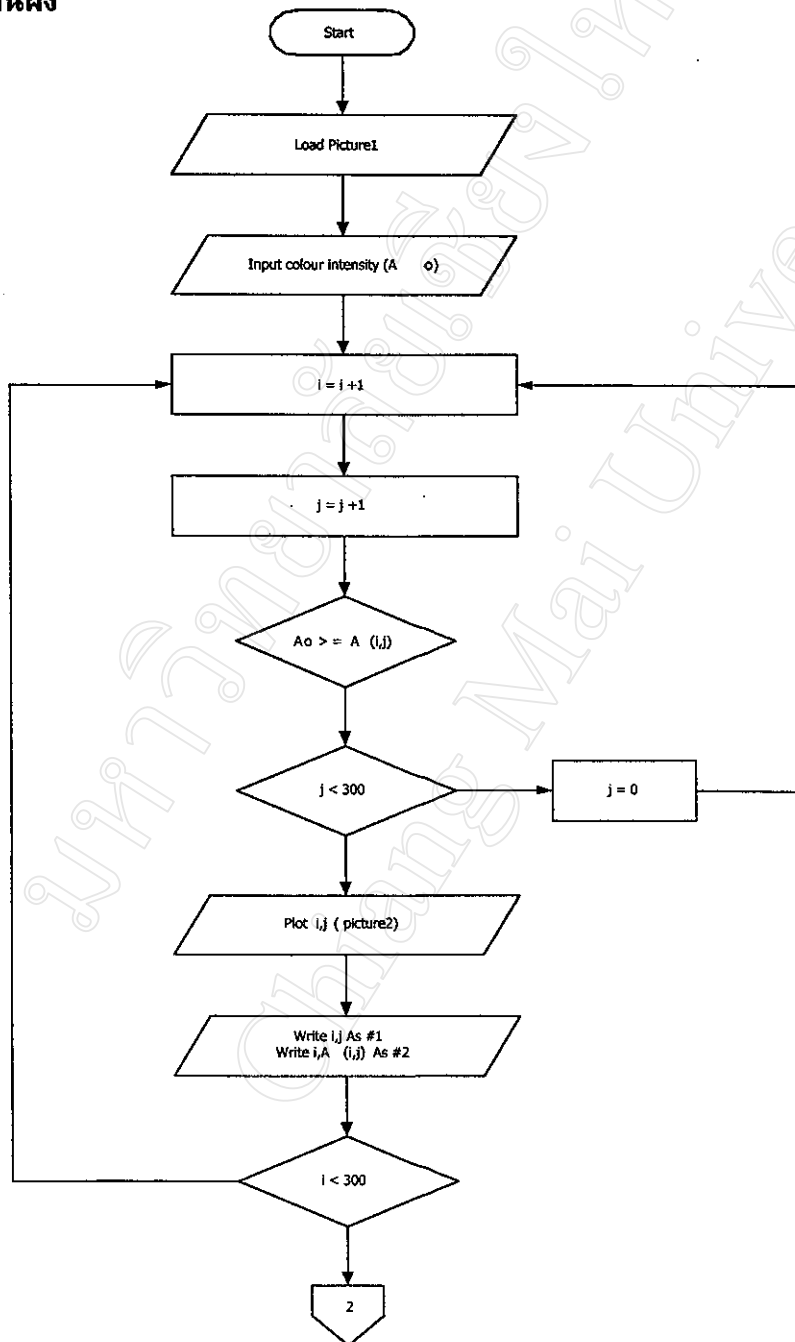
```

```
INPUT "FILE NAME FOR SAVE INTEGRATE DATA (NAME.DAT):", C$
INPUT "VOLTS/DIV (V.msec/DIV)          :", div
OPEN C$ FOR OUTPUT AS #2
  t = 0
  g(0) = 0
  n = 0
  FOR j = 1 TO 3999
    g(j) = (g(j) * (1 / 444) * tdiv + g(j - 1))
    WRITE #2, n, g(j)
    k(j) = g(j) * (1 / div)
    m = n + (1 / 444) * tdiv
    t = t + 4 / 444
    PSET (t, k(j))
  NEXT j
  CLOSE #2
40 END
```

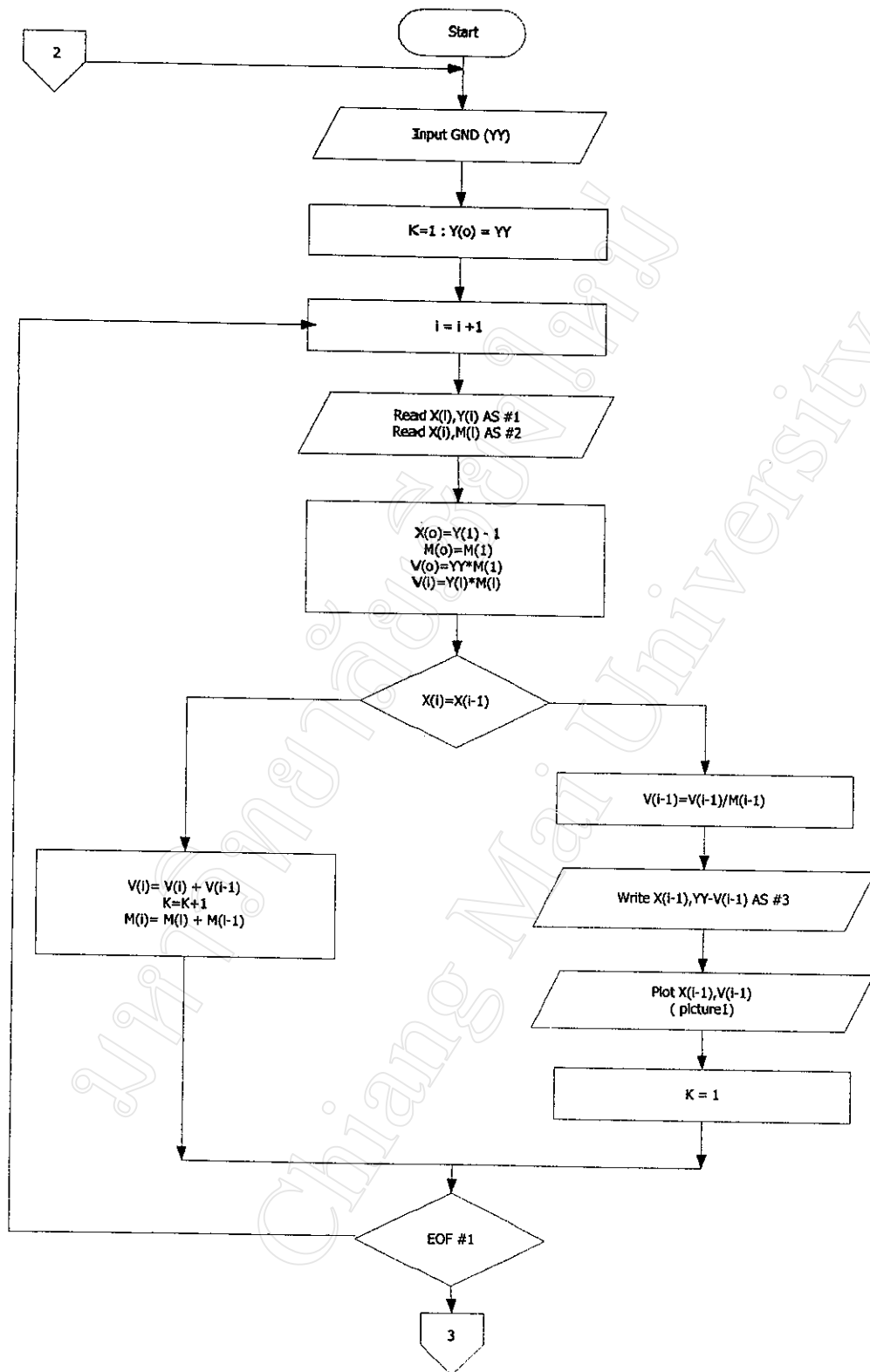
2. โปรแกรมอ่านค่ากราฟ

เป็นโปรแกรมที่ใช้อ่านค่าสัญญาณจากรูปภาพแล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย

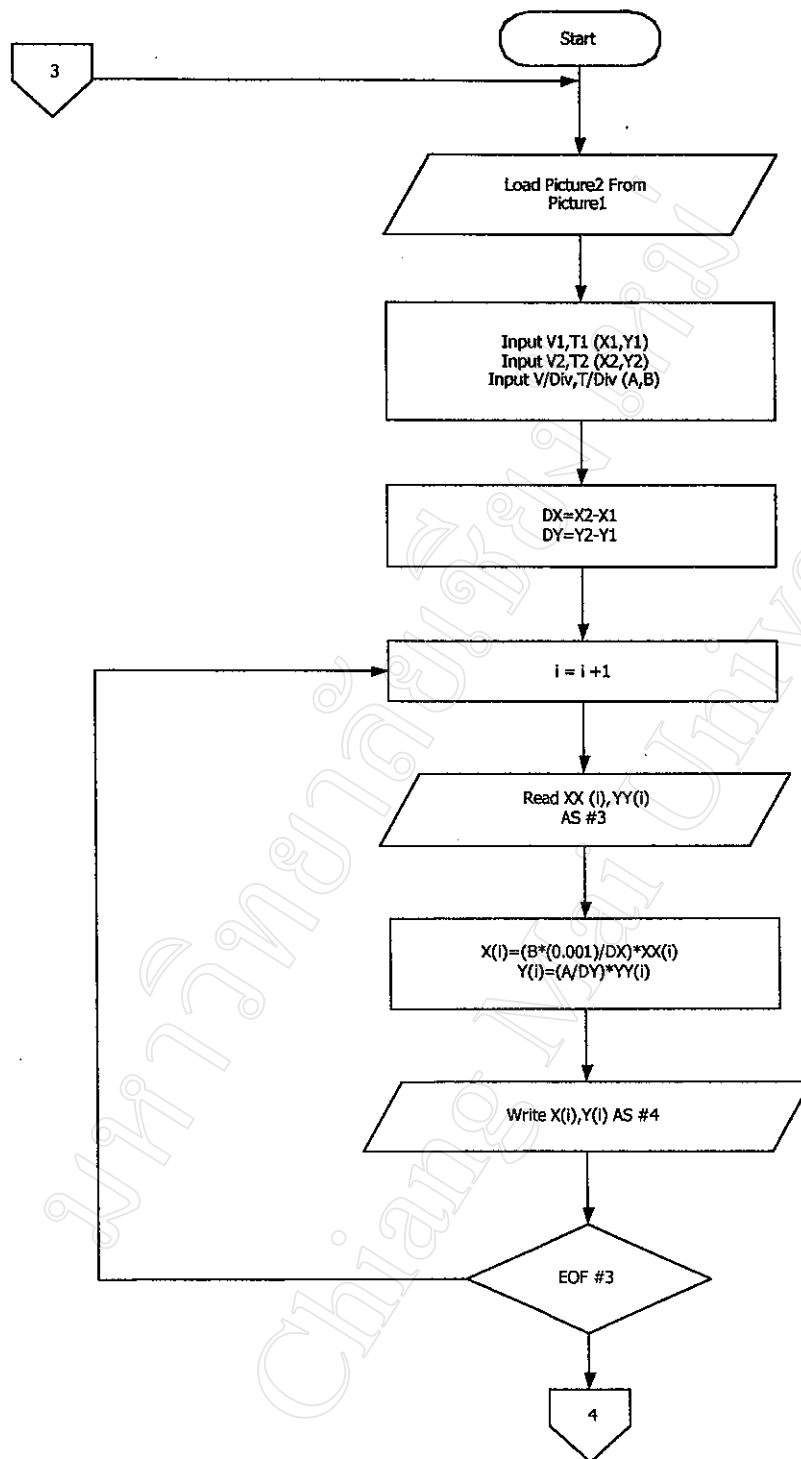
แผนผัง



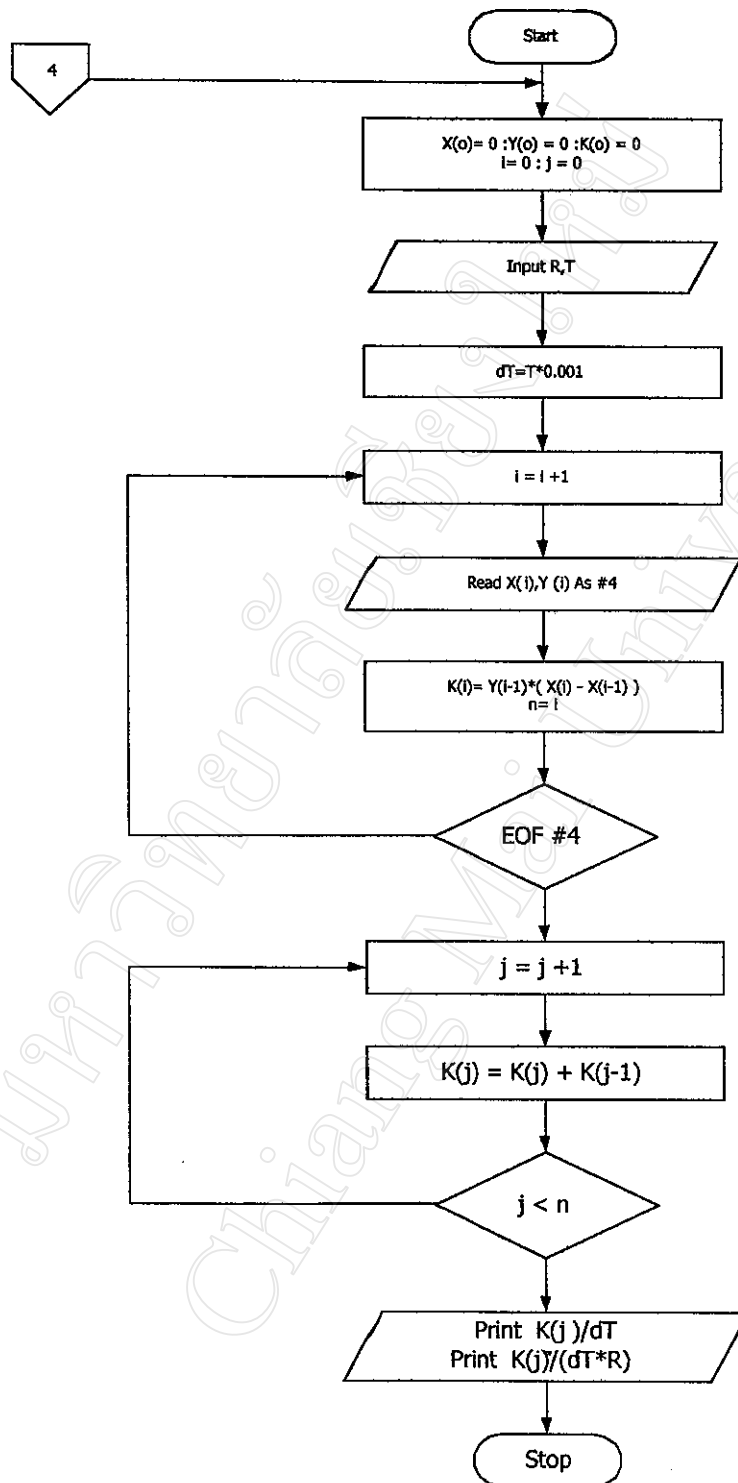
รูปที่ ผ(ข).2 แสดงแผนผังของโปรแกรมอ่านค่ากราฟ



รูปที่ ผ(ข).2(ต่อ) แสดงแผนผังของโปรแกรมอ่านค่ากราฟ



รูปที่ ผ(ข).2(ต่อ) แสดงแผนผังของโปรแกรมอ่านค่ากราฟ



รูปที่ ผ(ข).2(ต่อ) แสดงแผนผังของโปรแกรมอ่านค่ากราฟ

โปรแกรมอ่านค่ากราฟ

```
Private Sub Command1_Click()
    Picture2.Cls
    Text2.Text = ""
    Open "C:\Windows\Temp\DATA.DAT" For Output As #1
    Open "C:\Windows\Temp\DATA3.DAT" For Output As #7
    For j = 0 To 300
        For i = 0 To 300
            A = Picture1.Point(j, i)
            If A >= Val(Text1.Text) Then Picture2.PSet (j, i): Write #1, j, i: C =
Picture1.Point(j, i): Write #7, j, C
        Next i
    Next j
    Close #7
    Close #1
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
    Dim X(90000), Y(90000), M(90000), V(90000)
    i = 0
    K = 1
    YY = Val(Text2.Text)
    Y(0) = YY
    Open "C:\Windows\Temp\DATA.DAT" For Input As #2
    Open "C:\Windows\Temp\DATA3.DAT" For Input As #8
    Open "C:\Windows\Temp\DATA1.DAT" For Output As #3
    Do While Not EOF(2)
        i = i + 1
        Input #2, X(i), Y(i)
        Input #8, X(i), M(i)
```

```

X(0) = X(1) - 1
M(0) = M(1)
V(0) = YY * M(1)
V(i) = Y(i) * M(i)
If X(i) = X(i - 1) Then V(i) = V(i) + V(i - 1): K = K + 1: M(i) = M(i) + M(i - 1) Else V(i - 1)
= V(i - 1) / (M(i - 1))
Write #3, X(i - 1), YY - V(i - 1)
Picture1.PSet (X(i - 1), V(i - 1))
K = 1
Loop
Close #3
Close #8
Close #2
End Sub

Private Sub Command3_Click()
DX = Val(Text5.Text) - Val(Text3.Text)
DY = Val(Text6.Text) - Val(Text4.Text)
A = Val(Text7.Text)
B = Val(Text8.Text)
Open "C:\Windows\Temp\DATA1.DAT" For Input As #4
Open "C:\Windows\Temp\DATA2.DAT" For Output As #5
Do While Not EOF(4)
Input #4, xx, YY
X = (B * (0.001) / DX) * xx
Y = (A / DY) * YY
Write #5, X, Y
Loop
Close #4
Close #5
Picture3.Print "OK!"

```

End Sub

Private Sub Command4_Click()

Dim X(90000), Y(90000), K(90000)

X(0) = 0

Y(0) = 0

K(0) = 0

i = 0

R = Val(Text9.Text)

dT = Val(Text12.Text) * 0.001

Open "C:\Windows\Temp\DATA2.DAT" For Input As #6

Do While Not EOF(6)

i = i + 1

Input #6, X(i), Y(i)

K(i) = Y(i - 1) * (X(i) - X(i - 1))

j = i

Loop

For n = 1 To j

K(n) = K(n) + K(n - 1)

V = K(n)

Next n

Text10.Text = V / dT

Text11.Text = V / (dT * R)

Close #6

End Sub

Private Sub Command5_Click()

Picture2.Picture = Picture1.Picture

End Sub

Private Sub Dir1_Change()

File1.Path = Dir1

End Sub

Private Sub Drive1_Change()

Dir1 = Drive1

End Sub

Private Sub File1_Click()

p\$ = File1.Path

If Right\$(p\$, 1) <> "\" Then p\$ = p\$ + "\"

Picture1.Picture = LoadPicture(p\$ + File1)

End Sub

Private Sub Picture1_Change()

Picture2.Cls

Picture2.Picture = LoadPicture("")

Picture3.Cls

Text1.Text = ""

Text2.Text = ""

Text10.Text = ""

Text11.Text = ""

Text12.Text = 1

End Sub

Private Sub Picture1_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)

B = Picture1.Point(X, Y)

Text1.Text = B

End Sub

Private Sub Picture1_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)

Text2.Text = ""

Text2.Text = Y

End Sub

Private Sub Picture2_MouseDown(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)

Text3.Text = X

Text4.Text = Y

End Sub

Private Sub Picture2_MouseUp(Button As Integer, Shift As Integer, X As Single, Y As Single)

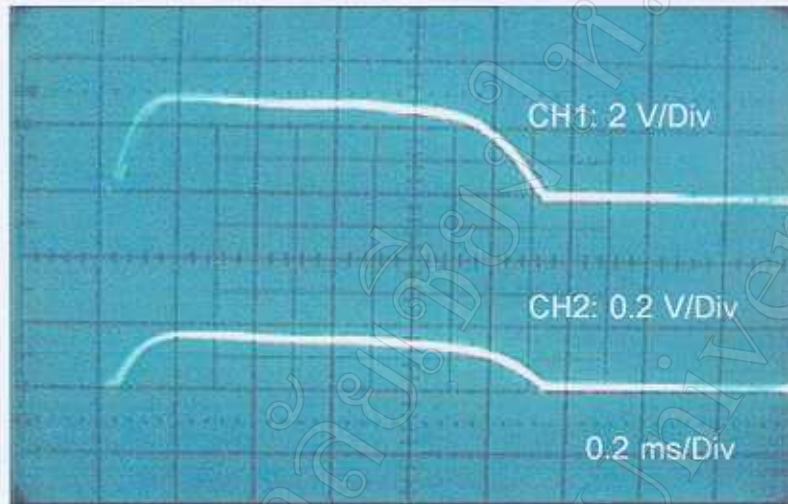
Text5.Text = X

Text6.Text = Y

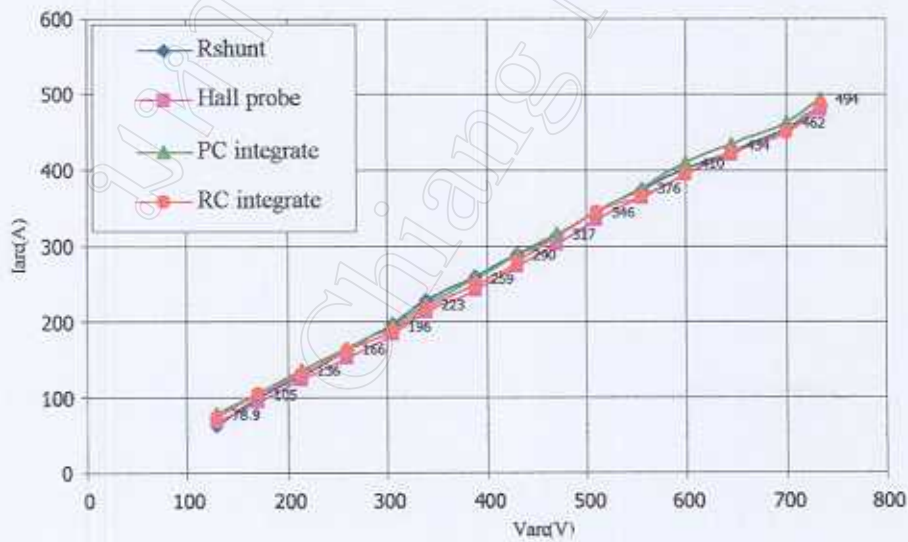
End Sub

ภาคผนวก ค

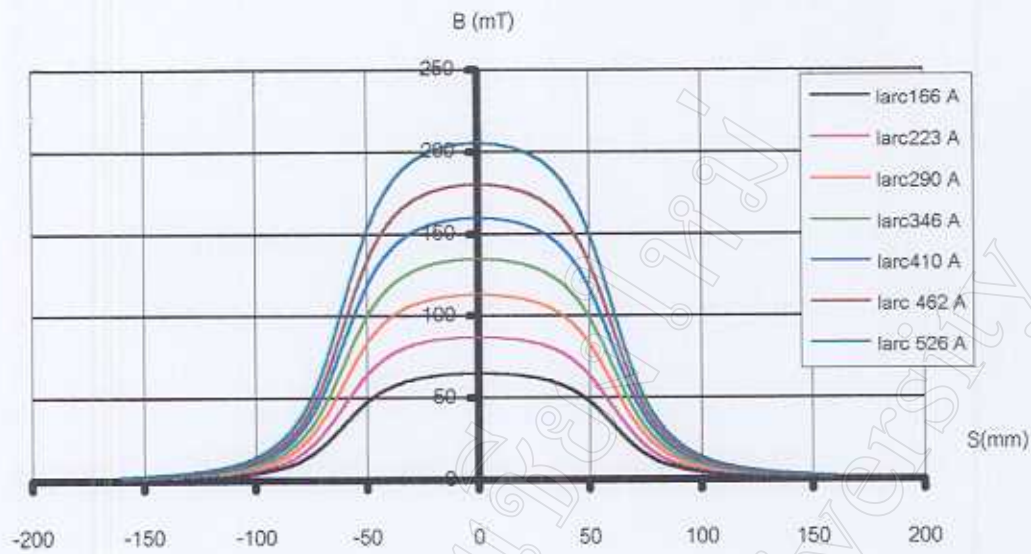
ผลการทดลองเพิ่มเติม



รูปที่ ผ(ค).1 ภาพเปรียบเทียบสัญญาณ V_{rshunt} (CH1) และ $V_{\text{Hall Probe}}$ (CH2)
ที่ Arc voltage 400 V



รูปที่ ผ(ค).2 แสดงผลการทดลองสอบเทียบระบบวัดกระแส ฮอลล์โพรบและทอรอยด์ที่พัฒนาขึ้นกับความต้านทานขั้ว

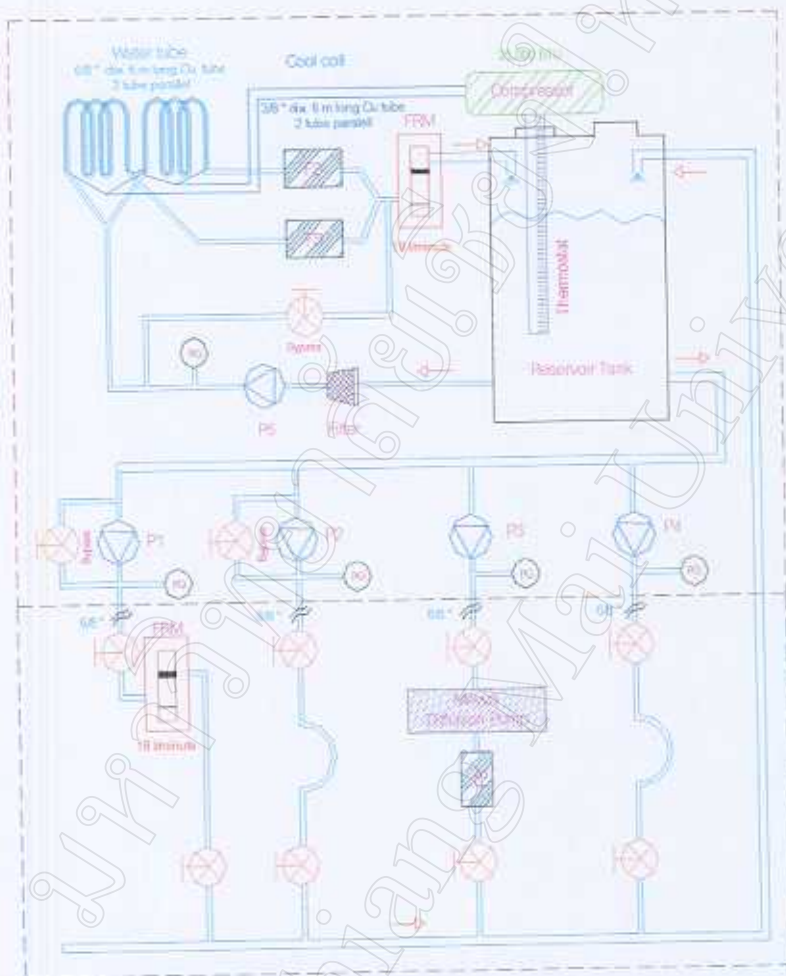


รูปที่ ผ(ค).3 แสดงผลการคำนวณสนามแม่เหล็กในแนวแกนกลางของท่อลำเลียงชนิดโซลินอยด์
ตรง ที่กระแสอาร์กต่างๆ

* จากสมการ

$$B = \frac{\mu_0 ni}{2} \left[\frac{Z_2}{\sqrt{R^2 + Z_2^2}} - \frac{Z_1}{\sqrt{R^2 + Z_1^2}} \right]$$

ภาคผนวก ง

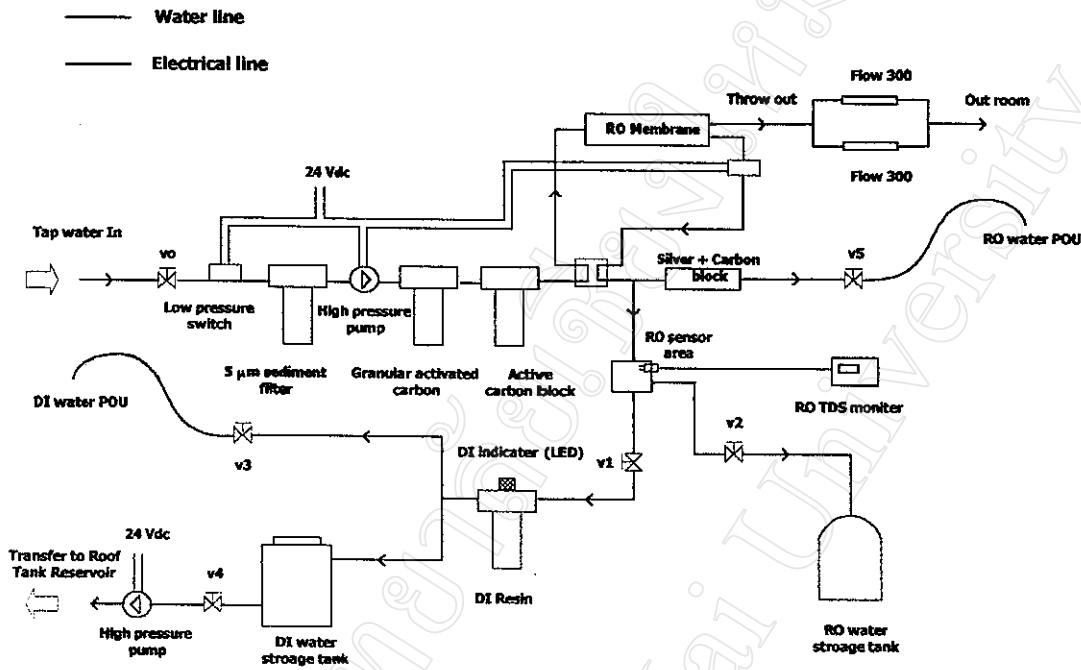


Close circuit water cooling system

Solid & Electronics research lab

รูปที่ ผ(ง).1 แสดงระบบหล่อเย็นด้วยน้ำ

ION FREE WATER TREATMENT SYSTEM



รูปที่ ผ(ง).2 แสดงระบบผลิตน้ำไร้ประจุ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย ปรีชา	คุ้มโท
วัน เดือน ปี เกิด	20 มีนาคม 2516	
ประวัติการศึกษา	ปี พ.ศ. 2538	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีครุศาสตร์บัณฑิต วิชาเอกฟิสิกส์ วิชาโทวิทยาการคอมพิวเตอร์ จากสถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก