สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

ชุดทดลองฟิสิกส์พื้นฐาน โครงการที่ 1

โดย

รองศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ

RCH
QC
53
.T5A75
เลขหมู่.....
67379
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี 29 พ.ย. 2549

.b 11664708
.i.....

งานวิจัยด้วยเงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

งานวิจัย "ชุดทดลองฟิสิกส์พื้นฐาน โครงการที่ 1" ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีพอสมควร ด้วยเป้าหมายที่จะพัฒนาเครื่องมือไปถึงระดับเชิงพาณิชย์ กระผมมีความเห็นว่า 3 เรื่องจากทั้งหมด 6 เรื่อง สามารถเข้าสู่กระบวนการเชิงพาณิชย์ได้ในทันที คือ

1. มินิล็อกเกอร์ เวอร์ชัน 3.0
2. วงจร RC
3. วงจร RLC

ส่วนอีก 3 เรื่อง ต้องพัฒนารูปลักษณ์ภายนอก จึงจะสามารถเข้าสู่กระบวนการเชิงพาณิชย์ได้

กระผมในฐานะหัวหน้าโครงการฯ หวังว่าโครงการนี้จะเป็นประโยชน์ต่อคณะฯและสถาบันฯต่อไป

(รองศาสตราจารย์ วิชาญ เตชิตธีระ)
หัวหน้าโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
มินิล็อกเกอร์ เวอร์ชัน 3.0	1
วงจร RC	50
วงจร RLC	77
วิทสโตนบริดจ์	97
เทอร์โมอิเล็กตริกซิตี	105
มุมบริวสเตอร์	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มินิล็อกเกอร์ เวอร์ชั่น 3.0

MiniLOGGER V3.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบาญ

บทนำ

การทำงานของมินิล็อกเกอร์

คำสั่งที่ใช้ติดต่อ

การบันทึกข้อมูลเข้าเครื่องพีซี

การสร้างกราฟด้วยโปรแกรม Excel และการทำ Curve fitting

วงจรสมบูรณ์ และลิสต์โปรแกรม

บทนำ

มินิล็อกเกอร์ เป็นอุปกรณ์ใช้บันทึกสัญญาณอนาลอกจำนวน 4 ช่อง สามารถรับแรงดันไฟตรงขนาด $\pm$ 400.0mV ความละเอียด 100μV ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลเป็นชนิดอินทีเกรตสโลปคู่ ข้อมูลดิจิตอลที่แปลงได้จะบันทึกลงในหน่วยความจำแรมขนาดความจุ 128kB ช่วงเวลาการสุ่มข้อมูลปรับได้ตั้งแต่ 1-600วินาที หน่วยความจำมีถ่านชนิดลิเที่ยม +3V สำหรับป้อนให้เมื่อปลดอแดปเตอร์ ข้อมูลที่บันทึกในหน่วยความจำแรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถถ่ายให้กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์พีซีผ่านทางพอตอนุกรม COM1หรือ COM2 เพื่อนำไปพลอตกราฟและวิเคราะห์ต่อไปได้ คุณสมบัติของมินิล็อกเกอร์ เวอร์ชั่น 3 มีดังนี้

Microprocessor: T89C51RD2, 11.0592MHz

Memory: 128kB SRAM with battery backup

ADC: 7109 12 bits Dual-slope integrating type, analog-to-digital converter

MUX: differential 4-channel analog multiplexer

RTC: DS1307 I2C interface real-time clock

LCD: 16x1 LCD display

DC input: +9V 300mA DC adapter

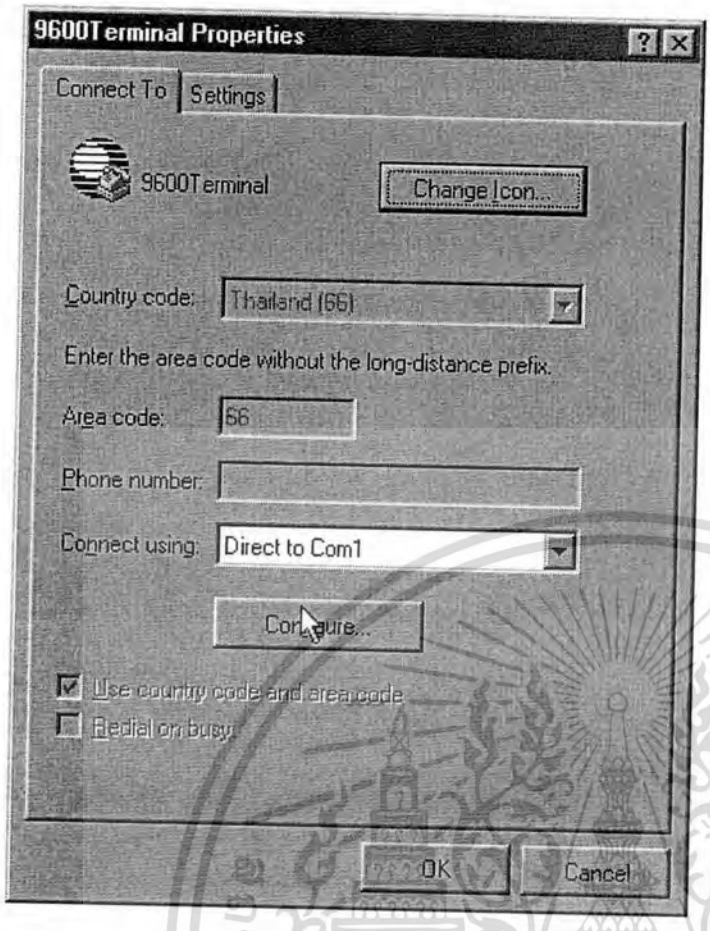
Firmware: Mini3.c, compiled with Micro-C for 8051

การทำงานของมินิล็อกเกอร์

มินิล็อกเกอร์ มีพอตอนุกรมชนิด RS232C สามารถใช้ต่อเข้ากับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์พีซีทาง COM1 หรือ COM2 ที่มีขั้วต่อเป็นแบบ DB9 อัตราเร็วที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลมีค่า 9600 บิตต่อวินาที ขนาดข้อมูล 8 บิต บิตที่ใช้บ่งข้อมูลสิ้นสุดมีขนาด 1 บิต และไม่ใช้บิตพาริตี้ สายเคเบิลที่ใช้เชื่อมระหว่างบอร์ดมินิล็อกเกอร์ กับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์พีซีเป็นสายชนิดที่มีขั้วต่อทั้งสองด้านเป็น DB9 ตัวเมีย ลักษณะการต่อแบบนี้เราเรียกได้ว่าเป็นแบบนัลโมเด็มเคเบิล (null modem cable) เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์พีซีจะต้องรันโปรแกรมที่เลียนแบบการทำงานของเทอร์มินัลเช่น VT100 เป็นต้น

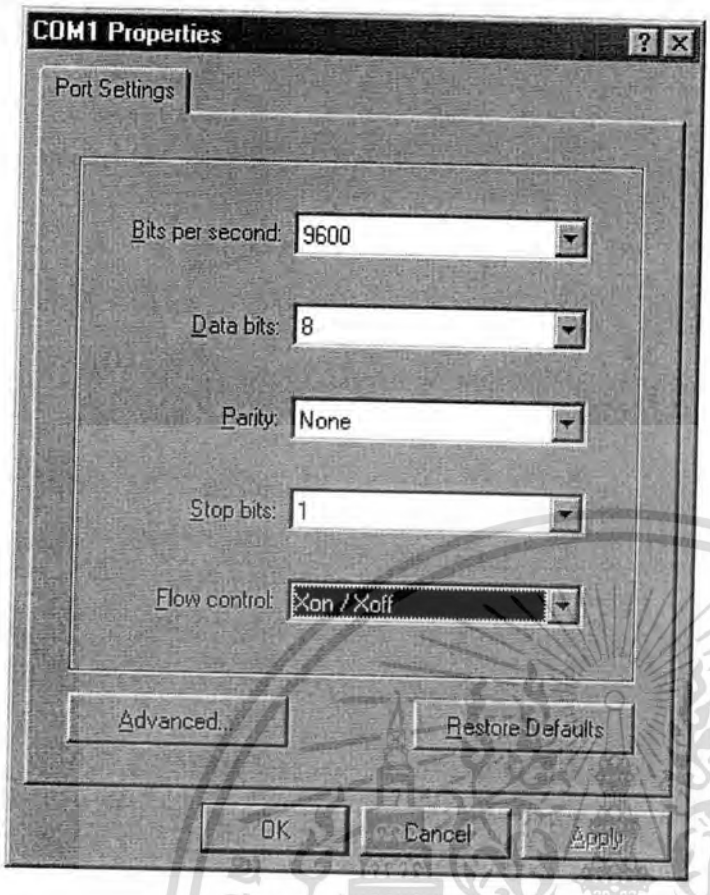
โปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินัลสามารถใช้เลียนแบบการทำงานเทอร์มินัล VT100 เพื่อใช้ติดต่อกับมินิล็อกเกอร์ได้ สำหรับเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์พีซีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows98 สามารถเรียกใช้โปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินัลได้จากการคลิกที่ Start>Programs>Accessories>Communications> Hyperterminal เมื่อโปรแกรมเปิดหน้าต่างของเทอร์มินัลแล้ว ให้เลือกไปที่ File>Properties จะปรากฏหน้าต่างที่ใช้กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ให้เลือกช่องสัญญาณที่ใช้รับส่งข้อมูลเป็น Direct to Com1 จากนั้นให้กดปุ่ม Configure จะปรากฏหน้าต่างกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้เลือกรูปแบบดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

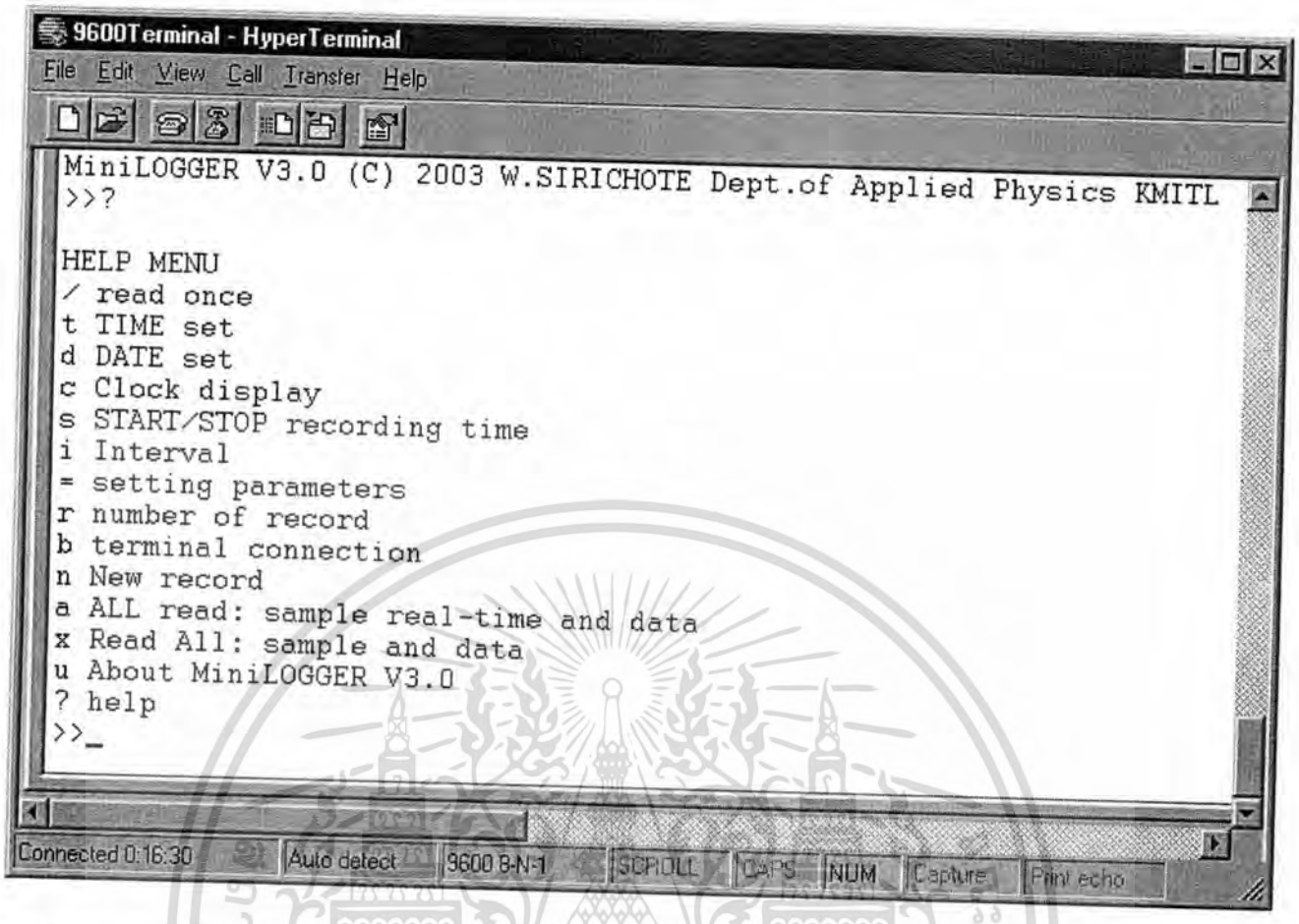


สังเกตว่าค่าที่บอร์ดมินิล็อกเกอร์ต้องการคือ 9600 8n1 การควบคุมการถ่ายโอนหรือ Flow control จะเลือกเป็นแบบ Xon/Xoff เมื่อเลือกค่าเสร็จแล้วให้กดปุ่ม OK

คำสั่งที่ใช้ติดต่อ

เราสามารถป้อนคำสั่งต่างๆโดยการกดคีย์ของเครื่องพีซีและแสดงผลลัพธ์บนจอภาพได้ หลังจากที่เราเซ็ตค่าต่างๆ ของโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินัลดังตัวอย่างที่ผ่านมามาดูกันว่าบอร์ดมินิล็อกเกอร์สามารถใช้คำสั่งใดได้บ้าง ทดลองกดคีย์ ? จะปรากฏผลเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เราเริ่มต้นด้วยคำสั่ง อ่านค่าสัญญาณอนาลอกทั้ง 4 ช่องสัญญาณพร้อมทั้งวันที่และเวลาปัจจุบันโดยการกดคีย์ /

>>/

31-07-46 13:35:23 2447 2419 2394 2480

>>

บอร์ดมินิล็อกเกอร์จะส่งค่าวันเดือนปี เวลาปัจจุบัน และค่าแรงดันไฟตรงจำนวน 4 ช่องสัญญาณ โดยที่ค่าที่แสดงผลแต่ละช่องจะมีค่าเท่ากับ x0.1mV เช่น 2447 แรงดันไฟตรงที่ช่อง 1 จะเท่ากับ 244.7mV

เราสามารถเซ็ตค่าวันเดือนปีและเวลาปัจจุบันได้ด้วยคำสั่ง d และ t ดังตัวอย่างต่อไปนี้

>>d

enter current date DD-MM-YR >31-07-46

>>t

enter current time HH:MM:SS >15:42:00

>>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการป้อนข้อมูลที่มีเพียงหลักเดียวเช่นวันที่ 1 นั้นเราต้องป้อนเป็น 01 เป็นต้น

วิธีการบันทึกข้อมูลสามารถเลือกได้สองแบบคือ AUTO และ MANUAL แต่ละวิธีจะกำหนดโดยคำสั่ง s ดังอย่างเช่น

```
>>s
START 99:99 >06:00
STOP  99:99 >18:00
 06:00 18:00
>>
```

ตัวอย่างแรกเป็นแบบ AUTO เรากำหนดค่าเริ่มต้นการบันทึกข้อมูลตั้งแต่ เวลา 06:00 และหยุดบันทึกเวลา 18:00 ในแต่ละวัน ทดลองดูค่าที่เซ็ตไว้ด้วยคำสั่ง =

```
>>=
 START 06:00
 STOP  18:00
 SAMPLING INTERVAL(sec) = 60
 AUTO
>>
```

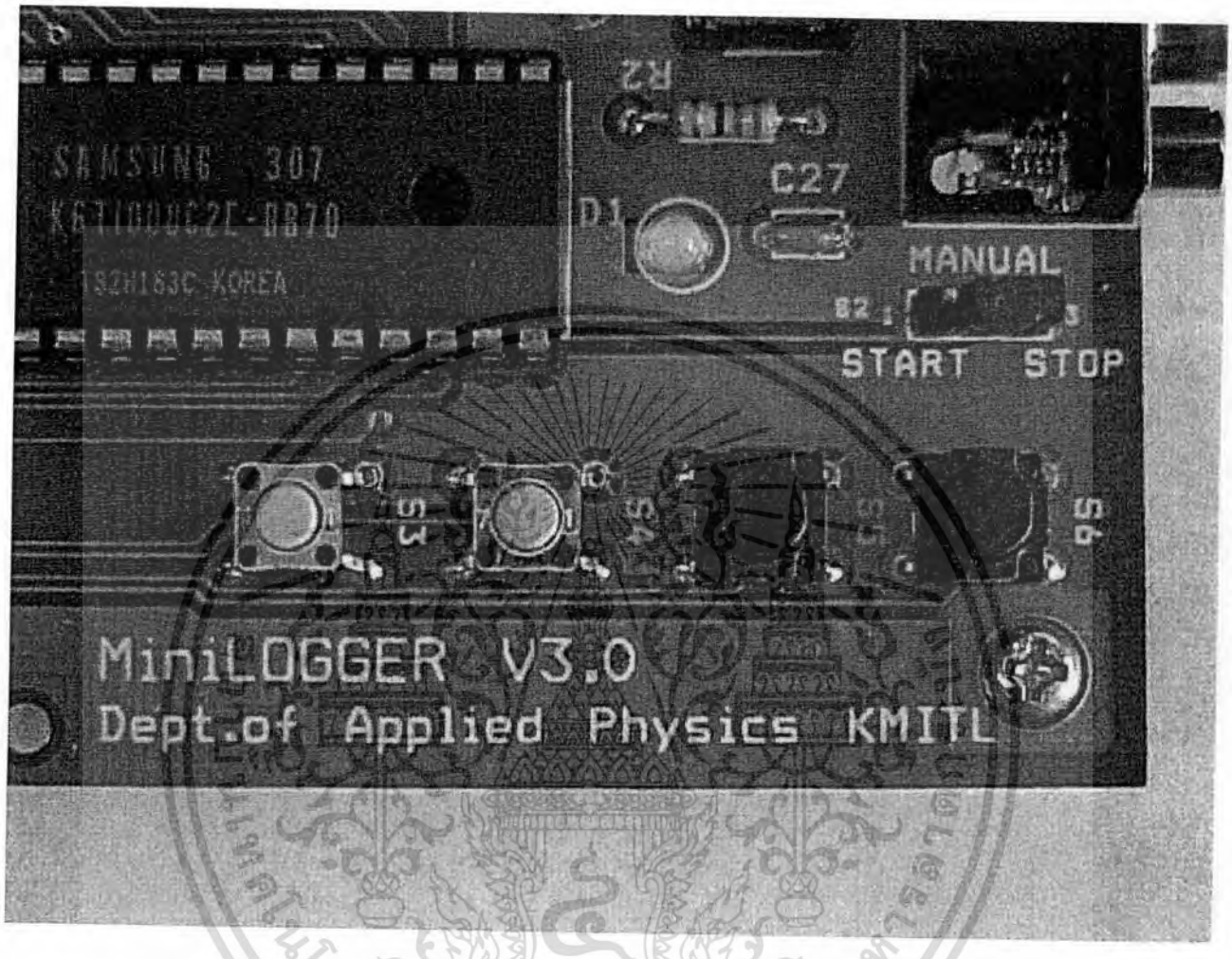
จะปรากฏวิธีการบันทึกเป็นแบบ AUTO แบบนี้จะเหมาะกับการติดตั้งแบบถาวร

แบบที่สองเป็นแบบ MANUAL เรียกคำสั่ง s อีกครั้ง

```
>>s
START 06:00 >99:99
STOP  18:00 >99:99
 99:99 99:99
>>=
 START 99:99
 STOP  99:99
 SAMPLING INTERVAL(sec) = 60
 MANUAL
>>
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ป้อนให้จะเป็นค่า 99:99 ทั้ง START และ STOP เมื่อกดคีย์ = เพื่อดูค่าที่เซ็ตไว้จะปรากฏวิธีการสั่งให้บันทึกเป็นแบบ MANAUL ในแบบนี้การเริ่มต้นจะกระทำโดยการเลือกตำแหน่งของจัมเปอร์ S2 บนบอร์ดมินิล็อกเกอร์



การกำหนดช่วงเวลาการสุ่มข้อมูลสามารถกระทำได้ด้วยคำสั่ง i ดังตัวอย่างต่อไปนี้

>>i

interval 1-600 sec > 5

>>=

START 99:99

STOP 99:99

SAMPLING INTERVAL(sec) = 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MANUAL

>>

ทดลองบันทึกข้อมูลใหม่ด้วยคำสั่ง n กด Y ถ้าแน่ใจว่าจะข้อมูลที่บันทึกไว้เดิมได้ถ่ายขึ้นมาเก็บไว้บนเครื่องพีซีแล้ว ป้อนคำอธิบายสั้นๆว่าเป็นการทดลองใด

>>n

New record?(Y/N)

<-- Enter description text (max 30 characters)-->

test1

ลองกดคีย์ r เพื่อดูว่ามีกี่เรคคอร์ด

>>r

0 records available

>>

เริ่มต้นบันทึกข้อมูลโดยการเลือกจัมเปอร์ S2 จาก STOP มาที่ START สังเกตอัตราการกระพริบของ LED D1 จะมีอัตราการกระพริบเป็น 1/3 วินาที จากเดิมทุกๆวินาที เป็นการบอกว่าการบันทึกข้อมูลได้เริ่มขึ้นแล้ว ในระหว่างการบันทึกเราสามารถดูว่าจำนวนของเรคคอร์ดมีเท่าใดแล้วโดยคำสั่ง r ได้ สำหรับมินิล็อกเกอร์ V3.0 นี้จะมีภาคแสดงผลเป็นแบบแอลซีดี (LCD) จะแสดงค่าจำนวนเร็คคอร์ดปัจจุบันด้วย

>>r

20 records available

>>

จะเห็นว่าปัจจุบันมีทั้งหมด 20 เร็คคอร์ด

ทดลองแสดงค่าทั้งหมดด้วยคำสั่ง A

>>a

test1

0 30-07-46 21:45:37 2461 2451 2453 2741

1 30-07-46 21:45:43 2858 2821 2811 2972

2 30-07-46 21:45:48 2999 2962 2951 3055

3 30-07-46 21:45:54 3029 3009 2999 3091

4 30-07-46 21:45:59 3036 3006 2999 3111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 30-07-46 21:46:04 3064 3033 3028 3119

6 30-07-46 21:46:10 3092 3067 3058 2947

7 30-07-46 21:46:15 2917 2889 2883 2853

8 30-07-46 21:46:20 2828 2798 2792 2785

9 30-07-46 21:46:26 2765 2740 2734 2735

10 30-07-46 21:46:31 2708 2683 2678 2697

11 30-07-46 21:46:36 2669 2645 2639 2666

12 30-07-46 21:46:42 2638 2614 2609 2641

13 30-07-46 21:46:47 2613 2589 2584 2620

14 30-07-46 21:46:52 2591 2568 2563 2605

15 30-07-46 21:46:58 2573 2543 2536 2590

16 30-07-46 21:47:04 2571 2545 2540 2577

17 30-07-46 21:47:09 2551 2520 2513 2570

18 30-07-46 21:47:14 2547 2527 2521 2563

19 30-07-46 21:47:20 2531 2505 2499 2554

>>

หรือใช้คำสั่ง x

>>x

test1

0 2461 2451 2453 2741

1 2858 2821 2811 2972

2 2999 2962 2951 3055

3 3029 3009 2999 3091

4 3036 3006 2999 3111

5 3064 3033 3028 3119

6 3092 3067 3058 2947

7 2917 2889 2883 2853

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8 2828 2798 2792 2785

9 2765 2740 2734 2735

10 2708 2683 2678 2697

11 2669 2645 2639 2666

12 2638 2614 2609 2641

13 2613 2589 2584 2620

14 2591 2568 2563 2605

15 2573 2543 2536 2590

16 2571 2545 2540 2577

17 2551 2520 2513 2570

18 2547 2527 2521 2563

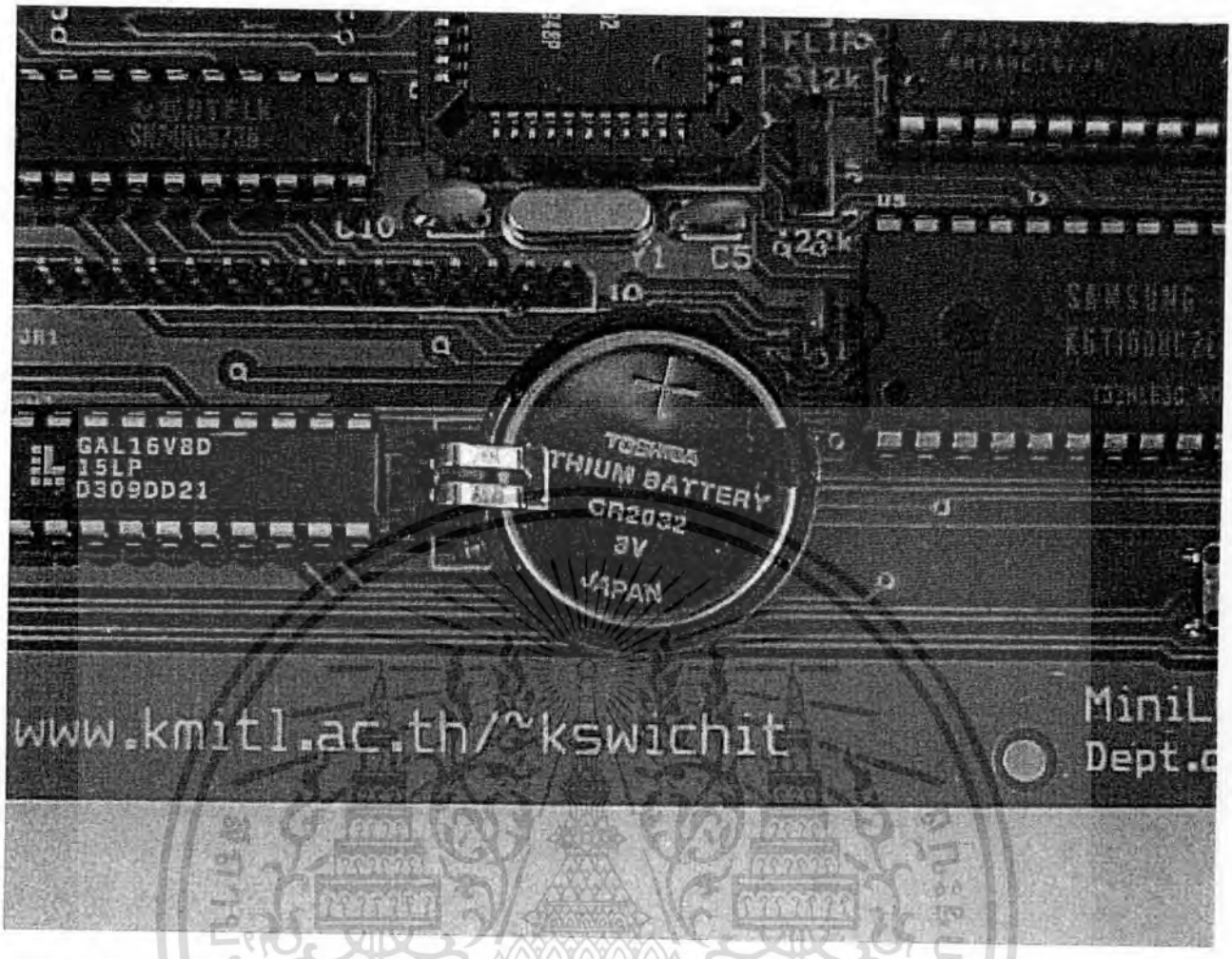
19 2531 2505 2499 2554

>>

คำสั่ง x จะต่างคำสั่ง a ตรงที่เวลาที่บันทึกจะไม่แสดงออกมา ตัวอย่างของการใช้คำสั่ง x จะใช้กับการทดลองที่วัดสัญญาณสองช่องโดยไม่จำเป็นต้องบันทึกค่าเวลา ขณะที่คำสั่ง a จะใช้กับการบันทึกสัญญาณที่ต้องการทราบการเปลี่ยนแปลงกับเวลา

ข้อมูลที่ได้รับการบันทึกไว้ในหน่วยความจำแรมจะมีถ่านชนิดลิเที่ยมเบอร์ CR2032 +3V ป้อนให้กับแรมเมื่อแหล่งจ่ายไฟจากอแดปเตอร์ปลดออก สังเกตขั้วบวกจะหงายขึ้นด้านบน ระยะเวลาการใช้งานสามารถใช้อย่างน้อยเป็นเวลาหนึ่งปีขึ้นไป

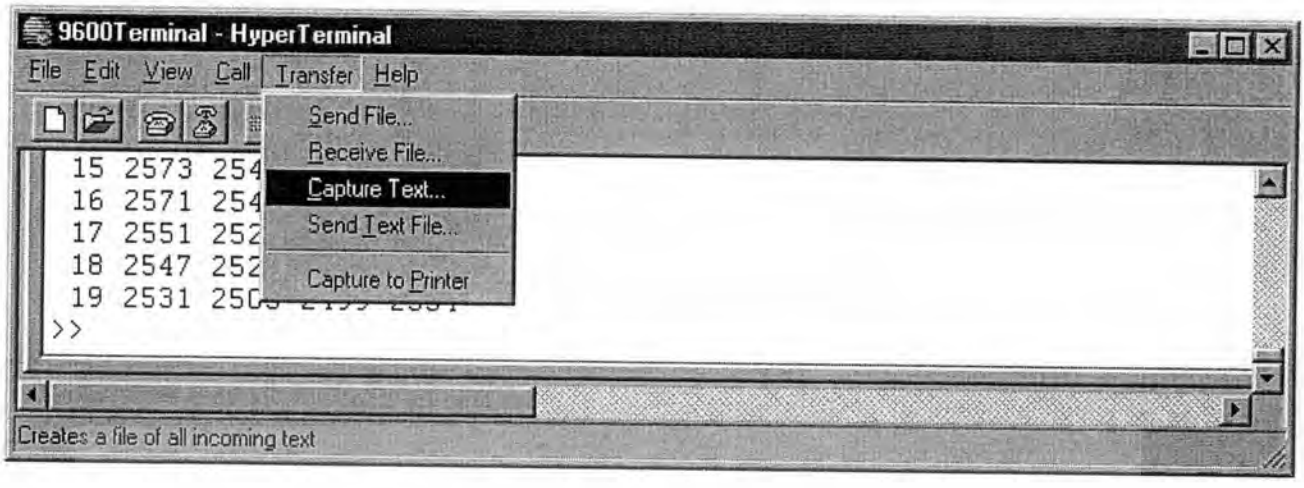
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การบันทึกข้อมูลเข้าเครื่องพีซี

ข้อมูลที่เราแสดงด้วยคำสั่ง a หรือคำสั่ง x นั้นโปรแกรมไฮเปอร์เทอร์มินัลมีเครื่องมือที่ทำให้เราสามารถเก็บข้อมูลดังกล่าวเป็นเท็กซ์ไฟล์ได้ โดยที่เท็กซ์ไฟดังกล่าวสามารถเปิดไฟล์ในโปรแกรมวิเคราะห์ต่างๆได้ เรามาดูการเก็บข้อมูลดังกล่าวก่อน

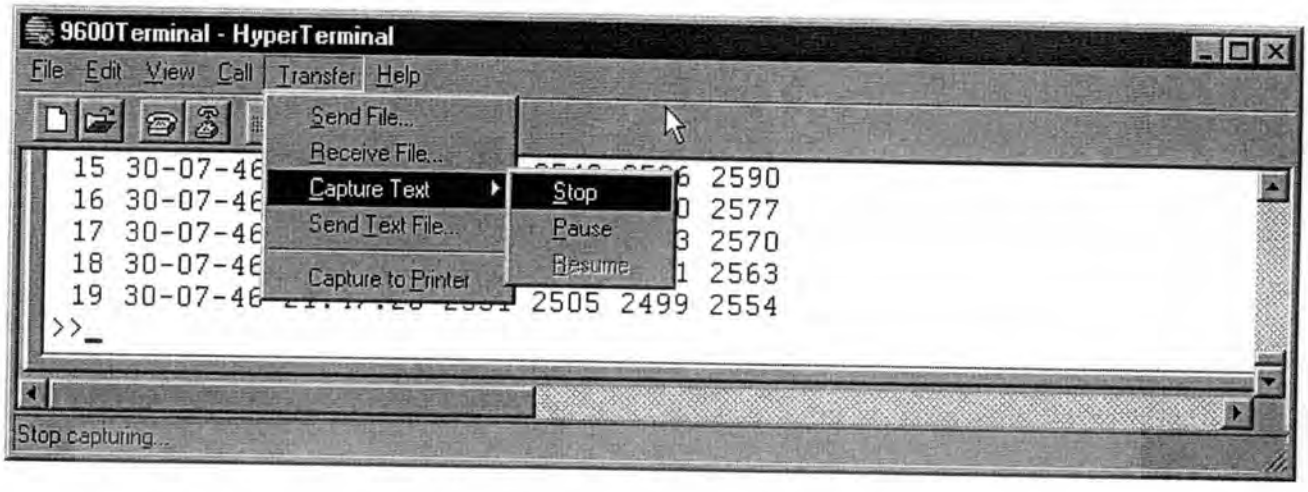
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



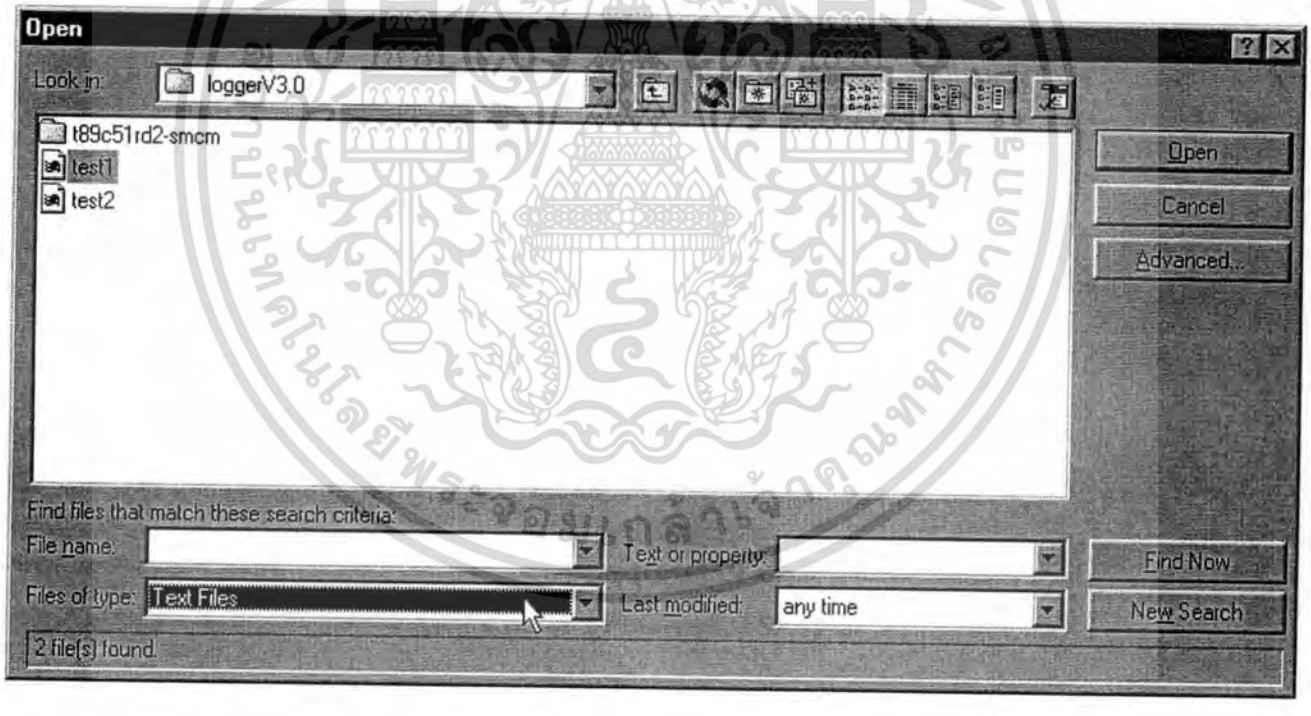
เลือกทูลบาร์ไปที่ Transfer>Capture Text ไฟล์

เราสามารถสร้างโฟลเดอร์ใหม่สำหรับใช้ในการเก็บข้อมูลได้โดยการกดปุ่ม Browse เป็นต้น
เมื่อสร้างชื่อไฟล์แล้วจากนั้นให้กดคำสั่ง a หรือ x เพื่อแสดงผลอีกครั้ง ข้อมูลแต่ละเร็คคอร์ดจะได้รับการบันทึกลงในไฟล์ที่เราได้ตั้งชื่อไว้อัตโนมัติ เมื่อข้อมูลได้แสดงผลจนหมดแล้ว เราจะหยุดการเก็บข้อมูลโดยการหยุดการ Capture ดังตัวอย่างต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

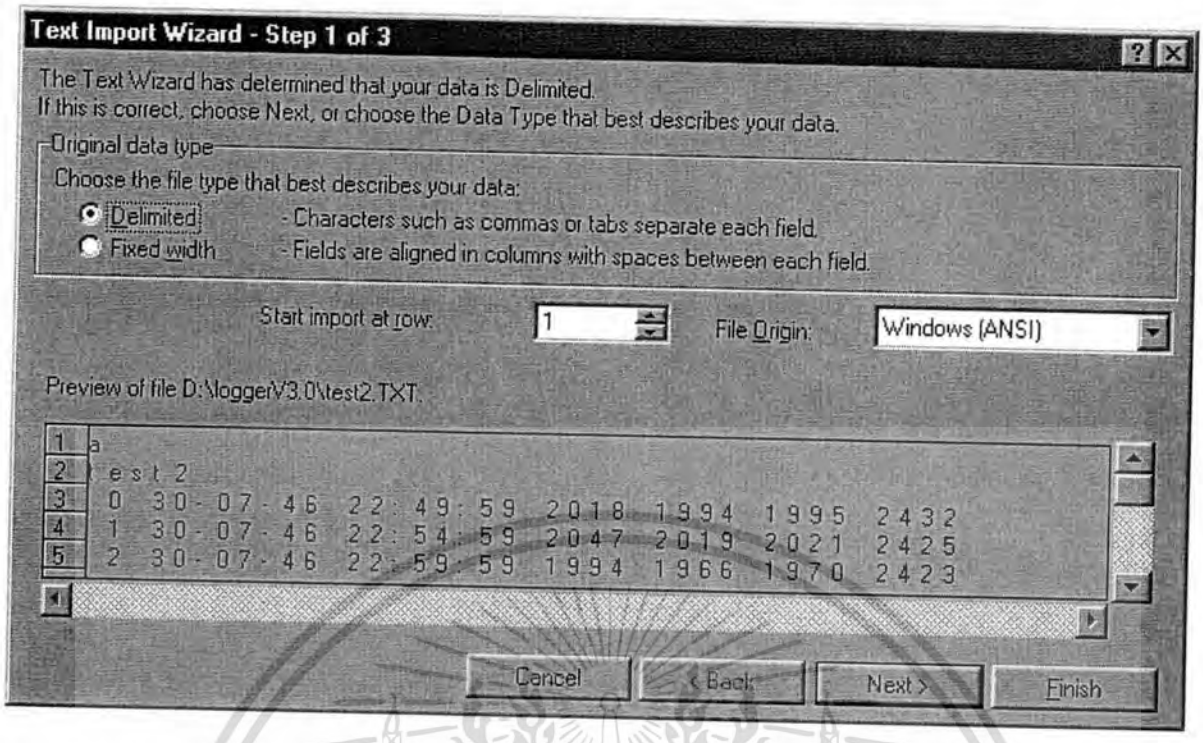


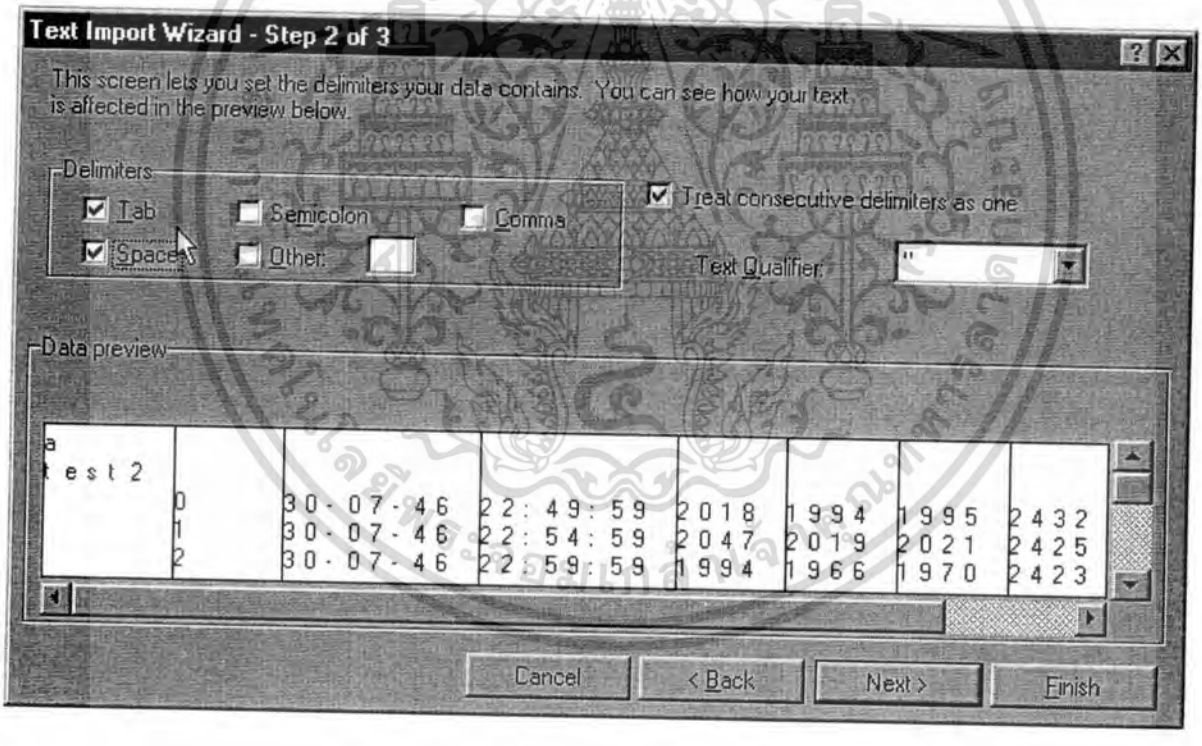
ข้อมูลที่บันทึกไว้เป็นเท็กซ์ไฟล์เช่น test.txt สามารถเปิดโดยโปรแกรม Excel เพื่อนำมาพลอตกราฟและทำการวิเคราะห์ต่างๆได้ มาดูการเปิดไฟล์ด้วยโปรแกรม Excel ดังตัวอย่างต่อไปนี้ เราเลือกชนิดของไฟล์เป็นเท็กซ์ไฟล์ในหน้าต่างเปิดไฟล์



โปรแกรม Excel จะมีเครื่องมือช่วยในการอิมพอตเท็กซ์ไฟล์ดังกล่าวป้อนข้อมูลเข้าไปยังแต่ละเซลล์อัตโนมัติ

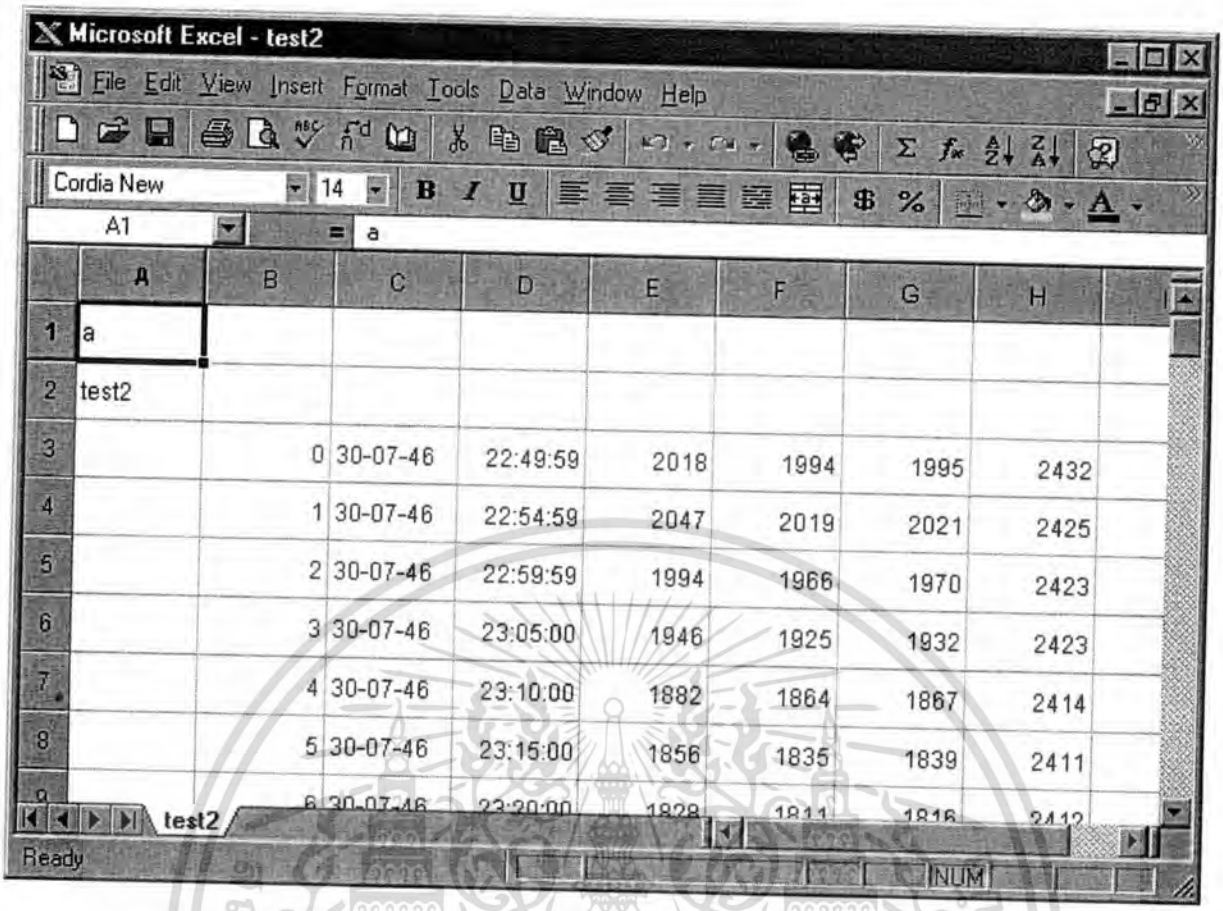
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เราเลือกตัวแบ่งช่องแต่ละเซลล์ด้วย Space จะทำให้โปรแกรม Excel แบ่งแต่ละคอลัมน์ให้ กรณีที่เราต้องการข้อมูลบางคอลัมน์เราอาจกด Next จะมีเครื่องมือช่วยให้เราเลือกช่องของข้อมูลได้ เมื่อได้ข้อมูลตามต้องการแล้วกดปุ่ม Finish จะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

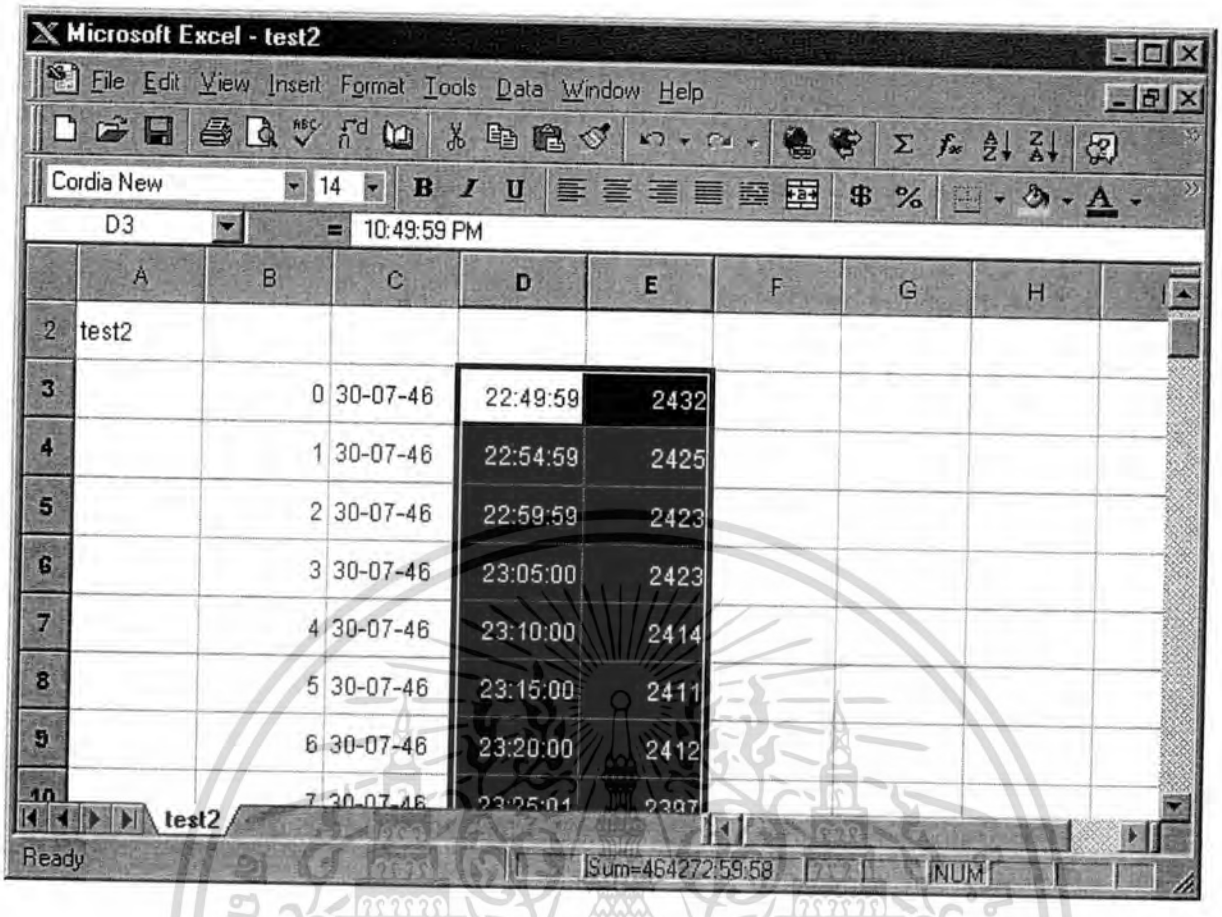


	A	B	C	D	E	F	G	H
1	a							
2	test2							
3		0	30-07-46	22:49:59	2018	1994	1995	2432
4		1	30-07-46	22:54:59	2047	2019	2021	2425
5		2	30-07-46	22:59:59	1994	1966	1970	2423
6		3	30-07-46	23:05:00	1946	1925	1932	2423
7		4	30-07-46	23:10:00	1882	1864	1867	2414
8		5	30-07-46	23:15:00	1856	1835	1839	2411
9		6	30-07-46	23:20:00	1828	1811	1816	2412

การสร้างกราฟด้วยโปรแกรม Excel และการทำ Curve fitting

ตัวอย่างต่อไปนี้จะทดลองพลอตกราฟระหว่างอุณหภูมิกับเวลา โดยที่เซนเซอร์ที่ใช้วัดอุณหภูมิต่อเข้าที่ช่องอนาลอกช่องที่ 4 หลังจากอิมพอตข้อมูลเข้ามาแล้ว ได้ลบข้อมูลช่องที่ 1-3 ทำให้ที่ปรากฏจะมีเพียงเวลาและค่าที่วัดได้ของสัญญาณอนาลอกช่องที่ 4 เราใช้เคอร์เซอร์คลิกแล้วลากช่องเซลล์ที่เราจะนำมาพลอตกราฟ ดังตัวอย่างข้างล่าง

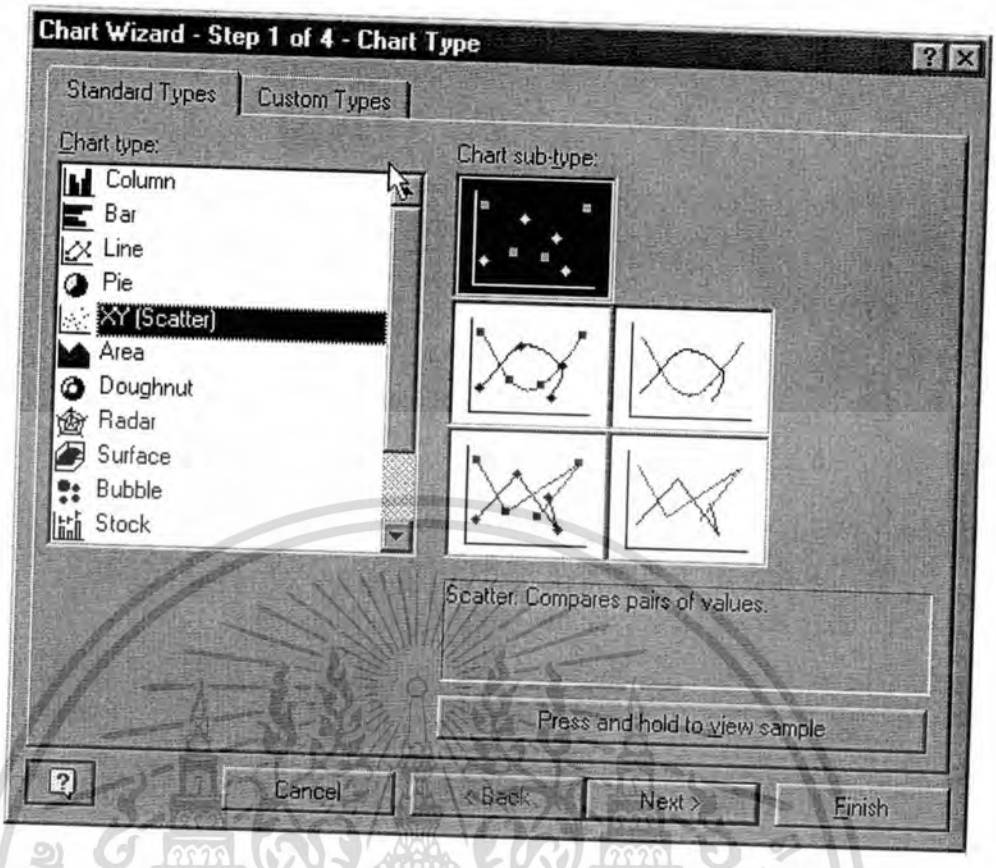
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



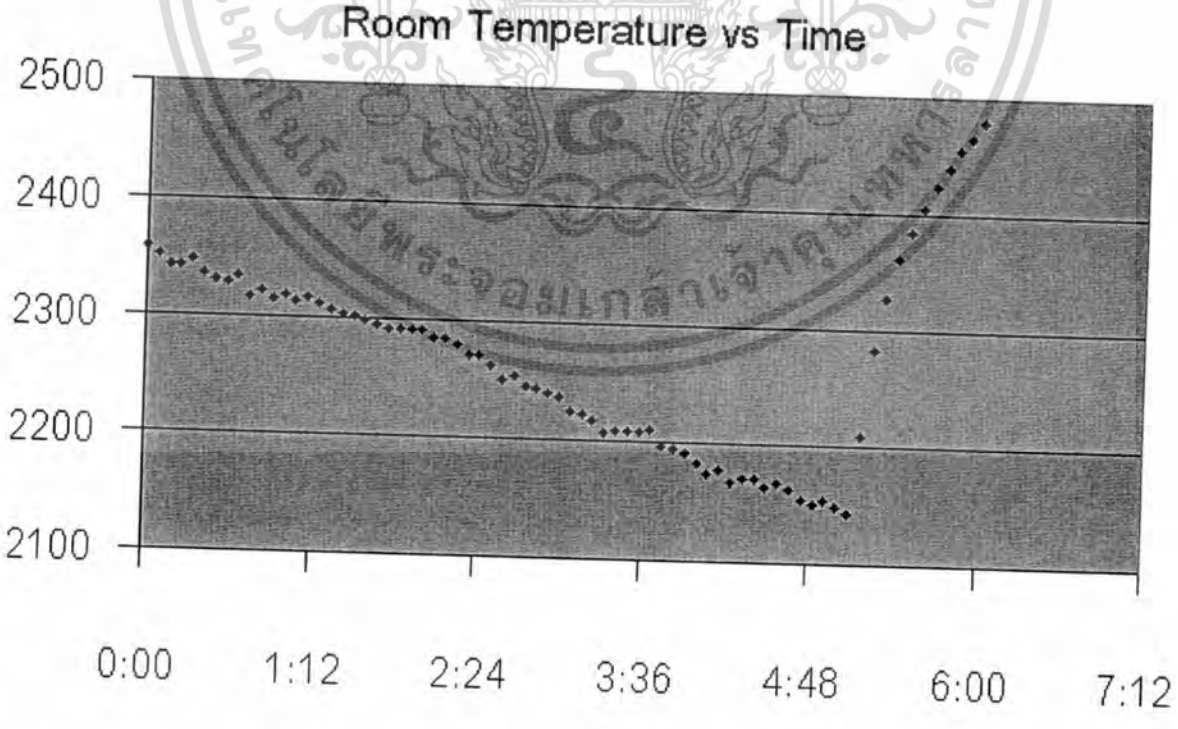
	A	B	C	D	E
2	test2				
3		0	30-07-46	22:49:59	2432
4		1	30-07-46	22:54:59	2425
5		2	30-07-46	22:59:59	2423
6		3	30-07-46	23:05:00	2423
7		4	30-07-46	23:10:00	2414
8		5	30-07-46	23:15:00	2411
9		6	30-07-46	23:20:00	2412
10		7	30-07-46	23:25:01	2397

เมื่อกำหนดบล็อกของข้อมูลที่จะนำมาพลอตกราฟแล้วเราคลิกไปที่ Chart wizard จากนั้นก็เลือกชนิดของกราฟ Chart wizard จะช่วยให้เราพลอตกราฟได้อย่างง่ายดาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
67379

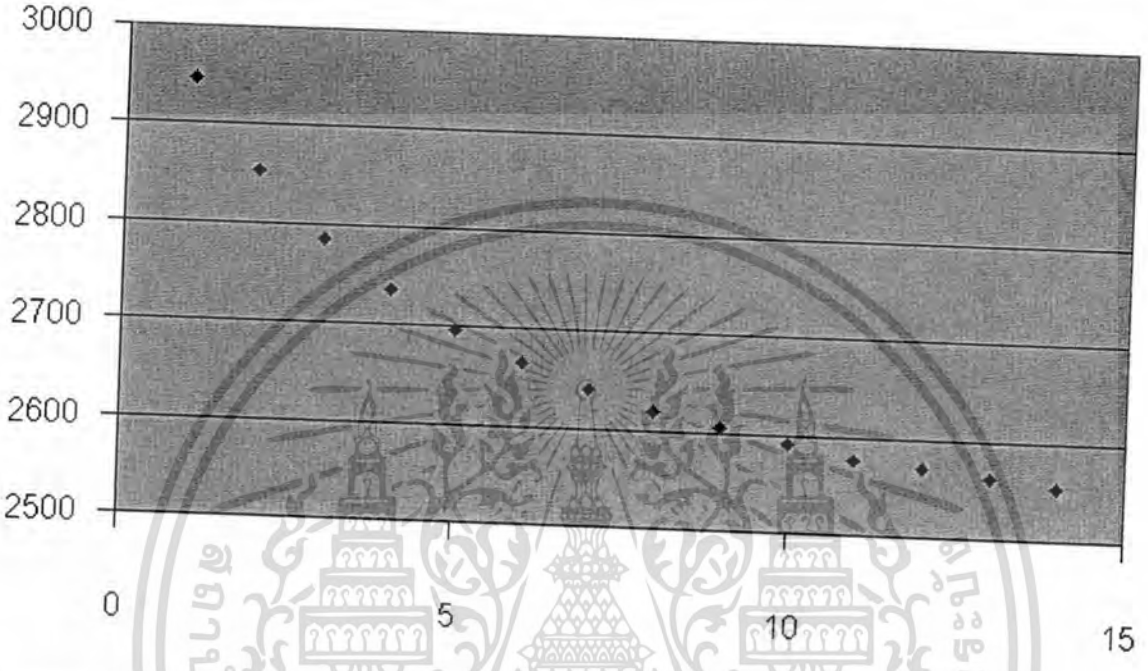


ตัวอย่างของกราฟที่เราพลอตได้แสดงดังนี้



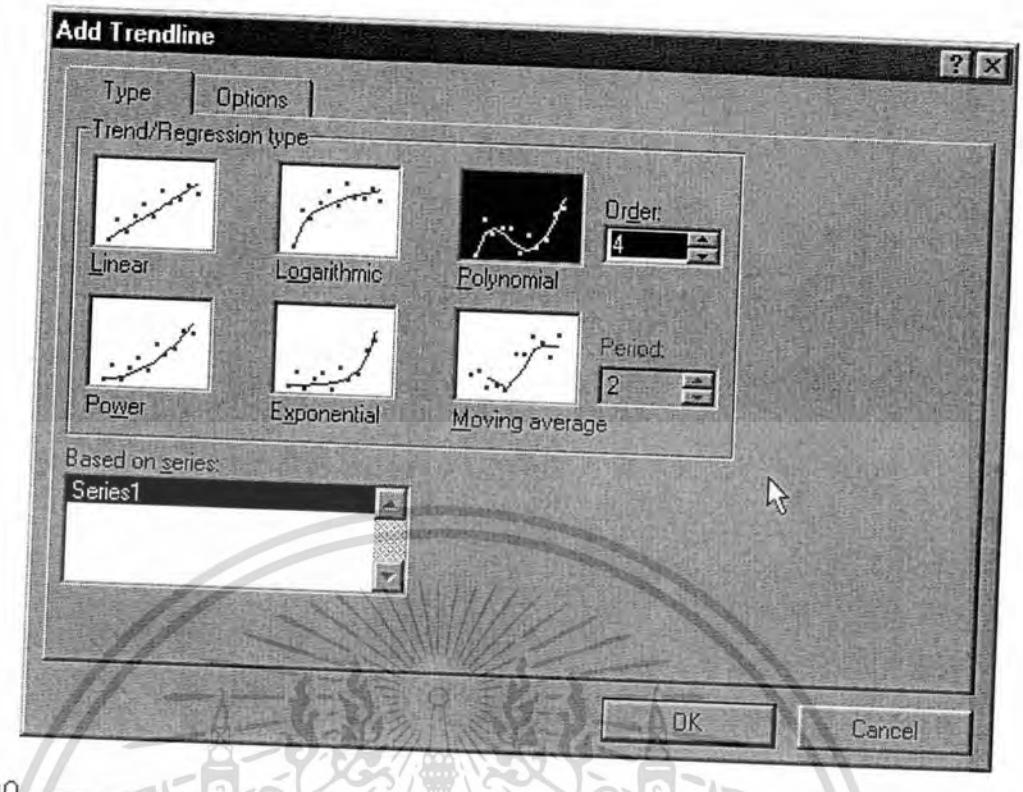
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

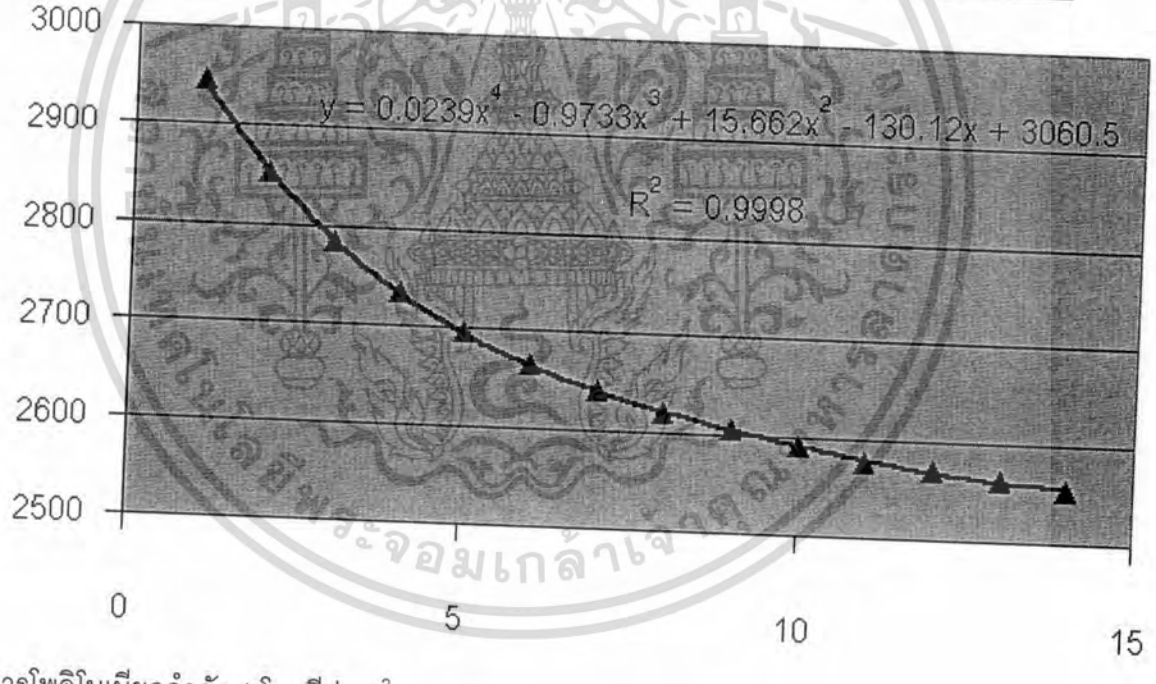
ข้อมูลที่เรานำมาพลอตกราฟจะได้รับการบันทึกแบบสุ่มค่าตามช่วงเวลาที่กำหนดไว้ เมื่อนำมาพลอตกราฟจะเห็นข้อมูลเป็นจุดและเห็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของ Y = f(x) แต่ค่าของแกน Y ในช่วงระหว่างจุดเราไม่สามารถทราบได้ วิธีหนึ่งที่ทำให้เราสามารถลดปริมาณข้อมูลรวมไปถึงการหาค่าดังกล่าวจะอาศัยการสร้างสมการตัวแทน วิธีนี้เป็นที่รู้กันคือ Curve fitting



โปรแกรม Excel มีเครื่องมือช่วยในการ fit curve โดยการคลิกเม้าท์ปุ่มขวาที่จุดของข้อมูลที่ปรากฏบนกราฟ จากนั้นให้เลือก Add Trendline จะปรากฏหน้าต่างเลือกชนิดของ Regression ตัวอย่างของข้อมูลที่ปรากฏเราเห็นว่าน่าจะใช้แบบโพลิโนเมียลกำลัง 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



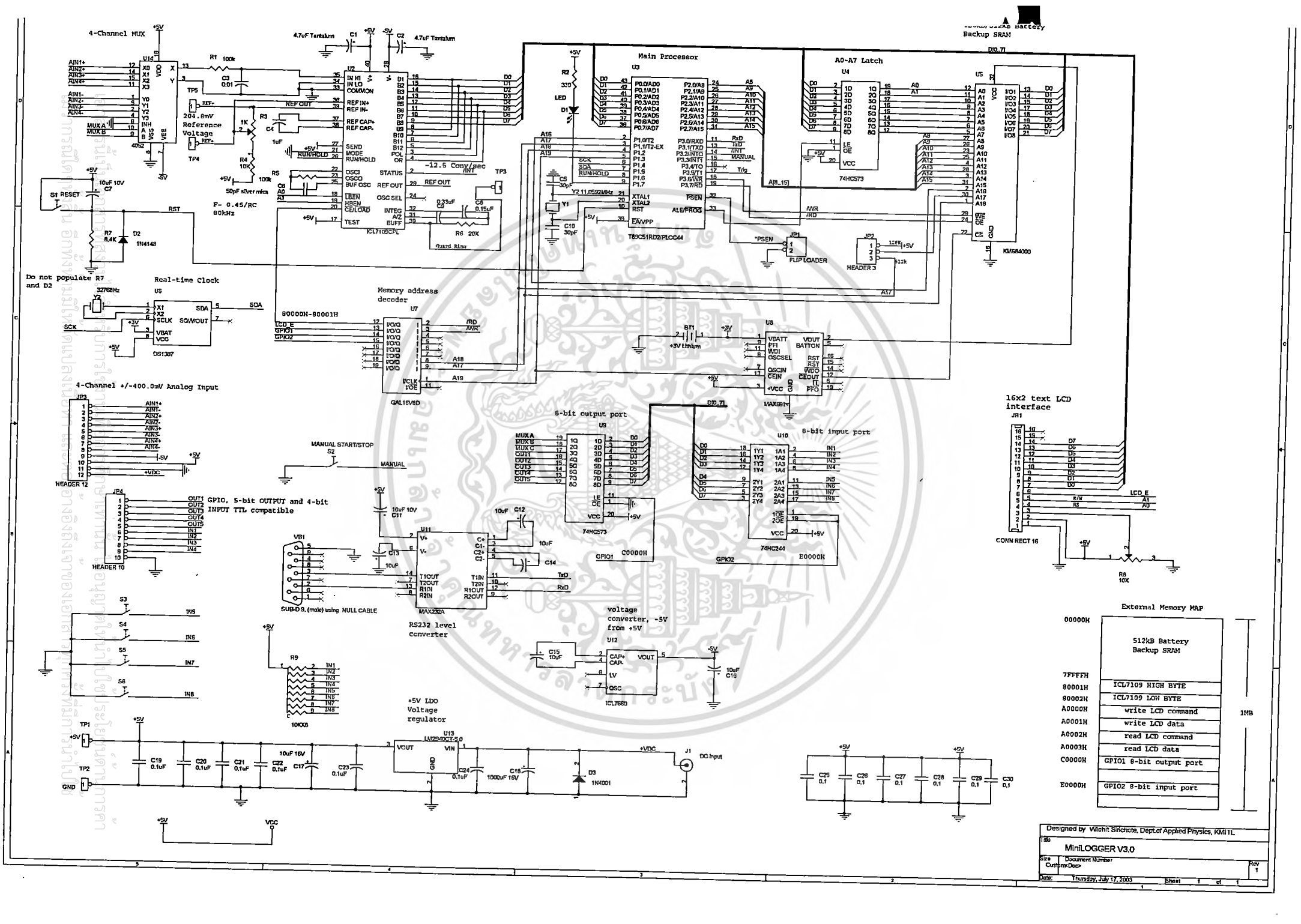


เราได้สมการโพลิโนเมียลกำลัง 4 โดยมีค่า $R^2 = 0.9998$ จากสมการดังกล่าวทำให้เราสามารถหาค่า Y(x) ที่ค่าของ x ใดๆได้โดยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรสมบูรณ์ และลิสต์โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


4-Channel MUX
Main Processor
A0-A7 Latch
512kB Battery Backup SRAM
Real-time Clock
Memory address decoder
4-Channel +/-400.0mV Analog Input
8-bit output port
8-bit input port
16x2 text LCD interface
GPIO, 5-bit OUTPUT and 4-bit INPUT TTL compatible
RS232 level converter
voltage converter, -5V from +5V
+5V LDO Voltage regulator
Do not populate R7 and D2
204.8mV Reference Voltage
F= 0.45/RC 80kHz
-12.5 Conv/sec
External Memory MAP
00000H
512kB Battery Backup SRAM
7FFFFH
80001H
ICL7109 HIGH BYTE
80002H
ICL7109 LOW BYTE
A0000H
write LCD command
A0001H
write LCD data
A0002H
read LCD command
A0003H
read LCD data
C0000H
GPIO1 8-bit output port
E0000H
GPIO2 8-bit input port
1MB
Designed by Wichit Sirichote, Dept.of Applied Physics, KMITL
MiniLOGGER V3.0
Thursday, July 17, 2003

Firmware Listing

```
/*
   mini6.c
   Firmware for MiniLogger V3.0
   89C51RD2+ICL7109+128kB SRAM+RTC+LCD+GPIO

   Copyright (C) 2003-2005
   WICHIT SIRICHOTE, 29 June 2003
   Department of Applied Physics
   Faculty of Science
   King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok 10250
THAILAND

   June 7, 2004 found bug on compare time, DS1307 uses BCD for time
updating but compare function uses binary number, need to fix it!

   June 16, 2004 fixed AUTO mode!

   Sep 6, 2004 save and restore flag1

   Nov 17, 2004 use Manual start/stop for external trigger

   Mar 21, 2005 modify analog display to +/-400.0mV

   Apr 29, 2005 add command that set maximum records to stop
recording

   Apr 30, 2005 stop uploading with ESC key

*/

#include <8051io.h>
#include <8051reg.h>
#include <8051int.h>
#include <8051bit.h>   // require preprocessor -P when compiling

//#include "d:\mc\tiny\minilcd.c"

#define BUSY 0x80

#define LCD_command_write 0x0000
#define LCD_data_write 0x0001
#define LCD_command_read 0x0002
#define LCD_data_read 0x0003

#define LCD 0x0A
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
LcdReady()
{
        while(xpeek(LCD,LCD_command_read)&BUSY)
        ;
     return 1;
}

void clr_screen(void)
{
     LcdReady();
        xpoke(LCD,LCD_command_write,0x01);
}


char InitLcd(void)
{
     if(-1 ==LcdReady()) return -1;
        xpoke(LCD,LCD_command_write,0x38);

     LcdReady();
        xpoke(LCD,LCD_command_write,0x0c);
        clr_screen();
        goto_xy(0,0);
}

goto_xy(char x,char y)
{
    LcdReady();
    switch(y){
        case 0 : xpoke(LCD,LCD_command_write,(0x80+x)); break;
        case 1 : xpoke(LCD,LCD_command_write,(0xC0+x)); break;
        case 2 : xpoke(LCD,LCD_command_write,(0x94+x)); break;
        case 3 : xpoke(LCD,LCD_command_write,(0xd4+x)); break;
    }
}

char *Puts(char* str)
{
     unsigned char i;

     for (i=0; str[i] != '\0'; i++){
          LcdReady();
               xpoke(LCD,LCD_data_write,str[i]);
     }
     return str;
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
void putch_lcd(char ch)
{
      LcdReady();
         xpoke(LCD,LCD_data_write,ch);
}

// print 4 digits decimal on LCD at current position

print_4digit1(int n)
{
        char buffer[6];
        int temp;

        if(n<0) buffer[0] = '-';
         else buffer[0] = '+';
         temp = n;
        if(n<0)
        {
         n=~temp;
         n++; // convert to unsigned
         }

     buffer[1] = (n/1000)+48;
     temp = n%1000;
     buffer[2] = (temp/100)+48;
     temp = n%100;
     buffer[3] = (temp/10)+48;
     buffer[4] = '.';
     buffer[5] = (temp%10)+48;
     putch_lcd(buffer[0]);
     putch_lcd(buffer[1]);
     putch_lcd(buffer[2]);
     putch_lcd(buffer[3]);
     putch_lcd(buffer[4]);
     putch_lcd(buffer[5]);
}


print_4digit(int n)
{
       char buffer[6];
       int temp;

       if(n<0) buffer[0] = '-';
        else buffer[0] = '+';
        temp = n;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if(n<0)
        {
         n=~temp;
         n++; // convert to unsigned
         }

      buffer[1] = (n/1000)+48;
      temp = n%1000;
      buffer[2] = (temp/100)+48;
      temp = n%100;
      buffer[3] = (temp/10)+48;
      buffer[4] = (temp%10)+48;
      putch_lcd(buffer[0]);
      putch_lcd(buffer[1]);
      putch_lcd(buffer[2]);
      putch_lcd(buffer[3]);
      putch_lcd(buffer[4]);
}


 #define word unsigned int
 #define byte unsigned char
 #define beginsysdata 0
 #define beginrecord 100
 #define begincrc 1000
 #define status 0
 /* system status eg., main/battery power, door open/close , digital
 input, analog input */
 #define name 2

 #define adc 0x08   // ICL7109 12-bit ADC
 #define gpio1 0x0c // 8-bit output port
 #define gpio2 0x0e // 8-bit input port
 #define lcd 0x0a // LCD

 // flag1 bit usages

 #define keypressed 0x01

 //extern register char cputick;
 register unsigned char
 sec100,sec,sec5,min,hour,day,month,year,flag1,ACCU,temp,led;
 register unsigned char i,command,counter3;
 register unsigned char BUFFER[30],mode,key;

 register old,new;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
register char n,page,channel,POL,OV, temp8;

register int temp3, temp4,k,temp17;

register int buffer[4];

register unsigned char tbuffer[8];

extern register char lastread // flag for last byte to be read

char title[] = "\n\nMiniLOGGER V3.3 (? help)";
char prompt[] = "\n>>";
char menu[] = "\n\nHELP MENU\
              \n/ print analog reading\
              \nt TIME set\
              \nd DATE set\
              \nc Clock display\
              \ns set START/STOP recording time\
              \ni sampling Interval\
              \n= display setting parameters\
              \nr number of record\
              \nm set maximum record\
              \nb terminal connection\
              \nn New record\
              \na ALL read: press ESC to stop\
              \nx Read All: sample and data\
              \nu About MiniLOGGER V3.1\
              \n? help";

char _about[] = "\nMiniLOGGER was desinged by Wichit SIRICHOTE 28
June 2003\
              \nApplied Physics Dept. KMITL\
              \nfirmware updated: 22 April 2005\
              \nURL: www.kmitl.ac.th/~kswichit email:
kswichit@kmitl.ac.th";


char _terminal[] = "\n 1    2    3    4    5    6    7    8    9
10  11  12\
              \nIN1+ IN1- IN2+ IN2- IN3+ IN3- IN4+ IN4- -5V
+5V  0V  +V";

register unsigned int blink_every;
register unsigned int
count,number_of_record,counter1,counter2,interval,temp16,j;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
register char counter4;

register unsigned char pointer[3]; // 24 bit long number for
external RAM pointer
register unsigned char temp1[3], temp2[3]; // temp1 and temp2 are
used for 24-bit storage
extern register char Longreg[];

register unsigned char channel_display;

register unsigned char esc;


/*-------------------- constant definition ----------------------
-*/
#define XOFF 0x13 // transmission flow control
#define XON 0x11
#define adj 2
#define LED P1.7
#define trigger P3.5
#define standby_blink 100
#define recording_blink 300
#define base 100  // start address for NVRAM storage
#define max_record 5000 //limit maximum record for 256kB SRAM
(5000*50)

/*-------- address for setting parameters saved in NVSRAM 256 bytes
page 0--*/
#define start_hour 0
#define start_min 1
#define stop_hour 2
#define stop_min 3
#define interval_saved 4 // 4-5 (16-bit)
#define record_saved 6 // 6-7 (16-bit)
#define description 8 // 8-58 (max description string 50
characters)
#define mode_saved 60  // mode 1 manual, -1 auto
#define save_flag1 61 // for flag1 saving
#define set_max 62  // int 0-65535 records

main()
{
  asm" MOV $8E,#3"; // normal access to external memory, emits ALE
when access ram

  IE = 0x81; // enable external interrupt0
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    TCON |= 0x01; // edge trigger
    channel = 0;
    channel_display = 0;

    xpoke(gpio1,0,channel); // select mux channel 0

    old = new = 0;
    counter4=0;
    flag1 = 0;
    interval = 6000; // 60000 ms = 1 min
    blink_every = standby_blink;
    longset(pointer,100);  /* initialize pointer to 100 */

    reload_setting();   // reload previous recording setting
    swapping_mode(); // reload what mode is?

    InitLcd();
    Puts("MiniLOGG");
    goto_xy(0,1);
    Puts("ER V3.3");

    delay(500);

    key = 0xbf;
    flag1 |= 0x02;
    execute_key();  // emulate key S5 was pressed

    serinit(9600);
    putstr(title);
    sendprompt();

//  clr_screen();

  while(1)
  {
    tick_wait();
/*------------- the following tasks execute every 10ms ------*/
//    cputick = 0;
    cpubeat();
    getcommand();
    printtime();
    settime();
    setdate();
    set_interval();
    dec_counter2();
    start_record();
    save_record();
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
      print_number_of_record();
      set_start_stop();
      new_record();
      show_setting();
      print_menu();
      clock();
      read_all();
      xread_all();
      manual_start_stop();
      about();
      get_key();
      key_released();
      execute_key();
      terminal_signal();
      prompting();
      print_adc();
      print_no_record();

      set_max_record();


    }
/*************************************************************/
}

INTERRUPT(_IE0_) service_adc()
{
 //  P1 &= ~0x40; // hold ADC

 //  asm" MOV $8F,#0"; // x1 mode

     temp3 = xpeek(adc,2);  // get low byte
     temp4 = xpeek(adc,1); // get high byte

//   asm" MOV $8F,#1"; // x2 mode

//     printf("\r %02x %02x",temp1,temp2);

    POL = temp4&0x10;
    OV = temp4&0x20;

    temp4 &= 0x0f;
    temp4 <<= 8;
    temp3 |= temp4;

    if(!POL)
    temp3*=-1;
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        if(OV)
        temp3 = 9999;
        buffer[channel] = temp3;

        channel++;
        channel &=3;
        xpoke(gpio1,0,channel); // select next channel
        delay(1); // wait for mux settled
      //  P1 |= 0x40; // run ADC after mux settled for next channel
 scanning

        if(channel ==0)
        {
        P1 &= ~0x40; //stop ADC
        flag1 |= 0x80;  // set ADC result bit
      //  printf(" %d %d %d
%d",buffer[0],buffer[1],buffer[2],buffer[3]);

        }
}


terminal_signal()
{
          if(command == 'b')
          {
           putstr(_terminal);
           sendprompt();
          }
}


setpage(char x)     // emit A16,A17,A18,A19 to P1.0-P1.3
{
      temp = x;
      asm{
      MOV A,temp
      MOV C,ACC.0
      MOV P1.0,C
      MOV C,ACC.1
      MOV P1.1,C
      MOV C,ACC.2
      MOV P1.2,C
      MOV C,ACC.3
      MOV P1.3,C
      }
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
xpeek(char x,int y)    // read byte with page, address
{
     setpage(x);
     return peek(y);
}

xpoke(char x,int y,char z) // write byte with page,address,data
{
     setpage(x);
     poke(y,z);
}

output_1Hz()
{
        send_start();
        send_byte(0xd0);
        send_byte(0x07);  // pointed to address 7
        send_byte(0x90);  // enable 1Hz output
        send_stop();
}

readRTC()
{
       send_start();
       send_byte(0xD0);
       send_byte(0x00);
       send_stop();

       send_start();
       send_byte(0xD1);

       lastread = 0;
       for(i=0; i<6 ; i++)
         tbuffer[i] = read_byte();
         lastread = 1;
         tbuffer[i] = read_byte();
         send_stop();

// printf("\n %02x-%02x-%02x
%02x:%02x:%02x",tbuffer[4],tbuffer[5],tbuffer[6],tbuffer[2],tbuffer
[1],tbuffer[0]);

}

initRTC()
{
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        send_start();
        send_byte(0xD0);
        send_byte(0x00);
        send_byte(0x00);
        send_byte(0x30);
        send_byte(0x12);
        send_byte(0x03);
        send_byte(0x25);
        send_byte(0x07);
        send_byte(0x00);
        send_stop();
}

send_time()
{
   readRTC();
}

about()
{
        if(command == 'u')
        {
         putstr(_about);
         sendprompt();
         }
}

settime()
{
    if (command == 't')
    {
    putstr("\nenter current time HH:MM:SS >");
    hour = getbyte();
    putch(':');
    min = getbyte();
    putch(':');
    sec = getbyte();

    send_start();
    send_byte(0xD0);
    send_byte(0x00);
    send_byte(sec);
    send_byte(min);
    send_byte(hour);
    send_stop();
    sendprompt();
    }
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
}

int getnum()

{
    char s[6];        /* five characters plus terminator */
    char c;
    int i;
    for (i = 0; (c = putch(getch())) != 13; i++)
        s[i] = c;
        s[i] = '\0';
        if (i==0)
        return (-1);
        else
        return (_atoi(s));

}

getbyte()
{
    char s[3];        /* two characters plus terminator */
    int i;
    for (i = 0; i < 2; i++)   /* read two characters then return
value */
      s[i] = putch(getch());  // echo to terminal
      s[i] = '\0';
      return(((s[0]-0x30)<<4)|(s[1]-0x30)); // return BCD
   //  return (_atoi(s));                    // return binary
}

char getbyte_dec()
{
    char s[3];        /* two characters plus terminator */
    int i;
    for (i = 0; i < 2; i++)   /* read two characters then return
value */
      s[i] = putch(getch());  // echo to terminal
      s[i] = '\0';
   //   return(((s[0]-0x30)<<4)|(s[1]-0x30)); // return BCD
     return (_atoi(s));                    // return binary
}

set_interval()
{
    if(command == 'i'){
     putstr("\n interval 1-600 sec > ");
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        setpage(0);
        pokew(interval_saved,(getnum()*100)); // convert to *10 ms
        interval = peekw(interval_saved);
        counter2 = interval; // load interval to counter2
        sendprompt();
                              }
}


dec_counter2()
{
   if (flag1&0x08){
    counter2--;
    if(counter2 <= 0){
      counter2 = interval;
      flag1 |= 0x04;
      after_save();          // reset manual start
      flag1 &= ~0x20; // enable trigger read again
                          }
                     }
}

start_record(){

    unsigned char temp;

    counter3--;
    if ( counter3 <= 0){
     counter3 = 100;  // run this task every 1 second
     readRTC();

     temp = tbuffer[2]>>4;  // convert BCD to binary for hour
     temp *=10;
     tbuffer[2] = temp+(tbuffer[2]&0xf);

     temp = tbuffer[1]>>4;  // convert BCD to binary for min
     temp *=10;
     tbuffer[1] = temp+(tbuffer[1]&0xf);

     setpage(0);


  //
printf("\n%d:%d==%d:%d",tbuffer[2],tbuffer[1],peek(start_hour),peek
(start_min));
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
   if((tbuffer[2] == peek(start_hour)) && (tbuffer[1]==
  peek(start_min)))
          {flag1 |= 0x08; // start dec counter2
          blink_every = recording_blink;
          poke(save_flag1,flag1); // save start flag has been set
          }
   if ((tbuffer[2] == peek(stop_hour)) && (tbuffer[1] ==
  peek(stop_min)))
          {flag1 &= ~0x08; //  disable running dec_counter2
          blink_every = standby_blink;
          }
                          }
}


 setdate()

 {
     if (command == 'd')
     {
     putstr("\nenter current date DD-MM-YR >");
     day = getbyte();
     putch('-');
     month = getbyte();
     putch('-');
     year = getbyte();

     send_start();
     send_byte(0xD0);
     send_byte(0x04);
     send_byte(day);
     send_byte(month);
     send_byte(year);
     send_stop();
     sendprompt();

     }
}


prompting()

{
    if (command == 13)
       {
        putstr(title);
        sendprompt();
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }
    }

    print_ADC(char i)
    {
         temp17 = buffer[i]/10;
         temp8 = buffer[i]%10;
         printf(" %d.%d",temp17,temp8);
    }

    printtime()
    {
          if (command == '/')
          {
          readRTC();
       printf("\n%02x-%02x-%02x ",tbuffer[4],tbuffer[5],tbuffer[6]);
       printf("%02x:%02x:%02x ",tbuffer[2],tbuffer[1],tbuffer[0]);
          read_ICL7109();

   // printf(" %d %d %d %d",buffer[0],buffer[1],buffer[2],buffer[3]);

       print_ADC(0);
       print_ADC(1);
       print_ADC(2);
       print_ADC(3);


         sendprompt();
         }
   }

   getcommand()
   {

       if (SCON&0x01)
           command = putch(getch());
       else command = -1;                    /* no cammand has entered */
   }

   sendprompt()
   {
       putstr(prompt);
   }


   pause(int j)
   {
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    int i;
    for (i = 0; i < j; i++)
    ;
}


cpubeat()
{
    beat5sec();
    livecpu();

}

beat5sec()  /* clear P3.4 every 500 tocks */

{
       counter1++;
        if (counter1 > blink_every )
        {
           counter1 = 0;
           flag1 |= 0x40; /* set bit 6 of flag1 to signal livecpu
task */
           clrbit(LED)  //asm " CLR P3.4";
           led = 5;        /* 5*10ms = 50ms LED on */
        }

}

livecpu()

{
    if (flag1&0x40)
      {
        led--;
        if (led == 0)
           {
           setbit(LED)  //asm " SETB P3.4";
           flag1 &= ~0x40;
           }
    }
}


read_ICL7109() /* read analog from ICL7109, save in BUFFER */
{
 //   clrbit(LED) // while reading ADC turns LED on
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        P1 |= 0x40; // start ADC

        while((flag1&0x80)==0)
        ;
        flag1 &= ~0x80; // clear flag1
    //    setbit(LED)
    // printf(" %d %d %d %d",buffer[0],buffer[1],buffer[2],buffer[3]);
    }


    tick_wait()
    {
        asm {
        JNB TCON.5,*        /* wait for timer0 overflow */
        CLR TCON.5
        ORL TH0,#$DC        /* reload $DC00, i.e., for 10ms overflow */
        }
    }

    int get_address()  /* return address pointer */
    {
        int i;
        i = pointer[1];
        i <<= 8;
        return(i|pointer[0]);
    }

    inc_pointer()
    {
       asm{
        MOV   A,#1
        ADD   A,pointer
        MOV   pointer,A
        CLR   A
        ADDC  A,pointer+1
        MOV   pointer+1,A
        CLR   A
        ADDC  A,pointer+2
        MOV   pointer+2,A
          }
    }


int set_RAM_address() /* increment next address SRAM */
{
    inc_pointer();
    setpage(pointer[2]);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    return(get_address());
}

int iset_RAM_address() /* increment next address word based */
{
    inc_pointer();
    inc_pointer();
    setpage(pointer[2]);
    return(get_address());
}

char convert_hi_nibble(unsigned char c)
{
    return((c>>=4)+0x30);
}

char convert_lo_nibble(char c)
{
   return((c&0x0f)+0x30);
}

// format raw data saved in external ram
// number day month year hr min sec adc0 adc1 adc2 adc3 *
// number = 16-bit
// adc0-adc3 = 16-bit
// 17 bytes each record

save_record()
{
    if(flag1&0x04)
    {
       read_ICL7109();
       readRTC();
       pokew(iset_RAM_address(),number_of_record);
       // save date & time
       poke(set_RAM_address(),tbuffer[4]);  // save day
       poke(set_RAM_address(),tbuffer[5]);  // save month
       poke(set_RAM_address(),tbuffer[6]);  // save year

       poke(set_RAM_address(),tbuffer[2]);  // save hr
       poke(set_RAM_address(),tbuffer[1]);  // save min
       poke(set_RAM_address(),tbuffer[0]);  // save sec

    // now save the buffer read from ICL7109

       pokew(iset_RAM_address(),buffer[0]);
       pokew(iset_RAM_address(),buffer[1]);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            pokew(iset_RAM_address(),buffer[2]);
            pokew(iset_RAM_address(),buffer[3]);

            flag1 &= ~0x04;
            ++number_of_record;
            max_limit(); // check maximum for 5000 records
            setpage(0);
            pokew(record_saved,number_of_record); // save available
 records
        //    printf("%u",number_of_record);
          }
 }

 max_limit(){   // disable recording mode if number of record >
 max_record
          setpage(0);
          if(number_of_record > peekw(set_max))
            {flag1 &= ~0x08; //  disable running dec_counter2
             blink_every = standby_blink;
             poke(mode_saved,-1); // change to auto mode indicating
 maximum limited
            }
 }

 print_number_of_record()
 {
      if (command == 'r')
      {
        printf("\n%u records available",number_of_record);
        sendprompt();
       }
 }
 /*
 get_record()       // test reading until found record terminator
 {
     char i;
     if (command == 'g')
     {
     putch('\n');
     j = 101;
     for (j = 101; j< 101+(number_of_record*46); j = j+46)
     {
     for ( i = 0; i <46; i++)
      {
      if(peek(i+j) != 0)
          putch(peek(i+j));
          else putch('\n');
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        }
        }
        sendprompt();
      }
 }

 */


 get_key()
 {
     if((xpeek(gpio2,0) != 0xff)&& ((flag1&keypressed)==0))
          {
          flag1 |= keypressed;  // enter only after key was pressed
          key = xpeek(gpio2,0);
      //    printf("%x", key);
          }
         else  key = -1;
}


key_released()
{
        if(xpeek(gpio2,0) == 0xff) flag1 &= ~keypressed;
}

execute_key()
{
       if(key != -1)
       {
       switch (key)
       {
        case 0x7f: channel_display++;
        break;
        case 0xbf:
          flag1^=0x02;
          flag1 &= ~0x10; // show unit
          clr_screen();
          goto_xy(0,1);
          Puts(" mV ");
        if(flag1&0x02)
         {
          putch_lcd(' ');
         }
       else
       {
       clr_screen();
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            show_mode_on_lcd();
            goto_xy(0,0);
            Puts("Record= ");
            flag1 |= 0x10; // show number of record on LCD
            }
            break;
            case 0xdf: break;
            case 0xef: break;
            }
          }
  }

  set_start_stop()
  {
          if (command == 's'){
          setpage(0);
          printf("\nSTART %02d:%02d
 >",peek(start_hour),peek(start_min));
          poke(start_hour,getbyte_dec()); // save new start time
          putch(':');
          poke(start_min,getbyte_dec());
          printf("\nSTOP  %02d:%02d
 >",peek(stop_hour),peek(stop_min));
          poke(stop_hour,getbyte_dec());
          putch(':');
          poke(stop_min,getbyte_dec());
          printf("\n %02d:%02d
 %02d:%02d",peek(start_hour),peek(start_min),peek(stop_hour),peek(st
 op_min));
          swapping_mode();
          show_mode_on_lcd();
          sendprompt();
                              }
 }


 set_max_record()
 {
      if (command == 'm')
      {
        setpage(0);
        printf("\nEnter maximum records (1-5000) >");
        pokew(set_max,getnum());
        sendprompt();
      }
}
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
swapping_mode()    // enable/disable manual check
{
        setpage(0);
        if (peek(start_hour) == 99) poke(mode_saved,1); // manual
mode
            else (poke(mode_saved,-1)); // automatic mode
}

show_setting(){

      if (command == '='){
      setpage(0);
      printf("\n Start
%02d:%02d",peek(start_hour),peek(start_min));
      printf("\n Stop  %02d:%02d",peek(stop_hour),peek(stop_min));
      printf("\n Sampling Interval(sec) =
%u",peekw(interval_saved)/100);
      printf("\n Maximum Records = %u",peekw(set_max));

      if (peek(mode_saved) == 1)
      printf("\n MANUAL");
      else (printf("\n AUTO"));
      sendprompt();
      }
}

reload_setting(){
     setpage(0);

     flag1 = peek(save_flag1); // restore flag1

     interval = peekw(interval_saved);
     counter2 = interval;
     number_of_record= peekw(record_saved);
     longset(temp2,46);      // temp2 = 46
     longset(temp1,number_of_record);  // temp1 = number of record
     longmul(temp1,temp2);   // Longreg = temp1*temp2
     longset(temp1,base);    // temp1 = base = 100
     longadd(Longreg,temp1);  // Longreg = Longreg + temp1
     longcpy(pointer,Longreg); // restore pointer
}


new_record()
{
     if (command == 'n')
     {
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
        putstr("\n New record?(Y/N)");
        if (getch() == 'y')
           { flag1 &= ~0x08;  // reset start bit enable
             number_of_record = 0;
             setpage(0);
             pokew(record_saved,0); // reset number of record to 0
        //     printf("%d",peekw(record_saved));
             longset(pointer,base);
             enter_description();
           }
           sendprompt();
        }
  }

  print_menu(){
          if (command == '?'){
          putstr(menu);
          sendprompt();
          }
  }

  clock(){
          if (command == 'c'){
     readRTC();
     printf("\n%02x-%02x-%02x ",tbuffer[4],tbuffer[5],tbuffer[6]);
     printf("%02x:%02x:%02x ",tbuffer[2],tbuffer[1],tbuffer[0]);
          sendprompt();
          }
  }

 print_ADC2()
 {
   temp17 = peekw(iset_RAM_address());
   temp8 = temp17%10;
   temp17 = temp17/10;
   printf(" %d.%d",temp17,temp8);
 }


read_all()  // read all record from 100 to current pointer
{
        if (command == 'a'){

        esc = 0;

        send_description();
        longset(temp1,1);          // decrement pointer
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            longsub(pointer,temp1);
            longcpy(temp1,pointer);  // copy end address to temp1
            longset(pointer,100);  // point to start of NVRAM

          //  while (longcmp(temp1,pointer) > 0)
           for(j=0; j<number_of_record && esc == 0 ; j++)
               {
            send(0x0d);
            send(0x0a);
            peekw(iset_RAM_address());

    // printf(" %d",peekw(iset_RAM_address()));

     printf(" %d",j);

     printf(" %02x-%02x-
  %02x",peek(set_RAM_address()),peek(set_RAM_address()),peek(set_RAM_
  address()));
     printf("
  %02x:%02x:%02x",peek(set_RAM_address()),peek(set_RAM_address()),pee
  k(set_RAM_address()));

     //printf(" %d", peekw(iset_RAM_address()));
     //printf(" %d", peekw(iset_RAM_address()));
     //printf(" %d", peekw(iset_RAM_address()));
     //printf(" %d", peekw(iset_RAM_address()));

        print_ADC2();
        print_ADC2();
        print_ADC2();
        print_ADC2();

                see_XOFF();
              }
           sendprompt();
                              }
}

xread_all()  // read all record from 100 to current pointer
{
        if (command == 'x'){

        send_description();
        longset(temp1,1);          // decrement pointer
        longsub(pointer,temp1);
        longcpy(temp1,pointer);  // copy end address to temp1
        longset(pointer,100);  // point to start of NVRAM
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
          //  while (longcmp(temp1,pointer) > 0)
           for(j=0; j<number_of_record; j++)
               {
            send(0x0d);
            send(0x0a);
            peekw(iset_RAM_address());

    // printf(" %d",peekw(iset_RAM_address()));

     printf(" %d",j);

     // dummy peak for date and time
     peek(set_RAM_address());
     peek(set_RAM_address());
     peek(set_RAM_address());
     peek(set_RAM_address());
     peek(set_RAM_address());
     peek(set_RAM_address());

     printf(" %d", peekw(iset_RAM_address()));
     printf(" %d", peekw(iset_RAM_address()));
     printf(" %d", peekw(iset_RAM_address()));
     printf(" %d", peekw(iset_RAM_address()));
               see_XOFF();
              }
           sendprompt();
                              }
 }

 /*

 send_formatted_record()
 {
   send(0x0d);
   send(0x0a);

 printf("%c%c/%c%c/%c%c",BUFFER[0],BUFFER[1],BUFFER[2],BUFFER[3],BUF
 FER[4],BUFFER[5]);

 printf(",%c%c:%c%c:%c%c",BUFFER[6],BUFFER[7],BUFFER[8],BUFFER[9],BU
 FFER[10],BUFFER[11]);
   for(j = 0; j< 24; j+=3)  // skip BUFFER[12] = *
   printf(",%c%c%c",BUFFER[13+j],BUFFER[14+j],BUFFER[15+j]);

 printf(",%c%c%c%c%c%c",BUFFER[37],BUFFER[38],BUFFER[39],BUFFER[40],
 BUFFER[41],BUFFER[42]);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
  }
  */

  see_XOFF()
  {
        char c;
        c = chkchr();
        if (c == 27)
          esc = 1;

          if ( c == XOFF)
             {
              while( c != XON)
              c = chkchr();
             }
 }

 send(char a)     // Dave's putch() automatically send 0x0d after
 0x0a
 {
          temp = a;
          asm{
          JNB  SCON.1,*
          CLR  SCON.1
          MOV  A,temp
          MOV  SBUF,A
             }
 }

 enter_description()
 {
          putstr("\n<-- Enter description text (max 30 characters)--
>\n");
          _getstr(BUFFER,30);  // get string max 30 characters
          setpage(0);
          for (j = 0; BUFFER[j] != '\0'; j++)  // save to NVRAM
             poke((description+j),BUFFER[j]);
          poke((description+j),'\0');  // put line terminator
         // sendprompt();
}

send_description()
{
        char c;
        send(0x0d);
        send(0x0a);
        setpage(0);
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            for (j = 0; (c = peek(description+j)) != '\0'; j++)
              putch(c);
    }

    after_save()
    {
            flag1 &= ~0x08; //  disable running dec_counter2
            blink_every = standby_blink;
    }

    // detect edge every 0.5s

    char falling_edge()
    {
       if(++counter4>50)
       {
        counter4 = 0;
        old = new;
        if(P3&0x08) new = 1;
        else new = 0;
        return (new-old);
       }
      else return 0;
    }

    /*
    manual_start_stop(){
            setpage(0);
         if (peek(mode_saved)==1){

            if(falling_edge()<0)
            {flag1 |= 0x08; // start dec counter2
            counter2 =interval;   // reload interval
            blink_every = recording_blink;

        //    printf("\n start dec counter2");
            }
                                  }
    }
    */

    manual_start_stop(){
            setpage(0);
         if (peek(mode_saved)==1){

            if((P3&0x08) == 0)
            {flag1 |= 0x08; // start dec counter2
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
            blink_every = recording_blink;
            }
            else
            {flag1 &= ~0x08; //  disable running dec_counter2
            blink_every = standby_blink;
            }
                                        }
  }

  show_mode_on_lcd()
  {
          setpage(0);
       if (peek(mode_saved)==1)
       {
          goto_xy(7,1);
          putch_lcd('M');
       }
       else
       {
          goto_xy(7,1);
          putch_lcd('A');
       }
  }

  print_adc()
  {
         if(flag1&0x02)
         {
          read_ICL7109();
          goto_xy(0,0);
          channel_display &= 0x03; // only 0-3 can be used
          putch_lcd(channel_display+49); // show channel 1 to 4
 instead
          putch_lcd('=');
          print_4digit1(buffer[channel_display]);
          }
 }


 print_no_record()
 {
         if(flag1&0x10)  // print number of record on lcd
         {
         goto_xy(0,1);
         print_4digit(number_of_record);
         }
 }
```


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร RC

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของโครงงานวิจัย

ในการศึกษาวิชาฟิสิกส์นั้น เพื่อให้มีความเข้าใจได้ดียิ่งขึ้น จำเป็นต้องมีการเรียนรู้ปฏิบัติการฟิสิกส์เพื่อจะได้ทราบถึงผลการทดลองที่สอดคล้องกับทางทฤษฎี เครื่องมือในห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ที่ใช้อยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูง ทางผู้ทำการวิจัยเล็งเห็นว่า สามารถทำการพัฒนาเครื่องขึ้นมาใช้งานได้เอง โดยใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม มีความง่ายต่อการใช้งานและมีความถูกต้องน่าเชื่อถือ ตามมาตรฐานห้องปฏิบัติการฟิสิกส์ นอกจากนั้น ยังง่ายต่อการบำรุงรักษา มีต้นทุนในการสร้างค่อนข้างต่ำ การวิจัยออกแบบและสร้างการพัฒนาชุดทดลองปฏิบัติการทางฟิสิกส์ เรื่องค่าคงตัวเวลาในวงจร RC โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ แสดงผลควบคุมการทำงานบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โดยเชื่อมต่อผ่านระบบบัสอนุกรม USB แทนการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS232 ที่มีการใช้งานน้อยลงอย่างมากในปัจจุบัน

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวงจรไฟฟ้า RC กระแสตรง
2. เพื่อสร้างชุดทดลองปฏิบัติการทางฟิสิกส์ เรื่องค่าคงตัวเวลาในวงจร RC

1.3 ขอบเขตของโครงงานวิจัย

1. ออกแบบและสร้างชุดทดลองปฏิบัติการทางฟิสิกส์ เรื่องค่าคงตัวเวลาในวงจร RC
2. ชุดทดลองที่สร้างขึ้นสามารถวัดเรื่องค่าคงตัวเวลาในวงจร RC ได้

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและการดำเนินงาน

1. ศึกษาวงจรไฟฟ้า RC และหลักการวัดค่าคงตัวเวลาในวงจร RC
2. ศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์ในการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและการสื่อสารข้อมูลบนบัส USB
3. ทำการทดลองและสร้างชุดทดลองให้ใช้งานได้จริง

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้ในการศึกษาเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้า RC
2. ได้รับความรู้ในการศึกษาเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์และการเชื่อมต่อแบบ USB
3. สามารถทำการวัดหาค่าคงตัวเวลาในวงจรไฟฟ้า RC ได้

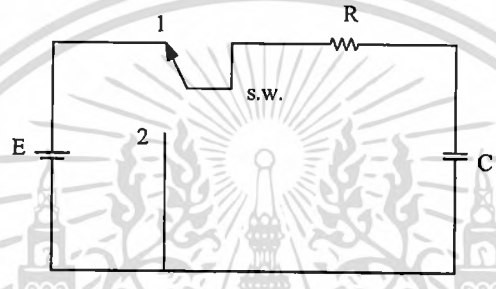
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 วงจรไฟฟ้า RC

วงจรไฟฟ้า RC หมายถึงวงจรไฟฟ้าที่นำตัวต้านทานและตัวเก็บประจุมาต่อแบบอนุกรมกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุและตัวต้านทาน ขณะเริ่มปล่อยกระแสเข้าไปในวงจร และขณะปล่อยประจุที่สะสมอยู่ในตัวเก็บประจุสามารถแยกพิจารณาได้เป็นสองกรณีคือ

2.1.1 การเก็บประจุไฟฟ้าในตัวเก็บประจุ (Charging circuit)



รูปที่ 2.1 วงจร R-C กระแสตรง ขณะเก็บประจุ

พิจารณาวงจร R-C จากรูปที่ 2.1 เมื่อสับสวิตช์ไปที่ตำแหน่งหมายเลข 1 แรงดัน E จะถูกต่อเข้ากับความต้านทาน R และตัวเก็บประจุ C ทำให้มีการถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปเก็บไว้ในตัวเก็บประจุ ประจุไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นและจะหยุดที่ปริมาณคงที่ค่าหนึ่ง กำหนดให้ q เป็นประจุไฟฟ้าที่ถูกเก็บไว้ในตัวเก็บประจุ C ณ เวลาใดๆ (transient charge) ขณะเก็บประจุ และให้ความต่างศักย์ ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุขณะใดๆ เท่ากับ V_C เมื่อมีการเคลื่อนย้ายถ่ายเทประจุไฟฟ้าผ่านตัวต้านทาน R จะมีกระแสไฟฟ้า i ไหลผ่าน ซึ่งมีค่าเท่ากับ dq/dt จะได้ตามความสัมพันธ์ว่า

$$E = V_R + V_C$$

$$E = iR + \frac{q}{C}$$

$$E = R\frac{dq}{dt} + \frac{q}{C}$$

$$R\frac{dq}{dt} = E - \frac{q}{C}$$

$$\frac{dq}{(EC - q)} = \frac{dt}{RC}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเริ่มสับสวิทช์ t = 0, q = 0, เมื่อเวลาผ่านไป t วินาที ประจุที่ตัวเก็บประจุ C มีค่า q ทำให้ได้ว่า

$$\int_0^q \frac{dq}{(EC-q)} = \int_0^t \frac{dt}{RC}$$

$$\int_0^q \frac{d(EC-q)}{(EC-q)} = -\frac{1}{RC}\int_0^t dt$$

$$\int_0^{EC-q} \frac{du}{u} = -\frac{t}{RC}$$

$$\ln(EC-q) - \ln(EC) = -\frac{t}{RC}$$

$$\ln\left[\frac{EC-q}{EC}\right] = -\frac{t}{RC}$$

$$EC-q = ECe^{-t/RC}$$

$$q = EC\left(1-e^{-t/RC}\right)$$

$$V_C = E\left(1-e^{-t/RC}\right) \qquad (2.1)$$

จากสมการที่ (2.1) จะเห็นได้ว่า RC มีหน่วยเป็นเวลา สำหรับเวลามีหน่วยเป็นวินาที (second, s) ค่า R มีหน่วยเป็นโอมห์ (ohm, Ω) และ C มีหน่วยเป็นฟารัด (Farad, F) แต่โดยปกติหน่วยฟารัดเป็นหน่วยที่ใหญ่มากไม่เป็นที่นิยมใช้ มักจะใช้เป็นขนาดไมโครฟารัดหรือพิโคฟารัด ค่า RC จะมีค่าคงที่สำหรับวงจรไฟฟ้าแต่ละวงจร เรานิยามเขียนแทนค่า RC ด้วย τ เรียกว่าค่าคงตัวเวลา (time constant) ถ้า t = RC เราจะได้ว่า

$$V_C = E\left(1-e^{-1}\right)$$

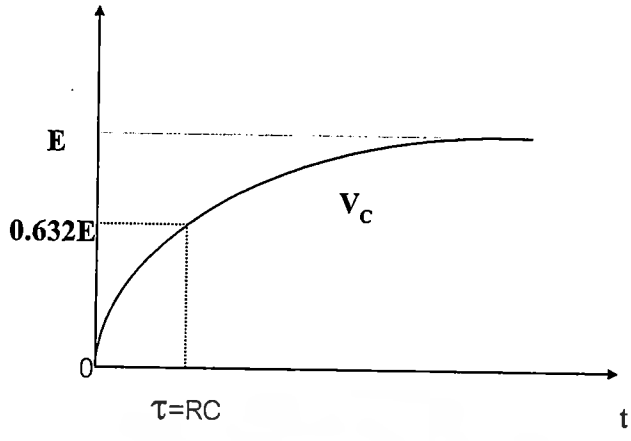
$$V_C = E\left(1-\frac{1}{e}\right)$$

$$V_C = \frac{E(e-1)}{e}$$

$$V_C = 0.632E \qquad (2.2)$$

สมการที่ (2.2) แสดงให้เห็นว่า เมื่อประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่านตัวต้านทาน R มาสะสมอยู่ในตัวเก็บประจุ C เป็นเวลา t = RC โดยที่ความต่างศักย์คร่อม C มีค่าเป็น 0.632E ดังรูปที่ 2.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของ V_C กับเวลา t ใดๆ ในการเก็บประจุของวงจร RC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง V_C กับ t ขณะเก็บประจุ

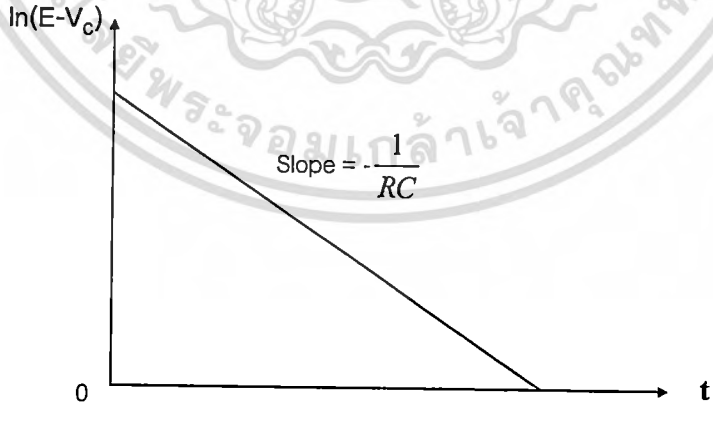
จากสมการที่ (2.1)

$$\left(\frac{E-V_C}{E}\right) = e^{-t/RC}$$

$$E-V_C = Ee^{-t/RC}$$

$$\ln(E-V_C) = -\frac{1}{RC}t + \ln E \qquad (2.3)$$

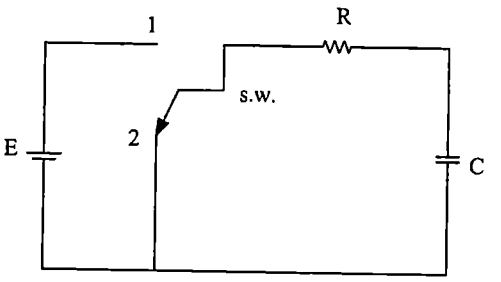
จากสมการที่ (2.3) เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln $(E-V_C)$ กับ t จะได้กราฟเป็นเส้นตรง โดยที่ความชัน(Slope) ของกราฟมีค่าเท่ากับ -1/RC ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln $(E-V_C)$ กับ t ขณะเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การคายประจุไฟฟ้าจากตัวเก็บประจุ (Discharging circuit)



รูปที่ 2.4 วงจร RC กระแสตรง ขณะคายประจุ

จากรูปที่ 2.1 เมื่อทำการเก็บประจุจนเต็มที่ หรือเรียกว่าอยู่ในสภาวะคงตัว (steady state) ความต่างศักย์คร่อม C มีค่าเท่ากับ $V_C = E$ ถ้าทำการสับสวิทช์ไปที่ตำแหน่งที่ 2 ดังรูปที่ 2.4 จะมีการคายประจุจากตัว C ผ่านตัวต้านทาน R เกิดเป็นกระแสไฟฟ้า $i = dq/dt$ และความต่างศักย์คร่อม C เป็น $q/C = V_C$ ดังรูปที่ 2.5 เราจะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$0 = V_R + V_C$$

$$0 = iR + \frac{q}{C}$$

$$\frac{q}{C} = -R\frac{dq}{dt}$$

$$\frac{dq}{q} = -\frac{dt}{RC}$$

ที่เวลา $t = 0$, $q = Q$, เมื่อเวลาผ่านไป t วินาที ประจุที่เหลืออยู่ในตัวเก็บประจุ C มีค่า q ทำให้ได้ว่า

$$\int_{Q}^{q}\frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC}\int_{0}^{t}dt$$

$$\ln\left(\frac{q}{Q}\right) = -\frac{t}{RC}$$

$$q = Qe^{-t/RC}$$

$$V_C = Ee^{-t/RC} \qquad (2.4)$$

ที่ $t = RC = \tau$ เราจะได้ว่า

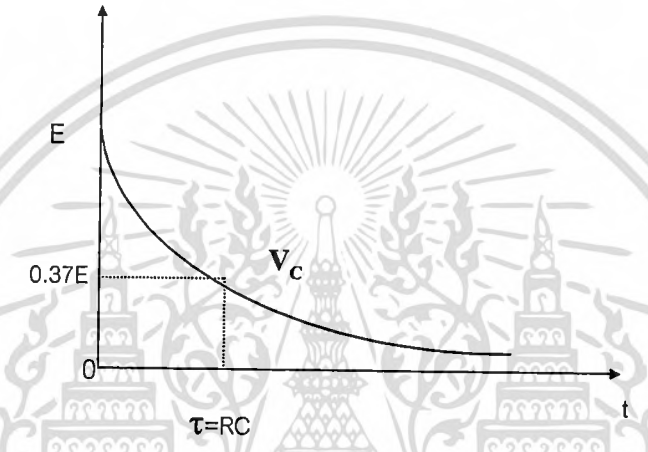
$$V_C = 0.368E \qquad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

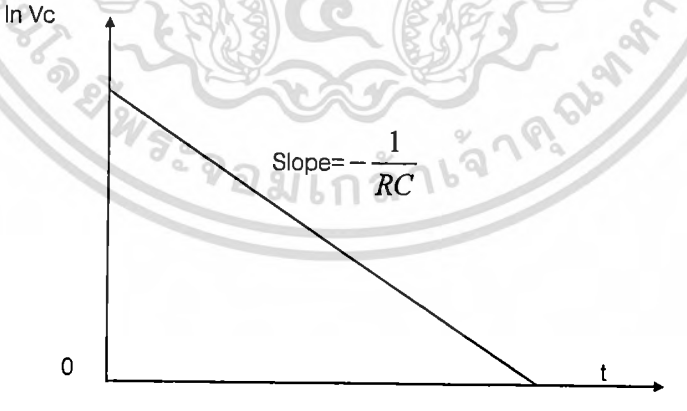
จากสมการที่ (2.5) จะเห็นได้ว่า เมื่อประจุไฟฟ้าถูกคายออกมาจากตัวเก็บประจุเป็นเวลา t = RC วินาทีแล้ว จะยังคงมีประจุไฟฟ้าเก็บสะสมอยู่โดยทำให้ความต่างศักย์คร่อม C มีค่าเป็น 0.368E และเมื่อใส่ ln ในสมการที่ (2.4) จะได้

$$\ln V_C = -\frac{1}{RC}t + \ln E \qquad (2.6)$$

ถ้าเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln V_C กับ t จะได้กราฟเป็นเส้นตรง โดยที่ความชันของกราฟ = - 1 / RC ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Vc และ t ขณะคายประจุ



รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ln Vc และ t ขณะคายประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 วงจรอิเล็กทรอนิกส์

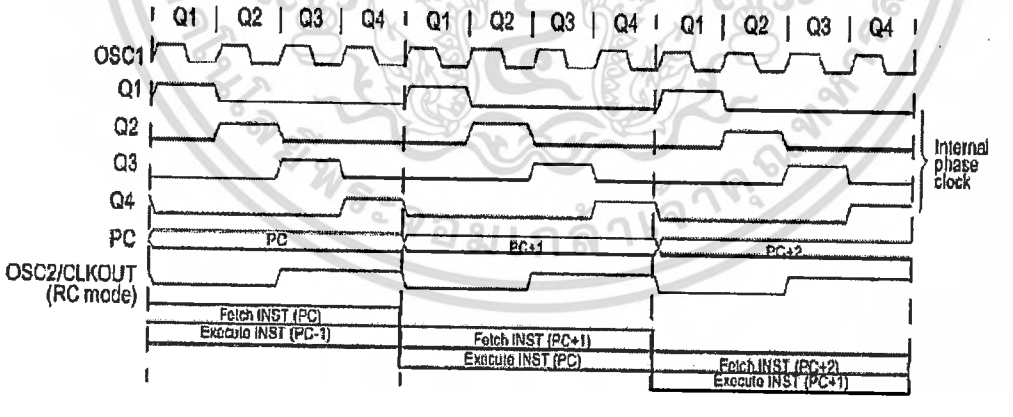
วงจรอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วย ไมโครคอนโทรลเลอร์และ ไอซีเชื่อมต่อแบบอนุกรม USB (FT245BM USB Interface)

2.2.1 PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์

PIC ไมโครคอนโทรลเลอร์ ย่อมาจากคำว่า Peripheral Interface Controller ซึ่ง concept ของบริษัท Microchip จุดเด่นของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ก็คือ พยายามรวมเอาทุกอย่างเอาไว้ในตัวของไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่ว่าจะเป็น PROGRAM MEMROY, RAM, EEPROM, UART, I2C, PWM, A/D ฯลฯ โดยไม่จำเป็นต้องต่ออุปกรณ์เสริมจากภายนอก ในตัวของ PIC จะมีฟังก์ชันที่ใช้ในการประมวลผล รวมทั้งหน่วยความจำ ซึ่งทำให้มันเหมือนกัน CPU

ชุดคำสั่งของ PIC นี้เป็นจุดเด่นของชิพตัวนี้ครับ เพราะจำนวนของคำสั่งนั้นน้อยมาก คือ 30 กว่าคำสั่ง แถมการออกแบบชุดคำสั่งนั้นใช้เทคโนโลยีแบบ RISC ซึ่งการทำงานนั้นซับซ้อนน้อย และได้ความเร็วสูงซึ่ง PIC จะใช้สัญญาณนาฬิกา โดยมองเป็นลักษณะของ วงรอบ (Cycle) ซึ่งระบุเอาไว้ว่า 1 คำสั่งนั้นจะประกอบไปด้วย 1-2 วงรอบ โดยแต่ละวงรอบนั้นจะแบ่งเป็น 4 ส่วน คือ Q1, Q2, Q3 และ Q4 ดังรูป 2.7 ด้วยเหตุนี้ความเร็วโดยรวมของ PIC จึงเท่ากับ ค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกา หาร ด้วย 4

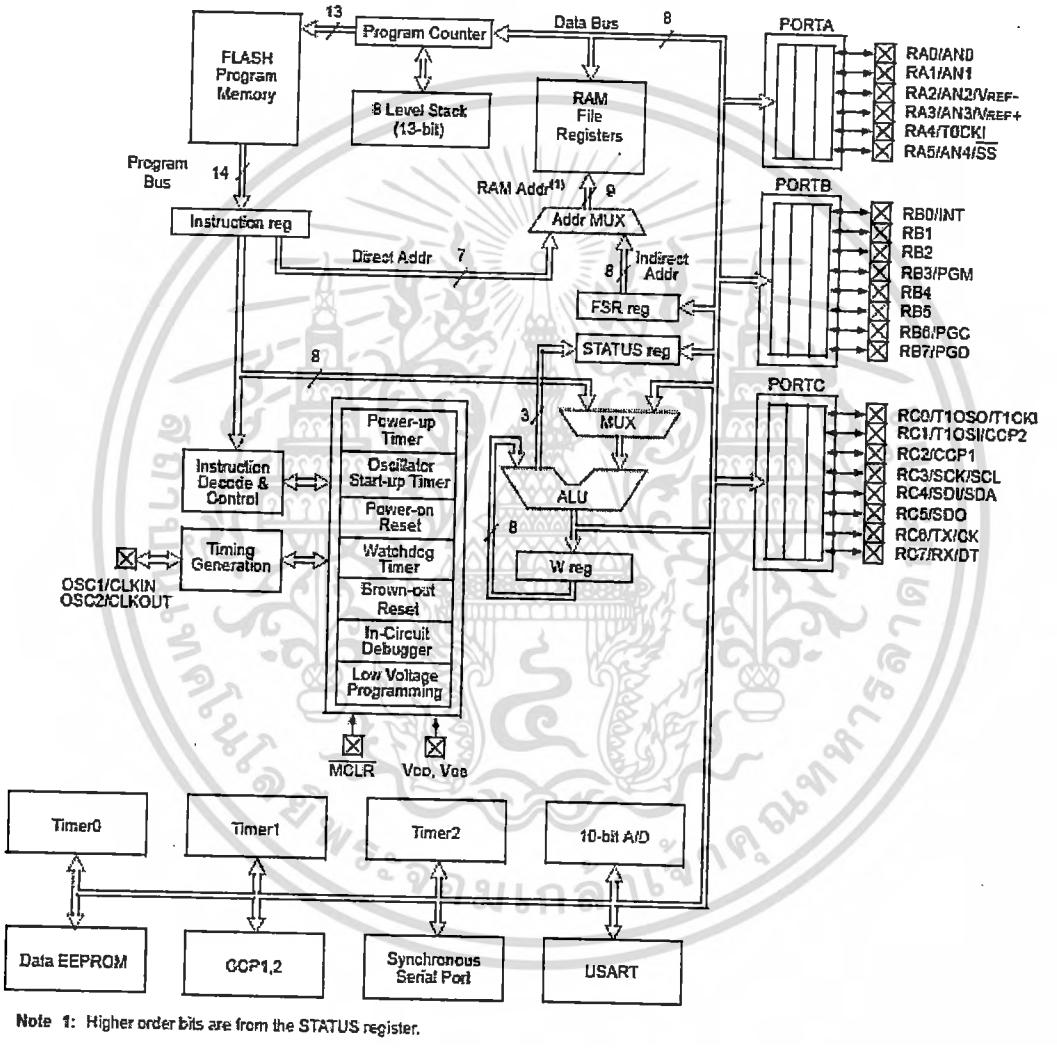
$$1 \quad cycles = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = \frac{X - TAL}{4}$$



รูป 2.7สัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างภายในชิพ มาดูผังไดอะแกรมของ PIC ดังรูป 2.8 จากผังจะมี Register สำคัญๆ คือ W ซึ่งเป็น Register ที่ใช้ในการทำเป็น Input ให้กับ ALU และเป็นตัวเก็บผลลัพธ์จากการทำงานของ ALU, STATUS เป็น Register ที่ใช้เก็บสถานะ การทำงานของคำสั่ง ว่าเมื่อคำสั่งทำงานเสร็จแล้วเกิดอะไรขึ้นมาบ้าง ซึ่งมีประโยชน์ในการเขียนโปรแกรมแบบมีเงื่อนไข, PC หรือ Program Counter เป็น Register อีกตัวหนึ่งที่มีความสำคัญ เนื่องจากใช้สำหรับเป็นตัวชี้ว่า คำสั่งที่จะนำมาประมวลผลนั้นอยู่ ณ ตำแหน่งใดในหน่วยความจำ



ดังรูป 2.8 ผังไดอะแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

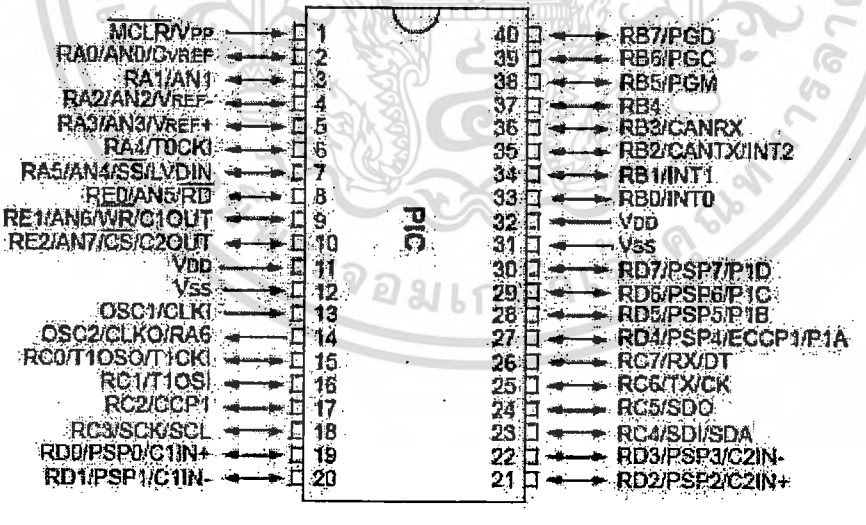
การจัดตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ดังรูปที่ 2.9 โดยของพอร์ตที่ใช้งานมี 5 พอร์ต คือ A,B,C,D และ E โดยมี I/O 33 เส้นประกอบด้วย

- RA0-RA5 จำนวน 6 เส้นสัญญาณ
- RB0-RB7 จำนวน 8 เส้นสัญญาณ
- RC0-RC7 จำนวน 8 เส้นสัญญาณ
- RD0-RD7 จำนวน 8 เส้นสัญญาณ
- RE0-RE2 จำนวน 3 เส้นสัญญาณ

RA0-RA3 และ RA5 จะใช้งานเป็น I/O ปกติ และทำหน้าที่เป็นขาอินพุตของสัญญาณอนาล็อก (AN0-AN4) RA4 เป็นขา I/O RA6/OSC2/CLKO ทำหน้าที่ในหลายส่วน คือ เป็นขา OSC2 และ CLKO จะนำมาใช้เป็นขาสัญญาณ I/O ได้ก็ต่อเมื่อใช้คริสตอลออสซิลเลเตอร์ แบบที่เป็นโมดูลสำเร็จสามารถต่อเข้ากับขา OSC1/CLKIN ได้เลยโดยที่ไม่ต้องต่อกับขา RA6/OSC2 ทำให้ขา RA6 ว่างและนำไปใช้เป็น I/O ได้

RB0-RB7 สามารถใช้งานเป็น I/ O แต่มีคุณสมบัติ พิเศษคือวงจรมีพูลอัพ (Pull-Up) ภายในและ เป็น แหล่งกำเนิดสัญญาณอินเตอรัพท์ต่างๆ ดังนี้

- RB0/INT0 เป็นขาสัญญาณอินเตอร์รัพท์ภายนอก 0
- RB1/INT1 เป็นขาสัญญาณอินเตอร์รัพท์ภายนอก 1
- RB2/INT2 เป็นขาสัญญาณอินเตอร์รัพท์ภายนอก 2
- RB3/INT3 เป็นขาสัญญาณอินเตอร์รัพท์ภายนอก 3
- RB4-RB7 เป็นขาที่สามารถกำเนิดสัญญาณอินเดอร์รัพท์ได้



รูป 2.9 การจัดตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RC0-RC7 สามารถใช้งานเป็น I/ O ตามปกติ แต่มีคุณสมบัติ พิเศษดังนี้

- RC1 ขาสัญญาณอินพุตของ Timer1 หรือใช้เป็นขาสัญญาณในส่วน ของ Capture2 input /Compare2 Output/PWM2
- RC2 เป็นขาสั ญญาณในส่วนของ Capture1 input/Compare1 Output/PWM1
- RC3 ทำหน้ าที่เป็นขาสัญญาณ SCL ในการติดต่อกับอุปกรณ์ I2C Bus
- RC4 ทำหน้าที่เป็นขาสัญญาณ SDA ในการติ ดต่ อกับอุปกรณ์ I2C Bus
- RC6 เป็นขาสั ญญาณที่ ทำ าหน้าที่ในการส่ งข้อมูล (Tx) ในโหมดการสื่อสาร อนุ กรม RS232
- RC7 เป็นขาสั ญญาณที่ ทำ าหน้าที่ในการส่ งข้อมูล (Rx) ในโหมดการสื่อสาร อนุ กรม RS232,RS422

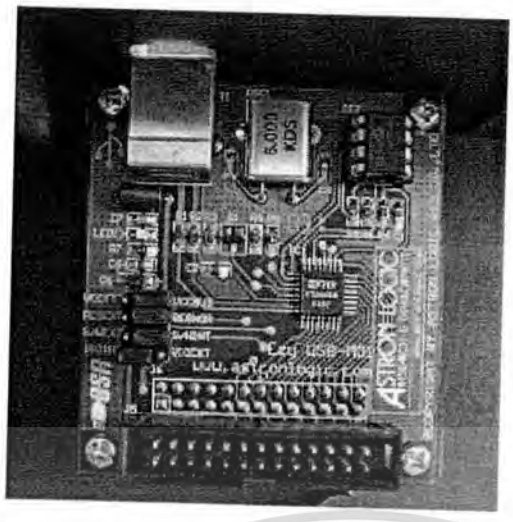
RD0-RD7 ขาสัญญาณเหล่านี้สามารถใช้งานเป็น I/O ได้ตามปกติ แต่จะมีคุณสมบัติพิเศษ คือขาสัญญาณดังกล่าวจะทำหน้าที่รับข้อมูลแบบ Parallel port slave ขนาด 8 บิต

RE0-RE2 ขาสัญญาณเหล่านี้สามารถใช้งานเป็น I/O ได้ตามปกติ แต่จะมีคุณสมบัติพิเศษ คือขาสัญญาณดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นขาอินพุตอนาลอก (AN5-AN7) เมื่ออยู่ในโหมดของ Analog to Digital

2.2.2 ไอซีเชื่อมต่อแบบอนุกรม USB (FT245BM USB Interface)

ไอซีเชื่อมต่อแบบอนุกรม (USB FT245BM USB Interface) ช่วยอำนวยความสะดวกในการเชื่อมต่อ USB กับระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยผ่านทางขาข้อมูล 8 บิต และขาควบคุมอีก 4 เส้น ภายในโมดูลสามารถจัดการงานด้านการสื่อสาร USB ได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่ต้องการเฟิร์มแวร์เพิ่มเติม นอกจากนี้ยังสนับสนุนการทำงานในโหมดบิตแบงก์ซึ่งอนุญาตให้ใช้บัสข้อมูลเป็นพอร์ต I/O ขนาด 8 บิต เพื่อใช้ในงานทั่วไปได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือวงจรลอจิกอื่นๆ เพิ่มเติม สามารถทำอัตราการส่งถ่ายข้อมูลได้ถึง 1 เมกะไบต์ ต่อวินาที โดยใช้ ไดร์ฟเวอร์ D2XX ไดเร็คไดร์ฟเวอร์ (D2XX Direct Driver) มีบัฟเฟอร์ FIFO ขนาด 384 ไบต์สำหรับด้านส่ง (Tx) และ 128 ไบต์ สำหรับด้านรับ (Rx) ดังรูปที่ 2.10 แสดงไอซีเชื่อมต่อแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

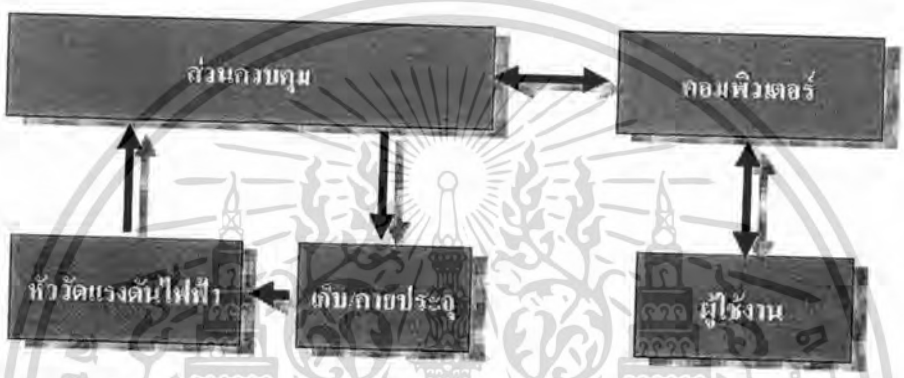


รูป 2.10 แสดงไอซีเชื่อมต่อแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

เดิมในการทดลองวัดค่าคงตัวเวลาในวงจร RC จะต้องเปิดปิดวงจรเพื่อทำการเก็บประจุหรือคายประจุในตัว C โดยใช้มิเตอร์วัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมตัว C ที่เวลาใดๆ โดยใช้นาฬิกาจับเวลา แต่ในการวิจัยนี้จะทำการสร้างชุดทดลองให้มีการทำงานและแสดงผล แบบอัตโนมัติ โดยใช้คอมพิวเตอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งเชื่อมต่อกันแบบ USB เพื่อความรวดเร็ว ทำให้สามารถวาดกราฟแบบเรียลไทม์ได้ โดยมีโครงสร้างการทำงานของระบบวัดดังรูปที่ 3.1

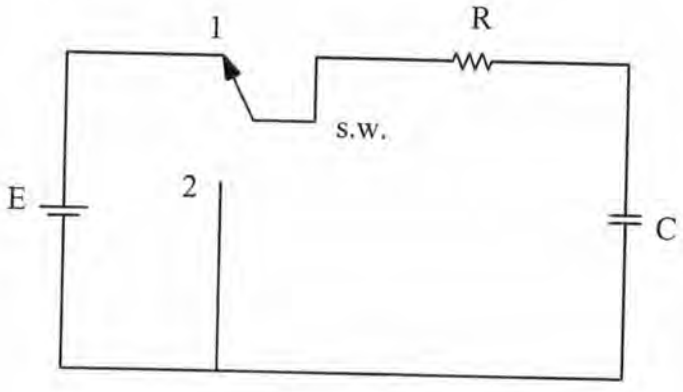


รูป 3.1 โครงสร้างระบบวัดค่าคงตัวเวลาในวงจร RC

3.1 ชุดทดลอง RC

ชุดทดลอง RC ประกอบด้วยวงจร RC อยู่ภายใน โดยใช้รีเลย์เป็นสวิทช์ปิด-เปิดวงจรไฟฟ้า เพื่อทำการสะสมหรือปล่อยประจุไฟฟ้า ให้กับตัว C ดังรูปที่ 3.2 ในส่วนของตัว R และ C จะบรรจุไว้ในกล่องเล็ก ทำให้สามารถถอดเปลี่ยนค่าต่างๆได้ง่าย สำหรับการทำงานจะถูกสั่งงานจากส่วนควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์

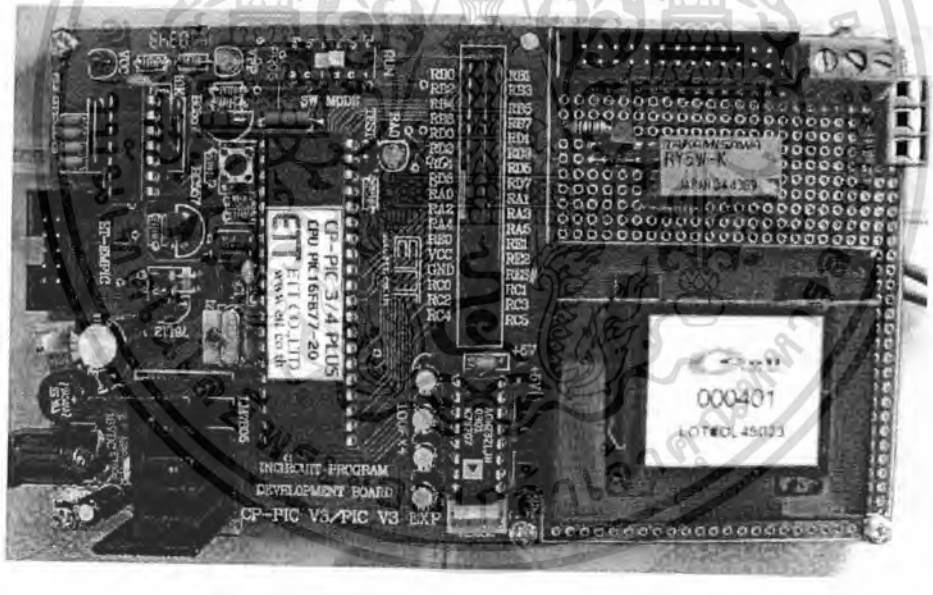
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.2 วงจรชุดทดลอง R-C

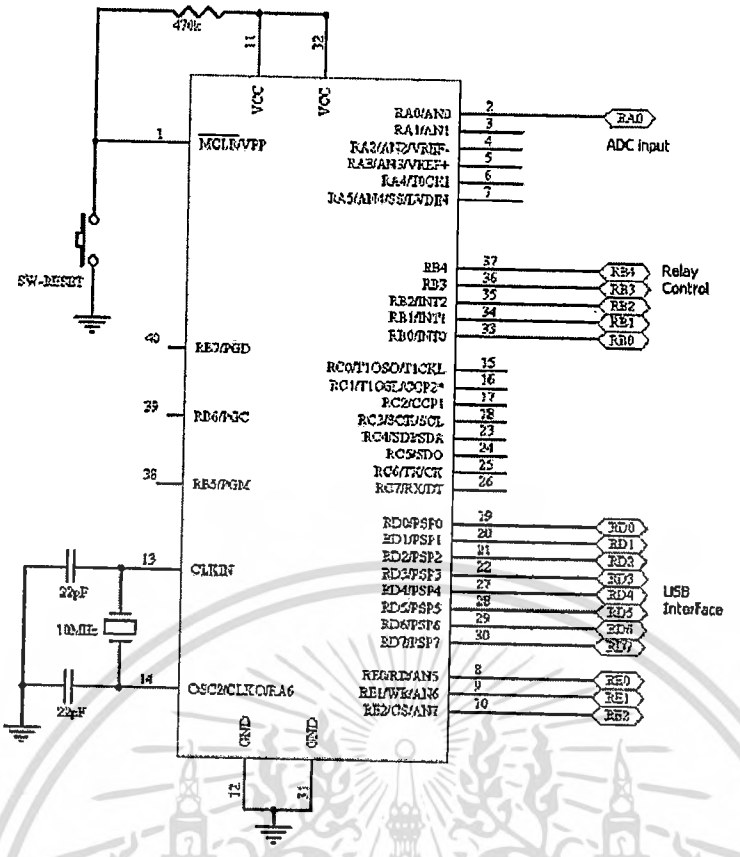
3.2 ชุดระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

ชุดระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังรูปที่ 3.3 ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของรีเลย์เพื่อทำการสะสมหรือปล่อยประจุไฟฟ้า ให้กับตัว C แล้วทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R และ C ที่เวลาต่างๆ แล้วแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลขนาด 8 บิต (วงจรตามรูที่ 3.4) แล้วส่งค่าที่อ่านได้ให้เครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านระบบบัสอนุกรม USB ตามวงจรดังรูปที่ 3.5

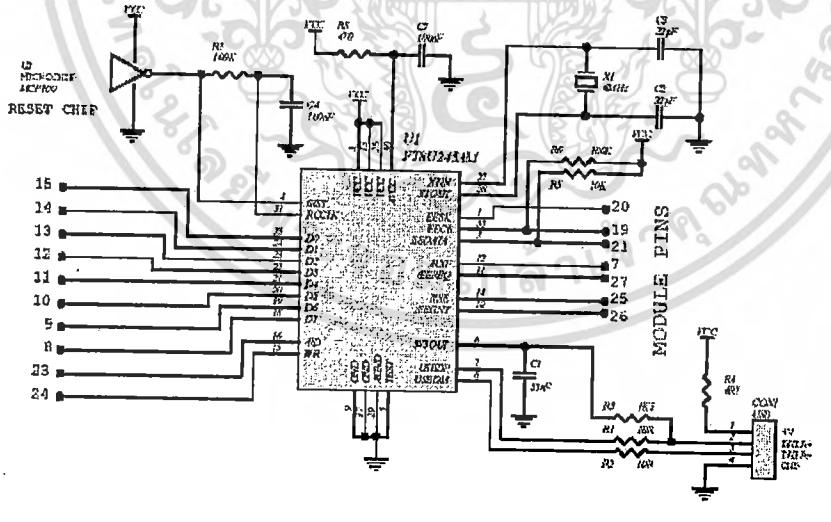


รูป 3.3 ชุดระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.4 วงจรระบบควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

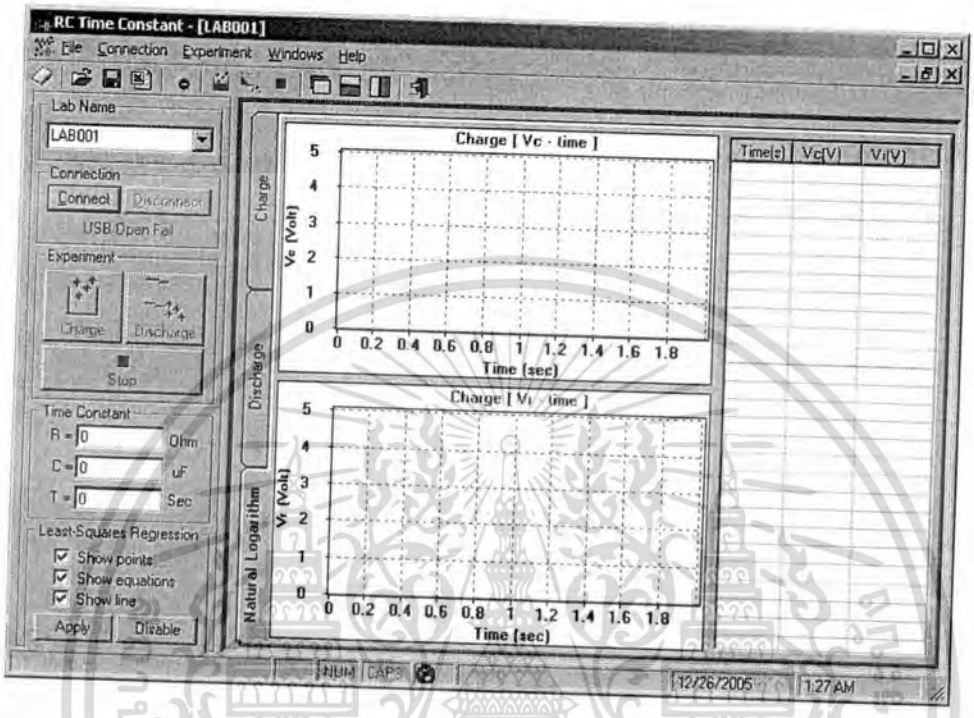


รูป 3.5 วงจรเชื่อมต่อ USB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 โปรแกรมควบคุมและแสดงผล

โปรแกรมควบคุมและแสดงผล ดังรูปที่ 3.6 พัฒนาโดยใช้ Visual Basic Compiler เขียนโปรแกรมติดต่อกับผู้ใช้งาน เมื่อทำการทดลองโปรแกรมจะส่งคำสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงาน พร้อมทั้งรอรับค่าแรงดันไฟฟ้ามาแสดงผล และ เขียนกราฟ



รูป 3.6 โปรแกรมควบคุมและแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินการ

4.1 ระบบวัดค่าคงตัวเวลาในวงจร RC

ระบบวัดค่าคงตัวเวลาในวงจร RC ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ 1. ชุดควบคุมการเก็บ - คายประจุ 2. ชุดอุปกรณ์ ตัวต้านทาน และ ตัวเก็บประจุ และ 3. โปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผล (RC-Time Constant 1.1)

4.1.1 ชุดควบคุมการเก็บ - คายประจุ ซึ่งควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอลโทรลเลอร์ ประกอบด้วย

4.1.1.1 แหล่งกำเนิดศักย์ไฟฟ้า 5 VDC

4.1.1.2 วงจรควบคุมการเก็บ - คายประจุ

4.1.1.3 วงจรแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอล

4.1.1.4 วงจรรับและส่งข้อมูลผ่านพอร์ต USB

4.1.2 ชุดอุปกรณ์ ดัวต้านทาน และ ตัวเก็บประจุ

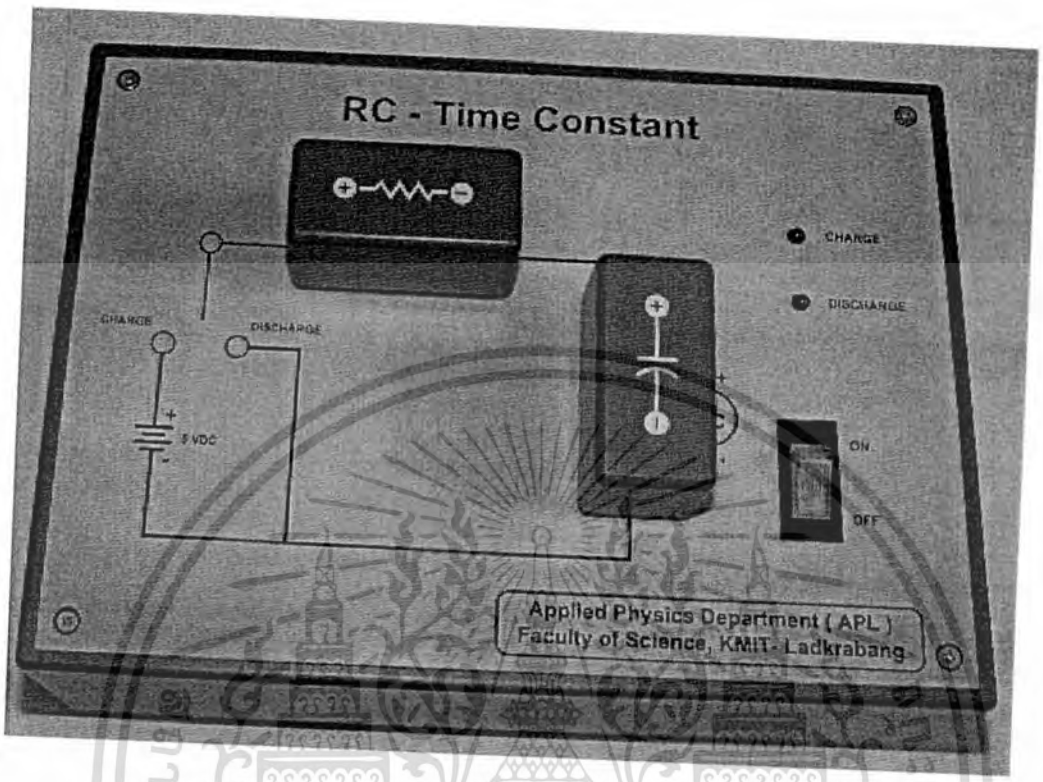
4.1.2.1 กล่องพลาสติกบรรจุตัวด้านทาน-เก็บประจุ

4.1.3 โปรแกรมควบคุมการทำงานและแสดงผล (RC-Time Constant 1.1) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานชุดควบคุมการเก็บ - คายประจุ และนำข้อมูลที่วัดได้มาประมวลและแสดงผล

ลักษณะเฉพาะ

1. สามารถวัดและแสดงค่าเวลา - แรงดันไฟฟ้าด้วยคอมพิวเตอร์
2. ความละเอียดในการแปลงสัญญาณแอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต
3. ช่วงเวลาต่ำสุดในการวัด 0.1 วินาที
4. แสดงเส้นกราฟระหว่างแรงดันไฟฟ้า-เวลา
5. ส่งข้อมูลไปที่ MS EXCEL ได้
6. บันทึกผลการวัดในรูปของข้อมูล
7. ซอฟต์แวร์ทำงานด้วยระบบปฏิบัติการ Windows 98/ Me/ XP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ชุดทดลองวัดค่าคงตัวเวลาในวงจร RC

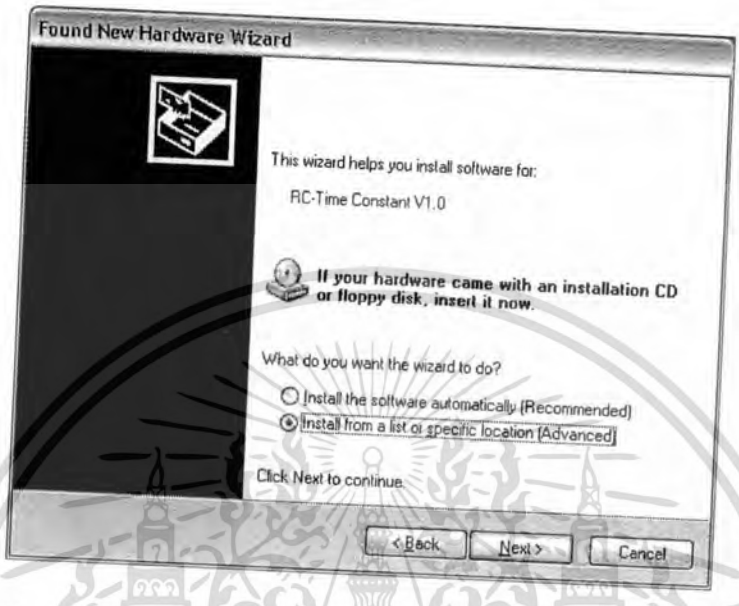
4.2 การติดตั้งและการใช้งานโปรแกรม RC-Time Constant 1.1

4.2.1 การติดตั้ง USB Driver

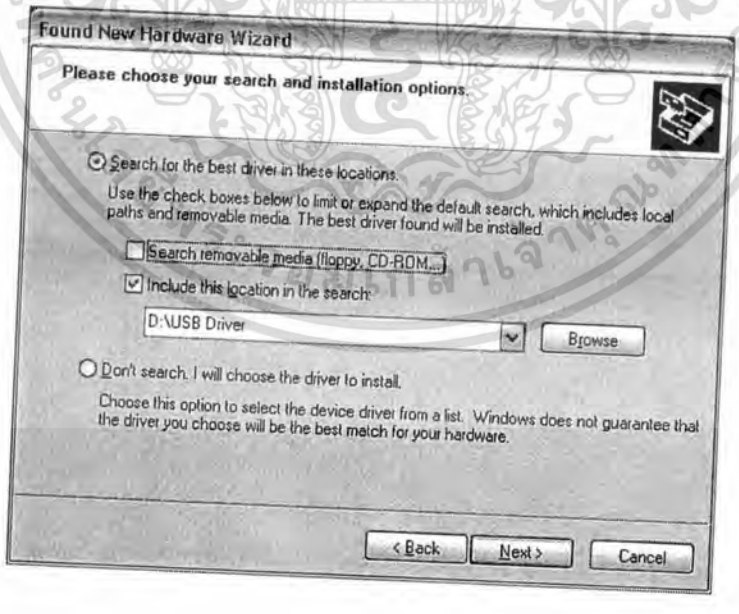
4.2.1. เสียบสาย USB เข้ากับคอมพิวเตอร์ และระบบวัดค่าคงตัวเวลาในวงจร R-C จากนั้นวินโดวส์จะแสดงไดอะล็อกบล็อกการตรวจพบฮาร์ดแวร์ใหม่ภายในระบบปรากฏขึ้นดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. จากนั้นให้เลือกรูปแบบการค้นหาเป็นแบบที่สอง ดังรูป จากนั้นให้คลิก Next เพื่อดำเนินการติดตั้งไดร์ฟเวอร์ต่อไป



4.2.3. คลิกที่ปุ่ม Browse เพื่อระบุตำแหน่งของไดร์ฟเวอร์ซึ่งอยู่ภายใน CD-Rom เพื่อเลือกตำแหน่งไดร์ฟเวอร์แล้วให้คลิก Next ดังรูป

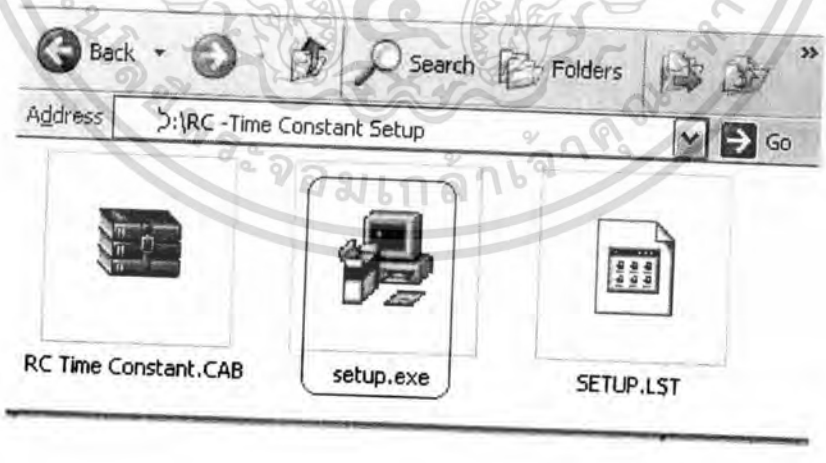


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4. หลังจากการติดตั้งไดร์ฟเวอร์เรียบร้อยแล้ว จะมีไดอะล็อกบล็อกแจ้งผลการติดตั้ง ให้คลิก Finish

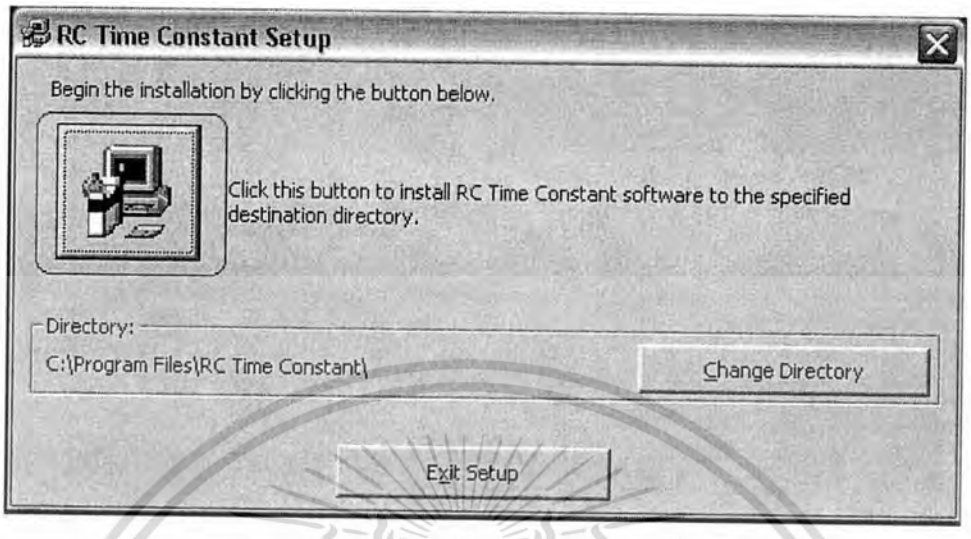
4.3 การติดตั้งโปรแกรม RC-Time Constant 1.1

4.3..1 ใส่แผ่นซีดีที่บรรจุโปรแกรม Rc-Time Constant 1.1 เข้าเครื่องคอมพิวเตอร์จะพบเข้าสู่โฟลเดอร์ RC -Time Constant Setup จะพบไฟล์ setup.exe ดังรูป

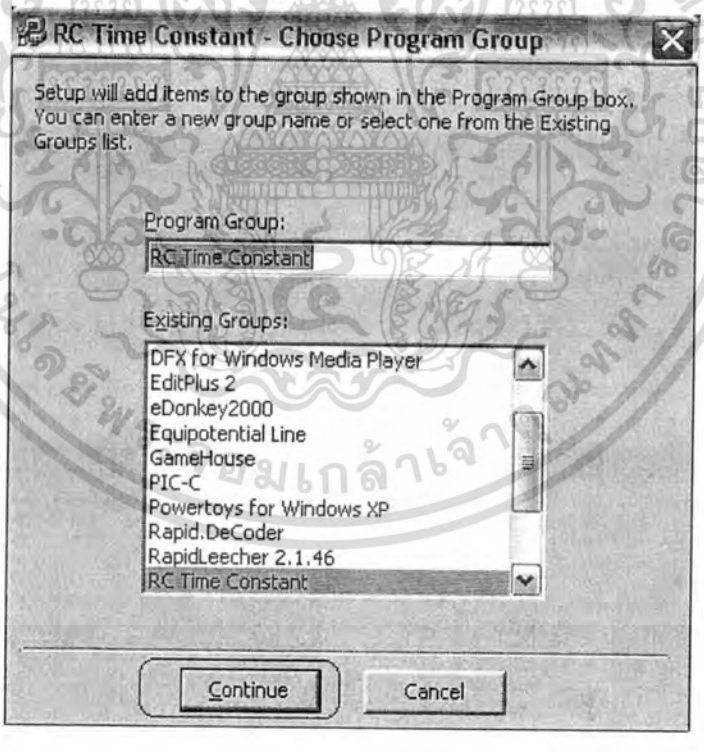


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3..2 เลือก Setup เพื่อติดตั้งโปรแกรม เลือกไดเร็คโทรีที่ต้องการติดตั้งแล้วคลิกปุ่มติดตั้ง ดังรูป

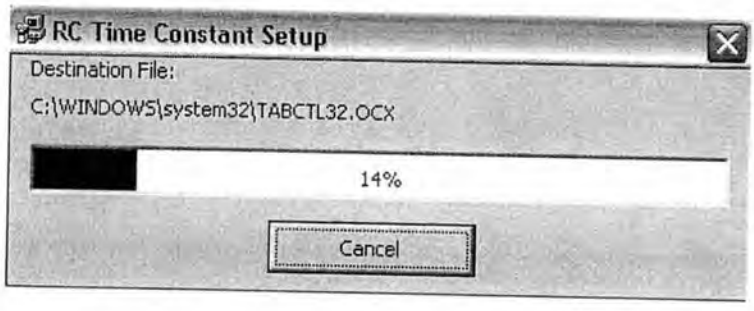


4.3..3 เลือกกลุ่มโปรแกรมหรือตั้งชื่อกลุ่มโปรแกรมที่ต้องการ จากนั้นคลิกปุ่ม continue ดังรูป โปรแกรม setup จะทำการติดตั้งโปรแกรมตามขั้นตอน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

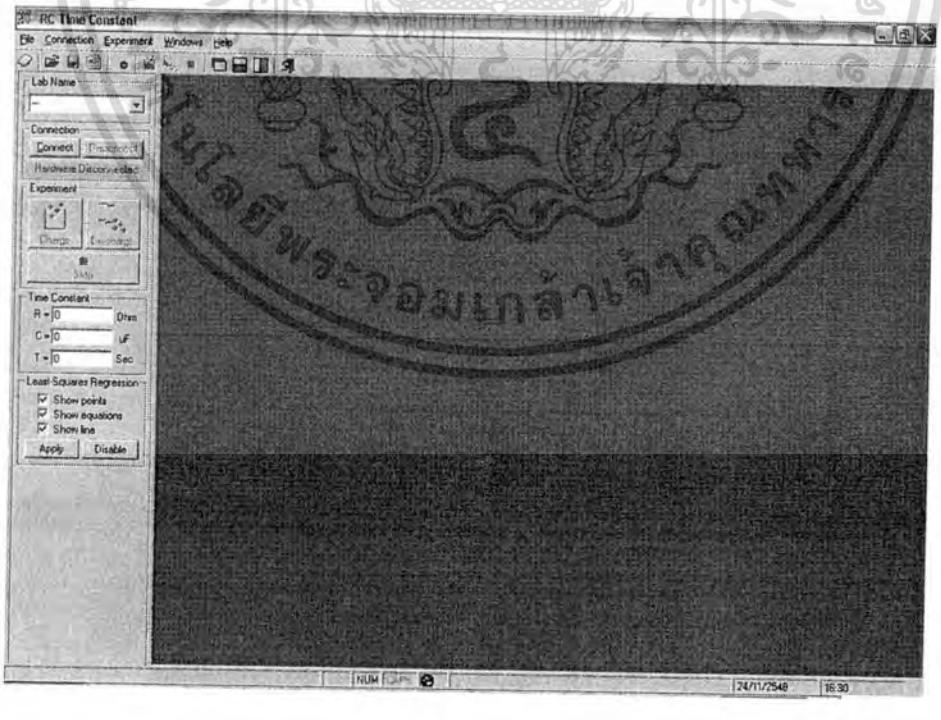
4.3..4 โปรแกรม setup จะแสดงความคืบหน้าของการติดตั้งดังรูป



4.3..5 เมื่อการติดตั้งโปรแกรมเสร็จสมบูรณ์ จะมีข้อความแสดงดังรูป

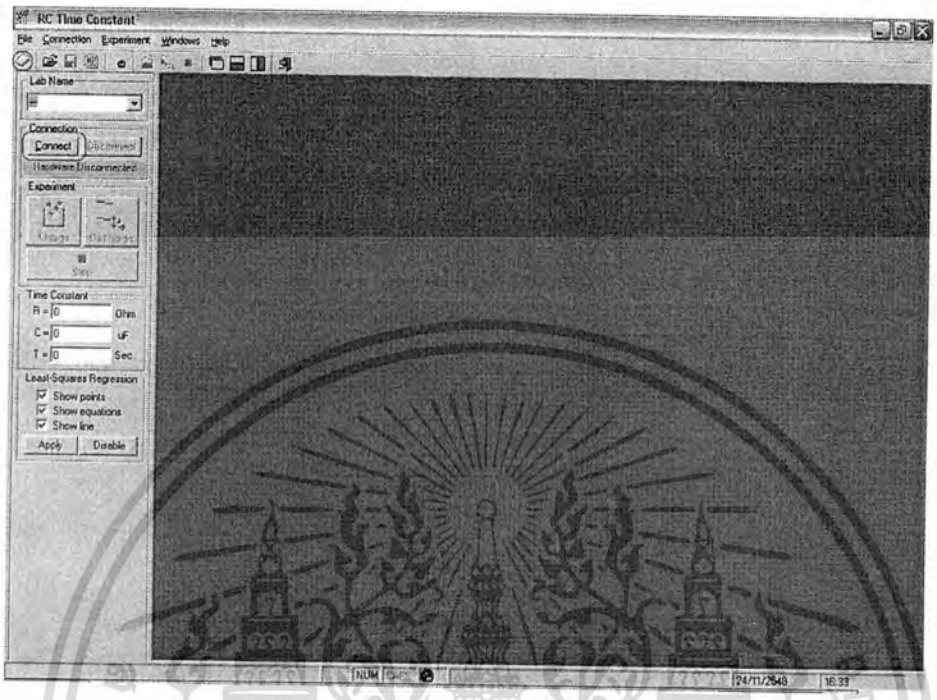
4.4 การใช้งานโปรแกรม RC-Time Constant 1.1

4.4.1 เมื่อเริ่มใช้งานโปรแกรม Rc-Time Constant 1.1 จะพบหน้าจอดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

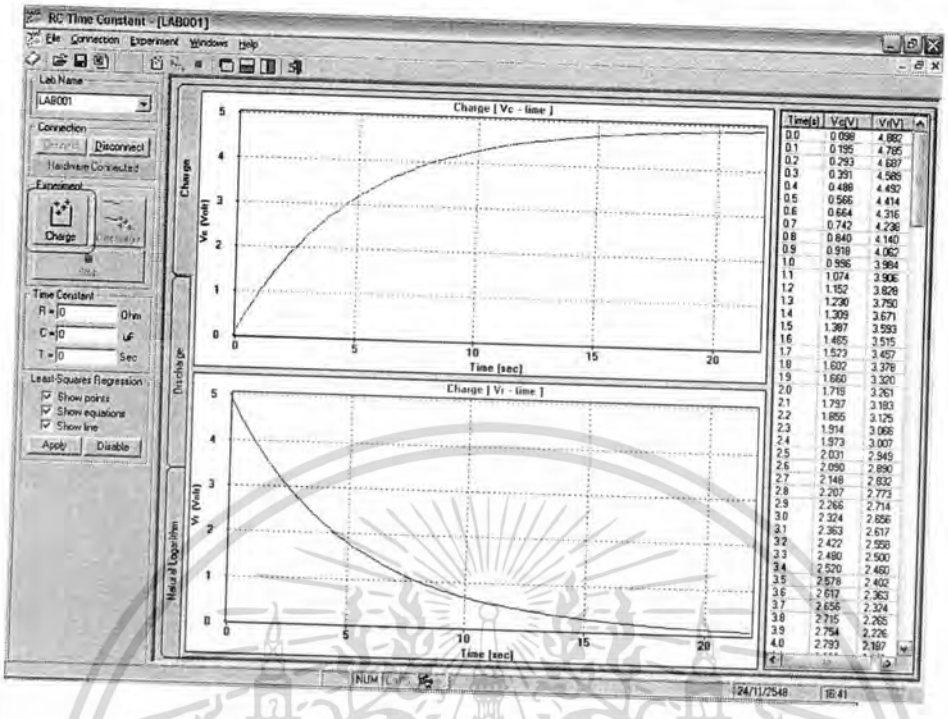
4.4.2 เมื่อต้องการวัด ให้เลือก Connect จากนั้น เลือก New Experiment จากเมนู File หรือคลิกที่ไอคอน New Experiment ดังรูป



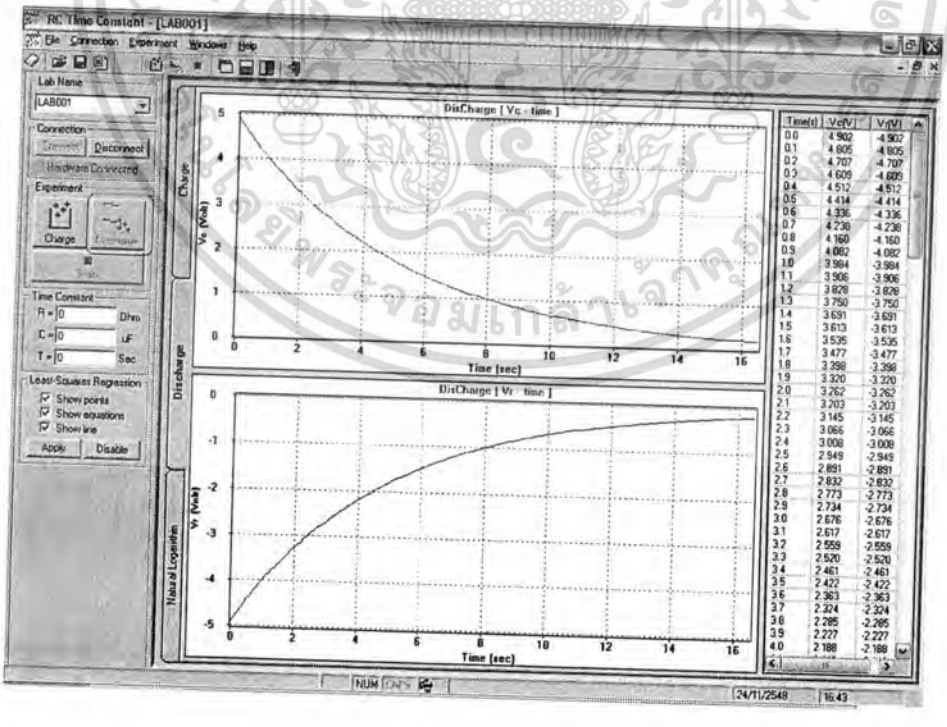
4.4.3 ป้อนข้อมูลชื่อการทดลองลงในช่องรับข้อมูล ดังตัวอย่างในรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4 คลิกปุ่ม Charge เพื่อทำการเก็บประจุ จะปรากฏหน้าต่างการทำงานดังรูป

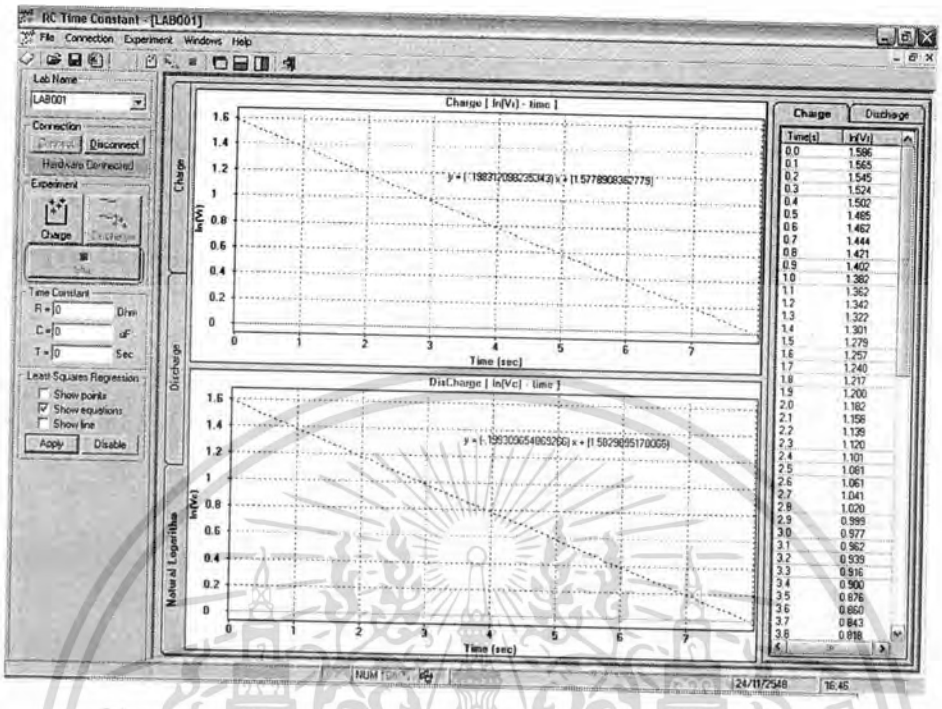


4.4.5 เมื่อคลิกปุ่ม DisCharge เพื่อทำการคายประจุ จะปรากฏหน้าต่างการทำงานดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

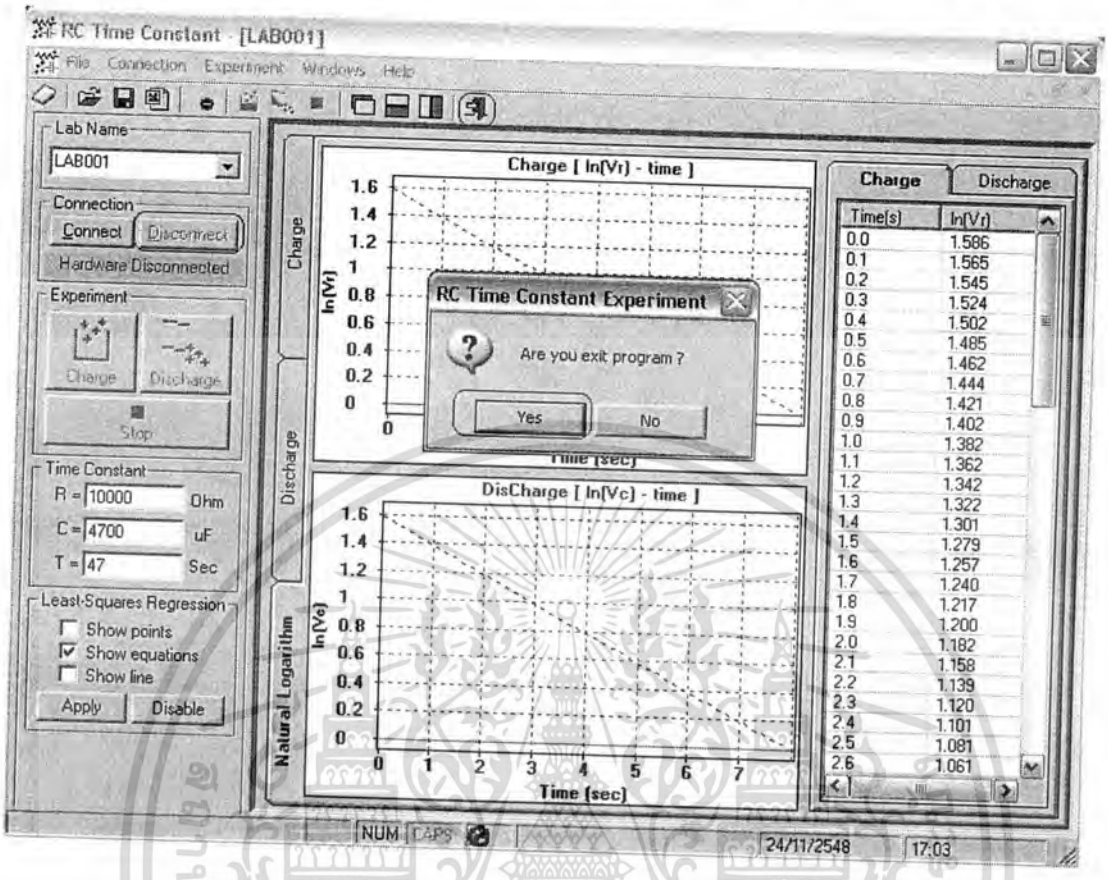
4.4.6 เมื่อคลิกปุ่ม Stop จะหยุดทำงาน และทำการประมวลผลเสร็จสิ้นจะปรากฏหน้าต่างแสดงดังรูป



4.4.7 ข้อมูลที่วัดสามารถบันทึก เปิด และส่งออกไปที่ MS EXCEL ได้ โดยคลิกที่ไอคอนดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.8 เมื่อเลิกใช้งานคลิกปุ่ม Disconnect แล้วกดปุ่ม Exit จากนั้นเลือก Yes ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลองและการดำเนินงาน

จากการสร้างชุดทดลองปฏิบัติการทางฟิสิกส์ เรื่องค่าคงตัวเวลาในวงจร RC ทำการวัดค่าค่าคงตัวเวลาในวงจร RC แสดงผลบนเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานนั้น สามารถใช้งานได้จริง และสามารถแสดงผลข้อมูลและกราฟแบบเรียลไทม์ได้ โดยมีความเร็วสูงสุดในการวัดค่าที่ 0.1 วินาที ข้อมูลแสดงผลกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า – เวลา สามารถนำมาประมวลผลหาสมการถดถอยเชิงเส้น ระหว่างลอกกาลิทึมธรรมชาติของแรงดันไฟฟ้า – เวลา โดยจากค่าความชันของกราฟสามารถนำมาใช้หาค่าคงตัวเวลาในวงจร RC ได้ นอกจากนี้ยังสามารถบันทึกข้อมูล และ ส่งข้อมูลให้กับโปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซลเพื่อนำไปประมวลผลต่อไปได้ด้วย จากการทดสอบความถูกต้องของเครื่องวัดเทียบกับค่าทางทฤษฎี พบว่ามีเปอร์เซ็นความคลาดเคลื่อนสูงสุดที่ 5 % ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบข้อผิดพลาดอยู่บ้างเนื่องจาก

1. ค่า R และ C ที่นำมาทำการทดลอง มีค่าผิดพลาดอยู่แล้ว
2. ค่าความละเอียดของ ADC น้อยเกินไป
3. ความถี่ในการวัดน้อยเกินไป
4. ฐานเวลาจากไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่เที่ยงตรง

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

1. ควรใช้แรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น หรือใช้ ADC ที่มีความละเอียดในการวัดมากขึ้น
2. เพิ่มความถี่ในการวัดให้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

ปฏิบัติการฟิสิกส์ทั่วไป 2 ,ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

www.vbexploror.com

www.freevbcode.com

www.ett.co.th

www.electoday.com

www.thaiio.com

www.thaimcu.com

www.microchip.com

www.microchipc.com

www.sonsivri.com

www.ccsinfo.com

www.ftdichip.com

www.astronlogic.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจร RLC

บทนำ

วงจรไฟฟ้ากระแสสลับเบื้องต้นนั้นเป็นวงจรไฟฟ้าที่ประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าสามชนิด คือ ตัวเก็บประจุ ตัวต้านทาน และตัวเหนี่ยวนำ มีสัญญาณไฟฟ้าในวงจรเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ การศึกษาเกี่ยวกับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับนั้นมีสิ่งที่จำเป็นต้องใช้ในการศึกษา ได้แก่ วงจรที่สร้างจากอุปกรณ์ต่างๆ แหล่งกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ และเครื่องมือวัดสัญญาณ โดยศึกษาความสัมพันธ์ของความต้านทาน แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความถี่ของสัญญาณไฟฟ้า ทั้งในวงจรอนุกรมและวงจรขนาน

ปฏิบัติการฟิสิกส์เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสสลับเป็นการทดลองที่ใช้เครื่องมือวัดสัญญาณ เช่น Oscilloscope ทำการวัดสัญญาณในวงจร โดยมีแหล่งกำเนิดสัญญาณจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ เช่น Function generator สัญญาณที่วัดได้สามารถใช้ในการศึกษาพฤติกรรมของวงจร หรือศึกษาการคำนวณของวงจรได้ โครงการนี้ได้ดำเนินการออกแบบชุดปฏิบัติการสำหรับศึกษาวงจรไฟฟ้ากระสลับ เพื่อให้สามารถปฏิบัติการได้ง่าย คงทน สามารถใช้ทดลองได้หลายครั้งโดยที่อุปกรณ์ไม่ได้รับความเสียหาย และง่ายต่อการบำรุงรักษาหรือปรับปรุง

1.1 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาชุดปฏิบัติการทดลองเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ที่สามารถใช้ศึกษาสัญญาณของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับได้ โดยวงจรเป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

1.2 การดำเนินงาน

โครงการนี้เป็นการพัฒนาชุดปฏิบัติการฟิสิกส์เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งประกอบด้วยชุดต่อวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ Oscilloscope และ Function generator ในการพัฒนาชุดปฏิบัติการจะพัฒนาเฉพาะชุดต่อวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ส่วน Oscilloscope และ Function generator จะใช้การจัดซื้อ โดยเลือกให้เครื่องมือมีคุณสมบัติเหมาะสมกับการปฏิบัติการ คือ Oscilloscope มีสองช่องวัดสัญญาณ สามารถวัดสัญญาณได้ถึง 1 MHz และ Function generator สามารถกำเนิดสัญญาณรูปไซน์ (sine) ความถี่ได้ถึง 1 MHz

1.3 สิ่งที่คาดว่าจะได้รับ

สิ่งที่จะได้รับจากโครงการนี้ ได้แก่ อุปกรณ์ทดลอง คือ ชุดต่อวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ Oscilloscope และ Function generator และคู่มือปฏิบัติการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไฟฟ้ากระแสสลับ

ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current) คือ สัญญาณไฟฟ้าที่มีขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา หรือมีการเปลี่ยนค่ากลับไปกลับมาตลอดเวลา ค่าเฉลี่ยจึงมีค่าเป็นศูนย์ แต่ให้ผลทางไฟฟ้าได้ การบอกขนาดของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าแบบสลับจึงใช้วิธีเทียบจากไฟฟ้ากระแสตรงสม่ำเสมอโดยให้ไฟฟ้ากระแสสลับเรียกชื่อตามไฟฟ้ากระแสตรงสม่ำเสมอที่ทำให้เกิดความร้อนในตัวต้านทานขนาดเดียวกันเท่ากันในเวลาเท่ากัน ค่าไฟฟ้ากระแสตรงนี้เรียกว่า ค่าเฉลี่ยแบบ Effective หรือ root mean square จะหาได้ว่า

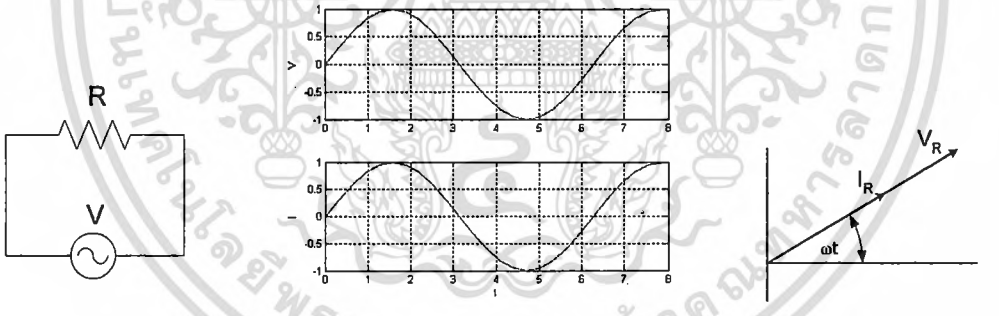
$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \tag{2.1}$$

หรือ

$$V = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \tag{2.2}$$

2.2 ความต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

การต่อตัวต้านทานเข้ากับวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ แสดงไว้ดังรูปที่ 2.1



(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2.1 ความต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามสมการ

$$V_R = V = V_m \sin \omega t \tag{2.3}$$

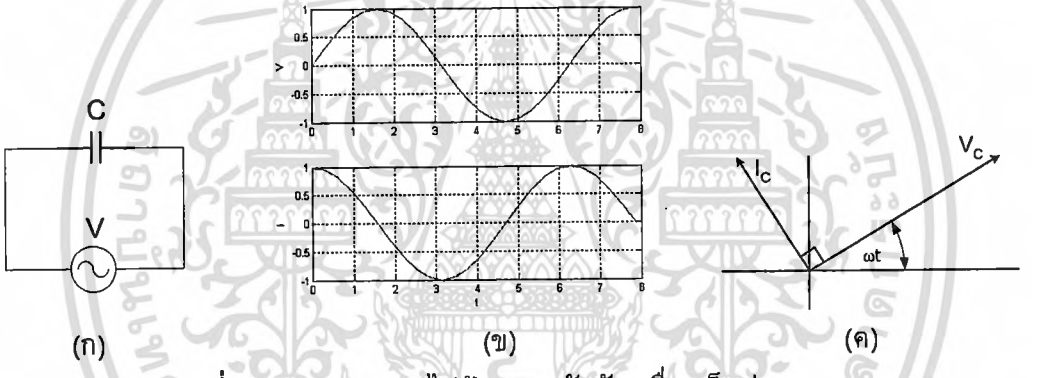
$$I_R = \frac{V_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t \tag{2.4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้ามีเฟสตรงกันหรือมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเดียวกันในรูป 2.1(ข) และ (ค) ผลของความต้านทานในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจึงมีลักษณะเช่นเดียวกับในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง และมีการเปลี่ยนแปลงไม่ขึ้นอยู่กับความถี่

2.3 ความจุไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ตัวเก็บประจุหรือเครื่องเก็บประจุไฟฟ้าในเรื่องไฟฟ้าสถิตประกอบไปด้วยแผ่นโลหะที่มีฉนวนกั้นอยู่ตรงกลาง ดังนั้นเมื่อนำมาใช้ในวงจรไฟฟ้า จึงถือว่าวงจรขาด กระแสไฟฟ้าไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านระหว่างแผ่นของตัวจุได้ อย่างไรก็ตามจะมีกระแสไฟฟ้าชั่วขณะเกิดขึ้นเนื่องจากการเก็บประจุ และเมื่อประจุเต็มแล้วจะทำหน้าที่เหมือนวงจรเปิด เมื่อนำตัวเก็บประจุไฟฟ้ามาใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับจะทำให้มีการเหนี่ยวนำไฟฟ้ากลับไปกลับมาตลอดเวลา ดูคล้ายกับว่ามีกระแสไฟฟ้าเคลื่อนที่ผ่าน ดังนั้นตัวเก็บประจุไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจึงมีคุณสมบัติต่างกับเมื่อใช้ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับจะให้ผลดังนี้



รูปที่ 2.2 ผลของกระแสไฟฟ้าแบบสลับกับเครื่องเก็บประจุ

เขียนสมการการเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้

$$V_C = V = V_m \sin \omega t \tag{2.5}$$

$$I_R = \frac{V_m}{1/\omega C} \cos \omega t = I_m \cos \omega t \tag{2.6}$$

$$\frac{1}{\omega C} = X_C = \text{ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับของตัวเก็บประจุ} \tag{2.7}$$

ผลที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่าเฟสของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าไม่ตรงกัน โดยกระแสไฟฟ้ามีเฟสนำหน้าความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นมุม 90 องศาหรือ $\pi/2$ เรเดียน และเกิดความต้านทานไฟฟ้า

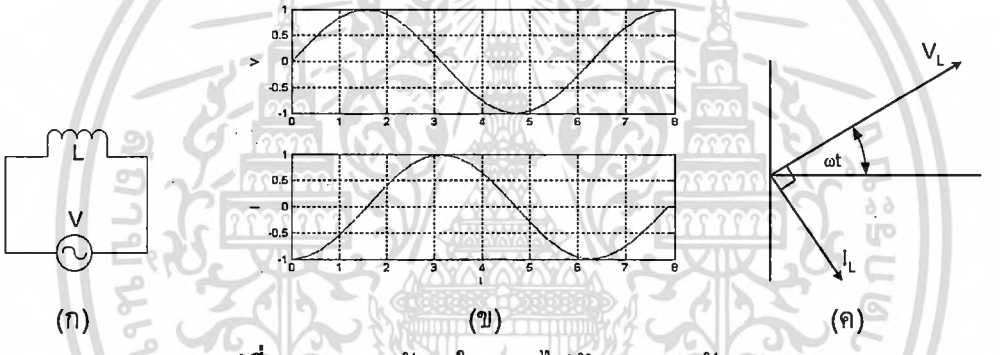
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสสลับตามสูตร $X_C = 1/\omega C = 1/2\pi fC$ จะเห็นได้ว่าค่าความถี่สูงขึ้นค่าความต้านทานนี้จะน้อยลง ถ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรงความถี่จะเป็นศูนย์ ค่าความต้านทาน $X_C = \infty$

2.4 ตัวเหนี่ยวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ตัวเหนี่ยวนำมีลักษณะเป็นขดลวดไฟฟ้าแบบขดโซลีนอยด์ ถ้าในวงจรมีกระแสไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงก็จะมีผลทำให้สนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงไปด้วย ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำ โดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับค่าลบของอัตราการเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้านั้น ถ้ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นก็จะมีค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำต่อต้านการเพิ่มหรือมีการนำพลังงานไฟฟ้าไปเก็บไว้ในรูปของพลังงานแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง ในทางตรงกันข้ามถ้ากระแสไฟฟ้าลดลงก็จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำในทิศต่อต้านการลดหรือการเสริมทิศของกระแสไฟฟ้านั่นเอง

ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงสม่ำเสมอ ขดลวดตัวนำจะทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานตัวหนึ่งเท่านั้น แต่ในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ขดลวดตัวนำจะทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานและเครื่องมือในการเก็บพลังงาน ในกรณีที่ถือว่าขดลวดตัวนำที่ไม่มีความต้านทานจะให้ผลต่อวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ขดลวดตัวนำในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

เขียนสมการการเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้

$$V_L = V = V_m \sin \omega t \tag{2.8}$$

$$I_L = \frac{-V_m}{\omega L} \cos \omega t = -I_m \cos \omega t \tag{2.9}$$

$$\omega L = X_L = \text{ ความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับของตัวเหนี่ยวนำ} \tag{2.10}$$

ตามผลที่เกิดขึ้นจะเห็นได้ว่า เฟสของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าไม่ตรงกันโดยความต่างศักย์ไฟฟ้ามีเฟสนำหน้ากระแสไฟฟ้าเป็นมุม 90 องศาหรือ $\pi/2$ เรเดียนและเกิดความต้านทานไฟฟ้ากระแสสลับตามสูตร $X_L = \omega L = 2\pi fL$ จะเห็นได้ว่าถ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

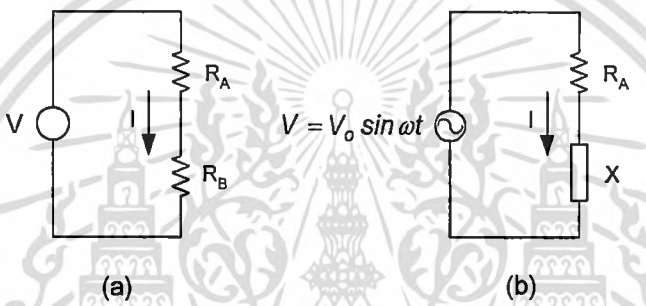
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สม่ำเสมอ ค่าความถี่จะเป็นศูนย์ทำให้ค่า X_L เป็นศูนย์ด้วย ในวงจรไฟฟ้ากระแสตรงจึงถือว่าขดลวดตัวนำทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานตามปกติเท่านั้น

2.5 การหาค่าความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ

ความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ไม่สามารถวัดได้ด้วยโอห์มมิเตอร์เหมือนความต้านทานของตัวต้านทาน (R) เนื่องจากความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุที่เรียกว่า รีแอคแตนซ์ (reactance) เป็นค่าที่ขึ้นกับความถี่ของกระแสที่ไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำหรือตัวเก็บประจุนั้น ๆ ดังนั้นจึงพบว่าเมื่อวัดความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุด้วยโอห์มมิเตอร์จึงได้ค่าเป็นศูนย์โอห์มและเป็นอนันต์ ตามลำดับ

การวัดค่าความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ X_L และค่าความต้านทานของตัวเก็บประจุ X_C จะทำโดยการเปรียบเทียบกับความต้านทานของตัวต้านทานที่ทราบค่า โดยมีหลักการดังนี้



รูปที่ 2.4 การวัดความต้านทาน

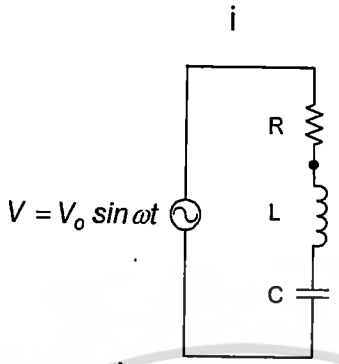
พิจารณาวงจรอนุกรมที่ประกอบด้วยตัวต้านทานที่ทราบค่า R_A 1 ตัว และตัวต้านทานที่ไม่ทราบค่า R_B 1 ตัว ต่ออยู่กับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงหรือกระแสสลับ V โวลต์ ดังรูปที่ 1(a) เนื่องจาก โวลเตจดกคร่อม R_A คือ $V_A = IR_A$ และโวลเตจดกคร่อม R_B คือ $V_B = IR_B$ เมื่อ I คือกระแสในวงจร ดังนั้น $\frac{R_B}{R_A} = \frac{V_B}{V_A} \Rightarrow R_B = R_A \frac{V_B}{V_A}$ นั่นคือถ้าสามารถวัดค่า V_A และ V_B ได้ก็จะสามารถหาค่า R_B ได้ เช่น ถ้า V_A เท่ากับ V_B จะได้ R_B เท่ากับ R_A

ในทำนองเดียวกัน ถ้าแทนตัวต้านทาน R_B ด้วยตัวเหนี่ยวนำ L หรือตัวตัวเก็บประจุ C ซึ่งมีรีแอคแตนซ์เป็น X ดังแสดงในรูปที่ 1(b) (X คือ X_L หรือ X_C มีหน่วยเป็น โอห์ม) และใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ $V = V_o \sin \omega t = V_o \sin 2\pi f t$ ที่สามารถปรับความถี่ได้ เมื่อ V_o คือ แอมปลิจูด และ f คือ ความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ เมื่อปรับความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ค่า X_L หรือ X_C ก็จะเปลี่ยนไป เป็นผลให้โวลเตจดกคร่อม X_L หรือ X_C มีค่าเปลี่ยนไปด้วย เนื่องจาก โวลเดจดกคร่อม X คือ $V_X = IX$ ดังนั้น $\frac{X}{R_A} = \frac{V_X}{V_A} \Rightarrow X = R_A \frac{V_X}{V_A}$ นั่นคือ ที่ความถี่นั้น ๆ X_L หรือ X_C มีค่าเท่ากับ R_A ถ้า V_X เท่ากับ V_A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การกำทอนทางไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน (R) ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ต่ออนุกรมกัน ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วงจรอนุกรม RLC

เมื่อพิจารณาความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ X_L และความต้านทานของตัวเก็บประจุ X_C กรณีที่ความต้านทานทั้งสองมีค่าเท่ากัน จะทำให้ความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุมีค่าเท่ากัน ($V_L=V_C$) แต่มีเฟสตรงข้ามกัน (เฟสต่างกัน 180 องศา) ดังนั้นความต่างศักย์ตกคร่อมตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุจึงเป็นศูนย์ ค่า X_L และ X_C จึงไม่มีผลต่อวงจร และความต้านทาน R ของตัวต้านทานเท่านั้นที่จะมีผลต่อกระแสของวงจร RLC ที่มีลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นเรียกว่า เกิดการกำทอน (resonant) ในวงจร โดยที่เมื่อเกิดการกำทอนในวงจร RLC ความต้านทานเชิงซ้อน กระแสไฟฟ้า และความถี่จะมีความสัมพันธ์ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.6

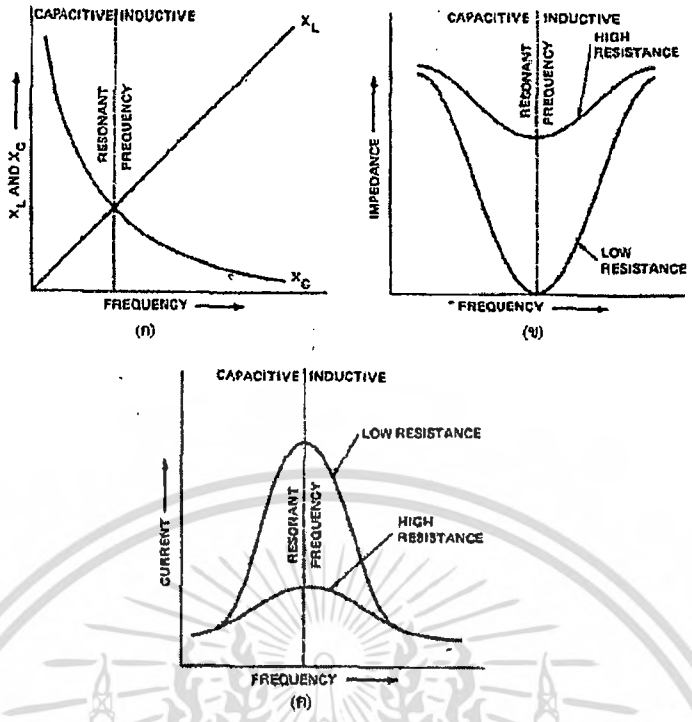
เมื่อพิจารณากระแสไฟฟ้า (i) ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ และค่าเฟส (phase) ของกระแสและแรงดันจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับค่า R C และ L ของวงจร จากรูปที่ 2.5 กำหนดให้ i เป็นกระแสไฟฟ้าของวงจรและ q เป็นประจุที่สะสมอยู่ที่ตัวเก็บประจุ จะได้

$$V_0 \sin \omega t = V_R + V_L + V_C$$
$$V_0 \sin \omega t = iR + L\frac{di}{dt} + \frac{q}{C} \qquad (2.11)$$

เมื่อหาอนุพันธ์ของสมการ (2.11) เทียบกับเวลา t จะได้ว่า

$$V_0 \cos \omega t = R\frac{di}{dt} + L\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{i}{C} \qquad (2.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ของ X_L X_C ความต้านทานเชิงซ้อน (Impedance) และกระแสไฟฟ้า (Current) ในวงจรอนุกรม RLC

สมการ (2.12) นี้คือ สมการอนุพันธ์ลำดับที่สองซึ่งมีคำตอบเป็น

$$i = \frac{V_0 \sin(\omega t - \phi)}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \qquad (2.13)$$

โดยที่ ϕ คือมุมเฟสที่มีค่าเป็น

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R}\right)$$

ซึ่งเป็นความแตกต่างเฟสระหว่าง i กับ V และกระแส i สูงสุดของวงจรคือ

$$I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}} \qquad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ตัวเก็บประจุ C และตัวเหนี่ยวนำ L มีความต้านทานเป็น X_C และ X_L จะได้ว่า

$$X_C = \frac{1}{\omega C} \text{ และ } X_L = \omega L$$

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = X_L - X_C = X$$

$$\sqrt{R^2 - X^2} = Z$$

ค่า Z เรียกว่า อิมพีแดนซ์ (impedance) เมื่อพิจารณาสมการ (2.14) จะได้ว่า

$$I_0 = \frac{V_0}{Z} \tag{2.15}$$

การกำทอนทางไฟฟ้าจะเกิดขึ้นเมื่อ X=0 หรือ $X_L = X_C$ นั่นคือ

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$
$$\omega^2 = \frac{1}{LC}$$
$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{2.16}$$

ความถี่นี้อาจเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ (natural frequency) ของวงจร ถ้าให้เฟสเริ่มต้นเป็นศูนย์ (ϕ = 0) จากสมการที่ (2.13) การกำทอนจะมีกระแสไฟฟ้าเป็น

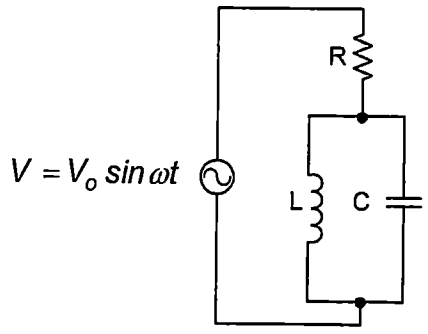
$$i = \frac{V_0 \sin(\omega t)}{R} \tag{2.17}$$

เรียกการกำทอนในวงจรนี้ว่า การกำทอนแบบอนุกรม (series resonance) และมีแรงดันไฟคร่อม R จะมีค่ามากที่สุด

วงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่มีตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ต่อขนานกัน และต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน (R) ดังรูปที่ 2.7

การเกิดการกำทอนในวงจร RLC แบบขนานมีเงื่อนไขเช่นเดียวกับวงจรแบบอนุกรม คือ เมื่อความถี่ของวงจรมีค่าถึงค่าหนึ่ง ความต้านทานเชิงซ้อนของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำจะ

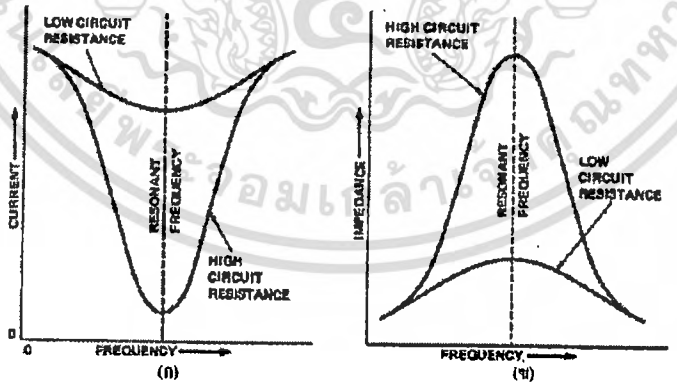
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 วงจรขนาน RLC

มีค่าเท่ากัน และความต้านทานของตัวต้านทานเท่านั้นที่มีผลกับวงจร แต่มีกระแสและความต้านทานเชิงซ้อนที่ต่างกันกับวงจรแบบอนุกรม คือ ที่ความถี่การกำทอนความต้านทานของตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำจะมีค่าเท่ากัน ปริมาณของกระแสที่ไหลผ่านจะมีค่าเท่ากันด้วย แต่มีเฟสตรงข้ามกัน (ต่างกัน 180 องศา) กระแสที่ไหลจึงไหลผ่านตัวต้านทานเพียงตัวเดียว และกระแสในวงจรจึงมีค่าต่ำที่สุดขณะที่เกิดการกำทอนขึ้นในวงจร

โดยที่ที่ความถี่ต่ำกว่าความถี่การกำทอน กระแส I_C จะมีค่าน้อยมาก ๆ เนื่องจากความต้านทานของตัวเก็บประจุมีค่ามากที่ความถี่ต่ำ แต่ตัวเหนี่ยวนำมีความต้านทานน้อยที่ความถี่ต่ำ กระแสจึงไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำมาก กระแสรวมในวงจรจึงเป็นกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานและตัวเหนี่ยวนำ ขณะที่ที่ความถี่สูงกว่าความถี่การกำทอน กระแส I_C จะมีค่ามาก เนื่องจากความต้านทานของตัวเก็บประจุมีค่าลดลงที่ความถี่สูงขึ้น แต่ตัวเหนี่ยวนำมีความต้านทานมากขึ้นที่ความถี่สูงขึ้น กระแสจึงไหลผ่านตัวเหนี่ยวนำน้อย ทำให้กระแสรวมในวงจรจึงเป็นกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทานและตัวเก็บประจุ (รูปที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของ ความต้านทานเชิงซ้อน (Impedance) และกระแสไฟฟ้า (Current) ในวงจรขนาน RLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

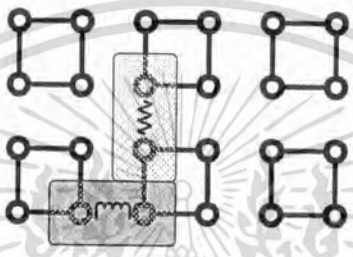
กรณีวงจรซึ่ง L และ C ต่อขนานกัน แรงดันไฟคร่อม R เมื่อเกิดกำทอนขึ้นจะมีค่าต่ำสุด การกำทอนทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าการกำทอนแบบขนาน (parallel resonance) เช่นนี้ตรวจสอบได้โดยการวัดกระแส i ที่ไหลผ่าน R ซึ่งจะมีค่าน้อยที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ชุดปฏิบัติการเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

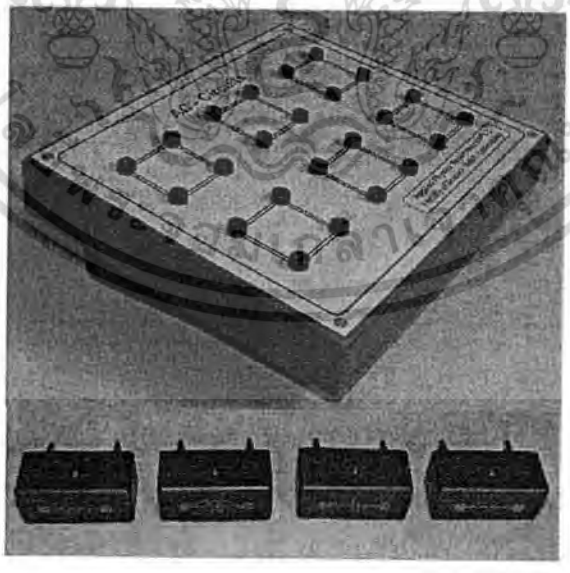
3.1 ชุดต่อวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

การออกแบบชุดต่อวงจรไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับใช้ในการทดลองเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสสลับนั้น ได้ออกแบบโดยให้ความสำคัญกับเรื่องของความสะดวกในการสร้างวงจรจากตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุ ความทนทานต่อการใช้งาน ความสะดวกต่อการวัดสัญญาณ และสามารถดูแลรักษาได้ง่าย โดยรูปแบบของชุดต่อวงจรไฟฟ้ากระแสสลับมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 3.1 รูปแบบของชุดต่อวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ในการสร้างชุดต่อวงจรไฟฟ้ากระแสสลับตามรูปแบบดังรูปที่ 3.1 ได้แบ่งเป็นสองส่วน คือ กล่องสำหรับนำอุปกรณ์มาต่อ และกล่องอุปกรณ์ซึ่งจะบรรจุตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ หรือตัวเก็บประจุไว้ ดังแสดงไว้ในรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 กล่องสำหรับต่ออุปกรณ์และกล่องอุปกรณ์

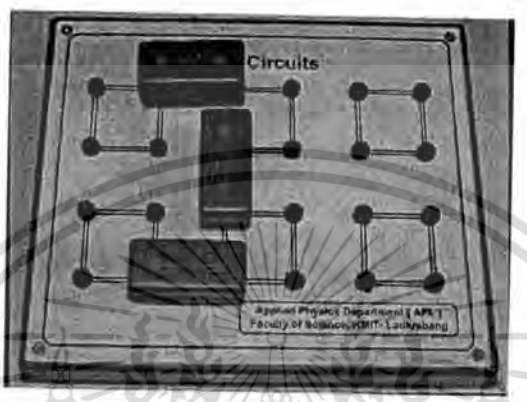
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ และความจุไฟฟ้า ของกล่องอุปกรณ์มีค่าดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ค่าความต้านทาน ความเหนี่ยวนำ และความจุไฟฟ้า ของกล่องอุปกรณ์

ความต้านทาน (Ω)	ความเหนี่ยวนำ (mH)	ความจุไฟฟ้า (μF)
330, 470, 560, 680, 820	0.796, 6.16, 10.5, 15.4, 86.6	0.01, 0.022, 0.1, 0.22, 0.3

และมีลักษณะการต่อวงจรดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.3



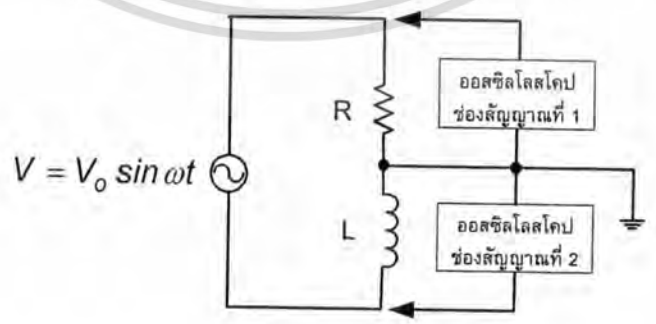
รูปที่ 3.3 การต่อวงจร RL ด้วยชุดต่อวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

3.2 ปฏิบัติการเรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

การออกแบบการทดลองเป็นอีกวัตถุประสงค์หนึ่งของการพัฒนาชุดปฏิบัติการ ซึ่งได้ออกแบบการทดลองไว้ทั้งหมด 4 เรื่อง ได้แก่ การทดลองเรื่องความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ X_L ที่ขึ้นกับความถี่ การทดลองเรื่องความต้านทานของตัวเก็บประจุ X_C ที่ขึ้นกับความถี่ การทดลองเรื่องการกำทอนแบบอนุกรม และการทดลองเรื่องการกำทอนแบบขนาน โดยการทดลองเรื่องต่าง ๆ มีขั้นตอนในการปฏิบัติการดังต่อไปนี้

3.2.1 ขั้นตอนการทดลองเรื่องความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ X_L ที่ขึ้นกับความถี่

1. ต่อวงจรอนุกรม RL แล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณตกคร่อม R และ L ดังรูปที่ 3.4



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.4 วงจรอนุกรม RL

2. ใช้ความต้านทาน R เท่ากับ 330 โอห์ม และใช้ตัวเหนี่ยวนำ L (0.796 mH) ที่กำหนดให้ ปรับแหล่งกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้กำเนิดสัญญาณรูปไซน์ (sine wave) ที่ความถี่ 10 kHz และปรับปุ่มปรับขนาดสัญญาณ (แอมปลิจูด, AMPL) ไปที่ประมาณกึ่งกลางของค่าสูงสุด
3. ปรับความถี่เพิ่มขึ้นจนกระทั่งสัญญาณตกคร่อม R และ L มีค่าเท่ากัน
4. บันทึกค่าความถี่ลงในตาราง และสังเกตความต่างเฟสระหว่างสัญญาณตกคร่อม R และ L
5. ทำการทดลองเหมือนข้อ 2-4 โดยเปลี่ยนตัวต้านทานเป็น 470, 560, 680 และ 820 โอห์ม
6. ทำการทดลองเหมือนข้อ 2-5 โดยเปลี่ยนตัวเหนี่ยวนำ L เป็นตัวอื่นอีก 4 ตัว
7. เขียนกราฟระหว่าง X_L (แกน y) และ □ (แกน x) หาค่า L จากกราฟ
8. คำนวณค่า X_L เปรียบเทียบกับค่าความต้านทาน R ที่ใช้ในการทดลองสำหรับแต่ละความถี่

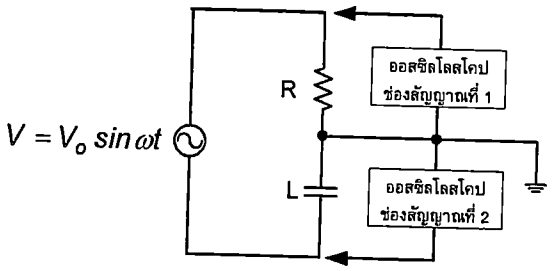
ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างตารางบันทึกผลความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ X_L ที่ขึ้นกับความถี่

ตัวเหนี่ยวนำ	ความต้านทาน R (Ω)	ความถี่ f (Hz)	ความถี่เชิงมุม □ (rad/s)	X_L= □L
L_1	330			
	470			
	560			
	680			
	820			
L_2	330			
	470			
	560			
	680			
	820			

3.2.2 ขั้นตอนการทดลองเรื่องความต้านทานของตัวเก็บประจุ X_C ที่ขึ้นกับความถี่

1. ต่อวงจรอนุกรม RC แล้วใช้ออสซิลโลสโคปวัดสัญญาณตกคร่อม R และ C ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 วงจรอนุกรม RC

2. ใช้ความต้านทาน R เท่ากับ 330 โอห์ม และใช้ตัวเก็บประจุ C (0.022 ไมโครฟารัด) ที่กำหนดให้ ปรับแหล่งกำเนิดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับให้กำเนิดสัญญาณรูปไซน์ (sine wave) ที่ความถี่ 100 kHz และปรับปุ่มปรับขนาดสัญญาณ (แอมปลิจูด,AMPL) ไปที่ประมาณกึ่งกลางของค่าสูงสุด
3. ปรับความถี่ลดลงจนกระทั่งสัญญาณตกคร่อม R และ C มีค่าเท่ากัน
4. บันทึกค่าความถี่ลงในตาราง และสังเกตความต่างเฟสระหว่างสัญญาณตกคร่อม R และ C
5. ทำการทดลองเหมือนข้อ 2-4 โดยเปลี่ยนตัวด้านทานเป็น 470, 560, 680 และ 820 โอห์ม
6. ทำการทดลองเหมือนข้อ 2-5 โดยเปลี่ยนตัวเก็บประจุ C เป็นตัวอื่นอีก 4 ตัว
7. เขียนกราฟระหว่าง X_C (แกน y) และ 1/□ (แกน x) และหาค่า C จากกราฟ
8. คำนวณค่า X_C เปรียบเทียบกับค่าความต้านทาน R ที่ใช้ในการทดลองสำหรับแต่ละความถี่

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างตารางบันทึกผลความต้านทานของตัวเก็บประจุ X_C ที่ขึ้นกับความถี่

ตัวเก็บประจุ	ความต้านทาน R (Ω)	ความถี่ f (Hz)	ความถี่เชิงมุม □ (rad/s)	1/□	X_C= 1/□C
C_1	330				
	470				
	560				
	680				
	820				
C_2	330				
	470				
	560				
	680				
	820				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ขั้นตอนการทดลองเรื่องการกำทอนแบบอนุกรม

1. นำตัวต้านทาน (R) ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) ต่อกันแบบอนุกรมกับแหล่งกำเนิดสัญญาณ ดังรูปที่ 2 ใช้สัญญาณแบบไซน์
2. กำหนดความถี่ของสัญญาณ โดยการหาความถี่กำทอนจากกราฟจากกราฟ resonance nomograph ใช้ค่า L และ C ที่ทราบค่า ลากเส้นต่อระหว่างค่าของ L และ C ก็จะทราบค่าความถี่กำทอนได้ ใช้ค่านี้สำหรับกำหนดความถี่ของสัญญาณ
3. เปิดเครื่องออสซิลโลสโคป เลือกใช้ channel 1 หรือ channel 2 เพียง 1 channel แล้ววัดค่าโวลต์คร่อมตัวต้านทาน R โดยปรับแรงดันต่อช่องไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่งให้เหมาะสม
4. ปรับความถี่ของสัญญาณ ให้ใกล้เคียงกับความถี่ที่ได้จากข้อ 2 ทดลองเปลี่ยนค่าความถี่เพื่อหาความถี่กำทอนจากออสซิลโลสโคป (จะได้แรงดันตกคร่อม R มีค่ามากที่สุด เมื่อเราลองเปลี่ยนความถี่ต่างจากจุดนี้ไม่ว่าให้มากหรือน้อย ค่าแรงดันจะลดลง) ถ้าไม่พบแสดงว่าต้องกำหนดความถี่สัญญาณใหม่ โดยกลับไปดรวจสอบความถี่จาก resonance nomograph ใหม่จนกว่าจะได้ความถี่กำทอน แล้วบันทึกความถี่กำทอนและแรงดันที่อ่านได้จากออสซิลโลสโคป โดยบันทึกเป็นแรงดันจากยอดถึงยอด (peak to peak) หรือจากจุดสูงสุดถึงจุดต่ำสุด
5. เมื่อพบความถี่กำทอนแล้ว จากนั้นให้เปลี่ยนความถี่ให้มีค่าต่ำกว่าจุดที่เกิดความถี่กำทอนประมาณ 5 ค่า (ให้ประมาณช่วงความถี่ที่ทำการทดลองเอง) ที่แต่ละค่าความถี่ ให้บันทึกค่า แรงดันที่อ่านได้จากออสซิลโลสโคป
6. นำผลการทดลองมาเขียนกราฟระหว่างแรงดัน V (แรงดันกระแสสลับ) กับความถี่ f โดยให้ V เป็นแกนตั้ง ความถี่ f เป็นแกนนอน
7. คำนวณหาค่าความถี่กำทอน โดยใช้สมการที่ 2.16
8. เปรียบเทียบผลที่ได้จากกราฟกับผลคำนวณ
9. เปลี่ยนตัวเก็บประจุให้มีค่าความจุและความเหนี่ยวนำให้ต่างจากเดิม และทำการทดลองตาม ข้อ 1-9

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างตารางบันทึกผลการกำทอนแบบอนุกรมครั้งที่หนึ่ง

ตัวต้านทาน มีค่า R = _____ โอห์ม ตัวเก็บประจุ มีค่า C = _____ ไมโครฟารัด ตัวเหนี่ยวนำ มีค่า L = _____ มิลลิเฮนรี	
ความถี่ f (.....)	ความต่างศักย์ V (.....)
ความถี่กำทอน =	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ขั้นตอนการทดลองเรื่องการกำทอนแบบขนาน

1. นำตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุมาต่อกันโดยให้ C ขนานกับ L แล้วอนุกรมกับ R และเครื่องกำเนิดสัญญาณดังรูปที่ 2.7
   หมายเหตุ ใช้ตัวต้านทาน R ต่างจากกำทอนแบบอนุกรม และใช้ตัวเก็บประจุ C และ L เหมือนกำทอนแบบอนุกรม
2. ใช้ออสซิลโลสโคปวัดแรงดันคร่อมตัวต้านทาน R แล้วทำการทดลองเหมือนตอนที่ 3 เพื่อหาค่าความถี่กำทอน ความถี่กำทอนสำหรับการต่อแบบขนานจะเป็นความถี่ที่ทำให้ค่าแรงดันที่แสดงบนออสซิลโลสโคปมีค่าน้อยที่สุด (ต่างกับกำทอนแบบอนุกรมในกำทอนแบบอนุกรม คือค่าแรงดันจะมีค่ามากที่สุดที่ความถี่กำทอน)
3. เปรียบเทียบความถี่กำทอนแบบอนุกรม กับกำทอนแบบขนาน

3.3 คำถามท้ายการทดลองที่น่าสนใจ

1. ถ้าวัดความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำและความต้านทานของตัวเก็บประจุด้วยโอห์มมิเตอร์จะได้ค่าเท่าใด เพราะเหตุใด
2. จากการทดลองเรื่องความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ X_L ที่ขึ้นกับความถี่และ การทดลองเรื่องความต้านทานของตัวเก็บประจุ X_C ที่ขึ้นกับความถี่ เฟสของสัญญาณตกคร่อม R และ L ต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด
3. จากการทดลองเรื่องความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ X_L ที่ขึ้นกับความถี่และ การทดลองเรื่องความต้านทานของตัวเก็บประจุ X_C ที่ขึ้นกับความถี่ เฟสของสัญญาณตกคร่อม R และ C ต่างกันอย่างไร เพราะเหตุใด
4. จากการทดลองเรื่องการกำทอนแบบอนุกรม กระแสไฟฟ้าในวงจรและโวลเตจตกคร่อม R มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไร
5. ในการทดลองเรื่องการกำทอนแบบขนาน เพราะเหตุใดสัญญาณตกคร่อม LC จึงมีขนาดเล็กที่สุดที่ความถี่นั้น
6. ในการทดลองเรื่องการกำทอนแบบอนุกรม และการทดลองเรื่องการกำทอนแบบขนาน เมื่อเปลี่ยนค่าตัวต้านทานจะมีผลต่อความถี่กำทอนหรือไม่ เพราะเหตุใด
7. ในการทดลองเรื่องการกำทอนแบบอนุกรม และการทดลองเรื่องการกำทอนแบบขนาน เพราะเหตุใดค่าแรงดันในขณะที่เกิดความถี่กำทอนของวงจรที่ต่อแบบอนุกรมจึงต่างกับวงจรที่ต่อแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลของการทดลองเรื่องต่าง ๆ

4.1.1 การทดลองเรื่องความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ X_L ที่ขึ้นกับความถี่

ในหาความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำโดยการใช้มิเตอร์วัดความต้านทานไม่สามารถวัดค่าได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความถี่ ดังนั้นจึงต้องใช้การพิจารณาลักษณะสัญญาณของตัวเหนี่ยวนำเป็นหลัก และอาศัยขั้นตอนการทดลองในหัวข้อ 3.2.1 ผลที่ได้จากการคำนวณมีดังนี้

ตารางที่ 4.1 ความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ X_L ที่ขึ้นกับความถี่ (คำนวณ)

ตัวเหนี่ยวนำ	ความต้านทาน R (Ω)	ความถี่ f (Hz)	ความถี่เชิงมุม □ (rad/s)	X_L= □L
0.796 mH	330	65,981	414,570	330.000
	470	93,973	590,450	470.000
	560	111,968	703,516	560.000
	680	135,961	854,268	680.000
	820	163,954	1,030,153	820.000
6.16 mH	330	8,526	53,571	330.000
	470	12,143	76,299	470.000
	560	14,469	90,909	560.000
	680	17,569	110,390	680.000
	820	21,186	133,117	820.000
10.5 mH	330	5,002	31,429	330.000
	470	7,124	44,762	470.000
	560	8,488	53,333	560.000
	680	10,307	64,762	680.000
	820	12,429	78,095	820.000
15.4 mH	330	3,410	21,429	330.000
	470	4,857	30,519	470.000
	560	5,787	36,364	560.000
	680	7,028	44,156	680.000
	820	8,474	53,247	820.000
86.6 mH	330	606	3,811	330.000
	470	864	5,427	470.000
	560	1,029	6,467	560.000
	680	1,250	7,852	680.000
	820	1,507	9,469	820.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จากการวัดตามการทดลองพบว่ามีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่คำนวณได้ เนื่องจากความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์ เครื่องมือวัด และความผิดพลาดของผู้ทำการทดลอง

4.1.2 การทดลองเรื่องความต้านทานของตัวเก็บประจุ X_C ที่ขึ้นกับความถี่

ในทำนองเดียวกับการทดลองเรื่องความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ การหาความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำโดยการใช้มิเตอร์วัดความต้านทานไม่สามารถวัดค่าได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำมีค่าเปลี่ยนแปลงตามความถี่ ดังนั้นจึงต้องใช้การพิจารณาลักษณะสัญญาณของตัวเหนี่ยวนำเป็นหลัก และอาศัยขั้นตอนการทดลองในหัวข้อ 3.2.2 ผลที่ได้จากการคำนวณมีดังนี้

ตารางที่ 4.2 ความต้านทานของตัวเก็บประจุ X_C ที่ขึ้นกับความถี่ (คำนวณ)

ตัวเก็บประจุ	ความต้านทาน R (Ω)	ความถี่ f (Hz)	ความถี่เชิงมุม □ (rad/s)	X_C= 1/□L
0.01 μF	330	48,229	303,030	330.000
	470	33,863	212,766	470.000
	560	28,421	178,571	560.000
	680	23,405	147,059	680.000
	820	19,409	121,951	820.000
0.022 μF	330	21,922	137,741	330.000
	470	15,392	96,712	470.000
	560	12,918	81,169	560.000
	680	10,639	66,845	680.000
	820	8,822	55,432	820.000
0.1 μF	330	4,823	30,303	330.000
	470	3,386	21,277	470.000
	560	2,842	17,857	560.000
	680	2,341	14,706	680.000
	820	1,941	12,195	820.000
0.22 μF	330	2,192	13,774	330.000
	470	1,539	9,671	470.000
	560	1,292	8,117	560.000
	680	1,064	6,684	680.000
	820	882	5,543	820.000
0.3 μF	330	1,608	10,101	330.000
	470	1,129	7,092	470.000
	560	947	5,952	560.000
	680	780	4,902	680.000
	820	647	4,065	820.000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จากการวัดตามการทดลองพบว่ามีความคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่คำนวณได้เช่นเดียวกันกับการทดลองเรื่องความต้านทานของตัวเหนี่ยวนำ

4.1.3 การทดลองเรื่องการกำทอนแบบอนุกรมและแบบขนาน

การทดลองเรื่องการกำทอนมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสัญญาณของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่เกิดการกำทอน ซึ่งทั้งการกำทอนแบบอนุกรมและแบบขนานที่มีความเหนี่ยวนำและความจุไฟฟ้าเท่ากันจะมีการกำทอนเกิดขึ้นที่ความถี่ค่าเดียวกัน ความถี่การกำทอนของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุทั้งหมดที่มีใช้ในการทดลองมีค่าดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 ความถี่การกำทอนของตัวเหนี่ยวนำและตัวเก็บประจุทั้งหมดที่มีใช้ในการทดลอง

ตัวเหนี่ยวนำ	ตัวเก็บประจุ (μF)	ความถี่ f (Hz)
0.796 mH	0.01	56,411
	0.022	38,032
	0.1	17,839
	0.22	12,027
	0.3	10,299
6.16 mH	0.01	20,278
	0.022	13,672
	0.1	6,413
	0.22	4,323
	0.3	3,702
10.5 mH	0.01	15,532
	0.022	10,472
	0.1	4,912
	0.22	3,311
	0.3	2,836
15.4 mH	0.01	12,825
	0.022	8,647
	0.1	4,056
	0.22	2,734
	0.3	2,342
86.6 mH	0.01	5,408
	0.022	3,646
	0.1	1,710
	0.22	1,153
	0.3	987

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปและอภิปรายผลการดำเนินงาน

5.1 สรุปการดำเนินงาน

โครงการนี้เป็นการออกแบบชุดปฏิบัติการทางฟิสิกส์เรื่องวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งมีผลการดำเนินงานเป็นอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับทำการทดลอง และเอกสารสำหรับใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติการทดลอง ดังนี้

1. ชุดต่อวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ
2. เครื่องกำเนิดสัญญาณ (Function generator)
3. เครื่องวัดสัญญาณที่มีสองช่องวัด (Oscilloscope)
4. คู่มือปฏิบัติการทดลอง

5.2 อภิปรายผลการดำเนินงาน

ในการศึกษาวงจรไฟฟ้ากระแสสลับโดยไม่อาศัยชุดต่อวงจรตามที่ออกแบบไว้ในโครงการนี้สามารถทำได้ แต่การปฏิบัติการทดลองจะมีความยุ่งยากเพิ่มขึ้น มีความไม่สะดวกในการจับยึด หรืออาจมีความเสียหายเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ได้ง่าย ดังนั้นการออกแบบชุดต่อวงจรจึงมีส่วนช่วยในการลดปัญหาต่างๆ ได้ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการศึกษาสัญญาณในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ รวมถึงรองรับการทดลองเรื่องต่างๆ โดยที่ไม่ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติม

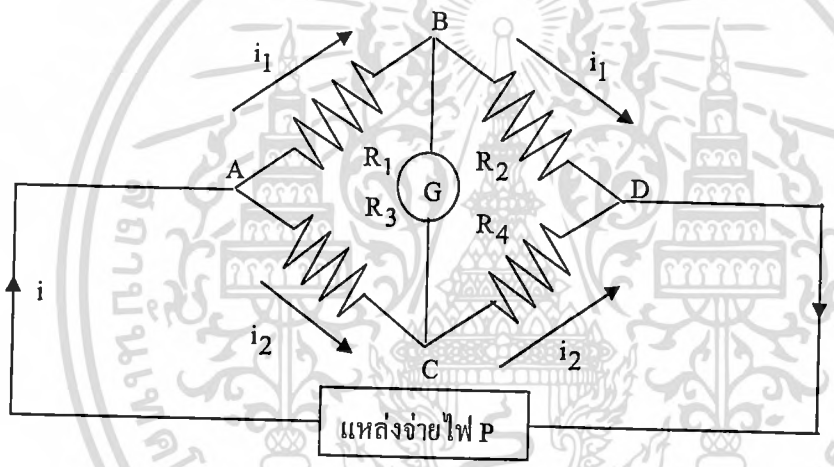
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเรื่อง
วีทสโตนบริดจ์
(WHEATSTONE BRIDGE)

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาวงจรวีทสโตนบริดจ์ และวิธีการหาค่าความต้านทานของตัวต้านทานที่ไม่ทราบค่าโดยใช้วงจรวีทสโตน

ทฤษฎี

วีทสโตนบริดจ์เป็นวงจรที่ประกอบด้วยตัวต้านทาน 4 ตัว คือ R_1 , R_2 , R_3 และ R_4 จัดเรียงกันแบบลูปปิด แล้วต่อกับแกลวานอมิเตอร์ (G) และแหล่งจ่ายไฟ P (power supply) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรวีทสโตนบริดจ์

จากรูปจะเห็นว่ากระแส i จากแหล่งจ่ายไฟแยกเป็น i_1 และ i_2 ที่จุด A แล้วไหลผ่าน R_1 , R_2 , R_3 และ R_4 ถ้าสามารถปรับค่าความต้านทานจนกระทั่งเกิดความสมดุลของศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด B และ C ได้ นั่นคือความต่างศักย์ระหว่างจุด B และ C มีค่าเป็นศูนย์จะไม่มี กระแสไหลผ่านแกลวานอมิเตอร์ (เข็มแกลวานอมิเตอร์จะชี้เลขศูนย์) เรียกวงจรในขณะนั้นว่าบริดจ์สมดุล (balance bridge) ขณะนั้นกระแส i_1 จะไหลผ่าน R_1 , R_2 กระแส i_2 จะไหลผ่าน R_3 , R_4 ศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_1 มีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_3 ($V_{AB} = V_{AC}$) และศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_2 มีค่าเท่ากับศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อม R_4 ($V_{BD} = V_{CD}$) จากกฎของโอห์ม $V = IR$ เมื่อ V เป็นค่าความต่างศักย์ระหว่างจุด 2 จุด หน่วยเป็นโวลต์ (Volt) R เป็นค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้านทานของตัวต้านทาน มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ohm) I เป็นค่ากระแสที่ไหลผ่านความต้านทาน R มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (Ampere)

และจาก $V_{AB} = V_{AC}$

ดังนั้น $i_1R_1 = i_2R_3$ (1)

และจาก $V_{BD} = V_{CD}$

ดังนั้น $i_1R_2 = i_2R_4$ (2)

สมการ (1) หารด้วยสมการ (2)

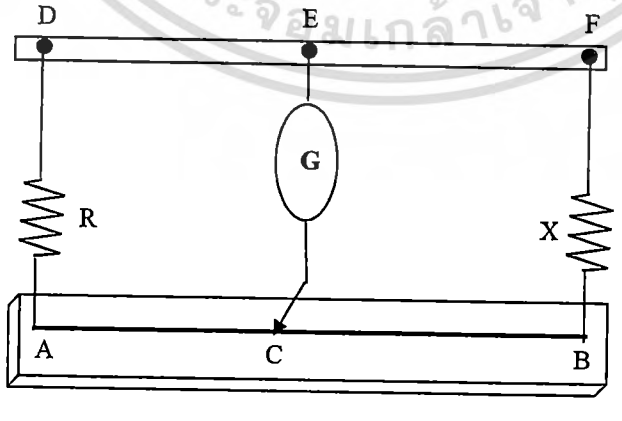
ดังนั้น $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ (3)

จากสมการที่ 3 จะเห็นว่าถ้าทราบค่าความต้านทานของตัวต้านทานในวงจร 3 ตัว จะสามารถคำนวณหาค่าความต้านทานของตัวที่ 4 ได้ กล่าวได้ว่าวีทสโตนบริดจ์เป็นวงจรที่ใช้หาค่าความต้านทานที่ยังไม่ทราบค่าโดยนำตัวต้านทานที่ทราบค่าและปรับค่าได้ (เมื่อปรับแล้วก็ยังทราบค่า) 3 ตัว และตัวต้านทานที่ต้องการทราบค่า 1 ตัว ต่อเป็นวงจรและปรับวงจรให้สมดุลแล้วนำมาคำนวณตามสมการที่ 3

<u>วีทสโตนบริดจ์ชนิดสไลด์ไวร์ (slide – wire Wheatstone bridge)</u>

ในการทดลองนี้ใช้วีทสโตนบริดจ์ชนิดสไลด์ไวร์ดังรูปที่ 2 ประกอบด้วยเส้นลวดความต้านทาน AB มีความสม่ำเสมอตลอดทั้งเส้นยาว 1 เมตร ตรึงอยู่บนสเกลไม้ D , F เป็นปุ่มสัมผัสเพื่อใช้ต่อตัวต้านทานที่ทราบค่าและปรับค่าได้ (R) และตัวต้านทานที่ต้องการทราบค่า (X) เข้ากับวงจร E เป็นปุ่มสัมผัสที่ใช้ต่อแกลวานอมิเตอร์ (G) ซึ่งปลายอีกข้างหนึ่งของแกลวานอมิเตอร์จะสัมผัสกับเส้นลวด AB และสามารถเลื่อนตำแหน่งสัมผัสไปมาบนเส้นลวดเพื่อหาตำแหน่งที่บริดจ์สมดุลเมื่อมีกระแสไหลในวงจรได้

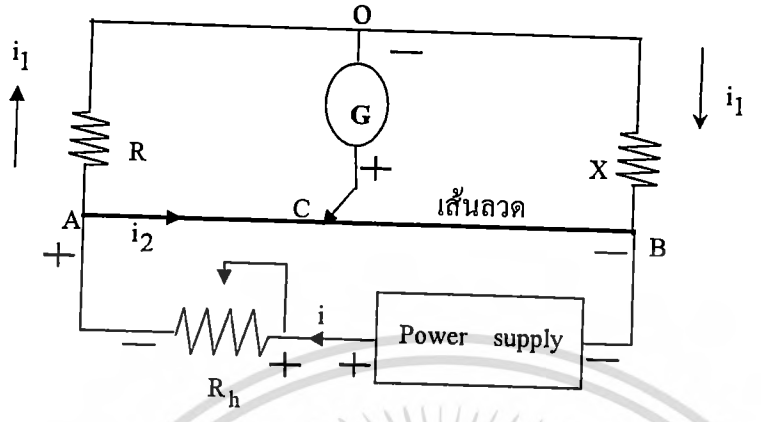
ส่วนประกอบทั้งหมดที่กล่าวมาติดอยู่บนแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้า (ยกเว้น R , X ซึ่งจะนำมาต่อภายหลังเมื่อต้องการประกอบเป็นวงจร)



รูปที่ 2 วีทสโตนบริดจ์แบบสไลด์ไวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อต่อวีทสโตนบริดจ์แบบสไลด์ไวร์กับแหล่งจ่ายไฟและเครื่องควบคุมกระแส R_h แล้ว เขียนรูปใหม่เพื่อเปรียบเทียบกับวงจรวีทสโตนบริดจ์ (รูปที่ 1) ได้ดังนี้



รูปที่ 3 วีทสโตนบริดจ์แบบสไลด์ไวร์เมื่อต่อวงจร ตำแหน่ง O คือ จุดสัมผัส D, E, F ในรูปที่ 2

จะเห็นว่าเส้นลวดต้านทาน AB ซึ่งแบ่งเป็น 2 ส่วน AC , CB คือตัวต้านทาน R_3 และ R_4 ของวงจรรูปที่ 1 นั่นเอง เนื่องจากค่าความต้านทานของเส้นลวดเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความยาวของเส้นลวด $R = \rho \ell / A$ เมื่อ ρ = ค่าคงที่ , ℓ = ความยาว, A = พื้นที่หน้าตัด) ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบวงจรรูปที่ 1 และรูปที่ 3 จะได้ $R_3/R_4 = AC/CB$

จากวงจรรูปที่ 3 เมื่อต่อ R และ X กับวงจรแล้วปรับบริดจ์ให้สมดุล ตำแหน่ง C ที่ทำให้บริดจ์สมดุลเรียกตำแหน่งสมดุล (balance point) ของเส้นลวด และความสัมพันธ์ขณะนี้ คือ

$$\frac{R}{X} = \frac{AC}{CB}$$

นั่นคือ $$X = \frac{CB}{AC} R$$

โดยค่า AC , CB อ่านจากสเกลและ R เป็นค่าตัวต้านทานที่ทราบค่า ดังนั้นจึงคำนวณค่า X ได้

2. ทดลองเพื่อหาตำแหน่งสมดุล

2.1 ตั้งค่าความต้านทานของเครื่องควบคุมกระแส (R_h) โดยเลื่อนตำแหน่งสัมผัสไว้ ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งบนลวด

2.2 เลือกค่า R ให้เหมาะสมกับ X ที่ทำการทดลอง โดยเริ่มจาก X_1 (R ที่เหมาะสม คือ R ที่มีค่าใกล้เคียงกับ X มากที่สุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เปิดสวิทช์แหล่งจ่ายไฟ เพื่อให้กระแสไหลในวงจร แล้วปรับบริดจ์ให้สมดุลโดยเลื่อนจุดสัมผัส C บนเส้นลวดจนกระทั่งได้ตำแหน่งสมดุล (เข็มแกลวานอมิเตอร์ชี้เลขศูนย์) บันทึกค่า AC และ CB ที่อ่านได้ ลงในตารางบันทึกผลตอนที่ 1

2.4 เลื่อนตำแหน่งสัมผัสบนขดลวด R_h เล็กน้อย แล้วทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.3 ทำการทดลองข้อนี้ซ้ำจนกระทั่งได้ข้อมูลจาก X_1 ครบตามที่กำหนดให้ในตารางบันทึกผลการทดลอง

2.5 เปลี่ยนค่าความต้านทาน X เป็นตัวอื่น ๆ แล้วทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 2.1 ถึง 2.4 (โดยเปลี่ยนค่า R ให้เหมาะสมกับความต้านทานของ X แต่ละตัว)

2.6 คำนวณค่าเฉลี่ยของ $\frac{CB_{เฉลี่ย}}{AC_{เฉลี่ย}}$, ค่า X และหาค่าเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดระหว่างค่า X ที่คำนวณได้กับค่า X ที่อ่านได้จากรหัสสี (ดูรหัสสีของตัวต้านทานจากภาคผนวก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. Sears , W.M. and Zemansky W.F. , College Physics, 3rd ed., Addison- Wesley, 1960 , PP. 549-522
2. Diefenderfer, A.J., Principle of Electronics Instrumentation , W. B. Saunders Company, 1972, PP. 77-81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกผลการทดลอง EM –2

วีทสโตนบริดจ์

ตอนที่ 1 หาค่าความต้านทานที่ทราบค่าเพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากรหัสสี

ความต้านทานจากรหัสสี R(Ω)	ความต้านทานจากรหัสสี X (Ω)	ครั้งที่	AC (cm)	CB (cm)	$y = \frac{CB_{เฉลี่ย}}{AC_{เฉลี่ย}}$	X = Y.R (Ω) (จากการทดลอง)	เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด (เทียบกับรหัสสีของ X) %
	X_1 =	1					
		2					
		3					
		เฉลี่ย					
	X_2 =	1					
		2					
		3					
		เฉลี่ย					
	X_3 =	1					
		2					
		3					
		เฉลี่ย					
	X_4 =	1					
		2					
		3					
		เฉลี่ย					
	$X_{รวม}$ แบบอนุกรม =	1					
		2					
		2					
		เฉลี่ย					
	$X_{รวม}$ แบบขนาน =	1					
		2					
		3					
		เฉลี่ย					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>หมายเหตุ</u> สูตรการคำนวณค่าความต้านทานเมื่อต่อรวมกัน

1. แบบอนุกรม $X_{รวม} = X_1 + X_2 + X_3 + X_4$

$=$

$=$

2. แบบขนาน $\frac{1}{X_{รวม}} = \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3} + \frac{1}{X_4}$

$=$

$=$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 หาค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่า

R (Ω)	ครั้งที่	AC (cm)	CB (cm)	$Y = \frac{CB_{เฉลี่ย}}{AC_{เฉลี่ย}}$	X = Y.R (Ω) (จากการทดลอง)
	1				
	2				
	3				
	เฉลี่ย				
	1				
	2				
	3				
	เฉลี่ย				
	1				
	2				
	3				
	เฉลี่ย				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองเรื่อง

เทอร์โมอิเล็กตริกซิตี้ (Thermoelectricity)

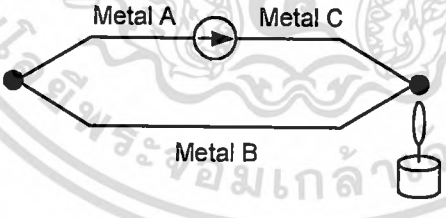
วัตถุประสงค์ 1. รู้จักใช้ thermocouple วัดอุณหภูมิได้

2. บอกอุณหภูมิได้จากค่าศักดาไฟฟ้าที่ออกมาจาก thermocouple

3. ศึกษาปรากฏการณ์แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

ทฤษฎี

เทอร์โมอิเล็กตริกซิตี้ คือ เปลี่ยนพลังงานที่อยู่ในรูปความร้อนไปเป็นพลังงานทางไฟฟ้า หรือ เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้กับเป็นพลังงานความร้อน โดยในปี ค.ศ. 1821 นักวิทยาศาสตร์ ชาวเยอรมัน ชื่อ Thomas J. Seebeck พบว่า เมื่อนำโลหะต่างชนิดกันมาเชื่อมต่อกันเฉพาะที่ปลายทั้งสองข้าง และ เมื่อให้ความร้อนที่ปลายด้านใดด้านหนึ่งจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการไหลของกระแสจะเป็นไปตามความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนกับไฟฟ้า ซึ่งวงจรการเชื่อมต่อโลหะต่างชนิดกันแสดงดังรูปที่ 1 จากปรากฏการณ์ดังกล่าวนี้จึงเป็นพื้นฐานสำคัญของเซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิชนิดหนึ่ง ที่เรียกกันว่า
เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)



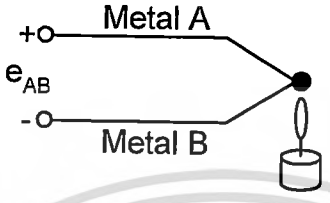
รูปที่ 1 ปรากฏการณ์ของ Seeback

เทอร์โมคัปเปิลเป็นเซนเซอร์พื้นฐานสำหรับใช้วัดอุณหภูมิในอุตสาหกรรมการผลิตประเภทต่าง ๆ และเป็นที่นิยมใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เทอร์โมคัปเปิลเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและมีราคาไม่สูงมากนัก เมื่อเทียบกับอุปกรณ์การวัดอุณหภูมิประเภทอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเทอร์โมคัปเปิล

ถ้าทำการตัดแยกวงจรในรูปที่ 1 ที่จุดกึ่งกลาง จะพบว่า แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทที่จุดปลายทั้งสองของโลหะจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิที่บริเวณจุดต่อและองค์ประกอบของโลหะทั้งสองชนิดแสดง ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แรงดันไฟฟ้า Seeback

จากรูปที่ 2 แรงดันไฟฟ้า Seebeck จะมีการเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นกับอุณหภูมิหรือสามารถเขียนสมการของแรงดันไฟฟ้า Seebeck ได้ดังนี้

$$\Delta e_{AB} = \alpha \Delta T$$

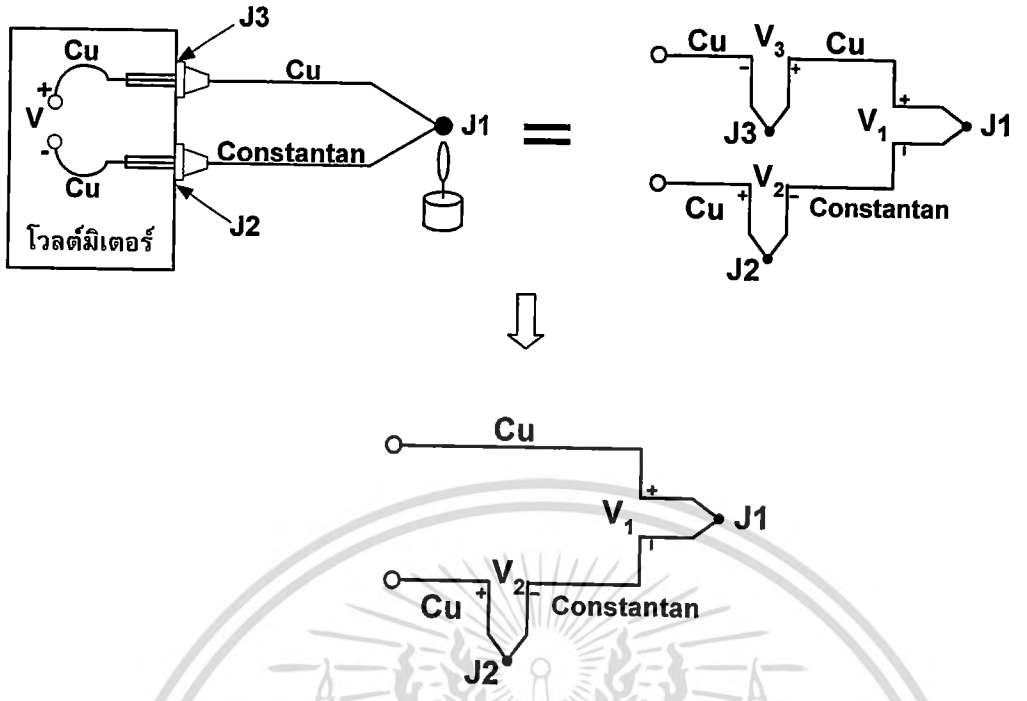
เมื่อ

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของ Seebeck (Seebeck Coefficient) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะที่นำมาเป็นเทอร์โมคัปเปิล

การวัดแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทจากเทอร์โมคัปเปิล

การวัดแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทจากเทอร์โมคัปเปิล ไม่สามารถใช้วัดโวลต์มิเตอร์ต่อวัดโดยตรงที่ปลายทั้งสองด้านของเทอร์โมคัปเปิล เพราะว่า ค่าแรงดันเอาท์พุตที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์จะไม่ใช่ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิที่จุดปลายสุดที่ต้องการ เนื่องจากในการวัดจะต้องทำการต่อสายไฟจากโวลต์มิเตอร์ที่เป็นทองแดง (Copper) ไปยังปลายของเทอร์โมคัปเปิล ซึ่งในการต่อสายไฟนี้จะทำให้เกิดจุดต่อระหว่างโลหะที่แตกต่างกันขึ้นอีก ดังตัวอย่างต่อไปนี้ เมื่อทำการต่อสายจากโวลต์มิเตอร์ที่เป็นทองแดงไปยังเทอร์โมคัปเปิลชนิด T ซึ่งเป็นเทอร์โมคัปเปิลที่ประกอบด้วยโลหะชนิดทองแดงกับคอนสแตนแตน (Copper - Constantan : คอนสแตนแตนเป็นอัลลอยด์ระหว่าง นิเกิล 45 % กับทองแดง 55% และ นอกจากนี้ยังพบอีกว่า ความต้านทานทางไฟฟ้าของคอนสแตนแตนเป็นฟังก์ชันเชิงเส้นกับอุณหภูมิ) ดังรูปที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



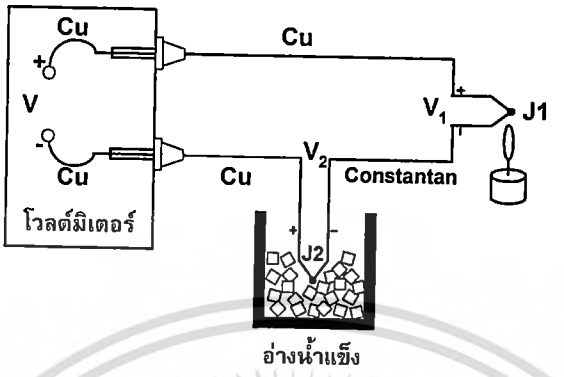
รูปที่ 3 การวัดแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิลด้วยโวลต์มิเตอร์

จากรูปที่ 3 แรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัดคือแรงดันไฟฟ้า V1 แต่เมื่อทำการต่อสายไฟจากโวลต์มิเตอร์เข้ากับปลายทั้งสองข้างของเทอร์โมคัปเปิลเพื่อวัดค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิที่จุดต่อ J1 จะเห็นได้ว่า ในการต่อจะทำให้เกิดจุดต่อใหม่ของโลหะ 2 จุด คือ จุดต่อ J2 และ J3 เมื่อจุดต่อ J3 เป็นจุดต่อระหว่างโลหะชนิดเดียวกันระหว่างทองแดงกับทองแดง (Copper - Copper) ทำให้แรงดันไฟฟ้าเกิดจากจุดต่อนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิมีค่าเป็นศูนย์ (V3 = 0) แต่ที่จุดต่อ J2 เป็นจุดต่อระหว่างโลหะที่ต่างชนิดกันระหว่างทองแดงกันคอนสแตนแตน (Copper - Constantan) ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าจากจุดต่อนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิ และ แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางที่ตรงข้ามกับแรงดันไฟฟ้า V1 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่อ่านค่าได้จากโวลต์มิเตอร์จะเป็นสัดส่วนของความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของจุดต่อ J1 กับ J2 หรือ อาจกล่าวได้ว่า ถ้าต้องการรู้ค่าอุณหภูมิที่จุดต่อ J1 จะต้องรู้ค่าอุณหภูมิที่จุดต่อ J2 ก่อน

วิธีการหนึ่งในการหาค่าอุณหภูมิที่จุดต่อ J2 ทำได้โดยการจุ่มจุดต่อ J2 ลงในอ่างน้ำแข็ง เพื่อบังคับให้อุณหภูมิที่จุดต่อ J2 นี้มีค่าเป็น 0 °C และ กำหนดให้จุดต่อ J2 เป็นจุดอ้างอิง (Reference Point) และจุดต่อที่ขั้วของโวลต์มิเตอร์ทั้งสองข้างจะเป็นการต่อกันระหว่างทองแดงกับทองแดง ซึ่งจะไม่ส่งผลทำให้ เกิดแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากจุดต่อนี้ ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันไฟฟ้าที่อ่านได้จากโวลต์มิเตอร์จึงเป็นสัดส่วนกับความแตกต่างของอุณหภูมิที่จุดต่อ J1 กับ J2 ดังแสดง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การใช้จุดอ้างอิงภายนอก

จากรูปที่ 4 สามารถเขียนสมการแรงดันไฟฟ้าที่อ่านค่าได้ที่โวลต์มิเตอร์ได้ดังนี้

$$V = V_1 - V_2 \cong \alpha\left(T_{J1} - T_{J2}\right)$$

หรือ

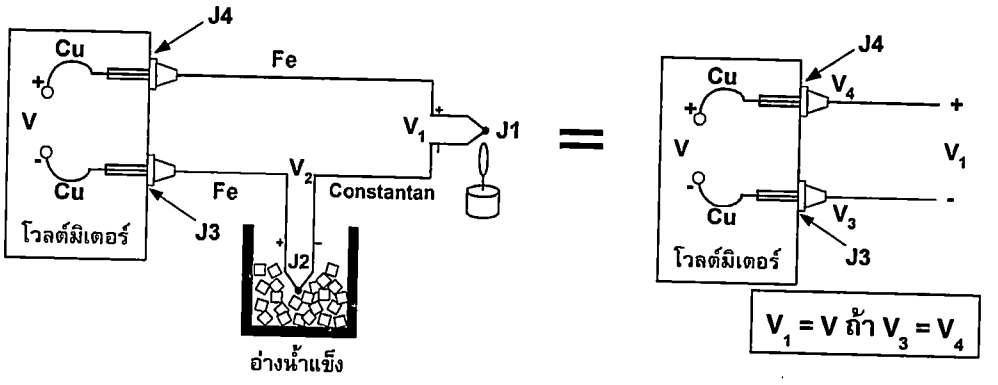
$$V = \alpha\left(T_{J1} - 0\right)$$

$$V = \alpha\, T_{J1}$$

การใช้จุดต่ออ้างอิง โดยการนำจุดต่อจุ่มลงในอ่างน้ำแข็งเป็นการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุท (V) ที่อุณหภูมิอ้างอิงที่ $0^{\circ}C$ วิธีการนี้เป็นวิธีที่มีความแม่นยำมาก เนื่องจากสามารถควบคุมอุณหภูมิที่จุดอ้างอิงได้ NBS (National Bureau Standards) ใช้จุดอ้างอิงที่จุดเยือกแข็งเป็นจุดอ้างอิงมาตรฐาน สำหรับใช้แสดงตารางค่าแรงดันไฟฟ้าของเทอร์โมคัปเปิลชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ

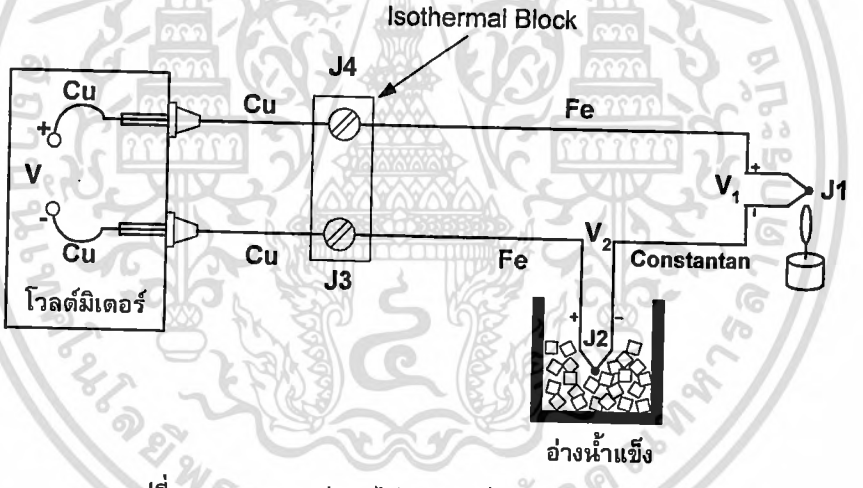
การต่อโวลต์มิเตอร์เพื่ออ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด T ดังแสดงในรูปที่ 4 เป็นตัวอย่างที่มีลักษณะเฉพาะ เนื่องจากมีโลหะที่เป็นทองแดงซึ่งเป็นโลหะชนิดเดียวกันกับโลหะของสายไฟ และ ที่จุดต่อของโวลต์มิเตอร์ ถ้าทำการเปลี่ยนชนิดของเทอร์โมคัปเปิลเป็นชนิด J ที่ประกอบด้วยโลหะเหล็กกับคอนสแตนแตน (Iron - Constantan) โลหะเหล็กจะทำให้เพิ่มจำนวนจุดต่อของโลหะที่ต่างชนิดกันดังแสดง ดังรูปที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 การหักล้างแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากจุดต่อที่เพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 5 จะทำให้จุดต่อที่โวลต์มิเตอร์เป็นจุดต่อของทองแดงกับเหล็กจะทำให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านค่าแรงดันไฟฟ้า V เมื่อจุดต่อ J3 และ J4 มีอุณหภูมิที่แตกต่างกัน เพื่อให้การอ่านค่ามีความแม่นยำมากขึ้น สามารถทำได้โดยการขยายจุดจุดต่อของโวลต์มิเตอร์ หรือ จุดต่อของโลหะเหล็กกับทองแดงออกไป และ ทำให้จุดต่อนี้อยู่ในอุณหภูมิค่าเดียวกัน ซึ่งจะเรียกจุดต่อนี้ว่า Isothermal Block ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การขยายจุดต่อออกไปจากโวลต์มิเตอร์

Isothermal Block จะเป็นฉนวนทางไฟฟ้าแต่จะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีเพื่อทำให้อุณหภูมิที่จุดต่อ J3 และ J4 มีอุณหภูมิที่เท่ากัน อุณหภูมิอ้างอิงที่บริเวณ Isothermal Block จะไม่มีความสำคัญเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากจุดต่อ J3 และ J4 มีทิศทางที่ตรงข้ามกัน ซึ่งแรงดันไฟฟ้า VI ยังคงเท่ากับ $V = \alpha T_{J1}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทำการทดลอง

1. วัดศักดาไฟฟ้าที่เกิดจาก thermocouple ที่อุณหภูมิห้อง โดยจุ่มหัวต่อด้านหนึ่งของ thermocouple ลงในน้ำแข็ง และอีกปลายด้านหนึ่งปล่อยลอยไว้ในอากาศ วัดค่าศักดาไฟฟ้าจากโวลต์มิเตอร์ บันทึกค่าอุณหภูมิห้องจากเทอร์โมมิเตอร์ข้างที่ปล่อยไว้ใน อากาศ และศักดาไฟฟ้าที่วัดได้ที่อุณหภูมิห้อง
2. นำปลายของขดลวดข้างหนึ่งจุ่มลงในบีกเกอร์ และอีกข้างหนึ่งจุ่มในกรวย ใส่น้ำแข็งทั้งสองข้าง ให้อุณหภูมิขณะนั้นเป็น 0 $^{\circ}$C จากนั้นนำน้ำแข็งที่อยู่ในบีกเกอร์ไปต้ม เพื่อทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น แล้วอ่านค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากโวลต์มิเตอร์ ที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังนี้ 2 , 4 , 6 , 8 , 10 , 12 , 14 , 16 , 18 , 20 , 22 , 24 , 26 , 28 , 30 , 35 , 40 , 45 , 50 , 55 , 60 , 70 , 80 , 90 , 100 ตามลำดับ
3. เขียนกราฟระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าความร้อน (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิทั้งสองข้าง (T) โดยให้ V อยู่บนแกนดิ่ง และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิที่ปลาย thermocouple อยู่บนแกนราบ
4. ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1 และ 2 อีกครั้ง โดยเขียนกราฟแยกกัน
5. จากกราฟเขียนสมการเส้นตรง และหาค่า V ที่ T = 100 $^{\circ}$C และทำการวัดจริงจากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. Alen , R.L., and Hunter , B. R., Transducers, Delmar Publishers , New York, 1972 , pp. 11-22
2. Diefenderfer , A.J., Principles of Electronic Instrumentation, Toppan Company , 1972 , pp, 82-84
3. Fink , D.G., and Mckenzie , A.A., Electronic Engineer's Handbook, Mcgraw-Hill ,1975 pp. 10-32
4. Stont , D.F., and Kaufman, M., Handbook of Operational Amplifier Curcuit Design, McGraw – Hill Book Company , 1976 pp. (9-1) – (9-8)
5. Yavorsky, B., and Detlaf, A., Handbook of Physics Mir Publishers, Moscow, 1975, 425-430

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บันทึกผลการทดลอง EM – 7

เทอร์โมอิเล็กตริกซิตี

หาค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

อุณหภูมิห้องที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ข้างที่ปล่อยไว้ในอากาศ ..... (.....)

ศักดาไฟฟ้าที่วัดได้จากอุณหภูมิห้อง..... (.....)

การทดลองครั้งที่ 1		การทดลองครั้งที่ 2	
อุณหภูมิ($^{\circ}$C)	แรงเคลื่อน(mV)	อุณหภูมิ($^{\circ}$C)	แรงเคลื่อน(mV)
2		2	
4		4	
6		6	
8		8	
10		10	
12		12	
14		14	
16		16	
18		18	
20		20	
22		22	
24		24	
26		26	
28		28	
30		30	
35		35	
40		40	
45		45	
50		50	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองครั้งที่ 1		การทดลองครั้งที่ 2	
อุณหภูมิ($^{\circ}$C)	แรงเคลื่อน(mV)	อุณหภูมิ($^{\circ}$C)	แรงเคลื่อน(mV)
55		55	
60		60	
65		65	
70		70	
75		75	
80		80	
85		85	
90		90	
95		95	
100		100	
α_1 = ...(.....)		α_1 = ...(.....)	
$\alpha_{1(เฉลี่ย)}$ = ...(.....)			

สมการเส้นตรงที่ได้จากการทดลอง .....

ถ้า T = 100 $^{\circ}$C จะได้ค่า

$V_{คำนวณจากสมการเส้นตรง}$ = ... (.....)

= ..... (.....)

$V_{experiment(เฉลี่ย)}$ = ... (.....)

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน = ... %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองมุมบริวสเตอร์

1. วัตถุประสงค์

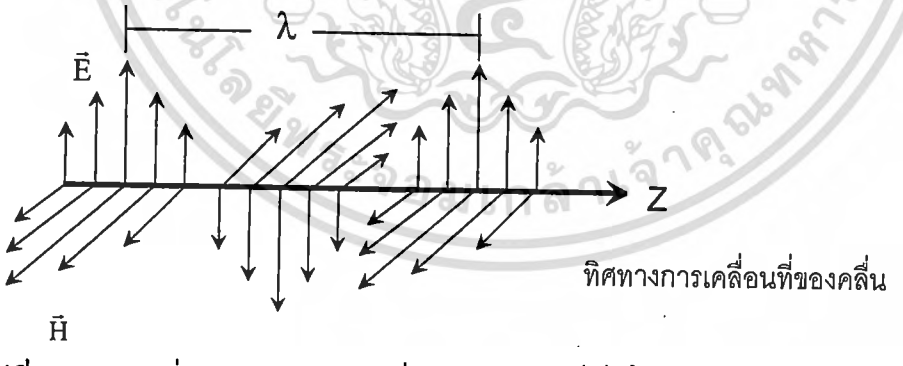
1.1 เพื่อประดิษฐ์ชุดการทดลองการหามุมบริวสเตอร์และค่าดัชนีหักเหของตัวกลางโปร่งใสขึ้นใช้เองได้ในห้องปฏิบัติการระดับปริญญาตรี

1.2 เพื่อให้ทราบถึงหลักการโพลาไรเซชันและหลักการของมุมบริวสเตอร์

1.3 สามารถนำชุดการทดลองที่สร้างขึ้นไปประยุกต์ใช้หาค่ามุมบริวสเตอร์ของวัสดุต่าง ๆ ได้

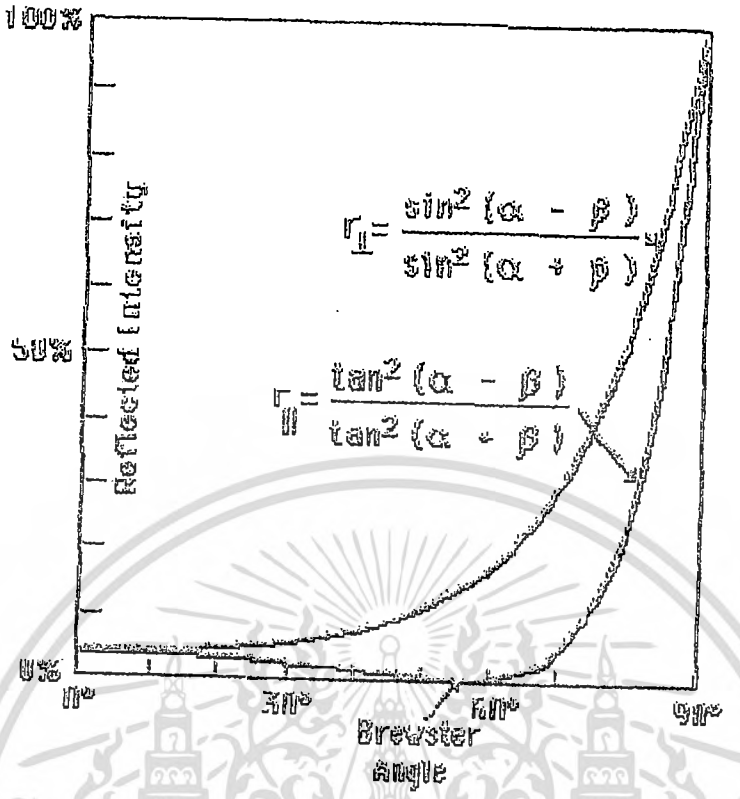
2. ทฤษฎี

แสงที่เป็นคลื่นระนาบ และมีทิศของสนามไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงหรือสั่นแนวคงที่แนวหนึ่ง เรียกว่าเป็นแสงโพลาไรซ์เชิงเส้น หรือเรียกว่ามีสมบัติโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linearly polarized light) สำหรับสนามแม่เหล็กซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงหรือสั่นในแนวที่ตั้งฉากกับสนามไฟฟ้าก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับสนามไฟฟ้า กล่าวคือมีการสั่นในแนวคงที่แนวหนึ่งซึ่งเป็นแนวที่ตั้งฉากกับแนวของสนามไฟฟ้า อย่างไรก็ตามแสงโดยทั่วไปมักไม่มีสมบัติดังกล่าว เช่น แสงที่ได้จากการเผาไส้หลอดให้ร้อน ทิศของสนามไฟฟ้าจะไม่อยู่ในแนวคงที่แนวใดแนวหนึ่ง และไม่มีการเปลี่ยนแปลงกับตำแหน่งอย่างเป็นระเบียบใดๆ แสงเช่นนี้เป็นแสงที่ไม่โพลาไรซ์ (Unpolarized light) ในบางกรณีแสงอาจมีการผสมกันระหว่างแสงโพลาไรซ์และแสงไม่โพลาไรซ์ กรณีนี้เรียกว่าเป็นแสงโพลาไรซ์บางส่วน (Partially polarized light) ทิศการสั่นของสนามไฟฟ้า $(\vec{E})$ จะตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก $(\vec{H})$ และตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการสั่นของแสงธรรมชาติ ซึ่งมีสนามไฟฟ้า $(\vec{E})$ ตั้งฉากกับสนามแม่เหล็ก $(\vec{H})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3 ค่าการสะท้อนของแสงที่มุมตกกระทบใด ๆ

พิจารณาที่มุมบริวสเตอร์ (θ_B) กฎของสเนลล์เขียนได้เป็น

$$n_1 \sin\theta_B = n_2 \sin\theta_r \qquad (1)$$

และเนื่องจาก $\theta_r = 90^\circ - \theta_B$ ดังนั้น

$$n_1 \sin\theta_B = n_2 \sin(90^\circ - \theta_B) = n_2 \cos\theta_B$$

$$\theta_B = \tan^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \qquad (2)$$

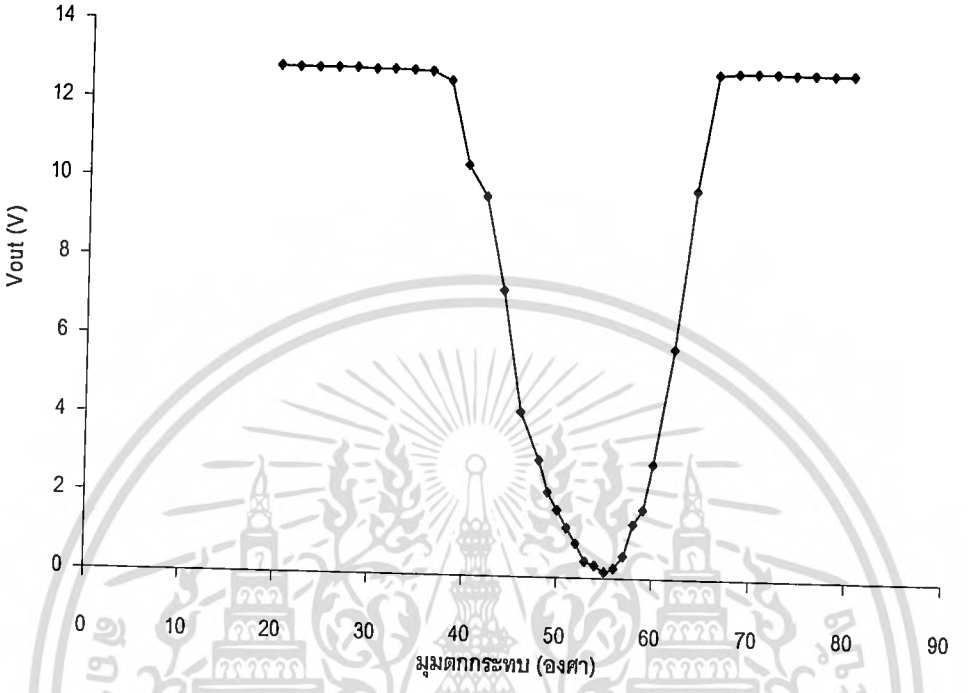
เมื่อ n_1 คือค่าดัชนีหักเหของอากาศ = 1

และ n_2 คือค่าดัชนีหักเหของตัวกลางที่ต้องการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ผลการทดลอง

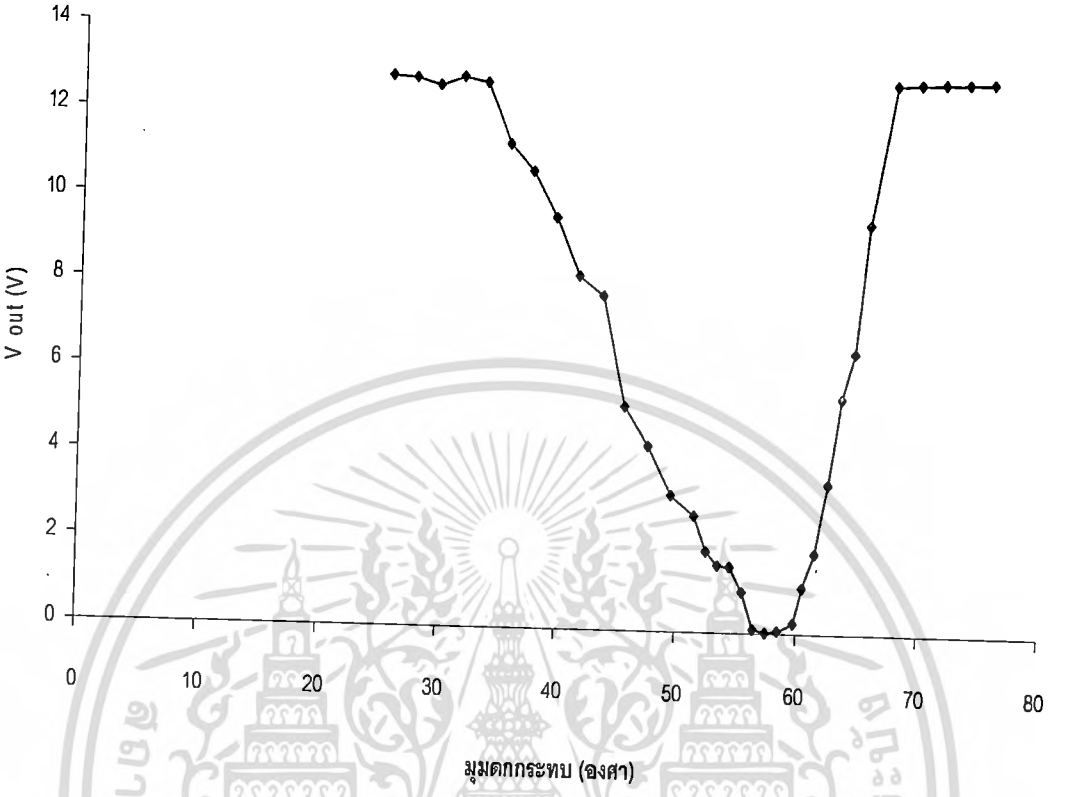
4.1 ผลการทดลองหาค่ามุมบริวสเตอร์ของปริซึมที่ทำจากแก้ว



รูปที่ 4 กราฟระหว่างค่าความต่างศักย์ของดีเทคเตอร์กับมุมตกกระทบของปริซึมที่ทำจากแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

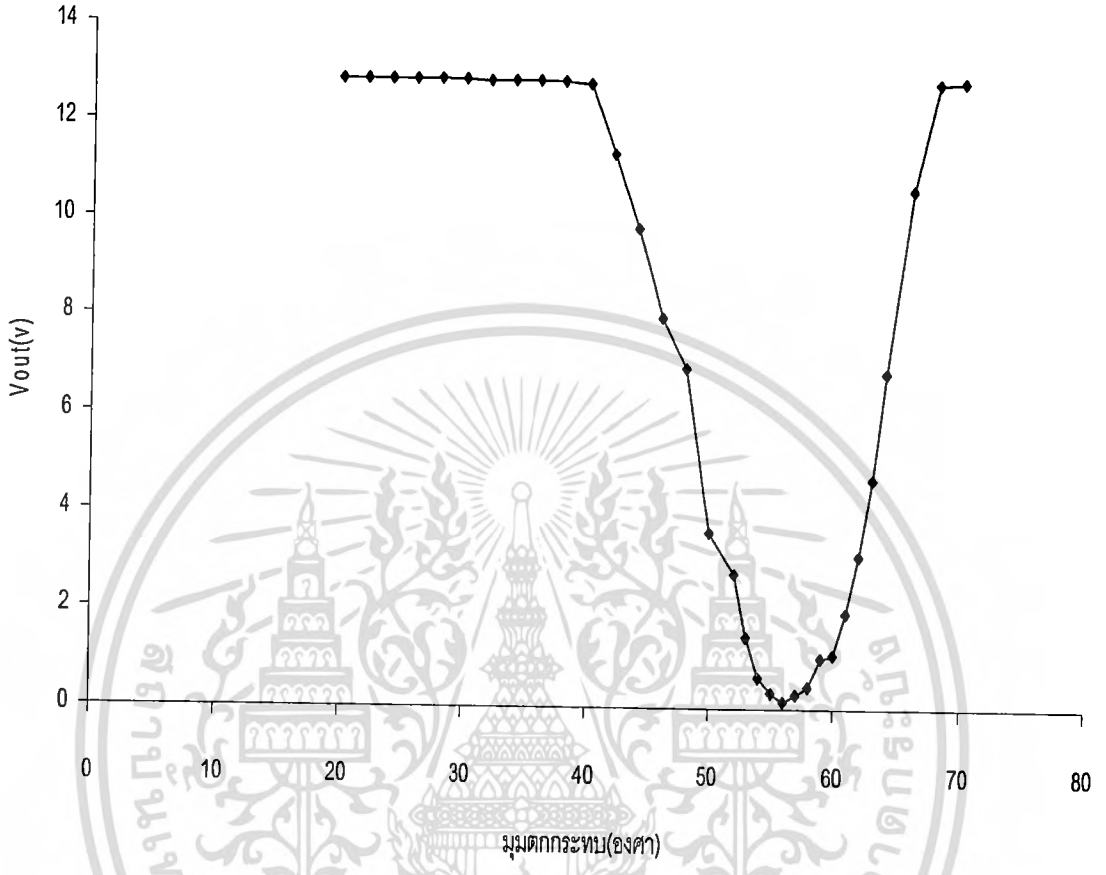
4.2 ผลการทดลองหาค่ามุมบริวสเตอร์ของแผ่นพลาสติก



รูปที่ 5 กราฟระหว่างค่าความต่างศักย์ของดีเทคเตอร์กับมุมตกกระทบของแผ่นพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองหาค่ามุมบริวสเตอร์ของแผ่นอะคลิลิก



รูปที่ 6 กราฟระหว่างค่าความต่างศักย์ของดีเทคเตอร์กับมุมตกกระทบของแผ่นอะคลิลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4-6 แนวโน้มของกราฟทั้งสาม ซึ่งได้จากการทดลองของวัสดุ สามชนิด คือแก้ว พลาสติก และอะคลิลิก มีลักษณะคล้ายคลึงกัน โดยค่าความเข้มของแสงสะท้อนในแนว TM-mode จะมีค่ามากเมื่อมุมตกกระทบอยู่ระหว่าง 10 – 40 องศา และ 65 – 80 องศา แต่เมื่อมุมตกกระทบเพิ่มขึ้นจาก 40 ถึง ในช่วง 55 – 57 องศา ค่าความเข้มแสงจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากในช่วงดังกล่าวเป็นมุมที่ทำให้แนวแสง TM-mode สะท้อนออกมาน้อย ตำแหน่งมุมที่ทำให้ค่าความเข้มแสงสะท้อนมีค่าน้อยที่สุดนี้คือค่าของมุมบริวสเตอร์ของแต่ละวัสดุ และจากค่ามุมบริวสเตอร์ที่ได้ จะสามารถนำไปหาค่าดัชนีหักเหของวัสดุแต่ละชนิดได้ ตามสมการที่ (2) ค่าของมุมบริวสเตอร์ (θ_B) และค่าดัชนีหักเห (n) ของวัสดุทั้งสามชนิดแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าของมุมบริวสเตอร์ (θ_B) และค่าดัชนีหักเห (n) ของวัสดุต่าง ๆ

วัสดุ	θ_B	n
แก้ว	55.0°	1.43
พลาสติก	57.5°	1.57
อะคลิลิก	56.0°	1.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้